



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

"DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN DISPOSITIVO PARA EL
TRATAMIENTO TERMICO SUPERFICIAL
DE BARRAS CILINDRICAS"

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A N:
JAIME RESENDIZ BERMEO
RUBEN SANCHEZ MEZA
ALEJANDRO VEGA DONACIANO

ASESOR: ING. FELIPE DIAZ DEL CASTILLO RODRIGUEZ

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. MEX.

1997

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodriguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

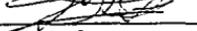
Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

" Diseño y Construcción de un Dispositivo para el Tratamiento
Térmico Superficial de Barras Cilíndricas "

que presenta el pasante: Regendiz Berneo Jaime
con número de cuenta: 8412310-5 para obtener el TITULO de:
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cuautitlan Izcalli, Edo. de Méx., a 24 de febrero de 1999.

PRESIDENTE	<u>Ing. Soledad Alvarado Martínez</u>	
VOCAL	<u>Ing. Daniel Fonilla Sanién</u>	
SECRETARIO	<u>Ing. Felina Diaz del Castillo J.</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>Ing. Jesus Garcia Lira</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Ing. Enrique Cortés Gonzalez</u>	



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

F. E. S. - C.
 CUAUTITLAN, QUERETARO
 72000

NIVEL NACIONAL
 AVENIDA DE
 MEXICO

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES
 DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
 P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
 Jefe del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

" Diseño y Construcción de un Dispositivo para el Tratamiento
 Técnico Superficial de Barras Cilíndricas "

que presenta el pasante: Rubén Sánchez Weza
 con número de cuenta: 8607184-4 para obtener el TITULO de:
Ingeniero Mecánico Electricista .

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
 Cuautitlan Izcalli, Edo. de Mex., a 24 de febrero de 1997

PRESIDENTE	<u>Ing. Soledad Alvarado Martínez</u>
VOCAL	<u>Ing. Daniel Banilla Sanién</u>
SECRETARIO	<u>Ing. Felina Díaz del Castillo R.</u>
PRIMER SUPLENTE	<u>Ing. Jesús García Lira</u>
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Ing. Enrique Cortés González</u>



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

" Diseño y Construcción de un Dispositivo para el Tratamiento
Técnico Superficial de Barras Cilíndricas "

que presenta el pasante: Alejandro Vega Donaciano
con número de cuenta: 5525555-8 para obtener el TITULO de:
Ingeniero Mecánico Electricista .

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cuautitlan Izcalli. Edo. de Méx., a 24 de febrero de 19937

PRESIDENTE	Ing. Soledad Alvarado Martínez	
VOCAL	Ing. Daniel Ponilla Sanjón	
SECRETARIO	Ing. Paline Díaz del Castillo R.	
PRIMER SUPLENTE	Ing. Jesús García Lira	
SEGUNDO SUPLENTE	Ing. Enrique Cortés González	

DEDICACIONES

Esta tesis está dedicada a dos personas muy queridas, a mis padres, Raúl Resendiz Ponce y Manuela Bermeo Montoya, que gracias a su amor y a su cariño que me han mostrado siempre, hoy culmino una de las etapas más importantes de mi vida. Gracias papá por tus consejos y gracias a tí mamá por tu cariño y apoyo.

A la memoria de un gran amigo "Víctor".

Y a todas aquellas personas que directa o indirectamente colaboraron para el desarrollo de este proyecto. Con agradecimiento especial a quienes con su participación y asesoría, Sr. Felipe del real Cabrera y a nuestro asesor Ing. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez, no hubiese sido posible la realización de una de las etapas fundamentales del diseño y construcción, gracias.

Jaime

DEDICACIONES

El presente trabajo lo dedico con cariño a:

Mis padres: Simón Sánchez Monroy y María Meza de Sánchez, por haberme apoyado en todos mis estudios, por sus sabios consejos y por la ayuda que siempre me brindaron.

Mis hermanos: Armando, Raúl, José Luis, José Manuel y Fernando, por apoyarme y ayudarme en todo.

Heidi E. Kast Ruiz, por su ayuda y grata compañía durante toda la carrera, y por la confianza que me depositado en mí en todo este tiempo que llevamos juntos, gracias por tu ayuda y buenos consejos.

A todos los profesores de los cuales aprendí mucho, en especial al Ing. Felipe Díaz del Castillo R., que aparte de ser mi maestro durante varios años me dedico un poco más de su tiempo en la dirección de esta tesis, y a todos los que ayudaron directa e indirectamente en la elaboración de este proyecto, Sr. Felipe del Real Cabrera. Gracias a todos ustedes.

Rubén

DEDICACIONES

El presente trabajo lo dedico a las personas que intervinieron directa o indirectamente en él para hacerlo posible.

Y agradezco de manera especial:

A mis padres: Francisco Vega Hernández y Enedina Donaciano Cruz, por brindarme su amor y apoyo en todo momento de mi vida.

A mis hermanas: Ma. Cristina Vega Donaciano y Ma. de Lourdes Vega Donaciano, que siempre me alentaron en el ansioso deseo por concluir mi carrera.

A la Lic. Psic. Ma. del Socorro Hernández Araiza, por su desinteresada, muy apreciable y valiosa ayuda.

Al Sr. Felipe del Real Cabrera, de quien recibimos no sólo su asesoría para la construcción física de este trabajo sino también su amistad.

Al Ing. Felipe Díaz del Castillo R., quien nos dirigió en cada paso que dábamos.

A nuestros compañeros y amigos: Ing. Alberto Echegaray S. y Ing. Priscila Huitron R., por sus consejos y ayuda incondicional.

A todos mis profesores y a la UNAM FES-C, por la oportunidad de una formación profesional.

Alejandro

INDICE

	PAGINA
CAPITULO 1	
INTRODUCCION	
1.1 Introducción.....	1
1.2 Objetivo.....	4
1.3 Alcance.....	4
CAPITULO 2	
EL ACERO	
2.1 Definición del acero, de las aleaciones según su contenido de carbono.	5
2.2 Clasificaciones importantes del acero de acuerdo con su contenido de carbono.....	5
2.3 Estructura del acero.....	8
2.4 Diagrama de equilibrio Hierro - Carbono.....	12
2.5 Constituyentes estables.....	18
2.6 Diagramas TTT.....	20
2.7 Elementos de aleación en los aceros.....	25
2.8 Templabilidad.....	28
2.9 Tratamientos térmicos.....	30
CAPITULO 3	
TRATAMIENTOS SUPERFICIALES	
3.1 Generalidades sobre el desgaste de los metales.....	33
3.2 El endurecimiento superficial en los metales.....	37
3.3 Elección del procedimiento de endurecimiento superficial.....	38
3.4 Elección del procedimiento de temple superficial.....	39
3.5 La llama oxaceténica.....	44
3.6 La técnica del temple al soplete.....	55

CAPITULO 4

TEMPLE AL SOPLETE

4.1 Aplicaciones principales. Historia y campo de aplicación del temple al soplete.....	64
4.2 Los materiales utilizados para la aplicación del procedimiento.....	66
4.2.1 El soplete de temple.....	68

CAPITULO 5

DISEÑO

5.1 Cálculos de las barras guía.....	69
5.2 Calculo de la velocidad angular.....	71
5.3 Diámetros de las poleas.....	72

CAPITULO 6

PRUEBAS

6.1 Resultados.....	74
6.2 Gráfica de dureza.....	75

CONCLUSIONES.....	76
--------------------------	-----------

BIBLIOGRAFIA.....	78
--------------------------	-----------

ANEXO I (Dibujos).

ANEXO II (Análisis de Costos).

CAPITULO 1

INTRODUCCION

1.1 Introducción

Los casos en que elementos de máquinas sufrían daño por la acción de fuerzas excesivas o por fatiga, se han visto ampliamente reducidos gracias al avance de la técnica en este sentido, así, los daños observados ahora son generalmente atribuidos al desgaste.

El desgaste es el deterioro superficial que experimentan las caras de un cuerpo en contacto con otro cuerpo en movimiento, debido a las rugosidades presentes en el material, mismas que con el desplazamiento son arrancadas y arrastradas en forma de diminutas virutas originando fuerzas de rozamiento muy destructivas.

El desgaste varía de acuerdo a la composición química, estructura, ductilidad y dureza del material.

Influyen en forma importante en el desgaste, la presión, la velocidad y temperatura a las que están sujetas las superficies en contacto, la presencia de lubricantes interpuestos y, en mayor o menor grado la atmósfera abrasiva del sitio de trabajo.

Aquí, resulta de gran importancia no cometer el error de generalizar conocimientos que se han adquirido en forma particular en ciertos casos pasados o, llevar a la industria ensayos de laboratorio sin poner el debido cuidado en analizar si se han tomado en cuenta todas las posibles situaciones que conduzcan al desgaste.

Las grandes producciones exigidas a las máquinas modernas, donde las velocidades y los esfuerzos a que están sometidos sus elementos principales son cada vez más importantes, hacen que la resistencia de sus materiales al desgaste sea de gran valor si se tiene en cuenta que, la reposición de piezas desgastadas constituye una fuente de pérdidas considerables, empeoradas por los paros de trabajo que ocasionan y el capital productivo destinado a las piezas de reposición.

La precisión requerida en estas máquinas así como su vida útil depende de las medidas adoptadas a fin de combatir el desgaste de sus principales piezas de trabajo.

Para lograr lo anterior se recurre con cierta frecuencia al uso simultáneo de diferentes métodos, que tienen como objetivo común evitar el desgaste:

— **Mejoramiento del estado superficial.**

Con lo que se incrementa la precisión además de reducir el coeficiente de rozamiento a través del rectificado de las superficies en contacto.

— **Lubricación de superficies.**

Las superficies en contacto deben contar con una película lubricante distribuida lo más uniformemente posible, la falta momentánea de lubricante entre las caras puede ocasionar fusiones locales y posterior destrucción.

— **Endurecimiento de las superficies en contacto.**

No es posible evitar totalmente el desgaste, aún contando con una buena lubricación, entonces se recurre al uso de un metal duro y otro relativamente blando con el que se fabrica la pieza de sustitución más económica.

En el desgaste se desprenden pequeñas partículas que producen rozamiento, y constituyen obstáculos mecánicos que se oponen y aumentan la resistencia al movimiento relativo de las superficies en contacto.

Si la fuerza utilizada para generar el movimiento es capaz de mantenerlo, las partículas desprendidas se deforman, pudiendo romperse si son de un material frágil. De lo que se deduce que la resistencia al desgaste crecerá al aumentar la dureza, que favorecerá la resistencia inicial a la formación de huellas; la tenacidad, que dificulta el arrancamiento de las partículas mecánicas; y el acabado superficial, que permite eliminar las proyecciones de las partículas.

A menudo se utiliza a la dureza como el único recurso que mantiene un nivel de desgaste aceptable, sin que esto quiera decir que el desgaste dependa exclusivamente de ella.

Sin embargo, es importante que la zona endurecida esté localizada en las superficies rozantes y que pueda limitarse su profundidad, a fin de disminuir el aumento exagerado de la fragilidad de las piezas.

Los métodos por los cuales se satisfacen estos requerimientos son varios: Los tratamientos que modifican superficialmente la composición del acero (cementación y carbonitruración, seguida del temple y la nitruración) y los tratamientos que a través de un calentamiento muy breve afectan sólo una capa superficial de muy poca profundidad (calentamiento por soplete o por corrientes inducidas, seguido del temple).

El temple superficial al soplete se aplica con resultados muy satisfactorios en piezas de acero que por su forma o dimensiones, no pueden ser endurecidas por otros métodos.

En piezas de gran tamaño este método no produce grandes deformaciones, por el hecho de que las piezas sólo sufren un calentamiento parcial, en tanto el resto que está frío, tiene la resistencia y rigidez para impedir cualquier deformación importante.

Los resultados obtenidos por el temple superficial al soplete o a la llama, pueden ser alcanzados ya sea con el uso de aparatos sencillos y poco costosos o bien máquinas de gran rendimiento totalmente automáticas. Situaciones que responden a necesidades tales como las de producir piezas cada vez más ligeras, y sujetas a esfuerzos a veces desproporcionados acrecentando a la vez seguridad y duración.

Los elementos de aleación contribuyen singularmente a la tarea de obtener estas cualidades, aunque no es aconsejable llegar a resultados extremos que pueden provocar simultáneamente la disminución de otras propiedades importantes del material. Sobre todo en piezas pequeñas donde en contadas ocasiones se hace uso de la máxima resistencia de los aceros duros templados porque podrían resultar demasiado frágiles.

Las zonas bajo intenso desgaste o mayormente expuestas al deterioro son generalmente las superficies, por eso el endurecimiento superficial que forma una capa dura, insensible, resistente y que crea gracias a los efectos de la precompresión, una importante resistencia a la fatiga resulta ser la mejor solución.

1.2 Objetivo

La fabricación de una pequeña máquina de temple superficial (temple a la flama) para barras circulares de distintos diámetros (0.5, 1 y 1.5 pulg.), mediante una boquilla de temple que utiliza de combustible el acetileno. Con los materiales más sencillos, económicos y seguros posibles para su fácil manejo y seguridad para el usuario.

1.3 Alcance

Tener un equipo de temple superficial en el laboratorio, para poder templar las barras necesarias en las cuales realizar pruebas de dureza y comparar los resultados con los demás tratamientos térmicos (temple, revenido y normalizado) vistos en esta materia y así completar un poco más las prácticas del laboratorio.

CAPITULO 2

EL ACERO

2.1 Definición del acero, de las aleaciones según su contenido de carbono

Acero. Aleación de base hierro; contiene manganeso, carbono y a menudo otros elementos de aleación. En acero al carbono y acero de baja aleación, el máximo contenido de carbono es del 2.0%; en aceros de alta aleación, es de 2.5% aproximadamente. La línea de separación entre aceros de baja aleación y aceros de alta aleación, se considera generalmente como del 5% de elementos metálicos de aleación.

Acero al carbono. Acero que contiene hasta aproximadamente 2% de carbono y sólo cantidades residuales de otros elementos, excepto aquellos agregados para desoxidación, con silicio generalmente limitado a 0.60% y manganeso aproximadamente 1.65%, también llamado acero ordinario.

Acero aleado. Acero con elementos de aleación distintos del carbono y de las cantidades comúnmente aceptadas de manganeso, silicio, azufre y fósforo; se agregan para mejorar las propiedades mecánicas o físicas de los aceros.

El acero se debe diferenciar de dos tipos generales de "hierros": Los fundidos, en el lado de alto carbono, y de los relativamente puros, del lado de bajo carbono.

2.2 Clasificaciones importantes del acero de acuerdo con su contenido de carbono

El término acero ordinario al carbono describe los aceros en los que los elementos de aleación están en cantidades pequeñas y prácticamente no determinan las propiedades. Estos aceros se clasifican de muy diversas formas, dos de las cuales se muestran en la siguiente *figura 2.2.1*. Recordemos que un acero de contenido de carbono eutectoide, 0.8%, forma, al enfriarse lentamente, la estructura perlitica.

Un acero hipoeutectoide contiene ferrita proeutectoide y perlita, mientras un acero hipoeutectoide contiene cementita proeutectoide y perlita. En muchos casos, estas divisiones son demasiado amplias y los tipos de acero de bajo, mediano y alto contenido de carbono son de mayor interés práctico. El significado de estas clasificaciones se ilustrará al discutir los aceros fundidos y los aceros forjados.

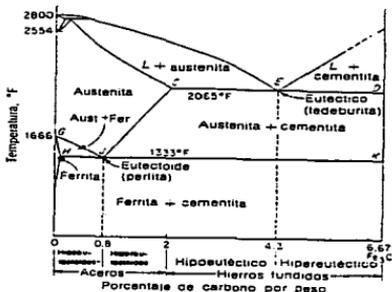


Fig. 2.2.1. Diagrama de equilibrio hierro-carburo de hierro marcado con los nombres comunes para las estructuras.

ACEROS FUNDIDOS

Las propiedades mecánicas de una pieza colada tienden a ser peores que las de la misma aleación en estado forjado, pero factores, como el de formas complicadas o de que la fabricación vaya a consistir en un pequeño número de piezas, pueden aconsejar el vaciado en un molde. Los contenidos elevados de carbono aumentan la resistencia mecánica de una pieza colada pero disminuye la ductilidad, por consiguiente, la mayor parte de los aceros moldeados tienen un contenido de carbono mediano. Durante el enfriamiento lento del acero fundido, después de ser

colado en un molde de arena, la primera fase sólida que se forma es la delta. Sin embargo, al continuar el enfriamiento la anterior fase es sustituida por austenita gruesa, posteriormente descomponiéndose en una estructura de Widmanstätten. La ferrita aparece en los límites de grano de la austenita y en formas de placas de Widmanstätten interpuestas en la perlita. Si se calienta la pieza colada hasta el interior de la región austenítica (1600 °F o 871 °C), toda la estructura se transforma en grano de austenita relativamente fino. Al enfriarse en aire, esta austenita se descompone en una mezcla fina de ferrita y perlita con mucho mejores propiedades. El tratamiento térmico, que consiste en calentar el acero hasta la región de la austenita del diagrama de equilibrio y después enfriarlo al aire, se llama normalizado.

ACEROS FORJADOS

La mayor parte del acero se emplea en forma de aleaciones forjadas obtenidas a partir de la deformación en caliente de los lingotes colados. La laminación (proceso económico y de los más utilizados en la deformación en caliente), se realiza a temperaturas situadas en la región de la austenita; por lo que, estos aceros laminados se encuentran, en estado normalizado después de haberse enfriado al aire desde la temperatura de trabajo.

Los aceros forjados se clasifican en: aleaciones de bajo, mediano y alto contenido de carbono.

Aceros de bajo carbono: No se endurecen por tratamiento térmico, contienen alrededor de un 0.2% de C y se emplea, como material de construcción de bajo costo y de aplicaciones generales (chapas de calderas). El descenso en el contenido de carbono hace mejorar la ductilidad.

Aceros de medio contenido de carbono: Más resistentes que los de bajo contenido y su resistencia aumenta mediante tratamiento térmico (en este proceso se

produce perlita fina, la cual resulta más dura que la perlita gruesa. Conserva una ductilidad adecuada.

Aceros de alto carbono: En este elemento se reduce la ductilidad, por lo que estos aceros se utilizan cuando la resistencia o la dureza son más importantes que la ductilidad. Estos aceros se someten a tratamientos térmicos de endurecimiento.

2.3 Estructura del acero

Las aleaciones ferrosas son las más difundidas. Las principales de ellas (el acero y el hierro coledo) son aleaciones de hierro con carbono.

Ahora, consideremos con detalle las aleaciones de hierro y carbono. Primero, los aceros al carbono constituyen el mayor tonelaje de metal utilizado por el hombre; segundo, ningún otro sistema de aleación ha sido estudiado con tanto detalle, y, tercero, los cambios de fase de estado sólido ocurridos en el acero son variados e interesantes. El estudio del sistema hierro-carbono es valioso, no sólo porque ayuda a explicar las propiedades de los aceros, sino, también como un medio de entender las reacciones de estado sólido en general.

El hierro es el constituyente fundamental de estas aleaciones (metal de color blanco plateado). Su temperatura de fusión es de (2802 °F o 1539 °C). Se menciona que el hierro es un metal alotrópico, lo cual significa que puede existir en más de un tipo de estructura reticular, dependiendo de la temperatura. La *figura 2.3.1* y *2.3.2* muestra una curva de enfriamiento para hierro puro (el hierro más puro, que puede obtenerse en la actualidad, contiene 99.99% de Fe).

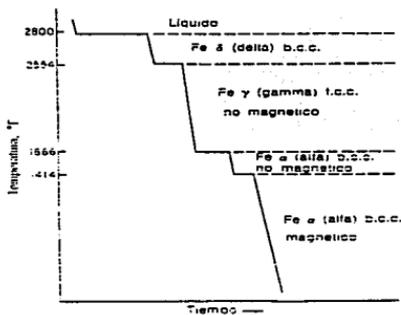


Fig. 2.3.1. Curva de enfriamiento para hierro puro.

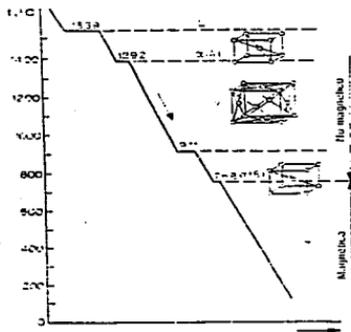


Fig. 2.3.2. Curva de enfriamiento del hierro.

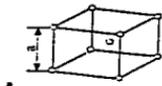
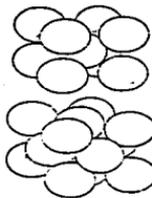
Cuando el hierro primero solidifica a (2800 °F o 1538 °C), está en la forma b.c.c. (delta). Para ulterior enfriamiento, a (2554 °F o 1401 °C), ocurre un cambio de fase y los átomos se acomodan por sí mismo en la forma (gamma), que es f.c.c. y no magnética. Cuando la temperatura alcanza (1808 °F o 908 °C), ocurre otro cambio de fase de hierro (gamma) f.c.c. no magnético a hierro (alfa) b.c.c. no magnético. Finalmente, a (1414°F o 768 °C), el hierro (alfa) se hace magnético sin cambio en la estructura reticular. Todos los cambios alotrópicos ceden calor (reacción exotérmica) cuando el hierro se enfría y absorbe calor (reacción endotérmica) cuando el mismo se calienta.

Recordando un poco sobre la teoría de las estructuras cristalinas, encontramos que los metales así como los cerámicos al solidificar sus átomos forman arreglos geométricos ordenados y repetitivos en tres dimensiones que es a lo que se llama estructura reticular o cristalina. Existen 7 sistemas cristalinos en los cuales pueden solidificar los materiales anteriormente citados. La red tridimensional de líneas imaginarias que conecta los átomos se llama red espacial, en tanto que la unidad más pequeña que tiene la simetría total del cristal se llama celda unitaria.

Sólo hay catorce tipos posibles de redes espaciales. La mayoría de los metales importantes se cristalizan ya sea en sistemas cúbicos o en los hexagonales, y sólo tres tipos de redes espaciales se encuentran comúnmente en los aceros: la b.c.c. (cúbica centrada en el cuerpo), la f.c.c (cúbica centrada en las caras) y la c.p.h (hexagonal compacta).

En la siguiente *tabla* solo hacemos mención de los sistemas cristalinos cúbicos y hexagonales, pues son los de mayor uso en la ingeniería mecánica.

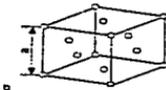
CUBICO



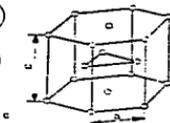
Tres ejes iguales, mutuamente perpendiculares

$$a = b = c$$

$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$



HEXAGONAL



Tres ejes iguales coplanares a 120° y un cuarto eje desigual perpendicular a su plano.

$$a = b \neq c$$

$$\alpha = \beta = 90^\circ$$

$$\gamma = 120^\circ$$

La adición de carbono al hierro produce las series de aleaciones más importantes y valiosas que se conocen. En el estudio del acero, resulta útil trazar en el diagrama de hierro-carbono las transformaciones que se producen durante el enfriamiento de los aceros al carbono puros, con contenidos en carbono variables, desde temperaturas por encima del límite superior de la zona crítica, a las cuales el acero se compone de una solución sólida de carburo de hierro (o carbono) en hierro gamma.

La estructura del acero después de un enfriamiento lento está compuesta de ferrita y cementita.

La cantidad de cementita aumenta en el acero en forma directamente proporcional al contenido de carbono. En dependencia del contenido de carbono, en el acero se forma diferente cantidad de cementita:

Carbono	0.38 %	0.7 %	2.0 %
Cementita	5.0 %	10.0 %	30.0 %

La dureza de la cementita es mucho mayor que la de la ferrita. Las partículas duras y frágiles de cementita, que deforman la red cristalina de la ferrita, dificultan el movimiento de las dislocaciones (deslizamiento), y por lo tanto, aumentan la resistencia a la deformación y disminuyen la plasticidad y viscosidad. Como consecuencia en el aumento de contenido de carbono en el acero, aumenta la dureza, el límite de rotura y el límite de fluencia, y disminuyen el alargamiento relativo, la constricción relativa y la resiliencia.

2.4 Diagrama de equilibrio Hierro – Carbono

El estudio del sistema Hierro – Carbono ayuda a explicar las propiedades de los aceros y es el medio que nos permite entender las reacciones de estado sólido en general. El diagrama de equilibrio hierro – carbono, mostrado en la figura 2.5.1; no es un diagrama completo, puesto que solamente está trazado para concentraciones menores de 6.67 % de C, la composición de Fe_3C , o cementita. Esta última es un compuesto intermetálico con límites de solubilidad que se pueden despreciar y el diagrama puede ser dividido en cuanto a su composición en dos partes independientes.

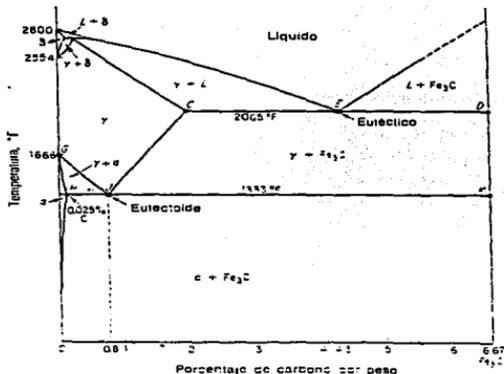


Fig. 2.5.1. Diagrama de equilibrio hierro - carburo marcado en términos generales.

La parte del diagrama conteniendo concentraciones de carbono mayores de 6.67 % tiene poca importancia comercial y usualmente se ignora. Antes de estudiar este diagrama, es importante señalar que éste no es un verdadero diagrama de equilibrio, pues esta palabra implica que no hay cambio de fase con el tiempo; sin embargo, es un hecho que el compuesto carburo de hierro se descompondrá en hierro y carbono.

En el diagrama se muestran tres líneas horizontales que indican reacciones isotérmicas. Las letras griegas representan soluciones sólidas. A continuación la figura 2.5.2 muestra ampliada una porción del diagrama que se conoce como región delta, debida a la solución (delta).

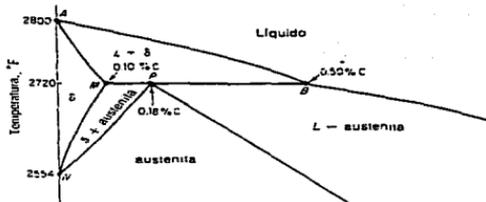
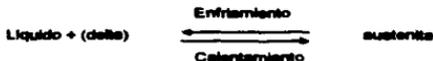


Fig. 2.5.2. Región delta del diagrama hierro - carbono de hierro.

LA REACCIÓN PERITÉCTICA:

Aquí se reconoce la línea horizontal a (2720°F o 1493 °C), por ser una reacción peritética. La ecuación de esta reacción es:



Siendo una de las tres líneas horizontales que indican reacciones isotérmicas. La solubilidad del carbono en Fe (delta) b.c.c. es de 0.10 % (punto M), mientras que el Fe (gamma) f.c.c. es mayor. Conforme se agrega carbono al hierro, la temperatura del cambio alotrópico aumenta de (2554 °F a 2720 °F o 1401 °C a 1493 °C) al 0.10 % de C. La porción NM representa el principio del cambio de estructura cristalina de Fe (delta) b.c.c. a Fe (gamma) f.c.c. para aleaciones con menos de 0.10 % de C. La porción MP representa el principio de cambio de estructura cristalina por medio de una reacción peritética para aleaciones entre 0.10 y 0.18 % de C. Para aleaciones con menos de 0.18 % de C al enfriar, el fin de cambio de estructura se da por la línea NP. La porción PB representa el principio y fin del cambio de estructura por

medio de la reacción peritética. Cualquier aleación que contenga más del 0.5 % de C cortará al diagrama a la derecha del punto E y solidifica en austenita.

La transformación peritética tiene solamente efectos secundarios sobre la estructura de los aceros a temperatura ambiente. Todas las composiciones que, según solidifican, pasan por la región de la transformación peritética, entran en el campo cúbico centrado en las caras de fase simple.

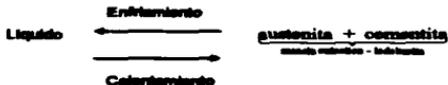
La solución sólida cúbica centrada en las caras, o fase gamma recibe el nombre de austenita. Un estudio del diagrama de equilibrio muestra que todas las composiciones conteniendo menos de 2.06 % de C pasan a través de la región austenítica durante el enfriamiento desde el estado líquido a la temperatura ambiente. Las aleaciones en este intervalo se clasifican como aceros. En realidad, la mayor parte de los aceros al carbono contienen menos del 1 % de C, con los mayores tonelajes producidos en la zona de 0.2 a 0.3 % de C (aceros estructurales utilizados en edificios, puentes, barcos, etc.). Sólo muy raras ocasiones se utiliza acero con más del 1 % de C (hojas de rasurar, cuchillería, etc.) y entonces la composición nunca se eleva más de unas cuantas décimas del 1 % sobre el 1%. Las composiciones sobre el 2 % se clasifican como hierros fundidos o fundiciones.

Cuando las transformaciones no ocurren bajo condiciones de equilibrio, tal como cuando se enfría rápidamente el metal, se forman nuevas y diferentes fases metaestables y constituyentes.

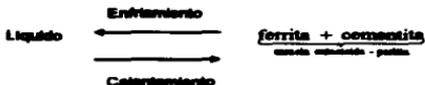
Debido a que las microestructuras obtenidas cuando se enfría la austenita a temperatura ambiente dependen no sólo de la naturaleza del ciclo de enfriamiento, sino también de la concentración de carbono original de la austenita, consideraremos primero las transformaciones en una composición simple. Para esto tomaremos la composición más sencilla, la composición eutectoide de 0.8 % de C la cual, en enfriamiento lento, se transforma completamente a la estructura eutectoide.

LA REACCION EUTECTICA:

El diagrama muestra la segunda línea horizontal (CED), que representa la reacción eutéctica a (2085 °F o 1129 °C) y a 4.3 % de C del diagrama, siempre que una aleación cruce esta línea, la reacción deberá ocurrir. Cualquier líquido que esté presente cuando esta línea se alcanza debe solidificar en la muy fina mezcla íntima de las dos fases que están en cualquier extremo de la línea horizontal: austenita y carburo de hierro (cementita). Esta mezcla se llama ledeburita y su ecuación se escribe:



Hay una pequeña área de solución sólida a la izquierda de la línea GH. Se sabe que (1808 °F o 908 °C) representa el cambio en estructura cristalina de hierro puro (gamma) f.c.c. a (alfa) b.c.c. y se llama ferrita. El diagrama muestra una tercera línea horizontal HJK, que representa una reacción eutéctica. El punto eutéctico, J, está a 0.80 % de C y a (1333 °F o 723 °C). Cualquier austenita presente debe ahora transformarse en la muy fina mezcla eutéctica de ferrita y cementita, llamada perlita. La ecuación puede escribirse como:



El intervalo de acero se subdivide aún más en base al contenido de carbono eutéctico (0.8 % de C). Los aceros que contienen menos del 0.8 % de C se llaman aceros hipoeutécticos, en tanto que los que contienen de 0.8 a 2.0 % de C se llaman aceros hipereutécticos. El intervalo de hierro fundido puede dividirse por el

contenido de carbono eutéctico (4.3 % de C). Los hierros fundidos que contienen menos del 4.3 % de C se conocen como hierros fundidos hipoeutécticos, en tanto que los que contienen más del 4.3 % de C se llaman hierros fundidos hipereutécticos.

LA REACCIÓN EUTECTOIDE:

Reacción común en el estado sólido, muy semejante a la reacción eutéctica, pero no incluye al líquido. En este caso, una fase sólida se transforma, al enfriarse, en dos fases sólidas nuevas.

La mezcla eutectoide es extremadamente fina, como la mezcla eutéctica. Bajo el microscopio, ambas mezclas parecen generalmente iguales y no es posible determinar en forma microscópica si la mezcla resultó de una reacción eutéctica o de una reacción eutectoide.

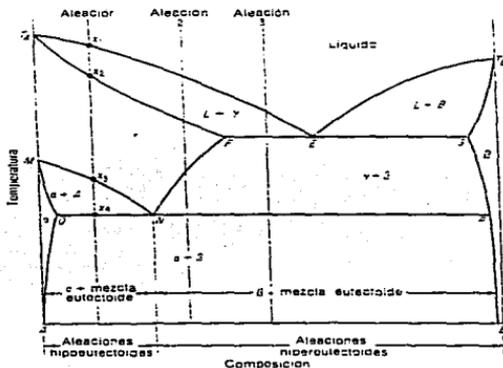


Fig. 2.5.3. Diagrama de fase que muestra la reacción eutectoide.

En la figura 2.5.3 la línea de líquidos es $T_A E T_B$ y la de sólidos $T_A F G T_B$. La mezcla eutéctica está constituida por las fases que se presentan en ambos extremos de la línea de temperatura eutéctica; a saber, la solución sólida γ (punto F) y la solución sólida β (punto G). El punto M indica un cambio alotrópico para el metal A puro. El significado de la línea solvus MN es que, conforme la composición de la aleación se incrementa en B, la temperatura a que tiene lugar el cambio alotrópico disminuye, alcanzando un mínimo en el punto N. La línea solvus FN muestra la disminución en solubilidad de B en γ y conforme disminuye la temperatura. El punto N se conoce como punto eutectoide. Su composición es la eutectoide y la línea OP es la temperatura eutectoide. Es práctica común llamar a todas las aleaciones que están a la izquierda de la composición eutectoide aleaciones hipoeutectoides y a aquellas que están a la derecha del punto N aleaciones hipereutectoides.

2.5 Constituyentes estables

Los constituyentes estables de los aceros a temperatura ambiente a partir de la transformación de la austenita, enfriando y, manteniendo a una temperatura rigurosamente constante son:

Perlita. Se llama perlita a los agregados de finas láminas alternadas de ferrita y cementita. La perlita tiene un porcentaje de 0.8 % de carbono que corresponde a un 12 % de cementita y el 88 % de ferrita aproximadamente. La perlita según el espesor de las láminas es: gruesa, obtenida a unos (1292 °F o 700 °C) y con HRC \approx 5; perlita fina (anteriormente llamada sorbita) a unos (1112 °F o 600 °C) más dura y HRC \approx 30; y perlita finísima o irresoluble (anteriormente trocetta) a unos (932 °F o 500 °C) con mayor dureza HRC \approx 42.

Ferrita. Es el constituyente más blando, constituido por los cristales de hierro α o γ (estructura cristalina cúbica centrada) y estudiando el diagrama de equilibrio se observa que puede contener 0.10% C a (2718 °F o 1492 °C), 0.25 % a (1333 °F o 723 °C) y menos de 0.006 % a temperatura ambiente tiene una dureza de 85 a 90 unidades Brinell.

Cementita. Es el constituyente más duro y frágil de los aceros con 6.67 % de C, lo que corresponde a una fórmula química Fe_3C , alcanza una dureza de 68 HRC. Cuando solidifica directamente del líquido se llama cementita primaria; cuando la precipitación parte de la austenita se le llama cementita secundaria; la cementita terciaria se precipita de los cristales de solución sólida α debido a la variación de la solubilidad del carbono.

Austenita. La austenita es el hierro-gamma cúbico de caras centradas, capaz de disolver carbono y otros elementos de aleación, a (2088 °F o 1130 °C) disuelve un máximo de carbono del 1.9 %.

Ledeburita. La ledeburita es la estructura eutéctica que con un contenido de carbono en exceso en comparación al 1.9 % está presente en la masa fundamental como granos duros y grandes de carburo.

Martensita. Es el producto no estable de transformación de la austenita, que se obtiene por medio de una gran velocidad de enfriamiento, tal que, no permita la formación de perita. Esto es, en la formación de martensita no hay tiempo para que el carbono salga de la red, quedando atrapados sus átomos en la red α , que se forma por un proceso complicado de cizallamiento sobresaturándose y produciendo tensiones internas elevadas. La martensita caracteriza al acero templado por su gran dureza. El punto de la martensita está a unos (482 °F o 250 °C), a menores temperaturas el carbono ya no abandona la red mientras se produce la transformación.

Bainita. Se obtiene a temperaturas inferiores a (832 °F o 500 °C) pero superiores a M_s , la austenita se transforma en estructuras de forma acicular denominadas bainitas. Es una mezcla de ferrita muy tenaz y carburo de hierro, esta mezcla es dúctil y con buena resistencia a tracción y tolera grandes deformaciones plásticas. Su transformación requiere la difusión del carbono y tiempo de incubación. Por lo que no se trata de un estado de equilibrio, sino que evoluciona hacia una perlitita globular.

La evolución de la bainita es diferente a la perlitica, en que ésta no se forma en láminas pues en la bainita crecen placas del tipo martensítico.

Se nombra bainita superior a la que se obtiene a (752 °F o 400 °C), e inferior a la que se obtiene a (572 °F o 300 °C).

Con temperaturas cada vez más bajas del baño isotérmico, la bainita se va haciendo más dura y fina, las agujas se afinan y la estructura se va pareciendo cada vez más a la de la martensita.

2.6 Diagramas TTT

Los diagramas Transformación - Tiempo - Temperatura o curva de la "S" de la *figura 2.6.1* muestran las líneas de comienzo y fin de la transformación de la austenita y son válidos para una sola composición del acero. En ellos se diferencian regiones de austenita estable e inestable, se indica el tipo de estructura en que se transforma la austenita a cada temperatura (perlitita, bainita o martensita) y se pueden deducir los tiempos que debe permanecer a estas temperaturas para que la transformación termine.

El eje de las ordenadas representa la temperatura de transformación de la austenita y el eje de las abscisas los tiempos de duración de la transformación en escala logarítmica, partiendo de un tiempo muy pequeño pero nunca de cero. Las curvas se trazan anotando en la horizontal que pasa por cada temperatura los puntos de

iniciación y fin de la transformación de la austenita. Se unen todos los puntos de iniciación y todos los del fin de la transformación de la austenita, y se obtienen las curvas que en general tienen forma de S.

Del lado izquierdo de la curva de iniciación todo el metal se encuentra en estado austenítico. Y a la derecha de la curva de finalización de la transformación, la totalidad de la austenita se ha transformado en otros constituyentes, como perita, troostita, etc.

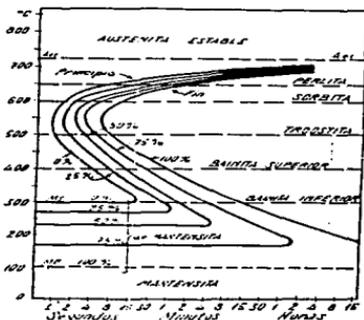


Fig. 2.6.1. Diagrama esquemático TTT, con indicación de los productos de transformación de la austenita que pueden obtenerse de un acero de 0.80 % de C, y 0.76 % de Mn, austenizado a 900 °C.

Las estructuras que se obtienen después de la transformación dependen de la composición del acero y de la temperatura de transformación. Por ejemplo, los siguientes datos nos dan los nombres de las diferentes estructuras obtenidas en un intervalo de temperaturas entre (50 °C y 650 °C), para una sola composición de acero.

Perlita	de 723 °C a 650 °C
Sorbita	de 650 °C a 600 °C
Troostita	de 600 °C a 500 °C
Bainita superior	de 500 °C a 400 °C
Bainita inferior	de 400 °C a 300 °C
Martensita	de 300 °C a 50 °C

Cabe mencionar que estos valores presentan gran variación y no todas las estructuras están presentes en los diagramas de los aceros.

La temperatura de iniciación de la transformación de la austenita en martensita no depende del tiempo en que tiene lugar la transformación, como ocurre en otros constituyentes, sino que depende únicamente de la temperatura de austenitización. Es decir, que para cada acero de una composición determinada, la transformación de austenita en martensita comienza a una temperatura constante, M_s y que puede calcularse aproximadamente con una fórmula que toma en cuenta los porcentajes de los elementos aleantes de la composición del acero.

Las temperaturas de fin de transformación de austenita en martensita dependen también de la temperatura de austenitización y por lo general se sitúan en el diagrama (250 °C) más bajas que las temperaturas de iniciación.

De acuerdo a su composición los diagramas TTT se clasifican en cuatro tipos:

1. Diagramas TTT de aceros al carbono eutectoides.
2. Diagramas TTT de aceros al carbono hipoeutectoides.
3. Diagramas TTT de aceros al carbono hipereutectoides.
4. Diagramas TTT de aceros aleados.

En la realidad, la transformación de la austenita no ocurre a una temperatura constante, es decir, la transformación tiene lugar cuando la pieza está enfriándose.

Las curvas cinéticas de transformación indican también bastante fidedignamente qué ocurre bajo las condiciones de enfriamiento usuales (ver figura 2.6.2).

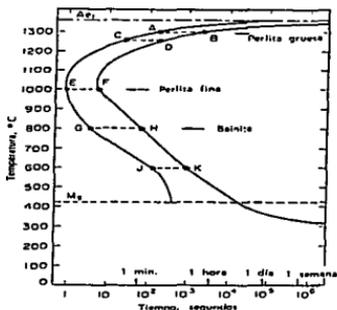


Fig. 2.6.2. Modo de representar los puntos experimentales para construir un diagrama de transformación isotérmica.

Por ejemplo, en la figura 2.6.3. siguiente la curva B es la "curva de enfriamiento" usual para un cuerpo que se está enfriando con una velocidad de enfriamiento muy lenta.

Cuando la barra de acero alcanza el punto B₁, comienza la transformación a perlita, y es liberada una cierta cantidad de calor como consecuencia de la reacción. Cuando la curva de enfriamiento alcanza la línea de "final de transformación", en el punto B₂, se ha completado la transformación a perlita. Puede apreciarse que la

perlita formada en un principio, en las proximidades del punto B1, será algo más gruesa, habiéndose formado a temperatura ligeramente superior, que la originada para B2. Esta es la razón del hecho, frecuentemente observado, de que la misma pieza de acero recocido muestra perlita con distinto grado de finura (espacio entre láminas).

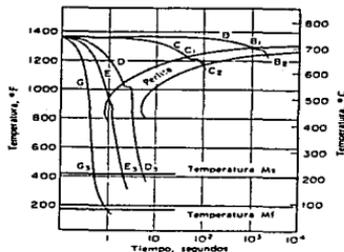


Fig. 2.6.3. Manera de utilizar un diagrama isotérmico para juzgar aproximadamente cómo se comportará un acero cuando se enfría a distintas velocidades.

Una velocidad de enfriamiento algo mayor, como se obtiene en un enfriamiento al aire (normalizado), es indicado por la curva C. En esta ocasión, la formación de la perlita es análoga al caso de la curva B, pero la perlita originada en C1 lo hace a temperatura inferior, será algo más fina y, en consecuencia, más dura que la formada en B1. Igualmente sucederá con la perlita en el punto C2.

Supongamos ahora que una pieza es enfriada muy rápidamente, como en un temple en agua, de modo que se enfría siguiendo la curva G. Se enfría sin que tenga lugar ninguna transformación (no se forma perlita). En lugar de ello, la pieza

continúa siendo austenítica hasta que alcanza la temperatura G_3 , a partir de la cual comienza a transformarse en martensita.

Al conocerse estos diagramas se han aclarado bastante los fenómenos que ocurren en los tratamientos clásicos: recocido, normalizado y temple.

Se comprende mejor la existencia de las tres zonas de transformación: la superior, donde nacen todas las estructuras de tipo perlítico; la intermedia, donde nacen estructuras de tipo bainítico y la inferior donde nace la martensita.

2.7 Elementos de aleación en los aceros

Los aceros aleados son aquellos en cuya composición contienen además del carbono e impurezas, elementos de aleación voluntaria.

Los elementos aleantes tienen gran influencia sobre los diagramas TTT provocando inercia en las transformaciones, retardando el inicio y final de las mismas, con un aumento del tiempo empleado. La inercia es tanto mayor cuanto mayor es la proporción del elemento añadido.

Además del hierro y el carbono el acero puede alearse con elementos deseables e indeseables, en forma de impurezas de la siguiente manera:

Elementos que benefician al acero:

Aluminio, boro, cerio, circonio, cobalto, cobre, cromo, manganeso, molibdeno, niobio, nitrógeno, níquel, plomo, selenio, silicio, telurio, titanio, vanadio y wolframio.

Elementos que perjudican al acero:

Antimonio, arsénico, estaño, hidrógeno y oxígeno.

Influencia de los elementos que benefician al acero:

— **Den mayor dureza a los aceros:** El fósforo, níquel, silicio, aluminio, cobre y cobalto, se disuelven en ferrita que de esta manera se endurece, favoreciendo la dureza del acero.

El manganeso, cromo, wolframio, molibdeno, vanadio, titanio, tienden a formar carburos, que en los aceros de bajo contenido de carbono se diluyen y endurecen la ferrita y el acero.

— **Aumentan y conservan la dureza del acero a altas temperaturas:** El titanio, vanadio, molibdeno, wolframio, cromo y manganeso, con el porcentaje de carbono adecuado forman carburos muy duros resistentes al desgaste que conservan sus propiedades a temperaturas próximas a (832 °F 500 °C) las cuales transmiten al acero.

Los carburos mas duros y resistentes al desgaste son los del cromo y vanadio, mientras que los de molibdeno, wolframio y silicio tienden a elevar los puntos críticos. El cromo tiende a elevarlos en los aceros de alto contenido de carbono y bajarlos en los de bajo contenido.

Cuando hay más de un elemento aleado en un acero sus efectos se suman si son del mismo signo o se restan si son en el sentido contrario.

— **Influyen en los puntos Ms y Mf de inicio y fin de la transformación de la austenita en martensita:** El manganeso, el cromo, el níquel, el molibdeno y wolframio bajan los puntos Ms y Mf más o menos en forma proporcional a su porcentaje de aleación. El carbono es el que más influye a estos puntos.

— **Modifican el contenido de carbono del acero eutectoide:** El titanio, molibdeno, wolframio, silicio, manganeso, cromo y níquel.

— *Influyen en el campo austenítico:* El níquel y el manganeso tienden a aumentar el campo austenítico. Por su parte el cromo, el silicio, el molibdeno, el aluminio y el vanadio reducen el campo austenítico y ayudan a formar estructuras ferríticas.

— *Influyen en el crecimiento de grano:* El titanio, vanadio y aluminio limitan el crecimiento del grano de la austenita. El titanio y vanadio al formar carburos y el aluminio partículas de alúmina, al establecer centros de cristalización.

— *Influyen en la templabilidad:* El molibdeno, el manganeso; con menor grado el cromo, el silicio y el níquel, acrecentan la templabilidad del acero. Caso contrario al del cobalto que lo disminuye.

— *Influyen en el revenido:* El cromo, el molibdeno y el wolframio restan capacidad al acero de ablandarse en el revenido.

— *Influyen en la corrosión:* El cromo hace que el acero oponga resistencia a la corrosión y el molibdeno y wolframio a la oxidación.

Influencia de los elementos que perjudican al acero:

— **Antimonio.**- produce aumento de fragilidad.

— **Arsénico.**- aumenta la resistencia y el límite elástico, disminuyendo grandemente la estricción y la resiliencia en proporción del 1%. En proporción de 8% o más aumenta los fenómenos de envejecimiento y en 0.25% reduce la soldabilidad del acero.

— **Estaño.**- aumenta la fragilidad del acero en caliente, acción parecida a la del fósforo, pero cuadruplicada.

— **Hidrógeno.**- al hidrógeno se atribuyen grietas en la forja y otros accidentes.

— Oxígeno.- Los efectos de envejecimiento en aceros de bajo contenido de carbono, se cree que son producidos por el oxígeno o el nitrógeno.

2.8 Templabilidad

La templabilidad puede definirse como una característica del material que determina la profundidad a que puede penetrar la dureza máxima alcanzable por temple en el interior de una pieza y la forma de la curva de dureza como función de la distancia a la superficie.

La penetración de la dureza depende de:

- La templabilidad del material que está en función del contenido de elementos de aleación, siendo el silicio, manganeso, cromo, níquel, wolframio y molibdeno quienes la elevan grandemente.
- Las condiciones de temple, en donde la temperatura de temple está subordinada al contenido de carbono y de los otros elementos de aleación; y para su estimación es necesario tomar en cuenta el medio de temple que se va a emplear.
- La sección transversal de la pieza, que a medida que ésta sea mayor la penetración de la dureza estará más lejos del centro de la pieza.

La velocidad de enfriamiento es máxima en la superficie de la pieza que se temple y disminuye al aproximarse al núcleo, porque la capacidad de conducción térmica del acero no es suficiente para que el calor conducido a la superficie alcance el mismo valor que la cantidad que ésta última cede al medio de temple.

Un método usado para determinar la templabilidad del acero consiste en medir la dureza a través de la sección transversal de varias probetas templadas. Esto no es suficiente ya que la dureza no sólo se ve afectada por la templabilidad, también lo

es por la eficacia del medio de temple. Por esta razón es que resulta necesario determinar:

- 1) La severidad del medio de temple.
- 2) El diámetro crítico (para el cual existe en el centro una dureza correspondiente al 50% de martensita).
- 3) El diámetro crítico ideal (que tiene el mismo valor para una colada de acero, sin importar su diámetro crítico D_K , o la severidad del temple H).

Otro método aplica el ensayo Jominy para conocer la templabilidad y los diámetros crítico e ideal para una severidad cualquiera de temple.

Una vez que se obtienen por este método bandas de templabilidad de las distintas coladas para cada tipo de acero. Dentro de una de estas bandas debe quedar incluida la curva obtenida para cualquier colada. Estas bandas de templabilidad sirven para elegir el tipo de acero que ha de emplearse para fabricar una pieza que exige una determinada penetración de la dureza y, por ello, una determinada templabilidad del material.

La templabilidad del acero depende de la composición química y del tamaño de grano austenítico del mismo. La dureza máxima alcanzable por el temple depende exclusivamente del contenido de carbono y, para un contenido de carbono y tamaño de grano determinados, la templabilidad es únicamente función de los contenidos de los restantes elementos de aleación.

Es decir, que la misma templabilidad se puede lograr con composiciones diferentes y que en el temple se obtendrán resultados equivalentes con aceros de muy diferente composición si los contenidos de carbono son los mismos.

De esto resulta un principio de equivalencia entre aceros de distinta composición química, a los efectos de su empleo para el temple y revenido, y con el único fin de utilizarlos por sus propiedades mecánicas, si tienen:

- 1) El mismo contenido de carbono.
- 2) El mismo diámetro crítico ideal.
- 3) La misma dureza potencial.
- 4) La misma temperatura M_s .

Por tanto, si los aceros tienen iguales los valores 1, 2 y 3 darán en el temple y revenido el mismo juego de propiedades mecánicas.

El diámetro crítico ideal, la dureza potencial y el punto M_s son las tres cifras claves que, juntas con el concepto de acero óptimo (acero que para misma resistencia a la tracción obtenida de temple y revenido, tenga mejores características de resiliencia y ductilidad, siendo, para igualdad de otras características, el que tenga menos carbono) permiten una mejor comprensión de la elección y selección de aceros.

2.9 Tratamientos Térmicos

Los tratamientos térmicos consisten en el calentamiento de la aleación a una determinada temperatura por un cierto tiempo sobre el material en estado sólido y posteriormente se enfría a una velocidad determinada. Con lo que se obtiene un cambio en la estructura y, consecuentemente, el cambio de las propiedades de la aleación.

Los cambios que se buscan pueden ser el aumento de la resistencia mecánica del material, mejorar su maquinabilidad, etc.

Los tratamientos térmicos fundamentales en un acero son: recocido, normalizado, temple, revenido y tratamientos especiales.

Los tratamientos térmicos de endurecimiento superficial son tratamientos especiales que se aplican al acero de diferentes maneras. Los cuales son:

Temple a la llama.

Temple por inducción.

Temple por calentamiento con electrolito.

Que individualmente alteran la estructura y las propiedades del acero y se utilizan de acuerdo a las necesidades que deba satisfacer el acero para garantizar el trabajo normal de los elementos de máquinas y herramientas.

EL TEMPLE SUPERFICIAL A LA LLAMA.

La fuente de calor que se utiliza en este tratamiento se obtiene de la llama resultante de la combustión de un gas (acetileno y oxígeno, de alumbrado y natural, keroseno). En el calentamiento se emplean sopletes de rendijas (con un orificio en forma de rendija) o de boquillas múltiples.

La llama entrega una considerable cantidad de calor elevando rápidamente la temperatura de la superficie de la pieza llegando a la de temple, en tanto, el núcleo de la pieza no llega a calentarse. Ya que se alcanzó dicha temperatura en el espesor que se desea endurecer, se procede al enfriamiento brusco del temple.

En el procedimiento, las piezas a tratar y el utillaje de calentamiento pueden estar fijos o en movimiento.

Con el fin de lograr una alta calidad de la capa que se va a endurecer es importante mantener un estricto control de la duración del calentamiento, el consumo de combustible y oxígeno y del espesor de la capa templada.

Este tratamiento es económico y su uso es frecuente en trabajos en serie; se pueden automatizar fácilmente, simplificando así la operación y garantizar la consistencia de los resultados.

CAPITULO 3

TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

3.1 Generalidades sobre el desgaste de los metales

El desgaste de los metales consiste en el deterioro progresivo que sufren sus superficies, originada por el medio ambiente o el uso, que acarrea el arranque de partículas provocado por el contacto de las superficies en movimiento.

Dada la rugosidad de las superficies y el roce entre ellas se desprenden pequeñas partículas, las cuales generan fuerzas de rozamiento muy destructivas, lo cual, constituye el desgaste metálico. El desgaste por abrasión con un abrasivo metálico o no metálico que, penetra el metal, de lo cual resulta el desprendimiento de partículas metálicas. En ambos casos (desgaste metálico y abrasión) los factores determinantes son la tenacidad y la dureza que evitan la formación inicial de virutas y oponen resistencia a la rotura del material deformado. La erosión con el desplazamiento de líquidos o gases, al que por lo regular sigue también algún tipo de corrosión.

Además las condiciones de trabajo: presión, velocidad, temperatura así como la presencia de lubricantes y una cierta atmósfera abrasiva influyen enormemente en el desgaste.

El desgaste suele presentarse por más de una de las causas que lo originan por lo que el esfuerzo por contrarrestarlo debe de ser cuidadoso ya que en ocasiones es difícil detectar la causa responsable del desgaste experimentado.

Es importante combatir el desgaste a fin de evitar grandes pérdidas en piezas de recambio, paros laborales, así como mantener la precisión requerida en los trabajos y el buen estado de la maquinaria, misma que, responde a nuevos y más importantes volúmenes de producción.

Los métodos de ensayo de la resistencia al desgaste normalizados no pueden generalizarse para todos los casos, de modo que el equipo utilizado para determinar la resistencia al desgaste debe reproducir en forma particular y lo más fielmente posible las condiciones reales de trabajo.

En estos ensayos debe ser factible la reproducción de los mismos, clasificar los materiales ensayados y ratificar sus resultados con los datos que se observen en el funcionamiento real.

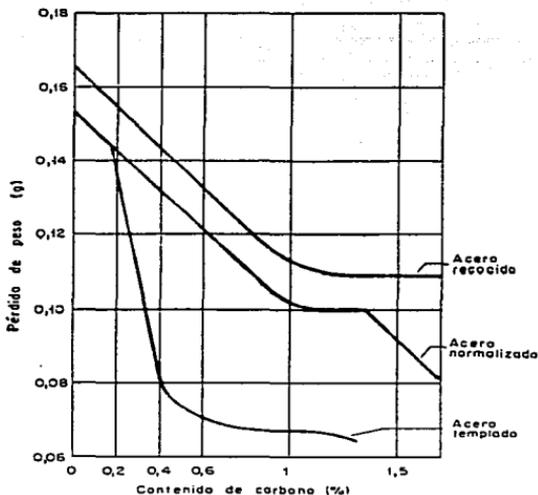
Con el fin de disminuir el efecto negativo del desgaste se utilizan algunos medios como el uso de lubricantes, el endurecimiento y el rectificado de las superficies en contacto.

Los lubricantes interpuestos en las superficies de los metales en contacto buscan evitar que se produzcan fusiones locales seguidas de la destrucción de dichas superficies (agarrotamiento o gripado).

El lubricante es uno de los elementos que más auxilio prestan en el esfuerzo por evitar el desgaste quedando este en mayor medida en función de la velocidad, la presión, la naturaleza de las superficies y de la eficacia del lubricante.

El rectificado de las superficies proporciona una mejor precisión y disminuye el coeficiente de rozamiento, llegando cuando así se requiere a la obtención de las superficies "superfinas" que, sin embargo, no retienen con facilidad la capa de aceites lubricadores.

No obstante en muchas ocasiones el endurecimiento superficial es la única forma de mantener una magnitud de desgaste aceptable, como se puede apreciar en la siguiente gráfica.



Gráfica 3.1.1. El desgaste de los aceros en función de su contenido de carbono.

se observa como la resistencia al desgaste aumenta en aceros ordinarios después de endurecerlos. Esta dureza es superficial y con un cierto espesor para así evitar la fragilidad en toda la pieza.

Otros factores que influyen en el desgaste son:

El calor.- El calor que se produce en seco puede llegar a ocasionar la fusión real del metal y en la mayor parte de las veces favorece el desgaste, ya que, su acción trae consigo el revenido de estructuras duras, modificaciones de

fase que incrementan dureza y fragilidad, cambios en las características mecánicas y acelerar la corrosión.

Agarrotamiento o soldadura de los metales.- De gran importancia en el rozamiento, aquí los átomos de dos metales iguales o que cristalográficamente sean parecidos tendrán fuerzas de cohesión muy grandes y si las superficies de estos metales permanecen en contacto el suficiente tiempo para que se produzca una deformación elástica o plástica, se engarrotarán.

La elección del material y procedimiento empleados para la protección contra el desgaste son elegidos en base a las siguientes consideraciones:

- Un examen cuidadoso de las condiciones reales de funcionamiento.
- Conocer las posibilidades de aplicación y limitaciones del procedimiento y material elegidos.
- Costo de aplicación.

Los procedimientos usados para la protección superficial contra el desgaste de los metales son:

- Recubrimientos electrolíticos.
- Oxidación anódica.
- Difusión.
- Metalizado.
- Recargues con metal duro.
- Tratamiento térmico selectivo.

3.2 El endurecimiento superficial en los metales

El endurecimiento superficial en los metales se logra por los recursos siguientes:

- 1. Cambio en la estructura.**
- 2. Modificación física por trabajo mecánico en frío.**
- 3. Difusión de algún elemento endurecedor.**
- 4. Aportación de un material duro.**

- 1.- El cambio en la estructura se realiza a través del temple.**
- 2.- El trabajo mecánico en frío hace variar las propiedades mecánicas de los metales. Incrementa la resistencia a la ruptura, el límite elástico y la dureza, y disminuye la resiliencia y el alargamiento de los aceros.**
- 3.- Para aumentar la resistencia al desgaste de los metales se utilizan también procedimientos basados en la difusión de algún elemento en la zona superficial:**

- Cementación**
- Cianuración**
- Carbonitruración**
- Nitruración**
- Cromización**
- Silicización**

- 4.- La aplicación de uno de los siguientes procedimientos tiene como fin la aportación de un material duro:**

Coleda.- Un soplete oxacetilénico funde el material depositándolo en las pequeñas piezas para las cuales se destina este procedimiento en particular.

Proyección.- El metal en forma de hilo es fundido en la pistola de metalizar, posteriormente la acción de un chorro de aire comprimido lo pulveriza y proyecta.

Electrolisis.- El material depositado más empleado por electrolisis es el cromo que alcanza una dureza de 1,100 unidades Vickers y la capa que forma varía desde unas cuantas centésimas hasta décimas de milímetro.

3.3 Elección del procedimiento de endurecimiento superficial

El endurecimiento superficial es señalado por la experiencia en la industria como la mejor forma de contrarrestar el desgaste de los metales.

Para hacer una buena elección del procedimiento a aplicar para endurecer las superficies nos apoyamos en los siguientes puntos:

- localización del tratamiento.
- deformación inherentes al procedimiento utilizado.
- precio del coste.
- la incorporación o no de dispositivos automáticos.

Los siguientes son algunos ejemplos:

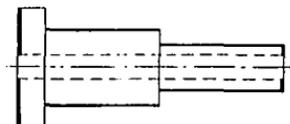
Pieza 1:



En esta pieza la superficie a endurecer respecto a la superficie total es muy pequeña, por lo que se sugiere utilizar el temple al soplete que, limita fácilmente el endurecimiento en esa zona.

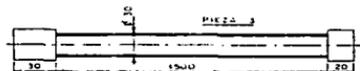
De diferente manera el cromado electrolítico precisaría la protección de la superficie que no se ha de endurecer.

Pieza 2:



Una parte importante de la superficie debe endurecerse, por lo tanto, la inclinación es hacia la cementación, propia para estos casos.

Pieza 3:



Esta vez la cementación se descarta ya que su aplicación provocaría deformación, en su lugar es preferible el temple superficial.

3.4 Elección del procedimiento de temple superficial

El temple clásico no es comparable a el temple superficial ni puede reemplazarlo, puesto que el calentamiento de las piezas, introducidas enteramente en un horno, se lleva a cabo lentamente y por consiguiente llega hasta el corazón de las mismas.

La zona exterior de una pieza puede templarse superficialmente, sin experimentar ningún cambio de composición química. Pero sí obtener una gran dureza de la capa superficial de la pieza, conservando la tenacidad de su núcleo, lo que asegura la resistencia al desgaste, y al mismo tiempo dinámica, de aquellas, se utiliza el temple superficial o el tratamiento termoquímico.

El temple superficial tiene ventajas sobre el tratamiento termoquímico, porque es un proceso en que se invierte menos tiempo. A pesar de la gran variedad de métodos de temple superficial que existen, todos ellos se reducen a calentar únicamente la capa superficial de la pieza y a templarla después.

La técnica a utilizar en este proyecto -es el calentamiento a la llama- pone en juego temperaturas muy superiores a las de temple.

EL TEMPLE A LA LLAMA O FLAMEADO POR QUEMADOR.

El breve calentamiento de la superficie se hace con quemadores de gas, los cuales tienen la capacidad adecuada para proporcionar la acumulación de calor deseado.

El gas combustible a utilizar es el acetileno. Aunque también se emplean el hidrógeno e hidrocarburos, tales como metano y propano. El poder calorífico del acetileno es alto. El acetileno necesita un volumen de llama considerablemente mayor y la mayor cantidad de calor no puede concentrarse tanto.

La relación favorable de gas oxígeno es la siguiente:

Acetileno : Oxígeno , 1 : 1 hasta 1 : 1.5

Aumentando la proporción de oxígeno se logra un incremento de potencia, aunque esto origina fácilmente, sobre todo en zonas de calentamiento gruesas, un sobrecalentamiento de la zona superficial.

La profundidad de la zona templada se regula variando el gasto del quemador. Esta profundidad está limitada por la capacidad máxima de los quemadores y por el espesor de la pared de las piezas a templar superficialmente. Si el espesor de pared es pequeño, se calienta excesivamente las partes próximas al núcleo, ya que el calor no puede evacuarlo suficientemente, resultando grandes profundidades de temple. La profundidad máxima de temple es igual a la profundidad de penetración posible en el acero, o sea unos 4 mm en los aceros no aleados y con enfriamiento por ducha de agua.

Para que una llama desprenda una gran cantidad de calor es, importante, que su velocidad de inflamación sea muy elevada.

En la *tabla 3.4.1* se resumen las principales características de la combustión del acetileno, gas de ciudad, propano y metano, con el oxígeno.

Las curvas de las *figuras 3.4.1* y *3.4.2* muestran como varían la temperatura y la potencia específica de calentamiento en función de la relación (r) entre los volúmenes de oxígeno y de gas combustible, y, pone en relieve, además, que la temperatura y la potencia específica de calentamiento de la llama oxiacetilénica normal (volúmenes sensiblemente iguales de oxígeno y de acetileno) son ampliamente superiores a los valores máximos de las otras llamas.

Tabla 3.4.1

Características de Combustión del Acetileno, Gas de Ciudad, Propano y Metano, con el Oxígeno

Gas combustible	Acetileno	Gas de ciudad	Propano	Metano
Composición	C_2H_2	H_2 : 53% CH_4 : 25% CO : 8% Diversos : 14%	C_3H_8	CH_4
Poder calorífico superior ($Kcal / m^3$)	14,000	4,300	24,300	9,410
Poder calorífico inferior ($Kcal / m^3$)	11,000	3,800	22,300	8,470
Oxígeno teórico necesario (m^3 / m^3)	2.5	0.8 a 0.9	5	2
Relación de consumo práctica (m^3 / m^3)	1.1 a 1.5	0.6 a 0.7	3.5 a 4.5	1.5 a 2
Velocidad de máxima inflamación (cm / s)	1,350	705	370	330
Temperatura máxima ($^{\circ}C$)	3,100	2,750	2,800	2,730
Potencia máxima específica de calentamiento ($Kcal / cm^2 s$)	10.9	3	2.7	2

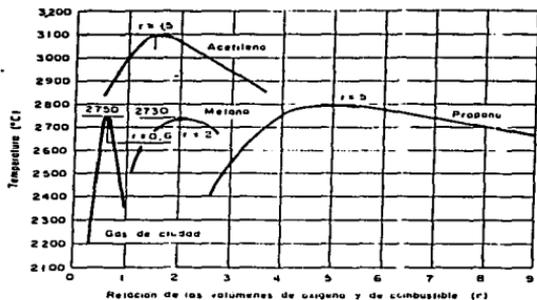


Fig. 3.4.1. Temperatura máxima de las flamas oxidocelónicas, oxígeno - gas de ciudad, oxígeno - propano y oxígeno - metano en función de la relación de volúmenes de oxígeno y de gas combustible.

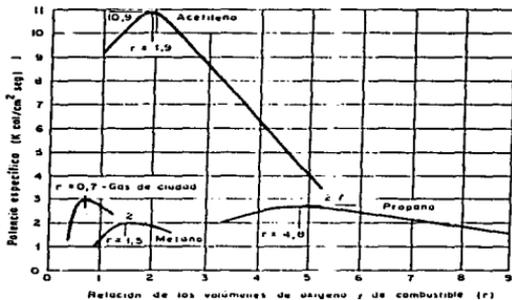


Fig. 3.4.2. Potencia específica de las flamas oxidocelónicas, oxígeno - gas de ciudad, oxígeno - propano y oxígeno - metano en función de la relación de volúmenes de oxígeno y de gas combustible.

La tabla y los diagramas expuestos demuestran pues la particular aptitud de la llama oxiacetilénica para el calentamiento localizado y superficial de los metales. Los tiempos de calentamiento que se derivan del empleo de las otras llamas son más largos y, por esta razón, el temple superficial de piezas delgadas resulta a veces aleatorio. Con los otros gases, para igual calentamiento superficial, se introducen en las piezas más calorías que con el acetileno (al ser la transmisión del calor más lenta), lo cual ocasiona deformaciones importantes.

En cuanto a piezas macizas, el aumento del tiempo de calentamiento provoca, durante el enfriamiento, un revenido no despreciable de las piezas templadas, debido a la restitución de las calorías procedentes del interior de la pieza lo cual produce, una disminución de la dureza.

3.5 La llama oxiacetilénica

Constitución de la llama oxiacetilénica. Esta es el resultado de la combustión, en dos tiempos, de una mezcla de oxígeno y acetileno.

- 1) Una combustión primaria se realiza entre el oxígeno y el acetileno que alimentan el soplete:



El calor desprendido por la combustión primaria proviene de la combustión propiamente dicha, de la descomposición del acetileno, gas endotérmico, y del retorno

- 2) Una combustión secundaria se realiza entre los productos de la combustión primaria y el oxígeno del aire:



Cuando la combustión primaria tiene lugar entre volúmenes iguales de oxígeno y de acetileno, la llama es normal o neutra. En realidad, el volumen de oxígeno es algo más elevado, siendo igual a 1.1 ó 1.2 veces el de acetileno.

La llama normal contiene 60% óxido de carbono, 20% de hidrógeno molecular y 20% de hidrógeno atómico.

Si la relación de consumo (r) entre los volúmenes de oxígeno y de acetileno es inferior a 1.1, la llama es carburante, no habiendo podido entrar en reacción todo el acetileno que alimenta el soplete a causa de la falta de oxígeno; la llama es fuliginosa y deja un depósito de carbono libre.

Si la relación de consumo es superior a 1.1, la llama contiene un exceso de oxígeno y se llama oxidante, puesto que el CO_2 y el H_2O están parcialmente disociados.

LA LLAMA OXIACETILENICA NORMAL.

La *figura 3.5.1* muestra las tres zonas características de la llama oxiacetilénica normal.

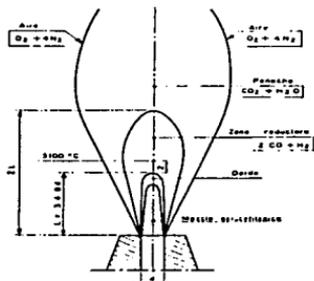


Fig. 3.5.1. Esquema de la llama oxiacetilénica normal

El Dardo. Zona clara, de contorno cónico muy definido, situada en prolongación del orificio de salida o tobera. El dardo se compone de dos partes:

- Una región interior oscura, puntada en el esquema, donde la mezcla oxiacetilénica se calienta progresivamente hasta 400 °C o 752 °F, temperatura de inflamación del acetileno en el oxígeno;
- Una parte delgada y brillante, que recubre la zona anterior, en la cual tiene lugar la combustión primaria.

La Zona Reductora. Zona de color grisáceo, rodea el dardo y encierra la mayor proporción de gases reductores: óxido de carbono e hidrógeno.

El penacho. Zona de color violáceo, envuelve la zona reductora; en ésta se produce la combustión secundaria.

LA LLAMA OXIACETILENICA CARBURANTE.

Aquí la relación de consumo es igual a 0.80. El acetileno en exceso aparece bajo la forma de una aureola blanquecina llamada "penacho carburante".

LA LLAMA OXIACETILENICA OXIDANTE.

Aquí el dardo se deforma ligeramente y su longitud varía con la relación de consumo. Aquí la relación de consumo es igual a 1.75. El dardo tiene una longitud de 11.5 mm, mientras que en la llama normal alcanza los 17.5 mm.

Propiedades de la llama oxiacetilénica. Entre las propiedades que describiremos, se encuentra, la temperatura, la potencia específica de calentamiento, la velocidad de inflamación y la composición de la llama oxiacetilénica.

Temperatura. La *figura 3.4.1* del capítulo anterior, subraya la variación de la temperatura de la llama oxacetilénica en función de la relación de consumo: el máximo, igual a 3,100 °C o 5612 °F, tiene lugar para $r = 1.5$.

La *figura 3.5.2* muestra la temperatura de la llama normal máxima a 2mm, aproximadamente por encima del dardo y que decrece rápidamente al alejarse de él.

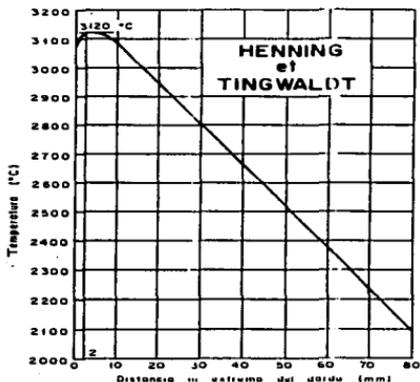


Figura 3.5.2. Llama oxacetilénica normal: temperatura en función de la distancia al extremo del dardo.

Potencia específica de calentamiento. Esta potencia varía con la relación de consumo y, su máximo es de $10.9 \text{ Kcal/cm}^2\text{s}$, para $r = 1.9$. La potencia específica de la llama normal, un poco menor e igual a $9.7 \text{ Kcal/cm}^2\text{s}$, continúa siendo pues superior a la potencia específica de calentamiento de las otras llamas.

Velocidad de inflamación. La velocidad de inflamación máxima, 1.350 cm/s , se obtiene para $r = 2.5$.

Composición de la llama oxiacetilénica. Las curvas de la figura 3.5.3 resaltan las modificaciones de la composición de la llama oxiacetilénica, en las cercanías del dardo, en función de la relación de consumo. Se observa que la llama normal contiene una proporción de gases reductores -óxido de carbono e hidrógeno- muy superior a la del anhídrido carbónico y vapor de agua.

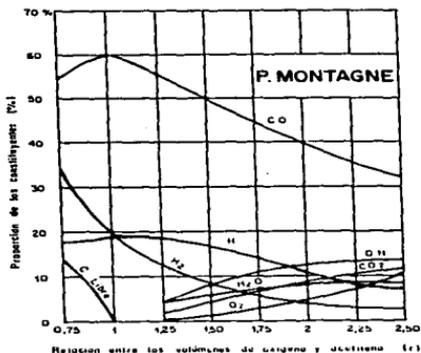


Figura 3.5.3. Composición de la llama oxiacetilénica en función de la relación entre los volúmenes de oxígeno y de acetileno.

La *tabla 3.5.1* da la composición, en las propiedades del dardo, de las llamas oxiacetilénica, oxígeno - gas de ciudad y oxígeno - butano, tomadas en sus condiciones de empleo habituales.

Se comprueba que la llama oxiacetilénica es la más reductora y, por consiguiente, la que se opone más eficazmente a una decarburación eventual del material.

Tabla 3.5.1

Composición de las llamas oxiacetilénica, oxígeno - gas de ciudad y oxígeno - butano en las propiedades del dardo.

Llamas	CO_2	CO	H_2O	OH	H_2	H	O_2	O
$C_2H_2 + 11 O_2$	0.6	58.2	2	1.3	18.1	19.8		
G.C. + 0.72 O_2	12.7	12.3	30.1	7.5	17.9	3.5	16	
$C_4H_{10} + 4.5 O_2$	15.1	20.9	25	6.2	13.5	4.6	5.7	9

Variación de las dimensiones de la llama oxiacetilénica. Las dimensiones de esta llama (longitud del dardo, longitud y anchura del penacho), depende del caudal, de la velocidad de la mezcla gaseosa y de la relación de consumo.

Se han realizado medidas directamente, sobre fondo negro, con una aproximación de 1 mm para longitud del dardo, de 5 mm para la longitud del penacho carburante y de algunos centímetros para la longitud del penacho.

Dimensiones de los dardos. El dardo se modifica según las condiciones de existencia de la llama: su longitud es de 3 a 5 veces el diámetro del orificio de salida.

La figura 3.5.4 pone de relieve la variación de la longitud del dardo en función de la relación de consumo r , para un orificio de salida de 2.8 mm de diámetro, con un caudal de 2,666 l/h de mezcla oxiacetilénica.

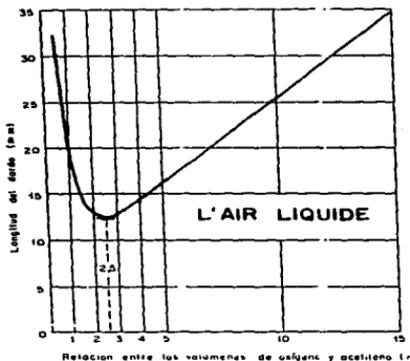


Figure 3.5.4. Longitud del dardo en función de la relación entre los volúmenes de oxígeno y de acetileno.

La longitud del dardo es mínima para $r = 2.5$, es decir, cuando la velocidad de inflamación de la llama es máxima, lo que era de prever, puesto que la longitud del dardo es inversamente proporcional a la velocidad de inflamación.

Para un mismo orificio de salida y una relación de consumo de 1.2, la longitud del dardo varía linealmente en función del caudal de la mezcla oxiacetilénica, y según

una ley parabólica tomando como variable la presión común de los gases que alimentan el soplete. Las curvas de la figura 3.5.5 ilustran estas dos propiedades.

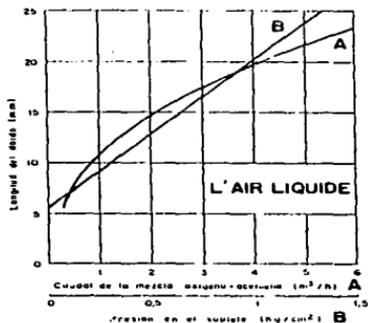


Figura 3.5.5. Longitud del dardo en función del caudal de la mezcla oxiacetilénica y de la presión de alimentación del soplete.

Dimensiones del penacho. La longitud de la zona reductora es aproximadamente el doble que la del dardo.

La figura 3.5.6 ilustra, para las llamas estudiadas en la figura 3.5.4, las variaciones de longitud y anchura del penacho en función de la relación de consumo.

La figura 3.5.7 da las dimensiones del penacho de las llamas examinadas en la figura 3.5.5, en función del caudal de mezcla oxiacetilénica.

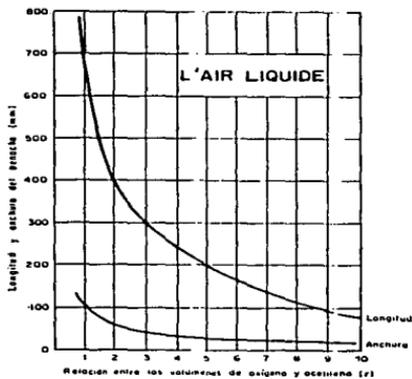


Figura 3.5.6. Longitud y anchura del penacho en función de la relación entre los volúmenes de oxígeno y de acetileno.

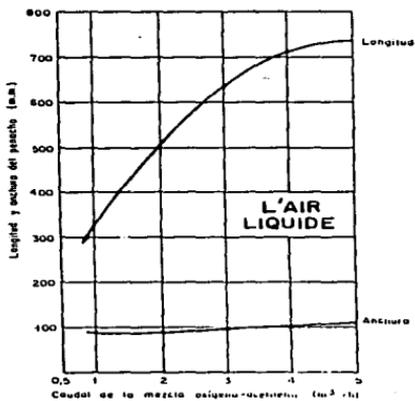


Figura 3.5.7. Longitud y anchura del penecho en función del caudal de la mezcla oxígeno-nitrógeno.

Regulación de la llama oxiacetilénica. La curva de la *figura 3.5.8* representa la variación de la longitud del penacho carburante en función de la relación de consumo. Esta variación es relativamente pequeña cuando la relación está comprendida entre 1 y 1.1 el cambio es mucho más rápido y el menor desvío de la relación de consumo a partir de 1.1 (llama normal) ocasiona una gran variación en la longitud del penacho carburante, perceptible, inmediatamente. El principio de la regulación de la llama oxiacetilénica normal se deriva de esta última propiedad.

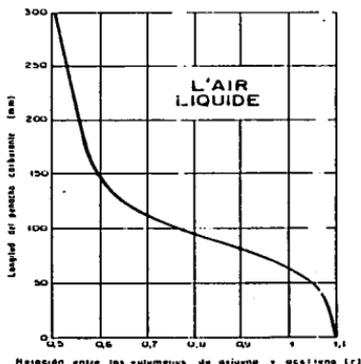


Figure 3.5.8. Longitud del penacho carburante en función de la relación entre los volúmenes de oxígeno y acetileno.

Los sopletes de temple se construyen de tal manera que la apertura total de la válvula de regulación del acetileno provoca, en el momento del encendido, un penacho carburante que se reduce luego hasta su desaparición, obstruyendo ligeramente la llegada del acetileno.

3.6 La técnica del temple al soplete

Como ya definimos anteriormente, el temple a la llama, es aquel que se realiza después de calentar las piezas superficial o totalmente mediante la llama de un soplete .

Según la forma de realizar el calentamiento pueden distinguirse varios procedimientos de temple a la llama.

Procedimiento de temple a la llama:

1) Temple Lineal.— El soplete y el enfriador se desplazan conjuntamente sobre la superficie a templar, o esta última se mueve a los dos primeros. El calentamiento y el temple se realizan en una sola operación.

Existen tres tipos de calentamiento lineal:

- a) El temple por avance.
- b) El temple lineal por rotación.
- c) El temple por rotación y avance.

2) Temple envolvente. — El calentamiento y el temple se realizan como operaciones separadas. Primero, se calienta la superficie a templar y, luego, se separa el soplete y se enfría con la ducha de agua.

Existen tres tipos de temple envolvente:

- a) Temple envolvente por rotación.
- b) Temple por avance discontinuo.
- c) Temple por oscilación.

3) Revenido. — Las superficies templadas a la llama deben ser revenidas después del enfriamiento para aminorar tensiones térmicas y de temple. Se eliminan por revenido a 200 °C o 392 °F, en el que, la austenita residual se transforma en bainitas, y la martensita tetragonal, en

cúbica, haciendo que las superficies tratadas sean insensibles al envejecimiento. Los revenidos a más de 200 °C o 392 °F modifican las durezas obtenidas por el temple.

Los diversos pero breves métodos señalados con anterioridad se reducen invariablemente a dos modos operarios denominados temple general instantáneo y temple progresivo.

TEMPLE GENERAL INSTANTANEO.

Este tratamiento comprende dos fases:

- 1) Calentamiento de toda la superficie a templar.
- 2) Enfriamiento de esta superficie.

En superficies de revolución, las piezas están animadas de un movimiento de rotación rápido ante el quemador y luego ante el surtidor de enfriamiento. La *figura 3.6.1* esquematiza la operación.

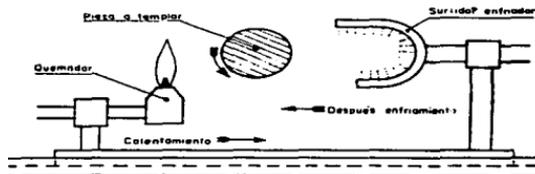


Figura 3.6.1. Esquema del temple general instantáneo de una superficie de revolución.

Temple progresivo. La superficie a templar desfila bajo las llamas del quemador y bajo una hilera de chorros de agua situada detrás de él y a corta distancia. Aquí, los dispositivos de calentamiento y enfriamiento actúan simultáneamente, pero su

acción sobre la pieza están ligeramente defasadas con el tiempo. La *figura 3.6.2* esquematiza la operación.

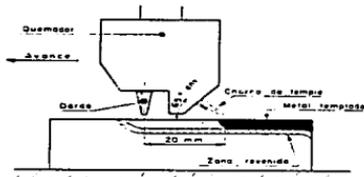


Figura 3.6.2. Esquema del temple progresivo.

FACTORES VARIABLES DEL TEMPLE GENERAL INSTANTANEO.

Los factores que influyen en este modo operativo son: el calentamiento y el enfriamiento, sus tiempos de aplicación, la velocidad de las piezas y sus dimensiones.

1º Caudal de mezcla oxidacétiénica.

La potencia de calentamiento de un soplete se mide por el caudal de oxígeno, por el caudal de acetileno o por el de su mezcla.

Los grandes caudales de gas abrevian el tiempo de calentamiento y favorecen las grandes producciones de piezas templadas.

2º Velocidad de mezcla oxidacétiénica.

La velocidad que se considera no es la instantánea verdadera -variable compleja-, sino un valor medio, ficticio, definido por la relación entre el caudal instantáneo de mezcla oxidacétiénica y la sección del orificio.

La penetración de temple crece con la velocidad y, a partir de un cierto valor, aumenta más lentamente. Una velocidad de salida exagerada ocasiona el soplado de la llama, es decir, el desprendimiento del dardo, mientras que una velocidad demasiado pequeña puede provocar el retroceso de la llama.

La velocidad media elegida está comprendida entre 130 y 150 m/s.

3° Relación de volúmenes de oxígeno y de acetileno.

La temperatura y la potencia específica de la llama oxiacetilénica varían con la relación de los volúmenes de oxígeno y de acetileno, presentándose los máximos, para relaciones iguales a 1.5 y 1.9.

La penetración de temple (*mm*) es máxima para una relación de consumo aproximadamente igual a 2 y su ganancia de penetración, por comparación con la llama neutra, es del orden del 65%.

La llama oxidante -utilizada generalmente con relación 1.5- conserva la mayor parte de sus propiedades reductoras.

El empleo de la llama oxidante exige la constancia de la relación de consumo y, por consiguiente, el control de caudal de cada gas.

4° Distancia de la llama a la superficie.

La longitud del dardo de la llama normal puede ser igual a 16 *mm* y la distancia mínima de la tobera a la superficie llegó a ser de 3 *mm*, una distancia menor no permite el encendido del soplete. De ensayos realizados, la penetración máxima se obtuvo para una distancia de la tobera a la superficie calentada igual a la mitad de la longitud del dardo. Estos ensayos comenzaron alejando la extremidad del dardo de la superficie; continuaron situando el dardo tangente a la superficie y luego acercando a ésta la extremidad de la tobera, es decir, cortando el dardo.

5° Inclinación de la llama sobre la superficie.

La inclinación de la llama tiene una influencia importante. La penetración de temple es máxima cuando la llama es perpendicular a la superficie. Disminuye si el ángulo

decrece, pues el flujo calorífico recibido por la superficie es proporcional al seno del ángulo formado por el eje de la tobera y dicha superficie.

La disminución de la profundidad de temple es importante cuando el ángulo alcanza un valor inferior a 65° y, a partir de 35° la acción de la llama es muy débil.

6° Reparto espacial de la potencia de calentamiento.

Las probetas se calientan con un mismo caudal de gas D , repartido sucesivamente de la siguiente manera:

- una llama de caudal D , dispuesta a 0 ó 90° ;
- dos llamas de caudal $D/2$, dispuestas a 180° ;
- cuatro llamas de caudal $D/4$, dispuestas a 90° ;
- ocho llamas de caudal $D/8$, dispuestas a 45° ;

7° Tiempo de calentamiento.

Este tiempo debe ser el menor posible, a fin de localizar el calor en la periferia de las piezas, y esta condición no se satisface más que utilizando caudales importantes de gas.

El grado de aumento en la profundidad de temple disminuye cuando se prolonga el calentamiento, por las razones ya invocadas al estudiar el caudal de gas.

8° Tiempo de igualación.

Es el tiempo que transcurre entre el final del calentamiento y el principio del enfriamiento. Debe ser lo más breve posible (inferior a un segundo) a fin de que el calor acumulado en la periferia no tenga tiempo de difundirse en el interior de las piezas.

El tiempo de igualación se aprovecha para permitir la transmisión del calor a las superficies que, a causa de su situación, no se han podido someter a la acción directa de las llamas.

9° Tiempo de enfriamiento.

Los factores relativos al enfriamiento, tienen al menos tanta importancia como los factores de orden térmico, ya que, un temple sólo se produce cuando la velocidad de enfriamiento es superior a la velocidad crítica de temple.

El tiempo de enfriamiento debe ser suficiente para que el agua pueda absorber el calor aportado por la llama, siendo tanto más corto cuanto mejor es la localización del calentamiento.

El tiempo de enfriamiento se elige tanto menor cuanto más baja sea la dureza deseada.

10° Naturaleza del flujo de temple.

El enfriamiento se efectúa normalmente con chorros de agua a presión (debe preverse una presión de 2 a 5 Kg/cm^2 en tuberías), con lo que se evita el calentamiento del fluido.

Los fluidos utilizados para el temple clásico convienen también para el temple instantáneo en general, especialmente el aceite y la emulsión de agua y aceite en diversas proporciones.

11° Caudal del agua de temple.

El temple sólo se produce a partir de un caudal de agua superior a un valor crítico, que a su vez es función de la superficie a templar, de la masa que se encuentra debajo de la capa a templar y de la intensidad de calentamiento.

De ensayos, realizados con anterioridad, indican que la dureza máxima corresponde a un caudal de agua de 3 m^3/h , que el caudal crítico es igual a 1.6 m^3/h y que el temple no se produce si el caudal es de unos 0.8 m^3/h .

12° Velocidad de circulación del agua de temple.

La formación de capas de vapor, que ocasionan zonas blandas en la superficie templada, se suprime adoptando una gran velocidad de circulación del agua. Una

velocidad excesiva resulta perjudicial, pues el agua no tiene tiempo de mojar bien el metal y es mal utilizada.

La velocidad recomendada está comprendida entre 2 y 3 *m/s*, pudiendo alcanzar los 4 y 5 *m/s*.

13° Distancia e inclinación de los chorros de agua.

La distancia de los orificios a la superficie es de 15 *mm* aproximadamente, si es mayor, disminuye la fuerza viva del líquido en el momento de su contacto con el material y la dureza obtenida es menor. Una distancia más reducida dificulta y retarda la circulación del agua.

14° Velocidad de rotación.

En el caso de superficies de revolución, la velocidad de rotación debe ser tal que el calentamiento del material sea homogéneo en el momento del enfriamiento. Por encima de la velocidad mínima, variable según el diámetro de las piezas, la influencia de este factor sobre la profundidad de temple es despreciable.

La velocidad periférica varía entre 150 y 200 *mm/min*.

La velocidad circular de las piezas cilíndricas calentadas a lo largo de una sola generatriz se elige entre 50 y 250 *rev/min*.

Cuando se multiplican los puntos de calentamiento alrededor de las piezas se disminuye la velocidad, dejándola en un valor comprendido entre 10 y 20 *rev/min* si el calentamiento es continuo.

15° Dimensiones de la pieza.

El desarrollo de una operación de temple general instantáneo depende evidentemente de la forma de las piezas, diseñándose en consecuencia los quemadores.

Las piezas de espesor constante, y las superficies regulares y simétricas, son las más favorables, pues permiten simplificar la construcción de los quemadores y de las máquinas de temple.

Es posible facilitar el temple superficial de piezas que tengan partes delgadas modificando el orden de las operaciones de mecanizado, de tal manera que el tratamiento se realice sobre espesores mayores.

Deben evitarse las superficies de anchura variable, pues su temple superficial presenta grandes dificultades.

El empleo del temple general instantáneo está limitado por el tamaño de las superficies a tratar, pues los caudales de gas pueden llegar a ser demasiado importantes.

Este procedimiento de temple de piezas pequeñas, así como el de piezas delgadas, se realiza con caudales de gas importantes, utilizados durante tiempos muy cortos.

FACTORES VARIABLES DEL TEMPLE PROGRESIVO.

Los factores comunes al temple general instantáneo y al temple progresivo tienen análogos efectos y, por consiguiente, dan lugar a las mismas conclusiones. Estos factores son: caudal y velocidad de mezcla oxiacetilénica, relación de los volúmenes de oxígeno y de acetileno, distancia e inclinación de las llamas en relación con la superficie calentada y los factores referentes al enfriamiento del material.

Por este motivo, la exposición puede limitarse a dos factores, característicos del temple progresivo:

- distancia de la llama a los chorros de temple;
- velocidad relativa del sistema quemador - pieza a templar.

Particularidades del enfriamiento practicando en el temple progresivo:

Enfriamiento del material:

El fluido habitual es el agua pura, dentro de los límites de temple señalados para el temple general instantáneo. Su caudal puede variar, a grandes rasgos, entre la cuarta y la décima parte del caudal de oxígeno.

Los chorros forman con la superficie a templar un ángulo generalmente comprendido entre 60° y 70°; están dirigidos en sentido contrario al del movimiento del quemador para facilitar la circulación del líquido y prolongar el enfriamiento del material.

Las aguas salinas no son utilizadas a causa de su acción corrosiva y de la posible obstrucción de los quemadores y de los surtidores de enfriamiento.

Distancia de la llama a los chorros de agua:

La excesiva proximidad entre la llama y los chorros de agua tienen por consecuencia dificultar el calentamiento, disminuir la profundidad de temple y perjudicar el funcionamiento del soplete. Si, a partir de esta posición extrema, se alejan los chorros, se comprueba un rápido aumento de la penetración, que pasa por un máximo, luego una disminución más lenta de la misma, y finalmente la desaparición de todo efecto de temple, puesto que el material alcanza, antes de empezar su enfriamiento, una temperatura inferior a la del punto de transformación.

En quemadores normales, la distancia entre el eje de las llamas y los puntos de impacto de los chorros sobre la superficie es del orden de 20 mm.

CAPITULO 4

TEMPLE AL SOPLETE

4.1 Aplicaciones principales. Historia y campo de aplicación del temple al soplete.

El soplete oxiacetilénico fue inventado en 1901, fue utilizado, en muchos talleres de aquella época. Se utilizó para el temple localizado de las partes activas de herramientas de corte, de matrices y de piezas de pequeño utillaje.

Fueron presentadas patentes en diferentes países, principalmente por Vickers en Inglaterra (1910).

El uso del soplete se extendió hacia 1917, siempre en el campo del utillaje, al endurecimiento de los dientes de sierra.

Llegaron en seguida las principales aplicaciones sobre piezas mecánicas; primeramente Sumpert, en Inglaterra, lo utilizó para temple los dientes de los engranajes. En el mismo país, en 1925, Shoter, al darse cuenta de la necesidad de conferir al proceso la precisión que le faltaba para obtener resultados seguros, uniformes y reproducibles, mecanizó completamente el procedimiento.

En 1932, la firma alemana Deutsche Edelstahl Werke puso a punto un método de temple de los muñones de cigüeñales, conocido bajo el nombre de "Doble Duro".

A partir de entonces fueron ya muy numerosos los problemas de temple superficial que se resolvieron por medio del soplete.

Los campos más diversos de la construcción mecánica fueron abordados simultáneamente en los Estados Unidos, en Alemania y en Francia, donde la sociedad "L'Air Liquide" puso a punto, en 1933, una máquina automática construida para el temple de las aristas cortantes de secciones y contra-placas de segadoras.

Así se generalizó la aplicación industrial del procedimiento, que sigue extendiéndose a todos los ramos de la construcción mecánica y a una gran variedad de superficies.

La siguiente lista de industrias y de piezas correspondientes templadas al soplete, aunque extensa, está lejos de ser exhaustiva:

Industria del automóvil.

Cigüeñales, coronas de arrancadores, rótulas de dirección, válvulas y vástagos de válvulas, horquillas de cambios de velocidades, balancines, levas de freno, ejes, pifiones, palancas de cambios de velocidades.

Tractores.

Ruedas de accionamiento, eslabones, patines y rodillos de oruga, coronas de rodamiento, horquillas, cigüeñales, coronas dentadas.

Máquinas - Herramientas y utillaje.

Guías de fundición de bancadas de torno de todas las dimensiones, de fresadoras, de travesaños de planeadoras, de brazos de taladradoras radiales, de limadoras. Mesas de fundición de taladradoras, cremalleras, ejes, engranajes de cajas de velocidades, rodillos, husillos de taladradoras, husillos de tornos, embragues de garras, ruedas de trinquete, cuadrados de arrastre, barras de barrenado, tornillos sin fin. Yunques, martillos, pinzas cortadoras, punzones para marcar, láminas de sierra.

Aparatos de elevación.

Engranajes de todos los módulos, tornillos sin fin, ejes y rodillos de puente - grúa, caminos de rodadura, ruedas de cadena, coronas de rodamiento.

Equipos para huleras.

Ejes y eslabones de cadena transportadora, platos de desgaste, ruedas de locomotores, árboles y ruedas de vagonetas, tubos puntales, engranajes, rodillos diversos, piezas de bombas y de compresores, aparatos de preparación del carbón.

Máquinas agrícolas.

Secciones y contra-placas de segadoras, placas de guarnición, ejes y rejas de arado, engranajes, levas, palancas y uniones de rótula, coronas de molino de grano.

Material móvil.

Piezas de desgaste de locomotoras de vapor: patines, correderas de distribución, botones de manivela, ejes de crucetas de pistón, gargantas de pistón, vástagos de bombas de agua calientes.

Otras industrias.

El temple al soplete se aplica a las industrias más diversas, entre las que citamos a: la industria textil, el equipo de imprenta, la siderurgia, la metalurgia, las minas de hierro, el material motor, el material de armamento, el material de industria petrolera, la industria de las máquinas contables, etc.

4.2 Los materiales utilizados para la aplicación del procedimiento.

MATERIAL DE ALIMENTACION DEL GAS PARA LOS SOPLETES DE TEMPLE.

1. Centrales de oxígeno y acetileno.

Las instalaciones caracterizadas por caudales menores se alimentan a partir de baterías de botellas de 7 m³ para el oxígeno y de 4 m³ para el acetileno disuelto.

2. Reductores de presión.

La misión de estos aparatos, de modelo adaptado al caudal máximo de gas previsto, consiste en bajar la presión de las dos fuentes de gas a un valor constante, próximo a 1.5 kg/cm^2 , cualquiera que sea el contenido de las botellas durante el trabajo.

3. Equilibrador de presión.

El equilibrador tiene por finalidad llevar las presiones de los dos gases a un mismo valor, generalmente comprendido entre 400 y 800 g/cm^2 , que es la presión de utilización en el soplete de temple.

La alimentación a presiones iguales brinda la máxima estabilidad en el funcionamiento de los sopletes.

Existen dos modelos de equilibradores de presión, capaces de satisfacer caudales de 10 y 30 m^3/h respectivamente.

4. Aparatos de retención.

En caso de falas maniobra, los aparatos de retención impiden que el gas pase de una canalización a otra:

- válvulas obturadoras eecas para caudales inferiores a 10 m^3/h ;
- válvulas anti-retorno para los caudales superiores a 10 m^3/h .

5. Medidor de caudal.

La potencia de calentamiento del soplete es proporcional al caudal de oxígeno, cuyo control se efectúa por medio de un medidor de caudal de lectura directa.

6. Soplete de temple.

El soplete de temple, comprende los órganos que permiten la mezcla del oxígeno y del acetileno. Su parte extrema, llamada quemador, da origen a un conjunto de llamas adaptadas a la superficie a templar.

7. Máquina de temple.

La máquina de temple es el dispositivo mecánico que permite la presentación de las piezas a temprar delante del soplete.

4.2.1 El soplete de temple

El soplete se compone de tres partes:

- 1.º El cuerpo, provisto de una válvula doble que acciona la apertura o el cierre simultáneo de los dos gases, sin modificar su regulación relativa, y de una válvula que actúa sobre el acetileno para regular la llama.**
- 2.º La lanza une al cuerpo con el quemador, y contiene, a su entrada, un inyector en el cual se opera la mezcla del oxígeno y del acetileno en las proporciones deseadas.**
- 3.º El quemador, mecanizado en un bloque de acero inoxidable, se fija a la extremidad inferior de la lanza. En él se taladran los orificios de calentamiento, cuyo número y disposición varían según la pieza a temprar.**

CAPITULO 5

DISEÑO

5.1 Vigas (Barras guía del carro)

Datos:	Acero inoxidable AISI 304
Modulo de Elasticidad	$E = 196 \text{ KN} / \text{mm}^2$ $E = 20,000 \text{ Kg} / \text{mm}^2$
Longitud de la Viga	$l = 0.69 \text{ m} = 69 \text{ cm}$
Carga Aplicada	$P = 8 \text{ Kg}$
Diámetro de la Sección Circular de la barra	$D = \frac{1}{2} \text{ Plg.} = 1.27 \text{ cm}$

Cálculos:

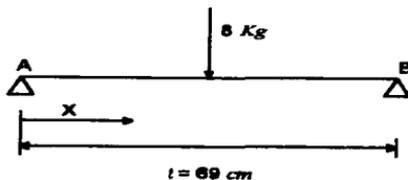
Reacciones en los extremos:

$$R = R_1 = R_2 = V$$

$$R = \frac{P}{2}$$

$$R = \frac{8 \text{ Kg}}{2}$$

$$R = 4 \text{ Kg}$$

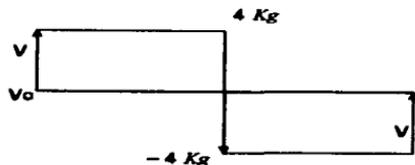


Momento Máximo (En $l/2$)

$$M_{\text{max}} = \frac{P \times l}{8}$$

$$M_{\text{max}} = \frac{8 \text{ Kg} \times 69 \text{ cm}}{8}$$

$$M_{\text{max}} = 69 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$$

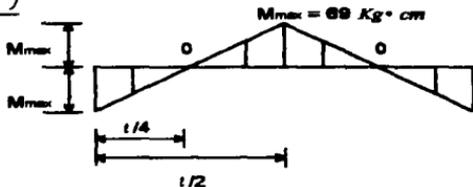


Momento (En $X = l/4$)

$$M_x = \frac{P(4X - l)}{8}$$

$$M_x = \frac{8 \text{ Kg} \left(4 \left(\frac{69 \text{ cm}}{4} \right) - 69 \text{ cm} \right)}{8}$$

$$M_x = 0 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$$



Momento de Inercia:

$$I = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi (1.27 \text{ cm})^4}{64} = 0.127 \text{ cm}^4$$

Deflexión Máxima (en el centro):

$$\Delta_{\text{max}} = \frac{P l^3}{192 E I} = \frac{8 \text{ Kg} \times (69 \text{ cm})^3}{(192)(2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2)(0.127 \text{ cm}^4)} = 0.054 \text{ cm}$$

Esfuerzo Normal:

$$\sigma = \frac{32 M}{\pi d^3} = \frac{32 (69 \text{ kg cm})}{\pi (1.27 \text{ cm})^3} = 343.114 \text{ kg/cm}^2$$

$$Z = \frac{M}{\sigma} = \frac{69 \text{ Kg cm}}{343.114 \text{ Kg/cm}^2} = 0.2 \text{ cm}^3$$

Diámetro de la barra:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \times Z}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{32 \times 0.2 \text{ cm}^3}{\pi}} = 1.269 \text{ cm}$$

5.2 Cálculo de la velocidad angular

Velocidad tangencial de la barra a templar: $V = 200 \text{ mm} / \text{min}$

Para la barra de 1 plg. de diámetro:

$$D = 25.4 \text{ mm} \quad R = 12.7 \text{ mm}$$

$$V = w \times R$$

$$w = \frac{V}{R}$$

$$w = \frac{200 \text{ mm} / \text{min}}{12.7 \text{ mm}} = 15.748 \text{ rad} / \text{min}$$

$$w = 15.748 \text{ rad} / \text{min} \left(\frac{1 \text{ rpm}}{2 \pi \text{ rad} / \text{min}} \right) = 2.5 \text{ rpm}$$

Para la barra de 1.5 plg. de diámetro:

$$D = 38.1 \text{ mm} \quad R = 19.05 \text{ mm}$$

$$w = \frac{200 \text{ mm} / \text{min}}{19.05 \text{ mm}} = 10.499 \text{ rad} / \text{min}$$

$$w = 10.499 \text{ rad} / \text{min} \left(\frac{1 \text{ rpm}}{2 \pi \text{ rad} / \text{min}} \right) = 1.671 \text{ rpm}$$

Para la barra de 2 plg. de diámetro:

$$D = 50.8 \text{ mm} \quad R = 25.4 \text{ mm}$$

$$w = \frac{200 \text{ mm} / \text{min}}{25.4 \text{ mm}} = 7.874 \text{ rad} / \text{min}$$

$$w = 7.874 \text{ rad} / \text{min} \left(\frac{1 \text{ rpm}}{2 \pi \text{ rad} / \text{min}} \right) = 1.253 \text{ rpm}$$

6.3 Diámetros de las poleas

Polea conductriz: $D = 5.3 \text{ cm}$
 $V = 4 \text{ rpm}$

v = velocidad de la polea conducida [rpm]

d = diámetro de la polea conducida [cm]

D = diámetro de la polea conductriz [cm]

V = velocidad de la polea conductriz [rpm]

Diámetros de las Poleas Conducidas:

Para la barra $D = 2 \text{ pig.}$

$$\frac{d_1}{D} = \frac{V}{v_1} \quad d_1 = \left(\frac{V}{v_1}\right) D$$

$$d_1 = \left(\frac{4 \text{ rpm}}{1.253 \text{ rpm}}\right) 5.3 = 16.919 \text{ cm}$$

Para la barra $D = 1.5 \text{ pig.}$

$$\frac{d_2}{D} = \frac{V}{v_2} \quad d_2 = \left(\frac{V}{v_2}\right) D$$

$$d_2 = \left(\frac{4 \text{ rpm}}{1.671 \text{ rpm}}\right) 5.3 = 12.687 \text{ cm}$$

Para la barra $D = 1 \text{ pig.}$

$$\frac{d_3}{D} = \frac{V}{v_3} \quad d_3 = \left(\frac{V}{v_3}\right) D$$

$$d_3 = \left(\frac{4 \text{ rpm}}{2.5 \text{ rpm}}\right) 5.3 = 8.48 \text{ cm}$$

	V (rpm)	D (cm)	D de la barra
Poles Conductoriz	4	5.3	
Poles conducidas	1.25	16.919	2 plg.
	1.671	12.987	1.5 plg.
	2.5	8.46	1 plg.

Banda "Estrecha" SPZ

Correa: "ESTRECHA"SPZ

Sección: 10 x 8

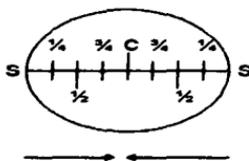
Anchura lp 8.5

CAPITULO 6

PRUEBAS

6.1 Resultados

Se realizó el temple superficial a una barra de Acero 4140 de 1 1/8 plg. de diámetro, obteniéndose de ella tres probetas con los siguientes resultados de dureza.



Probeta	Superficie		1/4 radio		3/4 radio		3/4 radio		Centro
	→	←	→	←	→	←	→	←	
1	24.5	16	26	25.5	26	25.5	28.5	25.5	30
2	26	26	22.5	26	18.5	25	18	21.5	19.5
3	23	21	24	21.5	24.5	23	25	31	22

Acero 4140, dureza original 10 RC.

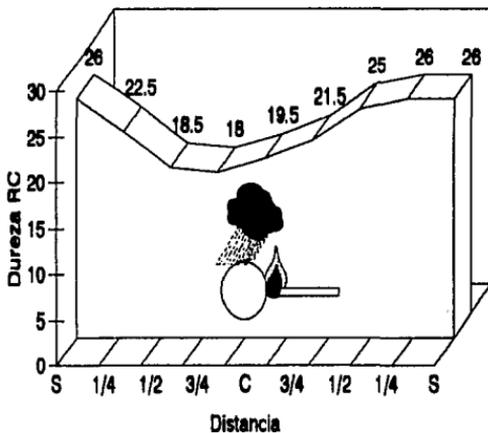
Comentarios:

La prueba se realizó con un soplete de corte, ya que el soplete de temple presento fallas que hacían peligroso su uso. Por lo cual los resultados no fueron los esperados como se puede observar en la tabla anterior, no teniendo una dureza uniforme en un mismo radio al igual que no tuvo la mayor dureza en la superficie y la menor en el centro de la barra. Lo cual se puede deber a causas como las siguientes: 1) a que la distancia entre la barra y el soplete variaba ya que no se pudo sujetar el soplete de corte en el mismo lugar que el soplete de temple debido a sus dimensiones y en cada una de las pruebas la distancia variaba dándonos resultados tan distintos; 2) a que el área que abarca el soplete de corte es mucho menor a la del soplete de temple para el cual se diseño la regadera de enfriamiento.

TEMPLE A LA FLAMA

Prueba en el Laboratorio

6.2 Gráfica de dureza



Dureza original 10 RC

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

El temple superficial al soplete es muy utilizado en elementos mecánicos y piezas que por su tamaño y forma no pueden ser tratados con otros procedimientos, especialmente en piezas que por sus dimensiones no pueden ser introducidas en los hornos. Permite regular la profundidad de la capa endurecida y es un medio de lucha contra el desgaste y la fatiga e incrementa la resistencia a la flexión.

En grandes piezas las deformaciones son pequeñas porque se calienta solo una zona de las mismas, y el resto que se encuentra a una temperatura mucho menor tiene suficiente resistencia y rigidez para impedir cualquier deformación importante del material.

Este procedimiento limita su acción fácilmente a zonas localizadas con un determinado espesor, con lo cual, se evita que la pieza sea muy frágil.

Para que un tratamiento térmico superficial responda exactamente a las necesidades muy variadas de la industria, debe ser posible modificar a voluntad el espesor de la capa endurecida, y poder obtener durezas diferentes. Estas condiciones son satisfechas por el temple (progresivo) al soplete; las variables de que se vale para ello son: caudal y velocidad de la mezcla oxiacetilénica, relación de los volúmenes de oxígeno y de acetileno, distancia e inclinación de las llamas en relación con la superficie calentada, el fluido empleado y su caudal que va desde la cuarta a la décima parte del caudal de oxígeno, el ángulo que forman los chorros del fluido enfriador.

Dadas las condiciones inherentes de operación del equipo varias de estas variables son constantes, limitándose a dos factores la determinación de los resultados del temple progresivo:

- distancia de la llama a los chorros de temple;

- velocidad relativa del sistema quemador-pieza a temprar.

Los resultados obtenidos con el dispositivo de temple al sopleta, motivo del presente trabajo, nos mostraron la necesidad de tener el mayor cuidado posible en el manejo del equipo de oxiacetileno ya que el caudal que maneja el sopleta es muy grande. Como se puede ver en la tabla de resultados, estos varían en forma considerable ya que al tener el sopleta de corte suelto todas las variables antes mencionadas cambiaron de valor, tanto la distancia como la mezcla. Lo cual puede tener solución colocando el sopleta adecuado en su base y utilizando la misma mezcla para varias pruebas.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- **Introducción a la Metalurgia Física**
Avner, H Sidney
Ed. McGraw-Hill
- 2.- **Metales Féreos**
J. Pascual
Ed. Blume
- 3.- **Principios de Tratamientos Térmicos**
Grossman, M. A.
Ed. Blume
- 4.- **Tecnología del Acero**
José María Lasheras y Esteban
Ed. Cedel
- 5.- **Temple del Acero**
Wanke, Klaus
Ed. Tolle, Lege Aguilar
- 6.- **Temple Superficial al Soplete**
Vitez, Marcel
Ed. Hispano Europea
- 7.- **Tratamientos Térmicos**
Lucchesi, Domenico
Ed. Labor

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

8.- Tratamientos Térmicos de Aceros

D. M. K. Grinberk

Ed. Limusa

9.- Tratamientos Térmicos de los Aceros

José Apraiz Barreiro

Ed. Dossat

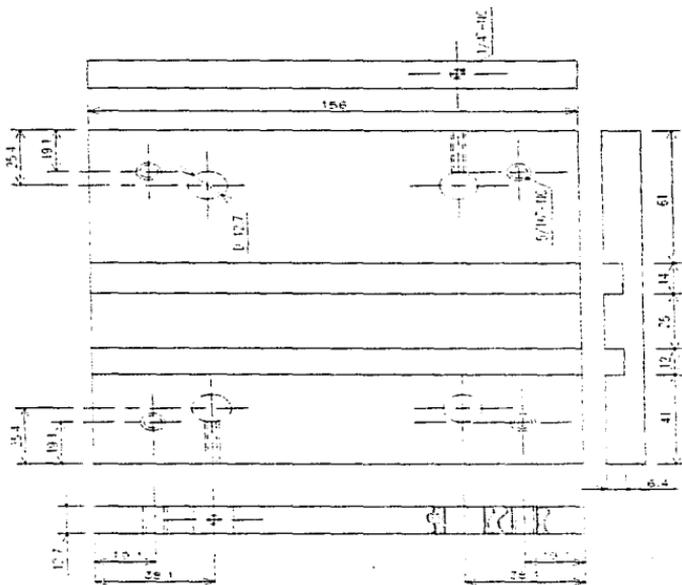
10.-Tratamientos Térmicos de los Metales

Pere Molera Solá

Ed. Marcombo

ANEXO I

**DIBUJO DE CONJUNTO
Y
DE PIEZAS MAQUINADAS**

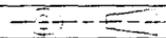


Escala: 1:5

FES-CUAUTITLAN UNAM

26/05/96

Dib. Faben Sanchez M



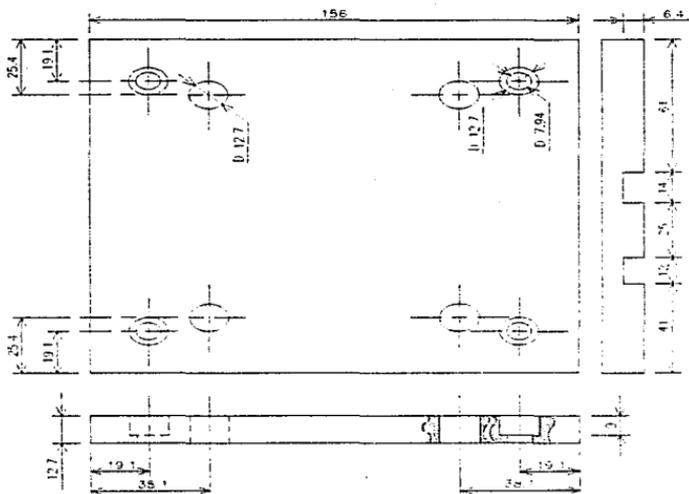
PLACA SUJETADORA INFERIOR

Rev. Ing. Felipe Diaz

Acab: mm.

Material: Aluminio

Figura: 1

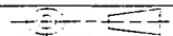


Escala: 1:1.5

FES-CUAUTILAN UNAM

28/05/96

Dis: Ruben Sanchez M.



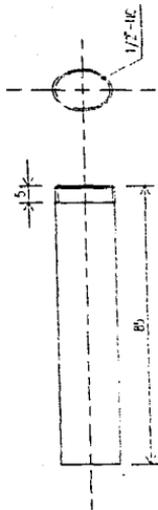
PLACA SIMETADORA SUPERIOR

Rev: Ing. Felipe Diaz

Acab: mm.

Materia: Aluminio.

Figura: 1

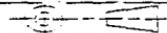


Escala: 1:1

FES-CUAUTILAN UNAM

28/05/96

Dib: Ruben Sanchez M.



POSTES DE LAS PLACAS SUJETADORAS

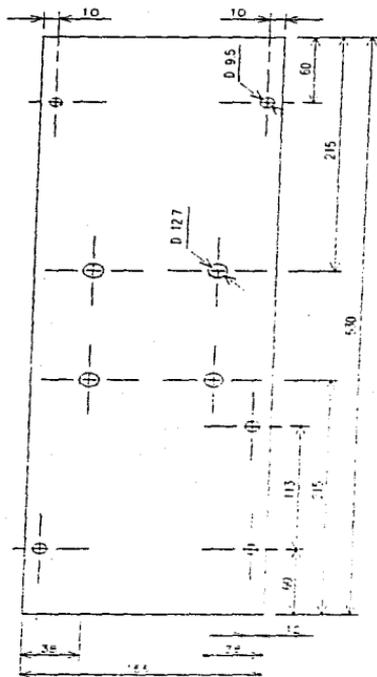
Rev.: Ing. Felipe Diaz

Acab.: mm.

Materia: Acero Inox. 304

Figura: 3

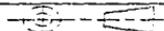
PLACA DE ALUMINIO 1/8"



Escala: 1:1

FES-CUAUTITLAN UNAM

Dir. Ruben Sanchez M.



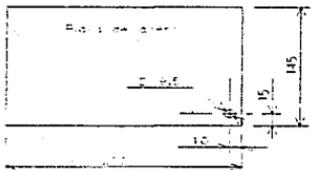
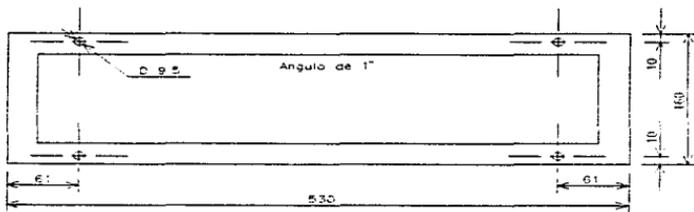
CARRIL

Rev. Ing. Felipe Diaz

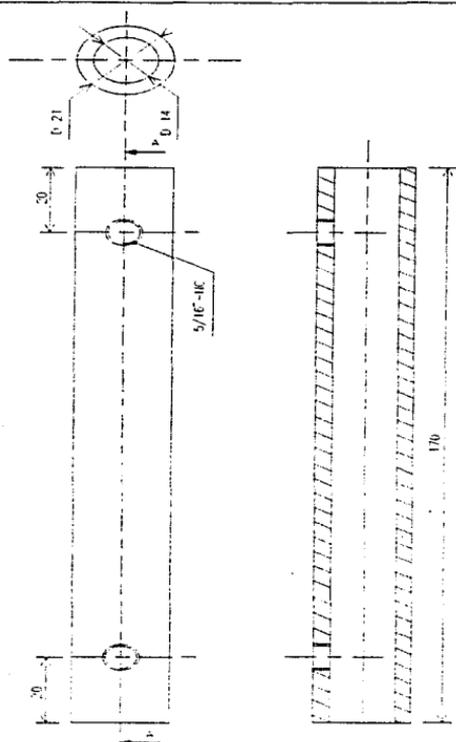
Acabado: mm.

Materia: Aluminio.

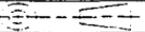
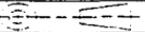
Figuras: 1



Escala: 1:1	FES-CUAUTITLAN UNAM	28/08/96	Dib: Ruben Sanchez M.
	MARCO DEL CARRO		Rev: Ing. Felipe Diaz
Acab: mm.	Materia: Acero.		Figura: 01



Corte A-A

Escala: 1:1 	FES-CUAUTITLAN UNAM	28/05/96	Dib. Rubén Sánchez M.
	TUBOS DE DEBILITAMIENTO DEL CARRO		Rev. Ing. Felipe Díaz
Auto. 0000	Figuras: 0		



Escuela: UNAM

FES-CUAUTITLAN UNAM

28/02/96

Dib: Ruben Sanchez M.



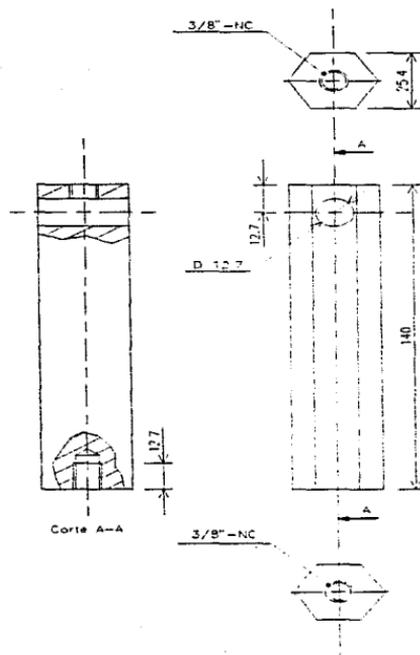
Escala: mm.

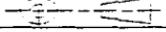
BARRAS GUÍA DEL CARRO

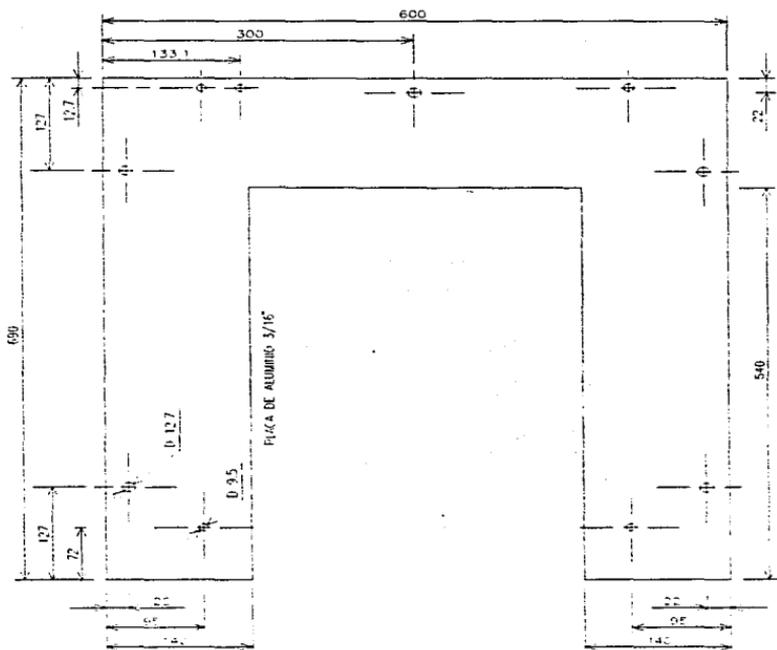
Material: Acero inoxidable 304.

Rev.: Ing. Felipe Diaz.

Figuras: 7



Escala: 1:1.5	FES-CUAUTILAN UNAM	28/06-90	Dib. Ruben Sanchez M.
	POSTES DE BARRAS GUIA		Rev. Ing. Felipe Diaz
Acabado mm.	Material: Acero.		Figura: B

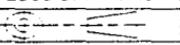


Escala: 1:1

FES-CUAUTILAN UNAM

28/02/96

Dir: Ruben Sanchez V



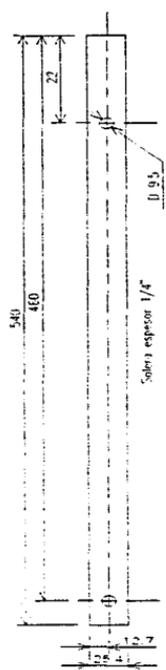
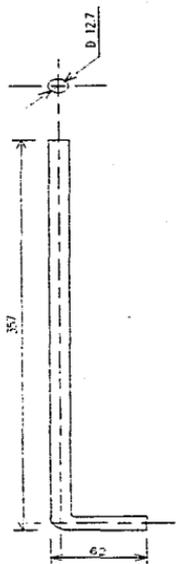
BASE DEL CARRO

Rev. Ing. Felipe Diaz

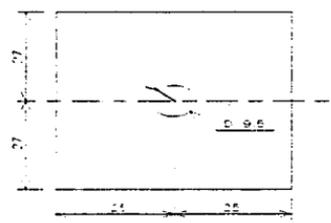
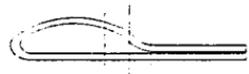
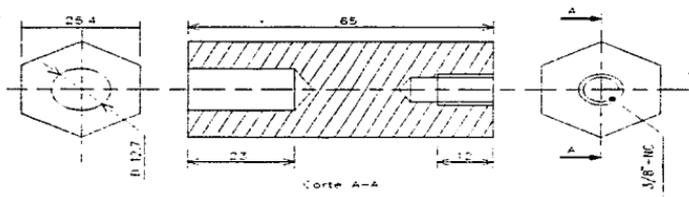
Acab: B

Materia: Aluminio.

Figura: 9



Escala: 1:1	FES-CUAUTITLAN UNAM	Dib: Ruben Sanchez M.
	MECANISMO DEL BRAZO (1)	Rev. Ing. Felipe Diaz
Acabado: mm.		Figuras: 10

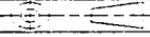


Escala: 1:1

FES-CUAUTILAN UNAM

28/08/96

Dib: Ruben Sanchez M.

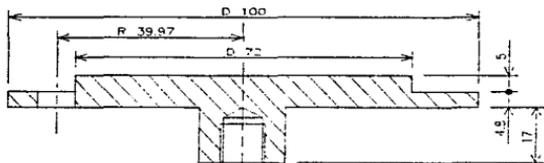


MECANISMO DEL BRAZO (2)

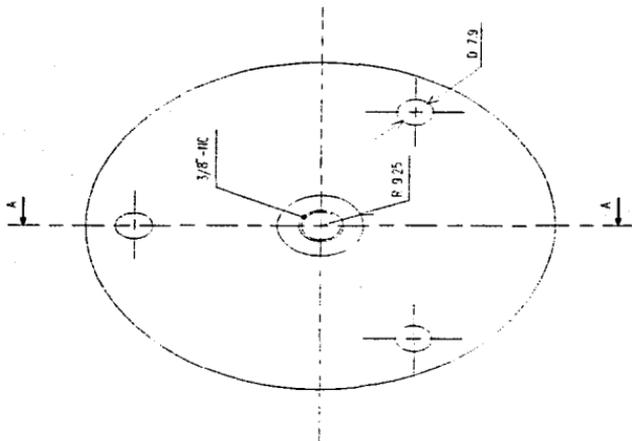
Rev: Ing. Felipe Diaz

Apdo: cmc

Figura: 1



CORTE A-A

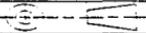


Escala: 1:1

FES-CUAUTILAN UNAM

28/08/96

Dib. Ruben Sanchez M.



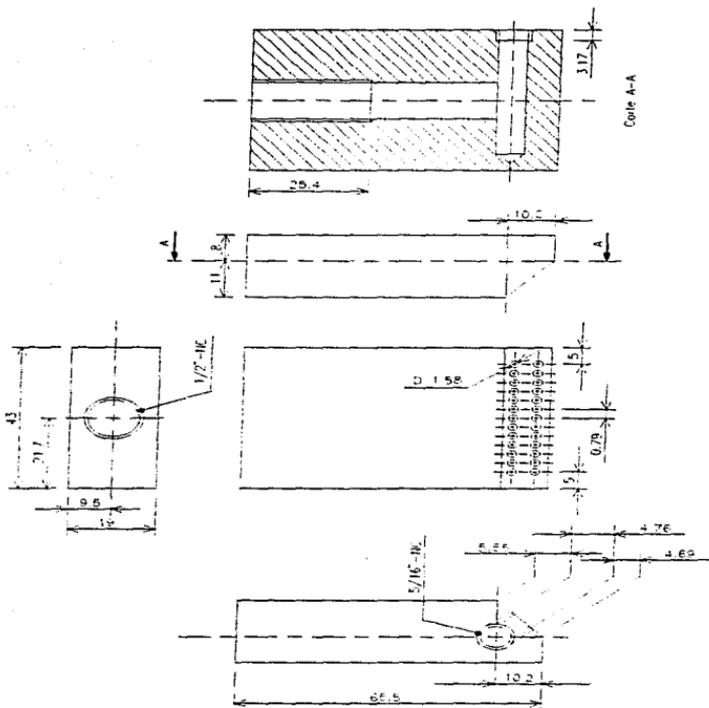
PLATO DEL CHUCK

Rev. Ing. Felipe Diaz

Acab. mm.

Materia: Acero.

Figura: 1



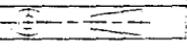
Corte A-A

Escala: 1:1

FES-CUAUTILAN UNAM

28/08/96

Dib: Ruben Sanchez M.



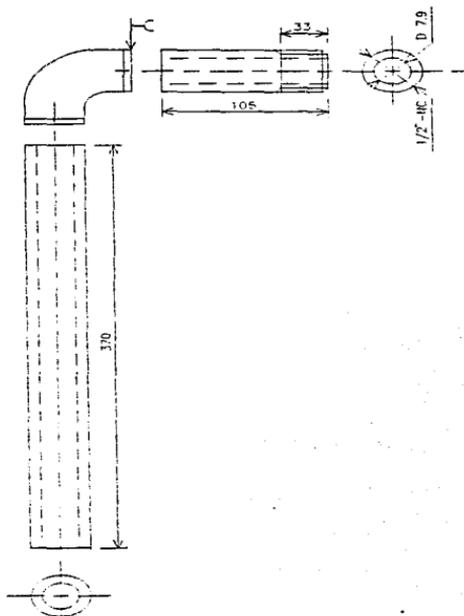
SURTIDOR DE AGUA

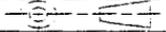
Rev: Ing. Felipe Diaz

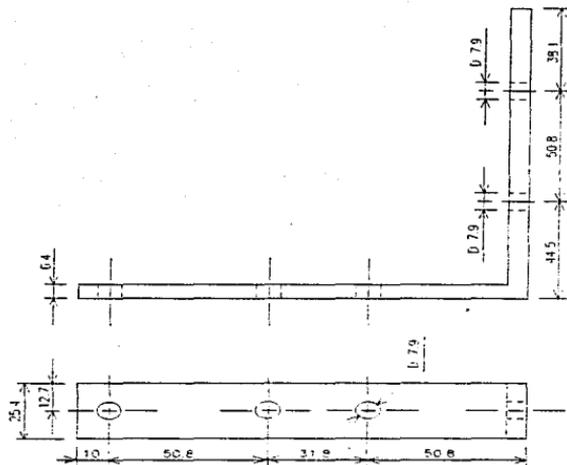
Acab: mm

Materia: Bronce

Figura: 1



Escala: 1:1	FES-CUAUTITLAN UNAM	28/08/96	Dib. Ruben Sanchez V.
	TUBO DEL SURTIDOR DE AGUA		Rev. Ing. Felipe Diaz.
Acot. mm.	Material: Cobre.		Figura: 14

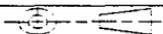


Escala: 1:1.5

FES-CUAUTILAN UNAM

28/08/96

Dib: Ruben Sanchez M.

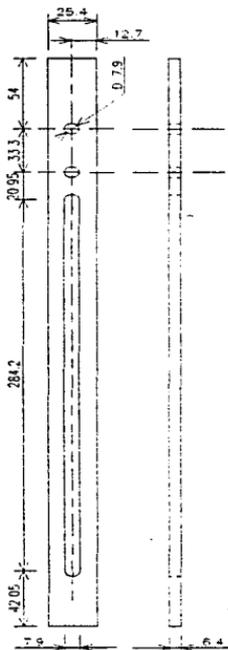


TENSADOR DE BANDA (1)

Rev.: Ing. Felipe Diaz.

Acot.: mm.

Figura: 1



Escala: 1:2.5

FES-CUAUTITLAN UNAM

28/05/96

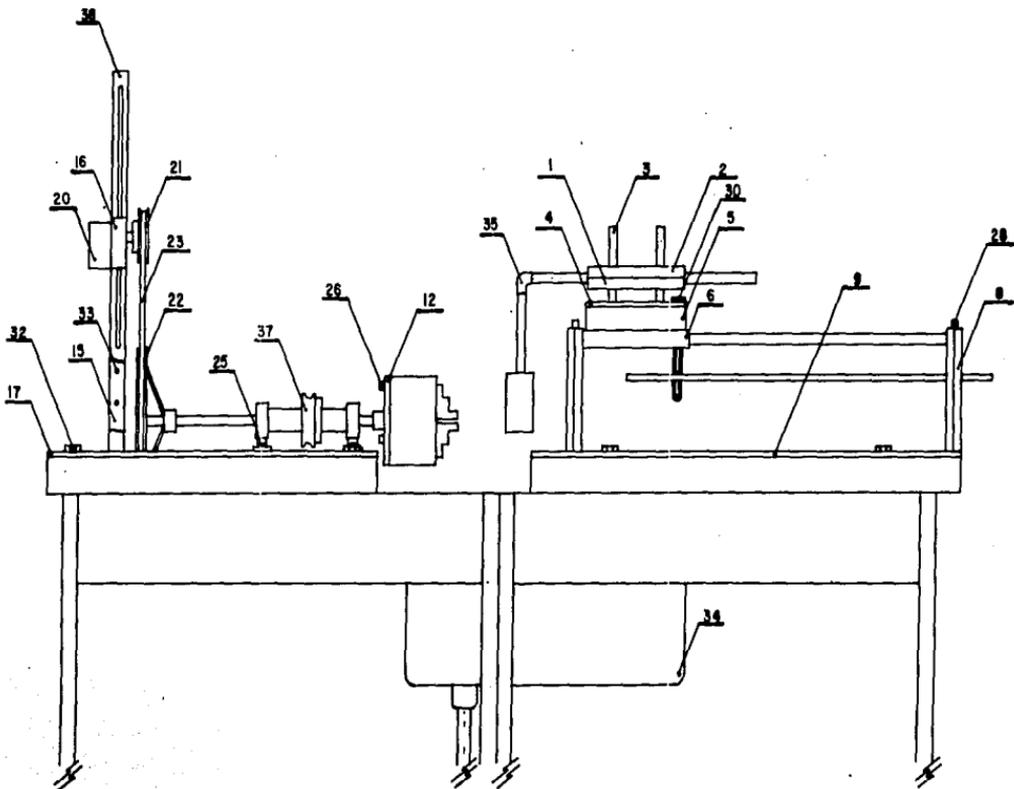
Dib: Ruben Sanchez M

TENSADOR DE BANDA (2)

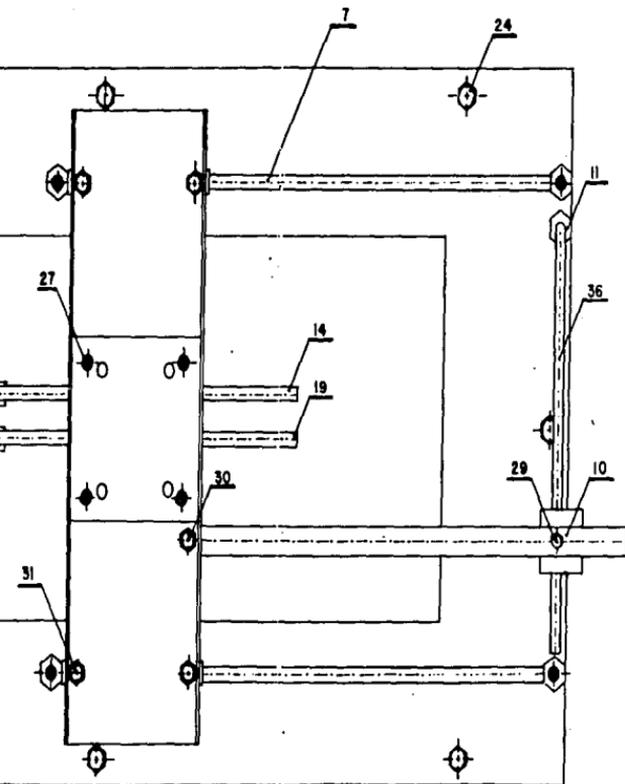
Rev: Ing. Felipe Diaz

Acot.: mm.

Figura: 16



ESCALA: 1:5	FES-CUANITLAN UNAM	3 FEB 1997	ME PAR VE ME ING
ACOTACION mm.			



8	1	TEMPLADOR DE BANDA	ACERO
27	1	POLEA DEL MANDRIL	ALUMBRIO
5	1	MECANISMO DEL BRAZO	ACERO INOXIDABLE
22	1	CODO	COBRE
24	1	TARJA	ACERO INOXIDABLE
3	3	TORNILLO ALLEN 5/16"-NC	ACERO
4	4	TORNILLO HEXAGONAL 1/2"-NC	ALTA RESISTENCIA
6	4	TORNILLO HEXAGONAL 3/8"-NC	HIERRO CROMADO
1	1	TORNILLO HEXAGONAL 5/8"-NC	HIERRO CROMADO
2	1	TORNILLO HEXAGONAL 5/16"-NC	HIERRO CROMADO
2	4	TORNILLO ALLEN 3/8"-NC	ACERO
2	4	TORNILLO ALLEN 5/8"-NC	ACERO
23	3	TORNILLO ALLEN 5/8"-NC	ACERO
2	4	TORNILLO HEXAGONAL 5/8"-NC	HIERRO CROMADO
24	5	TORNILLO HEXAGONAL 1/2"-NC	ALTA RESISTENCIA
2	1	BANDA "ESTRECHA" SPZ	NEOPRENO
2	1	POLEA CONDUCTIVA	ALUMBRIO
2	1	POLEA CONDUCTRIZ	ALUMBRIO
21	1	MOTOR SINCRONO	TYPE BR44ABE
1	1	LANZA DEL SOPLETE	ACERO INOXIDABLE
1*	1	QUENADOR DEL SOPLETE	ACERO INOXIDABLE
1*	1	BASE DEL MOTOR	ALUMBRIO
11	1	CAPA DEL MOTOR	ACERO
14	1	TEMPLADOR DE BANDA	ACERO
17	2	TUBO DEL SWITCHEO DE AGUA	COBRE
17	1	SWITCHEO DE AGUA	BRONCE
18	1	PLATO	ACERO
1	1	MECANISMO DEL BRAZO	ACERO
12	1	MECANISMO DEL BRAZO	ACERO
9	1	BASE DEL CARRO	ALUMBRIO
8	4	POSTES DE BARRAS BUNA	ACERO
7	2	BARRAS BUNA DEL CARRO	ACERO INOXIDABLE
6	2	TUBOS DE DESLIZAMIENTO	TUBO GALVANIZADO
5	1	BRINCO DEL CARRO	ACERO
4	1	PLACA DEL CARRO	ALUMBRIO
3	4	POSTES DE LAS PLACAS GUETABARRAS	ACERO INOXIDABLE
2	1	PLACA GUETABARRA SUPERIOR	ALUMBRIO
1	1	PLACA GUETABARRA INFERIOR	ALUMBRIO
NO	CANT.	DESCRIPCION	MATERIAL

ESCALA: 1:3.0

FES-CAUTITLAN UNAM

3 FEB 1997

ACOTACION: mm



CONJUNTO DEL CARRO

ANEXO II

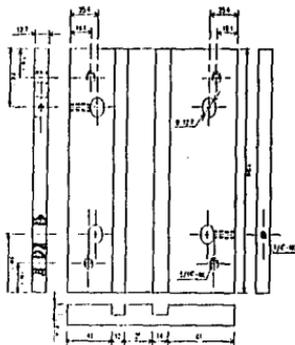
**ANALISIS DE MAQUINADO
Y
DE COSTOS**

ANÁLISIS DE MAQUINADO

Pieza: Placa Sujetadora Inferior 1/2" de espesor

Material: Aluminio

Cantidad: 1 pieza



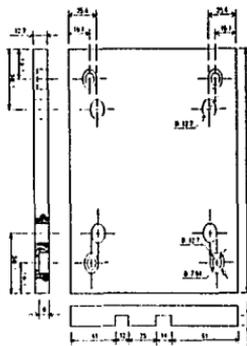
No	Descripción	Equipo	Herramental	Parámetros	T. Unitario	T. Total
1	Cortar	Manual	Arco y Seguela	Cortar longitud de 153 mm	7 min.	7 min.
2	Cortar	Manual	Arco y Seguela	Cortar longitud de 156 mm	7 min.	7 min.
3	Refrentar	Fresadora Vert.	Cortador de 1/2"	Longitud de 618 mm.	0.94 min.	1.88 min.
4	Limar aristas	Manual	Lima muza	Limar aristas de la placa	10 min.	10 min.
5	Fresar canales	Fresadora Vert.	Cortador de 1/2"	Dos canales de 156 mm X 1/4" de prof.	36.87 min	73.74 min.
6	Barrenar	Taladro Vert.	Brocas de Centros no 2 y 1/2"	4 barrenos pasados de 1/2"	1.40 min.	5.60 min.
7	Barrenar	Taladro Vert.	Brocas de Centros no 2 y F	Hacer 4 barrenos pasados machueado	87 min.	3.48 min.
8	Machuelear	Manual	Machuelo de 5/16"-NC manual	Hacer 4 machueledos (Broca F)	1 min.	4 min.
9	Barrenar	Taladro Vert.	Broca de Centros no 2 Broca 7 para machuelear	2 barrenos pasados a 19.1 mm.	1.06 min.	2.12 min.
10	Machuelear	Manual	Machuelo de 1/4"-NC manual	2 machueledos hechos con broca 7	1 min.	2 min.

ANÁLISIS DE MAQUINADO

Pieza: Placa Sujetadora Superior de 1/2" de espesor.

Material: Aluminio

Cantidad: 1 pieza



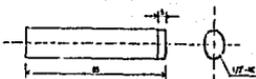
No	Descripción	Equipo	Herramental	Parámetros	T. Unitario	T. Total
1	Cortar	Manual	Arco y siqueta	Cortar lados de 156X153 mm	14 min	14 min.
2	Carear	Fresadora Vert.	Cortador de 1/2"	Refrentar l=618 mm; a= 1/2"; h=1/4"	0.94 min	1.88 min.
3	Limar	Manual	Lima muza	Limar aristas de la placa	5 min	5 min.
4	Fresar	Fresadora Vert.	Cortador de 1/2"	2 Canales l=156 mm; 1/2"; h=1/4"	182 min	364 min.
5	Barrenar	Taladro Vert.	Brocas de centro No 2 y 1/2	4 Barrenos pasados de 1/2"	1.41 min	5.64 min.
6	Barrenar	Taladro Vert.	Brocas de centro No 2 y 1/2	4 Barrenos de 1/2" ø 9 mm de prof.	0.99 min	3.96 min.
7	Barrenar	Taladro Vert.	Brocas de centro No 2 y 5/16"	4 Barrenos de 5/16" pasados	0.87 min	3.48 min.

ANÁLISIS DE MAQUINADO

Pieza: Postes de las placas sujetadoras 1/2"

Material: Acero Inoxidable 304

Cantidad: 4 piezas



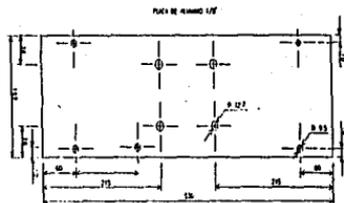
No	Descripción	Equipo	Herramental	Parámetros	T.Unitario	T.Total
1	Cortar	Manual	Arco y Segueta	4 Cortes de la barra de 1/2"	0.5 min	2 min.
2	Refrantar	Torno	Buril de 1/4"	Refrantar extremos; h=5 mm	0.38 min	1.52 min
3	Achafanar	Torno	Buril de 1/4"	Realizar 4 chaflanes	0.05 min	0.20 min
4	Filetear	Manual	Tarraje de 1/2"-NC; maneral	Hacer cuerda exterior 1/2"-NC	2 min	8 min.

ANÁLISIS DE MAQUINADO

Pieza: Placa del Carro 1/8" de espesor

Material: Aluminio

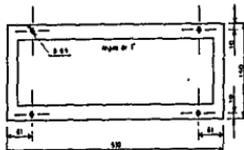
Cantidad: 1pieza



No	Descripción	Equipo	Herramental	Parámetros	T.Unitario	T.Total
1	Cortar	Sierra	Banda Sierra	Cortar lados de 530X155 mm	4.5 min	4.5 min
2	Limar	Manual	Lima Muza	Limar contorno	3 min	3 min
3	Barrenar	Taladro Vert.	Brocas de centro No 2 y 1/2"	Hacer 4 barrenos pasados de 1/2"	0.7 min	2.8 min
4	Barrenar	Taladro Vert.	Brocas de centro No 2 y 5/16	Hacer 5 barrenos pasados de 5/16"	0.44 min	2.20 min

ANÁLISIS DE MAQUINADO

Pieza: Marco del Carro
 Material: Angulo de 1"X1/8"
 Cantidad: 1 pieza



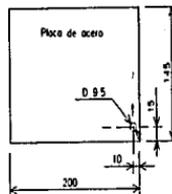
No	Descripción	Equipo	Herramiental	Parámetros	T.Unitario	T.Total
1	Cortar	Manual	Arco y Seguela	Cortar 4 secciones	1 min	4 min
2	Soldar	Soldadora	Pinzas, electrodos, Careta, etc.	Soldar 4 puntos	0.25 min	1 min
3	Barrenar	Taladro Vert.	Brocas de centro No 2 y 5/16"	4 Barrenos pasados de 5/16"	2.63 min	10.52 min

ANÁLISIS DE MAQUINADO

Pieza: Placa del carro

Material: Acero

Cantidad: 1 pieza



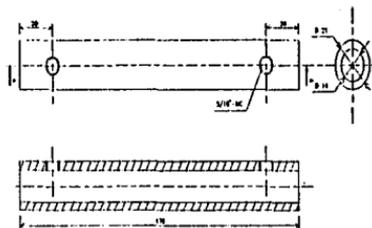
No	Descripción	Equipo	Herramental	Parámetros	T.Unitario	T.Total
1	Cortar	Sierra	Banda sierra	Cortar 2 lados de 200X145 mm	7 min	7 min.
2	Soldar	Soldadora	Pinzas, electrodos, Careta, etc.	Soldar 4 puntos	0.25 min	1 min.
3	Barrenar	Taladro Vert.	Brocas de centro No 2 y 5/16"	Hacer un barrenado pesado de 5/16"	2.63 min	2.63 min.

ANÁLISIS DE MAQUINADO

Pieza: Tubos de deslizamiento del carro

Material: Tubo Galvanizado

Cantidad: 2 piezas

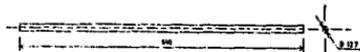


Lamin 2.4

No	Descripción	Equipo	Herramental	Parámetros	T.Unitaria	T.Total
1	Cortar	Manual	Aro con segueta	Cortar 2 piezas de 170 mm	0.5 min	2 min.
2	Refrentar	Torno	Buril de 1/4"	Refrentar extremos de las piezas	0.22 min	0.88 min
3	Barrenar	Taladro Vert.	Brocas de centro No 2 y F	2 Barrenos pasados (Broca F)	5.81 min	23 min.
4	Machuelado	Manual	Machuelo de 5/16"-NC	2 Machuelados de 5/16"-NC	1 min	4 min.
			manera			

ANÁLISIS DE MAQUINADO

Pieza: Barras guía del carro
Material: Acero inoxidable 304
Cantidad: 2 piezas



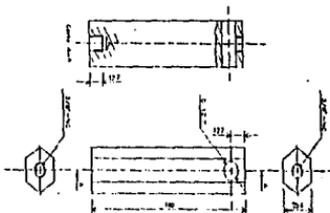
No	Descripción	Equipo	Herramental	Parámetros	T.Unitario	T.Total
1	Cortar	Manual	Arco con segueta	Cortar pieza de 690 mm	0.5 min	1 min
2	Refrentar	Torno	Buril de 1/4"	Refrentar extremos de 1/2"	0.38 min	1.52 min

ANÁLISIS DE MAQUINADO

Pieza: Postes Hexagonales de 1" entre cara paralelas (de barras guía)

Material: Acero

Cantidad: 4 Piezas



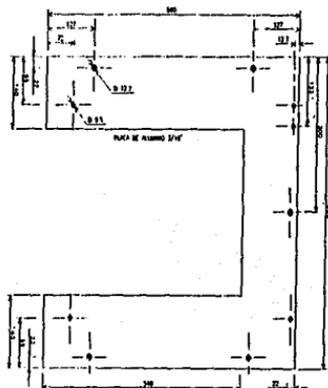
No	Descripción	Equipo	Herramental	Parámetros	T. Unitario	T. Total
1	Cortar	Segueta Mec.	Segueta No. 12	cutar pieza de l= 140 mm	1 min	4 min.
2	Refrentar	Tomo	Buril de 1/4"	2 caras hexagonales	0.55 min	4.4 min
3	Barrenar	Taladro Vert.	Broca de centros No 2 y 1/2"	1 Barreno pasado de 1/2"	2.8 min	11.20 min.
4	Barrenar	Taladro Vert.	Broca de centros No 2 y 5/16"	1 Barreno pasado de 5/16"	0.53 min	2.12 min
5	Machuelear	Manual	Machuelo 3/8"-NC Maneral	1 machuelo de 5/16 "	1 min	4 min.
6	Barrenar	Taladro Vert.	Broca de Centro No 2 y 5/16"	1 Barreno ciego de 5/16"	1.57 min	6.28 min.
7	Machuelear	Manual	Machuelo de 3/8"-NC Maneral	1 machuelado en barreno 5/16"	2 min	8 min.

ANÁLISIS DE MAQUINADO

Pieza: Placa (Base, Lado carro)

Materia: Aluminio

Cantidad: 1 pieza



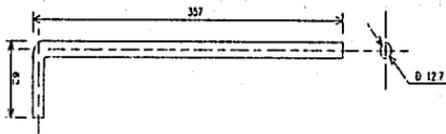
No	Descripción	Equipo	Herramental	Parámetros	T. Unitario	T. Total
1	Cortar	Sierra	Banda sierra	Cortar lados de 600X 690 mm	15 min	15 min.
2	Cortar	Caladora	Segueta para caladora B & D	Cortar 2 lados internos de 540 mm y uno de 320 mm	20 min	20 min.
3	Barrenar	Taladro Vert.	Broca de Centros No 2 y 1/2"	5 Barrenos pasados de 1/2"	0.35 min	1.75 min.
4	Barrenar	Taladro Vert.	Broca de Centros No 2 y 3/8"	5 Barrenos pasados de 3/8"	0.26 min	1.3 min.
5	Limar	Manual	Lima muza	Limar contorno	10 min	10 min.

ANÁLISIS DE MAQUINADO

Pieza Mango del mecanismo del brazo

Material: Acero inoxidable 304 de 1/2"

Cantidad: 1 pieza



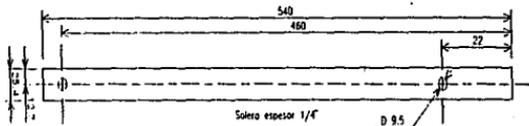
No	Descripción	Equipo	Herramental	Parámetros	T.Unitario	T.Total
1	Cortar	Manual	Arco con segueta	Cortar pieza de 419 mm	0.5 min	0.5 min.
2	Refrentar	Torno	Buril de 1/4"	Refrentar pieza de 1/2"; h = 5 mm	0.38 min	0.76 min.
3	Doblar	Manual	Tornillo de banco, soplete martillo y escuadra	Hacer un doblez a 90 °	1 min	1 min.

ANÁLISIS DE MAQUINADO

Pieza: Mecanismo del Brazo

Material: Solera de Acero 1"x1/4"

Cantidad: 1 Pieza



No	Descripción	Equipo	Herramiental	Parámetros	T. Unitario	T. Total
1	Cortar	Manual	Arco y Seguela	Cortar pieza de l=540 mm	0.4 min	0.4 min.
2	Barrenar	Torno Vert.	Broca de centros no.2 y 3/8"	2 Barrenos de 3/8"	0.79 min	1.58 min.

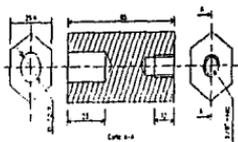
ANÁLISIS DE MAQUINADO

Mecanismo del brazo

Pieza: Poste Hexagonal de 1" entre caras paralelas

Material: Acero

Cantidad: 1 pieza



No	Descripción	Equipo	Herramental	Parámetros	T. Unitario	T. Total
1	Cortar	Segueta Mec.	Segueta No 12	Cortar pieza de l=65 mm	1 min	1 min.
2	Refrentar	Torno	Buril de 1/4"	Caras hexagonales a h=23 mm	0.55 min	1.1 min.
3	Barrenar	Taladro Vert.	Broca de centros No 2 y 1/2"	1 Barreno ciego a una h=23 mm	3.82 min	3.82 min.
4	Barrenar	Taladro Vert.	Broca de centros No 2 y 5/16"	1 Barreno ciego a una h=12 mm	1.49 min	1.49 min
5	Machuelar	Manual	Machuelo de 3/8"-NC Maneral	1 Machuelado en barreno 5/16"	1 min	1 min.

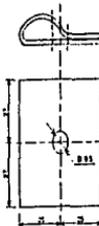
ANÁLISIS DE MAQUINADO

Mecanismo del brazo

Pieza: Lámina soldada al brazo; de 1/16"

Material: Acero

Cantidad: 1 pieza



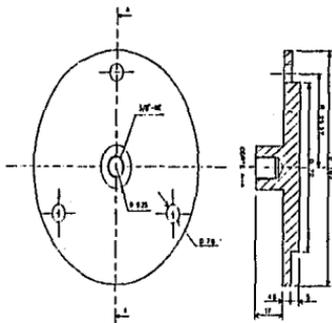
No	Descripción	Equipo	Herramental	Parámetros	T. Unitario	T. Total
1	Cortar	Cizalla	Guantes	cutar lados de 54 mm x 50 mm	0.2 min	0.2 min
2	Doblar	Dobladora	Guantes	Doblez a 180°	0.2 min	0.2 min
3	Barrenar	Taladro Vert.	Broca de Centros No 2 y 3/8"	1Barreno pasado de 3/8"	0.19 min	0.19 min
4	Soldar	Planta Soldar	Electrodos, Pinzas, Careta	Soldar a la varilla del mango	0.5 min	0.5 min

ANÁLISIS DE MAQUINADO

Pieza: Plato del Chuck

Material: Redondo de Acero 4"X1 1/4"

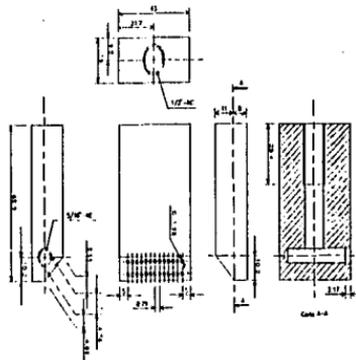
Cantidad: 1pieza



No	Descripción	Equipo	Herramental	Parámetros	T. Unitario	T. Total
1	Refrentar	Tomo	Buril de 1/4"	2 Caras a una h=2.47 mm	1.54 min	3.08 min.
2	Cilindrar	Tomo	Buril de 1/4"	Cilindrar a h=1.6 mm en l=4.8 mm	0.146 min	0.146 min.
3	Cilindrar	Tomo	Buril de 1/4"	Cilindrar a h=2.96 mm en l=5mm	0.91 min	0.91 min.
4	Cilindrar	Tomo	Buril de 1/4"	Cilindrar a h= 8.3 mm en l=17 mm	8.25 min	8.25 min.
5	Barrenar	Taladro Vert.	Broca de centros No 2 y 5/16"	3 Barrenos pasados de 5/16"	0.67 min	2.01 min
6	Barrenar	Taladro Vert.	Broca de centros No 2 y 5/16"	1 Barreno ciego de 5/16"	0.19 min	0.19 min
7	Machetado	Manual	Machuelo de 3/8"-NC Maneral	Machuelado en barreno ciego	1 min	1 min.

ANÁLISIS DE MAQUINADO

Pieza: Surtidor de Agua
 Material: Bronce
 Cantidad: 1 pieza



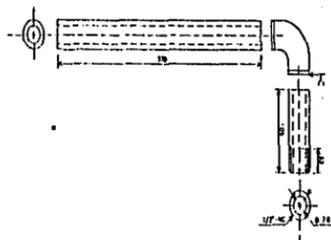
No	Descripción	Equipo	Herramental	Parámetros	T. Unitario	T. Total
1	Cortar	Manual	Arco con sequeta	2 Caras de 43 X 65.5 mm	6 min.	12 min.
2	Cortar	Manual	Arco con sequeta	2 Caras de 65.5 X 19 mm	4 min	8 min.
3	Cear	Fresadora Vert	Cortador de 1/2"	1 h=3 mm (caras de 65.5 x 43 mm)	23.46 min	46.92 min.
4	Cear	Fresadora Vert	Cortador de 1/2"	1 h=3 mm (caras de 65.5 x 19 mm)	9.72 min	19.44 min.
5	Barrenar	Taladro Vert.	Broca de centros No 2 y 27/64"	1 Barreno ciego de 27/64" a una h = 53.3 mm	2.95 min	2.95 min.
6	Barrenar	Taladro Vert.	Broca de centros No 2 y L	1 Barreno ciego a una h=40 mm	1.22 min	1.22 min.
7	Machuelado	Manual	Machuelo de 1/2"-NC Maneral	1 Machuelado en barreno a 27/64"	1.3 min	1.3 min.
8	Machuelado	Manual	Machuelo de 5/16"-NC Maneral	1 Machuelado en barreno L	1.19 min	1.19 min.
9	Barrenar	Taladro Vert.	Broca de centro No 1 y 1/16"	26 Barrenos pasados	0.27 min	3.51 min.

ANÁLISIS DE MAQUINADO

Pieza: Tubo del Surtidor de Agua

Material: Cobre

Cantidad: 1 Pieza



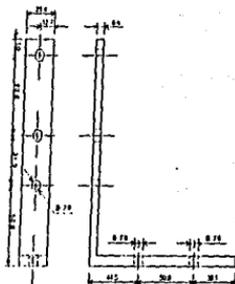
No	Descripción	Equipo	Herramental	Parámetros	T. Unitario	T. Total
1	Cortar	Manual	Arco con Seguela	Cortar Tubo de Dext. 1/2" y Dint. 5/16" a una l=105 mm	0.3 min	0.3 min
2	Roscado	Manual	Tarraje de 1/2"-NC Maneral	Roscado exterior en l=33 mm	1 min.	1 min.

ANÁLISIS DE MAQUINADO

Pieza: Templador de Banda

Material: Solera de Acero de 1"x1/4"

Cantidad: 1 Pieza



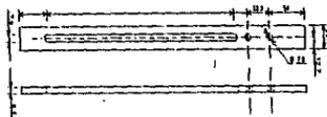
No	Descripción	Equipo	Herramental	Parámetros	T. Unitario	T. Total
1	Cortar	Manual	Arco con siqueta	Cortar pieza l=276.6 mm.	0.4 min	0.4 min.
2	Doblar	Manual	Tornillo de banco, soplete, martillo, escuadra	Hacer el doblaz a 90°	0.5 min	0.5 min
3	Barrenar	Taladro Vert.	Broca de centros no. 2 y 5/16"	5 Barrenos pasados a un 5/16"	0.66 min	3.3 min.

ANÁLISIS DE MAQUINADO

Pieza: Templador de Banda

Material: Solera de Acero de 1"X1/4"

Cantidad: 1 pieza



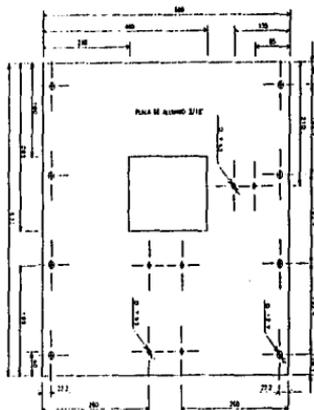
No	Descripción	Equipo	Herramental	Parámetros	T. Unitario	T. Total
1	Cortar	Manual	Arco con segueta	Cortar pieza de l=434.5 mm	0.4 min	0.4 min.
2	Fresar	Fresadora vert	Cortador de 5/16"	Canal pasado l=292.1 mm; α=5/16"	3.05 min	3.05 min
3	Barrenar	Taladro vert	Broca de centros no. 2 y 5/16"	Dos barrenos pasados de 5/16"	0.01 min	0.02 min.

ANÁLISIS DE MAQUINADO

Pieza: Placa de 3/16" de espesor (Base, lado motor)

Material: Aluminio

Cantidad: 1 pieza



No	Descripción	Equipo	Herramiental	Parámetros	T. Unitario	T. Total
1	Cortar	Sierra	Banda sierra	Cortar lados de 600X 530 mm	15 min	15 min.
2	Cortar	Caladora	Segueta p/ Caladora Marca B&D	Rectángulo interno (190X125 mm)	15 min	15 min.
3	Barrenar	Taladro Vert.	Broca de centros no 2 y 1/2"	4 Barrenos pasados de 1/2"	0.21 min	0.84 min
4	Barrenar	Taladro Vert.	Broca de centros no 2 y 5/16"	5 Barrenos pasados de 5/16"	0.13 min	0.78 min.
5	Limar	Manual	Lima muza	Limar contorno	10 min	10 min.

Análisis de costos.

I Costo de los materiales de las piezas manufacturadas.

No	Nombre	Material	Cantidad	P/U	P Total \$
1	Redondo 6" x 1 1/2"	Acero	5.5 kg.	\$ 8.04	55.72
2	Redondo	Bronce	2.2 kg.	\$ 34.88	76.74
3	Placa calibre 3/16" de 0.69x.60m	Aluminio	7.7 kg.	\$ 39.16	301.53
4	Placa calibre 3/16" de 0.53x0.60 m	Aluminio	6.8 kg.	\$ 39.16	266.29
5	Tubo de deslizamiento	Tubo galvanizado	0.34 m.	\$ 9.20	3.13
6	Angulo de 1"x1/8"	Acero	1.62 m.	\$ 5.33	8.64
7	Varilla de 1/2"	Acero inoxidable	2.4 kg.	\$ 46.72	112.18
8	Solera de 1"x1/4"	Acero	1.6 kg.	\$ 51.20	81.92
9	Barra hexagonal 1" entre caras paralelas	Acero 1045	18.9 kg.	\$ 15.70	296.73
10	Placa calibre 3/16" 0.55x0.53 m	Aluminio	2.2 kg.	\$ 39.16	86.15
11	Placa calibre 1/2" 0.56x.253 m	Aluminio	5.5 kg.	\$ 43.04	236.72
12	Tubo 0.52 m.	Cobre	0.52 m.	\$ 14.66	7.62
				Costo Total (\$)	1533.37

Análisis de Costos

II Costos de la mano de obra

No	Nombre	Tiempo total de maquinado (min.)	Costo (\$)
1	Placa sujetadora inferior	14.82	4.45
2	Placa sujetadora superior	41.41	13.67
3	Postes de las placas sujetadoras	11.71	3.86
4	Placa de aluminio del carro	12.5	4.13
5	Marco del carro	15.52	5.12
6	Placa de acero del carro	10.63	3.51
7	Tubos de deslizamiento del carro	30.1	9.93
8	Barras guía del carro	2.52	0.83
9	Postes de barras guía	40.04	13.21
10	Base del carro	48.05	15.86
11	Mango del brazo	2.26	0.75
12	Solera del brazo	1.98	0.65
13	Poste del brazo	8.41	2.78
14	Lamina del brazo	1.09	0.36
15	Plato del chuck	36.39	12.01
16	Surtidor de agua	95.29	31.45
17	Tubo del surtidor de agua	1.3	0.43
18	Tubo del surtidor de agua	0.3	0.1
19	Templador de banda	4.2	1.39
20	Templador de banda	3.45	1.14
21	Caja del motor	5.4	1.78
22	Base motor	41.62	13.73

Costo Total (\$)

141.12

Análisis de costos.

III Piezas no maquinadas.

No	Nombre	Material	Cantidad	P/U	P. Total
1	Tarja	Acero inoxidable	1 pieza	\$ 258.00	258.1
2	Chuck	Chuck universal 4"	1 pieza	\$ 437.00	437.1
3	Mandril	Mandril 1/2"	1 pieza	\$ 75.00	75.1
4	Motor sincrono	Type SR46A52-12 4RPM	1 pieza	\$ 270.00	270.1
5	Polea 7"	Aluminio	1 pieza	\$ 58.92	58.92
6	Polea 5"	Aluminio	1 pieza	\$ 41.97	41.98
7	Polea 3"	Aluminio	1 pieza	\$ 26.19	26.2
8	Polea 2"	Aluminio	1 pieza	\$ 19.64	19.65
9	Banda trapezoidal dentada	Neopreno	1 pieza	\$ 204.00	204.1
10	Soplete oxiacetilenico	Acero inoxidable	1 pieza	\$ 793.50	793.51
11	Tomillo hexagonal 1/2"-NC	Alta resistencia grado 5	9 piezas	\$ 4.95	44.55
12	Tomillo hexagonal 5/16"-NC	Hierro cadminizado	4 piezas	\$ 1.39	5.56
13	Tomillo hexagonal 3/8"-NC	Hierro cadminizado	4 piezas	\$ 1.95	7.8
14	Tomillo hexagonal 3/8"-NC	Hierro cadminizado	1 pieza	\$ 2.75	2.75
15	Tomillo hexagonal 5/16"-NC	Hierro cadminizado	1 pieza	\$ 1.39	1.39
16	Tomillo allen 5/16"-NC	Acero	7 piezas	\$ 1.10	7.7
17	Tomillo allen 3/8"-NC	Acero	4 piezas	\$ 1.75	7
18	Tomillo allen 5/16"-NC	Acero	3 piezas	\$ 1.30	3.9
				Costo Total (\$)	2265.41