

REALIZACIÓN DE LA TABLA TECNOLÓGICA DE UN ACERO GRADO 60

Víctor Vega Guillén, Eusebio Dionicio Padilla, Oswaldo Gonzales Reynoso
Departamento Académico de Ingeniería Metalúrgica - UNMSM

I.-INTRODUCCION

Una tabla tecnológica de un acero reúne diversos datos tecnológicos así como una serie de diagramas que permiten al fabricante y al usuario obtener las propiedades deseables con el fin de garantizar la puesta en servicio de dicho acero.

Es por tanto la tabla tecnológica un complemento de la tabla de tipificación que clasifica a los aceros en función de su composición química y de la Norma que indica las características mínimas que deben obtenerse con un tratamiento previamente establecido. La determinación de los diferentes datos que componen ésta tabla es sencilla y está al alcance de cualquier laboratorio o de una pequeña Industria Metalúrgica.

Conviene recordar que los datos tecnológicos son habitualmente orientativos, dado el diferente comportamiento de distintas coladas de un mismo tipo de acero y las normales limitaciones de los métodos de ensayo, solo un estudio estadístico podrá reflejar los límites reales de las magnitudes ensayadas.

Para la confección de la Tabla Tecnológica en un acero grado 60, tomó como muestra la que produce en nuestro medio.

II.- PLANEAMIENTO DEL ESTUDIO

Es conveniente y necesario conocer en la práctica, las posibilidades de aplicación de cualquier acero. En nuestro medio dentro de la Industria metal-mecánica el principal material de Ingeniería utilizado en la fabricación y reposición de piezas y partes sigue siendo el acero.

Además del amplio rango de variables que tiene la composición química y las propiedades mecánicas de los aceros se agrega la diferencias en costos que en muchos casos es el factor que decide la elección del acero.

Estas son algunas de las principales razones que nos llevaron a plantearnos el presente trabajo sobre la realización de la tabla tecnología para el acero grado 60, de manufactura nacional, la Escuela Académico Profesional de Ing. Metalúrgica tiene actualmente Laboratorios de Tratamientos Térmicos y Metalografía que nos permiten trabajar los diferentes ensayos.

Las pruebas mecánicas se realizaron con terceros laboratorios del medio debido a que la Universidad no cuenta con éste tipos de ensayos. Las pruebas y análisis se realizaron bajo las diferentes Normas de la American Society for Testing and Materiales (ASTM).

La parte de la información bibliográfica se obtuvo de las diferentes universidades e instituciones de nuestro medio. Para la realización del presente trabajo se contó con personal calificado y de amplia experiencia de la Escuela Académico Profesional de Ing. Metalúrgica de la UNMSM.

III.-DESCRIPCION DEL TEMA

Los ensayos realizados para la caracterización tecnológica del acero grado 60 son descritos muy escuetamente pudiéndose muy fácilmente ser reproducidos en modestos laboratorios de fábrica.

Los datos obtenidos se ordenan en una tabla tecnológica indicando la utilidad e importancia de los mismos respecto a los tratamientos térmicos realizados. La evaluación de las propiedades mecánicas y las posibilidades del acero en cuanto a su utilización industrial así como una colección de microfotografías permite comprobar con una sencilla observación la eficiencia y bondad de los tratamientos realizados.

3.1 Composición Química

El análisis químico proporcionó los siguientes resultados para nuestro acero. El análisis químico de la muestra de acero se han efectuado con un espectrógrafo de emisión atómica obteniéndose los resultados siguientes mostrados en la Tabla N° 1.

Tabla N° 1: ANALISIS QUIMICO

Elemento	%
C	0.386
Mn	0.928
Si	0.200
P	0.036
S	0.037
Ni	0.050
Cr	0.013
Mo	0.015
Cu	0.180
V	0.030

Que de acuerdo a la Norma ASTM A 615 Grado 60 - 95C y a la Norma ITINTEC 341.931 Grado ARN 420-91, en el cual como requisito químico es con respecto a un máximo de porcentaje de fósforo de 0.05%. El acero tratado cumple con la tolerancia de la composición química.

3.2 Puntos Críticos

La determinación de los puntos críticos en los ciclos de calentamiento y enfriamiento son importantes porque al atravesar los aceros las zonas críticas ocurrirán cambios estructurales así como otros fenómenos que sirven para determinar en forma precisa sus temperaturas de aparición y finalización.

Estos fenómenos son muy diversos variando su intensidad o característica de acuerdo a la posición del acero la clase de transformación o el punto crítico del que se trate. En el calentamiento este acero nos presenta dos puntos críticos: el Ac_1 y el Ac_3 del cual el austenización de la perlita eutectoide y el punto Ac_3 representa la consolidación de la disolución de la ferrita proeutectoide en la austenita.

En el enfriamiento de nuestro acero se presentan dos puntos críticos; Ar_1 y Ar_3 . Los que nos indican que el punto Ar_3 en el cual se inicia la formación de la ferrita de la austenita y el punto Ar_1 nos indica el fin de la precipitación o separación de la perlita de la austenita. Estos puntos críticos para nuestro trabajo de confección de la tabla tecnológica del acero grado 60 fueron determinados por el método dilatómetro obteniéndose los siguientes resultados:

Calentamiento: $Ac_1 = 728^\circ\text{C}$ y $Ac_3 = 800^\circ\text{C}$, con una velocidad promedio de calentamiento de $5^\circ\text{C}/\text{min}$.

Enfriamiento: $Ar_1 = 660^\circ\text{C}$ y $Ar_3 = 770^\circ\text{C}$, con una velocidad promedio de enfriamiento de $3^\circ\text{C}/\text{min}$.

La histéresis entre los puntos nos da una idea de la facilidad que posee el acero para el temple. De los puntos críticos y de la naturaleza del acero se puede deducir también las temperaturas máxima y mínima para la forja.

3.3 Determinación de la Temperatura Óptima de Temple

El temple es el procedimiento por el cual se obtiene la estructura martensítica perfecta y la dureza máxima compatible con la composición del acero. Esto sólo se puede conseguir cuando al iniciarse el enfriamiento la estructura del acero es totalmente austenítica por ser el único constituyente capaz de transformarse en martensita. La mayoría de los métodos para la determinación de la templabilidad se basa en el conocimiento previo de la composición química y del tamaño de grano. Por otra parte la determinación experimental de la templabilidad exige el conocimiento previo de la temperatura óptima de temple, que es aquella desde la que produce por transformación alotrópica la martensita más fina y de mayor dureza.

El medio de temple idóneo para los aceros de construcción al carbono de contenidos de carbón medio como es nuestro caso es el agua, por obtenerse una velocidad grande de enfriamiento con el riesgo todavía mínimo de formación de

grietas.

Nosotros para la determinación de la temperatura óptima de temple trabajamos sobre un conjunto de probetas cilíndricas de 24 mm de diámetro por 10 mm de espesor con una entalla radial para facilitar la fractura posterior y previo un normalizado de homogeneización de una hora para eliminar las posibles segregaciones de aleantes que frecuentemente presentan los aceros laminados y forjados, más conocidas bajo el nombre de estructuras blandas.

Los tratamientos de temple se realizaron con un enfriamiento en agua desde diversas temperaturas con una mínima de 750° C y una máxima de 1100 ° C con una hora de tiempo de austenización. En la gráfica titulada "Temperatura Óptima de Temple", Figura N° 1 trazada de acuerdo a los valores de temperatura y dureza podemos deducir que la temperatura a la cual se obtiene la máxima dureza es de 850° C que corresponde a la temperatura de temple óptima con una dureza máxima alcanzada de 64 en la escala de Rockwell C.

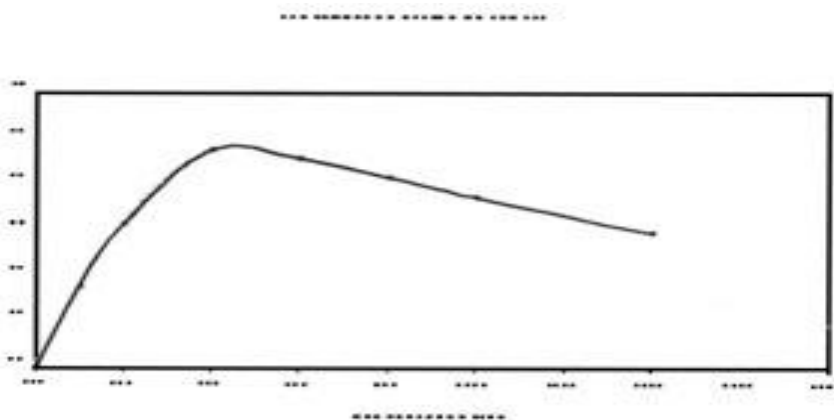


Figura N° 1: Temperatura Óptima de Temple

Las determinaciones de los puntos de dureza se realizaron bajo la Norma ASTM E 18-48, "Test Method for Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials".

3.4 Observación Macroscópica

Los exámenes macroscópicos a diferencia de los microscópicos pueden visualizar áreas grandes de la probeta. En éste caso el examen macroscópico comprende la observación de las fracturas realizadas sobre un conjunto de probetas, las cuales pueden revelar muchas características del metal relacionados con su resistencia, ductilidad, tamaño de grano, etc. La macroscopía también nos permite visualizar las diversas heterogeneidades como pueden ser la heterogeneidad cristalina cuya presencia y extensión depende de la forma de solidificación y crecimiento de los cristales de un metal o aleación.

La diversidad química debida a la presencia de impurezas y a la segregación de ciertos componentes químicos los cuales pueden ser intencionados como el caso del carbón en las piezas cementadas o perjudicial como ocurre con las segregaciones de azufre o fósforo.

En lo mecánico la heterogeneidad procede del trabajo en frío o cualquier otro proceso que introduce tensiones permanentes en el metal, estos inconvenientes son importantes en metales laminados, forjados, embutidos y extruidos.

La descripción de las fracturas aunque sólo sea en forma cualitativa suele hacerse la descripción con arreglo a su apariencia. Las fracturas producidas por impacto o choque nos pueden indicar otras cosas el tamaño relativo del grano del metal roto una idea relativa de la tenacidad y ductilidad. En los aceros totalmente templados se puede observar y estimar con relación al tamaño de grano en que cuanto más fino es el grano más sedosa y fina es la fractura de la zona templada.

En nuestro caso para la observación macroscópica se utilizaron un conjunto de probetas de 24 mm de diámetro por 10 mm de espesor con entalla radial para que nos facilite la fractura mediante un golpe seco, previamente fueron medidas las durezas correspondientes como podemos ver en la fotografía titulada "Fracturas de Temple" (Figura N° 2) en ella podemos observar el tamaño de grano relativo en las facturas, las probetas templadas a bajas temperaturas presentan un aspecto grosero de pequeñas caras brillantes siendo la rotura de tipo intergranular a partir de la fractura correspondiente al enfriamiento desde 850° C se observa ya fracturas de grano fino y cristalino propias de los aceros templados por encima al crecimiento del tamaño de grano en función de la temperatura de calentamiento.

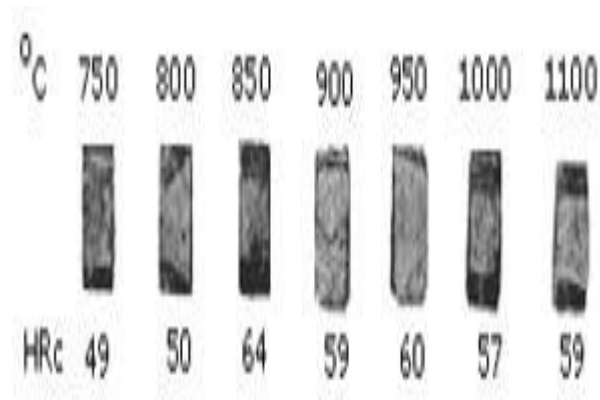


Figura N° 2: Fracturas de Temple

La dureza máxima corresponde a la fractura más frágil y de grano más fino, que en nuestro caso no es fácil de distinguir a simple vista por tratarse de un acero de grano fino en que el tamaño de grano se mantiene prácticamente constante en un amplio rango de temperaturas.

3.5 Tamaño de Grano

Es interesante conocer el tamaño de grano austenítico que corresponde al acero a la temperatura óptima de temple así como su variación en un cierto intervalo de temperaturas ya en la zona austenítica y aún sin sobre calentar al acero.

La importancia radica no solo en la influencia del tamaño de grano austenítico sobre la dureza de la martensita obtenida sino también de la modificación de las propiedades mecánicas.

Cuando aumenta el tamaño de grano también lo hace la templabilidad, es mayor la propiedad de austenita retenida y así mismo crece el peligro de agrietarse en el temple, pero la tenacidad es menor. De ello podemos decir la conveniencia de obtener en el calentamiento un grupo austenítico pequeño en el gráfico titulado "Variación del tamaño de grano con las temperaturas de temple", (Figura N°3). El cual se obtuvo con probetas que mantuvieron una hora a la temperatura de austenización y en la cual podemos ver que se ha representado el tamaño de grano ASTM en función de la temperatura de temple podemos observar que a partir de los 950° C el crecimiento de grano es más rápido, siendo por tanto la temperatura máxima utilizable en la práctica.



Figura N° 3: Variación del tamaño del grano con las temperaturas de temple.

Y atendiendo al tamaño de grano permite clasificarlo como un acero de grano fino, ya que la temperatura óptima de temple de 850° C el N° 7 ASTM. Una comparación entre las gráficas de la temperatura óptima de temple y la variación del tamaño de grano con las temperaturas de temple, nos muestra la interrelación entre ambos gráficos y señalándonos que a los 950° C junto con el principio de rápido crecimiento del grano y la consecuente disminución o caída importante de la dureza, éstas variables están totalmente relacionadas.

Las valoraciones así como el acondicionamiento de las probetas se realizaron siguiendo las Norma ASTM E 112 "Method for Determinine average Grain Size".

3.6 Observación Microscópica

El curso de la transformación de la ferrita a la austenita puesto de manifiesto indirectamente con ayuda de medidas de dureza ha sido también comprobado micrográficamente mediante las siguientes microfotografías.

Por ejemplo en la Figura N° 4 muestra la probeta calentada por debajo de A_{c3} presentando una gran dispersión de agregados de martensita en la que se incluye nódulos de perlita muy fina sobre una matriz ferrítica. En la Figura N° 5 presenta como único constituyente la martensita siendo más grosera o basta a medida que aumenta la temperatura de temple de acuerdo con las gráficas que nos muestra la temperatura óptima de temple y la Figura N°6 de las fracturas de temple podemos decir que ésta microfotografía es la que representa la máxima dureza la cual es corroborada con una estructura martensítica muy fina y homogénea. En la Figura N° 7 podemos ver una microestructura de una martensítica grosera o basta y en la N° 8 la probeta nos presenta una laguna de austenita rodeada de inclusiones de sulfuros y el resto de martensita con alguno que otro rastro de bainita.

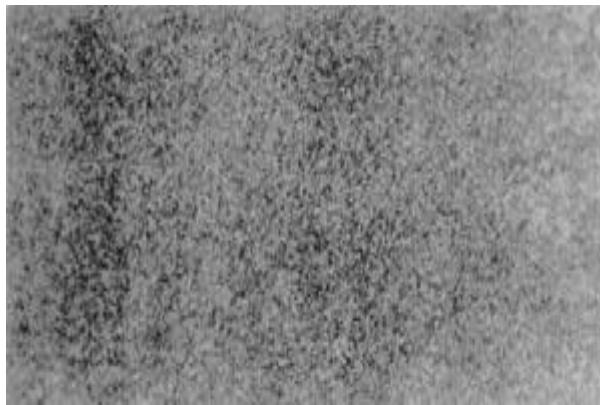


Figura N° 4: Estructura de Temple a diferentes temperaturas. Probeta Templada a 800 °C 1h/agua HRc 50, 250x



Figura N° 5: Probeta Templada a 850 °C - 1h/agua HRc 64

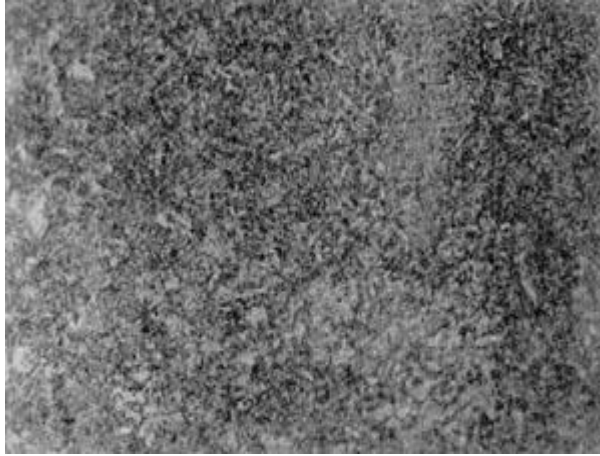


Figura Nº 6: Probeta Templada a 100 °C 1h/agua
HR o 57



Figura Nº 7: Probeta Templada a 900 °C 1h/agua
HR o 59

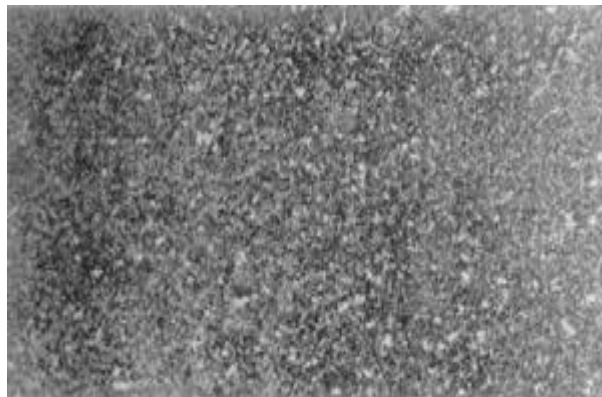


Figura Nº 8: Probeta Templada a 1100 °C 1h/agua
HRc 59 250x

La presencia de austenita retenida se debe a que no se alcanzó la velocidad necesaria para su transformación en el enfriamiento. La preparación y ataque de las probetas para el análisis microscópica se realizó de acuerdo a la Norma ASTM E - 3 - 86 "Preparation of Metallographic Specimens".

3.7 Inclusiones No Metálicas

En los aceros la presencia de inclusiones no metálicas produce efectos perjudiciales sobre las características mecánicas y originan frecuentemente una distribución no homogénea de los constituyentes estructurales. La determinación de un índice de micro inclusiones adquiere un especial significado por la influencia de éstas en las propiedades mecánicas como pueden ser en la plasticidad, fatiga, etc. y por tanto en la calidad metalúrgica del producto acabado.

Las determinaciones se realizaron de acuerdo con la norma ASTM 45 - 97 "Estándar Test Methods for Determining the Inclusion Content of Steel". Los resultados de las probetas examinadas están dadas a continuación en el siguiente cuadro. Las inclusiones finas (F) predominan sobre las gruesas (G) y las peores se califican con el número 2, de lo cual se deduce que se trate de un acero suficientemente limpio. Ver Tabla N° 2

Tabla N° 2: Resultados de Probetas Examinadas

PROBETA	A (SULFUROS)		B (ALUMINA)		C (SILICATOS)		D (ÓXIDOS)	
	F	G	F	G	F	G	F	G
NÚMERO								
1	1	0	1	0	0	0	2	1
2	1	0	0	0	0	0	1	1
3	2	0	1	0	0	0	2	1
VALOR PROMEDIO	1	0	1	0	0	0	2	1

3.8 Ensayos Mecánicos

En la siguiente Tabla N°3 titulada "Resultados de los Ensayos Mecánicos", figuran las características mecánicas que alcanza el acero templado con revenidos crecientes hasta de 600° C así como las que corresponde a los tratamientos de recocido y normalizado. Los ensayos de tracción realizados se hicieron de acuerdo a la norma ASTM 370-77, "Methods and Definitions For Mechanical Testing of Steel Products", y los ensayos de resiliencia bajo la Norma ASTM E 23-96, "Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials".

Tabla N° 3: Resultados de Ensayos Mecánicos

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS MECÁNICOS								
PROBET A NUMER 0	TRATAMIENTO REALIZADO	ENSAYOS DE TRACCIÓN				RESILENCIA		DUREZ A HRC
		Rp0.2 Kgf/M m ²	Rm Kgf/m m ²	A %	Z %	Probeta Nº	Kgf/c m ²	
1	TEMPLE 850° C 1 H/AGUA	163	172	---	---	1	1.0	58
2		130	195	---	---	2	0.5	60
							3	1.5
3	TEMPLE 850° C 1H/AGUA REVENIDO 300° C 1/2 HORA/AIRE	150	170	8	35	4	2	47
4		155	178	8.5	5	2.5	48	47
						34	6	2.8
5	TEMPLE 850° C 1H/AGUA REVENIDO 400° C 1/2 HORA/AIRE	130	140	11	50	7	5	40
6		135	139	11	55	8	4.5	49
						9	5	41
7	TEMPLE 850° C 1H/AGUA REVENIDO 1/2 HORA/AIRE	105	111	13	52	10	5.5	30
8		104	110.5	14	11	7	39	38
						48	12	7.5
9	TEMPLE 850° C 1H/AGUA REVENIDO 600° C 1/2 HORA/AIRE	77	85	19	64	13	10	34
10		79	89	18	14	10.5	30	28
						65	15	10
11	RECOCIDO 875° C 1/2 HORA/HORNO	36	63.5	26	49	49		
12		36.5	63.5	28	49			
13	NORMALIZADO 850° C 1 HORA/AIRE	41	68	23	57	16	7	---
14		39	67	25	57	17	6.5	---

Hay que tener en cuenta que las características mecánicas alcanzadas no serán las mismas que las que logren con grandes piezas en que el efecto de la masa influye sobre aquellas.

La temperatura y el tiempo juegan un papel importante en el tratamiento del revenido y las variación de éstos dos parámetros permite alcanzar las propiedades mecánicas comprendidas entre el temple y el recocido. El límite elástico, la dureza y la resistencia a la tracción disminuye con la temperatura de revenido y el alargamiento, la estricción y la re silencia aumentan. La variación de éstas magnitudes en función de la temperatura de revenido se puede observar en la tabla de los resultados mecánicos.

Teniendo en cuenta el criterio de mínima tenacidad es decir valores de resistencia iguales o mayores a 5 Kgm/cm² generalmente aceptada, tenemos definida la zona

frágil para revenidos menores de 400° C, que no se aconseja en la práctica.

Igualmente se puede fijar los dos tipos de revenido más usuales; un revenido duro a un rango de temperaturas de 500 a 530° C y una resistencia a la tracción promedio de 105 a 110 Kgf/mm² y una resistencia de 6 a 8 kgf/cm² y un revenido tenaz con un rango de temperatura de 660 a 630° C y una resistencia a la tracción promedio de 75 a 80 Kg f/mm² una resistencia promedio de 12 a 13 Kgf/cm².

A continuación veremos en las microfotografías las estructuras de temple más revenida.

3.9 Recocidos

El conocimiento de la temperatura de ablandamiento de un acero es importante porque el estado de acritud en el que queda después del laminado, forjado, etc. impide a veces su mecanización posterior debido a la elevada dureza adquirida.

Podemos conducir el material a su mínima dureza conocida su temperatura de ablandamiento y facilitar de este modo su manejo en la mecanización. Se utilizaron un conjunto de probetas semicilíndricas de 24 mm de diámetro y 10 mm de espesor representándose en el gráfica (Figura N° 10) titulada "Determinación de la temperatura de ablandamiento con estructuras iniciales de temple y normalizado", realizada en función de la variación de la dureza en relación a la temperatura de revenido partiendo de un estado inicial de temple (curva superior). La temperatura óptima de ablandamiento resulto ser de 730° C 10° C.

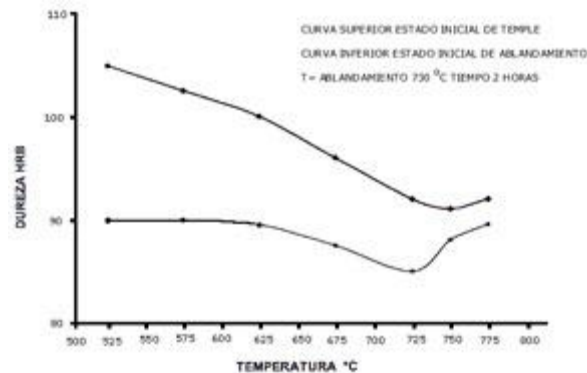


Figura N° 10: Determinación de la temperatura de ablandamiento con estructuras iniciales de temple y normalizado

En las microfotografías de normalizado y revenido así como en las anteriores de temple y revenido se puede establecer de la distribución y coalescencia de la cementita con la temperatura de revenido en ambos casos. Las etapas que se suceden en el revenido partiendo de un estado inicial de temple con un calentamiento lo suficientemente lento para que se produzca el proceso de

equilibrio que corresponde a cada temperatura y son tres para los aceros al carbón; una primera etapa en un rango de temperaturas de 100 a 200° C caracterizada por un empobrecimiento en carbono de la martensita, precipitando en forma de carburo (carburo épsilon) en los sub-contornos heredados de la austenita.

Una segunda etapa entre un rango de 200 a 300° C donde se produce la transformación isotérmica de la austenita retenida en el temple. Una tercer etapa entre las temperaturas de 300 a 400° C que se caracteriza por un proceso de redisolución del carburo épsilon, transformándose en cementita que precipita en los contornos de las agujas de martensita y en su interior. Con el aumento de la temperatura la cementita en el interior de las agujas precipitará en los bordes y aquellas se convertirán en agujas de ferrita a medida que aumenta la temperatura se produce la coalescencia de la cementita apareciendo al final de ésta etapa una estructura de cementita globulizada sobre una matriz ferrítica.

La velocidad de calentamiento de las probetas como sucede en cualquier horno de tratamientos térmicos no ha sido lo suficientemente lenta para que se sucedan a las temperaturas teóricas señaladas, pero lo hace en función del tiempo de permanencia a la temperatura de revenido establecida. En la Figura N° 11 la serie de temple y revenido presentan ferrita acicular rodeada de cementita precipitada en sus bordes, en la Figura N° 12 se observa una ligera disminución de la estructura acicular ferrita y en la Figura N° 13 que corresponde a la de un revenido de 700° C (temperatura de ablandamiento) se observa mayores espacios ferríticos y una mayor coalescencia de la cementita.

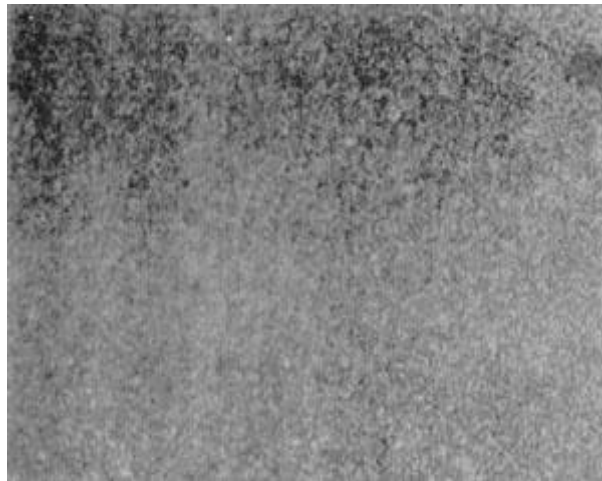


Figura N° 11: Estructura de Temple más Revenido. Temple 850° C 1h/agua. Revenido 525° C 2h/aire. HRb=104 250x

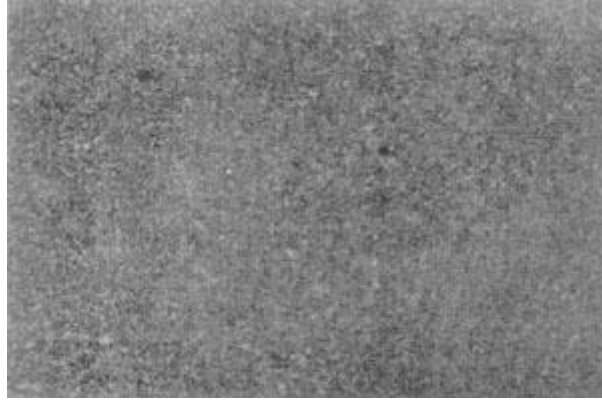


Figura Nº 12: Temple 850° C 1h/agua. Revenido 625° C 2h/aire.HRb=100 250x

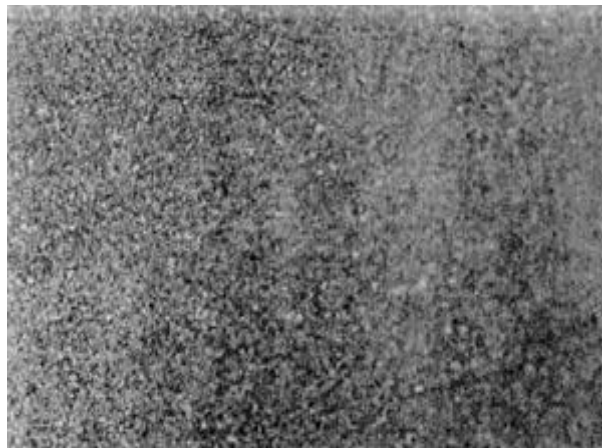


Figura Nº 13: Temple 850° C 1h/agua. Revenido 735° C 2h/aire. HRb=90.250x

Partiendo de un estado inicial de normalizado el único proceso que se verificará es la globulización de la cementita en el interior de los granos per líticos que se producen a altas temperaturas de revenido. En la microfotografía de la estructuras de normalizado y revenido, en la primera se puede ver una estructura de normalizado que no ha sufrido cambio alguno después de un revenido de 2 horas a 525° C con una dureza igual que la que presenta el estado inicial del tratamiento de normalizado (HRB=90).Ver Figura Nº 14

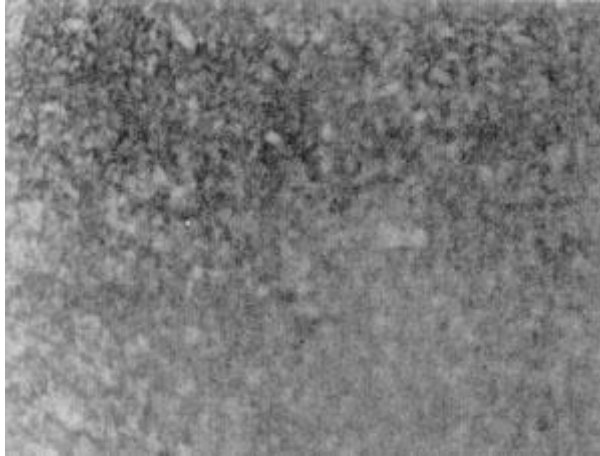


Figura N° 14: Estructuras de Normalizado y Revenido. - Probeta Normalizada a 850° C 1h. Revenido 525° C 1h. HRb=90.250x

En Figura N° 15 la perlita ha perdido su forma característica como consecuencia de la tendencia de la cementita ha globalizada lo cual origina una disminución apreciable de la dureza.

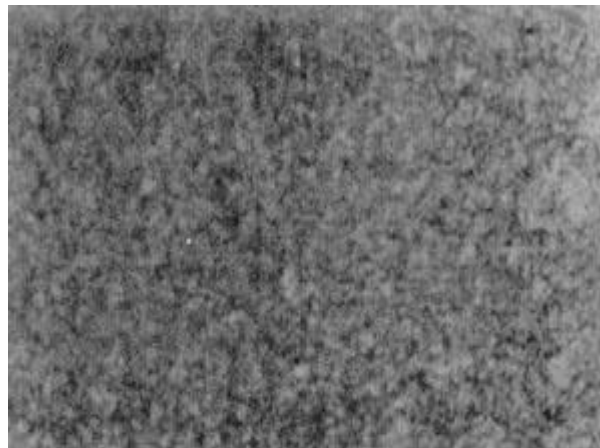


Figura N° 15: Probeta Normalizada a 850° C 2h. HRb=115.250x

Partiendo de un estado inicial de temple la dureza el ablandamiento es siempre mayor que si se parte de un estado de normalizado puesto que en el primer caso la cementita se distribuye uniformemente. Y en la segunda la cementita queda anclada dentro de los primitivo ganas de perlita.

En la gráfica de la influencia del tiempo en el recocido de ablandamiento se puede observar que la dureza disminuye al principio rápidamente y después permanece casi constante, por lo que en la práctica es suficiente mantener el material a la temperatura correspondiente un tiempo no muy largo. Se pone de manifiesto así la importancia de caracterizar la temperatura de ablandamiento.

3.10 El Efecto Masa

Los aceros al carbono por no tener elementos de aleación son de templabilidad muy pequeña es decir las velocidades de enfriamiento críticas de temple son muy elevadas y a pesar de ser enfriadas en agua los perfiles gruesos no templan totalmente y se pone de manifiesto un "efecto de masa". En la experiencia observado que en piezas de acero de sección mediana no alcanza un temple perfecto.

El enfriamiento rápido siempre produce una estructura de grano fino y más homogéneo de características superiores a las de una estructura de grano grueso y heterogéneo y así es posible enfriar piezas sin distorsiones inadmisibles conviene siempre y es recomendable un tratamiento de temple y revenido.

3.11 Temple y Templabilidad

Es bien conocida que una gran parte de los aceros se utiliza en estado de temple y revenido ya que este doble tratamiento permite obtener por transformaciones de fase en estado sólido, la estructura capaz de responder con garantía a la variedades sollicitaciones mecánicas en sus múltiples y diversas aplicaciones.

En la martensita la estructura de temple inicial a partir de la cual y mediante un tratamiento de revenido se consiguen las propiedades convenientes en el acero.

Los aceros al carbono no son una excepción y frecuentemente antes de su puesta en servicio se someten a tratamientos de temple y revenido, pero son aceros de baja templabilidad es decir su capacidad de temple y por tanto la penetración de aquel en el interior de una pieza es pequeña, lo que limita las dimensiones de las piezas en uso, al tiempo que explica las restricciones de empleo en piezas de medio y gran espesor.

Después de conocida las variaciones de las caracterizaciones mecánicas con los diversos tratamientos usuales es necesario en la práctica conocer la aptitud que posee un acero para el temple esto es su templabilidad.

La templabilidad se determina cuantitativamente por el índice de templabilidad o bien por el diámetro crítico definido por el diámetro del redondo que después de su templado en un medio con una severidad de temple determinada se obtiene en un núcleo una estructura del 50% de martensita estando ambos relacionados de acuerdo con los criterios de Grossman.

En la gráfica del ensayo Jominy están otras dos correspondientes a revenidos de 450° C y 650° C la dureza máxima obtenida es de 61 HRc descendiendo rápidamente a medida que nos alejamos del extremo templado. Ver Figura N° 16

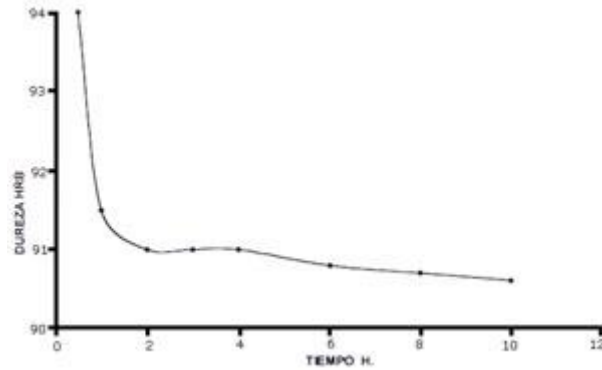


Figura N° 16: Influencia del tiempo en el recido de ablandamiento

El índice de templabilidad es $J_{50} = 50$ mm y haciendo uso de la curva de Grossman que relaciona índices de templabilidad, diámetros críticos ideales y severidades de temple se obtiene para $H = 1.5$ diámetro crítico de 23 mm.

La tendencia actual es de exigir en la recepción de los aceros que estos cumplan su correspondiente banda de templabilidad sobre todo en los aceros de baja y alta aleación.

Como la deducción del diámetro crítico a partir del índice de templabilidad es un recurso no exento de error debido a la serie de hipótesis sobre criterios de equivalencia y aproximación con que se han construido las curvas de Grossman, es interesante determinar de un modo directo, templado, redondos de diferentes diámetros, siendo éste el, método que ofrece mayores garantías y que permite al mismo tiempo establecer mediante una comparación, la relativa eficacia que tienen los diversos métodos que se utilizan para determinar el diámetro crítico.

El ensayo se ha realizado templando en un medio de agua fría con severidad de temple $H = 1.5$ varias probetas cilíndricas de diferentes diámetros y de una longitud mínima tres veces superior al diámetro para que las bases no influyan en el enfriamiento del núcleo. Después de un corte transversal por la mitad y un desbaste fino de unas de las superficies de corte de cada probeta y atacadas con Nital 2 aparecen contrastadas ambas zonas templada y no templada siendo ésta última de un tono más oscuro. El límite entre ambas zonas corresponde en buena aproximación a una estructura del 50% de martensita graficando el diámetro de la zona no templada en función del diámetro del redondo se determina el diámetro crítico (D_c) que estará determinado por la intersección de la curva con eje de abscisas y esto aproximadamente 20 mm.

El compendio de todos los datos obtenidos en los diferentes ensayos realizados al acero grado 60 se tienen representando en las Tablas N° 4 y 5.

Tabla N° 4: DATOS TECNOLÓGICOS PARA EL ACERO GRADO 60 (Acero al carbón)	
Denominación ASTM a 615 G60	
Composición química del acero utilizado	C = 0.386% Mn = 0.929% Si = 0.200% P = 0.036 S = 0.037%
Composición química normada ASTM a 616 G60 P	0.050% máx.
Puntos críticos	Calentamiento AC1 = 728° C; AC3 = 800° C (velocidad de calentamiento promedio 5° C/minuto) Enfriamiento Ar1 = 660° C; Ar3 = 770° C (velocidad de enfriamiento promedio 3° C/min)
Temple	Temperatura de temple 850° C Medio empleado: agua Tamaño de grano ASTM 7
Templabilidad real	Dc para 50% martensita en agua (1.5) = 20 mm J50 = 50 mm
Revenidos	Revenido duro : 500 - 550° C - aire Revenido tenaz : 600 - 650° C - aire
Recocidos	Regeneración 850 - 875°C 1h cada 35 mm 0/horno Normalización 850 - 900°C 1 h cada 25 mm 0/aire

Tabla N° 5: Caracterización Mecánica			
	TRACCIÓN Kgf/mm ²	RESILENCIA Kgf/cm ²	DUREZA HB
Normalizado	60 - 70	4	90
Temple + Revenido Duro	90 - 110	5 - 7	461
Temple + Revenido tenaz	80 - 90	7 - 10	311
Recocido	63 - 65	----	212
Recocido de Ablandamiento	----	----	183

IV.-CONCLUSIONES

1. El acero nacional utilizado cumple con las especificaciones ASTM y la Norma Nacional en composición química y las propiedades mecánicas.
2. La temperatura óptima de temple para éste acero es de 850° C a la cual se obtienen las mejores propiedades mecánicas, dureza y resistencia a la tracción.
3. El tamaño de grano ideal para éste acero se encuentra entre 7 y 8 según la ASTM E-112.
4. La temperatura de revenido a utilizar dependerá de que en cada caso de las solicitudes mecánicas a las cuales se verán sometidas las piezas fabricadas con este acero.
5. Se debe tener en cuenta que las características mecánicas alcanzadas no serán las mismas que las que se logren con grandes piezas en que el efecto de masa influye sobre aquellas.
6. Es notable la disminución del límite elástico, la dureza y la resistencia a la tracción con la temperatura de revenido mientras aumentan los valores en el alargamiento, la estricción y la resistencia del acero tratado.
7. Conociendo la temperatura de ablandamiento de un acero podemos conducirlo a su dureza mínima y facilitar de éste modo su manejo en la mecanización.
8. La principal conclusión del presente trabajo es demostrar la factibilidad de que modestos laboratorios de fabrica puedan realizar los ensayos para la caracterización tecnológica de un acero y su posterior utilización.
9. Además del amplio rango de variables que tiene la composición química y las propiedades mecánicas se agrega la diferencia en costos que en muchos casos es el factor que decide la elección del acero estas consideraciones obligan a efectuar previamente una selección a base de una tabla tecnológica de un acero.
10. El presente trabajo pretende servir de alguna manera como una guía metodológica para la realización de otras tablas tecnológicas y su pronta ayuda tanto para el fabricante como para el usuario.

V.-REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1.- ANDRÉS M.P. "Diagrama Hierro-Carbono y los Fundamentos de los Tratamientos Térmicos de los Aceros". Ediciones Montecorvo, Madrid, 1962.
- 2.- ANTONIO CREUS. "Instrumentos Industriales su Ajuste y Calibración". Ediciones Alfa Omega S.A. 1990.
- 3.- APRAIZ BARREIRO J. "Tratamientos Térmicos de los Aceros". Ediciones Dossat, Madrid 1964.
- 4.- ASTM STANDARD. Annual Book of ASTM Std. Part. 31 EE.UU. 1972
- 5.- BAIN E.C. y GROSSMAN M.A. "Principles of Heat Treatment". ASM OHIO EE.UU. 1964.
- 6.- CALVO RODES R. "El Acero su Aleación y Selección". Ediciones Intaet, Madrid, 1964.
- 7.- CALVO RODES R. "Prontuario Metalotécnico". Ediciones Intaet, Madrid. 1963.
- 8.- FUNDACION J. MARCH. "Estudio de una Tabla Racional de Aceros Nacionales". Ediciones Intaet, Madrid, 1961.
- 9.- GROSSMAN M.A. "Element of Hardepability". ASM, Cleveland (Ohio), 1962.
- 10.- JAFFE L.D. Y HOLLOWOMON J.H. "Hardepability and quench cracking". Trans Am. Inst. Min. Met. Eng. 167 (1946)
- 11.- KEHL G.L. "Fundamentos de la Práctica Metalográfica". Ediciones Aguilar S.A. Madrid 1954.
- 12.- PETERS T. ANTHONY. "Producción Siderúrgica". Editorial Limusa S.A. México D.F. 1993.
- 13.- SARKAR A.D. "Desgaste de Metales" Ediciones Limusa S.A. 1990.