

300617

30.  
2g



**UNIVERSIDAD LA SALLE**

**ESCUELA DE INGENIERIA  
INCORPORADA A LA U.N.A.M.**

## **“OPERACION DE UNA PLANTA DE FORJA”**

**T E S I S   P R O F E S I O N A L**  
**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE**  
**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**  
**P R E S E N T A**  
**LUIS FERNANDO OLLIVIER RAMIREZ**



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

I N D I C E

	PAG.
INTRODUCCION .....	1
ELEMENTOS QUE INTERVIENEN EN LA FORJA INDUSTRIAL .....	4
Composiciones del Hierro .....	5
Aceros .....	6
Diferencias entre el Hierro y el Acero .....	7
ESTAMPADO .....	9
SOLDADURA O CALDEO .....	10
COLORACION DEL HIERRO Y EL ACERO A ELEVADA	
TEMPERATURA - RECALENTADO .....	12
TRATAMIENTOS TERMICOS DEL ACERO .....	14
Recocido .....	16
Temple del Acero .....	18
- Modalidades del Temple .....	22
- Tipos de Temple en las piezas de acero .....	25
Revenido .....	29
- Fragilidad de Revenido .....	30
- Temperaturas de Revenido .....	30
- Tiempos de Revenido .....	31
- Clases de Revenido .....	32
LAS DEFORMACIONES DE LAS HERRAMIENTAS EN	
LOS TRATAMIENTOS TERMICOS .....	35
FORJAMEX, S. A. de C. V. ....	39
Organigrama General .....	41
Dirección Comercial .....	42
Dirección Industrial .....	45
Dirección Finanzas .....	62
BIPLIOGRAFIA .....	64

## I N T R O D U C C I O N

El desarrollo industrial de México es cada vez más fuerte; - actualmente, las empresas se crean y crecen en forma tal, que es necesario aprovechar todos sus recursos materiales, técnicos y - humanos.

En nuestro país existe una constante emigración de la gente del campo hacia las ciudades industrializadas. Todo esto trae - como consecuencia la creación y expansión de las empresas para - aumentar la producción de bienes y servicios a fin de satisfacer las necesidades del país.

En México una de las industrias que no ha tenido un desarrollo importante es la FORJA INDUSTRIAL. Sin embargo, considerando que la evolución del mercado del automóvil ha experimentado en los últimos años una marcada tendencia hacia un incremento considerable en las piezas a suministrar; y para hacer frente a las calidades, precios y plazos que los fabricantes de los vehículos exigen, se impulsó la creación de industrias dedicadas a esta especialidad (Forja de Precisión), las cuales han contribuido favorablemente a fomentar la utilización de las nuevas técnicas de forja.

El punto de partida y origen del conformado en caliente, más conocido como FORJA, ha sido los martillos de caída libre que se usaron en la época en que las series presentan una cuantía tal, - que unido a la morfología de las piezas y a su repetitividad, vinieron a sustituir al primitivo yunque y a los martillos pilónes que fueron la base de la habilidad de los verdaderos artistas del conformado manual.

Así pues, con la preparación previa del material en martillo pilón, se obtenía una calidad de estampa más o menos adecuada, - para una vez grabada la huella de la pieza, ésta recibía en caliente los impactos que le darían su forma final. De esta forma, se empezaron a producir las primeras piezas forjadas en caliente;

y una vez desbarbadas, pasaban los primeros exámenes de control dimensional cuyo destino era el mecanizador.

Las series eran pequeñas como para no prestar mucha atención a la calidad de la estampa, puesto que la deformación de la huella se producía cuando el número de piezas había llegado a la cantidad programada; e incluso las exigencias dimensionales no provocaban interrupciones prematuras.

Posteriormente, las formas de las piezas, al presentar físicamente geometrías diferentes, reclamaban bloques también diferentes donde ser obtenidas. Por lo tanto, no sólo la potencia de las máquinas debía variar, sino también su concepción para dar forma o dar las características propias pretendidas.

Lo que en un principio no tenía gran importancia, como era el calentar dos o más veces las fases previas de la pieza a producir, pasó a ser prohibitivo, tanto por la cadencia y el costo alcanzados, como por el estado superficial de suministro.

De ahí que el forjador se vio en la necesidad de desarrollar la forja progresiva, y de dar toda la importancia que de hecho tiene, no sólo al material de que está formado el bloque, sino a su estado de suministro para hacer más fácil la labor de mecanizado en utillaje, como la compatibilidad de utilización en forja mediante el tratamiento adecuado.

Las principales ventajas y desventajas que se pueden encontrar entre la forja manual y la forja industrial son las siguientes:

En la forja manual (o artesanal), no hay orientación molecular en la pieza, hay porosidad, baja producción, alto costo de mano de obra y bastante contaminación, etc.

En cambio, en la forja industrial, se puede dar una orientación molecular a la pieza, no hay porosidad, la producción puede ser en mayor escala, el costo de mano de obra es mucho menor, y no hay problemas de contaminación, etc.

Cuatro son los factores que influyen en el éxito de una herramienta: buen acero, buen diseño, buen tratamiento y buen servicio.

En el diseño muchas veces se tiene en cuenta solamente el tipo de piezas a fabricar, olvidando que la herramienta debe soportar otros esfuerzos y tensiones, quizás superiores, durante su fabricación y tratamiento térmico.

Por lo tanto, la forma y diseño de una herramienta debe relacionarse, no sólo con su buen funcionamiento final, sino también con todos los aspectos del tratamiento térmico.

En sentido metalúrgico, los problemas se agudizan cuando hay diferencias de secciones, por ejemplo: cambios de temperaturas en el calentamiento o en el enfriamiento. La forma ideal es aquella en que el enfriamiento es uniforme. Sin embargo, - hasta donde sea posible, eliminar los ángulos agudos, las huellas profundas de estampado, las secciones inútilmente grandes y los cambios repentinos de secciones, contribuirán a mejorar el diseño de las herramientas.

El objetivo de esta tesis es dar a conocer la organización y funcionamiento de una Planta de Forja de Precisión en México, tomando como ejemplo una de las pocas industrias de Forja de Precisión que existen en nuestro país: FORJAMBEX, S. A. de C.V.

Se tuvo la oportunidad de trabajar en esta empresa por un lapso de dos años, y siendo ésta una industria nueva, surgió la idea de hacer un estudio acerca de la Forja Industrial. Se buscó bibliografía para poder realizar este estudio, pero desgraciadamente no había nada relativo a este tema a excepción de la forja artística o artesanal.

Antes de hablar sobre la organización y funcionamiento de dicha empresa, expondré los principales elementos que intervienen en la Forja de Precisión, sus características, tratamiento térmico de las herramientas de acero, temple, recocido, recalentado, revenido, etc.

## ELEMENTOS QUE INTERVIENEN EN LA FORJA INDUSTRIAL

Unos de los principales elementos que intervienen en la forja industrial son los metales con que se trabaja: el hierro y el acero.

El hierro es, físicamente, un cuerpo sólido y tiene las siguientes cualidades: fusibilidad, maleabilidad, ductilidad, resistencia mecánica y dureza.

- La fusibilidad es la mayor o menor facilidad que tiene el metal para fundirse.
- La maleabilidad es la facilidad de dejarse convertir en planchas de mayor o menor espesor por la acción del martillo o del laminador.
- La ductilidad es la facultad de dejarse estirar en hilos más o menos delgados por medio de la hilera.
- La resistencia mecánica es la propiedad de resistir a los esfuerzos de compresión o de tracción que obran sobre un cuerpo determinado.
- La dureza es una propiedad bien conocida que, unida a la resistencia mecánica, hace a las piezas indeformables.

**TEMPLE** es el punto de dureza o elasticidad que se da al acero mediante un enfriamiento brusco después de ser sometido a una elevada temperatura.

**CUERPO SOLIDO** es aquel cuya forma no cambia, ni se pueden separar sus partes sino mediante un esfuerzo más o menos considerable.

El hierro convertido en acero se vuelve elástico, porque vuelve sobre sí y recobra la forma que tenía después de haberla perdido por la acción de una fuerza cualquiera.

Según su estructura, el hierro es un cuerpo simple, igual -- que el oro y que la plata, porque de él sólo puede extraerse materia de su misma especie.

## COMPOSICIONES DEL HIERRO

El hierro puro no tiene aplicación alguna en la industria, y el procedimiento para obtenerlo es muy costoso (económicamente); por lo tanto, el agregar un determinado porcentaje de carbono a este metal lo hace adquirir propiedades que facilitan su forjado para la construcción de distintas piezas de maquinaria. El carbo no existe en los compuestos ferrosos durante su estado normal, en una proporción variable de 0.05 a 0.50 %.

El hierro es de un color gris azulado, su densidad es de poco más o menos de 7.800 y se funde de los 1,500 a 1,600 grados -- centígrados, y bajo la acción de un calor excesivo se volatiliza. El hierro tiene propiedades magnéticas que desaparecen al rojo, y posee un alto grado de forjabilidad y la facilidad de soldarse -- consigo mismo. Bajo la ductilidad que adquiere al rojo, puede ser trabajado con suma facilidad, dándole las formas más variadas.

En los talleres generalmente se emplean distintos términos -- para distinguir prácticamente los hierros:

HIERRO CORRIENTE - es quebradizo en frío y forma grietas al estirarlo a una baja temperatura y es necesario tener mucho cuidado al trabajarlo siempre al rojo soldante.

HIERRO DULCE O ACERADO - estos hierros son siempre de buena calidad, fácilmente se dejan trabajar en caliente y en frío.

HIERROS Duros o ACERO AL CARBON - son fáciles de forjarse en caliente, pero en frío son frágiles, pues casi se parecen al acero; se usan generalmente para la forjadura de bielas principales, bastidores, etc.

HIERRO FORJADO - es aquel que bajo la acción del martillo, -- durante las forjaduras, adquiere interiormente tensiones tales, -- que lo vuelve quebradizo y su textura granular se agranda visiblemente.

Los hierros pueden clasificarse examinando el aspecto de una rotura, donde se podrán observar sus granos, y si éstos son finos



y uniformes, sin irisaciones ni manchas negras, quiere decir que son de buena calidad, y cuando son corrientes deben tener un aspecto sedoso con fibras largas de un color blanco plateado. Estas características las toma el hierro al ser martillado o laminado, pues hay que reconocer que al ser estirado toma su textura fibrosa.

### A C E R O S

Los aceros son composiciones de hierro y un porcentaje variable de carbono, desde 0.5 a 1.50%, y algunas veces, con la presencia de otros cuerpos, logra así modificar sus propiedades comerciales, llamándolos después aceros comerciales.

Mientras mayor sea la proporción de carbono que contenga el acero es mayor su dureza y puede ser templado; en cambio, al disminuir el carbono en el acero, se vuelve suave y toma un parecido al hierro.

En los aceros especiales se ha procurado en estos últimos tiempos, formar aleaciones consistentes en una mayor o menor dosis de carbón para producir aceros muy duros, éstos, con la intervención de otros metales, logran conseguir condiciones de dureza, flexibilidad y tenacidad que los hacen distinguirse de los aceros comunes:

**NIQUEL** - este metal, aleado con el acero, le da a éste una mayor tenacidad y no permite ser atacado por el óxido.

**TUNGSTENO** - este metal, aleado al acero, le da a éste una mayor dureza, principalmente para herramientas de corte de gran velocidad.

**VANADIC** - este metal, aleado al acero, lo hace muy flexible, considerándolo el más adecuado para resortes, etc., y que a pesar de recibir sobre sí cargas considerables, no sufre deformación alguna.

**SILICIC** - el agregado del silicio al acero, le da a éste una constitución fibrosa, prestándole una tenacidad muy grande. Precisamente, con una aleación de silicio combinado con níquel, cromo, y hierro, se ha logrado fabricar el acero inoxidable.

## DIFERENCIAS ENTRE EL HIERRO Y EL ACERO

Los hierros se diferencian del acero por la proporción de -- carbono que cada uno contiene, pues para los hierros, debe ser de 0.05 a 0.50%, y para los aceros, de 0.05 a 1.50%.

Los hierros pueden forjarse y soldarse con suma facilidad y no pueden ser templados, mientras que el acero, con el temple adquiere mayor dureza y son forjables, pero al soldarse (caldearse) se hace con muchísima dificultad.

Los forjadores que a diario trabajan el hierro y el acero, -- se dan cuenta de que el primero es menos duro que el segundo; además, han observado que el alargamiento mínimo en el hierro es mayor que en el acero bajo la acción del calor, pues está probado -- que el hierro tiene entre 30 y 40 kilogramos de resistencia por -- milímetro cuadrado, y de 1/8 de pulgada de alargamiento por cada pie de longitud en caliente; siendo para los aceros de 40 a 60 ki logramos de resistencia por milímetro cuadrado y de 7/64 pulgadas de alargamiento por cada pie de longitud.

Es muy notable tanto en el hierro como en el acero, que cuando se les calienta al rojo blanco para trabajarlos, sufren un deg gaste constante en su volumen, pues a cada "calentón" que se les da producen unas cascarillas o caspas que van mermando paulatinamente su volumen total, calculándose dicho desgaste de un 7 a 10%, proporción que deberá aumentarse en el volumen antes de forjarse.

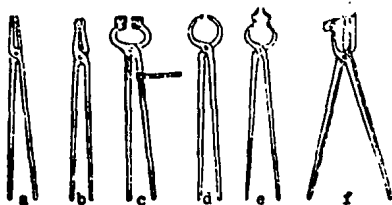
Por las cualidades del hierro, éste se puede trabajar en caliente y en frío. Trabajándolo en caliente, se puede fácilmente modificar su textura, y bajo la acción del calor sus moléculas ad quieren un estado de movilidad tal, que se les puede dar la forma que uno desee. En caso contrario, trabajándolo en frío, se vuelve duro y tenaz debido a los golpes que se le dan, quedando sus -- granos comprimidos unos contra otros, exponiéndose a una fácil ro tura si se le golpea sin calentarlo.

El acero por su parte, siempre debe trabajarse en caliente y a un grado de calor conveniente, pues en frío casi nunca debe de intentarse, ya que al pretender hacerlo, las piezas son rechazadas provocando una deformación en ellas.

El hierro y el acero pueden sufrir alteraciones tales ya sea bajo el calor excesivo que reciban, o por alguna otra causa mecánica, hasta quemarse el carbono que contienen, y cuando esto ocurre, el metal queda inutilizado perdiendo así su valor físico.

En estos casos se aconseja que no deben de usarse para la -- construcción de piezas o herramientas cuya resistencia constituya un peligro en cualquier trabajo mecánico, considerándolos como -- hierro o acero 'quemados'. En casos así se puede observar que sus granos son más grandes que los del granulado regular.

Las principales herramientas con las que se ayuda el forjador para calentar el hierro o el acero, y trabajarlo más fácilmente -- son las tenazas:



El forjador usa las tenazas porque con el hierro o el acero caliente, y para evitar posibles accidentes de trabajo quemándose las manos, le sirven para sostener el material candente. Como se puede ver en los dibujos anteriores, existen diversas formas de -- tenazas dependiendo del uso que se les vaya a dar:

(a) -- son tenazas planas para sostener soleras y se sujetan con una 'sortija' para que el hierro no pueda zafarse y así el -- operario trabaje con mayor seguridad.

(b) - son tenazas 'alicates' que se usan para sostener varillas redondas en posición horizontal.

(c) - son tenazas 'huecas' que sirven para sujetar varillas cuadradas y redondas de distintas medidas.

(d) - son unas tenazas 'francesas' que se usan generalmente para sujetar roldanas o flanges, tuercas y otras piezas de forma cilíndrica.

(e) - son unas tenazas 'víboras' de mucha utilidad para levantar los pedazos de hierro o acero y colocarlos en el martillo pilón.

(f) - son unas tenazas de caja que se usan generalmente para sostener los hierros o aceros de forma rectangular de distintos tamaños.

Cuando el hierro o la pieza de acero que se va a forjar es de dimensiones grandes, para poder moverla de un lado a otro se coloca en los ramales de las tenazas unos aditamentos llamados -- 'manerales' (como el de la figura c), los cuales permiten voltear rápidamente de un lado a otro la pieza en forjadura.

### E S T A M P A D O

Hay que reconocer que las piezas de acero forjado tienen una mayor resistencia que el acero fundido, según sea la clase de fuerza que se ejerza sobre ellas; pero si hay infinidad de piezas que se hacen fundidas o vaciadas, es porque industrialmente resultan menos costosas que las forjadas, tomando en cuenta el trabajo a que se les vaya a sujetar.

Así es como en muchos casos de forjaduras de piezas de maquinaria y para otros usos, se usa el estampado, procedimiento que aún no se usa en toda su amplitud en nuestro medio, pero que, demostrando los beneficios prácticos que se pueden obtener al seguir cuidadosamente la construcción de troqueles y matrices apropiados para el estampado de las mismas, indudablemente que se obligará a dar mayores facilidades a los trabajadores para la construcción de esta clase de herramientas.

Este mismo procedimiento debe seguirse en los trabajos que se ejecutan en las máquinas forjadoras, pues éstas tienen la gran ventaja de que las piezas forjadas salen menos costosas y en mayor cantidad, y además, todas uniformes.

### S O L D A D U R A   O   C A L D E O

La soldadura del hierro o del acero es un acto en el cual el forjador debe poner toda su atención y experiencia, pues no hay que desconocer la importancia que el mismo encierra en los distintos trabajos de pequeñas o grandes industrias, y por tal motivo, en muchos casos se tropieza con dificultades no sólo porque el forjador no conoce químicamente la aleación del material que va a trabajar, sino que aun conociéndola, se presentan inconvenientes que es necesario tener en consideración.

Para el efecto, en los talleres comúnmente se usan algunos términos que se aplican para distinguir un hierro del otro, y se usa por sus cualidades para dejarse trabajar o por su aplicación en determinados trabajos que permiten al forjador ir conociéndolos y así distinguir un buen hierro del malo. Por eso es que se dice que el hierro es corriente o malo cuando al trabajarlo se agrieta aún cuando esté caliente, y en frío, se rompe fácilmente. Esto quiere decir que su parte de carbono es mínima, pero a pesar de esto, entre los hierros corrientes hay algunos que poseen características muy especiales, que se dejan trabajar a una temperatura al rojo brillante, y presentan por lo regular un aspecto fibroso y de color blanco plateado.

La presencia fósforo en el hierro, le da la cualidad de dejarse trabajar en caliente, pero en frío es completamente frágil.

Cuando el hierro contiene, aunque sea en mínima parte, arsénico, cobre o azufre, lo hacen quebradizo a determinado grado de calor y casi imposible de soldarse, así es que el forjador, al encontrarse con hierros que contengan estas impurezas, aun cuando su capacidad y experiencia sean reconocidas, tiene que trabajar más de lo regular para poder caldear el hierro.

Ahora bien, la soldadura puede llevarse a cabo en hierro con hierro; hierro con acero; o acero con acero. Aún cuando no hay relaciones afines entre uno y otro, tales como la maleabilidad, la ductilidad y la elasticidad, su cualidad para dejarse caldear o soldar varía según su estado químico; no hay que olvidar que el hierro puro no tiene ninguna aplicación industrial alguna, pues ésta la adquiere mediante las aleaciones de un tanto por ciento de carbono, que en el hierro de primera calidad, o sea hierro bueno, debe tener de 0.40 a 0.50% de carbono y por esta razón se acerca mucho al acero. Mientras mayor sea el tanto por ciento de carbono que contenga el hierro, mayor es la dureza que adquiere, y en consecuencia, su calidad soldante es menor y más difícil.

Los criterios fundamentales que deben seguirse para la elección de los tipos de aceros de herramientas según su aplicación - se apoyan en la contraposición de dos propiedades elementales de un acero de herramientas que son la tenacidad y la resistencia al desgaste (a baja o alta temperatura). Sin embargo, también hay que tomar en cuenta otros dos requisitos que debe llevar un acero: la resistencia al revenido (o ablandamiento por efecto de la temperatura) y la resistencia al choque térmico.

Según la aplicación de cada herramienta, estas propiedades son requeridas en mayor o menor grado y en algunos casos puede alguna de ellas no ser necesaria (por ejemplo: la resistencia al choque térmico en una herramienta que se trabaja a temperatura ambiente). En realidad, la elección adecuada de un acero de herramientas consiste en valorar la naturaleza del trabajo a realizar y su aptitud para cumplir los 4 requisitos; además de considerar su forma, el número de piezas que se desea fabricar con ella, problemas de posible corrosión, etc.

COLORACION DEL HIERRO Y DEL ACERO A ELEVADA  
TEMPERATURA - RECALENTADO

Al calentar el hierro ya sea en hornos o simplemente en fragua, va adquiriendo determinadas coloraciones según el grado de calor a que se le someta, principiando por el rojo, rojo obscuro, anaranjado, etc., hasta llegar al blanco brillante:

GRADOS CENTIGRADOS	COLOR
525 .....	rojo
700 .....	rojo obscuro
800 .....	rojo cereza obscuro
900 .....	rojo cereza claro
1,000 .....	anaranjado obscuro
1,100 .....	anaranjado claro
1,200 .....	rojo blanco
1,400 a 1,500 .....	rojo soldante
más de 1,500 .....	blanco brillante

El acero por su parte, el recalentado es uno de los aspectos más importantes, pues se aplica únicamente a las piezas templadas tales como herramientas, etc., y los pasos que sigue son: primero se tiempla endureciendo dicha pieza en agua o en aceite o alguna otra composición especial; y una vez enfriada, se pule con lija o esmeril para poder observar mejor su coloración. Hecho lo anterior, se lleva al horno e sobre la misma lumbrera del carbón (que resulta un proceso más lento) para que vaya tomando coloraciones hasta obtener la deseada según las herramientas de que se trate y el trabajo a que serán destinadas; en esta forma, se restituye al acero su tenacidad, maleabilidad, y elasticidad que el temple le había hecho perder, a la vez que conserva su dureza.

Dependiendo la temperatura a que sea sometida la pieza de acero, ésta obtendrá distintas coloraciones:

GRADOS	CENTIGRADOS	COLOR
200	.....	amarillo claro (paja)
240	.....	amarillo obscuro
260	.....	rojo púrpura
270	.....	púrpura
285	.....	violeta
300	.....	azul
320	.....	azul claro
325	.....	gris

Los aceros muy duros, tales como herramientas de torno, taladros, etc., deben forjarse a un color cereza claro. Los aceros de duración media y tenaces, como terrajas, hileras, punzones, etc. se forjan al rojo claro.

Los aceros para martillo, matrices, etc., deben forjarse al amarillo claro, ya que excediéndose el calor en el calentamiento, se corre el riesgo de quemarse el acero por el recalentamiento que sufre cuando es sometido a muy elevadas temperaturas. Por otra parte, el acero no debe forjarse a una temperatura que no llegue al rojo, pues con el martillado pierde su flexibilidad y tiene el peligro de saltarse.



## TRATAMIENTOS TERMICOS DEL ACERO

Las herramientas de acero son instrumentos de aplicación uni versal, empleadas en múltiples actividades humanas, sobre todo en el terreno industrial.

Uno de los aspectos fundamentales en el comportamiento de -- las herramientas de acero, es el tratamiento térmico de las mismas. Un porcentaje muy elevado de sus fallos se relaciona, directa o - indirectamente, con esa fase de su elaboración.

Es por eso que las casas productoras de acero, conociendo la aleación de cada clase de los mismos, expiden instrucciones específicas para su tratamiento, así como para el templado, recocido, revenido y normalización, teniendo para estas operaciones, todo - tipo de maquinaria, hornos, pirómetros, etc., para medir el calor que en cada caso se necesite.

Para todos los aceros especiales, los tratamientos térmicos juegan un papel muy importante. Los principios metalúrgicos en - que se basan los tratamientos térmicos son exactamente los mismos para los aceros de herramientas que para los aceros de construcción. Además, la forma de las piezas es más compleja cuando se trata de herramientas.

Los aceros de herramientas tienen un contenido más alto de - carbono y una mayor concentración de elementos de aleación; tienen contenidos de carbono superiores al 0.5% y hasta el 2%, y en cuanto a elementos de aleación pueden llegar al 30%. Por otra parte, el nivel de dureza exigido a un acero de herramientas es más alto.

En el tratamiento de los aceros de herramientas, se presentan en principio dos importantes dificultades: Las temperaturas de - temple, son en general más altas, pudiendo sobrepasar los 1,300°C para algunos tipos de aceros rápidos. Estas temperaturas elevadas son necesarias: 1) para conseguir la disolución de los carburos - aleados, y 2) para conseguir una alta dureza, ya sea después del temple o después del revenido.

La conductibilidad calorífica es, en general, más baja, dando lugar a diferentes grados de temperatura de unas partes a otras - de la pieza, con la consiguiente formación de tensiones, que, unidas a las fuertes tensiones originadas en las transformaciones estructurales, pueden crear con facilidad deformaciones, e incluso roturas en las piezas.

Otra dificultad, también importante, es el riesgo de alteraciones superficiales, principalmente decarburaciones, grandemente favorecidas por su composición química.

Estas dificultades, nos indican cuáles han de ser las precauciones que se deben tomar en el tratamiento térmico.

Como para todos los aceros, el ciclo térmico consiste en el calentamiento a una determinada temperatura, el mantenimiento más o menos prolongado a dicha temperatura y el posterior enfriamiento hasta temperatura ambiente. Los ciclos de tratamiento a que son sometidos los aceros de herramientas son: recocido, temple y revenido.

R E C O C I D O

El temple aumenta la dureza y fragilidad del acero, disminuyendo su maleabilidad y haciéndolo adquirir un estado de tensión interior muy especial; por eso es que para eliminar esto, el acero se somete al recocido, que consiste en calentarlo al rojo, debiendo conservarlo después en un lugar donde no haya corrientes de -- aire, y las piezas de acero así tratadas se recubren con aserrín, cisco de carbón o se colocan en cajas especiales y se dejan enfriar lentamente.

El objeto del recocido es darle al acero un carácter más suave para que pueda ser trabajado, haciendo desaparecer las desigualdades de las tensiones interiores, ya sea que haya adquirido éstas en su estado normal o por los efectos del temple.

El hecho de entregar forjado y martillado el acero observando en él un estado brillante y bruñido, quiere decir que ha adquirido cierta tensión que lo vuelve quebradizo; esto ocurre casi -- siempre cuando las piezas de hierro o acero han sido muy golpeadas.

Es necesario recocer las piezas para evitar una tensión demasiado fuerte ocasionada por una manipulación muy forzada a temperaturas bajas, martillando en frío de manera inconveniente, y para hacer desaparecer las desigualdades de contextura interior que fácilmente pueden producir una rotura en el temple.

Por lo tanto, hay que recocer bien sobre todo las piezas muy largas o de forma muy complicada. Para las piezas de acero de -- forma sencilla, se calientan con regularidad al rojo oscuro y se dejan enfriar al abrigo del aire.

Las piezas delicadas y expuestas a doblarse o romperse, pueden evitarse colocándolas en algún depósito debidamente cerrado, se llenan de rebaba de hierro no oxidado, se cierra el recipiente con arcilla para evitar la entrada del aire, y se pone al fuego -

moderado un tiempo suficiente para que la pieza que se trata de recocer llegue al rojo oscuro. La duración del recocido depende de las proporciones y tamaño de la pieza, pudiendo ser de 3 a 4 horas, y dejándolas, posteriormente, que se enfríen poco a poco.

Esta operación debe ejecutarse con sumo cuidado, a una temperatura al rojo cereza oscuro, procurando que este calentamiento sea en forma homogénea.

El calor que haya servido para forjar la pieza, nunca deberá utilizarse simultáneamente para templarla. La temperatura para templar una pieza debe ser siempre menor que la de forjado, salvo instrucciones especiales que indiquen lo contrario.

Los aceros muy duros y duros deben templarse al rojo cereza oscuro. Los aceros de dureza media, tenaces y duros, al rojo c<sup>o</sup> r<sup>o</sup>. Y los aceros tenaces y dulces, al rojo cereza claro.

## TEMPLE DEL ACERO

Se entiende por temple, la operación de calentamiento de un acero a temperatura de 50 a 60°C por encima de su punto crítico - de transformación, manteniendo durante un cierto espacio de tiempo a esta temperatura el acero, posteriormente es enfriado bruscamente a una velocidad superior a la crítica de temple para obtener por transformación una elevación de dureza.

Al enfriar el acero, éste adquiere una dureza superior a la de un lingote no templado, pierde su maleabilidad, pero en cambio se vuelve frágil; por eso es que para atenuar el temple y darle - el punto de dureza que en cada caso se necesite sin peligro de --romperse, se recuece ligeramente la parte templada sobre un fuego lento a una temperatura entre 200 y 300°C.

A la herramienta se le da una forma mediante una operación - de mecanizado; la cual debe realizarse con el máximo de precauciones, pues se pueden provocar alteraciones en el metal de la herramienta. En algunos casos, estas alteraciones son tan importantes, que de no ser eliminadas previamente, pueden comprometer seriamente el resultado del temple, originando deformaciones fuertes e incluso roturas en las piezas.

El tipo de acero a mecanizar, su composición química, estructura y dureza, tienen asimismo una influencia decisiva en el temple. Aceros con alto contenido de carbono y con gran cantidad de carburos de cromo, vanadio, wolframio, etc., hacen más difícil el templado de la pieza.

Como consecuencia, tanto por la deformación como por el calor generado en la operación de mecanizado, se producen en la pieza - importantes tensiones internas, que si no son liberadas, pueden - ser causa de deformaciones mayores e incluso colaboran en la rotura de las mismas.

Por lo tanto, es aconsejable, y en muchos casos imprescindible, el someter las piezas antes del temple a un tratamiento térmico de eliminación de tensiones, procediendo después a un mecanizado final, que dé la forma y dimensiones definitivas a la pieza antes de proceder al temple de la misma.

El tratamiento de eliminación de tensiones consiste en un calentamiento lento y prolongado a temperatura inferior al punto crítico, generalmente entre los 550 y 650°C, seguido de un enfriamiento lento en el horno. Esto devolverá a la pieza a su estado anterior a la operación de mecanizado.

Para que una herramienta tenga un alto rendimiento, es necesario someter a la misma a la operación de temple y revenido, con el fin de conseguir la estructura y dureza más adecuadas a su utilización.

El precalentamiento de las piezas consiste en realizar el ciclo de calentamiento en dos, tres y hasta cuatro etapas. Dado que la conductividad térmica del acero aumenta con la temperatura, si se calienta la pieza a temperatura ligeramente inferior a la crítica y se mantiene la pieza el tiempo suficiente para que toda la masa adquiera la misma temperatura, al final se tendrán dos puntos importantes logrados: primero, que el acero tiene una mayor conductividad térmica y, segundo, que el grado de temperatura entre la pieza y el punto de transformación es muy bajo.

En consecuencia, las tensiones originadas en el paso de la pieza por el punto crítico han disminuido extraordinariamente, y de igual modo los riesgos de rotura.

El ciclo de calentamiento depende además del tipo de acero, del tamaño y la forma de la pieza. Las piezas grandes exigen calentamiento más lento o más etapas de precalentamiento. Del mismo modo, las piezas con formas complicadas, con grandes diferencias de masas, o con partes propicias a la acumulación de tensiones, exigen calentamientos lentos, con precalentamientos en varias etapas.

Para asegurar el éxito en el tratamiento de las herramientas de acero, es preciso conocer:

- La influencia de los elementos de aleación sobre la velocidad crítica y penetración de temple;
- La velocidad de enfriamiento de los diversos fluidos de temple, como son el agua, aceites, baños de sales, lechos fluidizos, gases, aire, etc.

Los elementos de aleación disueltos en la austenita (el átomo de carbono insertado en el centro de la estructura cúbica de la pieza de acero, se desplaza por calentamiento progresivo hacia el centro de las caras del cubo, aumentando de tamaño) disminuyen la velocidad crítica de enfriamiento, y por consiguiente, refuerzan la penetración del temple y mejoran la templabilidad.

El aumento de penetración del temple de aceros es debido sobre todo a los elementos como el manganeso, cromo y molibdeno; en cambio, la influencia del níquel y del silicio es menos importante. Por lo tanto, cuantos más elementos de aleación tenga un acero, más profunda será su banda de templabilidad.

A la temperatura de temple, y en el caso concreto de aceros para herramientas, hay que tener presente que la estabilidad de la austenita tiene una notoria influencia sobre la templabilidad, que disminuye si los elementos de aleación no se hallan bien disueltos en la austenita, y esta anomalía puede provenir de un insuficiente tiempo de calentamiento del acero (incubación) o una baja temperatura en el calentamiento anterior al temple (solubilidad). Ambos fenómenos contribuyen a aumentar la velocidad crítica de temple y a disminuir su penetración.

Referente a la velocidad de enfriamiento, los medios de temple deben de disponer de una gran velocidad de enfriamiento en la primera fase de temple para salvar la curva correspondiente a la transformación propia del acero en cuestión. Esta zona crítica - (550-650°C) coincide con la fase 'ebullición' de muchos medios de enfriamiento; por consiguiente, para aumentar la actividad mojanante del fluido se debe disponer de una buena agitación del baño, que disminuye la velocidad crítica de temple.

También debe considerarse como muy importante la temperatura del fluido de temple; el agua por ejemplo, templará mejor cuanto más fría esté, en cambio, en el aceite de temple sucede a la inversa, sus mejores propiedades de templabilidad están a las temperaturas que las firmas fabricantes de productos químicos aconsejan. Este fenómeno se debe a que el aceite caliente tiene una viscosidad menor y las corrientes de convección propias del fluido, al afrontar el shock térmico, aumentan su velocidad, lo que equivale a reducir las fases de vapor y ebullición del aceite aumentando su poder mojante.

Para baños de temple de aceros bajos en carbono o débilmente aleados, donde la velocidad crítica de transformación es elevada, se emplea agua y sus soluciones acuosas.

En aceros para herramientas se emplea aceite o baños de sales, ya que en estos materiales la curva de transformación propia admite medios de temple menos severos.

Los aceites de temple y baños de sales en el período de transformación martensítica disponen de una curva de enfriamiento muy lenta, lo que favorece la transformación paulatina del acero, ocasionando la mínima distorsión dentro de la máxima transformación posible. La transformación martensítica ocurre cuando a temperatura de temple se enfría rápidamente el acero a velocidades de unos  $150^{\circ}\text{C}/\text{seg.}$ , el carbono situado en el centro de las caras del cubo no disponen del tiempo suficiente para desplazarse al centro del cubo, quedando el carbono en solución sólida, ocasionando una gran distorsión en la estructura cristalina. Este cataclismo que sufre el acero es el motivo de su aumento de dureza; y esta nueva estructura que se forma se denomina martensita y se presenta al microscopio en forma de agujas o lanzas muy características y perfectamente distinguibles.



## MODALIDADES DEL TEMPLE

Para determinar qué modalidad de temple es la más idónea, los aceros para herramientas se pueden clasificar en 6 grupos:

- 1.) Aceros no aleados para herramientas de temple al agua.
- 2.) Aceros aleados para herramientas de temple agua-aceite.
- 3.) Aceros aleados de herramientas sujetas a poca vaciación dimensional.
- 4.) Aceros aleados para herramientas resistentes al choque - para trabajo en frío.
- 5.) Aceros aleados para herramientas resistentes al choque - para trabajos en caliente.
- 6.) Aceros rápidos para herramientas de corte.

### 1.) ACEROS NO ALEADOS DE TEMPLE AL AGUA.

Están encuadrados en la industria según la responsabilidad del trabajo específico encomendado, y tienen una variancia -- del 0.70 al 1.35% de carbono.

Para templearlos, es preciso someterlos a un precalentamiento de unos 600°C para luego pasar a la temperatura de temple que estará sobre unos 780-800°C, donde se mantendrán por espacio de 5 - minutos por cada 10 milímetros de espesor. Se procede al temple - en agua a temperatura de unos 20°C, a la que se le añadirá cloruro sódico o sosa cáustica (más o menos 10%) para disminuir la fane de vapor y darle al acero una tonalidad de acabado más uniforme.

### 2.) ACEROS DE BAJA ALEACION PARA HERRAMIENTAS DE TEMPLE AGUA - ACEITE.

En esta clase de aceros, su principal elemento de aleación es el carbono ( de 0.95 a 1.45%), al que se le añaden pequeños porcentajes de manganeso (de 0.2 a 0.4%), cromo (de 0.3 a 1%), vanadio (de 0.4 a 1.2%) y en algunos casos tungsteno (de 1 a 3%).

La temperatura de temple de estos materiales abarca desde -- 790 a 800°C, y los tiempos de calentamiento son los mismos del acero al carbono, pero teniendo presente que las permanencias deben aumentar en un 50% a la regla de 5 minutos por cada 10 milímetros de espesor.

El enfriamiento se efectúa en agua. En el caso de los aceros para estampar, se temple únicamente la zona de trabajo, aprovechando el calor latente de la zona no tratada, y se efectúa el revenido y se concluye el enfriamiento en aceite.

### 3.) ACEROS ALEADOS SUJETOS A POCA VARIACION DIMENSIONAL.

Una de las condiciones que se exige a estos aceros es su estabilidad dimensional, debido al trabajo que deben desarrollar las herramientas construidas con ellos; y a diferencia de los anteriores, se les aumenta el porcentaje de cromo de 0.6 a 1.2%, y de manganeso de 0.5 a 2%, lo que motiva un descenso en la velocidad crítica de enfriamiento y permite obtener una elevada dureza con el temple al aceite.

Para el calentamiento de estos aceros, debe tomarse como norma que las permanencias a temperaturas de temple sean aproximadamente de 1 minuto por milímetro de espesor. Las temperaturas de temple varían en una extensa gama que va desde 800 a 990°C. Los aceros que se templean a una temperatura superior a los 900°C, necesitan dos precalentamientos y el temple se efectuará en aceite a temperatura de unos 50 a 70°C.

### 4.) ACEROS ALEADOS PARA HERRAMIENTAS RESISTENTES AL CHOQUE PARA TRABAJO EN FRIO.

Estos materiales sometidos a choques continuos para conformar en frío las más diversas piezas de estampación, troqueles, -- punzones, etc., disponen de una amplia gama de elementos de aleación para afrontar las exigencias solicitadas, equilibrándolas -- con una elevada tenacidad dentro de una dureza relativamente alta.

La composición química de estos aceros es comparable a los anteriores, con un incremento en el silicio (de 0.6 a 1.5%), que tiene como finalidad aumentar la resistencia a la fatiga, como sucede en los aceros para muelles. Por otro lado, para aumentar la tenacidad, se disminuye el porcentaje de carbono (0.35 a 0.61%).

Los restantes elementos de aleación son: el manganeso (de 0.60 a 1.50%), cromo (de 1.1 a 8.5%), vanadio (0.1 a 0.2%), volframio (1.2 a 2% no en todos los casos) y el molibdeno (es opcional).

Estos aceros se pueden templear al aceite, al aire, o temple directo en agua para los que tienen bajo porcentaje de carbono. El temple en aceite se hace a una temperatura de 50 a 70°C con agitación.

#### 5.) ACEROS ALEADOS PARA HERRAMIENTAS RESISTENTES AL CHOQUE PARA TRABAJO EN CALIENTE.

En estos aceros se persigue como finalidades esenciales:

- a) que la estructura de temple no se transforme bajo los efectos del calor, ya que naturalmente bajaría en forma espectacular la dureza. Por este motivo, estos aceros deben poseer una elevada resistencia al revenido;
- b) resistencia al roce, que sólo se consigue con el aumento de la dureza, el contenido en carburos y algún tratamiento termoquímico adicional;
- c) la menor sensibilidad posible a los cambios bruscos de temperaturas;
- d) resistencia al choque.

Los principales elementos de aleación que aportan estas propiedades son: cromo, molibdeno, tungsteno, cobalto. Los porcentajes altos de carbono mejoran la templeabilidad en los aceros para un trabajo normal, pero no para los materiales de trabajo en caliente.

Para estos aceros es muy importante controlar la temperatura de temple; las tolerancias son ajustadas y las plantas de tratamiento térmico deberán disponer de buenos pirómetros y comprobarlos con frecuencia.

Las permanencias a temperatura de temple (de 1,000 a 1,200°C) deben ser las precisas para obtener la solubilidad completa de -- los carburos que componen el acero; los tiempos serán de:

- a) 10 minutos por cada 10 milímetros de diámetro en hornos -- con baño de sales;
- b) 16 minutos por cada 10 milímetros de diámetro en horno de sufla.

En esta clase de materiales, (que de por sí son malos conductores del calor), deben hacerse dos precalentamientos lentos y -- completos, uno entre 550 y 600°C, seguido del segundo a 850°C, para pasar rápidamente a la temperatura de temple (que será la más baja posible) en baños de sales neutras con corrector, o en hornos de atmósfera neutra, para evitar tanto la carburación como la decarburación.

El temple se efectuará en aceite o al aire, según los casos: La pieza o herramienta se sacará caliente de los baños de aceite (100°C) para proceder rápidamente al revenido.

#### 6.) ACEROS RAPIDOS.

Para obtener un máximo rendimiento en el temple de estos aceros, es necesario tener una instalación adecuada y bien utilizada (con las herramientas necesarias) tanto en equipo de hornos -- como en pirómetros.

La temperatura de temple oscila entre los 1,180 y 1,320°C, -- según la composición del acero.

Las permanencias de las piezas de acero rápido a temperatura de temple deben considerarse de 8 a 9 segundos por milímetro de --

recepción en baños de sales, y de 12 a 14 segundos en hornos de calentamiento. Estos valores son válidos para piezas cuyo espesor o diámetro esté comprendido entre 10 y 50 milímetros.

El temple, generalmente, se efectúa en baños de sales, con una temperatura de 550 a 580°C, para seguir con un enfriamiento al aire.

### TIPOS DE TEMPLE EN LAS PIEZAS DE ACERO

**TEMPLE CONTINUO:** Se denomina temple continuo aquel cuyo enfriamiento es continuo en agua, aceite o aire. Todos los aceros de herramientas admiten este sistema de enfriamiento. La elección del fluido de temple estará de acuerdo con la clase de acero y los elementos de aleación que lo componen.

**TEMPLE DISCONTINUO O MARTEMPERING:** Es el clásico temple que se interrumpe antes de que la curva de enfriamiento rebase el punto MS para posteriormente ser enfriado al aire o en aceite a temperatura de 70 a 80°C.

Se emplea en aceros de herramientas al carbono o débilmente aleados. Se requiere una gran habilidad y un elevado grado de especialización para realizar este tratamiento.

**TEMPLE ISOTERMICO BAINITICO:** Todos los aceros pueden ser sometidos a este tipo de tratamiento, aunque las características mecánicas obtenidas, tanto de resistencia como de tenacidad, se observan a partir de aceros con porcentajes del 0.35 al 0.40% de carbono. Para su correcta aplicación, es necesario conocer las curvas de transformación de los aceros a tratar, así como los medios de enfriamiento correspondientes.

El temple bainítico se efectúa a temperaturas superiores a MS, comprendidas entre los 320 y 580°C, según la clase de acero: cuanto más aleado esté, mayor será la temperatura elegida.

La pieza debe permanecer a esta temperatura hasta su total - transformación, para posteriormente ser enfriada al aire tranquilo. Este tipo de temple es el único medio de enfriamiento que da una seguridad total y un éxito definitivo a la pieza, porque aparte - de mejorar las características de resistencia y tenacidad, aumenta con el temple continuo la resiliencia del acero, y esto es muy importante porque un 80 o 90% de las piezas de herramienta deben soportar esfuerzos de choque.

Al mismo tiempo, la deformación de los moldes, matrices, troqueles y demás herramientas, se reducen al mínimo con este tratamiento, y con la garantía de que se eliminan las grietas provocadas por el temple.

**TEMPLE POR INDUCCION:** Es un tratamiento térmico para endurecer superficialmente los aceros mediante una elevación local a la temperatura de austenización, para ser enfriado rápidamente. El endurecimiento superficial es debido a la formación de martensita.

La ventaja de este proceso es que conserva el núcleo frío, - es decir, rígido, limitando por consiguiente las deformaciones al mínimo. También, se puede regular a voluntad la banda y espesor del temple, y aparte de que este proceso es rápido, es muy adecuado para el trabajo en grandes series.

En el campo de los aceros para herramientas, el temple por inducción es cada día más usado por su elevada capacidad de producción, y por su constante regularidad en las características -- del tratamiento.

En el temple por inducción hay que tener presente:

- la máquina adecuada para el proceso;
- un inductor conveniente, según las zonas y el tipo de herramientas a tratar;
- utilizar el medio de enfriamiento correcto. Nunca se usará el temple en agua, ya que equivaldría a la presencia inmediata de grietas.

Los medios de enfriamiento que deben emplearse son:

- a) aceites sintéticos (polímeros) solubles en agua a concentraciones del 18 al 25%;
- b) aceites de temple a gran velocidad de enfriamiento.

Los tiempos de calentamiento son del orden de 0.1 a 20 segundos según el tipo de pieza de herramienta, con una potencia específica que oscila entre 1 y 4 kilowatts por centímetro cuadrado.

Aparte de las ventajas anteriormente mencionadas, en el temple por inducción se pueden añadir las siguientes:

- se cuenta con una instalación preparada, que puede servir en cualquier momento;
- Se trabaja con ausencia de medios tóxicos o explosivos;
- Existe la posibilidad de montar líneas automáticas en el proceso;
- El consumo de energía es limitado a la zona de calentamiento;
- Existe también la posibilidad de utilizar mano de obra -- menos especializada que en otros procesos de tratamientos térmicos.

## R E V E N I D O

El revenido es la operación final de todo tratamiento térmico. Sus problemas, aunque no tan complejos como los que pueda -- presentar el temple de las piezas, sí tienen una importancia que se debe tomar en cuenta, con el fin de culminar con éxito los distintos procesos por los cuales ha pasado la pieza o herramienta.

El revenido es, por tanto, la operación final del tratamiento térmico, su finalidad principal es suprimir las contracciones internas aparecidas en el temple y la unificación de dureza en la herramienta para poder ser empleada al fin concreto a que se destina.

Estas tensiones se reducen tanto más cuanto mayor sea la temperatura de revenido, y según el tiempo de permanencia. No se obtendrá los mismos rendimientos en una pieza en la que se efectúa un revenido a  $500^{\circ}\text{C}$  durante 15 minutos, que otra idéntica, pero con permanencia de 2 horas a la misma temperatura. Siempre se debe encontrar el valor mínimo, tanto de temperaturas como de tiempos, para conseguir con el revenido las mejores características mecánicas a que estará solicitada la pieza.

El calentamiento en el revenido tiene un doble efecto; el de acercarnos a un equilibrio físico-químico (ferrita + cementita) y el de atenuar o eliminar las contracciones internas (equilibrio mecánico) con disminución de la fragilidad.

La velocidad de enfriamiento en el revenido juega un papel importante en cuanto a la eliminación de tensiones residuales se refiere. Un enfriamiento, cuanto más lento, menores serán sus tensiones residuales de revenido. Si el enfriamiento es rápido, por ejemplo, un acero que a partir de  $550^{\circ}\text{C}$  se enfriara en agua, aparecerían nuevas tensiones térmicas.

En cambio, el enfriamiento al aire tranquilo disminuye las contracciones que provocan esfuerzos de comprensión, pues si se le diera un valor tensional de 1, al enfriarlo en aceite de temple adquiriría un valor 7 veces mayor, y con agua a  $20^{\circ}\text{C}$ , 10 veces mayor.



### FRAGILIDAD DE REVENIDO

El revenido de los aceros aleados, a diferencia de los aceros al carbono, puede ejercer una acción muy particular sobre la resiliencia y hacer disminuir considerablemente su valor. Esta disminución en la ductibilidad del material se denomina fragilidad de revenido. Existen dos tipos de fragilidad de revenido en los aceros aleados:

El primer tipo de fragilidad se observa entre 250 y 400°C. La disminución perceptible de la resiliencia se produce independientemente de la velocidad de enfriamiento. A este tipo de fragilidad se le conoce como 'irreversible'.

Para eliminar este tipo de fragilidad, es preciso calentar - por encima de 400°C con la consiguiente disminución de dureza. - El calentamiento ulterior de 250 a 400°C, no disminuye la resiliencia del material. Los revenidos entre 250 y 400°C confieren un límite elástico máximo elevando algo la ductilidad del material.

El segundo tipo de fragilidad se distingue por su carácter - 'reversible', una fragilidad que aparece en un enfriamiento lento efectuado después de un revenido a 500-650°C, o también por mantenimiento muy prolongados a temperaturas de 500 a 550°C. Estos tipos de aceros susceptibles a la fragilidad reversible no deben ser empleados para la fabricación de piezas donde el servicio les exija temperaturas de trabajo entre 500 y 600°C, ya que el material corre el peligro inminente de agrietarse. Este tipo de fragilidad puede disminuirse con un enfriamiento después del revenido en aceites. También puede corregirse por revenidos sucesivos y enfriamientos rápidos para culminar en uno definitivo a 500 ó 550°C.

### TEMPERATURAS DE REVENIDO

El efecto de temperatura en el revenido de los aceros juega un doble papel: a medida que ésta aumenta, disminuye la dureza y aumenta la tenacidad, girando todo naturalmente alrededor de los

porcentajes de carbono (elemento primordial), y de los demás elementos de aleación (secundarios).

Por lo general, en los aceros aleados de uso corriente, existe una zona de revenido comprendida entre temperaturas de 200 a 400°C.

Si en el material templado deseamos obtener una elevada dureza, lo que comporta una elevada resistencia al desgaste, se efectúa un revenido del acero a temperaturas de unos 200°C, con lo que después de la adecuada permanencia, se habrán eliminado prácticamente todas las tensiones residuales.

Si por el contrario, lo que se pretende es obtener una elevada tenacidad sacrificando algo de dureza, entonces se aplican temperaturas superiores a los 400°C.

#### TIEMPOS DE REVENIDO

Tanto la dureza, como el calentamiento de un acero templado, van interrelacionados con el factor de permanencia a la temperatura de revenido.

En los aceros, la mayor variación de dureza se presenta en el espacio de la primera hora de tratamiento; a temperaturas de revenido superiores a los 550°C, y al cabo de 10 segundos, se puede detectar un descenso notorio de dureza.

La temperatura de revenido es lo que condiciona la dureza del material; por lo tanto, en función de la dureza se fija la temperatura de tratamiento y la duración del revenido se fijará posteriormente partiendo de las dimensiones de las piezas a tratar.

Las permanencias se contarán a partir de que el material esté a la temperatura, o sea, una hora por cada 25 milímetros de espesor, más el tiempo establecido de tratamiento. En los aceros de alta aleación, este tiempo nunca será inferior a 2 horas.

## CLASES DE REVENIDO

Hay tres clases de revenidos;

- a)- Revenido a baja temperatura
- b)- Revenido en zonas intermedias
- c)- Revenido a alta temperatura

### a)- REVENIDO A BAJA TEMPERATURA.

Comprende calentamiento de 150 a 200°C. Este revenido - disminuye las contracciones internas, transforma la austenita residual provocada por el temple y transforma la martensita tetragonal en cúbica.

Esta clase de revenidos a baja temperatura solamente son aplicables a ciertas herramientas de corte no usadas para realizar esfuerzos alternativos. Su gran campo de aplicación está en instrumentos de medición, calibres, etc.

En esta modalidad de revenido, y en general todos los aceros aleados para herramientas, nunca deben tener una permanencia inferior a 2 horas. No se trata aquí ya de espesores, de conductibilidad térmica, de superficies más o menos reflectantes, etc.; se trata de transformaciones y las transformaciones de cualquier espesor requieren sobre todo 'tiempo'. En el caso de los aceros de herramientas para instrumentos de medida, es aconsejable efectuar un par de revenidos y con permanencias de 3 a 4 horas, seguido de un enfriamiento lo más lento posible. Incluso en piezas de gran precisión, es bueno aplicar este tratamiento, de lo contrario, con el tiempo tendremos variaciones dimensionales, y por lo tanto, el instrumento de medida o calibre quedará inutilizado.

### b)- REVENIDO EN ZONAS INTERMEDIAS.

Son los revenidos efectuados a temperaturas de 350 a 500°C. Son muy empleados en aceros de muelles que precisan de un límite elástico máximo para obtener al mismo tiempo una máxima ductibilidad.

c)- REVENIDO A ALTA TEMPERATURA.

Se efectúa entre 550 y 650°C. El revenido a alta temperatura suprime completamente las tensiones internas aparecidas en el temple, aumentando considerablemente su resiliencia.

El revenido debe realizarse inmediatamente después del temple para eliminar las tensiones internas y evitar una estabilización - temporal de la austenita residual.

Son muchos los casos de moldes y matrices que, después de ser tratados correctamente sin un solo defecto detectable, se dejan -- para revenir al día siguiente, y entonces se da uno cuenta de que la pieza está agrietada, motivada por las contracciones internas - del material, al existir transformaciones de tipo secundario.

Por lo tanto, en aceros de herramientas, es conveniente revenir inmediatamente después del temple, y mejor si la pieza está todavía algo caliente (entre 60 y 80°C), para evitar con esto posibles defectos a veces no detectables, tales como grietas, fisuras, roturas, etc. que pueden aparecer después.

La acción del revenido en los aceros rápidos precisa de varias operaciones parciales y continuas, de calentamiento y enfriamiento.

A medida que la temperatura se eleva, la dureza disminuye por la transformación de la matriz martensítica. Pero hay un efecto - contrario que tiende a aumentar la dureza del acero y que se hace sentir al mismo tiempo, debido a la separación de carburos submicroscópicos que condicionan la transformación de la austenita en - martensita, lo que no tiene lugar hasta llegar a cierta temperatura.

Hay que resaltar que un revenido prolongado no reduce notablemente la transformación de la austenita residual; es preferible - efectuar dos o tres revenidos con enfriamientos a temperaturas ambiente.

**EN RESUMEN:**

Generalmente, la duración del calentamiento en el revenido es casi al límite de permanencia, considerando como factor esencial - su temperatura, que varía entre 400 y 450°C, según el uso a que se destine la pieza de acero, excepto en aceros especiales para herramientas, en donde lo que interesa es mantener la misma dureza de temple efectuándose entonces un revenido entre 150 y 250°C con el solo fin de destruir las tensiones del material.

En los aceros para herramientas interesa obtener la máxima dureza en el tratamiento con un temple lo más enérgico posible, para ajustar posteriormente la dureza en el revenido y que sea a la temperatura lo más alta posible.

No se obtendría el mismo resultado si se parte de un temple suave, seguido de un revenido a baja temperatura para conseguir -- una misma dureza; pues el rendimiento será muy inferior.

Se debe tener en cuenta para cualquier acero que, a igualdad de dureza final, la resiliencia óptima será la obtenida partiendo de un estado inicial de temple de máxima dureza, seguido del correspondiente revenido.

En aceros de alta aleación, conviene efectuar un tercer revenido para conseguir una máxima transformación con una uniformidad total de dureza y ausencia de tensiones, lo que garantiza una elevada característica de la pieza.

LAS DEFORMACIONES DE LAS HERRAMIENTAS EN  
LOS TRATAMIENTOS TERMICOS

Después de un tratamiento de temple y de revenido, el cual se aplica normalmente a las herramientas, se pueden notar variaciones de medidas en las tres dimensiones y deformaciones frente al diseño original de la pieza.

Para reducir a un mínimo estas deformaciones, las principales razones de variaciones de medidas y de distorsión son las tensiones térmicas debidas al mero hecho de calentar y enfriar la pieza, y - la variación de volumen debida a las transformaciones estructurales.

Estas tensiones y variaciones de volumen pueden resultar más o menos grandes en relación con las modalidades prácticas del tratamiento térmico, dependiendo en forma especial de tres grupos de factores:

- 1) la velocidad de calentamiento, de enfriamiento y el salto térmico al cual se obliga la pieza en el tratamiento.
- 2) la composición química del acero, su templabilidad, el tamaño del grano austenítico y el historial del acero precedente al tratamiento térmico.
- 3) la forma geométrica y el sentido de laminación.

Las tensiones térmicas dependen de la diferencia de velocidad de calentamiento y de enfriamiento de los cantos y de las partes delgadas frente a los centros de las caras y las partes más espesas. Estas tensiones se traducen en variaciones de medidas y en distorsiones.

Mientras que es posible medir la variación global de volumen debida a los tratamientos térmicos, no es tan fácil tener una indicación de las deformaciones debidas solamente a la transformación estructural, ya que tensiones térmicas y variaciones de volumen -- van necesariamente juntas al tratar la pieza.

De todas formas, las tensiones térmicas y la variación de volumen están en relación con la temperatura de austenización y con el medio de enfriamiento. Un sobrecalentamiento influye doblemente en aumentar las deformaciones de la pieza tratada, y por lo tanto, un sobrecalentamiento, aunque sea ligero, puede causar deformaciones apreciablemente mayores de lo normal.

Como se mencionó anteriormente, conjuntamente con la temperatura de austenización y con el medio de enfriamiento influyen sobre la variación de volumen la composición del acero, su templabilidad, el tamaño del grano austenítico y, en general, el historial metalúrgico de la pieza.

La relación entre templabilidad y tamaño del grano austenítico es sobre todo con los aceros de relativamente baja templabilidad, en donde hay que cuidar que el grano no resulte demasiado fino, ya que un grano grueso reduce la tenacidad. El grano ideal es entre 6 y 7 en la escala A.S.T.M.

Por lo tanto, es más fácil tener un remedio en caso de baja templabilidad, ya que si se constata que la pieza no da la dureza normal, con un normalizado un poco alto o con un recocido subcrítico muy largo es posible obtener, con el temple sucesivo, las durezas deseadas.

Sobre la forma y las dimensiones de las piezas, es posible influir sólo al proyectar las herramientas.

El diseñador de las piezas tiene que tener en cuenta que la forma de la pieza influye mucho sobre las deformaciones (un cilindro largo reacciona al temple de una forma diferente de un cilindro corto, lo mismo que una placa gruesa y una delgada).

El diseñador que proyecta la pieza, tendrá además que indicar en su plano cuál tiene que ser el sentido de laminación, ya que la orientación de las fibras tiene mucha importancia frente a las variaciones dimensionales.

Para reducir al mínimo las deformaciones, se tienen varios -- medios; entre ellos los ciclos de tratamiento:

El medio de enfriamiento tiene que ser lo más suave posible. Agua, aceite y aire son los medios normales de enfriamiento continuo.

El aire es el más suave y, por lo tanto, sirve para piezas de aceros de muy alta aleación y para piezas delgadas de menor aleación; con este medio, el enfriamiento y las transformaciones son lentas y graduales y por eso dan lugar a deformaciones pequeñas.

El aceite es un medio más enérgico que el aire y puede servir para el temple de los aceros normales indeformables. Tiene sin embargo, la desventaja de producir vapores en contacto con la pieza a altas temperaturas. En consecuencia, enfriará lentamente en la zona de la nariz de la perlitita y mucho más enérgicamente en la zona de la transformación martensítica. De la misma manera, pero -- más drásticamente, opera el agua.

Para reducir las deformaciones pueden usarse también ciclos de doble salto de temperatura, sobre todo con aceros como los rápidos o de alto contenido de cromo, en donde hay que subir la temperatura de austenización para disolver los carburos. Por ejemplo, -- una pieza de acero austenizada a  $1,000^{\circ}\text{C}$ , puede pasar por un baño a  $800^{\circ}\text{C}$  antes del enfriamiento final a  $450^{\circ}\text{C}$ .

Más práctico y fácil, resulta otro artificio de temple que suele dar resultados muy buenos y que consiste en dejar enfriar parcialmente la pieza al aire, para que la temperatura de las partes más delgadas baje más que la de las partes espesas antes del enfriamiento final para el temple. Con esto se tiene una notable reducción de tensiones (deformaciones), ya que las partes más delgadas, que naturalmente se enfrían más rápidamente, empiezan el enfriamiento de temple desde temperatura más baja.

Por su parte, los ciclos de temple escalonado, donde se emplean baños de sales de baja temperatura de fusión, permiten enderezar -- piezas eventualmente torcidas en el tratamiento, dejándolas enfriar bajo presión después de sacarlas del baño de sales.



Con esto, es posible corregir con facilidad algunos tipos de defectos, lo que con un enfriamiento completo resultaría mucho más complicado o, a veces, imposible.

También el calentamiento requiere mucho cuidado para evitar deformaciones, especialmente en algunos tipos de aceros. El tratamiento de herramientas indeformables necesita hornos que puedan calentar las piezas sin oxidación o decarburación y con garantía de precisión y uniformidad de temperatura; ya que, como se vio anteriormente, un sobrecalentamiento produce siempre deformaciones mayores que las normales.

Resumiendo, los aceros de herramientas deben poseer unas características básicas bien definidas en cuanto se refiere a su empleo como son:

- dureza (en frío o caliente);
- tenacidad;
- resistencia al desgaste;
- resistencia a los choques térmicos;
- resistencia al revenido y
- maquinabilidad

Y otras igualmente importantes en lo que se refiere al tratamiento térmico como son:

- templabilidad;
- indeformabilidad;
- seguridad frente al peligro de aparición de grietas y
- resistencia a la decarburación.

Las exigencias son tantas como tipos de trabajo y a realizarse con las herramientas, y puesto que todas no van a ser satisfechas al mismo tiempo, hay que elegir bien el tipo de acero, modificar el diseño si es necesario, y realizar el tratamiento más conveniente.

Una vez determinados los procesos por los que pasa una pieza de acero para su forjado, como son: selección, estampado, recocido, temple, revenido, etc., procederé a describir la organización y funcionamiento de una de las Plantas de Forja de Precisión que existen en México: FORJAMEX, S.A. de C.V.

FORJAMEX, S. A. de C. V.

FORJAMEX, S.A. de C.V. quedó constituida el día 7 de marzo de 1975 como resultado de un estudio realizado por Nacional Financiera, S.A. en la República Mexicana.

Este estudio arrojó como resultado que en la Industria Terminal Automotriz y en la de Autopartes, era necesario proveerlas de:

1) piezas de forja ligera y de alto volúmen para: cigüeñales, bielas, brazos, crucetas, mangos, blancos de engranes, etc.

2) piezas de forja de peso para: ejes, muñones, y cigüeñales los cuales se estaban importando de Estados Unidos de Norteamérica y algunos países de Europa, evitando de esta manera la fuga de divisas del país.

La Sociedad quedó establecida por: Nacional Financiera, S.A. como accionista mayoritario; y como socios: La Sociedad Mexicana de Crédito Industrial, S.A. (SOMEX); Gerlach Werke, de Alemania - Federal; y Krupp Metalúrgica Campo Limpo, de Brasil. Posteriormente, el inversionista brasileño puso en venta sus acciones, las cuales fueron adquiridas por Nacional Financiera, S.A.

Una vez formado el capital inicial de Forjamex, se procedió a buscar la ubicación de las instalaciones de la misma, encontrándose con la problemática de la situación geográfica, el poder económico del Estado, el grado de industrialización y el porcentaje de desempleo.

Se proyectó establecerla en el norte del país, pero éste se encontraba ya industrializado, con un poder económico sólido pues cuenta con industrias, agricultura y ganadería por lo que el porcentaje de desempleo es muy bajo.

En consecuencia, se llegó a la conclusión de que el Estado - idóneo para las instalaciones de la Planta de Forjamex, era el --

Estado de Tlaxcala, siendo éste el más pequeño de la República, el más necesitado económicamente y uno de los menos industrializados pues sólo contaba con su baja producción agrícola y sus artesanías; por consiguiente, su porcentaje de desempleo era muy alto y esto ocasionaba que la gente en edad productiva emigrara a otros estados donde la situación era diferente.

Debido a esto, el Gobierno del Estado de Tlaxcala, con la -- ayuda del Gobierno Federal, dió estímulos para la creación de un Corredor Industrial situado en la zona comprendida entre Apizaco y Huamantla.

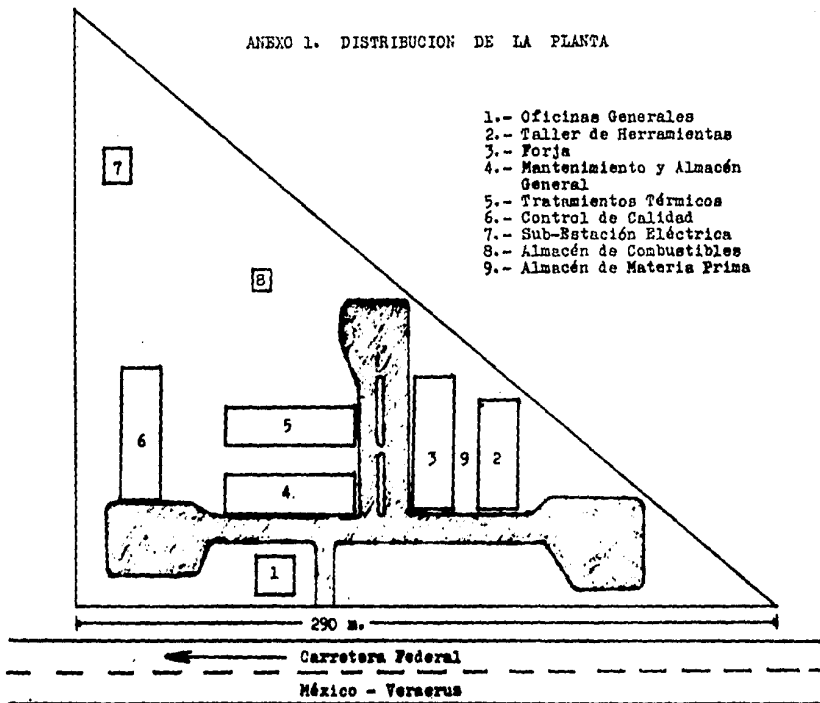
Forjanex dispone de terreno propio, con una superficie total de 79,000 m<sup>2</sup>; con frente de 290 metros a la carretera federal México-Veracruz, y fondo a la vía del Ferrocarril. Cuenta a su vez con una superficie cubierta de 10,343 m<sup>2</sup>, que comprende tanto el área de oficinas como las áreas productivas; 1,500 m<sup>2</sup> de almacenes cubiertos para producto terminado y 430 m<sup>2</sup> de almacén a cielo -- abierto donde se encuentra una grúa viajera para el movimiento de la materia prima. (ver Anexo 1).

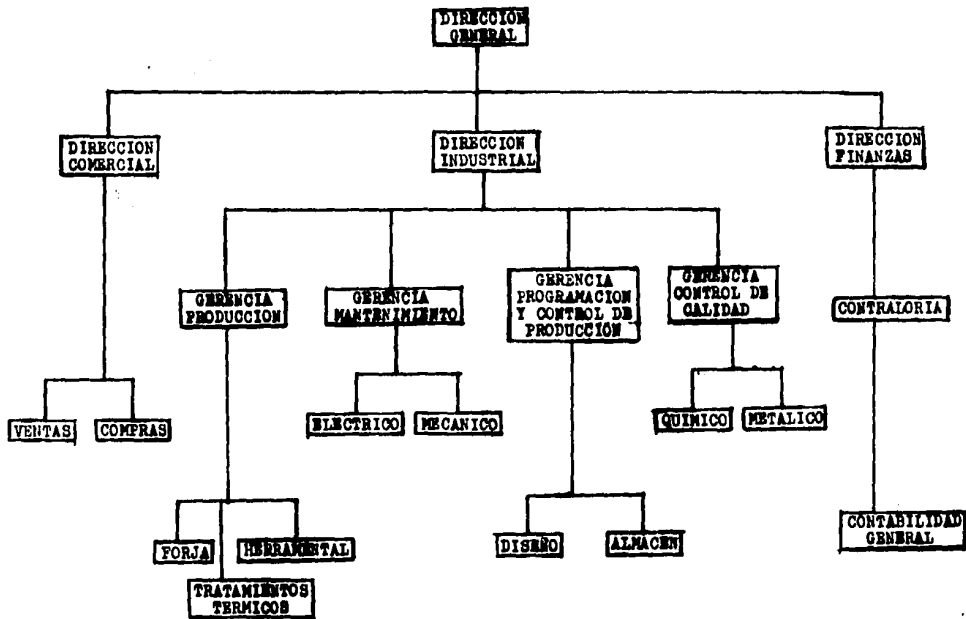
Se contaba ya con el capital, se tenía el terreno y se empezaba la construcción de la Planta; se empezó a contratar al personal el cual será enviado a Alemania para capacitación durante un año y medio. Se tenía la facilidad de que uno de los socios era el que vendería el equipo, y éste en su país de origen ya contaba con el equipo en funcionamiento. Al regreso del personal enviado, se encontraba la planta ya construída y se empezaba a recibir el equipo que era todo nuevo y venía acompañado por técnicos alemanes quienes asesorarían la instalación y puesta en marcha de dicho equipo.

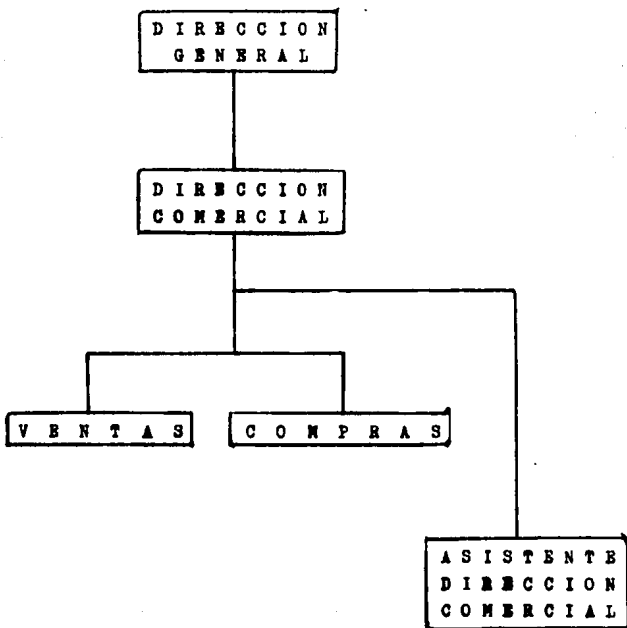
A continuación se procederá a describir la organización y funcionamiento de dicha empresa.

ANEXO 1. DISTRIBUCION DE LA PLANTA

- 1.- Oficinas Generales
- 2.- Taller de Herramientas
- 3.- Forja
- 4.- Mantenimiento y Almacén General
- 5.- Tratamientos Térmicos
- 6.- Control de Calidad
- 7.- Sub-Estación Eléctrica
- 8.- Almacén de Combustibles
- 9.- Almacén de Materia Prima







DIRECCION COMERCIAL

La Dirección Comercial la considero la más importante de las Direcciones en la Empresa, ya que tiene que mantener a los clientes por medio de su Departamento de Ventas; y desarrollar proveedores por medio de su Departamento de Compras.

DEPARTAMENTO DE VENTAS:

Tiene como funciones: Mantener la Cartera de Clientes y buscar nuevos mercados; al tener un prospecto, se le piden diseños y especificaciones de la pieza que se quiere fabricar y si es posible una muestra, todo esto se envía a la Planta para discutir con ellos su manufactura; se elabora la cotización con el precio de la pieza, cantidad mínima a pedir, condiciones de pago y tiempo de entrega de el o los lotes fabricados; y ya teniendo el pedido, se hace la programación de producción.

También se invita al cliente a realizar una visita a las instalaciones de la Planta con un recorrido previamente definido, — por los diferentes procesos con los cuales se fabricará su pieza.

DEPARTAMENTO DE COMPRAS:

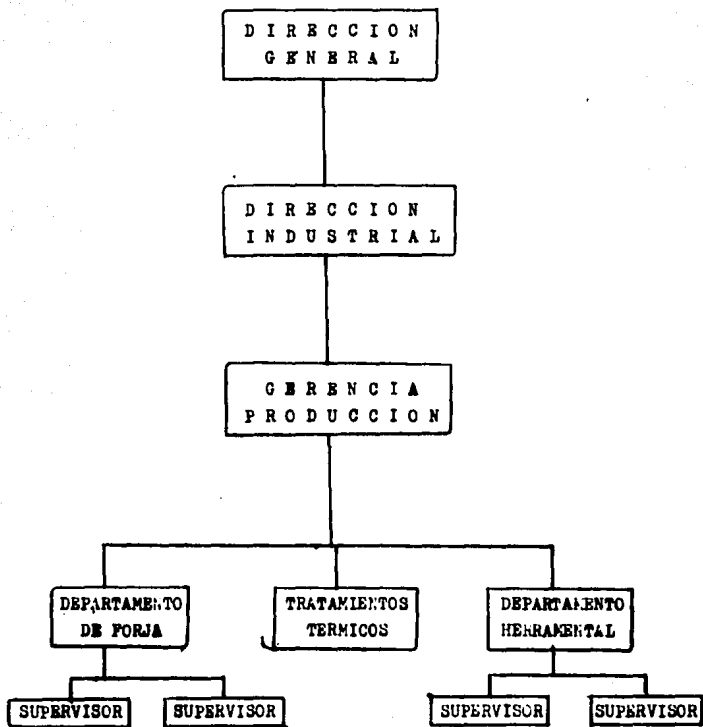
Este departamento trata de mantener estables los precios de los proveedores para poder sostener los costos a los clientes, se encarga también del desarrollo de proveedores de cualquier tipo de material que se ofrezca; recibe las cotizaciones por parte de los representantes de ventas; elabora los cuadros comparativos — correspondientes, hace un análisis de cada una de ellas y toma una decisión; se elabora una orden de compra y la hace llegar al proveedor (no importando el conducto por el cual lo reciba).

El encargado de compras, deberá llevar un control de pedidos colocados, pedidos en proceso, y pedidos entregados; de los que — están en proceso, debe vigilar el tiempo de entrega para que se — haga en el estipulado y para no incurrir en demoras y retrasos de los programas de producción.

ASISTENTE DE LA DIRECCION COMERCIAL:

El Asistente de la Dirección Comercial da apoyo tanto al Departamento de Ventas como al de Compras en cualquiera de sus funciones, y sin descuidar las propias como el cálculo de cotizaciones, reportes de consumos de acero, piezas producidas, recorridos en las visitas de los clientes, busca nuevos clientes, y está en contacto continuo con la Gerencia de Control de Producción para la elaboración de los reportes; y con la Gerencia de Control de Calidad para el envío de las muestras a sus respectivos clientes para su aprobación.





DIRRECCION INDUSTRIAL

La Dirección Industrial tiene a su cargo todas las áreas productivas de la Planta, la aprobación de los programas de producción y la verificación de los mismos hasta su fin.

Está integrada por las siguientes Gerencias:

- 1) Gerencia de Producción
- 2) Gerencia de Mantenimiento
- 3) Gerencia de Programación y Control
- 4) Gerencia de Control de Calidad.

1) GERENCIA DE PRODUCCION:

Las funciones de Producción es la preparación de los modelos, herramentales, etc. ; perseguir los diseños con las especificaciones; correr las pruebas; enviarlas para su aprobación y cumplir con el programa de producción previamente autorizado.

Los departamentos que tiene bajo su responsabilidad son:

- a) Departamento de Forja
- b) Taller de Herramental
- c) Tratamientos Térmicos.

A continuación describiré las principales funciones y características generales de cada departamento.

DEPARTAMENTO DE FORJA.

Forjamex cuenta con uno de los equipos más modernos de forja del país, la tecnología es la de la empresa Gerlach Werke de Alemania Federal.

El Departamento de Forja cuenta con la siguiente maquinaria:

- 1.- Una cizalla automática

- 2.- Tres hornos de inducción
- 3.- Una maxiprensa de 1250 toneladas
- 4.- Una maxiprensa de 2000 toneladas
- 5.- Una maxiprensa de 3150 toneladas
- 6.- Dos roladoras manuales
- 7.- Una roladora automática
- 8.- Dos prensas de 125 toneladas
- 9.- Una prensa de 200 toneladas
- 10.- Una prensa hidráulica de 25 toneladas
- 11.- Un martillo de 16,000 libras
- 12.- Un horno rotatorio de gas
- 13.- Dos prensas de 100 toneladas
- 14.- Un riel elevado.

El personal que trabaja en la Planta, está capacitado para operar adecuadamente cualquiera de estos equipos, y la herramienta que se utiliza en la forja es fabricada según las necesidades de cada una de ellas.

La maxiprensa más pequeña tiene una potencia de 1250 toneladas, y como equipo auxiliar tiene una prensa de mucho menor capacidad en donde se hacen los trabajos de punzonado, desbarbado, calibrado y una roladora manual.

La maxiprensa mediana tiene una potencia de 2000 toneladas, y como equipo auxiliar cuenta con una prensa de preformado, una de desbarbado y una roladora manual.

La maxiprensa más grande tiene una potencia de 3150 toneladas, y como equipo auxiliar cuenta también con una prensa para preformado, una para desbarbado y calibrado, una para punzonado y una roladora automática.

Cada maxiprensa tiene su horno de inducción que las alimenta de materia prima (acero); estos hornos a su vez son alimentados manualmente y el resto del proceso es automático; tienen un pirómetro óptico ajustable a diferentes temperaturas, y cuando alguno

de los tochos no alcanza la temperatura fijada, el horno automáticamente desecha ese tocho, porque si alguno de estos llegara a pasar sin haber llegado a la temperatura ideal, esto podría ocasionar la fractura de los dados o algún desperfecto no sólo en la roladora sino en la maxiprensa inclusive. Si llegara a ocurrir, se tendría que parar la fabricación de esa pieza, mandar reparar el herramental y obviamente se retrasaría tanto el programa de producción como el tiempo de entrega.

El funcionamiento de la roladora automática es muy especial y digno de mencionarse, pues todos los pasos de rolado los hace ella sola, sin tener ningún contacto con herramienta manejada manualmente por un operador. Cuando el tocho sale del horno con la temperatura adecuada, éste se desliza hasta un dispositivo que lo toma, gira y lo entrega a un brazo el cual le da los pasos de rolado necesarios y lo suelta en una banda que llevará la pieza hasta la prensa para que se siga con el proceso de fabricación.

Cada pieza por lo regular lleva 5 dados en los que se hacen los herramentales necesarios que son: rolado, preformado, preforjado, forjado final, desbarbado, calibrado y punzonado si lo requiere la pieza.

Las tres maxiprensas tienen cada una de ellas unos tableros electrónicos a través de los cuales llevan un control estricto en cuanto a la temperatura del lubricante y de los puntos críticos, así como la potencia usada por la máquina en cada uno de los golpes que da. Periódicamente se hacen lecturas de estos datos y se registran en una bitácora de control; en cuanto en alguna de ellas se vea alguna anomalía, se detiene el proceso y se revisa cuál es el problema.

El martillo de 16.000 libras fue adquirido también en Alemania, éste no era nuevo como todo el equipo mencionado anteriormente, sino que se le tuvieron que hacer algunas modificaciones para adecuarlo a las necesidades y al lugar que ocupa actualmente; éste

también tiene su equipo auxiliar que consiste en un horno rotatorio de gas, prensas para punzonado y un riel elevado para el movimiento de las piezas debido a que éstas son grandes y pesadas como son los ejes delanteros y blanks de engranes de dimensiones -- considerables.

La nave de forja tiene también una cizalla automática de alimentación manual que corta las barras de acero en tochos a la medida necesaria para luego entrar en los hornos de inducción y después a las prensas.

#### TALLER DE HERRAMENTAL.

El taller de herramientas cuenta con la siguiente maquinaria:

- 1.- Una fresadora copiadora
- 2.- Una máquina de electroerosión
- 3.- Dos tornos automáticos

El personal que lo integra está formado por: dibujantes, matriceros, torneros, mecánicos, ajustadores y operadores de máquinas.

Los pasos que sigue una pieza en el taller herramental son:

Primero, los dibujantes proyectan la pieza directamente en el papel incluyendo las tolerancias que debe tener y todo el proceso que deberá seguir dicha pieza durante su producción; una vez terminados los diseños, se envían al cliente para su aprobación.

Con los planos aprobados, se entrega una parte de los diseños a los matriceros para que éstos hagan la matriz en pasta; se verifican las medidas exactas y si están correctas, se pasan los modelos a la fresadora copiadora en la cual se colocan uno o dos blocks de grafito dependiendo de la magnitud de la pieza, esta máquina trabaja automáticamente, y al terminar los modelos de grafito, se vuelven a verificar las medidas, y posteriormente se colocan en la máquina de electroerosión en donde también se pone un block de acero especial que es donde se grabará la pieza finalmente; una vez realizada la grabación, se checan las medidas nuevamente, si son correctas, se envía el dado a herramental a Forja -

donde lo colocarán en las prensas y se correrán las primeras pruebas. Si las dimensiones no son correctas o no son aprobadas, el herramental se pasa a los ajustadores quienes se encargarán de corregir las medidas que no lo están bien porque están pasadas o les falta tolerancia.

Cuando la medida es mayor de lo diseñado, esa parte se rellena con soldadura y se va esmerilando hasta llegar a la medida exacta; cuando la dimensión es menor de lo tolerado, lo único que hay que hacer es esmerilar la pieza hasta que entre dentro de la tolerancia.

Cada herramental soporta hasta 5 reimpresiones, aunque sólo se utiliza el dado hasta la tercera reimpresión ya que las dos restantes no son nada confiables porque al sufrir algún daño el herramental por la fatiga, éste puede causar desperfectos de consideración a las prensas.

En las pruebas que se realizan a los herramentales se chequea:

1) la fluidez del material en el dado y la cantidad de rebaba de acero con respecto a la pieza que se está fabricando.

2) Al sacar las primeras piezas de las pruebas, éstas se envían al cliente para que cheque su producto en cuanto al tipo de acero que se va a usar, las dimensiones, la dureza, etc. y demás especificaciones que exige.

3) Al ser aprobadas las pruebas, se inicia la producción en serie de la pieza; y si llegara a suceder el caso en que no se apruebe la muestra, se le pide al cliente regrese la pieza acompañada de un reporte en el que justifique su desacuerdo, al recibir las piezas en la Planta, se procede a revisar cada paso desde el inicio hasta el final para detectar la falla y poder corregirla.

4) Cada pieza a fabricar requiere de por lo menos 5 herramentales diferentes, dependiendo de la dificultad de la pieza y el proceso que vaya a seguir para su producción; se programa el número de piezas a fabricar con esa impresión en el dado para que se produzcan y regrese al taller para su reparación si es necesaria y quede listo para la siguiente corrida de esa pieza.

## TRATAMIENTOS TERMICOS

En el departamento de tratamientos térmicos, se cuenta con dos hornos de gas automáticos de hogar cerrado, el primero es de temple y el segundo de revenido.

### HORNO DE TEMPLE:

Como se dijo anteriormente, el horno de temple es automático, pero se alimenta manualmente. Tiene un tablero en el cual se ve el proceso que se está siguiendo en las piezas que se van a templar.

Las piezas se colocan en unas charolas antes de que entren al horno, con el fin de facilitar su movilización dentro del mismo; el horno abre automáticamente sus compuertas (una de cada lado) para meter por una puerta las piezas que se van a templar, y por la otra sacar, al mismo tiempo, las ya templadas.

En el momento en que sale la charola del horno, ésta se desliza hasta un dispositivo y las piezas caen a una banda que las transporta a una parrilla la cual se sumerge en aceite para temple. Este aceite, debe estar en constante circulación y a una temperatura de 60°C, donde las piezas deberán permanecer unos segundos a fin de poder lograr un temple adecuado.

Habiéndose completado el temple, dos brazos toman la charola de las piezas (vacía) y la lleva otra vez a la entrada del horno en donde se colocarán nuevas piezas y así reiniciar el ciclo.

La temperatura del horno debe estar de acuerdo con el temple que se está realizando, o sea, al entrar las piezas en el horno, -- toman una temperatura determinada, y conforme van avanzando dentro del horno, la temperatura aumenta hasta llegar a un máximo que se encuentra aproximadamente al centro del horno, y después ésta empieza a decrecer hasta llegar a un mínimo previo a la salida de la charola del horno para continuar con el proceso. Con el temple, la pieza adquiere mucha dureza pero también mucha fragilidad.

## HORNO DE REVENIDO:

En el horno de revenido, se sigue el mismo proceso que en el de temple. También tiene un tablero en donde se controlan todos los pasos del proceso.

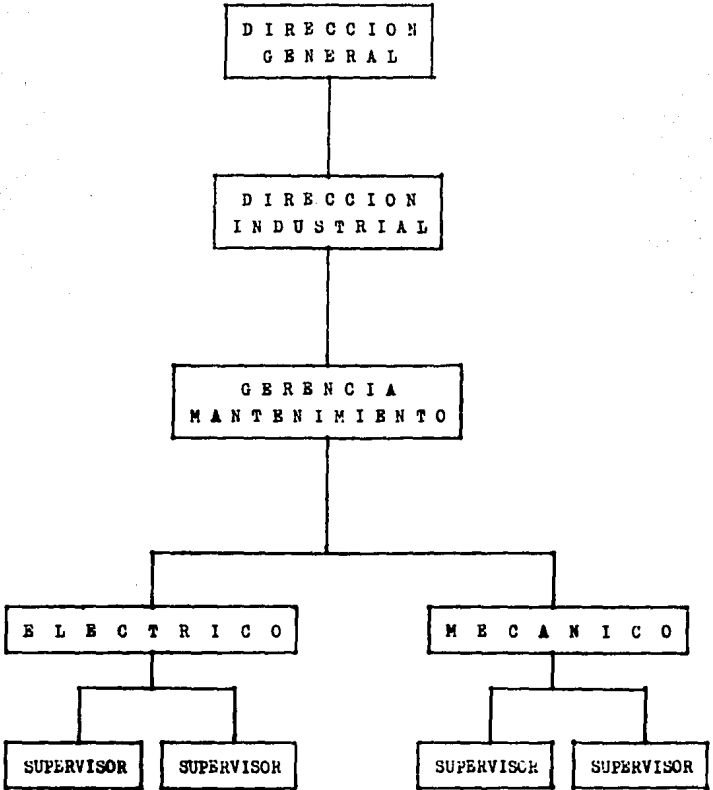
Se alimenta manualmente poniendo las piezas en charolas, las cuales entran al horno, y al salir, se colocan en contenedores especiales donde se dejan enfriar al aire poco a poco.

Al igual que en el horno de temple, la temperatura está baja al entrar la pieza al horno, posteriormente, va subiendo poco a poco hasta llegar a una temperatura máxima y cuando la pieza va a salir, la temperatura empieza a disminuir.

Con este procedimiento, se le quita dureza a la pieza, pierde su fragilidad, y en cambio adquiere mucha elasticidad.

Después de pasar la pieza por tratamientos térmicos, pasa a Control de Calidad para verificar que cumpla con todos los requisitos y especificaciones del cliente.





## 2) GERENCIA DE MANTENIMIENTO:

Es un departamento de mucha responsabilidad, ya que tiene que mantener toda la maquinaria y hornos en buenas condiciones para que se puedan cumplir los programas de producción, aparte de hacer ellos sus propios programas.

Los departamentos que tiene a su cargo son:

- a) Mantenimiento Eléctrico y
- b) Mantenimiento Mecánico.

### MANTENIMIENTO ELECTRICO.

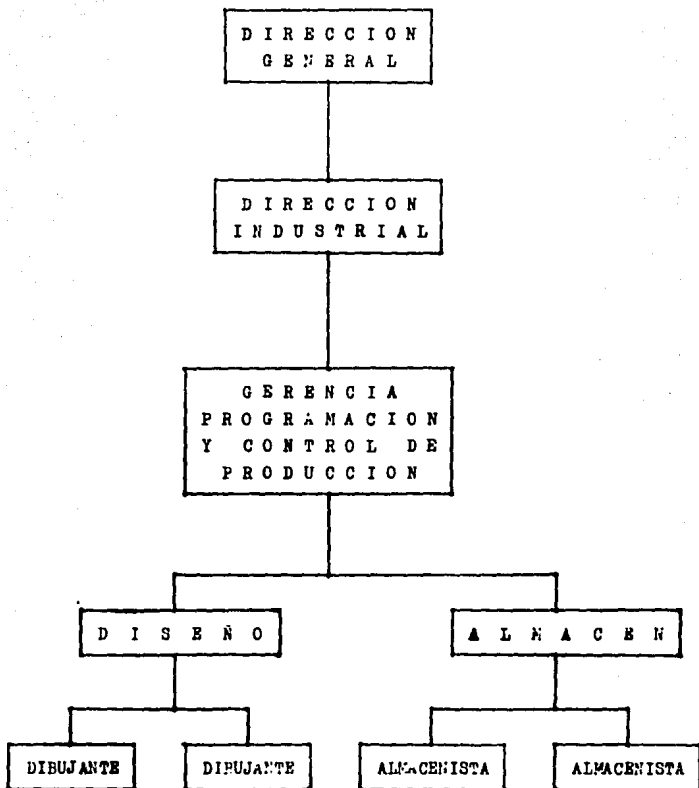
Este departamento, como su nombre lo indica, se dedica a hacer los programas de mantenimiento preventivo de todos los circuitos -- eléctricos y electrónicos que existan en la planta; se mencionan -- electrónicos ya que cada una de las maxiprensas cuenta con un tablero en el cual se registran temperaturas y potencia ocupada de la máquina, también se encuentran entre los sistemas electrónicos el tablero de tratamientos térmicos para el horno de temple y el de revnido que son automáticos casi en su totalidad.

También se encuentran entre sus funciones todo el mantenimiento correctivo de la planta, así como la instalación del cableado eléctrico de áreas nuevas o ampliaciones.

### MANTENIMIENTO MECANICO.

Este departamento debe contar con los programas de mantenimiento preventivo y correctivo de todas las máquinas, equipo mecánico y vehículos de la empresa como son: montacargas, y automóviles al servicio de los funcionarios.

Estos dos departamentos tienen un almacén donde se puede encontrar un stock de refacciones con las cuales se pueda sacar de un problema en un momento dado a cualquiera de los equipos instalados en cada una de las líneas de producción.



### 3) GERENCIA DE PROGRAMACION Y CONTROL DE PRODUCCION:

Este departamento se hace responsable de los diseños de las herramientas, carga de máquinas, hacer los presupuestos de corridas económicas y todo lo referente a almacenes.

Los departamentos que tiene bajo su responsabilidad son:

- a) Diseño y
- b) Almacenes

#### DEPARTAMENTO DE DISEÑO.

El departamento de diseño elabora todos los planos con los cuales se fabricará el herramental y la pieza a producir, con todos sus pasos de forja, debe ser muy preciso en todos los diseños, ya que de eso dependerá la aprobación del cliente y la cantidad de rebata en cada una de las piezas.

De esto depende la mayor parte de la eficiencia de la planta, pues de la impresión del herramental se deben sacar cierto número de piezas de un lote ó el lote mismo. Del diseño dependerá también el tamaño del tocho, así como la cantidad de desperdicio de acero por pieza, por eso se habla del aprovechamiento máximo de la barra de acero en dimensiones comerciales o de la cantidad de acero utilizado para la fabricación de un lote.

#### DEPARTAMENTO DE ALMACEN.

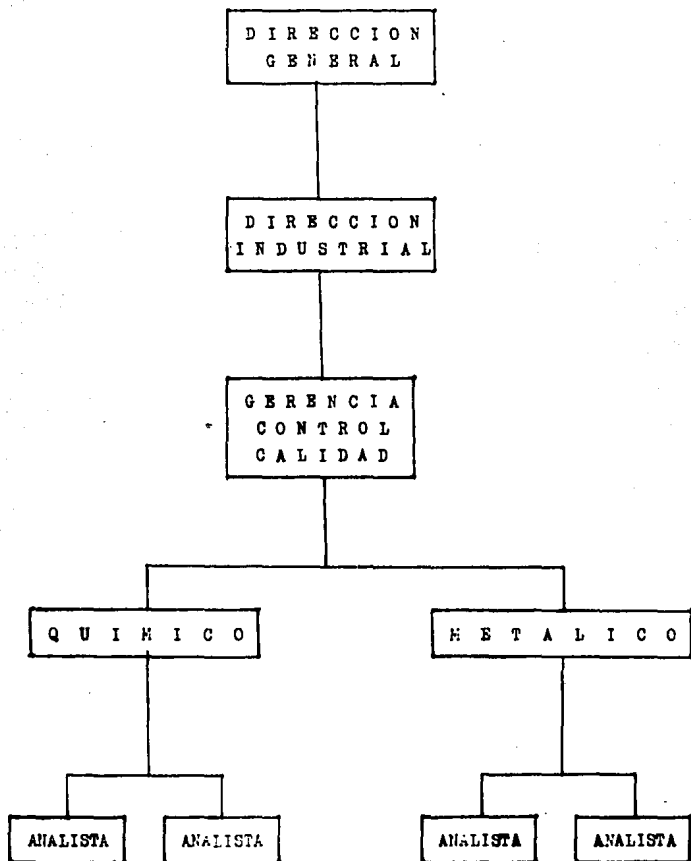
El almacén tiene una sección que es de recibo del material no productivo y de la materia prima que entra a la Planta; se le da entrada con un número y se descarga en un kardex para su control de entrada.

Después de pasar por esta sección, el material pasa al almacén general para su clasificación y control de salidas y entradas, con los mínimos y máximos ya establecidos. Esta sección debe emitir las requisiciones necesarias con el fin de mantener un stock adecuado

por producto ya que de tener un volumen alto de material en existencia, la empresa puede tener altos costos por almacenamiento de todo tipo de material.

El almacén revisa diariamente sus existencias y lleva un control de partes obsoletas o material rezagado que deberá informar de ello al departamento afectado, ya que éstos productos están cargados a sus costos.

Esta gerencia se mantiene en estrecha relación con la Dirección Comercial, para el desarrollo de nuevos productos, determinar los factores de costos que intervienen en la elaboración de las cotizaciones, de los diseños de las piezas terminados y listos para enviar a la aprobación del cliente.



ESTA TESIS N.º 59 DEBE  
SER DE LA BIBLIOTECA

#### 4) GERENCIA DE CONTROL DE CALIDAD:

La gerencia de control de calidad se encarga desde la recepción de la materia prima, hasta la salida de las piezas ya producidas, -checando si entra el material de acuerdo a las especificaciones requeridas en el pedido, y si las piezas que van a ser entregadas cumplen con los requerimientos del cliente.

Control de calidad tiene un papel muy importante dentro de -- Forjamex, ya que mucha de su producción es de partes de seguridad y las normas de control de calidad son muy estrictas. Se le llama -partes de seguridad porque son componentes importantes de la suspensión y la dirección de un automóvil, y en el caso de que llegara a fallar alguna de estas piezas, podría causar un accidente con fatales resultados.

El acero se recibe en palanquillas de medida comercial, y al -llegar, se pesa el total para confirmar si es correcto el peso que se señala en el pedido. Una vez aprobado este primer paso, se procede a realizar la inspección de recepción del acero, donde se introduce el material a un cuarto oscuro y se revisa con una lámpara especial para saber si está libre de defectos superficiales tales como fisuras, grietas, etc. Si contiene defectos fuera de los rangos establecidos, se avisa al proveedor y se rechaza el material.

Cuando el material es aceptado, se toma una muestra y se lleva a los diferentes laboratorios para que se le hagan las distintas --pruebas a las que se le somete, como análisis físicos y químicos, metalografía, pruebas de resistencia, etc. y una vez aprobados estos pasos, el acero se almacena en espera de ser usado.

El equipo con que cuentan los laboratorios físico y químico es:

##### LABORATORIO FISICO.

- 1 máquina universal de ensayo de 10 toneladas
- 1 péndulo para prueba de impacto de 15  $\text{ft}/\text{m}$ .
- 1 mufla para tratamiento térmico experimental

- 1 cortadora de disco
- 1 desbastadora
- 1 pulidora
- 1 microscopio metalográfico
- 1 laboratorio fotográfico completo
- 1 máquina de dureza Brinell
- 1 máquina de dureza Rockwell y
- 1 durómetro portátil.

#### LABORATORIO QUIMICO.

- 1 horno de desecación
- 1 mufla
- 1 fotocolorímetro
- 1 potenciómetro
- 1 balanza analítica
- 1 campana de extracción y
- 1 determinador de carbón y azufre

El procedimiento de control de calidad en caliente es fundamental, ya que es el control del proceso; éste principia cuando comienza la producción de cualquier pieza de acero, se van tomando muestras al azar, se limpian con una granalladora de gabinete y se les hacen pruebas dimensionales y magnaflox para ver que no haya ninguna complicación.

Si no se presenta ningún problema, y se aprueba el acero, éste se sigue produciendo normalmente; pero si se encuentran algunas fallas, se detiene la producción en esa maxiprensa, y se revisa todo paso por paso hasta encontrar la falla, se corrige y se repite todo el procedimiento, checando todo continuamente para evitar al máximo los problemas.

El control de calidad en caliente cuenta con:

- 1 parrilla de enfriamiento
- 1 máquina de limpieza para arena (granalladora de gabinete)
- 1 magnaflox y
- varios dispositivos de control dimensional según la pieza.



El control de calidad final es un proceso que se sigue muy estrictamente y en forma rigurosa. Se tienen tolerancias en las piezas pero son muy justas y no se permite la menor falla, ni que se salga de esos rangos, ya que si así se hiciera, se acarrearían muchos problemas y complicaciones en la fabricación de las piezas.

El procedimiento es el siguiente:

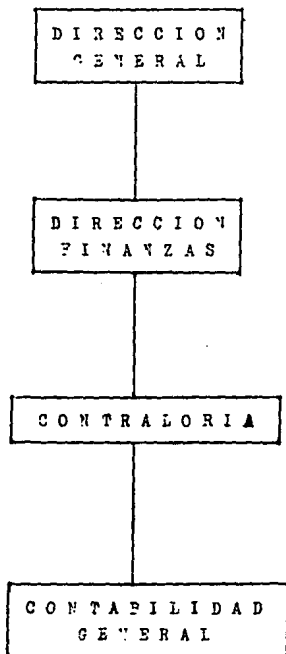
Al salir las piezas del tratamiento térmico, se cargan en una granalladora para su limpieza mediante chorros a presión de granalla (bolitas de acero). Esta máquina tiene una capacidad de 1.5 toneladas.

Posteriormente, al haberse completado este proceso, las piezas pasan al magnaflox, donde por vía húmeda, se magnetizan y se ve si tienen fisuras, grietas, etc.; si las tienen, se marcan, se desmagnetizan y se colocan en un carrusel de donde se van recogiendo para recuperarlas a través del esmerilado.

Por el contrario, si la pieza viene limpia, se coloca en un -- contenedor, se toman algunas muestras para hacerles las pruebas de elongación, resistencia, dureza, etc., y si son aprobadas entonces se almacena el material en espera de ser embarcado y enviado al --- cliente.

El equipo con que se cuenta es el siguiente:

- 1 máquina de limpieza por granalla
- 2 magnatest
- 1 durómetro Brinell
- 1 magnaflox
- 1 prensa hidráulica de 25 toneladas
- 1 prensa de tornillo de 500 toneladas
- 1 pulidora de banda
- 1 transportador de banda
- 1 mesa giratoria de 5 metros de diámetro
- 4 bobinas de desmagnetización y
- dispositivos dimensionales.



DIRECCION DE FINANZAS

La Dirección de Finanzas es la que se encarga de todo lo referente a la cuestión administrativa de la Empresa.

Tiene a su cargo la Gerencia de Contraloría y el Departamento de Contabilidad General cuyas principales funciones son:

- Realiza presupuestos sobre los movimientos internos de la empresa.
- Elabora las listas de nómina de los empleados, así como los cheques para el pago de sueldos.
- Se encarga de recibir a revisión las facturas de los proveedores, y elabora y coordina los pagos de dichas facturas.
- Realiza estudios y auditorías internas para ver cuáles han sido los gastos en los que ha incurrido la empresa, y elabora los reportes correspondientes.
- Analiza la situación financiera de la empresa y elabora los resultados obtenidos.
- Realiza una valuación de los inventarios de mercancías, así como los cálculos de depreciaciones de los activos fijos.
- Elabora un catálogo de cuentas con la explicación del funcionamiento de cada una de las cuentas y del sistema en general; los comprobantes, formas y registros, junto con los procedimientos establecidos para su uso y, por último, los informes y estados financieros periódicos.

B I B L I O G R A F I A

- I. ACEROS DE LLODIO, S. A.  
"TRATAMIENTOS TERMICOS DE HERRAMIENTAS  
DE ACERO".  
Ediciones URMO  
Primera Edición  
Bilbao, España, 1973
- II. GOMEZ, Macario J. G.  
"EL FORJADOR PRACTICO FERROCARRILERO".  
Apuntes y datos esenciales sobre forjaduras  
de piezas de hierro y acero.  
México, D. F. 1952