



20
230

**Universidad Nacional Autónoma
de México**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**



**" AFECTACION TERMICA DE UN MATERIAL A-36
SOLDADA CON ELECTRODO E-7018 "**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

P R E S E N T A :

GERARDO AARON MAYA GOMEZ

**DIRECTOR DE TESIS :
ING. HECTOR ENRIQUE CURIEL REYNA**

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1993

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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 está 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.

INDICE GENERAL.

1.- INTRODUCCIÓN

11.- GENERALIDADES

2.1 SISTEMA DE IDENTIFICACION DE ACEROS AL CARBONO

2.2 DESIGNACION DE PREFIJOS Y LITERALES

2.3 DESIGNACIONES NUMERICAS DE LOS GRADOS.

111.- METALURGIA DE ACEROS AL CARBONO

3.1 FERRITA

3.2 CEMENTITA

3.3 PERLITA

3.4 AUSTENITA

3.5 MARTENSITA

IV.- TRATAMIENTO TERMICO DE ACEROS AL CARBONO

4.1 RECOCIDO

4.2 NORMALIZADO

4.3 TEMPLE

4.4 REVENIDO

4.5 TRATAMIENTOS ISOTERMICOS

4.6 RECOCIDOS ISOTERMICOS

4.7 TEMPLE SUPERFICIAL

V.- PRINCIPIOS DE SOLDADURA

VI.- PROCESOS DE SOLDADURA

6.1 SOLDADURA POR ARCO ELECTRICO

6.2 METALES DE APOORTE

6.3 ASPECTO METALURGICO DE LA SOLDADURA

VII.- ZONA AFECTADA POR EL CALOR

VIII.- INTRODUCCION A LAS PROPIEDADES MECANICAS

8.1 PRUEBA DE TENSION

8.2 PRUEBA DE ESFUERZO

8.3 PRUEBA DE IMPACTO

8.4 PRUEBA DE DUREZA ROCKWELL

8.5 PRUEBA DE DUREZA BRINELL

8.6 TABLAS COMPARATIVAS DE DUREZA

IX.- PARTE EXPERIMENTAL

9.1 FORMAS DE PREPARAR LAS MUESTRAS

9.2 METALOGRAFIAS

9.3 ENSAYO DE DUREZA

9.4 MUESTRA PARA PRUEBA DE TENSION

X.- RESULTADOS

XI.- CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA.

1.- INTRODUCCION.

En los procesos de soldadura por arco eléctrico, el material base sufre un efecto de alta temperatura por conducción dentro -- del mismo. Obteniéndose como resultado cambios en la estructura -- fundamental que modifican las propiedades físicas y mecánicas del mismo.

Con el objeto de conocer las pérdidas en las propiedades mecánicas que sufre un acero al carbono al ser calentado en la zona afectada por el calor, por el proceso de soldadura, se seleccionó un acero estructural al carbono A. S. T. M. tipo A-36 por ser uno de los más usados como material estructural dentro de la industria nacional y es de los que más soldadura se les hace ya sea como construcción o reparación, por consiguiente el conservar sus -- propiedades mecánicas es de gran importancia industrial.

El estudio consiste en:

Maquinar dos tramos de material A-36 para formar un ángulo -- de 60 grados entre ambos y se sueldan.

Una vez soldada la placa se toman dos muestras transversales una para prueba de tensión y la otra para tomar lecturas de dureza y metalografía.

Posteriormente se corta el material a lo largo de la soldadura y se vuelve a maquinar. Se suelda la placa nuevamente y se vuelve a tomar dos muestras, esto se repite 8 veces.

Por último las muestras obtenidas de cada calentamiento al -- que fue sometido el material son evaluadas para determinar la pérdida de las propiedades mecánicas del material en cada etapa del proceso de soldadura, con las pruebas de tensión, dureza y metalografía.

II. GENERALIDADES.

Los metales ferrosos son la espina dorsal de la industria moderna y desde la revolución industrial se basó en el hierro, este al ser combinado con otros metales y aleaciones, se transforma en diferentes clases de acero.

Los aceros al carbono están formados por una amplia gama de aceros que contienen hasta :

Carbono 1.70 % max.

Manganeso 1.65 % max.

Silicio 0.60 % max.

Esto comprende a las aleaciones de hierro carbono, con el nivel de carbono bajo como en el hierro dulce, el hierro fundido es de 1.7 % de carbono.

Cuando los aceros al carbono contienen los elementos de aleación en porcentajes indicados pueden soldarse con facilidad por todos los métodos de soldadura.

Carbono 0.13 % - 0.20 %

Manganeso 0.40 % - 0.60 %

2.1 SISTEMA DE IDENTIFICACION DE ACEROS AL CARBONO.

Por medio de un sistema de símbolos se identifican los grados de aceros estándar. Estos símbolos utilizan una letra mayúscula como prefijo, para indicar el proceso en que es fabricado el acero y los números se utilizan para indicar las calidades del acero por su composición química.

2.2 DESIGNACION DE LOS PREFIJOS LITERALES.

Las letras B y C son prefijos que indican los dos principales procesos de fabricación de aceros para aceros al carbono.

B. Denota el acero al carbono de horno Bessemer ácido.

C. Denota el acero al carbono de horno básico de hogar abierto.

2.3 DESIGNACIONES NUMERICAS DE LOS GRADOS.

Se usa una serie de cuatro números para indicar la composición química del acero al carbono.

El carbono es un elemento endurecedor y al aumentar su porcentaje el acero se torna mas templeable. Si el porcentaje de carbono es mayor de 0.5 %, el enfriamiento súbito debajo de la temperatura crítica puede conducir a una zona dura y frágil adyacente a la soldadura, el depósito también se vuelve duro y frágil, con tendencia a agrietarse si el metal de soldadura capta una cantidad considerable de carbono.

En los aceros de bajo contenido de carbono la adición de otros elementos de aleación aumenta su resistencia a la tensión sin reducir su soldabilidad.

El silicio produce homogeneidad en el acero y empleado en grandes porcentajes incrementa la resistencia a la tensión. Con un alto porcentaje de carbono el silicio agrava la tendencia al agrietamiento.

Si tenemos de 0.20 % - 0.30 % de manganeso y 0.03 % de azufre se producen aceros que se agrietan facilmente al ser soldados.

El azufre mejora la maquinabilidad de acero al carbono. Los aceros con este elemento son quebradizos en caliente, el depósito de soldadura tiende a agrietarse y no soporta los esfuerzos de contracción desarrollados en la soldadura cuando empieza a solidificar.

El fosforo se considera una impureza de la soldadura y debe mantenerse a nivel mas bajo posible. Un contenido mayor de 0.40 % de fosforo hace soldaduras frágiles y reduce valores de choque o fátiga.

Aumenta la la tendencia al agrietamiento. La adición de otros elementos de aleación resulta de gran beneficio si se hace adecuadamente.

La A. W. S. clasifica los aceros al carbono de la siguiente forma :

Aceros con contenido bajo de carbono.	0.08 - 0.29 % de Carbono.
---------------------------------------	---------------------------

Aceros con contenido medio de carbono.	0.29 - 0.40 % de Carbono.
--	---------------------------

Aceros con alto carbono.	0.45 % - 1.70 % de Carbono.
--------------------------	-----------------------------

Los aceros de bajo carbono se producen en láminas hojas o en rodillos. Su resistencia a la fluencia es baja, se utiliza para piezas estampadas, formas fabricadas en rodillos, dobladas en tamaños de barras para surtir y formas estructurales.

Los aceros ASTM A-36, A-441, A-572 al ser laminados, tienen una resistencia a la tensión de 36,000 a 65,000 lb/pulg.²

Tanques de agua, formas estructurales soldadas, bases de máquinas se fabrican con estos aceros.

III. METALURGIA DE ACEROS AL CARBONO.

2.1 FERRITA.

Es un hierro alfa casi puro que puede contener en solución pequeñas cantidades de silicio, fósforo y otras impurezas, cristalizadas en un sistema cúbico centrado en el cuerpo. Tiene aproximadamente una resistencia de 39,827.2 lb/pulg.², un alargamiento del 35 % y una dureza de 90 unidades Brinell. Es blando, dúctil, maleable, magnética y de pequeña fuerza de unión.

En los aceros puede aparecer bajo diversas formas. Como elemento proeutectoide que acompaña a la perlita y se presenta en la siguiente forma :

- a) En forma de cristales mezclados con la perlita en los aceros de menos de 0.55 % de carbono.
- b) Formando una red o malla que limita a los granos de perlita en los aceros de 0.55 a 0.85 % de carbono y
- c) En forma de agujas o bandas acirculares orientadas en dirección de los planos cristalográficos de la austenita. Esta estructura es típica de los aceros en bruto de colada en los que parte de la ferrita proeutectoide se precipita en forma de agujas dirigidas hacia el interior de los granos en lugar de depositarse en la envolvente reticular o formar cristales independientes. A este tipo de cristalización se denomina estructura Widmantäten.

Aparece como elemento eutectoide de la perlita, formando láminas paralelas, separadas por otras láminas de cementita. En

la estructura global, propia de aceros para herramientas recocidos a temperaturas próximas a 721°C aparece formando la matriz que rodea los globulos de cementita.

Los aceros hipoeutectoides templados, puede aparecer mezclada con la martensita o con los demás elementos de transición formando zonas blandas irregulares o agujas finas, cuando las temperaturas de calentamiento han sido más bajas que la crítica, el tiempo de calentamiento insuficiente o existen interrupciones en el enfriamiento.

3.2 CEMENTITA.

Es un carburo de hierro (Fe_3C). contiene 6.67 % de carbono y 99.3 % de hierro. Es el constituyente más duro y frágil de los aceros al carbono, su dureza es superior a 68 Rockwell C y cristaliza formando un paralelepípedo ortorrómbico de gran tamaño. No se colorea con los reactivos ácidos comunmente usados, sólo con picrato sódico en caliente y los ataques oxidantes al aire. Por su dureza queda en relieve despues del pulido, pudiendose conocer el contorno de los granos o de las láminas por el sombreado que aparece en la iluminación oblicua.

La ferrita y la cementita quedan blancas después del ataque con ácidos, se pueden diferenciar una de otra atacando el acero con picrato sódico en caliente (baño maria) que colorea de oscuro a la cementita, dejando blanca la ferrita. La perlita es coloreada ligeramente, es magnética a temperatura ordinaria, pero pierde su magnetismo a 210°C .

Examinando los aceros con ayuda del microscopio obtenemos :

Como cementita proeutectoide en los aceros de más de 0.90 % de carbono, formando una red que envuelve a los granos de perlita, y también se forman agujas finas que partiendo de la red se dirigen hacia el interior de los cristales en las estructuras en bruto de colada.

Formando parte de la perlita, y en ese caso se llama cementita perlítica o eutectoide, y toma forma de láminillas paralelas separadas por otra de ferrita.

Como cementita globular se presenta en forma de pequeños glóbulos o granos redondos o granos redondos dispersos en la matriz de ferrita, cuando los aceros de 0.9 a 1.4 % de carbono han sufrido a temperaturas próximas a 721°C .

En los aceros hipereutectoides templados, cuando la temperatura alcanzada ha sido superior a A_{c32} pero inferior a A_{cm} o cuando el tiempo de calentamiento no ha sido suficiente, aparece la cementita rodeada de martensita o de otros constituyentes de transición.

Como cementita terciaria, de forma alargada y vermicular (en forma de gusano) en las uniones de los granos de los aceros de bajo contenido de carbono (abajo de 0.025 % de C). En los aceros de mayor contenido de carbono la cementita terciaria se confunde con la eutectoide.

3.3 PERLITA.

Es un constituyente eutectoide formado por capas alternadas de hierro alfa y carburo de hierro Fe_3C (Ferrita y Cementita).

Es de composición química definida que contiene seis partes

de hierro y una de carburo, que corresponde a 13.5 % de Fe_3C y de 86.5 % de Fe. Tiene una resistencia de 113,792 lb/pulg.² y un alargamiento de 15 % aproximadamente. La perlita aparece en el enfriamiento lento de la austenita o por transformación isotérmica de la austenita en la zona de 725 a 850 °C.

La ferrita y la cementita que componen la perlita aparecen en formando láminas paralelas y alternativas que tienen reflejos nacarados, por lo que Sorby, en 1864, le dio el nombre de constituyente perlítico. Según la velocidad de enfriamiento, esas aparecen mas o menos separadas, y cuando el enfriamiento ha sido bastante rápido, las laminillas se acercan mucho de forma que en el microscopio, aún con grandes aumentos, no se pueden distinguir. La distancia interlaminar de la perlita se puede clasificarla en :

Perlita Gruesa con separación entre laminillas de 400 micras y dureza de 220 unidades Brinell, que se obtienen por enfriamiento muy lento dentro del horno.

Perlita Normal tiene 350 micras y 220 unidades Brinell de dureza y

Perlita Fina, que se obtiene cuando se enfria dentro del horno bastante rápido o cuando se empieza a enfriar el acero al aire, tiene 250 micras y una dureza de 300 unidades Brinell.

Para observar con claridad las laminillas de la perlita gruesa, suele ser necesario emplear 500 aumentos.

La perlita que se ataca con reactivos ácidos como nital, picral, etc. obscurece más rapido la martensita.

Cada grupo de laminillas paralelas constituyen un cristal de perlita aunque en la composición de los aceros de cerca de la

eutectoide no esta bien definido el contorno de los metales.

Se pueden conocer los límites de cada cristal con cierta facilidad, teniendo en consideración que las laminillas son paralelas.

3.4 AUSTENITA.

Es una solución de carbono en hierro gamma. El porcentaje de carbono es de 0 a 1.7 %, es un constituyente de composición variable. Todos los aceros se encuentran formados por cristales de austenita cuando se calienta a temperaturas inferiores a las críticas Ac_3 o Acm . Es inestable pero, se puede obtener esta estructura por enfriamiento rápido de aceros de alto contenido de carbono o de muy alta aleación.

En los aceros inoxidables al cromo-niquel y los altos en manganeso la austenita se presenta a temperatura ambiente por simple enfriamiento al aire.

En aceros austeníticos de alta aleación se presenta formando cristales poliédricos que difieren de la ferrita, por tener contornos más rectilíneos y ángulos vivos. Su resistencia es de 125,171.2 a 153,619.2 lb/pulg.² aproximadamente, dureza de 300 unidades Brinell y alargamiento de 30 a 60 %.

Es poco magnética, dúctil, blanda y tenaz. Tiene resistencia al desgaste y es el constituyente más denso de los aceros. Aparece en pequeñas cantidades y por lo general con martensita en los aceros aleados, enfriados muy rápido desde alta temperatura, y además es el constituyente fundamental de los aceros al cromo-niquel austeníticos.

La austenita es un hierro gama de caras centradas en el cuerpo y sus átomos ocupan posiciones al azar.

3.5 MARTENSITA.

Es un constituyente típico de los aceros templados. Es una solución sólida sobresaturada de carbono. El porcentaje de carbono va desde pequeñas cantidades hasta 1 % de C y algunas veces en aceros hipereutectoides suelen ser elevadas.

De acuerdo a su composición, sus propiedades físicas aumentan de acuerdo al contenido de carbono, resistencia y fragilidad, hasta un 0.9 % de carbono como máximo. Es el constituyente más duro después de los carburos y cementita. Su resistencia es de 241,808 a 355,600 lb/pulg.², dureza de 50 a 68 Rockwell C y un alargamiento 0.5 a 2.5 %. Es magnética. Presenta un aspecto acircular en forma de agujas con ángulo de 60 °. Las agujas de martensita sobre un fondo blanco de austenita se obtiene de aceros de alto contenido de carbono y de alta aleación, templados desde alta temperatura. En estos aceros no se consigue la completa transformación de la austenita en martensita, quedando un 30 % de austenita sin transformar. Cuando se logra transformar por completo ya no podemos observarla porque desaparece la estructura blanca de la austenita y si hacemos el temple a temperatura correcta, obtendremos martensita fina de aspecto difuso.

La martensita cristaliza en un sistema tetragonal, su redícula esta formada por un paralelepípedo que difiere muy poco de la estructura cúbica de cuerpo centrado de hierro alfa. Los

causantes de la transformación de la red cúbica de hierro alfa de la martensita son los átomos de carbono, que se transforma en tetragonal, teniendo el paralelepípedo elemental dos lados iguales, y el tercero guarda una relación que varía 1.06 a 1, el porcentaje de carbono baja de 1 % a 0. Calentando a una temperatura entre 50 y 250 °C. La red tetragonal inestable de la martensita se convierte en una red cúbica parecido al hierro alfa, precipitándose el carbono en forma de partículas submicroscópicas pequeñas.

Para establecer la diferencia entre ambas martensitas podemos decir que la red tetragonal obtenida del temple se llama martensita alfa y la red cúbica, obtenida por calentamiento a baja temperatura de la martensita alfa se llama martensita beta.

IV. TRATAMIENTO TERMICO DE ACEROS AL CARBONO.

El objetivo de los tratamientos térmicos en los aceros es el de mejorar las propiedades y características de estos, y consiste en calentar y mantener las piezas o herramientas de aceros a temperaturas adecuadas, en cierto tiempo y enfriarlas en condiciones indicadas. De esta manera se modifica su estructura microscópica, se verifican sus transformaciones físicas y los cambios de composición del metal.

El tiempo y la temperatura son factores principales que se deben fijar de acuerdo con la composición del acero, la forma y tamaño de las piezas y las características que se desean obtener.

Los tratamientos térmicos mas usados son :

4.1 RECOCIDO.

Este nombre es dado a los tratamientos cuyo fin es el de ablandar el acero, otras veces también se desea regenerar su estructura o eliminar tensiones internas mediante calentamientos a temperaturas adecuadas, seguidos de enfriamientos lentos.

4.2 NORMALIZADO.

Consiste en un calentamiento a temperatura ligeramente más elevada que la crítica inferior. Se utiliza piezas que se han sometido a trabajos en caliente, trabajo en frío, enfriamientos irregulares o sobrecalentamientos y para destruir los

efectos de un tratamiento anterior defectuoso. Por medio de este tratamiento se eliminan tensiones y se vuelve uniforme el tamaño de grano del acero. Suele emplearse exclusivamente para aceros de construcción al carbono o de baja aleación.

4.3 TEMPLE.

Tiene por objeto endurecer y aumentar la resistencia de los aceros. Se calienta el acero a una temperatura ligeramente más elevada que la crítica superior y se enfría mas o menos rapido (de acuerdo con el tamaño y composición de la pieza) en agua, aceite, etc. En acero para herramientas se llega a la austenización incompleta

4.4 REVENIDO.

Es un tratamiento térmico que se aplica a las piezas de acero que han sido previamente templadas. Calentando a una temperatura inferior a la crítica A_{c1} , disminuye la dureza y la resistencia de los aceros templados, las tensiones se eliminan y su tenacidad mejora, el acero queda con dureza o resistencia deseadas.

4.5 TRATAMIENTOS ISOTERMICOS.

En estos tratamientos el enfriamiento de las piezas no se hace de forma regular progresiva, se interrumpe o modifica a diversas temperaturas durante ciertos intervalos en los que el

material permanece a temperatura constante durante algún tiempo, depende de la composición del acero, de la masa y de los resultados que se deseen obtener. Se utiliza para el temple de troqueles, herramientas, engranajes, muelles, etc. Se obtiene gran tenacidad, pocas deformaciones y se elimina el peligro de grietas o roturas. También se emplea un tratamiento de este tipo llamado recocido isotérmico, para ablandar el acero.

4.6 RECOCIDOS ISOTERMICOS.

Son tratamientos de ablandamiento que consiste en calentar el acero por encima de la temperatura crítica superior o inferior según los casos (por lo general 740 y 880 °C) y posteriormente enfriar entre 600 a 700 °C, manteniendo constante por varias horas, para obtener una transformación isotérmica completa de la austenita y finalmente, enfriarla al aire. El calentamiento se hace con austenización completa en los aceros hipoeutectoides y austenización incompleta en los aceros hipereutectoides.

4.7 TEMPLE SUPERFICIAL.

El calentamiento se hace por llama o por corrientes inducidas de alta frecuencia, podemos regular la profundidad del calentamiento en ambos casos y con esto la penetración de la dureza. Cuando se obtiene la temperatura de temple, se enfría la pieza por lo general en agua. Tratamientos en los que hay cambios de composición : Se considerarán importantes el tiempo y la

temperatura, en este tipo de tratamiento se debe tomar en cuenta el medio y la atmósfera que rodea al metal durante el calentamiento. Se utiliza este tratamiento para dar a las piezas dureza superficial para resistir el desgaste y buena tenacidad en el núcleo.

Los tratamientos que pertenecen a este grupo son :

- a) Cementación.- Aumenta el porcentaje de carbono en la zona periférica de las piezas. Por medio de temple y revenidos se obtiene una gran dureza superficial. En este tratamiento térmico el acero absorbe carbono y nitrógeno de la zona superficial, quedando esta zona muy dura después del temple final.
- b) Sulfurización.- Este tratamiento térmico se da en los aceros a 565 °C aproximadamente, en un baño de sales de composición especial, mejora su resistencia al desgaste dada por la incorporación de azufre a la superficie de las piezas de acero sin que esto aumente su dureza.
- c) Nitruración.- Es un tratamiento que da endurecimiento superficial a baja temperatura. Las piezas son templadas, revenidas y calentadas a 500 °C en contacto con una corriente de amoníaco, son introducidas en una caja de nitrurar, absorben el nitrógeno, y se forma una capa periférica de nitruros con gran dureza.

V. PRINCIPIOS DE SOLDADURA.

La soldadura se define como la unión localizada de metal que se produce mediante un calentamiento a temperatura conveniente con aplicación de presión o sin ella, y con el uso de relleno o sin el.

El metal de relleno puede tener el mismo punto de fusión que los metales base (como en la soldadura de arco o gas), o puede tener un punto de fusión inferior pero arriba de 426.6°C (como en la soldadura fuerte). Según esta definición es diferente de la unión mecánica de la soldadura y de la ligazón adhesiva. El limite de 426.6°C diferencia a la soldadura fuerte de la suave, la cual no se analiza. La definición incluye 34 procesos diferentes que se presentan en 6 categorías generales; soldadura fuerte, soldadura de estado sólido, y " otros " procesos. Los primeros cuatro son importantes para la industria.

La base de diseñar ranuras de soldadura es la de proveer una forma de tamaño o abertura que produzcan un depósito correcto del metal de relleno, en condiciones especificadas, con economía máxima.

Para otros tipos de procesos de soldadura que emplean metales de relleno, las dimensiones pueden ser distintas tal es el caso de la soldadura de arco sumergido en la que hay una mayor entrada de energía y es posible la penetración de más profunda por lo que se requieren ranuras mas pequeñas para soldar.

VI. PROCESOS DE SOLDADURA.

La soldadura por fusión, constituye un proceso térmico de unión en el cuál los rebordes de las piezas a soldar se funden y se unen, con o sin la ayuda de material de relleno. La manera en que los cristales o granos de metal, adquieren sus formas al solidificar y dependen del ritmo con que el metal fundido pierde calor.

La pérdida de calor se tiene cuando el metal llega a la temperatura de solidificación, se forman núcleos que contienen grupos de los dos o tres átomos. Si en la superficie se tiene una pérdida periférica del metal. A medida que tiene lugar el posterior enfriamiento, otras moléculas se unen a dichos núcleos, hasta llegar a adquirir el tamaño de su grano. Estos granos se desarrollan en columnas hacia adentro, a la vez que se unen en la periferia, formandose de esta forma granos columnares.

La pérdida lenta de calor se da cuando la superficie del metal se aísla de manera adecuada, la masa del metal se enfría a ritmo lento. Los núcleos se distribuyen al azar en la parte fundida. A medida que los granos se desarrollan, chocan entre sí en todas direcciones, y forman granos equiaxiales. La primera formación cristalina tiene un efecto profundo sobre la fuerza de la soldadura.

Los metales unidos por soldaduras tienen temperaturas que exceden a las aplicadas normalmente en los procesos de tratamiento térmico por esta razón los cambios en estructuras y propiedades, son consecuencia de dichos procesos.

Los metales se manufacturán en laminas, tiras, barras y

secciones por proceso de laminado en caliente o en frío.

Dichos procesos reafinan y orientan el grano, e incrementan en buena medida la resistencia del material. En un metal laminado frío se produce la distorsión y dislocación del grano en los planos de deslizamiento, con un endurecimiento por deformación asociado.

Los procesos de soldadura recocen el material, reducen su resistencia debido a la aplicación de temperaturas altas, que dan lugar a un crecimiento masivo del grano, a menos que el metal tenga la masa suficiente para eliminar el calor de la zona de soldadura.

Si el material es laminado en frío antes de su fabricación y soldadura, los cristales distorsionados tienen esfuerzos residuales internos, esto precipita la recristalización a temperatura inferior a la normal, formándose núcleos en los puntos de esfuerzo. Estos núcleos atraen grupos de átomos y crecen en tamaño. Cuanto más elevada es la temperatura del metal, y más tiempo se mantiene a esta temperatura, mayor será la emigración de átomos hacia los núcleos, y mayores los granos que así irán creciendo. Los granos adyacentes tenderán a reunirse para formar nuevos granos grandes. Si el metal puede enfriarse antes de que sea excesiva la emigración de moléculas hacia los núcleos, se formarán granos, se mejora la resistencia del metal y la soldadura. Por este motivo se debe aplicar la soldadura lo más rápido posible, para evitar el sobrecalentamiento del metal a soldar, con lo que se logra una fusión y penetración completa.

6.1 SOLDADURA POR ARCO ELCTRICO.

Para tener el arco estable y consistente, se tienen substancias químicas en el recubrimiento del electrodo, que ayuda a estabilizar y dirigir el arco, también sirve para proteger el metal de aporte fundido.

En la Máquina seleccionamos el amperaje adecuado para fundir el electrodo de acuerdo al diámetro de varilla de este.

6.2 METALES DE APORTE.

Los metales de aporte se clasifican de acuerdo a las especificaciones de la A. W. S. - A. S. T. M. (American Welding Society - American Society for Testing Materials). El desarrollo de los electrodos recubiertos con fundentes, que producen soldaduras con propiedades físicas que sobrepasan las del metal base, esto ha hecho que la soldadura de arco sea el proceso más generalizado.

Anteriormente no se tenía un electrodo recubierto, los gases que rodean la soldadura de alta temperatura formaban óxidos y nitruros en el metal de soldadura . Los óxidos , tienen baja resistencia a la tensión y baja ductilidad, lo que reduce las propiedades del metal base. Los materiales de los electrodos recubiertos limpian, desoxidan el crater fundido. Cuando se funde el recubrimiento, se libera una atmósfera gaseosa inerte, protege el extremo fundido del electrodo y a la vez el charco de soldadura. Dicha atmósfera impide al oxígeno y al nitrógeno ponerse en contacto con la soldadura. El residuo de recubri---

miento quemado forma una escoria que cubre el metal depositado. Esta escoria hace mas lento el enfriamiento lo que permite a la soldadura ser más dúctil. El recubrimiento mejora el aspecto de la soldadura, mantiene el salto de arco, regula la profundidad de penetración, reduce el chisporroteo, mejora la calidad de la soldadura a los rayos x, y a veces agrega agentes de aleación al metal de soldadura, o restaura elementos perdidos. La escoria que deja el recubrimiento protege al cordón de soldadura y le da forma. Se agrega hierro pulverizado al recubrimiento de muchos electrodos de tipo básico.

En el intenso calor del arco, el polvo de hierro se convierte en acero, y aporta metal al deposito de soldadura.

A medida que se agrega hierro pulverizado en cantidades relativamente grandes aumenta la velocidad de aplicación de la soldadura, y mejora el aspecto de ésta. El recubrimiento sirve de aislante al alambre que constituye el nucleo del electrodo. Afecta a la longitud de arco y al voltaje de trabajo, y controla la posición en que se aplica la soldadura.

La composición del recubrimiento del electrodo es muy im---portante y depende y depende de la mezcla de los ingredientes indicados. El recubrimiento debe tener un punto de fusión más bajo que el alambre del nucleo o del metal base.

La escoria que resulta debe tener una densidad más baja, para que pueda ser expulsada con rapidez y completamente por el metal de soldadura cuando se enfria éste. Cuando se solda hacia arriba o en vértical, la escoria debe solidificar rapidadamente, para que ayude a sostener el metal fundido contra la fuerza de gravedad.

Las diferencias en las características operacionales de un electrodo pueden atribuirse al recubrimiento. El alambre que esta en el nucleo proviene de la misma existencia que el alambre.

Para electrodos de la serie E-60XX, el alambre del nucleo es de acero al carbono SAE 1010, con 0.05 a 0.15 % de carbono.

Para clasificar un electrodo de acero al carbono de acuerdo con A. W. S. - A. S. T. M. se forma una serie de 4 o 5 digitos que llevan consigo como prefijo la letra " E ", la cuál indica la aplicación de soldadura electrica, los dos o tres primeros digitos multiplicados por 1000 indican la resistencia mínima a la tensión del metal depositado, el siguiente número indica la posición en que se va a soldar y el último indica el suministro de energía, tipo de escoria, tipo de arco, la penetración y la presencia de polvo de hierro. Algunos de los electrodos son para corriente directa y otros para corriente alterna. Algunos electrodos de corriente directa son para polaridad directa y otros para polaridad inversa.

Los electrodos A. W. S. E-7018 son de bajo hidrógeno, y su recubrimiento tiene 30 % de hierro pulverizado. Al igual que electrodos E-7016, trabajan con c.d. o c.a. de polaridad inversa.

Tienen todas las características de los electrodos de bajo hidrógeno, los que producen soldaduras sólidas y confiables en aceros difíciles, tales como los de alto contenido de azufre, alto contenido de carbono, y bajo contenido de elementos de aleación. Su recubrimiento ligeramente más grueso y con contenido de hierro pulverizado, los hace más fácil de usar que los

otros tipos debajo hidrógeno.

Los minerales de los recubrimientos de los electrodos de bajo hidrógeno estan limitados a compuestos inorgánicos como el fluoruro de calcio, carbonato de calcio, silicato de magnesio y aluminio, las aleaciones ferrosas y los agentes aglutinantes como los silicatos de sodio y potasio. Estos electrodos se llaman de calcio o ferríticos, a causa del uso general de los recubrimientos preparados a base de cal (la cal es un producto de descomposición de compuestos tales como carbonato de calcio)

Como el recubrimiento de los electrodos es de mayor espesor que lo normal, la soldadura vertical y hacia arriba se ven limitadas a los electrodos de diámetro pequeño E-6010 de tamaño correspondiente.

Las propiedades mecánicas (inclusive la resistencia al impacto) de los electrodos de bajo hidrógeno son superiores a los electrodos E-6010 que depositan el metal de soldadura de composición similar.

El empleo de los electrodos de bajo hidrógeno reducen el precalentamiento y el poscalentamiento de las soldaduras, dando lugar así a mejores condiciones de aplicación de la soldadura y a costos menores o nulos de precalentamiento.

6.3 ASPECTOS METALURGICOS DE LA SOLDADURA.

En la soldadura, el metal fundido solidifica en segundos, la de metal rara vez excede a una pulgada cúbica. La fuente de calor y el charco de metal fundido tiene una temperatura considerablemente más elevada que la de los hornos de fusión. Como se

enfria rápido el charco de soldadura, no se completan las reacciones químicas que empiezan en el metal fundido y la escoria.

El charco de soldadura se enfria debido a la abstracción de calor hacia la atmósfera ambiente y se solidifica el metal.

Los granos aparecen en la línea de fusión donde la temperatura es baja, aumenta de tamaño y se presionan entre ellos, esto hace su crecimiento diferente. Los granos en su crecimiento empujan hacia afuera a las inclusiones no metálicas, sobre la soldadura.

Por esta razón cuando se solda hacia arriba, la escoria no aparece flotando hacia la raíz del cordón sino en la superficie de la soldadura.

La solidificación uniforme del charco se altera al hacerse pasadas subsecuentes (se efectuá la refusión del metal). De estos resultan bolsas de metal fundido que retrasan el crecimiento los granos. En estos lugares puede haber inclusiones de escoria. La estructura del metal de soldadura del metal de soldadura y la solidificación del charco mantiene la relación entre el ancho de la soldadura y su profundidad de penetración.

Si esta relación en la ranura de la soldadura es menor, las últimas bolsas de metal fundido se encontrarán en el centro de la sección transversal de la soldadura, dando como resultado la acumulación de escoria, gas y otras cosas semejantes.

Cuando la ranura es más ancha que profunda, las últimas bolsas que se forman estan en la parte media de la soldadura y se eliminan todas sus impurezas.

En la porción del metal base adyacente a la soldadura la estructura es afectada por calor.

En la zona de fusión incompleta el metal se calienta hasta

una temperatura elevada y se forman granos gruesos, en la siguiente zona disminuye la temperatura y la magnitud del sobrecalentamiento y por ende el tamaño de grano. En la zona de normalizado el grano es fino, debido a que el tiempo de calentamiento no es largo para producir el crecimiento de los granos austeníticos y en el enfriamiento se expulsan los granos finos de perlita y ferrita. La siguiente zona es de recristalización incompleta, los granos de perlita se descomponen en granos mas finos. En esta zona los granos deformados se recuperán. Las alteraciones que tienen lugar en la zona afectada por el calor varían con el contenido de carbono y los elementos de aleación de un acero. La temperatura hace que varíen la estructura y propiedades mecánicas del material en la zona afectada por el calor.

En la zona normalizada, el metal de soldadura puede ser superior al metal base. En la zona sobrecalentada, el metal pierde su ductilidad y en especial su resistencia al impacto. La zona afectada por el calor muestra cambios de dureza, como en el caso de aceros sensibles a tratamientos térmicos. Cuando se incrementa la soldadura aumenta la fragilidad y aumenta su ductilidad.

Se debe tener en cuenta que al soldar aceros simples de bajo contenido de carbono, los cambios estructurales se dan en la zona cercana a la soldadura sin afectar sensiblemente la resistencia de las piezas.

El tratamiento de poscalentamiento de una junta o parte soldada consiste en un calentamiento de relevado de esfuerzos. Este relevado se efectuá entre 593.3 y 648.8 °C o temperaturas mayores,

haciendo el calentamiento sin tener deformación. El relevado de esfuerzos se hace respecto a las características del material. La estructura o partes de ésta deben mantenerse a una temperatura durante una hora por pulgada de espesor y se deja enfriar a temperatura superior a 600 °C.

El código A. S. M. E. permite hacer el relevado de esfuerzos en juntas soldadas de tuberías, el ancho de franja debe ser 3 veces más grande que la zona más ancha de la zona de soldadura pero no menor de 2 veces el ancho de esfuerzo de soldadura.

En la parte soldada puede haber esfuerzos de concentración y un poco de deformación permanente, tanto a temperaturas bajas como altas. La deformación permanente debajo de 850 °C se presenta en las líneas de deslizamiento de la estructura. Los planos de deslizamiento se forman en los granos de acero y ocasionan movimientos entre unos y otros.

El deslizamiento debido a la deformación permanente se efectúa de la misma manera, los planos de deslizamiento, los planos de deslizamiento se enderezan rápidamente y pierden la curvatura asociada con el deslizamiento.

La estructura soldada sometida a un relevado de esfuerzos, tiene esfuerzos de contracción, de tensión y compresión en todas magnitudes hasta la resistencia de fluencia y cristales trabajados en frío con líneas de deslizamiento.

La recuperación es un efecto que se presenta al elevar la temperatura para un tratamiento de relevado de esfuerzos. La temperatura se mantiene homogénea en todo momento dentro de la estructura para prevenir la presencia de efectos térmicos hasta una temperatura de 204.4 °C, no se presenta cambio apreciable en la es-

estructura de los granos y disminuyen los esfuerzos un poco. En metales como plomo y estaño, los esfuerzos internos desaparecen hasta una temperatura ambiente.

Esta recuperación presenta cambios en las propiedades mecánicas o eléctricas. La mayor liberación de esfuerzo es en la primera hora. Cuando se eleva la temperatura a más de 537.7°C , se tiene un relajamiento y se alivian los esfuerzos rápido, la resistencia a corto plazo es una fracción de la resistencia a la fluencia en medio ambiente. Los átomos no soportan más esfuerzo, se juntan en posiciones equidistantes y pasan a posiciones no ocupadas por átomos sometidos a esfuerzos. La temperatura hace que la resistencia a la fluencia disminuya, el material fluye plásticamente hasta reducir el esfuerzo a la resistencia de fluencia del metal a 533.7°C .

El esfuerzo disminuye cuando los átomos dejan de ceder. El acero puede soportar el esfuerzo hasta un valor de fluencia en forma indefinida a temperatura ambiente. Los átomos se mueven continuamente bajo todos los esfuerzos, es lento y pequeño que dura cientos de años a temperatura ambiente. A 537.7°C aumenta el movimiento de los átomos, y abarca movimientos indeterminados en los contornos de los cristales.

Ambos movimientos como fluencia o movimiento plástico del metal dan mayor relevado o alivio de esfuerzos.

Las deformaciones por relajamiento o relevado de esfuerzos en una estructura soldada, se dificultan para calcular, por lo general son más pequeños que las deformaciones creadas por maquinado de piezas no revenidas, ya que el maquinado posterior de la solda elimina el material de mayores esfuerzos.

El tamaño de grano no influye en el relevado de esfuerzos a 537.7 °C. Si es más elevado el esfuerzo inicial de contracción mayor será el esfuerzo de relevado a temperatura y tiempo dado. Causado por el incremento progresivo de la resistencia y lleva consigo la liberación de esfuerzos que robustece los cristales.

Las estructuras para aceros diseñados en resistencia al movimiento plástico a temperaturas elevadas (creep), presenta relajamiento con menor rapidez a la del acero. Los aceros resistentes al movimiento plástico, son los de 0.2 a 0.5 % de molibdeno, requieren de elevada temperatura, de un tiempo prolongado a temperatura constante, en cualquier grado de relevado de esfuerzos que para un acero no aleado.

El segundo cordón de soldadura presenta los esfuerzos de contracción del cordón subyacente, y crea nuevos esfuerzos de contracción. Las soldaduras de varios pasos tienen esfuerzos de contracción no menos que para soldaduras de un solo paso y requiere de un relevado de esfuerzos de la misma magnitud.

La zona afectada por el calor, próxima a soldaduras sin precalentamiento o éste es insuficiente como en los aceros de medio carbono y otros aceros de alta resistencia a la tensión, se enfría más rápido y son de estructura dura.

La dureza de un acero depende de la velocidad y el método de enfriamiento. Si la zona de soldadura estuvo por encima de un punto crítico durante la soldadura, tenía austenita con 10 veces la cantidad de carbono en solución sólida que la soluble a temperatura ambiente.

En el enfriamiento rápido, la mayor parte de la austenita se

transforma en martensita. El carbono presente en la martensita se piensa que ésta en cristales pequeñísimos de carburo de hierro. Se cree que estos átomos dan la dureza de la martensita por compartición en cualquier otro estado del acero.

Al elevar la temperatura la martensita experimenta 3 cambios :
La martensita cambia a ferrita con precipitación de cristales finos de carburos provenientes de la estructura tetragonal sobresaturada.

La estructura de ferrita y carburo se debe a una austenita con enfriamiento rápido.

Los pequeños cristales de carburo de la martensita y los cristales mayores de carburo que hay en los otros elementos constitutivos, como la perlita aumenta de tamaño.

Las temperaturas en las que se presentan los dos primeros cambios no se conocen con exactitud. Para aceros al carbono simples, de 0.7 % de carbono, el primer cambio se da a 148.8°C y el segundo a 232.2°C . Se pueden retener pequeñas cantidades de austenita en enfriamiento rápido de aceros simples al carbono con menos de 0.4 % de este elemento, solo con un control cuidadoso de enfriamiento.

La austenita se retiene con pequeñas cantidades de carbono, sólo se están presentes otros elementos de aleación. El crecimiento de partículas de carbono es homogéneo a medida que aumenta la temperatura.

En la tercera parte del descenso de la dureza en el revenido, el acero martensítico depende de la dispersión fina de partículas de carburo en cada plano de cristal. Se evita el deslizamiento, se eleva la dureza y se reduce la ductilidad.

La dureza del acero después del revenido depende de la temperatura en que se reduce el proceso.

A 93.3°C después de un minuto, la dureza se reduce de 56 a 27 Rockwell C en un acero de 0.35 % de carbono enfriado rápido. La reducción de dureza por la aplicación del tratamiento térmico a un acero con contenido medio de carbono que tenga zonas duras depende del tiempo del tratamiento.

La reducción de dureza y de esfuerzos de contracción se da en los escasos primeros minutos. La dureza en los primeros segundos a 648.8°C se considera la misma, aunque el acero está formado por martensita, bainita o perlita fina.

Con el ablandamiento en el revenido, se eleva la ductilidad como se indica en la prueba de tensión estática, y la disminución en la resistencia a la tensión. Los valores de rotura al impacto con ranura y medida de tenacidad, disminuyen después de revenir de 204.4 a 371.1°C y se elevan los esfuerzos por arriba de 426.6°C .

El revenido es importante tanto en el relevado de esfuerzos de partes soldadas con partes duras como en las soldaduras de varias capas de aceros con porcentaje medio y otros aceros aptos para ser templados.

El cordón uno crea una zona dura, se eleva la temperatura del metal base cerca de la soldadura encima del punto crítico, y dejarlo enfriar rápido. Una zona revenida es más tenaz que una zona que no lo está. Si se aplica el cordón dos después del uno impide que continúe enfriándose antes de que empiece a formar martensita.

La zona dura posiblemente estuvo formada por perlita fina o

baínita, en vez de martensita, con respecto a la distribución de temperatura. Las zonas duras están en cierto grado dentro del control del operador, aunque éste no puede cambiar la composición del metal base.

Durante el proceso de relevado de esfuerzos, las placas se vuelven menos angulares y las partículas de carburo se hacen esféricas.

En cuanto se prolongue el tiempo a la temperatura dada sin exceder el intervalo crítico, más grandes y esféricas se tornan las partículas de carburo.

Un contenido alto de nitrógeno en el metal de soldadura, como en depósitos hechos con electrodos desnudos, está sujeto a fragilización por enfriamiento rápido desde la temperatura de relevado de esfuerzos.

Se evita este enfriamiento rápido para no tener esfuerzos de contracción causados por una distribución no uniforme de la temperatura que se da en cualquier objeto que se enfría rápido.

El relevado local tiene el mismo efecto respecto al ablandamiento de zonas duras. que colocar toda una estructura en un horno, puede no reducir los esfuerzos de contracción. El relevado local de esfuerzos tiene lugar en tuberías de alta presión.

Cuando se eleva la temperatura de la junta a 648.8°C se substituyen esfuerzos de contracción, sin distribución uniforme en los alrededores cercanos de la soldadura, por esfuerzos de reacción con distribución uniforme.

Tiene mucha importancia que la deformación ocurrida en la zona que se ha tratado termicamente durante el enfriamiento, se absorba sin causar agrietamientos y sin perjudicar los soportes.

Casi en todas las estructuras, se impide la aplicación porque las deformaciones de contracción severas son debidas al relevado local de esfuerzos.

En vez de eliminar esfuerzos, el ciclo de calentamiento y enfriamiento local frecuente los intensifica.

El relevado local del tratamiento térmico de cualquier clase es desastroso en aceros austeníticos del tipo 18-8 no estabilizado debido a una zona cercana al área calentada localmente que entra a una temperatura en la cual se da una forma peligrosa de precipitación de carburo.

Para reducir la dureza al máximo y tener una estructura de grano fino uniforme en un acero soldado, se le aplica un recocido completo. Este consiste en calentar a 37.7°C por encima del intervalo crítico de soldadura, es decir, para transformar la austenita en ferrita. En un acero con 0.20 % de carbono la temperatura de recocido completo es de $848.8 + 10^{\circ}\text{C} = 858.8^{\circ}\text{C}$.

Las propiedades mecánicas de la soldadura, dependen de la composición química del depósito de soldadura. Como el metal base y el de aporte se llevan hasta el punto de fusión y se mezclan dentro del crater de soldadura, el análisis final de ésta se relaciona con el análisis del metal base junto con el metal de aporte y la relación entre ambos.

Una velocidad lenta de recorrido, y manteniendo la corriente de arco dirigido sobre el metal depositado, se tiene un mínimo de penetración. Esta se puede reducir a cero, pero no tenemos soldadura alguna.

Por el contrario, la velocidad grande de recorrido, y el arco dirigido sobre el metal de base hacia el depositado resulta una

mayor precipitación.

VII. ZONA AFECTADA POR EL CALOR.

Esta zona abarca desde la línea de fusión hasta la parte de metal base que no ha sido calentada lo suficiente para cambiar su estructura original.

Junto a la línea de fusión se tiene una zona de granos burdos. El metal se ha calentado hasta el punto de fusión y enfriado de manera lenta. Esto da como resultado un crecimiento granular.

Apartir de la soldadura, pasando por una estructura granular burda, los granos se tornan pequeños y en la zona que son finos se llama zona refinada. El metal ha sido calentado hacia la temperatura de transformación en un periodo para recrystalizar y enfriar antes de que el grano haya crecido.

Después de la zona refinada tenemos una zona de transición en la cual algunos granos se recrystalizan y otros no, esto da como resultado una estructura mezclada. Después de la zona afectada no hay transformación y llegamos al metal base.

El metal en la zona afectada por el calor (ZAC) varía en cuanto a estructura y propiedades mecánicas. Esta zona muestra cambios de dureza por ejemplo en aceros sensibles al tratamiento térmico. Cuando se incrementa la dureza, aumenta la fragilidad y se reduce la ductilidad.

En la zona sobrecalentada, la temperatura llega a 815.5°C . El enfriamiento es muy rápido del orden de 200 a $300^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Se produce por crecimiento de grano.

En la zona recocida la temperatura es un poco superior a 900°C . El metal base tiene una estructura granular refinada normalizada. El cambio no es uniforme, el enfriamiento es elevado 170 - $200^{\circ}\text{C}/\text{min}$.

VIII. INTRODUCCION A LAS PROPIEDADES MECANICAS.

Las propiedades físicas de los materiales pueden ser alteradas por los procesos de tratamiento térmico. Considerando la forma en que los materiales pueden ser probados, se pueden obtener las propiedades deseadas durante el procesado.

Las propiedades mecánicas determinan la conducta del material cuando se somete a cargas aplicadas. Estas propiedades son : Esfuerzo, rigidez, plasticidad, dureza y resistencia al desgaste.

La respuesta del material se debe a su composición química y a su estructura cristalina, de la modificación de tal estructura por procesos manipulativos, del tratamiento térmico al que haya sido sometido el material, de la magnitud y modo de aplicación de la fuerza.

Cuando se designa un material a una aplicación determinada o a la conveniencia de un proceso aplicable, se debe tomar cuidado al interpretar los datos correspondientes a las pruebas relativas aplicadas a dicho material.

8.1 PRUEBA DE TENSION.

La resistencia es definida como la capacidad que tiene un material de las fuerzas que le son aplicadas sin ceder o fracturarse. Convencionalmente decimos que la resistencia denota habitualmente la resistencia de un material sometido a una carga estática que se aplica axialmente a la muestra o componente.

La primera definición la aplicamos para resistencia y rigidez pero siendo mas especificos la segunda definición marca la diferen

cia entre ambos.

La tensión es cuando a un material se aplica una carga que tiende a alargarlo. Dicha carga se llama carga de tensión.

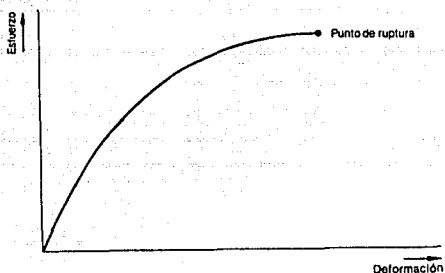


Fig. 8.1 Curva de esfuerzo/ deformación de materiales con baja ductilidad

La carga aplicada y el alargamiento se muestra en la siguiente gráfica.

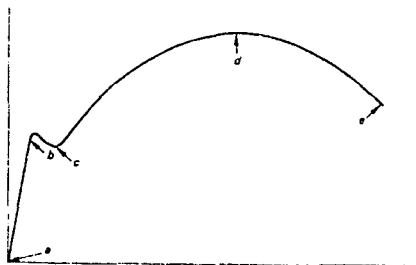


Fig. 8.2 Gráfica de esfuerzo deformación.

Desde a hasta b se muestra la propiedad llamada elasticidad, en este punto el alargamiento es proporcional a la carga y si se deja de aplicar esta muestra regresa a su longitud original.

Desde b y c se dice que el material se ha deformado permanentemente, esto es debido a que existe un alargamiento repentino del material sin que haya existido un aumento de carga. Eliminando este alargamiento el material no regresa a su estado original.

El punto b se llama punto de fluencia. El esfuerzo de fluencia es la carga en b dividida entre el área de sección transversal original de la muestra. Habitualmente se trabaja al 50 % de dicha cifra para lograr un factor de seguridad.

Desde c hasta d se presenta una propiedad llamada plasticidad el alargamiento obtenido ya no es proporcional a la carga.

El punto d se llama punto de esfuerzo último de tensión (EUT) del material, lo obtendremos dividiendo la carga entre el área de sección original de la muestra. Aunque representa un método útil para comparar la resistencia de los materiales, su valor práctico es pequeño, ya que los equipos de ingeniería no operan habitualmente hasta el punto de ruptura. Desde d hasta e la muestra parece que esta alargandose bajo carga reducida, por el contrario la muestra esta edelgazandose, de manera que la carga por unidad de superficie o esfuerzo continua en aumento todavía. La muestra se rompe en el punto e.

$$\text{Esfuerzo} = \frac{\text{Carga Aplicada}}{\text{Area de Sección Transversal Original.}}$$

$$\text{Deformación} = \frac{\text{Aumento de Longitud}}{\text{Longitud Original.}}$$

Además de determinar la resistencia a la tensión de la muestra, la prueba de tensión puede utilizarse para determinar la ductilidad del material. La ductilidad de un material es proporcional al porcentaje de alargamiento de la pieza sometida a prueba en el momento de fracturarse.

$$\% \text{ de alargamiento} = \frac{\text{Aumento de Longitud}}{\text{Longitud Original.}}$$

El aumento de la longitud se determina uniéndose cuidadosamente los trozos de muestra fracturados y se mide la longitud en el momento de la fractura.

$$\text{Aumento de longitud} = \text{Longitud en el momento de la fractura} - \text{La longitud original.}$$

8.2 PRUEBA DE ESFUERZO.

Solo unos materiales son muy dúctiles, tales como el acero suave totalmente recocido, muestra un punto preciso de deformación.

Puede no aparecer este en un acero suave con estirado brillante. En tal caso se utiliza un esfuerzo de prueba.

La gráfica muestra una curva de esfuerzo-deformación de un material de baja ductilidad, tal como un acero al medio carbono endurecido y templado.

En la siguiente gráfica se muestra una línea BC, que es paralela a la parte curva, a partir del punto B. Este punto se toma bajo condiciones especificadas para la prueba.

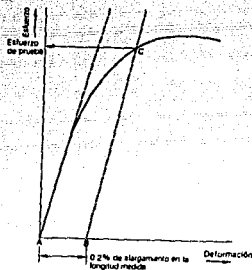


Fig 8.3 Gráfica de 0.2 % de alargamiento.

Si requerimos de un esfuerzo de prueba de 0.2 %, la línea de AB representa la tensión resultante de un alargamiento de 0.2 % de la longitud media de la muestra. El esfuerzo en el punto C será de 0.2 % del esfuerzo de prueba. El material tiene sus especificaciones correctas si después de que se haya aplicado el esfuerzo de prueba por 15 segundos y eliminando, su estado no se eleva arriba de 0.2 % de la longitud media.

8.3 PRUEBA DE IMPACTO.

Si tomamos un trozo de acero al alto carbono, previamente tem-

plada y enfriada, se quebrará con facilidad al ser sometida a una prueba de impacto.

La prueba de impacto consiste en dar un golpe a la muestra con control, midiendo la energía que se absorbe al doblar o quebrar. Es te valor indica la rigidez del material.

Para la prueba de impacto existen dos pruebas estandar :

La prueba Izod.

Para esta prueba se debe tener una muestra en milímetros cuadra dos. El instrumento que golpea choca contra la muestra con una energía cinética de 162.72 J a una velocidad de 3.8 m/s.

La prueba charpy.

En esta prueba la muestra se sujeta con un balancin, el golpe que se da tiene energía cinética de 298.3 J a una velocidad de 5 m/s.

Para ambas pruebas se tiene una muesca en el material, de tal manera que pueda obtenerse información útil en relación con la resistencia que se presenta en el material respecto a la prolongación de la grieta. Esto tiene su origen en un punto de concentración del esfuerzo. e indica la necesidad de eliminar los ángulos agudos, los cortes en la parte inferior, los cambios bruscos de sección, y las marcas que son consecuencia del maquinado en los componentes sujetos a esfuerzos.

8.4 PRUEBA DE DUREZA BRINELL.

La dureza se define como la resistencia que presenta un mate--

rial a ser marcado en su superficie por otro duro. Para la prueba Brinell, se oprime una esfera de acero endurecido sobre la superficie del metal que se esta probando en relación con una carga determinada. El tamaño de la esfera y la amgnitud de la carga están relacionados entr sí. La relación entre la carga y la marca dejada por la esfera viene dada por la fórmula :

$$K = \frac{P}{D^2}$$

P = Carga en kg.

D = Ø del identador en mm.

d = Ø de la marca y varía respecto a k.

K = cte. del material.

K = 30 para materiales ferrosos (acero, etc.).

= 10 para cobre y sus aleaciones.

= 5 para aluminio y sus aleaciones.

= 1 para plomo, estaño, metales blancos y para cojinetes.

EL número de dureza (H_B) se obtiene mediante la fórmula :

$$H_B = \frac{\text{Carga}}{\text{Area de la marca de la esfera.}}$$

8.5 PRUEBA DE DUREZA ROCKWELL.

Aunque no es tan confiable como las pruebas Brinell y Vickers para fines de laboratorio, la prueba Rockwell es utilizada ampliamente en la industria, por fácil y rápida de usar.

El principio de esta prueba se basa en comparar la diferencia en profundidad de penetración entre una carga menor y una mayor.

$$H_R = D_2 - D_1.$$

Donde D_2 es la profundidad de penetración bajo carga mayor. D_1 es la profundidad de penetración bajo una carga menor.

Las condiciones para prueba con escalas habituales de dureza son :

Escala B para materiales suaves : Bola de $\varnothing = 1.6$ mm carga menor (100).

Escala C para materiales duros : Cono de diamante de 120° , carga mayor (150).

La carga menor en ambos casos es de 10 kg.

8.6 TABLAS COMPARATIVAS DE DUREZA.

La mayoría de los fabricantes de máquinas probadoras de dureza publican tablas en las que se tienen cifras de dureza comparativa correspondiente a los distintos métodos de prueba.

Las tablas se deben aplicar con precauciones, debido a que son pruebas realizadas en condiciones diferentes.

La gran esfera marcadora en la prueba Brinell desplaza el metal de la muestra mediante un flujo plástico. La pirámide de diamante con punta aguda de la prueba tiende a abrirse paso por corte de la muestra.

La prueba Rockwell utiliza un marcador cónico, y mide el cambio en la profundidad de penetración al cambiar la carga.

IX. PARTE EXPERIMENTAL.

- FORMA DE PREPARAR CADA MUESTRA.**
- METALOGRAFIAS.**
- ENSAYO DE DUREZA.**
- MUESTRAS PARA PRUEBA DE TENSION.**

En esta parte se vera como se va a desrrollar el trabajo de manera práctica.

Para cada una de las muestras se va a ser lo mismo, bajo las condiciones que se mencionan más adelante.

IX. PARTE EXPERIMENTAL.

En el proceso de soldadura por arco eléctrico, el material base sufre un efecto de alta temperatura por conducción dentro del mismo. Estos no hacen determinar las pérdidas en las propiedades físicas y mecánicas que se presentan durante el proceso.

9.1 FORMA DE PREPARAR LAS MUESTRAS.

El material utilizado para la parte experimental es de clasificación A. S. T. M. A-36 y se prepara de la siguiente manera :

- a) Se cortan dos tramos de material para formar un ángulo de 30° por un extremo.
- b) Se juntan los tramos para formar un ángulo de 60° entre ellos y se procede a soldarlas con un electrodo para arco eléctrico clasificación A. W. S. E-7018.
- c) Se deja enfriar la placa y se cortan dos muestras transversales.
- d) Una muestra es para prueba de tensión, se maquina para darle el espesor y los radios indicados. Los radios evitan la concentración de esfuerzos.
- e) La otra muestra sirve para ensayo de dureza y metalografía, a esta se le cortan los extremos para trabajarlas con facilidad.
- f) Después cortamos la placa a lo largo de la soldadura, se vuelven a maquinar los tramos hasta la zona afectada por el calor.
- g) Nuevamente se soldan y se cortan las siguientes muestras una vez que se enfria la placa.

- h) Se corta la placa a lo largo de la soldadura, se maquinan los tramos, y así sucesivamente hasta obtener los resultados requeridos.

9.2 METALOGRAFIAS.

Esta se practica a cada una de las muestras obtenidas de cada evento de soldadura, a 180 grados una de otra.

Las muestras ya cortadas por los extremos se preparan para metalografía de la siguiente manera.

- a) Con lija 180 se desbasta en un sentido.
- b) Con lija 200, haciendo un giro se eliminan las líneas del desbaste anterior.
- c) Se vuelve a girar la muestra y se desbasta con lija 320.
- d) Se hace un giro a la muestra cada vez que se desbasta con las siguientes lijas 400, 600, 800, 1000 y por último lija 1200.
- e) Cada vez que se desbasta se deben quitar las líneas anteriores.
- f) Con alumina se pule hasta dejarla como espejo, esto se logra en una base giratoria para pulido mecánico, con agua y algodón se retirarán los residuos de ésta.
- g) Posteriormente se humedece un algodón con nital al 4 %. se atacan las muestras hasta sombrearlas, para el revelado de la microestructura.
- h) Se enjuagan las muestras con agua y se secan para detener el ataque.
- i) Se le aplica un poco de alcohol para quitar los residuos de

agua, evita la corrosión y se secan.

- j) Por último, las muestras se observan al microscopio y se determinan las zonas en las que se dividen.

Zona de Soldadura

Zona Afectada por el Calor

Zona de Metal Base.

y se toman las fotografías de cada una de las zonas afectadas por el calor. Las fotografías para soldadura y metal base son las mismas para cada evento de soldadura y se toman como patrón.

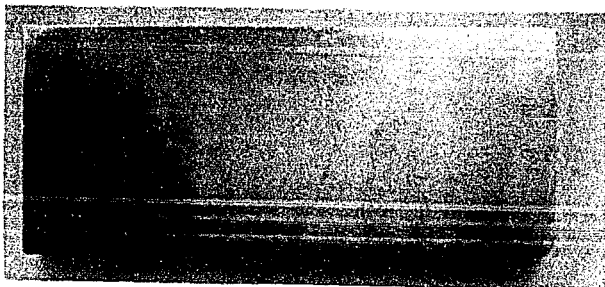


Fig. 9.1 Probeta para metalografía.

9.3 ENSAYO DE DUREZA.

Este ensayo se le practica a cada una de las ocho muestras obtenidas de cada evento de soldadura, con escala Rockwell B con carga de 100 kilogramos y posteriormente se transformó a escala de dureza Brinell, de la siguiente manera :

Primero se tomarón lecturas de dureza desde el centro de la muestra, que es la zona de soldadura, hacia la derecha.

Las siguientes lecturas se tomarón en la zona afectada por el calor.

y las últimas lecturas se tomarón en el metal base.

Estos se grafican, estas gráficas están en la parte de resultados.

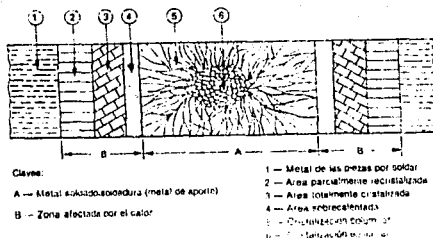


Fig. 1.8. Característica de una unión soldada en corte transversal.

Fig. 9.2 Zonas en las que se toman las lecturas de dureza.

9.4 MUESTRAS PARA PRUEBA DE TENSION.

Una vez maquinadas las muestras para prueba de tensión, estas se colocan en la base portamuestras de la máquina Tinius Olsen (Fig. 9.3).

La carga que se aplica a las muestras para hacer el ensayo es de 24,000 libras y se procede a tomar las lecturas de resistencia a la tensión que tiene cada muestra.

Se checa la elongación de cada muestra después de la prueba y los resultados obtenidos se grafican para saber el comportamiento del material despues de cada evento de soldadura.



Fig.9.3 Probetas con ensayo de tensión.

X. RESULTADOS.

Se tomarón 140 lecturas de dureza distribuidas en las ocho muestras de la siguiente forma :

LECTURAS EN LA SOLDADURA	51
LECTURAS EN LA Z. A. C.	35
LECTURAS EN EL METAL BASE	<u>54</u>
	140 LECTURAS

ENSAYOS DE TENSION	9
--------------------	---

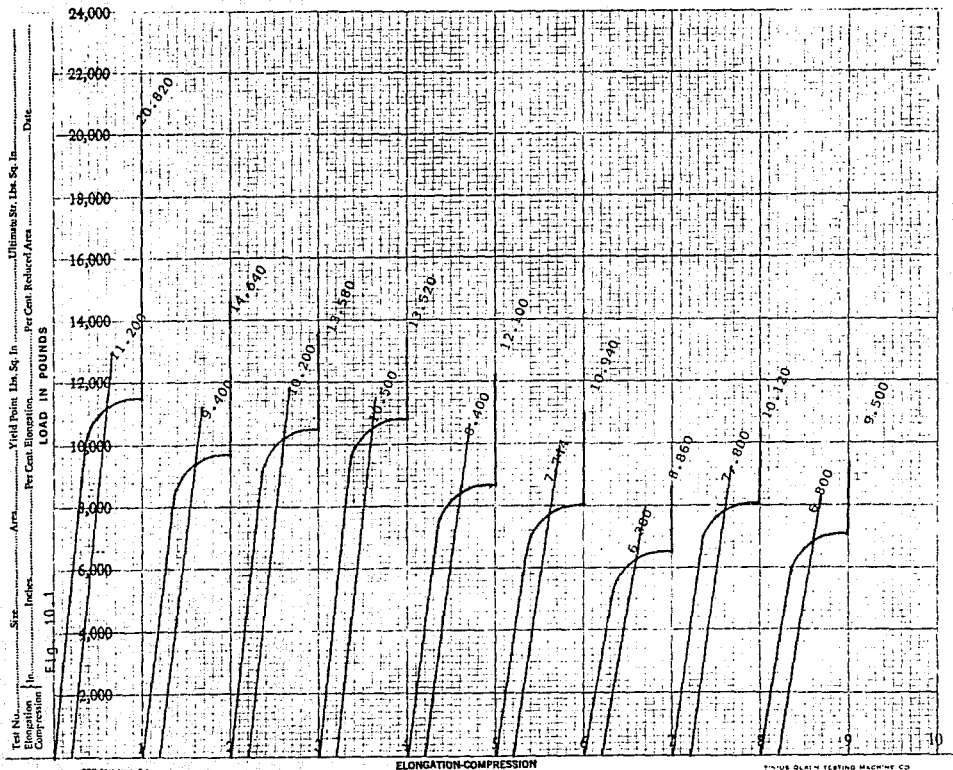
METALOGRAFIAS	8
---------------	---

GRAFICAS DE DUREZA

GRAFICAS DE RESISTENCIA A LA TENSION

GRAFICAS DE LIMITE ELASTICO

FOTOGRAFIAS DE MICROESTRUCTURAS OBSERVADAS EN CADA ZONA



MUESTRA # 1.

Carga Máxima = 14,640 lb.

% Elongación = 26 %.

Ancho = 12.5 mm $\frac{1 \text{ pulg.}}{25.4 \text{ mm}}$ = 0.492 pulg.

Espesor = 9 mm $\frac{1 \text{ pulg.}}{25.4 \text{ mm}}$ = 0.354 pulg.

Area de Sección Transversal $_1$ = Ancho x Espesor = 0.174 pulg.²

R. T. $_1$ = $\frac{\text{Carga Máxima}}{\text{Area Sec. Transv.}_1}$ = $\frac{14,640 \text{ lb}}{0.174 \text{ pulg.}^2}$ = 83,456 lb/pulg.²

L. E. $_1$ = $\frac{\text{Carga}}{\text{Area Sec. Transv.}_1}$ = $\frac{9,400 \text{ lb}}{0.174 \text{ pulg.}^2}$ = 53,906.69 lb/pulg.²

MUESTRA # 2.

Carga Máxima = 13,520 lb.

% Elongación = 20 %.

Ancho = 13.4 mm = 0.527 pulg.

Espesor = 8.25 mm = 0.324 pulg.

Area de Sección Transversal $_2$ = 0.1713 pulg.²

R. T. $_2$ = $\frac{C. M.}{A. S. T. _2}$ = 79,276 lb/pulg.²

L. E. $_2$ = $\frac{C}{A. S. T. _2}$ = 59,544.65 lb/pulg.²

MUESTRA # 3.

Carga Máxima = 13,520 lb.

% Elongación = 20 %.

Ancho = 12 mm = 0.4724 pulg.

Espesor = 9 mm = 0.354 pulg.

Area de Sección Transversal $_3$ = 0.1672 pulg.²

$$R. T. _3 = \frac{13,520}{0.1672} = 80,839.92 \text{ lb/pulg.}^2$$

$$L. E. _3 = \frac{10,500}{0.1672} = 62,782.48 \text{ lb/pulg.}^2$$

MUESTRA # 4.

Carga Máxima = 12,100 lb.

% Elongación = 21 %.

Ancho = 10.9 mm = 0.429 pulg.

Espesor = 8.87 mm = 0.349 pulg.

Area de Sección Transversal $_4 = 0.149 \text{ pulg.}^2$

$$R. T. _4 = \frac{12,100}{0.149} = 80,774.36 \text{ lb/pulg.}^2$$

$$L. E. _4 = \frac{8,400}{0.149} = 56,074.76 \text{ lb/pulg.}^2$$

MUESTRA # 5.

Carga Máxima = 10,940 lb.

% Elongación = 15 %.

Ancho = 11.5 mm = 0.452 pulg.

Espesor = 7.5 mm = 0.295 pulg.

Area de Sección Transversal $_5 = 0.133 \text{ pulg.}^2$

$$R. T. _5 = \frac{10,940}{0.133} = 81,886.22 \text{ lb/pulg.}^2$$

$$L. E. _5 = \frac{7,744.06}{0.133} = 58,226.08 \text{ lb/pulg.}^2$$

MUESTRA # 6.

Carga Máxima = 8,860 lb.

% Elongación = 19 %.

Ancho = 14 mm = 0.551 pulg.

Espesor = 6 mm = 0.236 pulg.

Area de Sección Transversal $_6 = 0.130 \text{ pulg.}^2$.

R. T. $_6 = \frac{8,860}{0.130} = 68,101.46 \text{ lb/pulg.}^2$

L. E. $_6 = \frac{6,300}{0.130} = 48,424.28 \text{ lb/pulg.}^2$

MUESTRA # 7.

Carga Máxima = 10,120 lb.

% Elongación = 20 %.

Ancho = 11.5 mm = 0.452 pulg.

Espesor = 8.0 mm = 0.314 pulg.

Area de Sección Transversal $_7 = 0.142 \text{ pulg.}^2$

R. T. $_7 = \frac{10,120}{0.142} = 71,017.54 \text{ lb/pulg.}^2$

L. E. $_7 = \frac{7,800}{0.142} = 54,929.57 \text{ lb/pulg.}^2$

MUESTRA # 8.

Carga Máxima = 9,500 lb.

% Elongación = 20 %.

Ancho = 11.5 mm = 0.452 pulg.

Espesor = 8.0 mm = 0.314 pulg.

Area de Sección Transversal $_8 = 0.142 \text{ pulg.}^2$

R. T. $_8 = \frac{9,500}{0.142} = 66,666.66 \text{ lb/pulg.}^2$

L. E. $_8 = \frac{6,800}{0.142} = 47,719.29 \text{ lb/pulg.}^2$

Probeta Original.

Carga Máxima = 20,820 lb.

% Elongación = 12 %.

Ancho = 13.2 mm = 0.5196 pulg.

Espesor = 8.75 mm = 0.3444 pulg.

Area de Sección Transversal Original = 0.1789 pulg.²

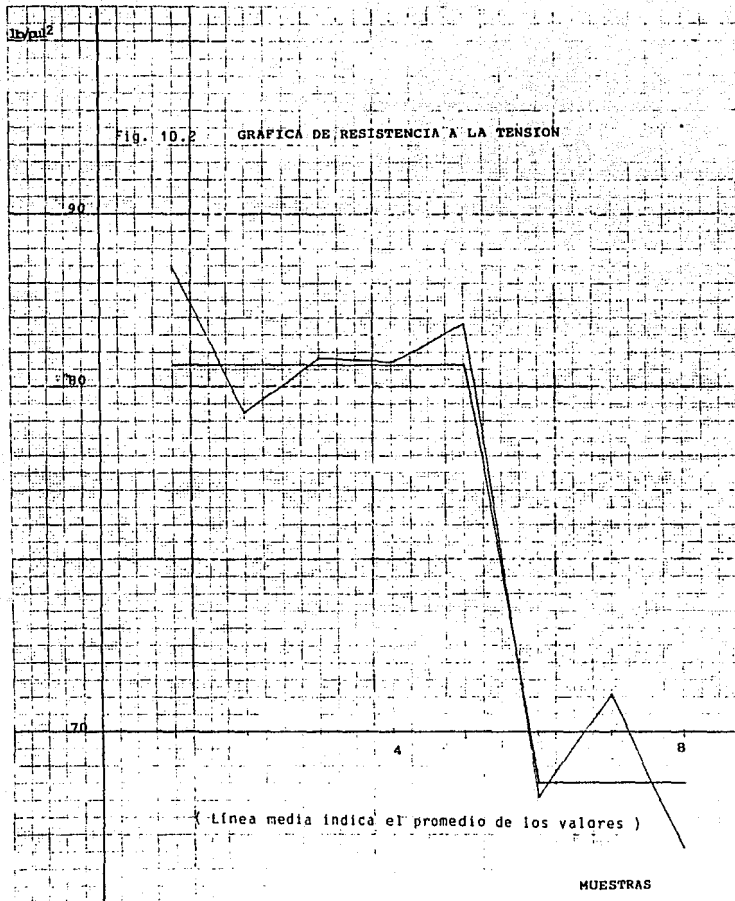
R. T. original = $\frac{20,820}{0.1789}$ = 116,315.407 lb/pulg.²

L. E. original = $\frac{11,200}{0.1789}$ = 60,604.80 lb/pulg.²

MEDIA PROMEDIO DE LOS VALORES R. T. y L. E.

R. T.	(lb/pulg. ²)	L. E.
1.- 83,456.00		53,906.59
2.- 79,276.00		59,544.65
3.- 80,744.92		62,782.48
4.- 80,886.22		56,074.76
5.- <u>81,886.22</u>		<u>58,226.08</u>
80,640.50	Promedio	58,106.91

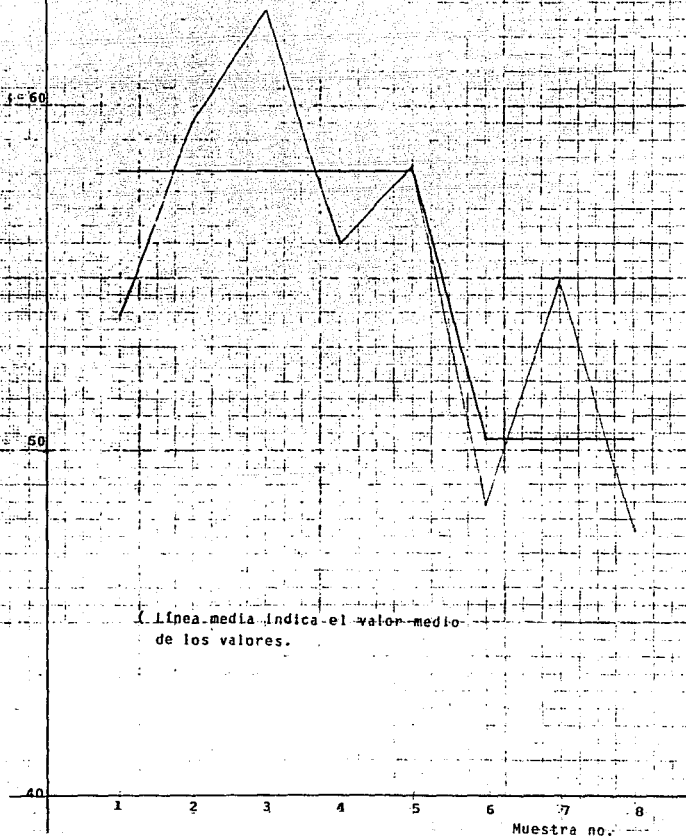
R. T.	(lb/pulg. ²)	L. E.
6.- 68,101.46		48,424.28
7.- 71,017.54		54,929.57
8.- <u>66,666.66</u>		<u>47,719.29</u>
68,595.22	Promedio	50,357.71



lb/pulg²

Fig. 10.3

GRAFICA DE LIMITE ELASTICO



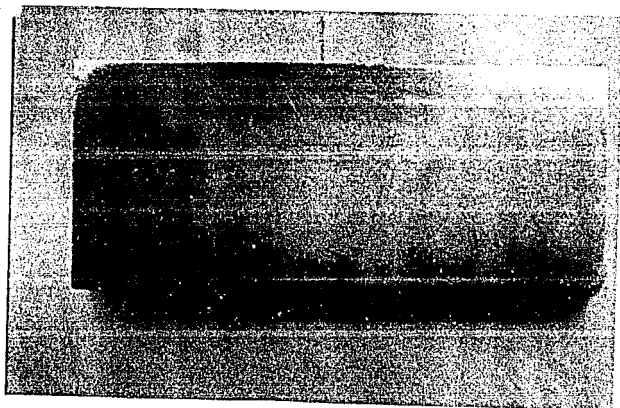


FIG. # 10.4, MUESTRA NUMERO UNO, PANORAMICA DE LAS ZONAS PRESENTES EN CAMPO.

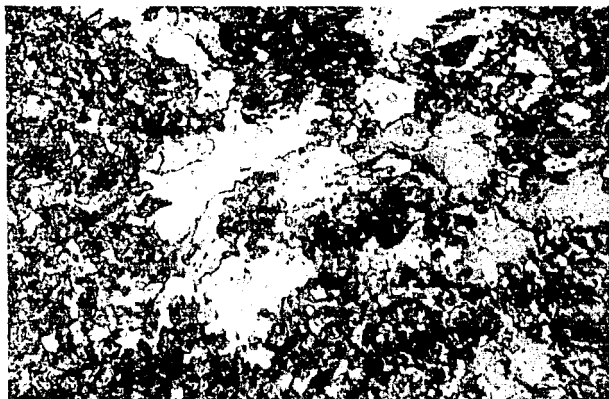


FIG. 10.5, METALOGRAFIA EN EL METAL BASE A 1500 X, ESTRUCTURA DE FERRITA Y PERLITA LAMINAR.



FIG. 10.6, METALOGRAFIA EN LA SOLDADURA A 1500 X, ESTRUCTURA DE MATRIZ FERRITICA EN FORMA DE DENDRITAS.

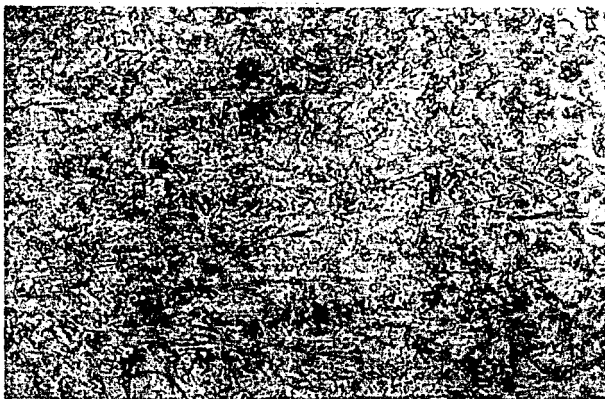


FIG. 10.7, METALOGRAFIA EN LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR A 1500 X,
EN LA MUESTRA UNO, MATRIZ FERRITICA FINA CON PERLITA
SEMIACICULADA FINA.

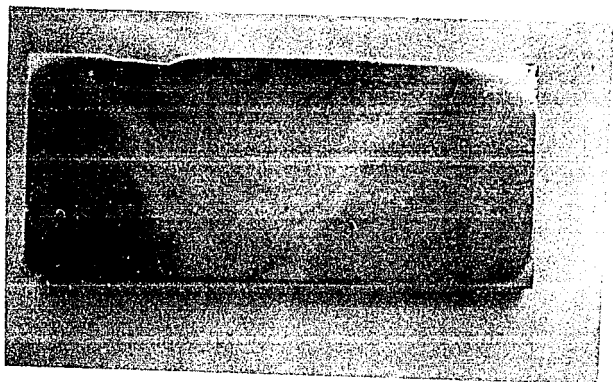


FIG. 10.8, MUESTRA DOS, PANORAMICA DE LAS ZONAS PRESENTES EN CAMPO.

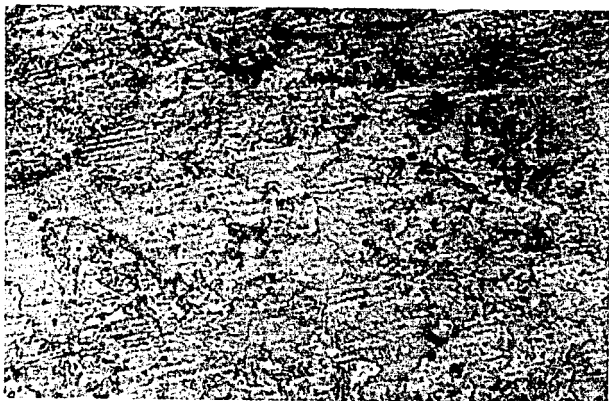


FIG. 10.9, METALOGRAFIA EN LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR, EN LA MUESTRA DOS, A 1500 X, ESTRUCTURA FERRITICA CON PERLITAS MUY FINAS.

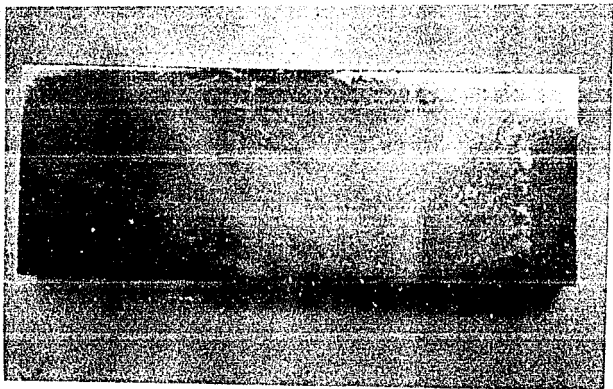


FIG. 10.10, MUESTRA TRES, PANORAMICA EN CAMPO.

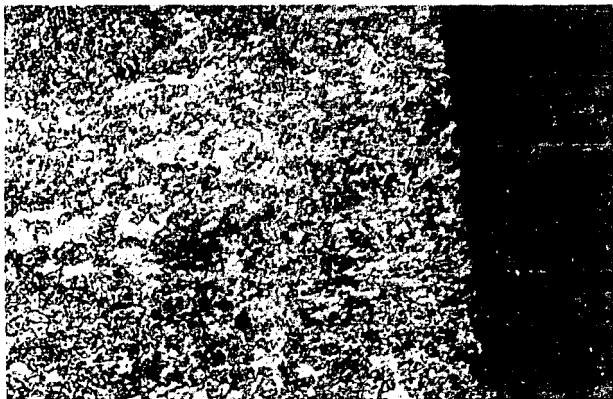


FIG. 10.11, METALOGRAFIA EN LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR EN LA MUESTRA TRES A 1500 X, ESTRUCTURA FINA CON PERLITAS SEMIACICULADAS MAS FINAS.

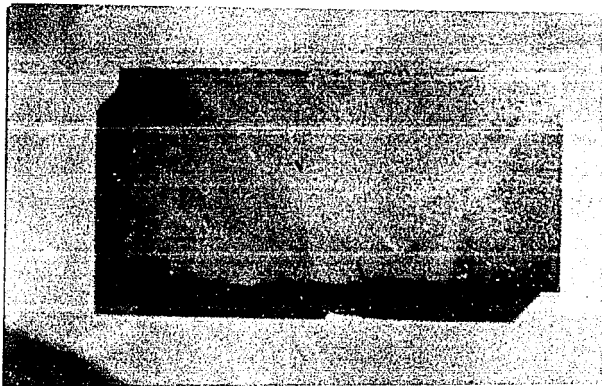


FIG. 10.12, MUESTRA CUATRO, PANORAMICA EN CAMPO.



FIG. 10.13, METALOGRAFIA EN LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR EN LA MUESTRA CUATRO A 1500 X, ESTRUCTURA FERRITICA CON CRECIMIENTO PERLITA Y FORMACION DE CARBUROS GLOBULIZADOS.

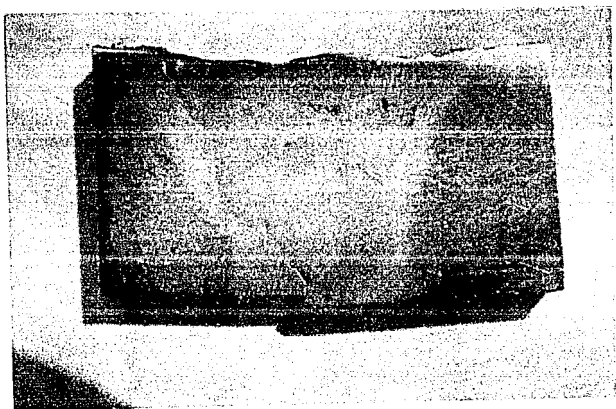


FIG. 10.14, MUESTRA CINCO, PANORAMICA EN CAMPO.



FIG. 10.15, METALOGRAFIA EN LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR EN LA MUESTRA CINCO A 1500 X, ESTRUCTURA DE FERRITA CON CRECIMIENTO DE PERLITA Y CARBUROS GLOBULIZADOS.

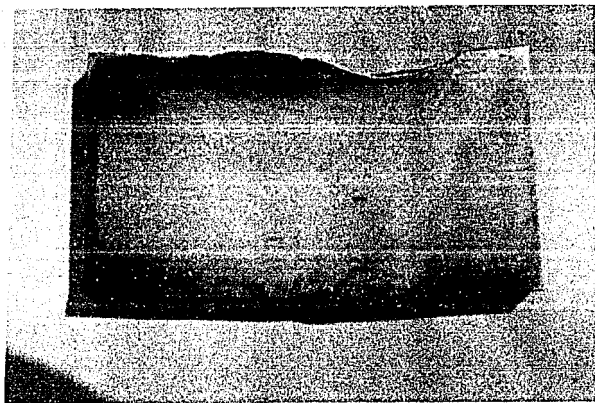


FIG. 10.16, MUESTRA SEIS, PANORAMICA EN CAMPO.



FIG. 10.17 , METALOGRAFIA EN LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR DE LA MUESTRA SEIS A 1500 X, ESTRUCTURA FERRITICA CON PERLITA EN CRECIMIENTO Y MENOS FINA CON CARBUROS GLOBULIZADOS.

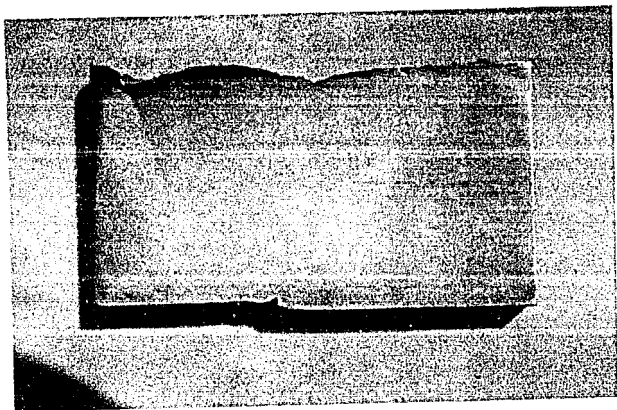


FIG. 10.18, MUESTRA SIETE, PANORAMICA EN CAMPO.



FIG. 10.19, METALOGRAFIA EN LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR DE LA MUESTRA SIETE A 1500 X, ESTRUCTURA FERRITICA CON FORMACION DE PERLITA EQUIAXIAL CON CARBUROS GLOBULIZADOS.

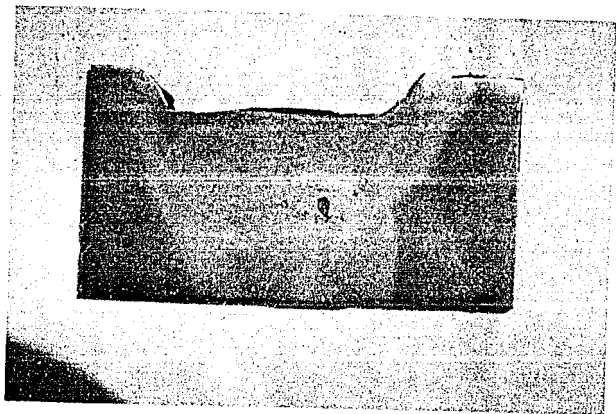


FIG. 10.20, MUESTRA OCHO, PANORAMICA EN CAMPO.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

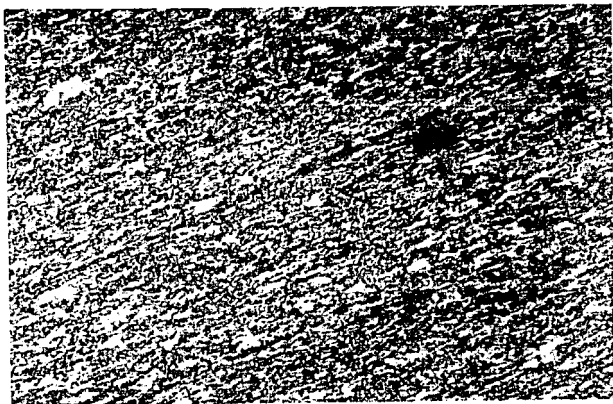


FIG. 10.21, METALOGRAFIA EN LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR EN LA MUESTRA OCHO A 1500 X, ESTRUCTURA FERRITICA CON PERLITA EQUIAXIAL FINA CON CARBUROS GLOBULIZADOS.

El estudio metalografico se realizó como se indica en cada una de las ocho fotografias donde se localizan las tres zonas (soldadura, zona afectada por el calor, y metal base), que son lugares en donde se practicarón las metalografias. Se tomarón como patrón las microfotografias de metal base y soldadura por ser similares para las ocho muestras.

Figura 10.5, Microfotografia tomada en el metal base, en ella se observa una estructura de ferrita y perlita laminar con carburos globulizados.

Figura 10.6, Microfotografia tomada en la soldadura, muestra una matriz ferritica en forma de dendritas.

Figura 10.7, Microfotografia tomada en la muestra uno sobre la zona afectada por el calor, se observa una matriz ferritica fina con perlita semiaciculada y fina.

Figura 10.9, Microfotografia tomada en la muestra dos sobre la zona afectada por el calor, presenta una estructura ferritica con perlitas muy finas.

Figura 10.11, Microfotografia tomada en la muestra tres sobre la zona afectada por el calor, presenta una matriz ferritica con perlitas semiaciculares más finas.

Figura 10.13, Microfotografia tomada en la muestra cuatro sobre la zona afectada por el calor, tiene una matriz ferritica con crecimiento y formación de carburos globulizados.

Figura 10.15, Microfotografia tomada en la muestra cinco sobre la zona afectada por el calor, tiene una matriz ferritica con crecimiento de perlita y carburos globulizados.

Figura 10.17, Microfotografía tomada en la muestra seis sobre la zona afectada por el calor, presenta una matriz ferrítica con crecimiento de perlita, esta es cada vez menos fina, con carburos globulizados.

Figura 10.19, Microfotografía tomada en la muestra siete sobre la zona afectada por el calor, presenta una matriz ferrítica con formación de perlita equiaxial con carburos globulizados.

Figura 10.21, Microfotografía tomada en la muestra ocho sobre la zona afectada por el calor, presenta una matriz ferrítica con perlita equiaxial fina con carburos globulizados.

TABLA 10.1

DUREZA BRINELL
(Lado Derecho)

LECTURAS	MUESTRA # 1	MUESTRA # 2	MUESTRA # 3	MUESTRA # 4
1.-	180	180	180	180
2.-	180	180	180	180
3.-	180	180	180	180
4.-	180	180	180	180
5.-	189	180	180	180
6.-	190	180	180	180
7.-	188	188	180	180
8.-	181	198	180	189
9.-	160	190	204	194
10.-	160	189	189	194
11.-	160	160	188	189
12.-	160	160	178	160
13.-	160	160	178	160
14.-	160	160	160	160
15.-	160	160	160	160
16.-	160	160	160	160
17.-	160	160	160	160
18.-	160	160	160	160
19.-	160	160	160	160
20.-	160	160	160	160

1.- Muestra de Multipaso sin calentamiento previo.

2.- Muestra de Multipaso con un calentamiento previo de soldadura.

3.- Muestra de Multipaso con dos calentamientos previos de

soldadura.

4.- Muestra de Multipaso con tres calentamientos previos de soldadura.

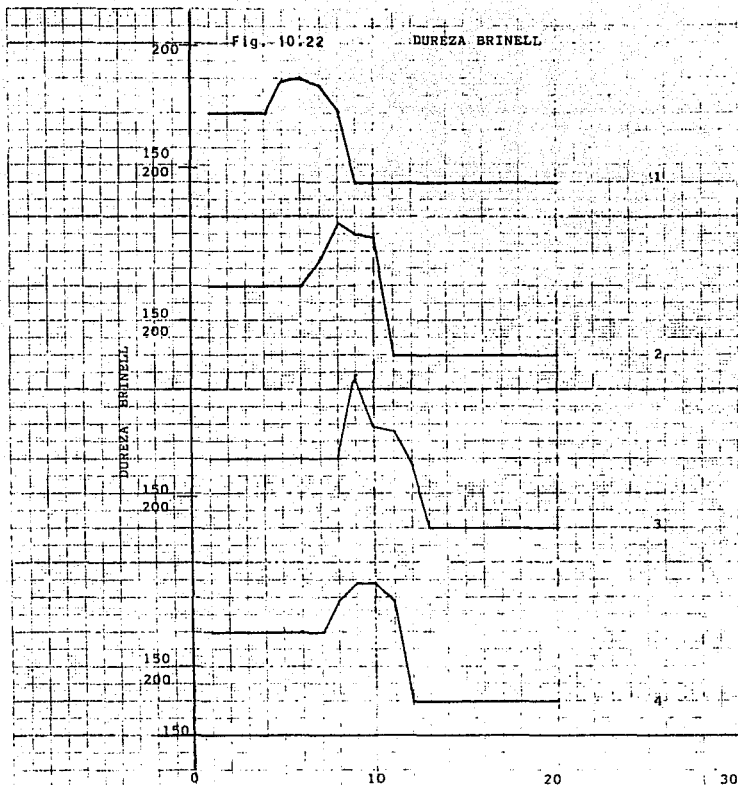
MUESTRA 1 MUESTRA 2 MUESTRA 3 MUESTRA 4

SOLODADURA	4	6	8	7
-------------------	----------	----------	----------	----------

ZONA AFECTADA	4	4	4	4
----------------------	----------	----------	----------	----------

POR EL CALOR

METAL BASE	12	18	8	9
-------------------	-----------	-----------	----------	----------



- 1.- Muestra de Multipaso sin calentamiento previo.
- 2.- Muestra de Multipaso con calentamiento previo de soldadura.
- 3.- Muestra de Multipaso con dos calentamientos previo de sold.
- 4.- Muestra de Multipaso con tres calentamientos previos de soldadura.

TABLA 10.2

DUREZA BRINELL
(Lado Derecho)

LECTURAS	MUESTRA # 5	MUESTRA # 6	MUESTRA # 7	MUESTRA # 8
1.-	180	180	180	180
2.-	180	180	180	180
3.-	180	180	180	180
4.-	180	180	180	180
5.-	180	180	180	180
6.-	180	180	180	180
7.-	160.09	188.96	175.94	156
8.-	186.88	193.94	179.98	166
9.-	186.88	188.96	177.96	166
10.-	179.98	188.96	173.92	156
11.-	160	186.88	173.92	156
12.-	160	160	160	160
13.-	160	160	160	160
14.-	160	160	160	160
15.-	160	160	160	160

5.- Muestra de Multipaso con cuatro calentamientos previos de soldadura.

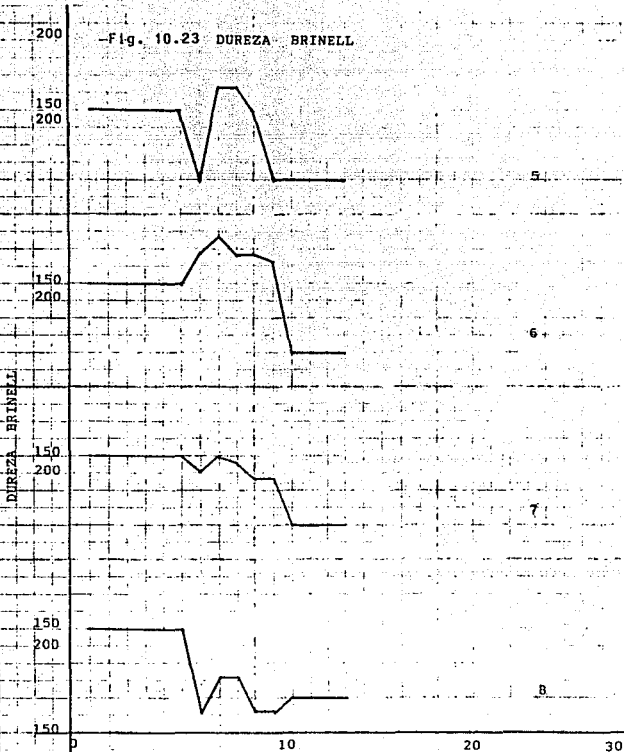
6.- Muestra de Multipaso con cinco calentamientos previos de soldadura.

7.- Muestra de Multipaso con seis calentamientos previos de soldadura.

8.- Muestra de Multipaso con siete calentamientos previos de soldadura.

MUESTRA # 5 MUESTRA # 6 MUESTRA # 7 MUESTRA # 8

SOLDADURA	6	6	6	6
ZONA AFECTADA	4	5	5	5
POR EL CALOR				
METAL BASE	5	4	4	4



- 5.- Muestra de multipaso con cuatro calentamientos previos de soldadura.
 6.- Muestra de multipaso con cinco calentamientos previos de soldadura.
 7.- Muestra de multipaso con seis calentamientos previos de soldadura.
 8.- Muestra de multipaso con seis calentamientos previos de soldadura.

ANALISIS DE RESULTADOS.

La gráfica de resistencia a la tensión tiende a mantenerse constante hasta la muestra cinco, decrece y vuelve a permanecer constante. A la gráfica de límite de elástico le sucede lo mismo.

En la gráfica de dureza, la soldadura y el metal base permanecen constantes sus valores respectivos, en la zona afectada por el calor se tienen variaciones y tiende a bajar la dureza. La baja de dureza es significativa (solo se detecta).

En el ensayo de metalografía se observó en la zona afectada por el calor de la muestra una estructura de perlita fina laminar semiacicular y se vuelve perlita fina equiaxial en la muestra ocho debido al crecimiento del cristal y se tiene mas o menos un afino de grano.

XI. CONCLUSIONES.

El material a pesar de tener ocho calentamientos en la zona afectada por el calor no se tienen pérdidas en la resistencia tan drásticas como se podría pensar.

El material se puede soldar mas de tres veces a la creencia general que se podría tener.

Con el calentamiento y el enfriamiento del material se va modificando su estructura y se eliminan las tensiones internas provocadas por la soldadura.

BIBLIOGRAFIA.

- 1.- " Soldadura Aplicaciones y Práctica " Henry Horwitz
Ed. Alfaomega.
- 2.- " Tecnología de la Fabricación " R. L. Timings.
Ed. Representaciones
y Servicios de
Ingeniería, S. A.
- 3.- " Introducción a la Metalurgia Física " Sydney H. Avner
Ed. Mc. Graw-Hill.
- 4.- " Materiales de Ingeniería y sus
Aplicaciones ". Richard A. Flinn.
Ed. Mc. Graw-Hill.
- 5.- " Ingeniería de Materiales " W. J. Ellis.
Ed. Representaciones
y Servicios de
Ingeniería, S. A.
- 6.- " Electrosoldadura " A. Ruiz Mijarez.
Ed. Representaciones
y Servicios de
Ingeniería, S. A.
- 7.- " Soldadura Electrica Manual " Massimo Vladimiro
Pireda C.
Ed. Limusa.
- 8.- " Operación de Máquinas-Herramientas " S. F. Krar.
Ed. Mc. Graw-Hill.
- 9.- " Marks, Manual del Ingeniero Mecánico" Theodore Baumeister.
Vol. 1 y 2 Ed. Mc. Graw-Hill.

10.- " Modern Welding Technology "

Howard B. Cary.

Ed. Printice Hall, Inc.