

99 20



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ACEROS DE DOBLE FASE, ANALISIS DE LAS PROPIEDADES MECANICAS

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA.  
P R E S E N T A:  
ALVARO MOYA NUÑEZ

Director de Tesis: ING. ARMANDO ORTIZ PRADO



FALLA DE ORIGEN

MEXICO, D. F.

1990



## **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

|  | Página |
|--|--------|
| Introducción-----  | 1      |
| Procesos de Fabricación-----   | 4      |
| Mecanismos de Transformación-----  | 7      |
| Relación Microestructura-Propiedades-----  | 11     |
| Mecanismos de Deformación-----   | 16     |
| Ventajas y Limitaciones-----   | 21     |
| Aplicaciones y Prespectivas-----   | 22     |
| Parte Experimental-----  | 24     |
| Resultados-----  | 29     |
| Conclusiones-----  | 34     |
| Diseño y Fabricación del Herramental necesario<br>para efectuar ensayos de Embutición----- | 36     |
| Bibliografía-----  | 77     |

## Introducción:

El peso de los componentes automotrices fue el principal factor para el desarrollo de los aceros de doble fase, este acero presenta una buena combinación de resistencia y ductilidad, mejor de la que presentan los aceros al carbono (ferrita-perlita) de similar resistencia a la tracción.

Este tipo de aceros son generalmente empleados en la industria automotriz, en donde una reducción de peso (chapa más delgada, pero con más resistencia) nos ahorraría combustible, desgaste del motor y material, además de satisfacer normas de seguridad como ; resistencia a vibraciones, absorción de energía en choques, alta calidad y homogeneidad de propiedades.

También estos aceros se emplean en la fabricación de tubos y aparatos domésticos con resultados favorables.

Inicialmente los aceros de doble fase surgen a mediados de los años 70's, investigados tanto en Estados Unidos de América en donde los trabajos son enfocados a los aceros microaleados, mientras que en Japón se han avocado a los aceros al carbono, actualmente estos estudios han tenido un gran auge también en países de Europa y China.

La microestructura que presentan los aceros de doble fase consiste de una matriz de ferrita ( 75-85% ) con ( 10-20% ) de martensita más austenita retenida y bainita.

Estos aceros se caracterizan por presentar una curva esfuerzo-deformación continua ó sea que no presentan límite elástico agudo y por tanto bandas de Luder, como lo presentan los aceros al carbono y los aceros microaleados, fig. 1. Endurecen muy rápidamente a bajas deformaciones y tienen un bajo límite de fluencia, una alta resistencia a la tracción y por tanto una baja relación de límite de fluencia/resistencia a la tracción.

Además ofrecen una mejor formabilidad, que la que se obtiene en los aceros al carbono de similar resistencia a la tracción, todo esto permite deformar ó estampar chapas de acero con poco esfuerzo y obtener piezas de alta resistencia.

El comportamiento que presenta la curva esfuerzo-deformación en los aceros de doble fase se debe a los esfuerzos residuales que se generan en la ferrita y a las dislocaciones móviles producidas durante la transformación de austenita a martensita. El aumento en el número de dislocaciones nos produce un alto coeficiente de endurecimiento por deformación.

Los factores que influyen tanto en la resistencia como en la ductilidad de los aceros de doble fase son: el tamaño de grano en la ferrita, las soluciones sólidas resistentes ( elementos de aleación ), y a la fracción de volumen de martensita dúctil.

También se encontró que la teoría de la composición de dos fases dúctiles, ofrecen una buena descripción de la resistencia y ductilidad de estos aceros.

Las propiedades tensiles que se obtienen por lo general en estos aceros son: una resistencia a la tracción de  $66\text{Kg/mm}^2$  y un valor de elongación de 31%.

Los aceros de doble fase pueden obtenerse por medio de Procesos Termomecánicos, los cuales consisten en laminar en frío o en tibio al material, seguido de un temple. También se obtienen por el Proceso de Calentamiento Continuo, el cual consiste en calentar el acero a una temperatura intercrítica para luego templar en agua ó con aire frío, otro proceso empleado es el de Recocido en Lotes y consiste en calentar el acero en el rango intercrítico para luego ser enfriado muy lentamente en el horno (varios días) para lo cuál se emplean aceros con alto contenido de aleación ( Mn y Mo ).

Los calentamientos intercríticos son preferidos por muchos investigadores, ya que permiten tener un control tanto en la fracción de volumen como en la composición de ferrita y austenita, todo esto a partir del diagrama de fase hierro-carburo de hierro, fig 2.

El presente trabajo tiene por objetivo obtener una microestructura de doble fase (ferrita-martensita), en una muestra de chapa de acero (1010) por medio de tratamiento térmico (temple y revenido), empleando tres diferentes temperaturas intercríticas (750, 800 y 850 °C) y tres medios de enfriamiento (aire, agua y agua con sosa), además de comparar las propiedades mecánicas obtenidas, con los resultados publicados anteriormente por medio de los ensayos de Dureza, Tracción y Embutición.

Para evaluar la formabilidad de la chapa de acero se han realizado varios ensayos de simulación de Altura Límite de Cúpula.

#### PROCESOS DE FABRICACION

Los procesos por los cuales se obtienen los aceros de doble fase son : Calentamiento Continuo, Termomecánicos, y por Recocido en Lotes.

##### Calentamiento Continuo:

El proceso de Calentamiento Continuo se lleva a cabo de la siguiente manera:

- 1.- Se calienta el acero por arriba de la temperatura crítica  $A_1$ .
- 2.- Se mantiene al material a esa temperatura por un periodo de tiempo corto.
- 3.- Se enfría por debajo de la línea  $M_s$ .

Algunos procesos incluyen un revenido por debajo de  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$  después del enfriamiento, para mejorar la ductilidad y la tenacidad del acero, disminuyendo el valor de la resistencia a la tracción.

La microestructura que presentan la mayoría de los aceros, antes de ser procesados por Calentamiento Continuo, consiste de ferrita y perlita con límite de grano carburo de hierro.

El enfriamiento del acero en agua desde una temperatura intercrítica permite la formación de la estructura de doble fase ferrita-martensita.

Un grupo de investigadores han desarrollado un método para producir aceros de doble fase, el cual tiende a industrializarse.

El método consiste en un equipo en línea de calentamientos continuos donde se incluye el temple en agua, todo esto nos permite una producción de acero a bajo costo.

Los parámetros críticos que se deben controlar durante el proceso son : la temperatura, el tiempo y la velocidad de enfriamiento. Este proceso es preferido por la mayoría de los investigadores, ya que permiten controlar la fracción de volumen y la composición de ferrita y austenita, todo esto a partir del diagrama de fase hierro-carburo de hierro.

Los medios de enfriamiento que se emplean para la obtención de una microestructura de doble fase es aire ó agua, los aceros al carbono son generalmente templados en agua, mientras que en los aceros microaleados el temple se lleva a cabo a una velocidad de enfriamiento más lenta.

Un enfriamiento lento nos permite obtener una mejor combinación de resistencia y ductilidad, por lo que son preferidos. Un enfriamiento rápido nos genera un gran número de defectos y de esfuerzos residuales en la matriz, reduciendo la ductilidad del acero. Sin embargo la ductilidad puede mejorar por medio de un revenido en el acero.

#### Proceso Termomecánico:

Este proceso se lleva a cabo por laminación en tibio ó en frío seguido de un tratamiento térmico (temple y revenido).



#### Laminado en Tibio:

En este proceso se emplean aceros microaleados los cuales presentan ciertas características en el diagrama de transformación isotérmica, fig 3.

1.-Presenta una curva alargada de ferrita, permitiendo un mayor tiempo para formar grandes cantidades de la misma.

2.-La nariz de perlita se encuentra relativamente lejos hacia la derecha y a una elevada temperatura, esto evita la transformación de la misma durante el enfriamiento de la chapa de acero.

3.-La región que existe entre la rodilla de perlita y bainita promueve un rango de temperatura donde no ocurre transformación, permitiendo el tiempo suficiente para que el acero sea enfriado.

Así tenemos que el 80-90% del acero se transforma a ferrita después del paso final de laminación, todo esto se lleva a cabo en un laminador en caliente convencional, el 10-20% restante se transforma más tarde cuando la lámina ha sido enrollada.

La composición química del acero nos permite tener un control sobre el tratamiento térmico del acero, esto es, la velocidad de enfriamiento es muy lenta y por tanto se dispone de más tiempo para obtener la microestructura deseada.

#### Laminado en Frío:

El material es laminado a una temperatura menor a la de cristalización, obteniendo una microestructura fibrosa que aumenta

la resistencia, luego el material es calentado a una temperatura de austenización incompleta para ser inmediatamente templado seguido de un revenido.

La microestructura que se obtiene es de martensita fibrosa en la matriz ferrítica, por medio de este proceso se tienen mejores acabados superficiales, aunque el costo de producción aumenta.

#### Recocido en Lotes:

Los aceros de doble fase también pueden obtenerse por técnicas de recocido en lotes, calentando el material en un rango intercrítico. La velocidad de enfriamiento es muy lenta (varios días en el horno) por lo que esta técnica se emplean aceros al Manganeso y Molibdeno.

#### MECANISMOS DE TRANSFORMACION.

##### Calentamiento Continuo:

El acero antes de ser calentado a una temperatura intercrítica, está compuesto de una matriz de ferrita en la cual se encuentran inmersas pequeñas islas de perlita, los aceros microaleados también contienen carbonitruros uniformemente distribuidos alrededor de la matriz de ferrita.

Calentando el acero por encima de la temperatura crítica, encontramos austenita no estable e islas ricas en carbono. La temperatura de calentamiento determina el contenido de carbono y la fracción de volumen de la austenita que puede existir en equilibrio con la ferrita.

Cuando el acero se encuentra apenas por encima de  $A_1$  la proporción de austenita formada es mínima y se tiene un alto contenido de carbono, esto es debido a la gran solubilidad del carbono en la austenita como en la ferrita. Al seguir aumentando la temperatura la fracción de volumen de austenita es mayor pero el contenido de carbono baja y esto origina una baja templabilidad.

La composición de la austenita también se ve influenciada por elementos de aleación en el acero. El silicio promueve en la ferrita la migración de carbono a la austenita y el manganeso aumenta la templabilidad.

Además la composición de la austenita es por lo general no estable y los gradientes de concentración existen debido al corto tiempo de calentamiento empleado.

El producto de transformación (martensita) obtenido, depende de la composición de austenita así como de la velocidad de enfriamiento. El silicio suprime la transformación de perlita, el carbono y el manganeso estabilizan a la austenita y bajan la temperatura  $M_s$ . Un rápido enfriamiento transforma toda la austenita en martensita, mientras que una baja velocidad de enfriamiento dependiendo de la templabilidad de la austenita, esta se transforma en martensita, bainita y austenita retenida.

Independientemente del contenido de carbono en la austenita la transformación que se logra de esta es similar.

La austenita al transformarse a martensita genera una gran cantidad de dislocaciones libres alrededor de la matriz de ferrita.

La matriz de ferrita consiste de ferrita transformada y no transformada, la ferrita no transformada se encuentra libre de átomos intersticiales como carbono o nitrógeno, estos tienen la capacidad de difundirse hacia el exterior de la ferrita formando así precipitados gruesos, los cuales provocan una disminución de la resistencia.

La ferrita transformada que se forma cuando la austenita es enfriada por debajo de  $A_1$  es muy similar a la ferrita del acero original.

#### Laminado.

El laminado en caliente se lleva a cabo en el rango de austenita estable del diagrama de fase hierro carburo de hierro y la temperatura final de laminación se realiza en la región intercrítica. Como se mencionó anteriormente un 80 a 90 % de austenita se transforma a ferrita y el 10-20% de transformación restante es similar a la observada después del proceso de calentamiento continuo cuando la lámina está enrollada.

Un autorevenido en la martensita y una descomposición en la austenita retenida puede originarse durante el enfriamiento en el rollo de lámina.

Recocido en Lotes.

Los mecanismos de transformación son similares a los que se observaron en el proceso de calentamiento continuo, en este proceso las tasas de enfriamiento son lentas por lo que se requiere de aceros con alto contenido de aleación.

Las diferentes transformaciones de fase discutidas producen una microestructura que consiste de: Ferrita no transformada, Ferrita transformada, Martensita, Bainita y Austenita retenida.

La fracción de volumen, morfología, distribución, composición y propiedades mecánicas de cada constituyente, están en función de la composición química del acero y de los parámetros del proceso empleado, todo esto nos permite determinar el comportamiento de la deformación del acero. Además cuando el acero es deformado puede originarse alguna transformación de fase.

## RELACION MICROESTRUCTURA-PROPIEDADES

Los aceros de doble fase han sido evaluados como un modelo de dos fases ferrita-martensita, la fase de ferrita es una matriz dúctil homogénea y la martensita ó producto de transformación (consiste de martensita, bainita y austenita retenida) es considerada como una fase de reforzamiento de alta resistencia con propiedades mecánicas homogéneas, además son relacionadas con la ecuación de la ley de las mezclas:

$$\sigma_c = (1-V_r)\sigma_m + V_r\sigma_r$$

donde:

$\sigma_c$ ,  $\sigma_m$ ,  $\sigma_r$  son las resistencias de composición, matriz y reforzamiento ó martensita,  $V_r$  es la fracción de volumen de martensita.

El modelo sugiere que las propiedades óptimas sean obtenidas en los aceros de doble fase, cuando la matriz y la martensita individualmente presentan una máxima resistencia así como una buena ductilidad.

Como la martensita es el principal constituyente que soporta la carga, varios ensayos se han llevado al acabo para correlacionar el porcentaje de martensita con la resistencia del acero.

Algunos investigadores han presentado como un bajo porcentaje de martensita con un alto contenido de carbono tiene la misma resistencia que un alto porcentaje de martensita con un bajo contenido de carbono.

La razón para esta aparente contradicción no es muy clara, pero puede deberse a las diferentes cantidades de austenita retenida producidas por la temperatura intercrítica de calentamiento..

Las diferentes temperaturas de calentamiento generan una ferrita con precipitados variados, así como diferentes volúmenes de martensita que afectan tanto a la resistencia a la fluencia como a la resistencia a la tracción.

La resistencia de la martensita se ve fortalecida con el contenido de carbono y por elementos de aleación, pero esta puede incrementarse al disminuir el tamaño de grano. El proceso de calentamiento continuo permite obtener un tamaño de grano fino y esto origina que se tengan pequeñas islas de martensita.

Aunque se han observado varios tipos de distribución de martensita, la mayoría conduce a una deformación homogénea.

La martensita distribuida a lo largo del límite de grano no conducen a una buena formabilidad y son raramente observados.

Como se discutió anteriormente una porción del producto de transformación es austenita retenida y tiene una participación importante en el comportamiento de la deformación. Dos morfologías de austenita retenida han sido reportadas, una de ellas son las partículas de tamaño sub-micrón que se encuentran distribuidas uniformemente en la ferrita y la otra morfología son las partículas con un tamaño mayor a varios micrones localizados en las islas de martensita.

La martensita obtenida en la mayoría de los aceros de doble fase enfriados con aire, es por medio de un autorevenido y tienen la misma resistencia de la martensita no revenida.

Los aceros templados en agua y revenidos a una temperatura por debajo de 500 °C, presentan una mejor ductilidad pero la resistencia disminuye.

El acero enfriado con aire presenta una microestructura bastante estable cuando son calentados a una temperatura por debajo de 200 °C, pero al calentarlo a una temperatura por debajo de 500 °C se provoca un revenido de la martensita y una descomposición de la austenita, todo esto acompaña al envejecimiento por deformación que se presenta debido a la elevada cantidad de nitrógeno que combinado con el carbono, producen un efecto de precipitación e inestabilidad estructural ante una deformación plástica, aumentando la resistencia a la fluencia.

La resistencia de la ferrita aumenta al disminuir el tamaño de grano así como por las adiciones de aleantes. Un tamaño de grano fino se obtiene al agregar elementos formadores de carburos tales como el vanadio, niobio ó titanio en el acero, aunque también se obtienen por medio de procesos termomecánicos controlados.

Los microaleantes además de aumentar el refinamiento de grano, fortalecen la precipitación en la ferrita y esto último disminuye la ductilidad. Estos efectos opuestos deben ser bien balanceados para obtener una mejor combinación de propiedades mecánicas.

La relación que existe en la ferrita transformada y no transformada se ven afectadas por los parámetros de temperatura, composición química y por la velocidad de enfriamiento. Ambas ferritas presentan un bajo límite de esfuerzo.

La ferrita no transformada es limpia o relativamente libre de solutos intersticiales y de precipitados. La ferrita transformada es muy fuerte pero menos dúctil, la morfología, distribución y densidad de los precipitados es similar a la del acero al carbono.



El lento enfriamiento del acero permite formar precipitados al mismo tiempo que reduce el contenido intersticial en las ferritas, además promueven la difusión de carbono y nitrógeno a las islas de martensita.

En el proceso de Calentamiento Continuo donde el acero es enfriado a bajas velocidades, se logra tener una mejor combinación de resistencia y ductilidad.

Los microaleantes empleados en el acero de doble fase son el molibdeno, vanadio, niobio ó titanio, estos elementos juegan un papel importante en el refinamiento de grano. El vanadio es el agregado más frecuente, este imparte una alta templeabilidad en el acero, además promueve la formación de martensita e incrementa la resistencia a la tracción.

La adición de molibdeno mejora la ductilidad en comparación con aleaciones de vanadio y tienen similar resistencia a la tracción.

La resistencia de la ferrita se ve aumentada por solutos sustitucionales como el fósforo, manganeso y silicio.

El manganeso aumenta la resistencia a la tracción en  $5 \text{ Kg/mm}^2$ , aunque su función principal es la de aumentar la templeabilidad en el acero, el silicio también incrementa la resistencia a la tracción en  $15 \text{ Kg/mm}^2$  o más.

Los solutos sustitucionales incrementan la velocidad de endurecimiento por trabajo en la ferrita, siendo el silicio el más efectivo.

Una alta velocidad de endurecimiento por trabajo da como resultado una mejor distribución de la deformación y por lo tanto una buena formabilidad en el acero.

La figura 4 nos presenta la relación que existe entre la elongación uniforme y la resistencia a la tracción con diferentes porcentajes de fósforo y silicio.

El silicio mejora la ductilidad del acero sin disminuir el valor de la resistencia a la tracción, mientras que el fósforo también aumenta la resistencia en un menor grado, pero disminuye la ductilidad.

## MECANISMOS DE DEFORMACION

El comportamiento a la deformación que presenta la mayoría de los metales puede ser relacionada por la siguiente ecuación:

$$\sigma = k \epsilon_p^n \quad \text{-----A}$$

$$\text{ó} \quad \log \sigma = \log k + n \log \epsilon_p$$

donde:

$\sigma$  es el esfuerzo real

$k$  es la constante de resistencia

$\epsilon_p$  es la deformación plástica real

$n$  es el exponente de endurecimiento por deformación (siempre menor a 1).

La formación de constricción o cuello se hace presente cuando la deformación real es igual al exponente de endurecimiento por deformación. Un elevado valor de  $n$  y una distribución de deformación uniforme, aumentan la resistencia a la deformación plástica localizada.

Los metales que cumplen la ecuación A, presentan una gráfica de  $\log \sigma$  vs  $\log \epsilon_p$ , donde la recta inclinada es el valor de  $n$ . Y esto puede considerarse como el resultado del verdadero comportamiento de la deformación plástica uniforme.

Los aceros de doble fase no cumplen la ecuación A, debido a que la gráfica  $\log \sigma - \log \epsilon_p$  (fig. 5) presenta desviaciones lineales en los procesos de deformación, ocasionados por las diferentes velocidades de enfriamiento. Por lo que se han usado dos aproximaciones para detectar cambios en el comportamiento de la deformación del acero.

En una aproximación un incremento en el valor de  $n_i$ , es calculado para cada segmento de la curva esfuerzo-deformación, donde  $n_i$  es definida como:

$$n_{i,j} = \frac{\log \bar{V}_j - \log \bar{V}_{j-1}}{\log \bar{\epsilon}_p(j) - \log \bar{\epsilon}_p(j-1)} \quad \text{-----C}$$

para  $j=1$  a  $l$

$l$  es el número de pequeños segmentos de la curva esfuerzo-deformación.

Otra aproximación a la curva esfuerzo-deformación es representada por la ecuación.

$$\bar{V} = \bar{V}_0 + B \bar{\epsilon}_p^m \quad \text{-----D}$$

donde:

$\bar{V}$  es el esfuerzo real

$\bar{V}_0$  es el esfuerzo de fluencia real

$\bar{\epsilon}_p$  es la deformación plástica real

$B$  y  $m$  son constantes ( $m$  no es la relación sensitiva de la deformación).

Diferenciando la ecuación D y tomando logaritmos en ambos lados tenemos.

$$\ln \frac{d\bar{V}}{d\bar{\epsilon}_p} = \ln Bm + (m-1) \ln \bar{\epsilon}_p \quad \text{-----E}$$

De la gráfica  $n_i$  vs  $\bar{\epsilon}_p$  (fig. 6) se observa un comportamiento uniforme (líneas horizontales) para el periodo de endurecimiento por deformación para los aceros al carbono, mientras que para los aceros de doble fase la línea decrece, lo cual indica que el comportamiento a la deformación se lleva a cabo en varias etapas.

Algunos de estos procesos de deformación pueden ser identificados por ciertos rasgos de correlación con la curva tensil esfuerzo-deformación con el comportamiento de la deformación de algún microconstituyente en particular del acero.

Como se menciona anteriormente la resistencia a la fluencia que presentan los aceros de doble fase es de 0.5 a 0.6 del valor de la resistencia a la tracción, además no presentan límite elástico.

La velocidad de endurecimiento por trabajo es alta a bajas deformaciones y se reduce al aumentar la deformación. Además se obtienen porcentajes de elongación total similares a los que presentan los aceros al carbono de similar resistencia a la tracción. Cada una de estas características puede tener alguna relación directa con el comportamiento de la deformación en el acero.

La transformación de austenita a martensita a una temperatura intercrítica generan numerosas dislocaciones móviles alrededor de la matriz de ferrita.

Al aplicar la carga las dislocaciones se mueven con muy bajos esfuerzos hasta que son restringidas, por lo tanto tenemos que el flujo plástico inicia su desplazamiento con un bajo esfuerzo.

Además los solutos intersticiales como carbono ó nitrógeno tienen difusión fuera de la ferrita no transformada y en una forma combinada con las dislocaciones son severamente reducidas, por lo que un esfuerzo inicial no es necesario para romper el camino de las dislocación y esto trae como resultado que el límite elástico no sea observado.

Al seguir aplicando la carga de tracción el flujo plástico continúa en el microconstituyente de baja resistencia a la fluencia,

en este caso ocurre en la ferrita no transformada hasta que endurece por trabajo, luego la deformación prosigue en la ferrita transformada, por lo que la deformación en ambas fases es probable y endurecen por trabajo simultáneamente.

El endurecimiento por trabajo que presentan los metales se debe a la interacción entre dislocaciones así como con solutos, precipitados y otros microconstituyentes, lo cual ocurre también en los aceros de doble fase.

La deformación del acero conduce a una transformación de austenita a martensita y esto origina un aumento tanto en la ductilidad como en la relación de endurecimiento por deformación. Este fenómeno llamado transformación inducida plástica o TRIP.

Los aceros de doble fase contienen un 10% de austenita retenida que se transforma en martensita durante el ciclo de deformación del material. Esta transformación ocurre a bajas deformaciones siendo concluido el proceso aproximadamente al 10% de deformación y puede también aumentar la velocidad de endurecimiento por trabajo, debido esto a la interacción entre dislocaciones y a la deformación inducida en la martensita.

La deformación continúa en las ferritas no transformada y transformada mas allá del 10% de deformación, pero como existe una diferencia en el valor de resistencia de las dos fases, la relación de endurecimiento por deformación no es constante esto puede ser observado en la fig. 6.

La composición química del acero y el proceso de fabricación afectan el comportamiento de la deformación en las fases de ferrita.

La martensita es por lo general considerada como una fase endurecida no deformable, que contribuye con la resistencia del acero.

Sin embargo, la deformación en la martensita ha sido observada en los aceros de doble fase, fig. 7.

Gradientes de concentración en la austenita producen martensita de variada composición y resistencia durante el proceso de calentamiento continuo, aunque alguna martensita contribuye en el comportamiento del endurecimiento por trabajo.

La elevada elongación que presentan este tipo de acero es una consecuencia de las diferentes etapas del comportamiento de la deformación. Cuando el acero es deformado el deslizamiento ocurre primero en el constituyente de más baja resistencia a la fluencia, cuando este constituyente endurece por trabajo, el deslizamiento ocurre en el segundo constituyente. Esto continúa hasta que todos los constituyentes son involucrados en el proceso de deformación y son endurecidos por trabajo hasta su máximo grado.

Como la deformación se distribuye entre varios microconstituyentes, esto origina una deformación más uniforme y por lo tanto la deformación localizada ó estricción es retardada, resultando una mejor formabilidad en el acero.

La fractura del acero de doble fase es aparentemente retrazada, hasta que las fases de ferrita y martensita son fuertemente deformadas y finalmente ocurre por coincidencia de las grietas formadas en la interfase de ferrita martensita y por la fractura de las islas de martensita.

**VENTAJAS Y LIMITACIONES**

Las ventajas que pueden obtenerse en los aceros de doble fase son las siguientes:

- 1.-Endurecen rapidamente con bajas deformaciones.
- 2.-Presenta una elevada formabilidad.
- 3.-No presentan limite elástico marcado en la curva esfuerzo-deformación.
- 4.-Tienen una mejor combinación de resistencia-ductilidad que los aceros convencionales.
- 5.-Pueden ser conformados con troqueles y estampas que se emplean para aceros al carbono.
- 6.-La resistencia a la fractura es mayor comparada con la que presentan los aceros microaleados y al carbono.
- 7.-La resistencia a la tracción esta en función lineal con la fracción en volumen de martensita.
- 8.-Al emplear aceros microaleados la microestructura de doble fase es obtenida con mayor facilidad.
- 9.-Los elementos de aleación aseguran una mayor templeabilidad.

Este tipo de acero también presenta limitaciones pero en un menor número.

- 1.-Al emplear aceros microaleados se eleva el costo de fabricación.



2.-Los parámetros como la temperatura, tiempo y velocidad de enfriamiento deben estar bien controladas.

3.-La resistencia obtenida en los aceros de doble fase es la misma al emplear aceros al carbono, que con aceros microaleados.

#### APLICACIONES Y PRESPECTIVAS:

El desarrollo de los aceros de doble fase fue principalmente para la industria automotriz, donde se requería de un material resistente y liviano para disminuir el peso del vehículo y de esta manera lograr un aumento en la economía de combustible, además de prolongar la vida del motor y dar mayor seguridad a los ocupantes del vehículo.

Los componentes automotrices que son fabricados con aceros de doble fase son: la carrocería, el ventilador del alternador, hojas de ventilador, tableros de control, rines, parachoques (defensas).

También son empleados en la fabricación de tubos y aparatos domésticos con buenos resultados y se están realizando estudios para ser empleados en partes estructurales. Al emplear este tipo de acero se obtiene un ahorro en peso de alrededor de 18-30%.

Además se caracterizan por tener una elevada formabilidad, esto permite fabricar componentes automotrices complejos, que comparados con otros aceros de similar resistencia a la tracción no la tienen.

La composición química del acero es la misma que presentan los aceros al carbono con ciertos elementos de aleación, pero las técnicas empleadas en el tratamiento térmico controlado (temple y revenido), hacen posible obtener mejores propiedades mecánicas.

Los mecanismos de deformación que presentan son diferentes a los que se observan en los aceros al carbono.

Los efectos que se tienen en las propiedades mecánicas al variar la composición química no han sido completamente claras, ya que los procesos de fabricación y velocidades de enfriamiento que se emplean presentan resultados diferentes. De cualquier manera los resultados publicados nos marcan una tendencia para complementar una investigación con posibles mejoramientos en las propiedades mecánicas.

La investigación y el entendimiento sobre el comportamiento de los aceros de doble fase es solamente un primer paso para el desarrollo de una nueva familia de aceros.

## PARTE EXPERIMENTAL

Se cortaron 27 muestras de chapa de acero con dirección paralela a la de laminación (0\*) con las siguientes dimensiones : 90 mm de ancho por 240mm de largo y un espesor de 1.1mm.

La composición química de la chapa de acero es la siguiente: 0.08-0.13% C, 0.30-0.60% Mn, 0.04% P máx., 0.05% S máx.

Las muestras fueron numeradas y tratadas térmicamente ( temple y revenido ). El ciclo del tratamiento térmico consiste en calentar la chapa de acero a una temperatura intercrítica ( s.+ ) de 750, 800 y 850 °C por un tiempo de 4 min. para inmediatamente ser enfriadas ( los medios de enfriamiento empleados fueron : agua, agua con sosa y aire frío ).

Las muestras fueron revenidas a una temperatura de 200-300 °C por un tiempo de 1 min.

La tabla siguiente nos muestra las temperaturas y los medios de enfriamiento empleados.

| Medio de Enfriamiento | Temperatura °C |     |         |
|-----------------------|----------------|-----|---------|
|                       | 750            | 800 | 850     |
|                       |                |     | Muestra |
| Aire                  | 11             | 21  | 31      |
| Agua                  | 12             | 22  | 32      |
| Agua con Sosa         | 13             | 23  | 33      |

Para cada condición de temperatura y medio de enfriamiento se emplearán 3 muestras.

Ensayos que se llevaron a cabo sobre las muestras:

Metalografía

Ensayo de Dureza

Ensayo de Tracción

Ensayo de Embutición

Simulación del ensayo de Altura Límite de Cúpula.

Metalografía:

9 probetas fueron cortadas a un diámetro de 20 mm para ser montadas en frío con resina, todo esto con el fin de facilitar el manejo y pulido de las muestras.

Las muestras se prepararon de la siguiente manera:

El pulido se realizó con lija de carburo de silicio número 180, 220, 240, 360, 400, 500 y 600.

Para el pulido final a espejo se empleó la pulidora de paño y alumina.

La preparación de las muestras para su observación en el microscopio óptico involucra un ataque químico con solución en nital al 2% durante 20 seg.

Ensayo de Dureza

Se prepararon 9 muestras a las cuales se les tomaron 5 indentaciones a cada una en la escala de Rockwell B, la media de los resultados son presentados en la tabla I, este ensayo nos ayudó a definir el tipo de microestructura que había sido obtenido en conjunto esto con el análisis del estudio metalográfico.

### Ensayo de Tracción

Después del tratamiento térmico 18 probetas fueron maquinadas para el ensayo de tracción, todo esto a partir de la norma ASTM E-8 con una dirección paralela a la de laminación. El ensayo se llevo a cabo en una máquina de tracción del tipo Instron a una velocidad de 5mm/min ( 0.2 in/min.).

Los valores de elongación se determinaron sobre una calibración de 50mm ( 2 in ) de longitud establecida, la probeta rota es medida con un vernier y de esta manera obtener la elongación total de la probeta

### Ensayo de Embutición:

Para realizar el ensayo de embutición se prepararon 18 muestras con un ancho de 90 mm por 240mm de largo, todo esto se realizó en la máquina de ensayos Instron. El ensayo consiste en embutir la probeta hasta la aparición de una rotura incipiente, para luego medir la profundidad de la huella.

Esta profundidad es expresada en milímetros y representa el número índice de embutición y por tanto destaca el valor relativo de alargamiento.

Antes de iniciar el ensayo de embutición se aplico una capa de grasa grafitada tanto en el punzón como en la probeta, la velocidad del ensayo es de 5 a 20 mm/min.

Enseguida presentamos una tabla donde se indican los valores medios de la profundidad de embutido de diversos materiales.

| Material                               | Profundidad de Embutido (mm) |       |
|--|------------------------------|-------|
|  | s=1mm                        | s=2mm |
| Aluminio de 99.5% recocido.            | 10.4                         | 12.4  |
| Anticorodal recocido.                  | 9.4                          | 11.4  |
| Avional recocido.                      | 7.9                          | 9.2   |
| Cobre recocido.                        | 11.8                         | 13.0  |
| Chapa de acero para embutido profundo. | 11.0                         | 12.6  |
| Chapa de acero para embutido.          | 10.0                         | 12.1  |
| Chapa de acero inoxidable.             | 15.0                         | ---   |
| Latón de embutir.                      | 13.5                         | 14.5  |
| Cinc recocido.                         | 8.1                          | 8.6   |

Donde s es el espesor de la chapa.

#### Simulación del Ensayo de Altura Limite de Cúpula:

El ensayo consiste en sujetar la muestra entre la matriz y placa prensa y alargar la muestra hasta que falla, usando un punzón hemisférico con un diámetro de 20 mm. Las muestras tienen una longitud de 240 mm y un ancho de 90 mm.

Una rejilla circular con un diámetro de 0.2 in ( 5 mm ) fue fotografada sobre la superficie de la muestra, todo esto para obtener el diagrama de límite de formado.

Los factores que pueden influir en el valor de la formabilidad de la chapa de acero son : los espesores de la chapa, el diámetro y forma del punzon empleado, así como el área de la deformación.

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos en los ensayos de dureza, tracción y embutición son presentados en las tablas I, II, y III.

Todas las muestras ensayadas presentan una microestructura de ferrita figuras 8 a 10 y una dureza en promedio de 66 Rb para el primer grupo de muestras (11, 12, 13), el segundo y tercer grupo de muestras tienen una dureza en promedio de 73 Rb.

La fig. 11 muestra gráficamente el efecto de la temperatura de calentamiento así como los medios de enfriamiento sobre las propiedades mecánicas de la chapa de acero. Se puede observar como las muestras templadas con aire presentan una mejor elongación tanto uniforme como total, pero una baja resistencia a la fluencia y a la tracción, por lo contrario las muestras templadas con agua y agua con sosa presentan una resistencia mayor (fluencia y tracción) así como una pobre elongación.

Al aumentar la temperatura de calentamiento la resistencia de fluencia y de tracción en todas las muestras se incrementa y la elongación disminuye a excepción de las muestras templadas con aire.

Comparando las propiedades mecánicas de la chapa de acero con ó sin tratamiento, tenemos que la probeta No. 21 presenta una mejor combinación de resistencia y ductilidad, pero al compararla con resultados publicados anteriormente sobre chapa de aceros de doble fase con una resistencia a la tracción de  $66 \text{ Kg/mm}^2$  y una elongación del 31%, tenemos que solo se obtiene la propiedad de ductilidad ya que la resistencia se ve muy por debajo.



Además la gráfica esfuerzo-deformación presenta bandas de Luders para todas las muestras ensayadas figs. 12 a 14.

Los valores obtenidos del ensayo de tracción fue tomados de la máquina de ensayos Instron.

En el ensayo de embutición se obtuvieron por lo general valores promedio de profundidad de embutición de 9.5mm que comparados con los valores reportados en la tabla de la página 27, en donde el valor para un embutido profundo en chapa de acero es de 11mm, por lo tanto no se logra obtener una buena calidad de lámina después de ser tratada termicamente.

Por lo que respecta al ensayo de simulación de Altura Limite de Cúpula los valores obtenidos se graficaron como se muestra en la fig. 15, obteniendo de esta manera el diagrama de limite de formado para diferentes temperaturas de calentamiento (750, 800 y 850°C) y templadas en diferentes medios de enfriamiento.

TABLA I

| Muestra No. | Temperatura *C | Medios de<br>Enfriamiento | Dureza<br>Rockwell B |
|-------------|----------------|---------------------------|----------------------|
| 11          | 750            | Aire                      | 62                   |
| 12          | 750            | Agua                      | 71                   |
| 13          | 750            | Agua con Sosa             | 66                   |
| 21          | 800            | Aire                      | 67                   |
| 22          | 800            | Agua                      | 75                   |
| 23          | 800            | Agua con Sosa             | 76                   |
| 31          | 850            | Aire                      | 78                   |
| 32          | 850            | Agua                      | 64                   |
| 33          | 850            | Agua con Sosa             | 81                   |

TABLA II

## Propiedades Mecánicas de la Chapa de Acero Doble Fase.

| Probeta No. | Temp.<br>*C | Medio de<br>Enfriam.        | Resistencia        |     |                    |     | Elongación |       |
|-------------|-------------|-----------------------------|--------------------|-----|--------------------|-----|------------|-------|
|             |             |                             | Fluencia           |     | Tracción           |     | Uniforme   | Total |
|             |             |                             | Kg/mm <sup>2</sup> | Ksi | Kg/mm <sup>2</sup> | Ksi | %          | %     |
| 11          | 750         | Aire                        | 38                 | 54  | 41                 | 58  | 32         | 36    |
| 12          | 750         | Agua                        | 42                 | 60  | 47                 | 67  | 19         | 22    |
| 13          | 750         | Agua/<br>Sosa               | 42                 | 59  | 46                 | 66  | 18         | 22    |
| 21          | 800         | Aire                        | 40                 | 57  | 43                 | 59  | 33         | 36    |
| 22          | 800         | Agua                        | 43                 | 61  | 49                 | 70  | 18         | 21    |
| 23          | 800         | Agua/<br>Sosa               | 49                 | 70  | 56                 | 80  | 16         | 19    |
| 31          | 850         | Aire                        | 35                 | 50  | 40                 | 57  | 30         | 35    |
| 32          | 850         | Agua                        | 46                 | 69  | 54                 | 77  | 12         | 15    |
| 33          | 850         | Agua/<br>Sosa               | 54                 | 77  | 59                 | 84  | 13         | 15    |
| 00          |             | Sin tratamiento<br>térmico. | 36                 | 52  | 42                 | 60  | 20         | 30    |

Todas las muestras tienen un espesor de 1.1mm y se cortaron con una dirección paralela a la de laminación.

TABLA III

Valores Promedio de la Profundidad de Embutido en Chapa de Acero  
de Doble Fase.

| Probeta N* | Espesor mm | Profundidad mm |
|------------|------------|----------------|
| 11         | 1.1        | 9.8            |
| 12         | 1.1        | 10.0           |
| 13         | 1.1        | 9.2            |
| 21         | 1.1        | 10.1           |
| 22         | 1.1        | 8.2            |
| 23         | 1.1        | 7.7            |
| 31         | 1.1        | 10.6           |
| 32         | 1.1        | 8.1            |
| 33         | 1.1        | 8.7            |

### CONCLUSIONES

El proceso empleado para obtener la microestructura de doble fase fue el de Calentamiento Continuo, las muestras se calentaron a una temperatura intercritica (750, 800 y 850°C) por un tiempo de 4 minutos y se templaron en diferentes medios de enfriamiento como aire, agua y agua con sosa seguido de un tratamiento de revenido a una temperatura de 200-300°C por un tiempo de de 1 minuto.

Una vez aplicado el proceso la microestructura obtenida fue una red de ferrita con una dureza promedio de 70 RB, las muestras que presentan una mejor combinacion de resistencia-ductilidad fueron aquellas templadas al aire a diferentes temperaturas (750, 800 y 850 °C), todo esto al compararlas con las propiedades mecánicas reportadas por la muestra sin tratamiento térmico, sin embargo los resultados obtenidos son inferiores básicamente en la resistencia a los resultados publicados anteriormente sobre chapa de acero de doble fase.

Los resultados del ensayo de embutición confirman lo anterior reportando valores menores a los requeridos para embutido profundo en chapa de acero.

Por lo tanto podemos concluir lo siguiente:

1.-Se obtuvieron mejores propiedades mecánicas al templar las muestras al aire, además las gráficas esfuerzo-deformación presentan curvas similares indicando que la temperatura de calentamiento no influye en los resultados.

2.-La curva esfuerzo-deformación presenta bandas de Luders para todas las muestras ensayadas.

3.-Se mejoraron las propiedades mecánicas de la chapa de acero sin tratamiento térmico.

4.-Aunque hubo mejoría en las propiedades del metal, estos todavía no alcanzan los niveles óptimos reportados básicamente en cuanto a resistencia.

5.-Un acero microaleado hubiese permitido obtener la microestructura de doble fase, no obtenida en este trabajo.

6.-Las propiedades de la chapa de acero obtenidas en la Tesis Precedente ( 1 ) son similares, con excepción de la elongación que es superior en las muestras templadas al aire estudiadas en la presente investigación.

( 1 ) Aceros de Doble Fase

Guillermo Santana Arias 1986

Diseño y Fabricación del herramental necesario para efectuar ensayos de embutición.

El diseño del aditamento para realizar los ensayos de embutición se llevo a cabo en la tesis Fabricación de Aceros de Doble Fase , en el presente trabajo se corrigio el 50% del funcionamiento del aditamento, la parte superior que constaba de varios elementos de fijación se cambio a una sola pieza llamada Portapunzón, todo esto con el fin de facilitar el manejo de la parte superior del aditamento, así como centrar la parte superior con la inferior, también se maquino una nueva placa soporte y un tornillo para lograr lo anterior.

El portapunzón lleva dos ajustes, uno de ellos es un ajuste de transición y permite centrar la parte superior e inferior del aditamento, el segundo es un ajuste de apriete y permite sujetar un par de manerales que se encuentran a la mitad de la longitud de la pieza.

Calculo de los ajustes.

Portapunzón

|                     | Agujero   | Arbol     |
|---------------------|-----------|-----------|
| Medida              | 34.3mm H7 | 34.3mm m6 |
| Diferencia Superior | 0.025     | 0.025     |
| Diferencia Inferior | 0.000     | 0.009     |
| Tolerancia          | 0.025     | 0.016     |

|                   |                           |        |
|-------------------|---------------------------|--------|
| Medida Máxima     | 34.325                    | 34.325 |
| Medida Mínima     | 34.3                      | 34.309 |
| Sistema de Ajuste | Agujero Unico.            |        |
| Tipo de Ajuste    | De Transición.            |        |
| Jmáx. =           | $34.325 - 34.309 = 0.016$ |        |

## Maneral

|                     |                           |             |
|---------------------|---------------------------|-------------|
|                     | Agujero                   | Arbol       |
| Medida Nominal      | 7.9375mm H7               | 7.9375mm r6 |
| Diferencia Superior | 0.015                     | 0.028       |
| Diferencia Inferior | 0.000                     | 0.019       |
| Tolerancia          | 0.015                     | 0.009       |
| Medida Máxima       | 7.9525                    | 7.9655      |
| Medida Mínima       | 7.9375                    | 7.9565      |
| Sistema de Ajuste   | Agujero Unico.            |             |
| Tipo de Ajuste      | De Apriete.               |             |
| Amáx. =             | $7.9655 - 7.9375 = 0.028$ |             |
| Amín. =             | $7.9565 - 7.9525 = 0.004$ |             |

El punzón también presenta una tolerancia para su fabricación todo esto de acuerdo a la norma ISO/DIS 8490, el material empleado fue un acero 1045, el cuál se temple y se obtuvo una dureza de 37 Rc.



La cavidad escalonada que presenta la placa soporte esta en función de los diámetros del tornillo ó sea se dejo una holgura de 0.3 y 0.5 respectivamente sobre los diámetros.

Las dimensiones de las piezas fabricadas son presentadas en la parte final del trabajo asi como el ensamble total del aditamento.

#### Proceso de Fabricación

La fabricación del portapunzón, punzón, tornillo y manerales se llevo acabo en el torno, el maquinado de la placa soporte se realizo tanto en el cepillo como en el torno, siguiendo las siguientes rutas de trabajo.

## TORNILLO

| No.                      | 1                                    | 2  | 3  | 4   |
|--------------------------|--------------------------------------|--|--|---|
| Operación                | Cortar acero 1010 $\phi$ 50.8 x 32mm | Montar pza. y refrentar caras A y B, prof.de -- corte 1mm                                  | Centrar caras A y B                                | Desbaste cilindrico prev. lado A $\phi$ 32 x 24mm |
| Máquina Empleada.        | Sierra Cinta                         | Torno Horizontal $V=6''$ HP=1  | 2  | 2   |
| Herramienta de Corte.    | Sequeta                              | Buril con filo para refrentar  | Broca de centros No.3                              | Buril con filo para desbaste cil.                 |
| Parámetro de Operación.  | -----                                | Vc=28m/min.<br>s=1mm/rev.<br>n=175rpm.<br>1 pasada por cara, LT=29mm<br>prof. corte = 1 mm | Vc=15m/min<br>s=0.1mm/rev.<br>n=1600 rpm<br>LT=4mm | 2<br>LT=27mm<br>9 pasadas<br>das                  |
| Herramienta General.     | -----                                | -----  | -----  | -----   |
| Instrumento de Medición. | Flexómetro                           | Vernier  | -----  | 2   |
| Accesorios.              | -----                                | Chuck Universal  | Broquero con llave No.34                           | 2 y punto giratorio                               |
| Lubricantes y Refrig.    | Propios de Máquina                   | Aceite de Corte  | 2  | 2   |
| Tiempos                  | Minutos                              |  |  |   |
| Preparación              | 2                                    | 2  | 0.5  | 0.5   |
| Accesorios               | 0.5                                  | 1  | ---  | 0.5   |
| Prorratear               | 0.5                                  | 0.5  | 0.5  | 0.5   |
| Principal                | 0.9                                  | 0.1657<br><u>x 2</u><br>0.3314   | 0.025<br><u>x 2</u><br>0.05                        | 0.1543<br><u>x 9</u><br>1.3886                    |

TORNILLO

40

| No.                       | 5   | 6                                      | 7  | 8   |
|---------------------------|---|--|--|---|
| Operación.                | Desbaste cil. previo del lado B con $\phi$ 46x6mm | Taladrar la cara B con $\phi$ 5.95x7mm | Desmontar pza. de tornos y forjar cavidad hexagonal. | Montar pza. en tornos y afinado cil. lado B a $\phi$ 45x6mm |
| Máquina Empleada.         | 2   | 2                                      | Forja  | 2   |
| Herramienta de Corte.     | 4   | Broca Helicoidal $\phi$ 15/64          | Funzón hexagonal                                     | Buril con filo para afinado                                 |
| Parámetro de Operación.   | 2<br>LT=9mm<br>3 pasadas.                         | 3<br>LT=1+0.3d<br>LT=9mm               | Manual   | Vc=30m/mis=0.5mm/r<br>n=188rpm<br>LT=11mm<br>1 pasada       |
| Herramienta General.      | -----   | -----                                  | Martillo de bola<br>pinzas<br>guantes<br>mandil      | -----   |
| Instrumentos de Medición. | 2   | 2                                      | 2  | 2   |
| Accesorios.               | 4   | 3                                      | Equipo de Oxitilena, boquilla No 273                 | 2   |
| Lubricantes Refrig.       | 2   | 2                                      | -----  | 2   |
| Tiempos                   | Minutos   |  |  |   |
| Preparación               | 0.5   | 1                                      | 8  | 1   |
| Accesorios                | ---   | 1                                      | 5  | 1   |
| Prorratear                | 0.5   | 0.5                                    | 0.5  | 0.5   |
| Principal                 | 0.0514<br>x 2<br>0.1543                           | 0.0562                                 | -----  | 0.1170  |

## TORNILLO

| No.                      | 9   | 10  | 11                            |
|--------------------------|---|---|-------------------------------|
| Operación.               | Voltear pza y afinar -- cil. lado A con $\phi$ 31.7x 24mm | Tallar rosca y afinar a $\phi$ 31.7x24mm  | Desmontar limpiar y verificar |
| Máquina Empleada.        | 2   | 2   | -----                         |
| Herramienta de Corte.    | 4   | Buril con filo para roscado   | -----                         |
| Párametro de Operación.  | 8<br>LT=29mm<br>1 pasada                                  | Vc=9m/min<br>s=2.11mm/r<br>n=90rpm<br>LT=30mm<br>8pasadas/<br>desbaste<br>2 pasadas/<br>acabado | -----                         |
| Herramienta General.     | -----   | -----   | -----                         |
| Instrumento de Medición. | 2   | 2   | 2                             |
| Accesorios               | 4   | 4   | -----                         |
| Lubricantes y Refrig.    | 2   | 2   | Detergente, estopa y grasa    |
| Tiempos                  | Minutos   |   |                               |
| Preparación              | 0.5   | 1   | 1                             |
| Accesorios               | 0.5   | 1   | 3                             |
| Prorratar                | 0.5   | 0.5   | 1                             |
| Principal                | 0.3085  | 0.1520<br><u>x 10</u><br>1.58   | -----                         |

Tiempo Empleado= 42.386 min.

| PUNZON                      |  |   |  | 42  |
|-----------------------------|--|---|--|---|
| No.                         | 1  | 2   | 3  | 4   |
| Operación.                  | Cortar acero<br>1045 $\phi$ 25.4 x<br>80mm | Refrentar ca-<br>ra A   | Centrar Cara<br>frontal A                        | Desbaste<br>cilindri-<br>co lado<br>A a $\phi$ 20.5<br>x 73mm           |
| Máquina<br>Empleada.        | -----                                      | Torno<br>Horizontal<br>V=6"<br>HP=1                                       | 2  | 2   |
| Herramienta<br>de Corte.    | Arco con<br>segueta                        | Buril con<br>filo para<br>refrentar                                       | Broca de<br>centros<br>No. 3                     | Buril con<br>filo para<br>desbaste<br>cil.<br>2<br>LT=76mm<br>3 pasadas |
| Parámetros<br>de Operación. | Manual                                     | Vc=24m/min<br>s=1mm/rev<br>n=300rpm<br>LT=16mm<br>Prof. de -<br>corte=1mm | Vc=15m/min<br>s=0.1mm/r<br>n=1592rpm<br>LT=3.9mm |   |
| Herramienta<br>General.     | -----                                      | -----   | -----  | -----   |
| Instrumento<br>de Medición. | Flexómetro                                 | Vernier   | 2  | 2   |
| Accesorios.                 | Banco de<br>Trabajo                        | Chuck<br>Universal  | Broquero<br>No. 34 con<br>llave                  | Punto gi-<br>ratorio y<br>2   |
| Lubricantes<br>y Refrig.    | -----                                      | Aceite de<br>corte  | 2  | 2   |
| Tiempos                     | Minutos                                    |   |  |   |
| Preparación                 | 1  | 1   | 0.5  | 0.5   |
| Accesorios                  | 0.5  | 0.5   | 0.5  | 0.5   |
| Prorratear                  | 0.5  | 0.5   | 0.5  | 0.5   |
| Principal                   | 0.65                                       | 0.0532  | 0.0245   | 0.2533<br><u>x 3</u><br>0.7600  |

## PUNZON

| No.                         | 5  | 6                                   | 7   | 8   |
|-----------------------------|--|-------------------------------------|---|---|
| Operación.                  | Afinado cil.<br>$\phi$ 20 $\pm$ 0.05x<br>73mm                | Desbaste cil.<br>a $\phi$ 9.525x8mm | Tallado de<br>rosca $\phi$ 3/8<br>16UNCx8mm   | Tronzar a<br>una longitud de pra<br>= 71mm  |
| Máquina<br>Empleada.        | 2  | 2                                   | 2   | 2   |
| Herramienta<br>de Corte.    | Buril con -<br>filo para<br>afinado                          | 4                                   | Buril con<br>filo para<br>rosca   | Cuchilla<br>de tronzar  |
| Párametro<br>de Operación.  | Vc=28m/min<br>s=0.5mm/rev<br>n=350rpm<br>LT=76mm<br>1 pasada | 2<br>LT=11mm<br>5 pasadas           | Vc=8m/min<br>s=1.58mm/r<br>n=267rpm<br>LT=11mm<br>6 pasadas<br>desbaste<br>2 pasadas<br>afinado | Vc=19m/min<br>s=0.15mm/r<br>n=302rpm<br>LT=13mm<br>10 pasadas<br>prof. corte<br>= 1mm |
| Herramienta<br>General.     | ----   | -----                               | -----   | -----   |
| Instrumento<br>de Medición. | 2  | 2                                   | 2   | 2   |
| Accesorios.                 | 4  | 4                                   | 4   | 4   |
| Lubricantes<br>y Refrig.    | 2  | 2                                   | 2   | 2   |
| Tiempos                     | Minutos  |                                     |   |   |
| Preparación                 | -----  | -----                               | 1   | 1   |
| Accesorios                  | 0.5  | 0.5                                 | 1   | 0.5   |
| Prorroga                    | 0.5  | 0.5                                 | 0.5   | 0.5   |
| Principal                   | 0.4332   | 0.0367                              | 0.026   | 0.2870  |

PUNZON

| No.                      | 9                        | 10   | 11                            |
|--------------------------|--------------------------|--|-------------------------------|
| Operación.               | Refrentar cara B         | Mecanizar sup. esférica a $\phi$ $20 \pm 0.05$ mm. | Desmontar limpiar y verificar |
| Máquina Empleada.        | 2                        | 2  | ----                          |
| Herramienta de Corte.    | 2                        | 2  | ----                          |
| Parámetro de Operación.  | 2<br>LT=13mm<br>1 pasada | 2<br>LT=19mm<br>10 pasadas                         | ----                          |
| Herramienta General.     | ----                     | ----   | ----                          |
| Instrumento de Medición. | 2                        | 2  | 2                             |
| Accesorios.              | 2                        | Generador de esferas                               | ----                          |
| Lubricantes y Refrig.    | 2                        | 2  | Detergente estopa y -grasa    |
| Tiempos                  | Minutos                  |  |                               |
| Preparación              | ----                     | 1  | 1                             |
| Accesorios               | 0.5                      | 0.5  | 3                             |
| Prorratear               | 0.5                      | 0.5  | 1                             |
| Pincipal                 | 0.0533                   | 0.0633<br><u>x 10</u><br>0.633                     | ----                          |

Tiempo Empleado= 27.368min.

## MANERAL

45

| No.                         | 1                                     | 2   | 3   | 4   |
|-----------------------------|---------------------------------------|---|---|---|
| Operación.                  | Cortar acero<br>1010 Ø 19.1x<br>150mm | Montar pza.<br>y refrentar<br>caras A y B<br>prof. de --<br>corte 1mm | Centrar ca-<br>ras A y B.   | Montar pza<br>entre cen-<br>tros y des-<br>plazar la-<br>punta del<br>cabezal mo-<br>vil $\phi/2=$<br>3.3 mm<br>2 |
| Máquina<br>Empleada.        | -----                                 | Torno Hori-<br>zontal<br>V=6"<br>HP=1                                 | 2   | 2   |
| Herramienta<br>de Corte.    | Sequeta                               | Buril con -<br>filo para -<br>refrentar                               | Broca de-<br>centros No.<br>3                                     | -----   |
| Parámetro<br>de Operación.  | Manual                                | Vc=20m/min.<br>s=1mm/rev.<br>n=333rpm<br>LT=13mm<br>1 pasada          | Vc=15m/min.<br>s=0.1mm/rev.<br>n=1600rpm<br>LT=1+0.3d<br>LT=3.9mm | -----   |
| Herramienta<br>General.     | -----                                 | -----   | -----   | -----   |
| Instrumento<br>de Medición. | Flexómetro                            | Vernier   | 2   | 2   |
| Accesorios.                 | Arco con -<br>Sequeta                 | Chuck<br>Universal  | Broquero No.<br>34 con lla-<br>ve                                 | Plato pla-<br>no, perro-<br>de arras-<br>tre, punto<br>giratorio  |
| Lubricantes<br>y Refrig.    | -----                                 | Aceite de<br>Corte  | 2   | -----   |
| Tiempos                     | Minutos                               |   |   |   |
| Preparación                 | 1                                     | 1   | 0.5   | 1   |
| Accesorios                  | 0.5                                   | 1   | 0.5   | 1.5   |
| Prorratear                  | 0.5                                   | 0.5   | 0.5   | 1   |
| Principal                   | 0.9                                   | 0.039<br>$\frac{\times 2}{0.078}$                                     | 0.0245<br>$\frac{\times 2}{0.0490}$                               | -----   |



## MANERAL

| No.                      | 5                                     | 6                                      | 7                              | 8   |
|--------------------------|---------------------------------------|--|--------------------------------|---|
| Operación.               | Desbaste cilindrico a $\phi$ 13x125mm | Moletado en X, 0.5 a $\phi$ - 13x110mm | Volver a - centro de - máquina | Desbaste previo del lado A con $\phi$ 8x14 mm |
| Máquina Empleada.        | 2                                     | 2                                      | 2                              | 2   |
| Herramienta de Corte.    | Buril con - filo para - desbaste      | Moleteador                             | -----                          | 5   |
| Parámetro de Operación.  | 2<br>LT=130mm<br>3 pasadas            | 2<br>LT=110mm                          | -----                          | 2<br>LT=17mm<br>3 pasadas                     |
| Herramienta General.     | -----                                 | -----                                  | 5                              | -----   |
| Instrumento de Medición. | 2                                     | 2                                      | 2                              | 2   |
| Accesorios.              | 4                                     | 4                                      | -----                          | -----   |
| Lubricantes y Refrig.    | 2                                     | 2                                      | -----                          | 2   |
| Tiempos                  | Minutos                               |  |                                |   |
| Preparación              | 0.5                                   | -----                                  | 1                              | 0.5   |
| Accesorios               | 0.5                                   | 0.5                                    | -----                          | 0.5   |
| Prorratear               | 0.5                                   | 0.5                                    | 0.5                            | 0.5   |
| Principal                | 0.3904                                | 0.3303<br><u>x 3</u><br>1,1712         | -----                          | 0.0511<br><u>x 3</u><br>0.1532                |

MANERAL

| No.                      | 9   | 10   | 11                            |
|--------------------------|---|--|-------------------------------|
| Operación.               | Afinado cilíndrico - del lado A con $\phi$ 7.96 $\pm 0.01 \times 14$ mm | Tronzar pza. Lpza.=120mm prof. de corte 1mm                                      | Desmontar limpiar y verificar |
| Máquina Empleada.        | 2   | 2  | -----                         |
| Herramienta de Corte.    | Buril con filo para afinado   | Cuchilla de Tronzar  | -----                         |
| Parámetro de Operación.  | Vc=28m/min.<br>s=0.5mm/rev<br>n=467rpm<br>LT=17mm<br>1 pasada           | Vc=16m/min.<br>s=0.12mm/r<br>n=267rpm<br>LT=12mm<br>9 op. de corte con prof.=1mm | -----                         |
| Herramienta General.     | -----   | -----  | -----                         |
| Instrumento de Medición. | 2   | 2  | 2                             |
| Accesorios               | -----   | -----  | -----                         |
| Lubricantes y Refrig.    | 2   | 2  | Detergente estopa y - grasa   |
| Tiempos                  | Minutos   |  |                               |
| Preparación              | -----   | -----  | 1                             |
| Accesorios               | 0.5   | 0.5  | 3                             |
| Prorratear               | 0.5   | 0.5  | 1                             |
| Principal                | 0.0728  | 0.3745<br><u>    x 9</u><br>3.37   | -----                         |

Tiempo Empleado= 27.72 min.

## PORTAPUNZON

| No.                      | 1                                    | 2   | 3  | 4   |
|--------------------------|--------------------------------------|---|--|---|
| Operación.               | Cortar acero 1010 $\phi$ 50.8x 152mm | Montar pza. y refrentar caras A y B   | Centrar caras A, B y sujeción entre puntas                       | Afinado cil- del lado A $\phi$ 50x102mm                       |
| Máquina Empleada.        | Sierra Cinta                         | Torno Horizontal $V=6''$ HP=1   | 2  | 2   |
| Herramienta de Corte.    | Segueta                              | Buril con filo para refrentar   | Broca de centros No.3  | Buril con filo para afinado                                   |
| Parámetros de Operación. | -----                                | Vc=28m/min<br>s=1mm/rev.<br>n=175rpm<br>LT=29mm<br>1 pas/lado prof. corte = 1mm | Vc=15m/min.<br>s=0.1mm/rev<br>n=1592rpm<br>LT=1+0.3d<br>LT=3.9mm | Vc=30m/min<br>s=0.5mm/rev<br>n=168rpm<br>LT=105mm<br>1 pasada |
| Herramienta General.     | -----                                | -----   | -----  | -----   |
| Instrumento de Medición. | Flexómetro                           | Vernier   | -----  | 2   |
| Accesorios.              | -----                                | Chuck Universal   | Broquero No. 34, plato - plano, perro de arrastre, punto gir.    | 3   |
| Lubricantes y Refrig.    | Propios de Máquina                   | Aceite de Corte   | 2  | 2   |
| Tiempos                  | Minutos                              |   |  |   |
| Preparación              | 1                                    | 1   | 1  | 1   |
| Accesorios               | 2                                    | 1   | 1.5  | 0.5   |
| Prorratear               | 0.5                                  | 1   | 1  | 0.5   |
| Principal                | 0.9                                  | 0.1657  | 0.0245   | 1.117   |

## PORTAPUNZON

49

| No.                      | 5   | 6  | 7   | 8  |
|--------------------------|---|--|---|--|
| Operación.               | Desbaste cil. previo del lado A $\varnothing 26 \times 13$ mm | Afinado cil. $\varnothing 25.4 \times 13$ mm | Tallar rosca $\varnothing 25.4-14$ UNC $\times 13$ mm                       | Voltear pza. y desbaste cil. previo del lado B $\varnothing 35 \times 50$ mm |
| Máquina Empleada.        | 2   | 2  | 2   | 2  |
| Herramienta de Corte.    | Buril con filo para desbaste                                  | 4  | Buril con - filo para - rosca   | 6  |
| Parámetro de Operación.  | 2<br>LT=16mm<br>12 pasadas                                    | 4<br>LT=16mm<br>1 pasada                     | Vc=9m/min.<br>s=1.81mm/r<br>n=113rpm<br>LT=16mm, 7 pas/desb.<br>1 pas/afin. | 2<br>LT=53mm<br>8 pasadas  |
| Herramienta General.     | -----   | -----  | -----   | -----  |
| Instrumento de Medición. | 2   | 2  | 2   | 2  |
| Accesorios.              | 3   | 3  | 3   | 3  |
| Lubricantes y Refrig.    | 2   | 2  | 2   | 2  |
| Tiempos                  | Minutos   |  |   |  |
| Preparación              | 0.5   | 0.5  | 2   | 0.5  |
| Accesorios               | 0.5   | 0.5  | 2   | 0.5  |
| Prorratear               | 0.5   | 0.5  | 0.5   | 0.5  |
| Principal                | 0.0914  | 0.1702                                       | 0.0781  | 0.3029   |
|                          | <u>x 12</u>   |  | <u>x 8</u>  | <u>x 8</u>   |
|                          | 1.0971  |  | 0.6244  | 2.4232   |

## PORTAPUNZON

50

| No.                      | 9  | 10   | 11                            | 12   |
|--------------------------|--|--|-------------------------------|--|
| Operación.               | Afinado cil. del lado B - $\phi 14.3 \pm 0.1 \times 50\text{mm}$ | Taladrar la cara B con $\phi 7.937 \times 14\text{mm}$           | Desmontar limpiar y verificar | Tallado de rosca interior a $\phi 3/8$ 16UNC |
| Máquina Empleada.        | 2  | 2  | -----                         | -----  |
| Herramienta de Corte.    | 4  | Broca helicoidal 5/16  | -----                         | Machuelo                                     |
| Parámetro de Operación.  | 4<br>LT=53mm<br>1 pasada   | Vc=18m/min.<br>s=0.18mm/r<br>n=722rpm<br>LT=1+0.3d<br>LT=16.38mm | -----                         | Manual                                       |
| Herramienta General.     | -----  | -----  | -----                         | -----  |
| Instrumento de Medición. | 2  | 2  | 2                             | Calibrador de roscas                         |
| Accesorios.              | 3  | Broquero con llave No. 34  | -----                         | Tornillo de banco, escuadra, maneral, brocha |
| Lubrificantes y Refrig.  | 2  | 2  | Detergente, estopa y -grasa   | Manteca                                      |
| Tiempos                  | Minutos  |  |                               |  |
| Preparación              | -----  | 1  | 1                             | 4  |
| Accesorios               | 0.5  | 1  | 3                             | 3  |
| Prorratear               | 0.5  | 0.5  | 1                             | 0.5  |
| Principal                | 0.563  | 0.1260   | -----                         | -----  |

## PORTAPUNZON

51

| No.                      | 13  | 14  | 15   | 16  |
|--------------------------|---|---|--|---|
| Operación.               | Trazar centros de barreno a una long. de 43.5 mm            | Colocación adecuada y sujeción de la pza.     | Taladrar--- centro de barreno                                      | Taladro previo con broca p <sup>a</sup> 7.54x50mm     |
| Máquina Empleada.        | -----   | Taladro de columna HP=1/2                     | 14   | 14  |
| Herramienta de Corte.    | -----   | -----   | Broca de centros No. 3   | Broca Helicoidal Ø19/64                               |
| Parámetro de Operación.  | Manual  | -----   | Vc=15m/min.<br>s=0.1mm/rev<br>n=1592rpm<br>LT=50.9mm<br>2 agujeros | Vc=18m/min<br>s=0.18mm/rev.<br>n=760rpm<br>LT=52.26mm |
| Herramienta General.     | Martillo de bola  | -----   | -----  | -----   |
| Instrumento de Medición. | 2   | 2   | 2  | 2   |
| Accesorios.              | Banco de trabajo, tinta, rayador, gra neta, regla p/ranuras | Broguero con llave No. 34 y prisma ó pza. uve | 14   | 14  |
| Lubricantes y Refrig.    | -----   | 2   | 2  | 2   |
| Tiempos                  | Minutos   |   |  |   |
| Preparación              | 2   | 1   | 0.5  | 0.5   |
| Accesorios               | 1   | 1   | -----  | 0.5   |
| Prorratear               | 1   | 0.5   | -----  | -----   |
| Principal                | -----   | -----   | 0.3197   | 0.382   |

PORTAPUNZON

52

| No.                         | 17                                 | 18                                   |
|-----------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| Operación.                  | Taladro fi-<br>nal ø7.937x<br>50mm | Desmontar,<br>limpiar y<br>verificar |
| Máquina<br>Empleada.        | 14                                 | -----                                |
| Herramienta<br>de Corte.    | Broca Heli-<br>coidal ø5/16        | -----                                |
| Parametro<br>de Operación.  | 16<br>LT=52.38mm                   | -----                                |
| Herramienta<br>General.     | -----                              | -----                                |
| Instrumento<br>de Medición. | 2                                  | 2                                    |
| Accesorios.                 | 14                                 | -----                                |
| Lubricantes<br>y Refrig.    | 2                                  | Detergente,<br>estopa y -<br>grasa   |
| Tiempos                     | Minutos                            |                                      |
| Preparación                 | 0.5                                | 1                                    |
| Accesorios                  | 0.5                                | 3                                    |
| Prorratear                  | -----                              | 1                                    |
| Principal                   | 0.38280                            | -----                                |
| Tiempo Empleado= 59.5 min.  |                                    |                                      |

PLACA SOPORTE

53

| No.                     | 1   | 2   | 3   | 4                             |
|-------------------------|---|---|---|-------------------------------|
| Operación.              | Cortar placa cuadrada de acero 1010 a 185x185x12.7 mm | Cepillado sucesivo de los cantos a una longitud de 180x180mm                        | Afinado de caras A y B a un espesor de 12mm                     | Desmontar limpiar y verificar |
| Máquina Empleada.       | Sierra Cinta  | Cepillo HP=3  | 2   | -----                         |
| Herramienta de Corte.   | Sequeta   | Buril con filo para desbaste  | Buril con filo para afinado                                     | -----                         |
| Parámetro de Operación. | -----   | Vm=16 m/min<br>s=1mm/dc<br>Ll=22.7mm<br>LT=225mm<br>3 pas./canto prof. corte de 1mm | Vm=22 m/min<br>s=2 mm/dc<br>Ll=190mm<br>LT=220mm<br>1 pas./cara | -----                         |
| Herramienta General.    | -----   | -----   | -----   | -----                         |
| Instrumento de Medición | Flexómetro  | Vernier   | 2   | 2                             |
| Accesorios              | Périco 12   | Martillo de Goma, Escuadra Universal Paralelas                                      | 2   | Banco de Trabajo              |
| Lubricantes y Refrig.   | Propios de Máquina                                    | Aceite de Corte   | 2   | Estopa y Grasa                |
| Tiempo                  | Minutos   |   |   |                               |
| Preparación             | 2   | 2   | 2   | 1                             |
| Accesorios              | 1   | 1   | 2   | 3                             |
| Prorratear              | 0.5   | 0.5   | -----   | 1                             |
| Principal               | 3.3<br><u>x 2</u><br>6.6                              | 0.6384<br><u>x 12</u><br>7.661  | 1.9<br><u>x 2</u><br>3.8  | -----                         |



## PLACA SOPORTE

| No.                      | 5  | 6   | 7   |
|--------------------------|--|---|---|
| Operación.               | Montar pza. en el torno y centrado de la misma | Taladrar la pieza con $\phi$ 6.35, 12.7, 19.1 y 25.4x 12.7mm  | Desbaste interior a un $\phi$ 32x 12mm  |
| Máquina Empleada.        | Torno Horizontal V= 8" HP=1.5                  | 5   | 5   |
| Herramienta de Corte.    | -----  | Brocas Helicoidales $\phi_1=6.35\text{mm}$ , $\phi_2=12.7\text{mm}$ $\phi_3=19.1\text{mm}$ , $\phi_4=25.4\text{mm}$ | 2   |
| Parámetro de Operación.  | -----  | Vc=15m/min s =0.1 mm/r n =752rpm Vc=26m/min s =0.25mm/r n =652rpm LT =14mm LT =18mm                                 | Vc=26m/min s =0.28mm/r n =433rpm Vc=29m/min s =0.31mm/r n =363rpm LT =16mm LT =20mm |
| Herramienta General.     | -----  | -----   | -----   |
| Instrumento de Medición. | -----  | 2   | 2   |
| Accesorios.              | Sock 4 mordazas, amplificador de esfera        | Broquero No. 34 con llave, cono 2--3  | Barra para interiores   |
| Lubricantes y Refrig.    | -----  | 2   | 2   |
| Tiempos                  | Minutos  |   |   |
| Preparación              | 2  | 2   | 0.5   |
| Accesorios               | 1  | 2   | 0.5   |
| Prorratear               | 0.5  | -----   | 0.5   |
| Principal                | -----  | t=0.1862+0.0981+0.1485+<br>+0.1772= 0.6101  | 0.1176<br><u>x 5</u><br>0.5882  |

## PLACA SOPORTE

| No.                      | 8                                      | 9                              | 10   | 11   |
|--------------------------|--|--------------------------------|--|--|
| Operación                | Desbaste interior a un $\phi$ 45.5x6mm | Desmontar, limpiar y verificar | Trazar centro de 4 - barrenos                | Taladrar a $\phi$ 6.74 x12mm 4 agujeros pasantes |
| Máquina Empleada.        | 5                                      | -----                          | -----  | Taladro de Columna HP=1/2                        |
| Herramienta de Corte.    | 2                                      | -----                          | -----  | Broca Helicoidal de - $\phi$ 6.74mm              |
| Parámetro de Operación.  | 7<br>LT=9mm<br>8 pasadas               | -----                          | -----  | V=15m/min<br>s=0.1mm/r<br>n=955rpm<br>LT=14mm    |
| Herramienta General.     | -----                                  | -----                          | -----  | -----  |
| Instrumento de Medición. | 2                                      | 2                              | 2  | 2  |
| Accesorios.              | -----                                  | 4                              | Escuadra universal, tinta, rayador, gra-nete | Broquero NO.34 - Prensa                          |
| Lubricantes y Refrig.    | 2                                      | 4                              | -----  | 2  |
| Tiempos                  | Minutos                                |                                |  |  |
| Preparación              | 0.5                                    | 1                              | 3  | 1  |
| Accesorios               | 0.5                                    | 3                              | 1  | 1  |
| Prorratear               | -----                                  | 1                              | 0.5  | 0.5  |
| Principal                | 0.0588<br><u>x 8</u><br>0.4705         | -----                          | -----  | 0.147  |

## PLACA SOPORTE

No. 12

Operación. Roscar a  $\phi$  7.93x  
12mm, 4 agujeros  
pasantes

Máquina -----  
Empleada.

Herramienta Machuelo  
de Corte. 5/16-18UNC

Parámetro Maneral  
de Operación.

Herramienta -----  
General.

Instrumento -----  
de Medición.

Accesorios. Maneral, Escuadra  
Universal

Lubricantes Manteca  
y Refrig.

Tiempos Minutos

Preparación 8

Accesorios 1

Prorratar 0.5

Principal -----

Tiempo Empleado= 67.3768min.

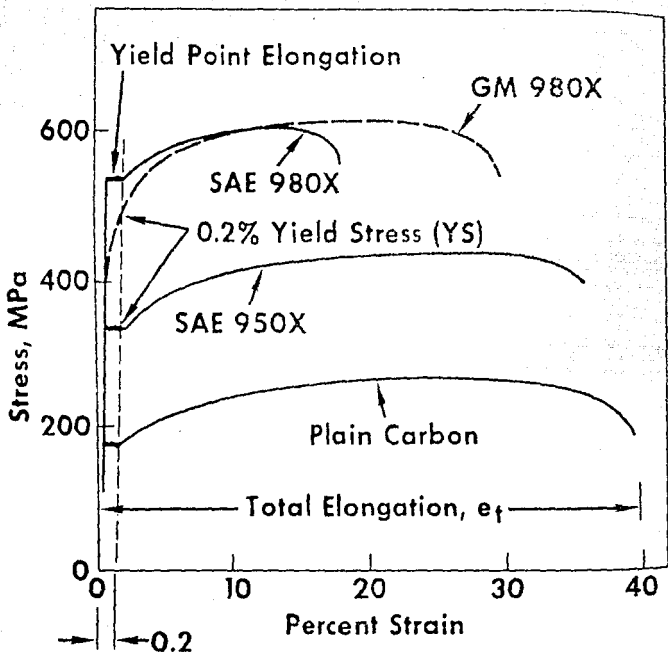


Figure 1 Schematic stress-strain curves for plain carbon, HSLA and dual phase steels. SAE 950X and 980X are Society of Automotive Engineers designations for HSLA steels of different strength levels. GM 980X is a General Motors developed dual phase steel. GM 980X is more ductile than SAE 980X although both steels have similar tensile strength.

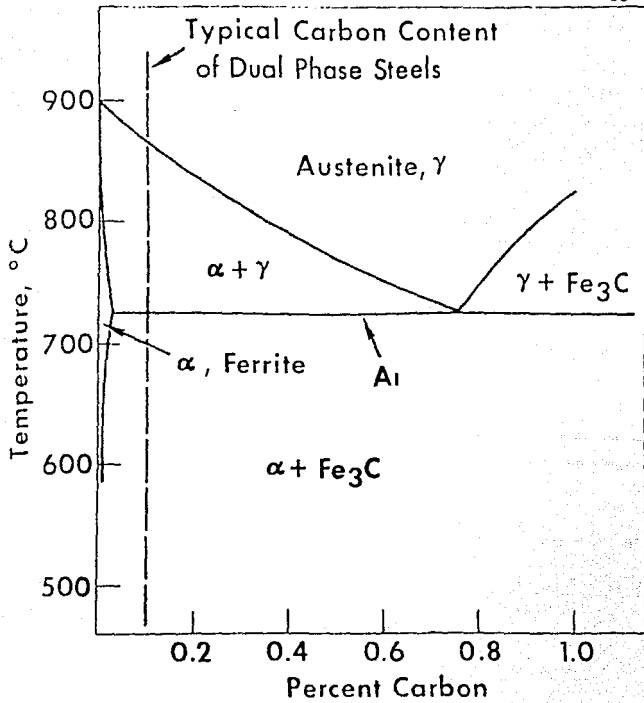


Figure 2 Schematic representation of a portion of the iron-carbon phase diagram.

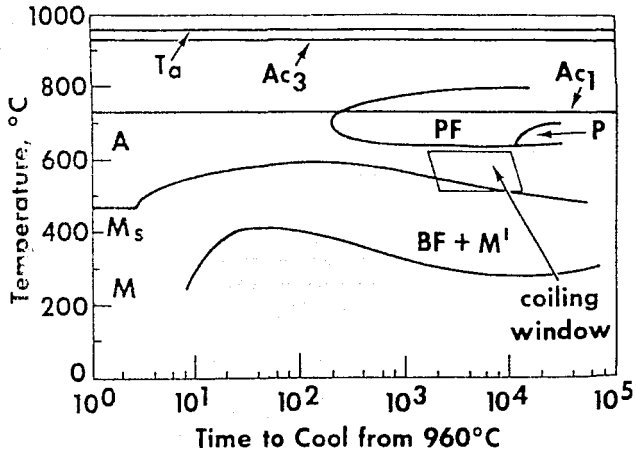


Figure 3 Continuous cooling transformation diagram of an as-rolled dual phase steel (A = austenite, PF = polygonal ferrite, P = pearlite, BF = bainitic ferrite, M = martensite of average C content, M' = martensite from carbon-enriched austenite,  $T_A$  = austenitization temperature) (Reference 16).

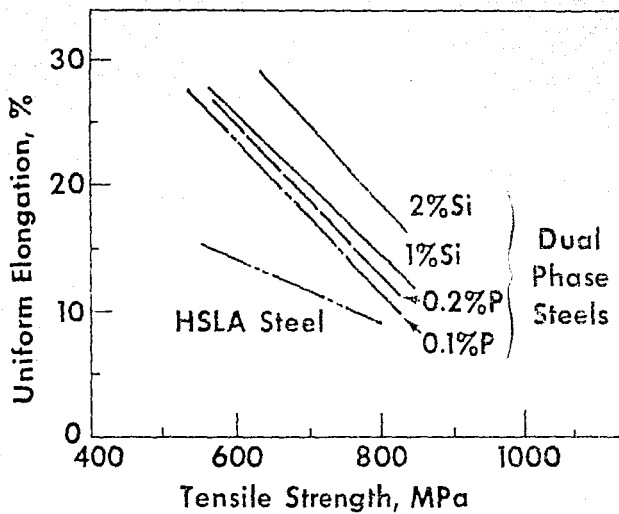


Figure 4. Comparison of observed uniform elongation as a function of tensile strength for both Si- and P-containing dual-phase steels (Reference 47).

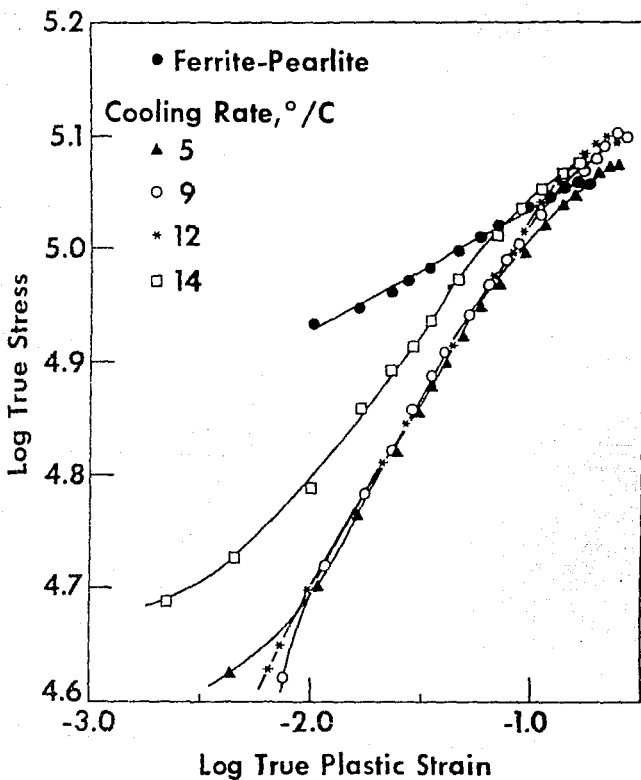


Figure 5 Variation of log true stress-log true plastic strain plots for steels with the same composition but with different microstructures. The ferrite-pearlite steel was heated at 788°C for 3 min and cooled to room temperature at the rates shown to produce dual phase steels.



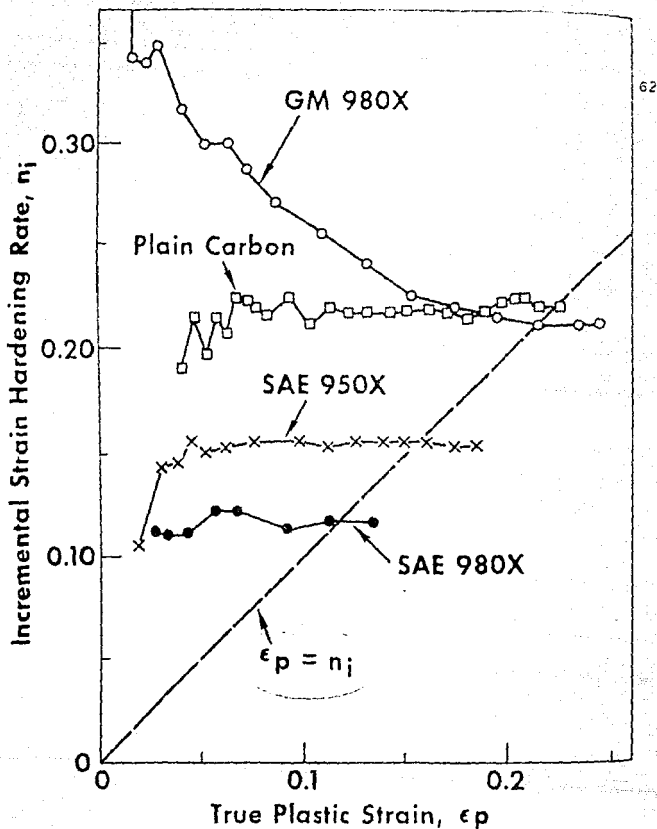
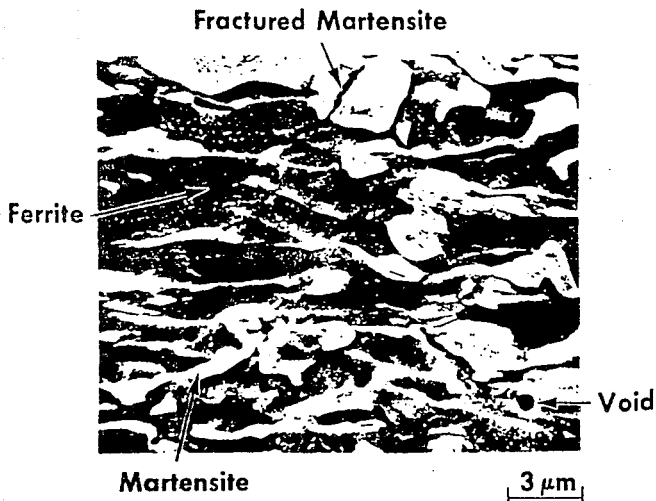


Figure 6 Variation of incremental strain hardening rate,  $n_i$  with increasing true plastic strain in various steels.  $n_i$  is relatively constant in the ferrite-pearlite steels but not in the dual phase steels (Reference 18).



**Figure 7** Scanning electron micrograph of a dual phase steel at fracture initiation. Both ferrite and martensite grains are elongated. Some martensite islands are fractured and voids are formed at the ferrite-martensite interfaces (Reference 28).

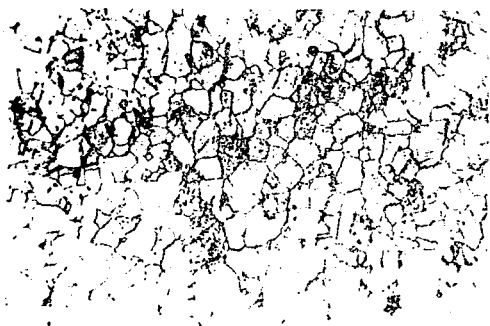
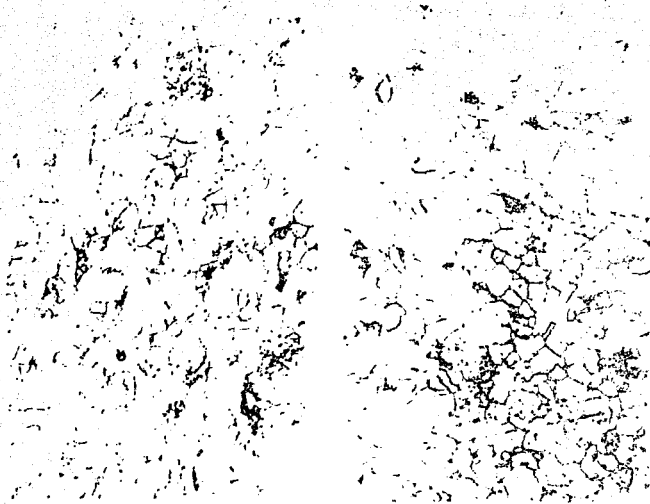


FIG. 6 MICROESTRUCTURA DE LA CHAPA DE ACERO TEMPLEDA AL AIRE (11), AGUA (12) Y AGUA CON  
SOSA (13) QUE MUESTRAN UNA RED DE FERRITA ( ) EL ATAQUE SE REALIZO CON NITAL AL 2%.

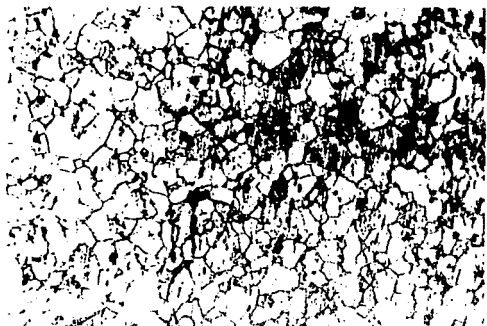
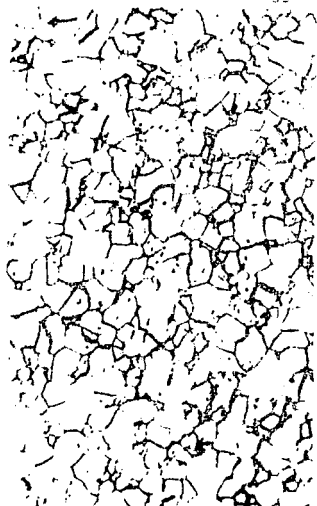
250X

PROBETA No. 21



21

65



23

FIG.9 MICROESTRUCTURA DE LA CHAPA DE ACERO TEMPLADA AL AIRE (21), AGUA (22), Y AGUA CON SODA (23) QUE MUESTRAN UNA RED DE FERRITA ( ) EL ATAQUE SE REALIZO CON NITRICO AL 2% 250X

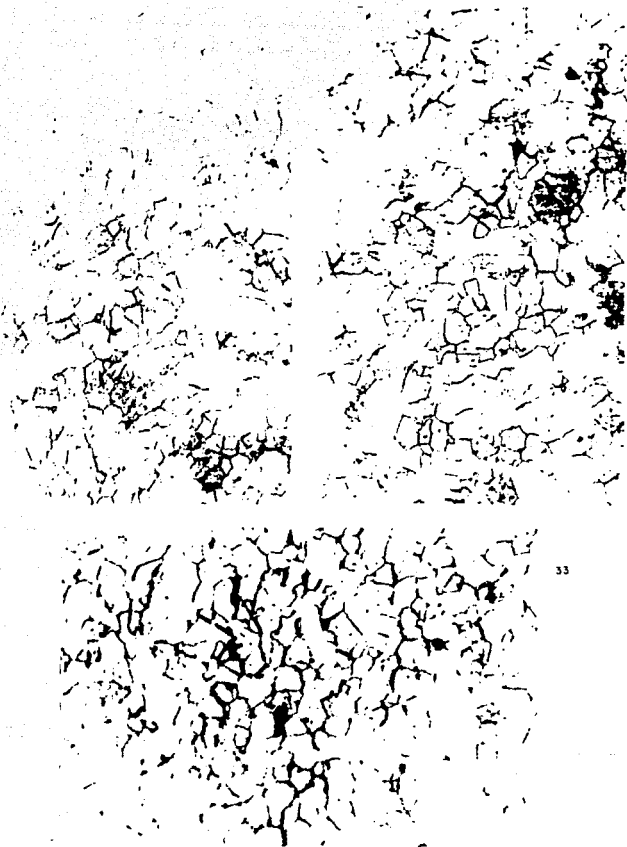


FIG. 10 MICROESTRUCTURA DE LA CHAPA DE ACERO TEMPLADA AL AIRE (31), AGUA (32) Y AGUA CON SOSA (33) QUE MUESTRAN UNA RED DE FERRITA (250). EL ATAQUE SE REALIZO CON NITAL AL 2%.

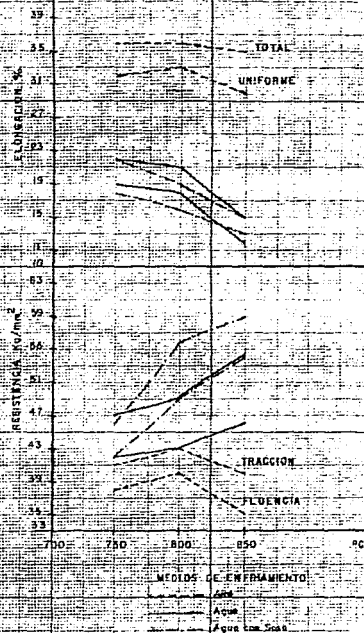
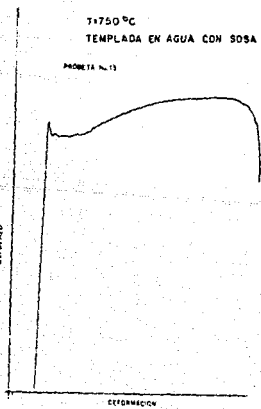
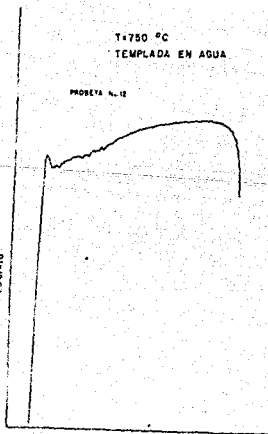
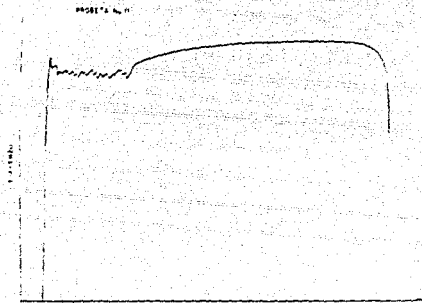


FIG. 11. GRÁFICA QUE MUESTRA LOS EFECTOS DE LA TEMPERATURA DE CALENTAMIENTO ASÍ COMO LOS MEDIOS DE ENFRÍAMENTO SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA CHAPA DE ACERO.

T: 750 °C  
TEMPLADA AL AIRE

68

FIG. 12  
GRAFICA ESFUERZO-DEFORMACION  
PARA CHAPA DE ACERO



ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

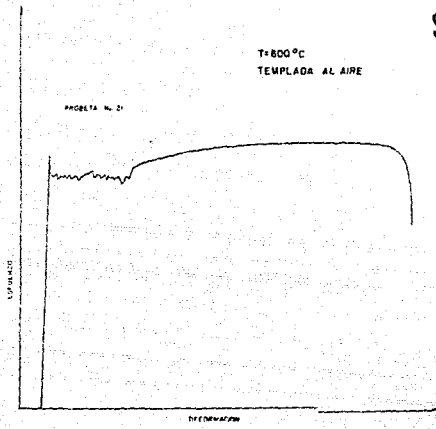
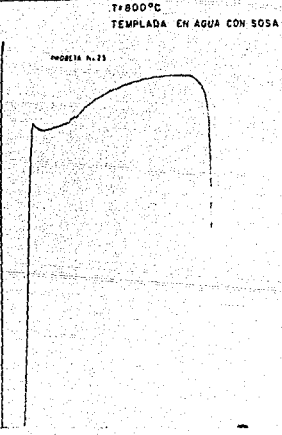
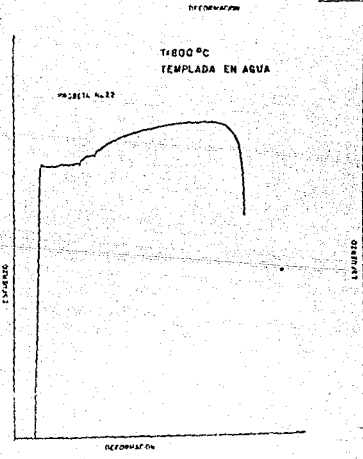


FIG 13  
GRAFICA ESFUERZO-DEFORMACION  
PARA CHAPA DE ACERO.





T=850 °C  
TEMPLADA AL AIRE

70

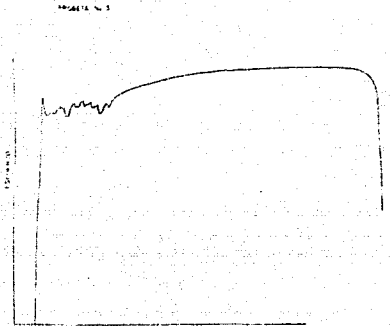
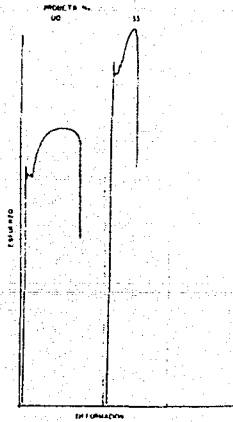
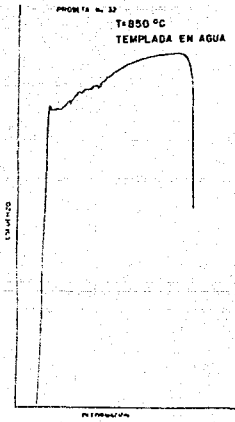
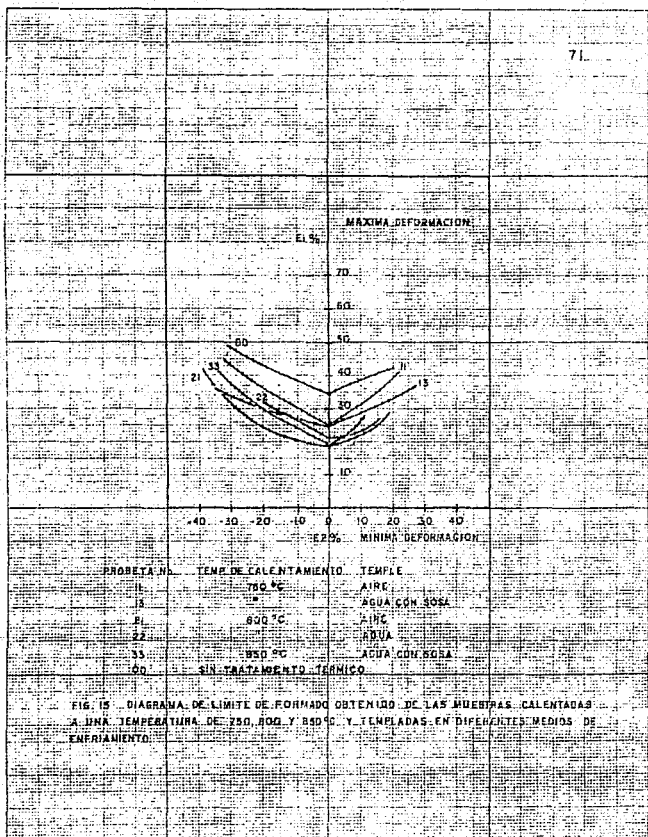


FIG. 14  
GRAFICA ESFUERZO-DEFORMACION  
PARA CHAPA DE ACERO.



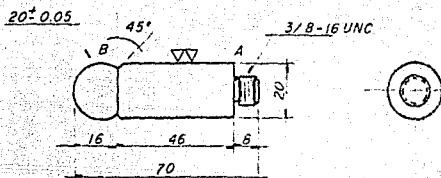
T=850 °C  
TEMPLADA EN AGUA/SOSA

PROBETA No. 00  
SIN TRATAMIENTO TERRICO



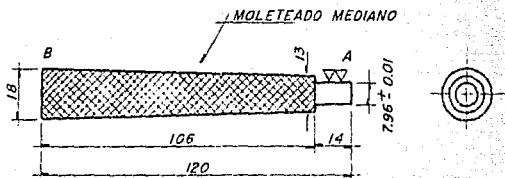
PUNZON  
ACERO SAE 1050 TEMPLADO 37 Rc  
DIMENSIONES DE ACUERDO A LA NORMA ISO/DIS 8490

72



ESCALA 1:125  
ACOT. mm

MANERAL 2 PZAS.  
ACERO SAE 1010

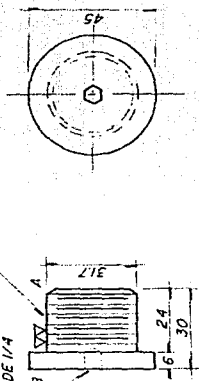


ESCALA 1:125  
ACOT. mm

TORNILLO DE SUJECION INFERIOR

1 1/4 - 12 UNF - 2A

TALADRAR A 15/64, 1/4 PROF Y  
FORJAR CAVIDAD HEXAGONAL DE 1/4

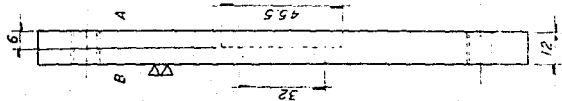
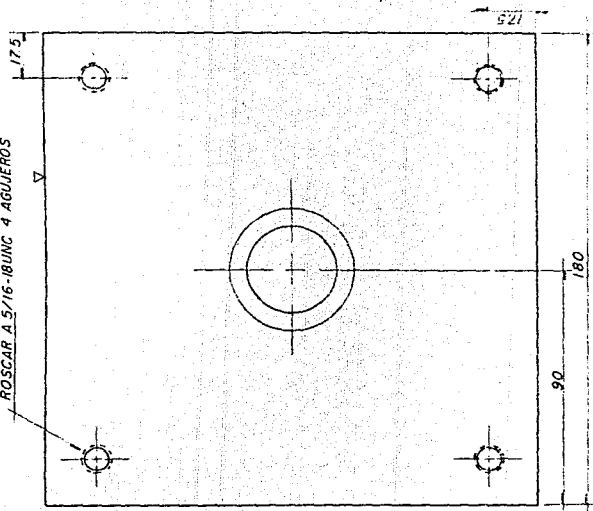


ESCALA 1:125  
ACOT. mm

ACERO SAE 1010

PLACA SOPORTE

TALADRAR A 17/64 PASANTE  
ROSCAR A 5/16-18UNC 4 AGUJEROS



74

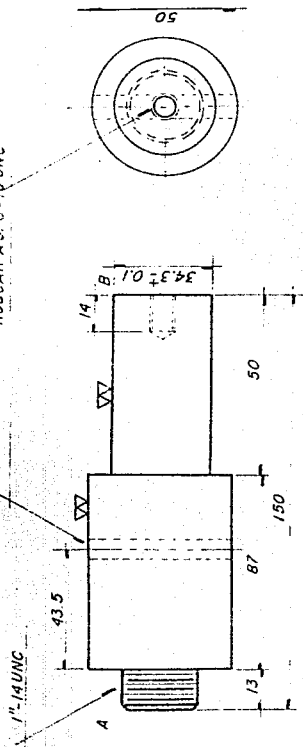
ESCALA 1:125  
ACOT. mm

ACERO SAE 1010

SOPORTE PARA PUNZON  
ACERO SAE 1010

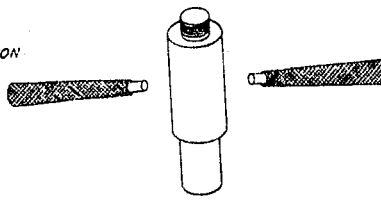
TALADRAR A 5/16  
ROSCAR A 3/8-16 UNC

1"-14 UNC



ESCALA 1/125  
ACOT. mm

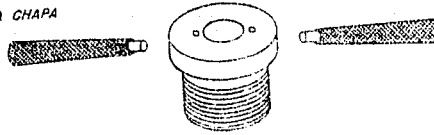
PORTAPUNZON



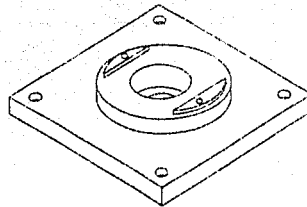
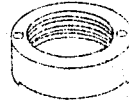
PUNZON



PRENSA CHAPA

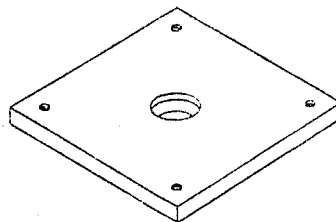


Montaje del Aditamento  
para Ensayos de Embutición.



76

PLACA SOPORTE



**BIBLIOGRAFIA****Introducción a la Metalurgia Fisica**

Sydney H. Avner

Editorial Mc Graw Hill

Segunda Edición

**Materiales de Ingeniería y sus Aplicaciones**

Richard A. Flinn

Editorial Mc Graw Hill

**Metals Handbook**

9 th ed. vol.8 1978

**Dual Phase Steels**

M. S. Rashid

August 1981

General Motors

**Relationship Between Steel Microstructure and Formability**

M. S. Rashid

**On the Ductility of Dual Phase Steels**

R. G. Davies

**Factors Affecting the ductility of "Dual Phase" Alloys**

A. R. Marder



Strength, Ductility and Aging Properties of Continuously-Annealed  
Dual Phase High-Strength Sheet Steels.

K. Nakaoka, K. Araki and K. Kurihara

Intercritically Annealed Dual Phase Steels for Automotive  
Applications

J. W. Morrow, G. Titler, and R. M. Buck

Metallic Material - Sheet and Strip - Modified Erichson Cupping  
Test ISO-DIS 8490

Alrededor de las Máquinas Herramientas

Henrich Gerling

Editorial Reverte

Tecnología de los Oficios Metalúrgicos

A. Leyensetter, G. Wurtemberger

Editorial Reverte