

201 581217

UNIVERSIDAD ANAHUAC

ESCUELA DE INGENIERIA
CON ESTUDIOS INCORPORADOS A LA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



VINCE IN BONO MALUM

"PROCESO DE FORJA PARA LA FABRICACION
DE PIEZAS DE GRANDES DIMENSIONES"

T E S I S

PARA OPTAR POR EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO - ELECTRICISTA

P R E S E N T A :
PAUL WALTER BECKER DUPRAT

Asesor:
Ing. Rafael López Meneses

México, D. F.

1991

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

CONTENIDO

	PAGINA
CAPITULO I	
INTRODUCCION	1
CAPITULO II	
DESCRIPCION DEL PROCESO DE FORJA	
2.1. Forja en General	3
2.2. Antecedentes de los Procesos de Manufactura	
2.2.1. Evolución de la Forja	5
2.2.2. Forja en México	12
2.3. Anomalías en el Proceso de Forja	16
2.4. Clasificaciones del Formado	17
2.4.1. Carga de Impacto	19
2.4.2. Carga de Presión	20
2.4.3. Forja Abierta	23
2.4.4. Forja de Impresión	26
2.4.5. Forja Cerrada	28
2.4.6. Forja en Frío	29
2.4.7. Forja en Caliente	30
2.5. Equipos para Forja	32
2.6. Herramental para Forjar	46
2.6.1. Dados para Forja Abierta	47
2.6.2. Dados para Forja Cerrada	49
2.6.3. Rodillos o Roladores	50
2.6.4. Dados de Recorte	51
CAPITULO III	
INGENIERIA DEL PRODUCTO	
3.1. Análisis de la Rueda	53

3.2.	Tipos y Clasificaciones de las Ruedas	
3.2.1.	Dimensiones Físicas y Características de Servicio	55
3.2.2.	Composición Química de la Rueda	59
3.2.3.	Tratamientos Térmicos	60
3.3.	Mecánica del Producto	61
3.3.1.	Efectos por Rozamiento	63
3.3.2.	Esfuerzos Térmicos	66
3.3.3.	Tensiones Moleculares	67
3.3.4.	Esfuerzos por Deficiencias en las Vías y por Exceso de Velocidad	69
3.4.	Fallas para Reposición del Producto	71

CAPITULO IV

INGENIERIA DEL PROCESO

4.1.	Procesos para Elaborar Ruedas de Ferrocarril	73
4.1.1.	Fundición	74
4.1.2.	Forja Convencional	78
4.1.3.	Laminación de Anillos	79
4.2.	Ventajas y Desventajas para Forja contra Fundición	85

CAPITULO V

INGENIERIA DE MANUFACTURA

5.1.	Desarrollo del Producto	92
5.2.	Selección del Equipo en Base al Tamaño y a la Capacidad	93
5.3.	Selección del Equipo en Base a la Cantidad y al Costo	107

5.4.	Rendimiento Optimo del Herramental	108
CAPITULO VI		
FACTIBILIDAD DE PRODUCCION EN MEXICO		
6.1.	Marco Económico	113
6.2.	Marco Social	115
6.3.	Estudio de Mercado	116
6.3.1.	Producción de Ruedas	117
6.3.2.	Demandas Actuales de Ruedas	119
6.3.3.	Evaluación Económica para los Procesos de Forja y Fundición	120
6.3.4.	Recuperación de Inversión	122
CAPITULO VII		
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		126
BIBLIOGRAFIA		130

INTRODUCCION

Aunque actualmente México atraviesa por uno de los momentos más difíciles de su historia, no deja de ser un país con un alto potencial humano y económico. Estos factores dejan aún varias posibilidades para progresar y crecer al igual que los países más desarrollados del orbe.

Las mejoras en el aparato industrial permiten implementar una serie de beneficios que mejoran las tecnologías nacionales; creando también mejores niveles de vida.

Esta Tesis hace mención de un proceso muy antiguo; la Forja. Actualmente sigue siendo muy usado en concepto pero con medios más desarrollados. En éste documento se pretende dar a conocer los diferentes nuevos sistemas y equipos de forjado que permiten sustituir algunos procesos de fundición anticuados, usados para la elaboración de ciertas piezas de grandes dimensiones, aprovechando también todos los conocimientos de la experiencia y prácticas con los que se cuenta en la industria de la forja ligera (tornillos, clavos, remaches, etc.) y en la forja mediana (engranes, acoplamientos, cigueñales, etc.). Se pretende hacer notar que al utilizar las ventajas de las técnicas modernas en el proceso de forja como proceso más confiable, sobre los métodos tradicionales; se pueden emplear materiales más económicos y existentes en el país. Disminuir la excesiva dependencia extranjera en tales productos y desarrollar una industria nacional más eficiente.

En México se tiene un gran porvenir en la implementación de éste proceso, debido a las demandas internas de productos con características especiales y las posibilidades de exportación existentes. También éste trabajo va de acuerdo a los esfuerzos desplegados por los mexicanos para superar la actual escasez de divisas y para dar cada vez mayor aprovechamiento de la planta industrial del país. Se debe inducir mayor autonomía e independencia al desarrollo económico nacional.

El alcance de esta Tesis es el de mostrar de manera sencilla en que consiste el método de forja, así como también el de analizar los nuevos métodos y equipos de forjado que permitan sustituir algunos procesos de fundición para la elaboración de ciertas piezas de grandes dimensiones.

Aplicando esta Tesis a la fabricación de ruedas para ferrocarril, se puede también hacer una sugerencia útil para beneficiar al transporte en vehículos sobre rieles. Permite mantener más unidades en servicio y así eliminar las pérdidas económicas por estar los vagones estacionados solamente por falta de ruedas. La atención que deben darse a las ruedas de los ferrocarriles es una de las funciones más importantes de los departamentos mecánicos.

DESCRIPCION DEL PROCESO DE FORJA

2.1. FORJA EN GENERAL

La palabra forja se empleó para definir un trabajo fuerte, realizado por los herreros. Actualmente a pesar de las aparentes limitaciones, se están encontrando cada vez más aplicaciones y el término se utiliza ya para definir varios procesos.

El forjado es un proceso que emplea los efectos de presión e/ o impacto para modificar la forma y condiciones mecánicas de los materiales trabajados sin perder el mismo volumen y entrar al estado líquido. La forja está catalogada como la técnica más importante entre la manufactura de procesos de estado inestable. Este proceso de deformación volumétrica no sólo produce material para efectuar el proceso de hojalatería o laminado, doblado de alambre y tubo; sino que también elabora una gran variedad de piezas terminadas útiles en la mayoría de las industrias.

La forjabilidad es la facilidad que presenta el material a ser formado con el proceso de forja. Se relaciona con la resistencia de materiales, ductibilidad, maleabilidad, fricción, etc. No todos los materiales son forjables; porque no todos son plásticos ni es posible llevarlos al estado de plasticidad o límite de recristalización mediante el aumento de temperatura. Los materiales forjables poseen un bajo límite plástico, suficiente resistencia o tenacidad y un coeficiente de alargamiento.

Para conocer exactamente la influencia que tiene la temperatura del material forjado sobre la potencia necesaria para la deformación es necesario considerar la rapidez de deformación, el tipo de material, la tensión de fluencia y las relaciones de forma. Desde el punto de vista de la fabricación, probablemente los efectos más importantes de la temperatura sean sus influencias sobre las propiedades bajo tracción.

Las máquinas de forja varían en tamaño dependiendo de las dimensiones y precisión de las ruedas o piezas a producir.

2.2 ANTECEDENTES DE LOS PROCESOS DE MANUFACTURA

2.2.1. EVOLUCION DE LA FORJA

Siempre buscando el bienestar de la sociedad, el hombre ha tenido que transformar los elementos que existen a su alrededor en objetos útiles. Estos objetos le han permitido elaborar y desarrollar su medio cada vez más. Los procedimientos de conformación de los metales ha estado siempre ligado a los progresos metalúrgicos. La reconstrucción de la historia de la metalurgia se apoya en gran parte de los datos de laboratorio relativos a la composición y microestructura de los artefactos.

En épocas más antiguas de la historia, se consideraba el proceso de forjado como un arte. En el Génesis, se habla de una persona llamada Tubalcain, el Primer Forjador; y Homero describe, en la Iliada, la forja de Vulcano y las numerosas herramientas utilizadas por este Dios. Comparando la historia humana; la etapa en que los hombres no conocían nada acerca de la metalurgia es relativamente reciente.

Se supone que la metalurgia nació en el Próximo Oriente hace más de 10,000 años, cuando el hombre de la Edad de Piedra Moderna, estaba por establecerse en civilizaciones urbanas. El artesano empieza a utilizar los metales para un fin preciso. Es el precursor de los herreros, de los pudeladores del hierro y de los templadores del acero.

El metal fue trabajado en un principio en frío; por medio del martillado (forja de impacto) con un martillo de piedra sobre un yunque también de piedra. Los primeros herreros nacieron en un mundo abierto a toda mente inquisitiva y emprendedora. Tenían que inventar casi todas sus herramientas de trabajo para poder laborar eficazmente.

Durante 7,000 años el hombre fundió y forjó los metales tales como el bronce, el cobre, la plata y el oro. Su tecnología no le permitía aún trabajar con el acero. No contaba con la herramienta necesaria ni el equipo adecuado para manejar el material incandescente o fundido, debido a que la temperatura de fusión era demasiado elevada para ese entonces; 2,000 oF.

Al principio de la Era Cristiana, se usaba principalmente el Bronce, quedando el Hierro en segundo lugar como un metal útil pero impropio para el arte. Más tarde los Cruzados aprendieron en el Oriente los métodos de pudelado; es decir, de soldar entre sí hojas de metales de diferentes durezas utilizando las fuerzas de impacto de un martillo.

Sin conocer lo que sucedía internamente en el material y con las pocas herramientas que le facilitaban su trabajo, el hombre tuvo que detener el avance en cuanto a obtener mayor producción con mejores características. Estuvo trabajando con los métodos familiares hasta que la evolución en las ciencias como la Física, Química, Metalistería, etc. le abrieron las puertas para mejorar

sus equipos, herramientas y procesos.

El cambio se dió por completo en el siglo XVIII durante la Revolución Industrial. Era necesario aumentar la energía para poder incrementar la producción, mejorar las características, ampliar la gama de producción, etc.

Esta etapa moderna se caracteriza por la innovación en los métodos mecánicos para aplicar los procesos de formado y la necesidad de desarrollar mejores técnicas de fabricación, acordes a la elevada tecnificación requerida. Las innovaciones también fueron para reducirle al hombre el esfuerzo físico para que su trabajo fuera más cómodo.

Las modernas herramientas mecánicas datan de 1775, aproximadamente, cuando surgieron las máquinas formadoras y cortadoras operadas por medio de los mecanismos manuales o con fuerzas naturales.

Peter Onions, en 1783, patentó un dispositivo que utilizaba la presión de aire comprimido o la fuerza de aspiración de una cámara de aire enrarecido.

El proceso de pudelado que hacía en 1785 Henry Cort exigía martillos cada vez mayores y más eficientes para trabajar las piezas cada vez más pesadas.

En 1784, James Watt, patentó un martillo movido por medio de vapor de agua. En 1806, William Deverell, patentó su martillo unido directamente a un pistón de una máquina de vapor, sobre el cual se disponía de un dispositivo de aire que era comprimido durante la carrera ascendente y aumentaba entonces al expansionarse la intensidad del golpe.

Estas variaciones y éstos perfeccionamientos parciales no eran, sin embargo, suficientes para seguir los progresos en la obtención de forjas con los nuevos materiales.

Desde 1820, cuando las máquinas herramientas contaron con sus primeras unidades de potencia, ha habido una constante evolución hacia el proyecto y construcción de máquinas más rígidas y que giren a más altas velocidades, soporten avances mayores y mejores niveles de precisión. Pero el empleo de velocidades y avances más altos ha implicado al mismo tiempo, desarrollar los nuevos materiales para las herramientas y máquinas mismas.

La utilización de las herramientas mecánicas hubiera sido difícil, si hacia 1830, Joseph Whitworth no hubiese encarado el desarrollo de métodos precisos de medición. Éste trabajo fue la base del desarrollo para la producción masiva. Con los métodos de medición precisos, fue posible la fabricación de piezas intercambiables y la elaboración de piezas en serie.

Con la aparición de los ferrocarriles en los años de 1830 a 1850 se vino a hacer indispensable un perfeccionamiento de todos

los métodos de forja. Estos métodos de formado se tornaron también importantes en la industria naviera, posteriormente en la automotriz y en la aeronáutica, y actualmente en la espacial.

En 1842 y 1843, Nasmyth, obtuvo dos patentes inglesas para construir un martillo de 1,500 kgs. de masa de caída libre.

En 1843, Wilson, ingeniero americano, construyó el primer martillo de vapor con distribución automática del gas.

Las primeras prensas mecánicas se lanzaron al mercado hacia 1850; pero la poca importancia de las series a realizar y la imperfección de las chapas que se lograban formar, limitaron su empleo a trabajos de plegado, corte o conformaciones muy sencillas.

De 1850 a 1860; Boersig, Tuerk, Hasell y Daelen, perfeccionaron los martillos pilones o de caída libre.

En 1855, Guillemin y Minary de Besançon, construyeron un martillo movido por agua a presión con un mecanismo de aire comprimido que actuaba como resorte.

En 1860, Faracot, mejoró aún más los martillos pilones al hacer expansionar directamente el vapor de alta presión. Y en 1861, Alfredo Krupp, construyó un martillo de 50 tons.

El primer martillo neumático similar a los actualmente empleados, fue construido por Walton en 1865 y perfeccionado posteriormente en 1883 por Schmidt. En 1884, Joseph Whitwort, construyó la primera prensa hidráulica.

Con ésta fabricación de equipo de mayores capacidades se entró a una etapa donde el crecimiento por el conocimiento adquirido explotó por completo. Los comienzos del siglo XX fueron por lo tanto el reino de la conformación con martillo.

El desarrollo del trabajo en serie con las prensas, vino hasta que empresas que requerían chapas de alta calidad comenzaron a establecer líneas de producción en serie a finales de la 1ª. Guerra Mundial (1923).

La necesidad de someter el material metálico o no metálico a un mínimo de operaciones con un mínimo de desperdicio, que posibilite tener producciones más elevadas, cuidando especialmente los aumentos en los costos por concepto de energía y de mano de obra, vuelven a despertar el desarrollo tecnológico del hombre; y sin embargo, su ingenio lo ha seguido motivando y lo ha puesto en sólo 100 años al alcance de técnicas inexplicables e increíbles para sus antepasados.

Estos nuevos campos del s. XX siguen impulsando al hombre a continuar la carrera que inició al descubrir y trabajar los primeros materiales con sus procesos antiguos. En los último 40

años el perfeccionamiento en los controles por medio de equipos automáticos o semiautomáticos más sofisticados y con la combinación de métodos numéricos y computarizados, han sido uno de los adelantos más importantes. Estos adelantos han permitido trabajar los nuevos materiales mejorando las técnicas, haciéndolas más productivas.

Existe una gran cantidad de productos manufacturados que pueden ser elaborados por una gran variedad de procesos; como por ejemplo: Un tornillo puede ser elaborado por medio del laminado, maquinado, etc.; o un engrane puede ser fresado, fundido, etc. La selección del proceso para un determinado artículo requiere de un estudio profundo y depende de factores como tamaño de la pieza o volúmenes trabajados, materiales, usos, costos, disponibilidad de equipos, etc.

2.2.2. FORJA EN MEXICO

Aunque en México el desarrollo de nuevas tecnologías es muy escaso y en comparación con las grandes potencias ésta muy atrasado, las dificultades de las diferentes crisis obligan cada vez más a utilizar recursos propios para implementar procesos más adecuados y eficientes para el aparato productivo.

Los antiguos pueblos que habitaban antes de la conquista tenían grandes conocimientos de arquitectura, astronomía, matemáticas, medicina y artes. Sus métodos de manufactura empleados les permitían al igual que en otras tribus el trabajar piedras, palos y metales dúctiles como el oro, la plata y el cobre principalmente. El proceso de fundición y forjado fue siempre muy semejante al realizado por los pueblos del Lejano Oriente.

Con la Conquista se vino a cambiar el espíritu artístico de los habitantes, ya que se les obligaba a desarrollar actividades para el bien del país dominante. Las técnicas nacionales fueron entonces desplazadas por las que se recibían del exterior. El adelanto Europeo tardaba en llegar al País a través de la lenta y escasa comunicación. Las tecnologías que eran transmitidas no eran nunca las más modernas, eran más bien procesos poco anticuados que se empezaban a desechar por obsoletos y poco eficientes.

Con las guerras de Independencia y de la Revolución se logró reducir la dependencia directa con los pueblos del Viejo

Continente. Surgen entonces los elementos nacionales que permiten madurar algunos procesos de producción. Aunque, la gente no tenía una preparación adecuada para enfrentarse por sí sola al desarrollo de su propia infraestructura. Esta educación es lenta y tardada; en parte por la continua e indirecta opresión de países poderosos y la gran cantidad de analfabetas.

Durante las Primera y Segunda Guerras Mundiales, cuando las potencias luchaban por demostrar la supremacía de unas sobre las otras, México como un país neutro se vio favorecido ya que se detuvieron las importaciones y se vio la necesidad de producir para poder seguir adelante y exportar algunos productos esenciales para los países en conflicto. Fue entonces cuando los procesos de manufactura como la forja se vieron muy favorecidos. En la industria militar se impulsó fuertemente para desarrollar las piezas de exportación requeridas en los campos de batalla. Las técnicas más modernas eran traídas e instaladas para mejorar y elevar las producciones de dichos productos. Sin embargo, al término de las guerras, México era abandonado y se motivaban entonces más fuertemente la reconstrucción de los países europeos. Las técnicas y equipos se quedaban sin preocuparse por mejorarlo o renovarlo estancándose así la producción nacional.

Con la construcción del Ferrocarril Mexicano de 1873 a 1908, las técnicas para desarrollar las diferentes piezas forjadas también se vieron beneficiadas. Muchas partes comenzaron a producirse en los diferentes talleres privados y estatales. Entre

los primeros productos fabricados están los rieles, los pernos de sujeción, ganchos, acopladores y yugos. Actualmente se tiene la fabricación de carros completos que transitan el Continente Americano. Entre los primeros talleres dedicados a producir partes forjadas destacan los Talleres de la Consolidada, que pasaron más tarde a formar parte de lo que fue Fundidora de Monterrey; los talleres especializados de Ferrocarriles Nacionales en Aguascalientes; la Industria de Aceros Tepeyac que inició sus operaciones hasta 1948 y actualmente es uno de los principales proveedores de piezas fundidas y forjadas con aprobación oficial de la Asociación Americana de Ferrocarriles (A.A.R.) para los carros, y el mayor grupo estatal dedicado a la industria metal-mecánica como Altos Hornos de México y Siderúrgica Nacional.

Entre las industrias que han motivado constantemente la adquisición de piezas de los procesos de fundición o forja son: Minera, cementera, construcción, transportación, siderúrgica, petrolera, automotriz, química y agrícola principalmente. Los procesos están cumpliendo actualmente todas las normas internacionales que exigen las diversas industrias usuarias como: A.S.T.M., A.S.M.E., A.P.I., D.G.N., A.N.S.I., J.I.S. y otras similares.

México impulsa actualmente para capacitar cada vez más al personal laboral y adquiere equipo de laboratorio para ejercer perfectos controles metalúrgicos y mecánicos de las piezas fabricadas. La gran gama de productos que ya son fabricados en

México es amplia y variada. La mayoría de éstos productos son elaborados con procedimientos que datan de hace 30 ó 40 años y principalmente para las piezas de grandes dimensiones se utilizan los procesos de fundición.

Algunos productos en las diferentes industrias han tenido que suspenderse o reducirse su producción debido a que la crisis actual no permite mantener los altos costos de producción de los mismos. Estos costos podrían reducirse al implementar procesos más modernos y eficientes.

2.3. ANOMALIAS EN EL PROCESO DE FORJA

Entre los defectos más importantes de forjado proceden: del proceso de solidificación del lingote (rechupes, segregaciones, poros, inclusiones, etc.) y/o del propio proceso de forja en sus tres fases: Calentamiento, forja o enfriamiento

El calentamiento debe ser realizado lentamente y uniformemente para evitar la producción de tensiones internas. No ha de sobrepasarse la temperatura ya que además de oxidarse la superficie, la capa externa también se decarburará.

Durante la forja pueden aparecer pliegues, grietas, escamas, etc. Los primeros se originan por mala calidad del trabajo realizado, que permite la formación inicial de arrugas. Las grietas se presentan al salir a la superficie algún rechupe que existía en el lingote original. Las escamas se presentan únicamente en la superficie del material a causa del calentamiento excesivo o falta de limpieza en las estampas. Los defectos producidos durante el enfriamiento obedecen siempre a que éste se ha realizado con excesiva rapidez. Si el enfriamiento es inadecuado puede producir grietas, especialmente en las piezas que presentan cambios de sección. Si no es uniforme, en toda la pieza se originan tensiones internas quedando una tensión inferior a la normal.

2.4. CLASIFICACIONES DEL FORMADO

Es imposible establecer una clasificación única para el proceso de forja. Este método de formado abarca muchos criterios diferentes y correctos con los que se define: según fuerza aplicada, herramental empleado, peso de la pieza, equipo utilizado o temperatura durante el proceso.

Dentro de la clasificación por las cargas o fuerzas aplicadas puede separarse como:

- Forja por impacto o .
- Forja por presión .

También se tiene presente para el tipo de forja, la manera de realizar la transformación y características del herramental:

- Forja abierta, .
- Forja de impresión o .
- Forja cerrada .

De acuerdo a las dimensiones de la pieza terminada:

- Forja ligera, .
- Forja mediana o .
- Forja pesada .

Según la ordenación más familiar en el medio, se hace dependiendo de la máquina empleada y la forma mecánica de aplicar la fuerza:

- Forja con martillo o con martinete,

- Forja con prensa,
- Forja con rodillo,
- Forja con máquinas especiales,
- Forja orbital,
- Forja laminada o
- Forja de alta velocidad o energía

Dependiendo de la temperatura a la que se encuentra la pieza y los dados en el momento de llevar a cabo la deformación:

- Forja en frío,
- Forja isotérmica o
- Forja en caliente

2.4.1. CARGA DE IMPACTO

Dentro de la forja por impacto, se obtiene la deformación debido a la fuerza ocasionada por una carga dinámica rápida o un golpe violento. Durante la colisión, la energía cinética se absorbe por la deformación del cuerpo.

Generalmente es necesario repetir la carga varias veces para obtener la pieza terminada. La mayoría de los trabajos hechos por impacto son realizados en frío para evitar las deformaciones defectuosas o incompletas; la formación es lenta.

Las cargas de impacto producen una variedad de presiones momentaneas; en particular cuando se distribuyen sobre superficies pequeñas. Esto ofrece la ventaja de concentrar una fuerza muy grande en una superficie pequeña con equipo para trabajo, liviano.

Los procesos de impacto incluyen forja en manual o de herrero, forja en martillo o martinete, forja de recalcado y forja horizontal en máquinas especiales.

2.4.2. CARGA DE PRESION

Se utiliza para forjar por medio de una fuerza de compresión aplicada gradualmente. La acción para deformar el material es lenta y sin choque violento; pero requiere de equipos con una capacidad mayor para el formado.

Este método es preferido para la homogeneización de grandes piezas, ya que la zona de deformación se extiende a través de toda la sección transversal y es mantenida completamente hasta el centro de la pieza. Deja el tiempo suficiente para que el material fluya a la forma deseada, permitiendo la elaboración correcta y a fondo de la sección completa.

La mayor proporción de energía cinética o trabajo total puesto en la máquina es transmitido al metal, con lo que se logra que la reducción del material sea más rápida y el costo de operación, mano de obra y tiempo de máquinas, sea consecuentemente menor.

Las ventajas de la forja a presión de las superficies tan grandes son: a) aprovechar el cambio de forma de grano, b) aumentar la relación entre la resistencia del grano y el peso. c) permitiendo eliminar el peso y el volumen se disminuye o elimina el tiempo requerido para el costoso trabajo con otros procesos más lentos, d) generalmente éste método requiere menor salida de material con lo que se consigue una mayor exactitud dimensional y

reducción considerable de desperdicio de material.

Para la mayoría de trabajos de presión se emplean la transmisión hidráulica en las máquinas; logrando así tener grandes presiones a bajas velocidades.

Algunas aplicaciones típicas de la forja a presión incluyen la formación en bruto de piezas grandes de láminas o placas en secciones curvas, la reducción en bruto del diámetro de ejes antes de maquinarlos a sus dimensiones críticas, la conformación de fuselajes y elementos estructurales de aviones y estampado de carrocerías de vehículos.

El equipo desarrollado principalmente para realizar cargas de presión se conoce como prensa. Las prensas son máquinas que transmiten una fuerza por presión al cuerpo sometido entre sus dados. Dependiendo de la fuente de poder, existen prensas mecánicas e hidráulicas.

Las prensas pueden utilizarse para producir todo tipo de forjas hechas con martillos y además pueden forjar algunas aleaciones de moderada ductibilidad que se fracturarían bajo los golpes de los martillos.

Las prensas y los martillos de forja pueden separarse para forja cerrada y para forja abierta. Algunas forjas abiertas pueden realizarse en martillos de forja cerrada. Ocasionalmente

un martillo de forja abierta es usado con dados cerrados para producir o terminar una misma pieza forjada.

Entre los procesos de forja por presión se tiene la forja en roladora. Este proceso debe reducir la sección transversal del lingote combinando la fuerza ejercida por presión y el movimiento entre dos rodillos motorizados. El principio básico es el mismo que el empleado en los trenes laminadores para reducir un tocho en alambre.

También otro proceso moderno que se puede integrar a las forjas realizadas con prensas es la forja orbital. La fuerza de presión que se ejerce por la prensa es especial ya que presenta la innovación de que se aplica en forma cíclica u orbital. Esto presenta la ventaja de que la aplicación no es constante sobre un mismo punto al mismo tiempo. La forja orbital permite cambiar el ángulo de aplicación de la carga sobre la pieza disminuyendo así considerablemente la carga requerida para formar una pieza.

La capacidad de éstas prensas está aún limitada por los diferentes problemas mecánicos para desarrollar el sistema que soporte tales cargas en piezas de grandes dimensiones.

2.4.3. FORJA ABIERTA

Es la forja abierta la que se realiza entre dados que permiten el flujo del material libremente en alguna de sus superficies. Las caras de los dados son abiertas y son utilizados con o sin herramental. El herramental suele ser sencillo, relativamente económico y permite la elaboración de una amplia escala de formas.

La gama de aplicación de la forja abierta es amplia y va desde la simple forja antigua de yunque y martillo manuales, hasta la forja de piezas de grandes dimensiones con martillos y prensas especiales. Se emplea generalmente para la producción de pequeñas cantidades donde el empleo del troquel cerrado se hace innecesario e incoesteable o el tiempo es breve y no permite hacer los dados. También se aplica en las industrias para dar una forma simple, reducción aproximada de tamaño de un objeto o lingote y cuando la forja es demasiado larga para producirse en una cavidad cerrada.

El equipo suele ser de impacto pero también puede combinarse con diferentes tipos de herramental para obtener diferentes deformaciones. Cuando se emplea un yunque en V de 120 grados por ejemplo, existe una zona central de metal sin deformar, que esta sometido a compresión, en contraste con el movimiento libre hacia afuera del metal en el eje del bloque deformado entre las dos plataformas.

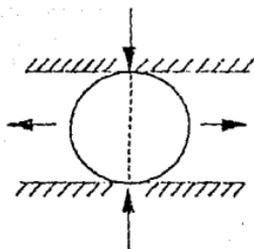


Figura 2.1.

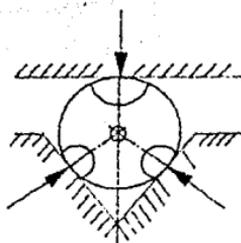


Figura 2.2.

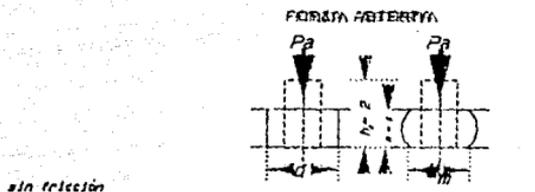


Fig. 2.3.

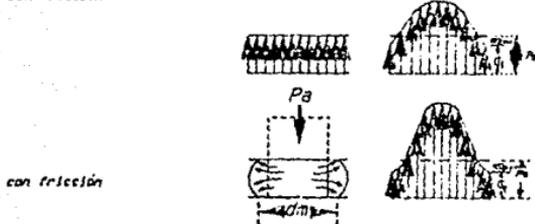


Fig. 2.4.

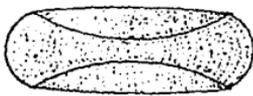


Fig. 2.5.

FLUJO Y ESFUERZOS DURANTE FORJA ABIERTA

La naturaleza del proceso es tal que no se obtienen tolerancias estrechas, ni pueden hacerse formas complicadas. La gama de forjado va desde unos cuantos gramos hasta más de los 900 kilogramos. La forma depende directamente de la habilidad del operario para el uso de las máquinas y herramientas.

Generalmente la forja abierta se realiza con el material caliente, sobre la temperatura crítica superior (A3). El cálculo de las fuerzas necesarias para seleccionar el equipo es básicamente similar para todos los procesos de formado y se mencionan posteriormente los puntos que pueden generalizarse.

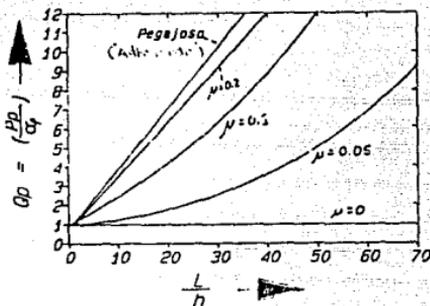
2.4.4. FORJA DE IMPRESION

La forja con estampa, matriz ó troquel se utiliza cuando la precisión requerida para la técnica de formado ya no puede alcanzarse por medio de la forja abierta. Este proceso de cierta manera se llega a considerar dentro de la forja cerrada, pero con vientos o cavidades de escape de material muy abiertas para asegurar la duración de los dados y equipo en caso de sobrecarga, y permitir que se llenen perfectamente todas las cavidades.

La impresión es realizada por medio de dados con la configuración negativa de la pieza a producir. El herramental de formado, dados superior e inferior son montados sobre el ariete y el yunque respectivamente. El material es comprimido dentro de las cavidades de los dados, las cuales deberán llenarse sin defectos de flujo del material. Posteriormente se deberá eliminar el excedente de material de la pieza preacabada mediante un proceso de recorte o cizallado 'trimming'.

Configuraciones complicadas no pueden lograrse correctamente si se parte de un tocho o barra directamente. Es conveniente forjar éstas piezas en varias etapas de preforjado con matrices progresivas o con forja abierta. En éstas preoperaciones se pretende hacer primero el formado en bruto del producto, después se busca dar una imagen semiacabada y, por último dejar el objeto ya terminado. Cuando se requieren de unas tolerancias más ajustadas se utilizan unas cavidades de escape menores. El

reducido flujo de material hace necesario entonces el empleo de troqueles más precisos. Un flujo más pequeño implica una relación entre altura y longitud (l/h) de la sección transversal elevada, y por consiguiente una precisión mayor.



Factor Multiplicador de Presión (Q_c) *

Figura 2.6.

Este proceso de forja de impresión es confundido erróneamente a veces como forja cerrada u otras veces como forja de martinete. La forja de impresión se realiza tanto en frío como en caliente, en martillos, prensas y máquinas especiales. Las matrices utilizadas en la forja con martinete deben hacerse con materiales duros y fuertes, capaces de soportar las cargas de impacto y las temperaturas del proceso necesarias. Se suelen hacer con diversos tipos de aceros de herramienta, para los que su construcción permite rectificarlos cuando por el uso se desgastan ó pican.

* sección V, ecuaciones 5.8. y 5.12.

2.4.5. FORJA CERRADA

Es la forja cerrada aquella en la que el material se encuentra durante su deformación, entre dados completamente unidos con la generación de rebabas o "flash". La economía del proceso radica principalmente en los ahorros de material; pero el diseño y las variables deben ser cuidadosamente controladas. Cuando la cavidad es llenada completamente, generalmente al final de la carrera, el material es un sólido inamovible con lo que las presiones en los troqueles aumentan críticamente. Las presiones normales alcanzadas varían desde 3 a 5 veces el esfuerzo de fluencia. En caso de que la presión de la carrera no estuviera correctamente determinada, existe el peligro de que la fuerza se multiplique considerablemente en sentido contrario y cause daños a todo el equipo.

Dentro de esta forja pueden separarse en tres tipos diferentes: Bloque, convencional o precisa. Estas diferenciaciones se realizan de acuerdo al tipo de acabado que se pretende darle a la pieza. Pueden ser las diferentes etapas por las que puede pasar un producto para ser forja terminado.

Los cálculos y el estudio de fuerzas es sumamente importante y se realiza para la forja de impresión.

2.4.6. FORJA EN FRÍO

Los efectos de la forja en frío sobre las propiedades a la tracción, pueden ser determinados con referencia a la curva de esfuerzo-deformación del metal trabajado. Como el metal permanece en un estado más rígido, no puede deformarse permanentemente hasta que los esfuerzos aplicados hayan excedido el límite elástico. Por lo tanto, la zona importante de deformación, para la forja en frío, es anterior al punto de ruptura. El éxito al efectuar tales operaciones en acero depende generalmente de que se presione sobre un área relativamente pequeña y que tenga libertad de fluir sin restricción alguna.

Debido a que se requieren mayores capacidades para la deformación en frío, los equipos son por lo tanto de dimensiones muy grandes. La mayor capacidad requerida se debe a que la estructura del grano no puede cambiarse o recristalizarse por estar por debajo de la gama de temperaturas de trabajo en frío. Tampoco hay recuperación de la distorsión del grano. Conforme la deformación del grano aumenta, se opone mayor resistencia a la acción de deslizamiento, resultando un aumento en el esfuerzo residual y en la dureza del material. Estos esfuerzos son indeseables y para eliminarlos se procede a recalentar la pieza por debajo de la temperatura de recristalización (recocido).

2.4.7. FORJA EN CALIENTE

El forjado en caliente permite un movimiento más amplio del material. Las composiciones aleadas tienen una gran influencia sobre la gama de temperaturas conveniente, siendo la costumbre el aumentar la temperatura de la gama recristalina. En general los metales más fuertes tienen temperaturas de recristalización más altas que los menos fuertes. En estas zonas de temperatura se efectúa el cambio de la estructura cristalina a otra libre de esfuerzos y el tamaño del grano por lo tanto, va aumentando. Las temperaturas de recristalización varían entre los valores de la siguiente tabla (*):

TABLA 2.1.

<u>Metal</u>	<u>T.Recristalización</u> oC/oF	<u>Tm. de Fusión</u> oC/oF
Aluminio	150 - 310 / 300 - 590	660 / 1220 .
Cobre	90 - 220 / 190 - 390	1085 / 1985 .
Fierro	450 - 700 / 850 - 1260	1535 / 2795 .
Plomo	0 - 200 / 32 - 350	327 / 620 .

La recristalización es frecuentemente a $0.3 \cdot T_m$ para metales puros y aproximadamente a $0.5 \cdot T_m$ para aleaciones.

El proceso de forja en caliente esta limitado por el templeado del material en las herramientas, la formación de escamas y la duración de las herramientas a las temperaturas requeridas. Las ventajas de trabajar en caliente son: a) la facilidad con que se (*) ref.Bibliografica # 21

pueden formar los materiales pesados; b) se requiere menos tiempo para la formación, c) no ocurre endurecimiento por deformación cuando el material se encuentra en sus condiciones más elásticas, d) no aumenta la dureza ni disminuyen otras propiedades deseables, e) elimina los espacios diminutos entre la estructura cristalina (sopladuras y porosidades de la colada y bolsas de impurezas dentro del material), f) reduce el tratamiento térmico posterior, g) ahorra energía durante el proceso y, h) permite el empleo de equipos más sencillos en construcción y tamaño.

A fin de evitar el pandeo de las piezas aún en estado plástico con su forma final, se necesitan equipos y secuencias especiales para su manejo.

Las técnicas concebidas para la forja, bien sea en caliente después del precalentamiento o en frío, ofrecen una alternativa económica para la producción en grandes series de una vasta gama de piezas. La forja de piezas de grandes dimensiones se realiza convenientemente elevando previamente la temperatura del material a trabajar y será el tipo de forja con el que se trabajarán las ruedas.

2.5. EQUIPOS PARA FORJA

De acuerdo con la clasificación que se hace a partir de la máquina empleada; podemos describir los diferentes tipos existentes en los que proporcionan cargas por impacto o por presión.

Para la forja, donde la deformación queda restringida principalmente a las regiones superficiales, tenemos la forja de impacto. Las máquinas utilizadas para desarrollar éste tipo de carga son conocidas como martillos o martinetes.

Entre la gama de martillos utilizados actualmente encontramos:

a) Martinetes de Caída Libre o Martillos Pilon.- Con éstos martillos se aprovecha la energía potencial almacenada en un pesado ariete. Generalmente el peso de caída o capacidad de un martillo completamente mecánico va desde 400 hasta 10,000 libras. Un martillo de 1,000 libras puede forjar piezas de acero al carbono y aleaciones de acero de hasta 3 libras de peso. Uno de 3,000 libras con energía potencial de alrededor de 14,000 pie-libra puede producir forjas con 25 libras de peso. Los martinetes de caída de más de 3,000 libras son poco comunes. Sin embargo, un martillo de tablas con 10,000 libras disponibles puede hacer forjas convencionales, semiacabadas, de hasta 100 libras de peso.

Estos martinetes son preferentemente usados para producir forjas con una sección transversal uniforme con una baja relación

de altura de las costillas y espesor del alma o membrana. La forja con martillo de caída libre no es recomendable para la producción de forjas que requieren de un considerable llenado, estirado o ribeteado.

b) Martinetes de Vapor o Martillos de Poder.- Entre los martillos de caída más modernos esta el que utiliza aire o vapor para levantar y acelerar la caída del ariete y no tan sólo la fuerza de la gravedad. Esta aceleración extra en el descenso ocasiona el aumento de la fuerza del impacto. Duplica la energía disponible para forjar en cada golpe.

El tamaño de éstos equipos, de acuerdo a la carga en el ariete, varía desde 500 hasta 35,000 libras, y ocasionalmente podrían llegar hasta 50,000 libras. Un martillo de caída libre con un peso en el ariete de 1,000 libras tiene una energía máxima de 3,850 libra-pie durante cada carrera; mientras que un martillo de poder con el mismo régimen de 1,000 libras puede disponer de una capacidad máxima de 11,100 libra-pie. Entonces un martillo de poder con un peso del ariete similar, tiene 2.88 veces la energía del martillo de caída libre. Recíprocamente un martillo de caída libre con una energía máxima equivalente a la de un martillo de poder de 1,000 libras requeriría tener un ariete con 2,500 libras de peso. La velocidad promedio del ariete en un martillo de caída al entrar en contacto con la pieza es de unos 14pie/seg. En los martinetes de vapor esta velocidad es de unos 30 pies/seg.

La gran fuerza generada es transmitida en un 10% a un 30% al bloque del yunque y al cimiento sin contribuir a la deformación.

c) Martinetes de Contragolpe.- Con éstas máquinas las piezas

son formadas al igual que en los demás martillos por medio de la carga de impacto pero entre dos arietes opuestos y balanceados. La fuerza se disipa completamente en el momento del impacto permitiendo un forjado más íntegro con una considerable eliminación de las vibraciones asociadas con la operación del martinete. Como la energía es casi dada totalmente a la pieza sin pérdidas en el yunque, el equipo es más ligero. Los martillos de contragolpe están limitados para producción de forjas sencillas. Se clasifican también con la combinación de la energía del ariete en unidades métricas (metro-kilogramo) para los martillos verticales y en unidades inglesas (pie-libra) para los martillos horizontales.

Se estima que un martillo de poder funciona solamente a un 70% u 80% de su energía mientras que el martillo de contragolpe se le atribuye el desarrollo total de su energía. Un factor que puede considerarse aceptable para determinar la energía equivalente por carrera para el martillo de poder es el valor de '9'. Este dato se obtiene al considerar las unidades en las que se indica la energía de cada martillo y al tomar un valor intermedio para las pérdidas de energía.

d) Martinetes de Velocidad o Martillos de Alta Energía.- Son máquinas diseñadas para proporcionar golpes ligeros pero muy rápidos. Los martillos de gran velocidad se emplean para el conformado preliminar del material, para ligeras operaciones de acabado sobre piezas de forja y reacondicionamiento de herramientas. Básicamente éstas máquinas están limitadas para la fabricación de productos de forma simétrica o concéntrica.

La velocidad durante el impacto varía desde 200 hasta 800 pulgadas/segundo a comparación con la de los martillos de caída libre de 150 hasta 190 pulgadas/segundo y de los martinets de poder que va desde 100 hasta 350 pulgadas/segundo.

e) Martillos para Forja Abierta. - Las máquinas adecuadas para realizar trabajos de forja abierta son conocidos comúnmente como martillos de dados planos. Los martillos descritos anteriormente no facilitan su uso para hacer forja abierta debido a la longitud de la carrera y a la magnitud de la fuerza que preferentemente debe de ser controlable durante una amplia gama del ciclo para formar adecuadamente el material. Se usan para forjar varias piezas de reparación, alinear herramientas, operaciones previas y formar los diferentes accesorios para mantenimiento. Estos martillos varían desde 25 hasta 24,000 libras.

Si la configuración de la pieza permite el empleo de algún tipo de máquina forjadora, pero su estructura interna y precisión requieren de un mayor control; es conveniente considerar la posibilidad de aplicar una carga diferente a la de impacto; la carga por presión.

En general las prensas pueden producir todo tipo de forjas hechas con martillo y además, permiten trabajar materiales que se fracturarían con los golpes del martillo por su moderada ductilidad. En el forjado en prensa se transmite al metal una mayor proporción del trabajo total puesto en la máquina que en el martillo. Entre los equipos que se cuentan dentro de la

clasificación de forja por presión tenemos:

a) Prensas Mecánicas. - El accionamiento en una prensa de éste tipo se hace con un motor al ser embragado a un eje excéntrico que imparte durante la carrera de longitud constante, la energía necesaria. La velocidad del ariete es mayor durante la mitad de la carrera pero la fuerza es mayor al final de ésta. Debido a que las prensas mecánicas tienen una carrera corta, son utilizadas para forjar piezas con perfiles sencillos. También se utilizan frecuentemente para producciones de volúmenes elevados.

En los casos de baja productividad la adquisición de una prensa es poco justificable y se recomienda tener un martillo que forje la misma pieza con un costo de equipo de 4 a 6 veces menor. La capacidad de éstos equipos se estima de acuerdo a la máxima fuerza que pueden aplicar, siendo actualmente la gama de entre 300 hasta 8,000 toneladas. Dada la capacidad requerida de un martillo de poder en libras, adecuada para forjar un diseño específico; se estima que la capacidad equivalente de una prensa mecánica para hacer la misma pieza es de aproximadamente la mitad de la capacidad, expresada en toneladas. En caso que la capacidad esté dada en toneladas, la prensa deberá ser 1,000 veces más grande que el martillo equivalente.

b) Prensas Hidráulicas. - La característica principal en una prensa del tipo hidráulico es que el ariete está guiado por un sistema hidráulico con pistones y cilindros, o una combinación hidro-neumática. Con éstos sistemas es posible regular las velocidades de presión; logrando así mantener un control mayor de la velocidad de flujo y deformación del material. Esta

característica del equipo es muy útil cuando se requiere forjar piezas con tolerancias muy justas. La gama de las capacidades para las prensas hidráulicas va desde 300 hasta 50,000 toneladas; estando en proyecto la construcción de una de hasta 200,000 toneladas. Estas prensas mayores son utilizadas para forjar piezas de grandes dimensiones en los campos aéreo, náutico, espacial y militar. Con el uso de dados partidos, pueden forjarse muchas piezas con bridas balanceadas, proyecciones, tiros traseros y otras formas de diseños extremadamente difíciles de hacer si no imposible dentro de un martillo. Un martillo de contragolpe con energía de 125,000 metro-kilogramo, equivalente a un martillo de poder aproximadamente de nueve veces más, osea 1'125,000 pies-libra es el doble de la energía por carrera del mayor martillo construido en la actualidad, con potencia nominal de 50,000 libras o 610,000 pies-libra. A partir de ésta equivalencia (2:1) se supone que el martillo de contragolpe puede producir fuerzas equivalentes de hasta una prensa hidráulica de 50,000 toneladas.

Pruebas realizadas con una prensa de 10,000 toneladas en forjas con formas complicadas similares, indican que donde se requieren presiones de 20 a 25 toneladas/pulgada cuadrada para Aceros de Bajo Carbón, aumenta el requerimiento hasta 25 a 30 toneladas/pulgada cuadrada para Aceros Aleados y más aún para Aceros Inoxidables Austeníticos llega hasta 35 a 40 ton/ pulgada cuadrada (*).

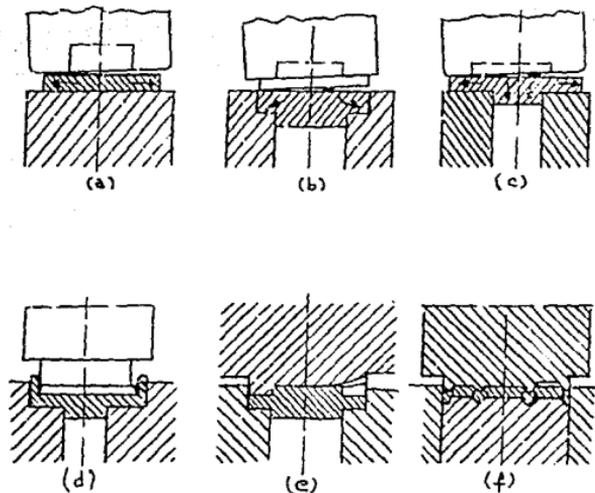
* ref. Bibliográfica no. 20

Tabla 2.2. FACTORES PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD EQUIVALENTE

MAQUINA	FACTOR	EJEMPLO
** Forja de Tamaño Intermedio - Grande **		
Prensa Hidráulica	1 ton	5,000 tons
Martillo de Poder	2.0 - 2.4 lbs x ton	10,000 - 12,000 lbs
Prensa Mecánica	0.8 - 1.2 ton x ton	4,000 - 6,000 ton
Martillo de Alta-		
Energía o Velocidad	60.0 - 110 pie-lbs ton	300,000 - 550,000 p/l
Martillo de Contragolpe		
Vertical	2.6 - 4.8 mkg x ton	130,000 - 240,000 mkg

c) Prensas de Forja Orbital.- Tienen la construcción semejante a una prensa hidráulica pero se le da el nombre de orbital por el movimiento oscilante de su ariete. El ariete es conducido hidráulicamente por la biela en su carrera de trabajo. La presión de formado es variable durante la carrera efectiva sobre toda la superficie del material por medio de un mecanismo, al igual que el área de contacto. Este equipo permite tener un flujo de material frío a las cavidades, menos forzado durante la operación de formado. Es éste método más lento que un proceso convencional pero como la carga se aplica sólo sobre un pequeño segmento de la forja o en un área más reducida, la capacidad requerida en éstos equipos para una misma pieza es considerablemente menor. Son utilizadas actualmente para forjar piezas pequeñas (cabezas de remaches, clavos, etc.). Las prensas actuales de 200 tons tienen un rendimiento de 240 a 720 piezas/hora.

Quando se desarrollen mecanismos oscilantes en estas prensas que soporten mayores cargas, el uso de estas prensas podrá ampliarse para forjar piezas de mayores dimensiones.



FORJA ORBITAL.

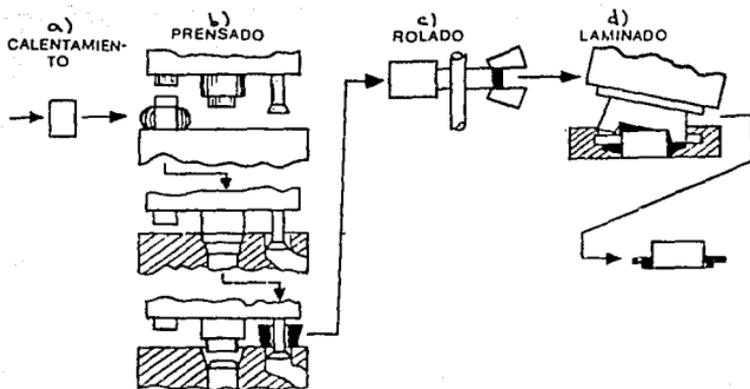
FIGURA 2.8.

d) Prensas para Forja Abierta. - Son prensas con accionamiento hidráulico diseñadas para realizar forjas abiertas de mediano y de gran tamaño con casi cualquier material. La capacidad de éstos equipos se encuentra entre la gama de 1,000 hasta 20,000 toneladas de fuerza en el ariete.

e) Laminadora de Anillos. - Es ésta una variación de las máquinas roladoras que producen dos cambios de sección del material. Al reducir la sección transversal se forma un aumento de circunferencia. El movimiento del material no es en línea recta sino que por la disposición de los rodillos se mantiene girando alrededor de un mandril central. Este proceso permite forjar sólo en círculo y no en recto como la roladora. Se logran producir piezas circulares con muy buen terminado superficial y una tolerancia similar a las obtenidas en forjas de precisión. Cuando se rola una pieza hasta el diámetro final, es recomendable pasar el producto por una prensa especial para darle una operación extra de formado y calibrado finales.

Muchas laminadoras de anillos son fabricadas especialmente para realizar una determinada forma o contorno o para fabricar una específica gama de piezas. Mucho más universales que las laminadoras simples de efecto radial son las máquinas combinadas de efecto radial y axial. En éstas, el material no sólo se ensancha radialmente sino que también se lamina en su altura axial con la máxima precisión. Con éste método se evita la formación de 'boca de pez', poco apreciada en las superficies frontales y que se presenta en los casos de laminado radial. Igualmente, las creces de mecanizado en las superficies frontales del anillo

pueden ser mucho más pequeñas, de modo que se ahorra material.



LAMINACION DE ANILLOS

Figura 2.9.

Las laminadoras de anillos en ejecución de electos radial y axial tienen una gama de operación en piezas de 10 hasta más de 10.000 kilogramos. La capacidad requerida aproximada para forjar un anillo de acero de bajo contenido de carbono es de 10 toneladas/bulgada de altura, 12 a 15 toneladas/bulgada de altura en piezas de acero con bajo aleación y de 20 a 30 ton./bulgadas de altura en aleaciones termoresistentes.

Para seleccionar los equipos para la fabricación de piezas de grandes dimensiones se utilizan los datos técnicos de la pieza como el diámetro máximo de laminado, peso del bloque y resistencia

del material, principalmente.

Thyssen Maschinenbau, fabricante europeo de éstos equipos ofrece entre su variado programa de manufactura los siguientes equipos para instalar la línea de máquinas para deformación:

MODELO	FUERZA DE	DIAMETRO MAXIMO DE LA
SW	LAMINADO (kn)	PIEZA A LAMINAR (mm)
63/160	630	160
100/250	1,000	250
160/400	1,600	400
250/800	2,500	800
400/1000	4,000	1,000
630/1600	6,300	1,600
1000/1600	10,000	1,600
1600/1600	16,000	1.600

Según las dimensiones de las piezas y el grado de deformación, la producción varía de 1 a 5 piezas por minuto.

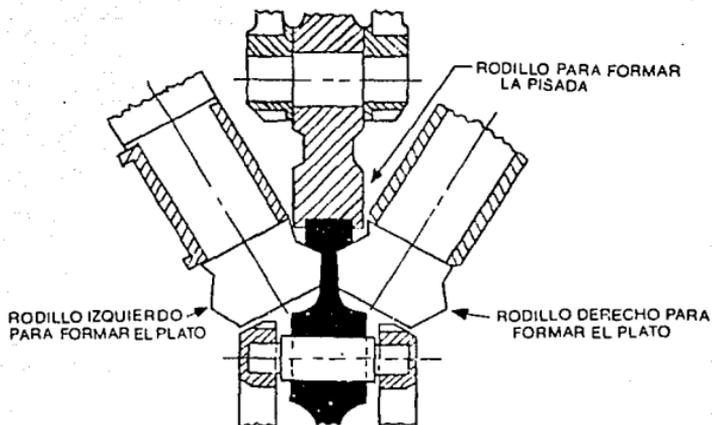
Para laminar ruedas de ferrocarril el diámetro de las llantas varía arriba de los 800 mm y abajo de los 1,000 mm por lo que dependerá la seguridad de operación para seleccionar la máquina que no quede muy ajustada con la carga. De acuerdo a las formas de soportar la pieza y de como se haga girar, las laminadoras se dividen como: Horizontales y verticales. Las máquinas horizontales pueden realizar trabajos de anillos con diámetros y pesos mayores. Se utilizan preferentemente para forjar anillos con diámetros exteriores de más de 760 mm. Pueden fabricarse máquinas

que operan con una o varias piezas simultáneamente dependiendo si tienen uno o varios mandriles.

El peso de la pieza es soportado en una mesa con rodillos que se desplazan adecuadamente con el crecimiento del diámetro del anillo. Los equipos del tipo vertical mantienen el giro de la pieza sobre los rodillos de forma y no sobre soportes especiales. El peso de la forja limita las dimensiones de las piezas a laminar sin reducir las formas posibles a realizar.

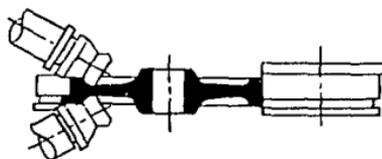
Algunas ventajas de las laminadoras para el formado son:

- Utilización racional del material
- Gran diversidad de formas y contornos
- Uniformidad en las piezas
- Adaptación óptima a la forma final
- Reducción de tiempos de mecanización
- Tolerancias estrechas y mejores acabados en superficie
- Calidad metalúrgica óptima por la estructura homogénea y el ventajoso flujo de la fibra
- Mínima decarburación en los bordes por calentamiento
- Reducción de la fuerza necesaria para el formado



Rolado vertical de una rueda

Fig. 2.10a



RODILLOS PARA CANTEAR
(IMPULSADOS)

RODILLOS DE
PRESION

RODILLO DE GUIA

RODILLO PRINCIPAL
(IMPULSADO)

RODILLO DE GUIA

Rolado horizontal de una rueda

Fig. 2.10b

La fabricación completa de un producto de grandes dimensiones no suele hacerse únicamente en un equipo. En el caso específico de la manufactura de ruedas sólidas para carros de vías se requiere agrupar una serie de equipos en los cuales paso a paso se vaya modificando el lingote inicial. Este conjunto de máquinas se ordenan de tal manera para que la línea de producción sea lo más eficiente posible. Para la fabricación de ruedas forjadas la línea tiene que ser analizada independientemente para que el conjunto no se vea perjudicado durante el proceso.

2.6. HERRAMENTAL PARA FORJAR

Existen diferentes tipos de herramientas empleadas durante el proceso de formado en prensas y martillos. Entre el herramental necesario para la elaboración de las forjas pueden considerarse los básicos y los auxiliares.

Para los elementos principales de trabajo se consideran los diferentes dados, estampas o matrices utilizados para la forja abierta y la forja cerrada con el equipo seleccionado para un material y diseño específico.

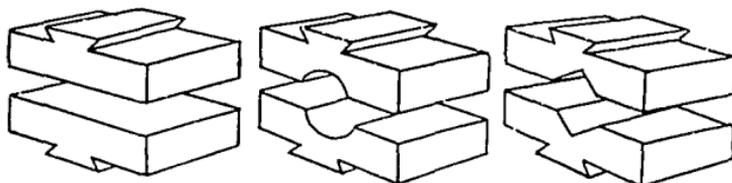
El herramental secundario es empleado básicamente para la forja abierta y permite realizar las diferentes formas. Entre los más utilizados están: Bloques patrón o separadores, anillos, cojines, herramientas expansivas, escariadores, punzones, etc.

El material no puede ser forjado si no se cuenta con el herramental apropiado en la máquina adecuada. Entre los dados que nos permiten forjar piezas de grandes dimensiones de acero se mencionan:

- Dados para Forja Abierta
- Dados para Forja Cerrada
- Rodillos
- Dados de Recorte

2.6.1. DADOS PARA FORJA ABIERTA

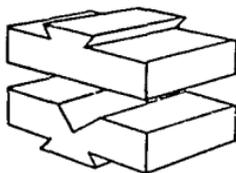
La gran mayoría de piezas forjadas abiertamente son formadas por medio de dados planos, dados para estampas semicirculares, dados en V, dados combinados (plano V, plano-semicircular), etc.; sujetos en el anillo o parte superior y volante o parte inferior.



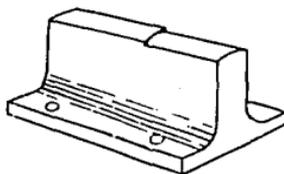
a) PLANOS

b) CIRCULARES

c) CUADRADOS



d) PLANO-CUADRADO



e) PLANO-COMBINADO

DADOS PLANOS, CIRCULARES, CUADRADOS, COMBINADOS

Figura 2.11.

Los aceros empleados para su fabricación difieren de fabricante a fabricante pero pueden ser los mismos que se emplean en los dados para forjas cerradas como el Acero 6G, 6F2, etc., Aleaciones de Acero, como 4150 (Acero al Molibdeno con 0.50% a 1.10% de Cromo y 0.48% a 0.53% de Carbón) también dan resultados satisfactorios para forjar barras y lingotes. Para algunos casos se requiere utilizar aleaciones poco comunes como aceros con alto contenido de Carbón, Niquel, Cromo y Molibdeno como por ejemplo un 4370.

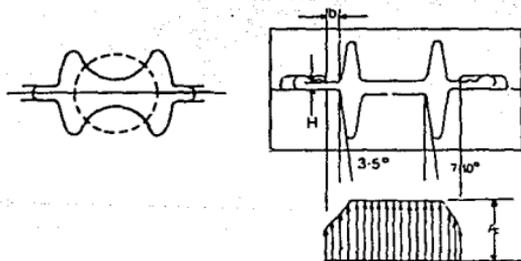
La dureza requerida en los dados para la forja abierta es por lo regular menor a la que tienen los dados para forja cerrada. Dependiendo del material utilizado la dureza varía también; un acero para herramienta 6G o 6F2 tienen una dureza de 302 a 331 Bhn y los dados de 4150 o similares tratados térmicamente, alcanzan durezas de 227 a 321 Bhn.

Las piezas con mayores dimensiones forjadas actualmente son los rodillos laminadores formados por medio de la combinación de dados abiertos y la secuencia de golpes del equipo.

2.6.2. DADOS PARA FORJA CERRADA

Estos dados son fabricados solamente para realizar una determinada forja. Básicamente son de dos tipos de construcción: Sólidos de una sola pieza y con insertos. En el segundo tipo, se evita el utilizar un material sofisticado para realizar todo el bloque del dado ya que el material resistente puede integrarse solamente formando el diseño. El material del dado o del inserto deberá soportar el mismo trabajo. Entre los dados progresivos tenemos: de aproximación o preformado, dados de acabado, rebordadores, de doblado, etc.

Los aceros para trabajo en caliente pueden ser a base de Cromo o de Tungsteno con cualidades contra la deformación, tenacidad y resistencia al reblandecimiento por calor. El símbolo representativo de estos aceros es una 'H'.



DADOS PARA FORJA CERRADA

FIGURA 2.12.

2.6.3. RODILLOS

Los dados para rolar aceros están hechos generalmente de un acero sin resulfurizar con 0.52% a 0.58% tal como el 1055 tratado térmicamente hasta una dureza al escleroscopio de 40 a 50 Shore que equivalen a una Brinell de 300 a 350.

Para éstos dados se utilizan los aceros para herramientas para trabajo en caliente con base de Cromo como el H11 ó el H13. Para formar materiales de altas aleaciones.

Los rodillos son piezas que soportan menores cargas en un mismo tiempo durante la formación de la pieza. Esto permite utilizar aceros con mayores contenidos de Carbón para aumentar la durabilidad. Conforme se desgastan los dados se dificulta mucho mantener las tolerancias y se producen entonces anillos con superficies irregulares y rugosas.

2.6.4. DADOS DE RECORTE

En la producción de forjas el recorte de la rebaba es un proceso muy importante para la obtención de piezas adecuadas. El recorte se realiza en forma de cizallado. La fuerza requerida para cortar será calculada entonces como:

$$2.1. \quad F = sLt$$

en donde 's' es el esfuerzo del material a ser cortado,

'L' es el perímetro o la línea de corte y

't' es el espesor en la línea de corte.

El recorte puede realizarse en caliente o en frío y el material se selecciona en base al proceso a seguir. El recorte en frío usualmente es el corte del excedente de material a temperaturas menores de los 300 oF. Para el recorte en caliente el material está a más de 1000 oF.

La necesidad de hacer un ajuste en frío o caliente depende principalmente de la exactitud del corte y tipo de materiales. El acero aleado y al Carbón pueden ser desbastados tanto en frío como en caliente pero cuando se requiere una tolerancia muy cerrada se realiza preferentemente en caliente para evitar desgarres. Las forjas pueden recortarse en frío satisfactoriamente cuando su esfuerzo de tensión no rebasa los 1×10^5 libras/pulgada² y durezas de 207 Bhn. El ajuste en frío es empleado para corregir

algun dobléz o torcedura de la pieza durante el proceso de manejo.

La selección de materiales para éste tipo de dados puede ser de aceros con baja aleación preendurecidos o carburizados como Acero al Molibdeno 4422, Acero con Manganeso-Vanadio-Cromo 6150 ó Acero con Molibdeno-Cromo-Niquel 8620; para dados de recorte como punzones en frío, aleaciones de Alto Carbono, aceros para herramientas para trabajos en frío templados al aire de aleación mediana como A2. Otros fabricantes recomiendan también utilizar el acero Alto Carbono y Alto Cromo como el D2 debido a su mayor duración. Los aceros para herramientas para dados de corte en frío se escogen con un balance de ductilidad, tenacidad y dureza que permitan realizar varios recortes sin romperse o desafilarse rápidamente.

INGENIERIA DEL PRODUCTO

3.1. ANALISIS DE LA RUEDA

La forja de piezas pesadas tiene una gama muy extensa de productos pero con características de proceso y equipos semejantes. Las consideraciones necesarias para realizar un buen trabajo de forjado como temperaturas adecuadas, composiciones químicas correctas, equipo con la capacidad suficiente, herramental apropiado, análisis de esfuerzos, calculo de volúmenes, etc. deben tomarse en cuenta para la fabricación de cualquier parte seleccionada.

"En la manufactura de ruedas, cualquier dimensión ó tolerancia que se indique como práctica recomendada será obligatoria; pero el método para lograrla podra variar siempre y cuando se cumplan los resultados que persiguen."

Las especificaciones de las ruedas que pueden utilizarse en México estan regidas por la Asociación Americana de Ferrocarriles (American Association of Railroads AAR).

Actualmente se pueden emplear dos tipos de ruedas, las de acero vaciado y las de acero rolado.

* ref. Bibliográfica no. 22

En México se producen solamente en pequeñas cantidades ruedas fundidas. La mayor cantidad de ruedas necesarias para satisfacer la demanda interna son de importación. Estas necesarias importaciones causan considerables pérdidas debido al retraso de las unidades en los talleres y los factores económicos como fugas de divisas.

Los tipos de ruedas que pueden ser utilizadas según el Manual de Normas y Prácticas recomendadas en la Sección G, División Mecánica de la A.A.R se especifican en las cláusulas M-107 y M-208 que expresan:

M-107 RUEDAS ROLADAS DE ACERO AL CARBONO.

Se amparan ruedas de acero roladas no tratadas y tratadas térmicamente, para locomotoras y carros.

M-208 RUEDAS DE ACERO VACIADO AL CARBONO.

En esta especificación se amparan ruedas de acero vaciado no tratadas y tratadas térmicamente, para emplearse en locomotoras y carros.

El análisis de estos métodos se realiza durante el capítulo de Ingeniería del Proceso.

3.2 TIPOS Y CLASIFICACIONES DE LAS RUEDAS

3.2.1. DIMENSIONES FISICAS Y CARACTERISTICAS DE SERVICIO

Las ruedas de acero rolado y las de acero vaciado se aplican tanto a carros de carga como a otros equipos. Ambas se fabrican conforme a varios diseños y composiciones químicas, siendo o no, tratadas térmicamente.

Antes de 1941 había aproximadamente 500 diseños en uso para ruedas. Esta cantidad quedó reducida a 58 diseños en 1942, que fluctuaban entre 28" (711.20 mm) y 50" (1270 mm) de diámetro. En el año de 1974 habían sido reducidos hasta 32 diseños de ruedas de acero vaciado, que variaban entre 28" (711.20 mm) y 42" (1066.80 mm) de diámetro, en uso en el equipo de nuevo diseño. Además de estos diseños; había 34 provisionales que se mantuvieron en uso en el equipo que ya las tenía. Pero no se aplicaron al equipo nuevo. Estos diseños provisionales reglamentarios se están dejando de usar a medida que el equipo se reemplaza o retira de servicio. La menor cantidad de diseños redonda que los ferrocarriles deben llevar de existencia. Actualmente existen sólo dos diámetros, de 33" (838.20 mm) usadas en el equipo de flete y las de 36" (914.40 mm) para el equipo de pasajeros.

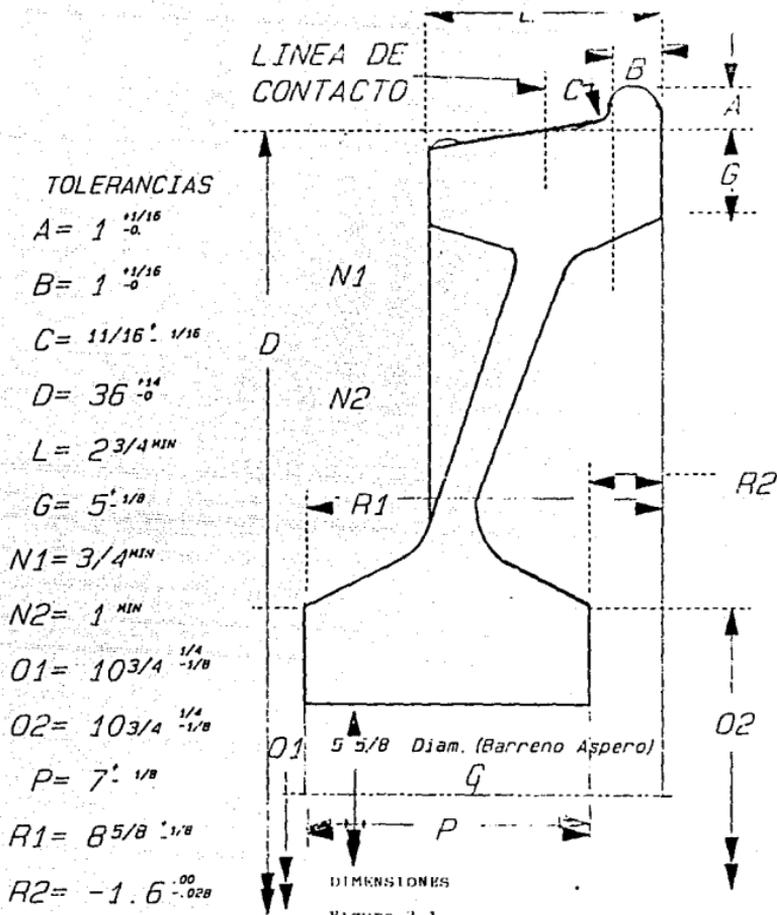


Figura 3.1.

El peso varía de acuerdo al tamaño de la rueda de 700 lbs. (354 kg.) o 860 lbs. (390 kg.). Las ruedas de acero fundido o

forjado para vagones de carga tiene las siguientes relaciones de pesos para soportar la carga a la que someten. Se observa también que el peso de la rueda forjada necesario puede ser menor que en las fundidas:

<u>Carga Límite</u> (Kg/rueda)	5840	8051	10035	11349	14912	.
<u>Peso Nominal</u> (Kg.)						.
Ruedas forjadas 33"	277.6	261.7	260.8	290.3	----	.
Ruedas fundidas 33"	299.4	299.4	294.8	303.9	----	.
Ruedas fundidas 36"	---	---	---	---	344.7	.

La descripción en las Normas de la A.A.R. de cómo distinguir los servicios para los cuales se destinan las diferentes clases de ruedas son:

- Clase U (Untreated) Servicio general; cuando las ruedas no tratadas térmicamente son satisfactorias. Esta es la única clase que se fabrica en México por el proceso de vaciado.
- Clase L Servicio a altas velocidades, cargas ligeras y empleo del freno mas frecuente que otras clases. Las características del transporte en México no corresponden y justifican el uso de estas ruedas.

3.2.2. COMPOSICION QUIMICA DE LA RUEDA

Las letras empleadas para clasificar las ruedas tratadas térmicamente representan también el contenido de Carbono del acero. La clase A, indica un contenido relativamente bajo de Carbono. La clase B, un contenido medio de dicho elemento. La clase C tiene un contenido relativamente alto. La última clase o clase L es la más suave ya que presenta un contenido más bajo que la primera clase en su composición. La clase que no está tratada térmicamente, clase U, requiere del contenido de Carbono mayor, para soportar el trabajo.

Tabla 3.1.

ANALISIS QUIMICO

< Clase U	0.65 - 0.77%	.
< Clase L (no mas de).....	0.47%	.
Carbono < Clase A	0.47 - 0.57%	.
< Clase B	0.57 - 0.67%	.
< Clase C	0.67 - 0.77%	.
Manganeso	0.60 - 0.85%	.
Fósforo (no mas de)	0.05%	.
Azufre (no mas de)	0.05%	.
Silicio (no menos de)	0.15%	.

La composición química según los diferentes requerimientos puede tener hasta una tolerancia de -0.02 o + 0.03% para el contenido de Carbono.

3.2.3. TRATAMIENTOS TERMICOS - (Templado Selectivo)

Las diferentes clases, L, A, B y C son tratadas térmicamente. El tratamiento consiste en un templado selectivo ya que únicamente se trata térmicamente la llanta ó piso para aumentar la resistencia al desgaste y a los golpes contra el riel que recibe durante el trabajo. A continuación se hace un revenido para alcanzar la dureza establecida en las normas:

Tabla 3.2.

Dureza Brinell

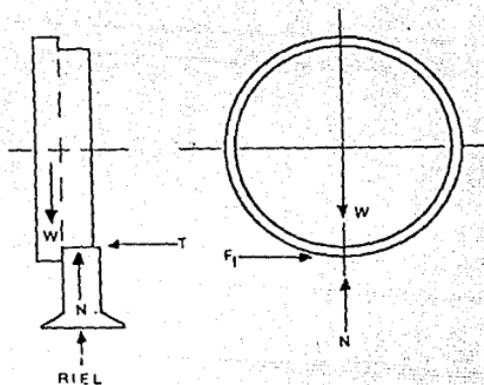
Clase	Mínima	Máxima
U	240	250
L	197	277
A	255	321
B	277	341
C	321	363

3.3. MECANICA DEL PRODUCTO

Tomando como base el espesor original de la llanta, las ruedas se clasifican como de una vida (1-W), doble vida (2-W) y vida múltiple (M-W). Las ruedas de una vida estan destinadas para usarse por un solo período de servicio. Las de doble vida y vida múltiple tienen más margen de espesor en la llanta para permitir un maquinado de su pinada desgastada y de su ceja a nuevos contornos cuando hayan quedado reducidos al grado de considerarse como delgadas, cejas altas, etc. La duración de la rueda es de 5 a 20 años, dependiendo de las condiciones de manejo y mantenimiento de vías y equipo.

Existe el comportamiento del cuerpo sólido bajo la acción de fuerzas que deberá ser mencionado; ya que las cargas exteriores aplicadas pueden ser relacionadas con los efectos en el interior de la rueda.

Las cargas exteriores son las fuerzas simples (axiales, cortantes, flexionantes y de torsión), y las fuerzas combinadas. Para el análisis de éstas fuerzas como causa del desgaste, fatiga y fallas del producto se consideran: la normal, la fricción y los esfuerzos por deficiencias en la vía principalmente y el exceso de velocidad ó de carga, el uso de ruedas con la dureza insuficiente, etc.



W : Peso de la rueda
 N : Fuerza Normal
 F_1 : Fuerza de tracción
 T : Fuerza de tendencia
 debida al ángulo de
 inclinación del piso

DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE EN UNA RUEDA

Figura 3.2a y 3.2b.

Los esfuerzos o cargas internas pueden también deberse
 simplemente a tensiones moleculares, reacciones químicas,
 variaciones térmicas, etc. Básicamente se mencionan los esfuerzos
 que tienen un mayor efecto destructivo.

3.3.1. EFECTOS POR ROZAMIENTO

Este concepto es ampliamente tratado y bien conocido por los diferentes grupos que realizan labores mecánicas reales. Esto es sin suposiciones idealistas. Entre las diferentes definiciones técnicas válidas se puede determinar como: "Fuerza de fricción que permite la existencia del movimiento y se encuentra siempre que hayan dos cuerpos en contacto".

La mecanización de las superficies de contacto, la calidad del afilado de las herramientas ó granos del abrasivo, las velocidades de corte y los avances adaptados forman parte importante para lograr una vía y una rueda adecuadas. Estas superficies de fricción van a sufrir esfuerzos que, por otra parte, el cálculo global sería inexacto. Las imperfecciones micro y macrométricas del producto harán esfuerzos mucho mayores que lo estimado. Estos esfuerzos producen en la vía y la rueda fenómenos térmicos que modifican la estructura cristalina variando el tamaño y la orientación de los granos, el estado de superficie y por lo tanto, también la dureza, la resiliencia y los módulos de elasticidad.

El estudio del rozamiento es muy complejo y para tener un control apropiado se involucra a la cristalografía, la termoquímica, la resistencia de materiales, la ciencia del calor y la físico-química superficial y molecular.

Generalmente los problemas que causan el desgaste por rozamiento y obligan a sustituir el producto con mayor frecuencia son:

- El reparto de la carga se efectúa solamente en algunos puntos de la superficie portante.

- En estos puntos de apoyo geométricos se producen esfuerzos tanto más considerables, cuanto que las superficies reales son más restringidas.

- Las cargas van a repartirse sobre un colchón de deformación elásticas.

- En los primeros instantes de la fricción, éstos esfuerzos exagerados acondicionan el metal en el sentido de una extensión de las áreas de apoyo.

- En éstas zonas de apoyo, la carga no se reparte efectivamente mas que sobre un pequeño número de aristas, que son enrasados por el desplazamiento relativo de las dos piezas en fricción; los fenómenos serán plásticos.

- El contacto de las dos superficies, al no poder ser puntual, ya que las presiones serían enormes, originan deformaciones que atacan las capas profundas. Teniendo por lo tanto, dos clases de accidentes plásticos el enrasado de los picos

y las aristas en la superficie, y la fatiga y el endurecimiento por tensiones rítmicas de las capas profundas.

Otras causas que aceleran el desgaste están íntimamente relacionadas con el rozamiento como se menciona posteriormente. Se ha observado ampliamente que los coeficientes de rozamiento disminuyen sobre superficies secas, cuando la velocidad de deslizamiento aumenta.

3.3.2. ESFUERZOS TERMICOS

Dentro de las variaciones de temperatura ocasionados desde el ambiente de servicio se consideran las producidas por el roce de la rueda con la vía y con la fricción de las zapatas durante el frenado, y otras variaciones ambientales elevadas y bruscas como son: fuego directo y cambios climatológicos drásticos.

La elevación de la temperatura durante un funcionamiento prolongado ó brusco alcanza el punto de fusión de forma puntual engendrando instantáneamente fenómenos físicos (fusión, difusión, temple), fenómenos químicos (soluciones sólidas, formaciones de compuestos iónicos oxidaciones), transformaciones alotrópicas, soldaduras, arrancamientos y una trituración de la estructura cristalina que desemboca casi en un estado amorfo de la epidermis.

Debido a los cambios rápidos de temperatura ambiente se producen choques térmicos que dan como resultado gradientes de temperatura, deformaciones y esfuerzos de las estructuras. Las fallas se deben a la formación de grietas ó de una distorsión severa de la estructura o alguna de sus partes. La fluencia y la ruptura son procesos activados térmicamente. En general, cuando más elevada sea la temperatura de fusión del material (T_m), la resistencia a la fluencia ó ruptura debida a los esfuerzos producidos será mayor.

3.3.3. TENSIONES MOLECULARES

Todos los productos presentarán cargas remanentes ya que los materiales no presentan una elasticidad total para todas las fuerzas. Cuando se sobrepasa el límite, el material sufre lesiones de endurecimiento que se mantienen en el material como reacciones a las tensiones originales. Principalmente éstas tensiones moleculares se deben a la existencia dentro del material de las diferentes estructuras. Durante la última fase del tratamiento térmico del producto, el enfriamiento es más ó menos brusco en la epidermis; recibiendo una reacción del interior se forma un esfuerzo que provoca una falla permanente.

Otra causa de tensión latente es la presencia simultánea de estados alotrópicos diferentes; por ejemplo, la estructura a base de hierro gama es más compacta que a base de hierro alfa, y la transformación por temple de la austenita en martensita produce un gradiente de variación de volumen. Estas tensiones resultantes son más importantes que las tensiones térmicas. Las tensiones moleculares remanentes son tanto más peligrosas cuanto más fuerte haya sido la variación de temperatura al templar, cuanto más baja haya sido la temperatura de revenido, cuando más limitado haya sido el tiempo de revenido ó cuanto más elevada sea la proporción de Carbón.

La forja introduce en la superficie tensiones previas que

endurecen la zona superficial, aumentan la resistencia a la tensión y adiciona esfuerzos residuales de compresión. Sin embargo, éstos factores mejoran notablemente la resistencia a la fatiga. Por último, los esfuerzos moleculares que tiene el producto debidos a los cambios de sección no son tan drásticos ya que pueden considerarse conocidos y pueden eliminarse o reducirse al mejorar los diseños. La utilización de fileteados y contornos más redondeados reducen los cambios bruscos de sección y por lo tanto los esfuerzos residuales en esas zonas.

3.3.4. ESFUERZOS POR DEFICIENCIAS EN LAS VIAS Y ESFUERZOS POR EXCESO DE VELOCIDAD O CARGA

Los rieles a una distancia paralela entre sus costados interiores conocida como escantillón, permite el tránsito del equipo cuyas ruedas se mantienen sobre la vía, gracias a las cejas con separación igual al escantillón más una pequeña holgura.

La vía requiere la máxima precisión para su alineado y nivelación adecuada para permitir altas velocidades y confort, transporte de vehículos con carga pesada y uso del tráfico constante. Se deben fijar sólidamente los rieles sobre los durmientes para amortiguar al máximo los golpes y las vibraciones.

La vida del riel puede variar desde 10 hasta 50 años; dependiendo del tráfico, mantenimiento del balasto, la clase y grado de la nivelación de éste, la supervisión de impactos directos en las juntas, la reducción de vibraciones y el mejor alineado geométrico de la vía, etc..

La vía es entonces una estructura que se deforma elásticamente bajo diversos esfuerzos. El riel precisa de un módulo de sección capaz de resistir la flexión que se produce con la carga máxima de sus impactos. El tamaño del hongo del riel o superficie de contacto con la rueda, dependerá del desgaste previsible causado por el rodamiento de la llanta, como por las pestañas al rozar en las curvas.

Las cargas internas son también factores muy importantes para el desgaste del producto. Son producidas durante el movimiento del sistema de transporte. Normalmente las mayores cargas son producidas por los golpes ó impactos entre las ruedas contra los rieles.

El correcto tondido de los rieles implica entre otros factores; dejar un claro entre tramo y tramo que permita el desahogo de los esfuerzos concentrados en la vía con el paso del ferrocarril ó de las dilataciones naturales por cambios térmicos. Esta separación es suficiente para permitir que la rueda caiga por su propio peso y al trasladarse por la inercia provoque un golpe cuyo impacto hace vibrar todo el conjunto, rompiendo los extremos del rodamiento y causando fallas internas en la rueda. La vibración destruye la cohesión molecular iniciando el desperfecto por las zonas con fisuras y defectos de producción.

3.4. FALLAS PARA REPOSICION DEL PRODUCTO

Las fallas se presentan externamente como grietas o distorsiones severas de la estructura o alguna de sus partes. Todas ellas causadas por los factores anteriormente mencionados.

Los resquebrajamiento que se producen normalmente en la superficie de la llanta después de un arduo período de servicio son las fallas resultantes de las intrusiones. Mientras la falla se desarrolla, los caras adyacentes realizan un trabajo una contra la otra, aumentando entonces el defecto y haciendo necesario el cambio y la reparación de la rueda. Por lo común, las grietas se autopropagan extendiéndose a través del miembro aumentando los esfuerzos en la zona.

Básicamente existen ocho causas para mandar al taller a un vagón con desgaste en las ruedas:

- Llanta Hojeada.- cuando se presenta una grieta circunferencial en la cara delantera ó posterior de la llantas una indicación de que el hojeado comienza a desarrollarse. El defecto de la llanta se presenta como una fractura lisa.
- Llanta Extendida.- el ensanchamiento de la llanta generalmente se produce por una aplanadura en la pisada y es probable que esta tenga grietas o desconchaduras.
- Pisada Desconchada.- es de consideración cuando la superficie de la pisada tiene porciones de metal

desprendidas en varios lugares, más ó menos continuas alrededor de la llanta.

- Aplanaduras por Arrastramiento y Pisada con Metal Amontonado.- es ocasionado por la elevada temperatura que se alcanza en el metal de la pisada ó el de las zapatas que hace que se alcance un estado plástico.
- Grietas por Calentamiento.- son causadas también por la elevada temperatura alcanzada durante los enfrenamientos. Estos defectos aparecen solo transversalmente en la pisada ó en la ceja. En casos más serios puede abarcar toda la pisada y llegar al plato.
- Pisada Astillada.- es el resultado de pequeñas porciones de metal que se desprenden entre o cerca de las marcas producidas por calentamiento; las que a su vez pueden estar asociadas con leves aplanaduras sucesivas por arrastramiento.
- Pisada con Metal Amontonado (por arrastramiento).- este defecto es ocasionado cuando el metal de la pisada ó el de las zapatas se amontona por arrastramiento prolongado.
- Ruedas con Sobrecalentamiento.- se debe a la exposición a incendios, descongelamiento con flama directa ó cuando la rueda estando en servicio soportó los frenos atorados ó pegados.

INGENIERIA DEL PROCESO

4.1. PROCESOS PARA FABRICAR RUEDAS DE FERROCARRIL

El análisis de los procesos es una necesidad en la industria manufacturera. La implementación del proceso adecuado para fabricar ruedas de acero sólido depende de muchos factores y requiere de considerables conocimientos y capacidad del analista de proceso. Varios de los factores que deben tomarse en cuenta para determinar el proceso adecuado son mencionados en las normas especiales para la fabricación del producto. Otros, dependen directamente de la decisión administrativa y técnica de la empresa.

En la forja de piezas circulares pesadas existe actualmente la posibilidad de escoger, dependiendo de la diferente gama de dimensiones del producto y la cantidad del lote a producir, principalmente entre los siguientes procesos:

- a) Fundición
- b) Forja con Martillo
- c) Forja con Prensa
- d) Forja Rolada
- e) Maquinado Automático

4.1.1. FUNDICION

Es el proceso que da forma a un objeto al hacer entrar material líquido en un espacio ó cavidad con la forma deseada. Los procesos de colada son variados y pueden agruparse en dos grupos:

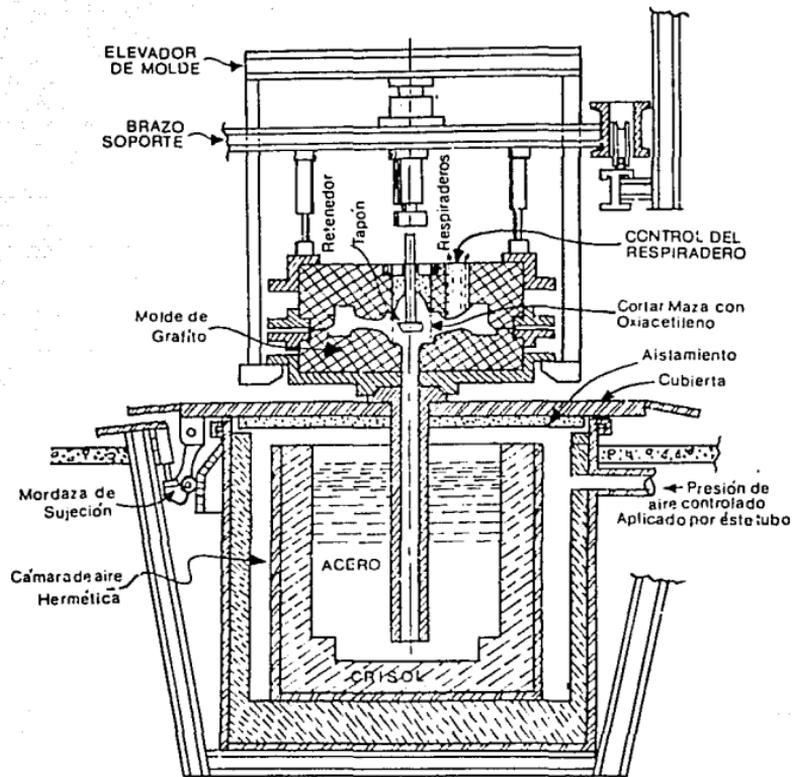
- Fundiciones en moldes de arena y
- Fundiciones en moldes permanentes

Comprende básicamente los pasos siguientes:

- 1.- Construcción y preparación de los modelos
- 2.- Fusión del material y vaciado ó colado en los moldes
- 3.- Limpieza y ajuste de las piezas

El interés en este proceso es solamente en el que ocupa la producción de ruedas de ferrocarril. La producción de productos anulares fue realizada preferentemente con el método de fundición sacrificando la calidad y la dureza por la facilidad y disponibilidad del equipo.

La manufactura de ruedas para vehículos que transitan sobre rieles por el proceso de fundición es empleado en México por Fundiciones de Hierro y Acero S.A. (F.H.A.S.A.). Las ruedas del actual método de vaciado en México, no llega a satisfacer completamente las necesidades del país. Todos los procedimientos que emplean los fabricantes de ruedas de acero vaciado tienen por objeto producir ruedas que se ajusten a las especificaciones de la A.A.R..



En México se utiliza el proceso de fundición por colada a presión (fig.4.1) desarrollado hacia 1950 por la Griffin Wheel Co. en Estados Unidos de Norteamérica.

La fusión del metal para ésta clase de ruedas se efectúa en hornos eléctricos. El material de la fusión consiste en ruedas de desecho, chatarra de acero y pedacerías de metal utilizable en las fundiciones mezclados con materiales de alta proporción de elementos que son necesarios para producir la composición química requerida. Dependiendo del tipo de material, el calentamiento puede ser hecho en hornos de hogar abierto ó proceso básico como el de Thomas y el B.O.F. (Basic Oxigen Furnace). Obtenida la fusión completa del metal, las ruedas se vacían en moldes dependiendo de los detalles de éstos en las prácticas adoptadas por los distintos fabricantes. En F.H.A.S.A. se vacían las ruedas en moldes de grafito compuestos de dos bloques maquinados. La mitad inferior tiene en su parte central un agujero por el cual se introduce a presión el acero fundido. La mitad superior tiene respiraderos revestidos de arena cerca de la llanta por donde regresa el material a la pisada de la rueda durante la solidificación; produciéndose de ésta manera una fundición compacta. La inyección se hace mediante aire a presión desde la parte inferior del molde, regulada automáticamente para que la alimentación del material sea uniforme. Cuando el molde se ha llenado, un tapón u obturador es forzado en su asiento en la parte inferior del molde para evitar que se regrese el acero.

Las ruedas se dejan enfriar en sus moldes hasta que estén completamente solidificadas. Las ruedas son sacadas del molde y su enfriamiento es regulado ya sea antes ó despues de quitar el centro de la maza para formar un barreno.

Todas las ruedas de acero vaciado deben someterse a un tratamiento térmico de recocido, para obtener los cambios metalúrgicos deseados y una distribución más favorable de los esfuerzos residuales en la rueda.

Antes de su inspección final, las ruedas acabadas se sopletean con pequeñas particulas metálicas para darles una limpieza superficial y permitir ver los defectos que pudieran existir. Las marcas de registro y especificaciones deben aparecer claras sobre la cara.

4.1.2. FORJA CONVENCIONAL

La forja que emplea los equipos de presión ó impacto normales es el proceso más antiguo. Por éste método se obtiene una relación entre peso del bloque al peso de la pieza terminada desfavorable. Las máquinas requeridas para la forja de piezas de grandes dimensiones son de un tamaño excesivamente grande y requieren de un herramental muy pesado y costoso.

En caso de tratar de implementar este proceso con dichos equipos habrá que cambiar constantemente el herramental pues, a pesar de ser material especial, no soportaría la continuidad del proceso, acarreando considerables pérdidas de tiempo y elevación de los costos de producción. Por lo tanto este método no es el más apropiado para forjar piezas similares a las ruedas macizas. Debido a los inconvenientes y desventajas de éstas técnicas convencionales se han desarrollado nuevos procesos que disminuyen la carga necesaria para fabricar piezas anulares. Este proceso es el que se conoce como laminación ó rolado de anillos.

4.1.3. LAMINACION DE ANILLOS

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Después de varias y amplias investigaciones en máquinas de prueba, resultó en los últimos años la gran conveniencia de utilizar otro método de forja para formar productos anulares de grandes dimensiones en altas cantidades con muy buena calidad, resistentes y con más bajos costos. (*)

El proceso moderno para forjar por el cual se fabrican sólo elementos circulares tiene todas las ventajas del proceso de forja convencional más los ahorros y cualidades desarrolladas. Este proceso consiste en la extensión radial del bloque prepunzonado entre los rodillos formadores. La presión de laminado aplicada al bloque reduce su espesor de pared, aumentando simultáneamente el diámetro. Los rodillos tienen el perfil adecuado para formar la sección transversal deseada.

Los factores más importantes que requieren especial atención para el correcto formado por éste proceso son como en la forja convencional:

- a) Un diseño apropiado de la sección inicial que sea controlada por las posibilidades de formado en la prensa roladora.
- b) Mantenimiento adecuado de las condiciones físicas.

La fabricación de una rueda por medio de este proceso de forja se inicia al tener un bloque de acero con el peso apropiado

* Laboratorios de Thyssen Industrie AG, Alemania Occidental

para formar completamente la pieza. Este bloque puede consistir a partir de:

- Lingote individual
- Bloque cortado de un lingote largo
- Bloque cortado de un lingote forjado circularmente

El peso del bloque es un factor muy importante para poder realizar adecuadamente cualquier tipo de forja. Obteniendo el peso inicial se consigue fácilmente el volumen que se pretende forjar y que deberá ser suficiente para llenar las cavidades y permitir la fluencia del exceso de material sin rebasar la tolerancia para no sobrecargar los dados y la máquina.

Escencialmente el proceso se compone de cinco estaciones donde se realizan los diferentes formados hasta obtener el producto acabado:

- 1.- Cabeceado ó compactación
- 2.- Prepunzonado
- 3.- Preformar y agujerar
- 4.- Rolar
- 5.- Ajuste

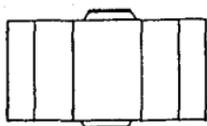
El proceso se inicia calentando cuidadosamente el bloque hasta la temperatura de forjado por los métodos de inducción, flama directa, hornos, etc. Este bloque es entonces llevado a la línea de forja que consiste en una prensa mecánica, hidráulica ó martillo de forja abierta con la capacidad suficiente para formar

un bloque circular ó 'blank'. Se selecciona una prensa de 5,000 toneladas pues la prensa puede ser coordinada con las siguientes operaciones automáticamente

Al disco en bruto se le vuelve a forjar dentro de la misma estación con un juego de dados de preformado para reducirlo en diámetro y después acomodarlo para formar una reducción de material al centro del disco. En otro paso de la misma estación con la prensa seleccionada se procede a perforar en el centro del bloque formando un toroide. El dado en esta etapa permite formar un poco más el 'blank'. Este paso al igual que la etapa de prepunzonado puede considerarse como forja cerrada. Al terminar estas operaciones, el material es retirado con la ayuda de manipuladores ó llevado sobre rodillos a la estación principal: La de rolado.

La rueda aún en bruto llega a la máquina roladora para que sea formada a la sección y el diámetro requeridos. Las operaciones de rolado en caliente mediante las cuales la rueda en bruto queda convertida en acabada se ilustran para los dos tipos de máquinas (fig. 2.10a. y 2.10b.).

La rueda semiacabada que al terminar de ser laminada queda con su plato plano tiene que ser llevada a una prensa



a) BLOQUE



b) LIGOTE FOJADO



c) RUEDA FORJADA EN BRUTO



d) RUEDA RCLADA



e) RUEDA ACABADA

PASOS TIPIICOS PARA FABRICAR RUEDAS DE ACERO FORJADAS

Figura 4.2.

especial para ajustarla a una forma cónica de mayor resistencia y aproximar la llanta al diámetro necesario en la línea de partición. La línea de partición del dado tiene una posición importante considerando las fibras estructurales de la forja terminada. Las fibras estructurales deben seguir los contornos de la pieza lo más apegado posible para asegurar las propiedades de ductilidad ó dureza. Esta línea se trata siempre de que se forme donde la pieza este sujeta al mínimo esfuerzo pues las fibras fueron cortadas durante el proceso de recorte, dejando una concentración de esfuerzos por cambio de sección. Durante ésta operación se estampan también los datos de identificación en la parte posterior de la rueda. La operación de maquinado necesaria para ajustar las ruedas laminadas a las dimensiones de diseño y eliminar las superficies descarburizadas es considerablemente menor que en el proceso de vaciado, por la mayor precisión.

Después de la operación final de conformar la rueda en caliente, su enfriamiento se controla principalmente para que sea gradual y evitar las fracturas y desprendimientos de porciones de acero. Las últimas operaciones de limpieza y tratamiento térmico también juegan un papel muy importante para la duración de la rueda. Las ruedas al igual que en fundición son tratadas térmicamente y necesitan menor maquinado para ajustarlas a las especificaciones de tolerancias de la A.A.R.. El tratamiento térmico es una operación aparte del proceso de forja que se efectúa básicamente para aumentar aún más la resistencia y la dureza del metal de la rueda y de la pisada. Se aumenta así la

capacidad de carga y resistencia al desgaste. Durante el proceso de tratamiento térmico las ruedas son enfriadas hasta un punto inferior a la temperatura crítica, después son recalentadas a una temperatura superior a dicho punto y luego son templadas y revenidas. El templado puede efectuarse a toda la rueda ó únicamente a la llanta. Las ruedas de la clase 'U' no reciben esta operación.

4.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS PARA FORJA CONTRA FUNDICION

El proceso de vaciado para producir ruedas de ferrocarril en México es antiguo y presenta varios inconvenientes prácticos y técnicos que lo hacen poco competitivo en el mercado extranjero y muy costoso en cuanto a consumo de energía y necesidad de materias primas importadas. Sin embargo, se utiliza también para producir formas de diseños muy complicados aún para la forja, de tamaños excesivamente grandes y cuando la resistencia no es primordial ni se requiera 'economía'. La economía está también en función de la cantidad de materia prima nacional y de importación. El factor económico aunque no es una limitante mecánica sí es importante para llevar a cabo el proceso de rolado. Esta limitante se presenta sobre todo para las piezas pequeñas, para las partes de grandes dimensiones, aún no existe límite.

En el proceso de laminado de anillos el costo del herramental es elevado dependiendo de la forma, pero se compensa al poder reducir el tamaño de la máquina necesaria. En el proceso actual, después de alcanzar la temperatura de fusión es necesario generar más calor para poder transformar el acero de la fase sólida a la líquida.

Para la limpieza y ajuste de las piezas fundidas se requiere cortar las mazarotas (reservas de material para compensar las pérdidas de volumen por contracción) y bebederos. De ordinario se recurre a sopletes ó a sierras, procesos poco simples y

económicos. También se requiere una limpieza de las costras de arena. El porcentaje de deshecho ó piezas reprocesadas es mayor debido a que las variables de cuidado del proceso de fundición son considerablemente más numerosas que en el proceso de forja.

En la etapa de enfriado existe un efecto indeseable sobre el metal a menos que las temperaturas altas se mantengan; la fuerte contracción. Por falta de flexibilidad del molde ó de equivocada proyección de la pieza, provoca las grietas y las roturas principalmente. Las piezas de fundición se han limitado a aleaciones de bajo punto de fusión y aleaciones con poco grado de reducción. Los metales que tienen un alto coeficiente de contracción deben ser eliminados del molde lo más rápido posible.

La relación entre el peso del material inicial y el peso de la pieza terminada es desfavorable en el vaciado. En el rolado solamente existe una variación de peso inicial a peso final de 3% a 7% causada por el punzonado necesario de la pieza y el maquinado mínimo requerido para ajustar la pieza final. Las mermas en la fundición son notoriamente mayores y por lo tanto provocan pérdidas ó reprocesamientos considerables en cada carga.

El material requiere de ser colado para eliminar las escorias. En las proximidades de los bebederos ó rebosaderos siempre se aglomeran escorias que pueden perjudicar el acabado superficial.

Por tratarse de una formación en estado líquido, la

solidificación no altera la estructura granular y por lo tanto, no existen propiedades direccionales y estructuras laminares. En el proceso propuesto, el flujo del grano se adapta a cualquiera de las formas donde existe mayor esfuerzo. La resistencia a la rotura de una pieza rolada es mayor a la de una formada con el forjado convencional y por lo tanto también será mucho mayor que la obtenida por el vaciado. Las fundiciones presentan también, por falta de propiedades direccionales, ductilidad y tenacidad inferiores.

Los defectos de las piezas fundidas son cuantiosos y se presentan con mucha frecuencia. Se presentan los defectos advertibles desde el exterior y los defectos ocultos. En la fundición tenemos en el grupo de visibles externamente: Alabeos, aplastamientos, hundimientos, empujes, rebabas, pérdidas de registro, inclusiones de arena y escoria, piezas no llenas, discontinuidades, arranques de partes del molde, escapes de metal, falta de metal, grietas, roturas, etc.. Entre los defectos que sólo son advertibles por los diferentes métodos para examinar interiores están: Soluciones internas de continuidad, porosidades, agujeros, burbujas, sopladuras, rechupes, contracciones, temple inverso, estructuras abiertas ó gruesas, segregaciones de grafito, temple difuso, escoria e inclusiones de materias heterogéneas. En el proceso de rolado existe una mínima posibilidad de que los productos presenten el defecto de alabeo.

La fundición de piezas de grandes dimensiones siempre debe

hacerse en cajas ó fosas completamente secas; por esto no se realizan instalaciones continuas de carrusel. La mecanización está limitada a la preparación de las arenas y el moldeo. El aumento de la demanda de piezas y la competencia en los mercados han hecho necesarios el estudio y empleo de máquinas especiales para preparar los moldes de manera rápida y sencilla.

El proceso de rolado es más económico que la forja convencional. La fuerza necesaria actualmente es tan sólo una fracción de la fuerza de prensado ó de impacto. La transformación es más rápida y tiene un consumo menor de energía. Cuando se expande el bloque por el proceso propuesto, se obtienen reducciones en el tiempo de producción y rendimiento. La reducción de costo con la menor pérdida de material es considerable. Utilizando el preformado y el rolado del bloque con una prensa, y posteriormente un acabado con martillo se disminuye la necesidad de dejar rebaba extra y así aumentar la duración de los dados.

La laminadora de discos se presenta especialmente para la laminación de grabaciones axiales y es por lo tanto un complemento idóneo para la forja de piezas circulares de grandes dimensiones. Una gran variedad de perfiles pueden ser forjados actualmente con los diferentes dados. Debido a las ventajas tecnológicas y geométricas, su aplicación será cada vez más amplia.

Es también una propiedad importante para aplicar el proceso de forja, las características que se consiguen en el producto

terminado en cuanto a sus propiedades estructurales. Se obtiene una calidad uniforme de acabado; superior a las cualidades logradas con la forja convencional. En estos procesos de forja pueden usarse materiales más económicos y que alcanzan propiedades físicas semejantes a los materiales para fundición. Se pueden formar piezas con ángulos rectos ó agudos sin la necesidad de utilizar las restricciones de la forja convencional en cuanto a los ángulos necesarios de escape para cada material.

Las superficies de la pieza al salir del proceso son más tersas y en caso de utilizar rodillos perfilados se puede llegar muy cerca de la forma final. Se logran precisiones dimensionales más elevadas con menores tolerancias. Contrariamente a la forja cerrada, en el rolado circular las dimensiones y formas de los productos terminados no están proyectadas por la impresión del dado.

El formado del bloque inicial es de suma importancia. Debe permitir el rolado de la sección final sin mucho forzamiento que aumentaría el desgaste del herramental. Las escamas son eliminadas con el preformado del 'blank', teniendo entonces una superficie limpia y suave. Gracias al acabado superficial que deja el rolado, existen operaciones de maquinado que se reducen y hasta eliminan. El desgaste del herramental comparado con el de la forja convencional es menor. También evita el riesgo del formado de rebaba en la línea de partición y otros defectos como cavidades huecas, cantos sin formar, etc..

Durante los métodos convencionales de forja para extender el material puede verse interrumpido el proceso debido a que el alargamiento no es únicamente circunferencial sino que también en dirección axial. Suelen requerirse de calentamientos intermedios cuando en la forja convencional se enfrían las piezas. La expansión del bloque por el método convencional es bastante más tardado que por el proceso de rolado, requiriendo de calentamientos repetidos, desajustes dimensionales y necesidad de mayores tolerancias.

Puede tener también gran utilidad en la producción de rodamientos ó guías interiores y exteriores para baleros, partes de transmisiones como engranes automotrices y agrícolas, resortes de fricción anulares, amortiguadores ó muelles, anillos de expansión, anillos reforzados para tanques a presión y pipas, partes de turbinas, ruedas de translación para gruas, etc.. En algunos casos como resortes anulares, no se requiere de un maquinado posterior. Sin embargo, el poco maquinado que sea requerido en otra variedad de productos es solamente para remover las zonas decarburizadas y ajustar la tolerancia requerida.

La fundición y la forja han sido procesos desarrollados conjuntamente pero la fundición tuvo un mayor empuje cuando el hombre se encontró con materiales difíciles para ser forjados y en cambio estos mismos metales sólo presentaban el problema de encontrar su temperatura de fusión y después vaciarlo en un molde. La forja requería de un mayor esfuerzo físico y presentaba más

complicaciones para terminar un producto semejante.

La fundición ha sido base de todas las industrias para facilitar su desarrollo y, por lo tanto, los estudios de esta gama de procesos son mas amplios y completos. Exige amplia cultura profesional pues al igual que la forja requiere de conocimientos técnicos tan diversos como: El dibujo industrial, la mecánica de los cuerpos sólidos y fluidos, la óptica, la termología y termodinámica, la electrónica, la química, etc..

INGENIERIA DE MANUFACTURA

5.1. DESARROLLO DEL PRODUCTO

La manufactura moderna es una actividad industrial que requiere recursos tales como: Elemento humano, materiales, máquina ó equipo y capital. El propósito principal de la manufactura es elaborar productos útiles a partir de materias primas.

Los procesos de manufactura se pueden clasificar en diferentes formas sobre la base de factores como los tipos de materiales procesados, tipos de equipos empleados y tipo de manufactura. El método y la máquina seleccionados para cualquier forja en particular, dependen de la complejidad del forjado en sí y de la cantidad requerida.

Como se ha mencionado anteriormente; para la elaboración de ruedas para ferrocarriles, piezas circulares similares ó anillos donde se utilizan procesos más antiguos es conveniente aplicar procesos complejos con nuevos diseños de máquinas que permiten mayor productividad y mejor calidad.

Los criterios básicos desarrollados para seleccionar los equipos en la forja convencional también son útiles para cuando se trate de seleccionar una máquina más sofisticada.

5.2. SELECCION DEL EQUIPO EN BASE AL TAMANO Y CAPACIDAD

Habiendo seleccionado el producto y determinado todas sus características, es necesario determinar el proceso y equipo a utilizar. En la selección del proceso para forjar ruedas sólidas se escoge entre la vasta gama de equipos de forja para piezas de grandes dimensiones, el que más ventajas tiene para realizarlo. El equipo es básico para producir y satisfacer las demandas necesarias del producto con la inversión adecuada.

Conociendo el producto que va a fabricarse es inevitable conocer si el herramental podrá soportar las presiones y si existe entre los equipos alguno que pueda ejercer la fuerza y la potencia suficientes. Para esto se calcula la presión de interfase y la fuerza durante el proceso de deformación plástica.

La selección del equipo para forjar depende primero, del tipo de material (resistencia a la compresión) y el diseño de la pieza (area plana de la forja, radios, protuberancias y disminuciones, grado de terminación, etc.); después, depende del costo y la cantidad de producción y por último de la existencia de máquinas en el mercado con las capacidades necesarias.

Para la estimación de las fuerzas y presión requeridas, hay que tener en cuenta principalmente tres factores:

- 1.- El esfuerzo en el cual la deformación plástica, en frío,

se puede mantener sin llegar al punto de ruptura; es llamado esfuerzo de fluencia y es distinto en magnitud al esfuerzo de cedencia.

2.- Los efectos de fricción entre la pieza de trabajo y los dados afectan directamente en un aumento de la presión ejercida. (fig 2.4.)

3.- La deformación depende del tipo de materiales; sean homogéneos ó heterogéneos, que también se refleja en el aumento del valor de la carga.

Debido a las limitaciones impuestas por el tipo de material y el diseño, existen complicaciones para relacionar la energía ó trabajo de los martillos de caída libre con los pesos y dimensiones de las forjas que pueden producir, de forma muy precisa. Sin embargo, aunque cada proceso de forja tiene ciertas características propias, existen algunas fórmulas básicas útiles para calcular la fuerza:

a) Para el cálculo de la deformación natural de compresión (ϵ):

5.1.
$$A_c = \frac{l_0 - l_1}{l_0}$$

A_c : acortamiento por unidad de longitud ó alargamiento por unidad de área

5.2.
$$A_c = \frac{h_0 - h_1}{h_1} = \frac{\Delta h}{h_1}$$

h_0 : altura original
 h_1 : altura final

considerando que el proceso es isométrico ($V_0 = V_1$), entonces el

volumen original puede expresarse como:

$$V = A_0 h_0 = A_1 h_1$$

$$5.3. \quad A_c = \frac{\Delta A}{A_0} = \frac{A_0 - A_1}{A_0}$$

Integrando los acortamientos sufridos por la pieza tenemos:

$$5.4. \quad \epsilon = \int_{h_1}^{h_0} \frac{dA}{h} = \int_{A_0}^{A_1} \frac{dA}{A} = \ln \frac{h_0}{h_1} = \ln \frac{A_1}{A_0}$$

b) Cálculo de la rapidez de deformación ($\dot{\epsilon}$); útil posteriormente para la evaluación del esfuerzo de fluencia para el trabajo en caliente:

$$5.5. \quad \dot{\epsilon} = \frac{d}{dt} = \frac{dh}{dt} = \frac{dh}{dt} \cdot \frac{1}{h} = \frac{V}{h}$$

c) Cálculo del esfuerzo de fluencia (σ_f):

$$5.6. \quad \sigma_f = \frac{P}{A} = C \dot{\epsilon}^m$$

C: coeficiente de resistencia en caliente

La sensibilidad de la razón de deformación (m) se obtiene de la relación entre los cambios incrementales del esfuerzo y la rapidez de deformación. Para efectos en ingeniería, a temperatura ambiente se considera del orden de 0.01:

$$5.7. \quad m = \frac{\sigma \log \sigma}{\dot{\epsilon} \log \dot{\epsilon}}$$

d) Determinación del tipo de deformación de acuerdo al material homogéneo ó heterogéneo. Para calcular también la presión de interfase y su factor:

1. Una deformación homogénea satisface $h/l = 1$
2. Una deformación heterogénea cumple $h/l > 1$
3. Deformación con fricción dominante $h/l < 1$

Para el caso 1, los efectos de fricción se presentan y deben ser calculados previamente con la tabla de coeficientes de fricción anexa, para después poder aplicar un factor multiplicador (Q) adecuado.

Para el caso 2, el material tiene un comportamiento aproximadamente en su deformación igual que en las pruebas de dureza donde se observa que la dureza de mella es 3 veces mayor que el esfuerzo monoaxial de compresión; siendo en este caso el factor multiplicador de presión (fig.2.6) con el valor máximo de 3. Los factores multiplicadores de presión (Q) deben ser tomados de la geometría de la pieza al final de la carrera, donde la presión ya no varía y es máxima.

e) Calcular la presión promedio de interfases (P), la fuerza de deformación (F):

5.8a.
$$P = \sqrt{P} Q$$

$$5.8b. \quad F = PA$$

$$5.8c. \quad F = Q_p Q_e A$$

f) Los cálculos para determinar la energía ó trabajo y potencia requeridas para la deformación son simples. La mayoría del trabajo, durante la deformación, se transforma en calor el cual de no ser conducido rápidamente ó eliminado elevará la temperatura de la pieza y los dados a altos niveles.

La energía que deben liberar los martillos para producir una forja sera mayor que la energía requerida por la forja ó tenacidad del material. La energía que absorbe el material para ser formado puede determinarse analíticamente por medio de la energía de deformación plástica para esfuerzo uniaxial:

$$5.9. \quad T = E = Fd$$

T: trabajo .

E: energía abs

d: carrera

$$d = \epsilon_m h_e$$

entonces sustituyendo las relaciones anteriores;

$$5.10. \quad E = Q_p A \epsilon_m h_e Q_e$$

ϵ_m ; es la deformación promedio y Q_e ; es el factor de energía requerida dependiendo de la forma.

La energía de impacto del martillo (E_i) es la misma que la energía cinética del ariete, por lo tanto:

$$5.11. \quad E_i = \frac{Mv^2}{2} = \frac{Wv^2}{2g}$$

La velocidad de impacto (v) del martillo aumenta al tener una mayor altura de caída (y) ó al aumentar la aceleración con la fuerza del pistón (área y presión):

$$5.12. \quad v = \sqrt{2ay} = \sqrt{2\gamma(g + A_1 P_m)}$$

Cuando se calculan las presiones a partir de los resultados experimentales obtenidos en máquinas de ensayo universales, se duplican por lo general las cargas registradas al seleccionar un equipo; para dejar un margen por la diferencia entre las velocidades de las máquinas, su acción positiva y un margen de seguridad.

La capacidad necesaria para forjar puede determinarse de varias maneras al igual que para el caso del martillo. Estos métodos aún no son del todo satisfactorios debido a las dificultades en sus aplicaciones y porque los esfuerzos varían considerablemente dentro de toda la pieza al igual que las cargas entre la superficie y las caras del molde. También puede determinarse la presión requerida por el equipo a partir de pruebas directas con el herramental de acabado y máquinas de

prueba ó prensas hidráulicas con diferentes escalas de medición. Con éstas pruebas puede obtenerse una aproximación de la presión necesaria para una prensa mecánica, con tan sólo duplicar el valor obtenido en las pruebas con el equipo hidráulico. Debido a las variaciones de diseño y operaciones entre las prensas mecánicas e hidráulicas, no pueden relacionarse con mucha precisión y directamente las capacidades.

Análíticamente la presión requerida puede calcularse mediante la fórmula obtenida anteriormente (5.8c.)

Se considera que las prensas mecánicas desarrollan su fuerza máxima casi al final de la carrera, mientras que con las prensas hidráulicas se puede obtener una carga completa tan pronto como el dado hace contacto con el material.

Con las máquinas de ensayos universales y las pruebas realizadas en los equipos bajo condiciones preestablecidas, se obtienen una serie de valores con los que se forman gráficas y tablas. Estas herramientas que existen en la industria metal-mecánica permiten hacer evaluaciones muy aproximadas del tamaño y capacidad del equipo requerida de manera más rápida y simple. Las gráficas adjuntas relacionan los diferentes valores experimentales evitando hacer los cálculos. En estos esquemas, basta aplicar los cálculos y pesos sugeridos para seleccionar un martillo de vapor para forja cerrada ó de caída libre.

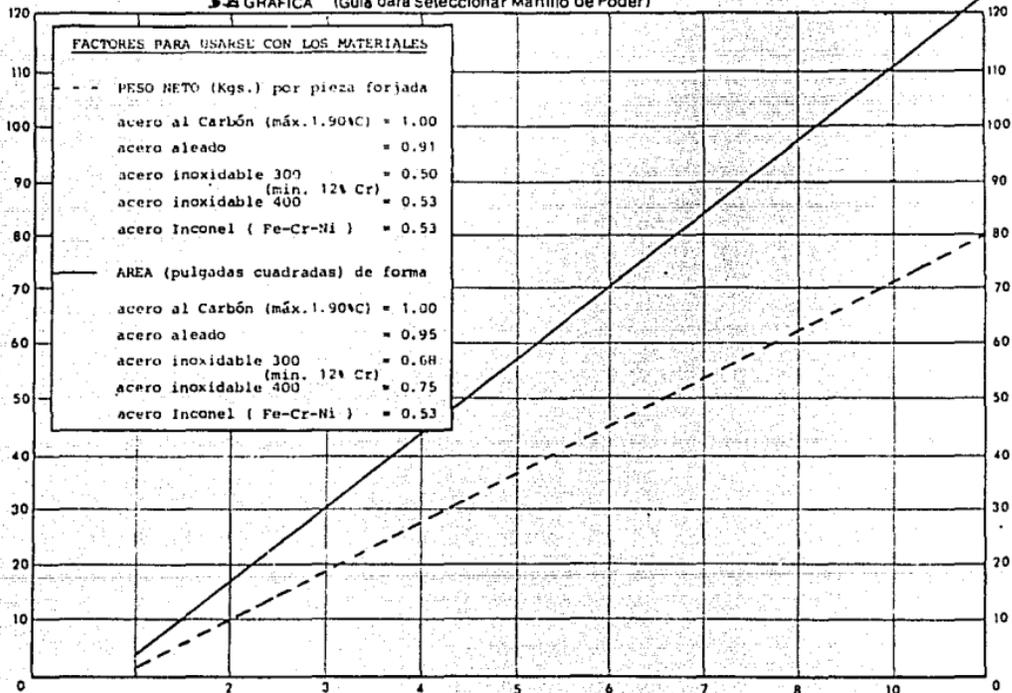
Para las gráficas 5.1., 5.2. y 5.3.:

- 1.- Calcular el área plana de la forja en la línea de partición.
- 2.- Calcular el peso neto de la forja.
- 3.- Entrar a la gráfica; correspondiendo una capacidad de martillo para la curva de area y otra para la curva de peso.
- 4.- Con las dos capacidades se calcula un promedio, el cual se utiliza para componer la capacidad buscada.

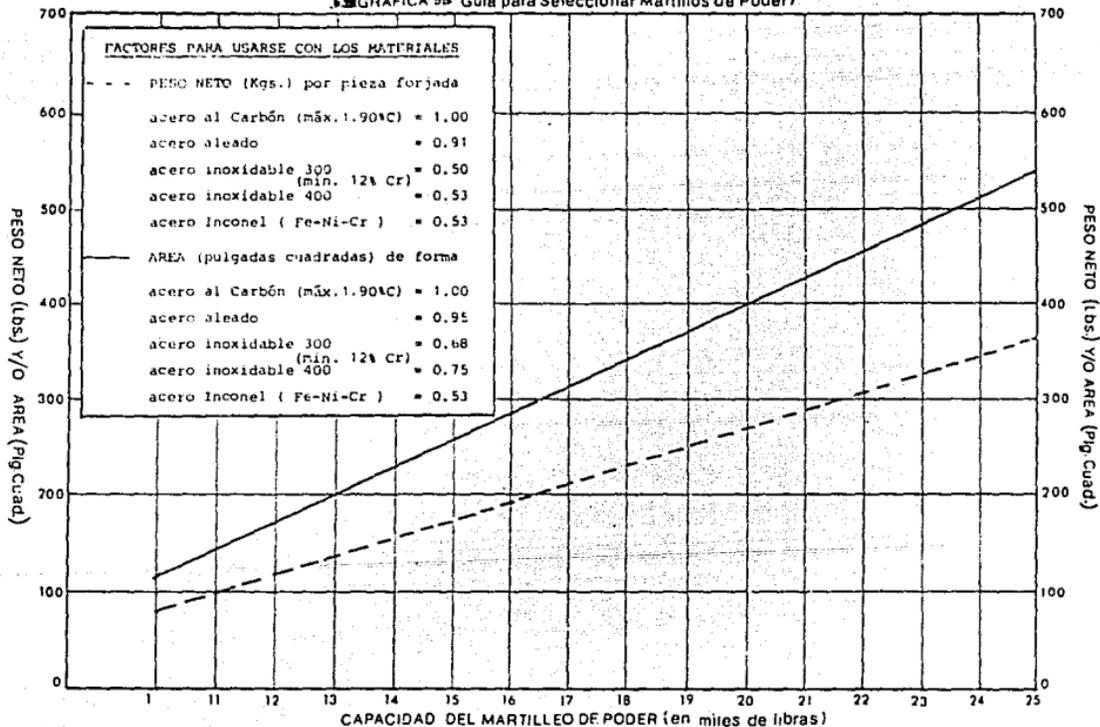
NOTA: En la gráfica se incluyen los diferentes factores de corrección dependiendo del tipo de material utilizado.

Otras tablas que facilitan la determinación del tamaño del equipo de caída libre y que son útiles para seleccionar otro martillo ó prensa equivalente son la 5.4. y 5.5.

52 GRAFICA (Guía para Seleccionar Martillo de Poder)



59 GRAFICA 58 Guía para Seleccionar Martillos de Poder



Con las tablas 5.4. y 5.5:

- 1.- Calcular el área plana de la forja ($A = \pi D^2/4$).
- 2.- Considerar conforme a las tablas el aumento de área por exceso de material con la rebaba.
- 3.- Aplicar un factor del material que refleja la gama de energía requerida para forjar (pie-libra).
- 4.- Este valor puede ser utilizado para determinar un martillo con la capacidad apropiada dentro de la gama de fabricación.

Tabla 5.4. FACTOR PARA EXCESO DE MATERIAL

Para Diámetro de:	Incremento Rebaba x Lado
0" - 8"	1.00"
9" - 12"	1.25"
13" - 16"	1.50"
17" - 24"	1.75"
25" -	2.00"

Tabla 5.5. FACTOR DE ENERGIA (pie-libra)

Aleación de Aluminio	225 - 325
Acero al Carbón	250 - 350
Aleación de Acero	350 - 500
Acero Inoxidable	400 - 700
Aleación de Titanio	600 - 900
Aleación Termoresistente	700 - 1200

La selección del factor de energía mayor ó menor depende de la rapidez de enfriamiento de la pieza. A mayor velocidad de

enfriamiento mayor dificultad para forjar y por consiguiente el factor será el valor máximo.

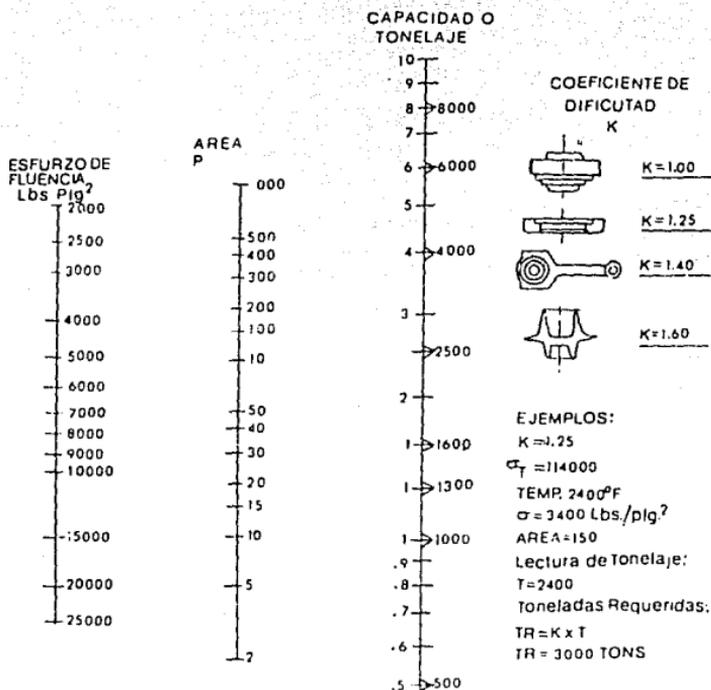
Un método gráfico utilizado para la selección de prensas se muestra en tabla 5.6a. y 5.6b.:

- 1.- Escoger el coeficiente de dificultad (K) según la forma.
- 2.- Determinar el esfuerzo de tensión del acero.
- 3.- Conocer la temperatura a la cual se va a forjar.
- 4.- Obtener el esfuerzo de fluencia () para tal temperatura
- 5.- Calcular el área y entrar a las escalas.
- 6.- Unir los puntos para obtener una recta hasta el tonelaje aproximado y
- 7.- Multiplicar esta cantidad por el factor (K).

Tabla 5.6a. ESFUERZOS DE FLUENCIA PARA EL ACERO

Esfuerzo de Tensión	A TEMPERATURA DE FORJADO			
	57,000	85,000	114,000	142,000.
	(lbs/plg ²)			
1,800 oF	4,300	7,700	10,700	15,500
2,000 oF	3,130	5,100	7,300	9,700
2,200 oF	2,700	3,100	5,100	7,100
2,400 oF	2,000	2,850	3,400	4,300

Tabla 5.6b. METODO GRAFICO PARA LA OBTENCION DEL TONELAJE DE UNA PRENSA



ESFUERZO DE TENSION	57000 Lbs./Pig ²	85000 Lbs./Pig ²	114000 Lbs./Pig ²	142000 Lbs./Pig ²
1800°F	4300	7700	10700	15500
2000°F	3130	5100	7300	9700
2200°F	2700	3100	5100	7100
2400°F	2000	2850	3400	4300

5.3. METODO DE SELECCION EN BASE A LA CANTIDAD Y AL COSTO

Sólamete que sea impuesto por las condiciones, como forma poco común, tolerancias especiales, tamaños muy pequeños ó excesivamente grandes; la selección del equipo y el método depende normalmente del costo adquisitivo, operativo y de mantenimiento relacionados íntimamente con las cantidades de forjas a producir. Otras excepciones pueden ser debido a que la capacidad para forjar cierto tipo de formas y materiales esta disponible pero no lo óptimo. También pueden influir los requerimientos de la producción futura al no poderse estimar adecuadamente. Todos los factores de costos futuros se consideran para la buena determinación del equipo.

La automatización para la producción en masa puede implementarse más facilmente en las prensas de forja debido al control más exacto de las velocidades y las carreras, así como los ciclos fijos en general. El manejo automático es más atractivo para los equipos que operan con materiales a altas temperaturas.

Con los pasos y equipos de transferencia se pueden forjar piezas continuamente sin tener que recalentar varias veces durante las etapas intermedias. Una prensa de transferencia es costeable siempre y cuando el diseño de la pieza permita utilizarla al máximo.

5.5. RENDIMIENTO OPTIMO DEL HERRAMENTAL

Dentro de los puntos de mayor interés para el adecuado funcionamiento de los dados es necesario considerar: Materiales de construcción y condiciones de operación como paralelismo, temperatura, dureza, acción abrasiva y fallas naturales.

Cada una de las operaciones de forja requiere, en el acero para herramientas, una propiedad física particular o un conjunto de características metalúrgicas como dureza, resistencia, tenacidad, resistencia al desgaste y al reblandecimiento por calor especiales.

Entre los diferentes aceros para herramientas tenemos la clasificación de la SAE y la AISI que la hacen en seis grupos principales de acuerdo al tratamiento térmico empleado y el material básico.

Se ha comprobado que un material capaz de forjar 30.000 piezas en acero 1020 puede producir 25.000 en un acero 1050, 20.000 en un acero aleado 4150 y alrededor de 10.000 en un acero inoxidable. La resistencia del acero caliente a la deformación plástica aumenta como aumenta el contenido de Carbono.

Los factores que influyen en la selección de la combinación de tipo de acero y dureza para los dados son:

- Forma, tamaño y peso de la forja

- Composición del material a forjar
- Temperatura de forja
- Cantidad de forjas a producir
- Tipo de equipo seleccionado
- Costo del acero para dados
- Secuencia del maquinado de las cavidades del dado
- Tolerancias de la forja incluyendo
 ángulos de escape
- Disponibilidad de equipo auxiliar
- Experiencia previa

Los dados para prensas pueden tener mayor dureza que los martillos que ejercen fuerzas de impacto que fracturan más rápido los materiales duros. Sin embargo, los dados para prensas deberán soportar mayores temperaturas y por lo tanto tener mayores aleaciones.

En caso de montar los dados en el martillo o la prensa con las superficies no perfectamente paralelas, habrá un adelgazamiento en la forja que puede ocasionar variaciones de las tolerancias exteriores. El grado de paralelismo que puede mantenerse depende del tamaño del dado y el diseño. Para mantener una nivelación adecuada de las caras debe analizarse la línea de partición, tratando siempre de que la pieza sea lo más homogénea y simétrica posible.

La duración de una matriz de forja abierta es mayor que la de

estampas de impresión para forjas cerradas. El factor más complicado de analizar entre los que determinan la duración del dado es la temperatura de forja. La temperatura superficial del material al salir del horno y antes de entrar a la línea de operación pueden ser precisamente valorados. La temperatura óptima de forjado es difícil de mantener debido a las variaciones que sufre durante el trabajo y el desplazamiento de estación a estación. Esta variación aumenta la resistencia a la deformación plástica y el efecto abrasivo.

La elevada dureza implica un retardo al desgaste pero mayor posibilidad al rompimiento. Un valor de dureza de 514 Bhn (Rc 52 a Rc 56) es más o menos el máximo recomendado en dados de acero para forjar aleaciones. Conforme aumenta la dificultad del diseño será conveniente utilizar insertos.

Los problemas de desgaste de los dados pueden ser prevenidos satisfactoriamente sin pérdidas excesivas de producción. Una falla por rompimiento puede implicar una pérdida considerable de tiempo, rendimiento, herramental y por consiguiente mucho dinero.

Las escamas son sustancias duras y áltamente abrasivas formadas con la combinación del acero y el oxígeno en la superficie del material. La concentración de costras varía de acuerdo al grado del acero, la temperatura de calentamiento, tipo de atmósfera y cantidad de inhibidores agregados. La prevención de la formación de escamas durante el calentamiento o la remoción de

éstas entre el calentamiento y la forja permite tener un tipo de superficie más limpia y blanda que redituará en la mayor duración del herramental y mejor control dimensional. Cuando el control de la formación de escamas durante el calentamiento no es disponible, pueden entonces ser eliminadas por medio de métodos mecánicos (cepillos, corte directo o golpe de la costra) o químicos.

Con menor frecuencia se atribuye una falla a la sobrecarga pues puede llegar a preverse y evitarse seleccionando adecuadamente el material y equipo. En el caso de tener sobrecarga por una selección de equipo inadecuada, no debe de compensarse con el aumento de temperatura en el calentamiento del material a forjar.

La abrasión es un desgaste por fricción y es particularmente extrema si el diseño de la forja es complejo, si el material a forjar tiene una resistencia en caliente alta y si presenta una superficie dura debido a las impurezas de escamas o incrustaciones. La fricción no puede eliminarse pero sus efectos sí pueden minimizarse por medio de buenos diseños en las cavidades, una selección cuidadosa de la composición y dureza del dado y que el proceso para forjar incluya un adecuado calentamiento y decapado. En ciertos casos, deformaciones homogéneas, donde los efectos de fricción aumentan, se utilizan agentes lubricantes especiales. Estos lubricantes evitan que se adhieran las superficies en contacto y se mantengan las temperaturas superficiales más estables. Presentan efectos nocivos

como explosiones que dañan la pieza o al personal y en forjas cerradas cuando se puede evitar la lubricación también se aumenta la vida del dado. El tipo de lubricante más empleado es una solución coloidal de grafito y aceite, agua o agua salada.

Con el aumento de la temperatura se disminuye la resistencia al desgaste. El sobrecalentamiento es el causante de la mayoría de los desgastes prematuros que ocurren en la forja. Sucede mayormente en áreas de la matriz que proyectan en las cavidades y producciones continuas. La prevención contra el sobrecalentamiento se realiza seleccionando un material que soporta la gama de temperaturas para forjar desde 700 oF hasta 2,300 oF y diseñando el bloque de tal forma que distribuya rápidamente el calor absorbido.

Las fallas por un mal control de temperatura aparecen en forma de fisuras en la estampa, principalmente en las esquinas o proyecciones del dado.

devaluación del peso mexicano frente al dolar, etc..

Sin embargo los recursos naturales, energéticos y humanos con los que se cuenta son tan abundantes y variados que dan una garantía para que en un futuro próximo pueda superarse la situación actual, propiciando una mayor solidez y un mayor auge en el aparato productivo.

En lo que se refiere a los ferrocarriles, no todos los puntos antes mencionados pueden analizarse con carácter de desventajas. El incremento al precio de las gasolinas, el alto costo de los automóviles, el elevado precio de los transportes carreteros y colectivos; permiten pensar en desarrollar y ampliar el sistema ferroviario nacional. Para ésto se requiere de un buen suministro de refacciones y piezas esenciales que no permitan tener las unidades detenidas indefinidamente.

6.2. MARCO SOCIAL

La crisis económica acarrea conflictos sociales. La industrialización permite implementar una serie de beneficios para mejorar el nivel de vida de la sociedad. Además contribuye con el desarrollo del país, a generar mas fuentes de trabajo y mejorar los servicios urbanos de las zonas donde se establece.

Esta industrialización debe estar pensada con una política descentralizadora para evitar caer al otro extremo; una sociedad sobresaturada con sus problemas sociales.

Con lo que se refiere al mejoramiento del servicio y de las unidades de los Ferrocarriles Nacionales se pretende contar con más recursos humanos empleados, el permitir un sistema de comunicación y transporte accesible a los niveles más necesitados y desarrollar zonas poco industrializadas o agrícolas.

La fabricación de forjas es un proceso que puede ubicarse prácticamente en cualquier zona de la República.

6.3. ESTUDIO DE MERCADO.

Para completar éste estudio de fabricación es de mucha importancia realizar un análisis de mercado para tener los elementos básicos y suficientes que permitan la correcta selección y toma de decisión acerca del proceso. El objetivo de la evaluación de mercado consiste en determinar la capacidad de producción y participación que pueda obtenerse con el producto. Un estudio de mercado permite analizar el comportamiento del producto a elaborar con respecto al mercado; así como saber que tanta aceptación tendrá éste en un futuro y poder establecer si será o no económicamente rentable.

Dada la situación económica actual el análisis de riesgo desarrollado en éste Capítulo presenta un alto nivel de incertidumbre por lo que únicamente se hace uso de métodos tradicionales e indicadores establecidos para marcar el contexto que envuelve a la industria siderúrgica y completar un cuadro de decisión económico.

Este trabajo ha cubierto el proceso mecánico y no pretende cubrir de manera muy profunda el área de economía industrial.

6.3.1. PRODUCCION DE RUEDAS PARA VIAS

Actualmente el registro para fabricar ruedas sólidas reconocidas por la A.A.R. lo tiene únicamente Fundiciones de Hierro y Acero del grupo SIDERMEX. Esta empresa al igual que la mayoría de las industrias del país, atraviesa por una situación crítica para mantener sus ritmos de producción de manera costeable. FHASA se ha visto ya en la necesidad de abandonar la producción de rodillos laminadores, principal fuente de ingresos y actualmente ha visto mermada su producción de ruedas. Se han tenido que reducir las jornadas laborales a un turno y el personal utilizado a más de la mitad debido a las altas pérdidas. El sector siderúrgico estima seguir operando por debajo del 65% de la capacidad instalada. Es altamente probable que las exportaciones de productos siderúrgicos no crezcan en 1988 ni en 1989. La principal razón de ésto son las limitaciones a las importaciones norteamericanas de acero y a lo rentable de las importaciones de producto terminado.

La producción que se ha venido registrando demuestra las deficiencias y lo obsoleto de los sistemas utilizados a pesar de que FHASA ha tratado de ser más productivo disminuyendo los rechazos de un 40% hasta un 7%. La capacidad instalada actual de la empresa es de 45.000 ruedas anuales.

Una carga del horno de 5,000 KVA con 14 toneladas alcanza para vaciar hasta 24 moldes con ruedas de 33" y 22 moldes con

ruedas de hasta 36".

PRODUCCION ANUAL 1980-1988

TABLA 6.1.

<u>Año</u>	<u>Diámetro 33"</u>	<u>Diámetro 36"</u>	<u>Total</u>
1980	11.141	32.106	43.247
1981	31.095	6.421	37.516
1982	12.716	17.491	30.207
1983	21.032	16.202	37.235
1984	13.160	10.140	23.300
1985	14.850	1.650	16.500
1986	3.200	3.200	6.400
1987	3.200	3.200	6.400
1988	3.200	1.100	4.300

Para mantener la producción de ruedas en el país se requiere materia prima de importación. Los consumos de materias primas para la fundición necesaria para laborar un turno y producir aproximadamente 1.500 ruedas mensuales es de:

TABLA 6.2.

- Bloque de Grafito	6 pz	- Arena Sílica	900 kg
- Mangas de Grafito 12"	3 pz	- Tapones Dixon 438	1.600 pz
- Mangas de Grafito 14"	10 pz	- Tubos de Vaciado	30 pz
- Mangas de Grafito 16"	10 pz	- Vidriador glace esp.	75 kg
- Mangas de Grafito 18"	13 pz		

6.3.2. DEMANDAS ACTUALES DE RUEDAS DE FERROCARRIL

Las cantidades requeridas del producto están de acuerdo con las diferentes necesidades de mantenimiento para las unidades existentes y las fabricadas en las instalaciones de Constructora Nacional de Carros de Ferrocarril. En caso de contar con mayor y mejor producción existen los mercados de Centro y Sudamérica, donde se fomenta también la modernización del sistema ferroviario.

Entre el equipo tractivo, los carros de carga y vehículos para pasajeros se cuenta con 53,212 unidades. La cantidad de mancuernas que tiene cada vehículo depende del constructor, del peso permisible para transportar, así como la fuerza de propulsión que desarrollan las locomotoras e interconexiones. Existen unidades con cuatro, seis, ocho, diez y hasta doce mancuernas; en forma general la mayoría de los carros en México son de ocho ruedas. Entonces los equipos en servicio requieren para reposición: $53,212 \times 8 = 425,696$ ruedas. Para los talleres de la Compañía Nacional Constructora de Carros se tiene una producción anual de aproximadamente 3,600 unidades.

TABLA 6.3.

DEMANDA DE RUEDAS DE REPOSICION

	Nacionales	Importación	Total
F F C C de México	4,000 - 5,000	63,500 - 64,500	69,500
C N C C	2,500 - 3,000	25,000 - 26,300	29,300

6.3.3. EVALUACION ECONOMICA PARA LOS PROCESOS DE FORJA Y FUNDICION

Para realizar una determinación aproximada y comparativa de la estructura de costos y utilidades de una llanta fundida y otra forjada se utilizan indicadores económicos de la rama. (*)

Los costos de fabricación en el proceso de fundición para ruedas de ferrocarril al igual que la forja del mismo varían de acuerdo con el tipo de proceso y el grado de mecanización empleados. Siendo el proceso de forja de mejor calidad y por lo tanto requiere de mayores costos para implementarse adecuadamente.

La estructura porcentual del costo de producción de ruedas de ferrocarril se toma como semejante a una planta de fundición con capacidad de 1000 toneladas mensuales; considerando la producción anual promedio de la tabla 6.1.

Para estimar la estructura porcentual de los costos se considera una producción al 75% de la capacidad instalada.

Utilizando los conceptos básicos de un estado de resultados se obtiene un cuadro comparativo entre forja y fundición de forma porcentual o unitaria:

* Nacional Financiera, S.A.: Proyecto Conjunto de Bienes de Capital
NAFINSA-ONUUDI.

6.4. ESTRUCTURA DE COSTOS UNITARIA

CONCEPTO	Fundición	Forja
	¢	¢
VENTAS NETAS	100	100
Rechazos	(7)	(1)
Materias Primas	17	10
Materiales Directos	16	15
Materiales Indirectos	3	0
Mano de Obra Directa	12	15
Mano de Obra Indirecta	8	8
Mantenimiento y Servicios	6	10
Depreciación	5	5
UTILIDAD BRUTA	26	36
Gastos Administrativos y Ventas	9	9
UTILIDAD DE OPERACION	17	27
ISR, PTU	11.5	11.5
UTILIDAD NETA	5.5	15.5
	(12.5)	(15.5)

En general para estas industrias el costo de lo vendido representa aproximadamente de un 60% a un 70%.

6.3.4. RECUPERACION DE INVERSION

La capacidad instalada para ruedas fundidas en FHSA es de 45,000 por año. Las condiciones de ventas actualmente están dadas con los siguientes datos:

PRECIO DEL PRODUCTO

Rueda 33" (354 kg)	s 850,100	2,401 s/kilo
Rueda 36" (390 kg)	s 971,880	2,492 s/kilo

PRODUCCION DE RUEDAS DURANTE 1988

Rueda 33"	3,200
Rueda 36"	1,100

TOTAL DE VENTAS (miles de pesos)

Rueda 33"	s 2'720,320
Rueda 36"	s 1'069,068

INGRESO TOTAL PARA 1988 (miles de pesos)

s 3'789,386 (s 206,516 mensuales)

Debido a los problemas que existen para fundir ruedas la producción se ha venido reduciendo constantemente y el ingreso es incosteable (no cubre ni el sueldo mínimo por los 1000 trabajadores empleados en la empresa). Unicamente se está cubriendo el 4% del total requerido por el País.

Para que la operación en estas industrias sea rentable, se debe mantener una producción tal que utilizando el concepto de punto de equilibrio se obtengan utilidades positivas y se reduzcan los costos. Factor difícil de lograr actualmente por los equipos obsoletos con que se cuenta.

$$6.1. \quad P.E. = \frac{\text{Costos Fijos}}{1 - \frac{C. Variables}{Ventas}} = \frac{\text{Costos Fijos}}{\$ \text{unidad} - C. Variable}$$

La inversión total para instalar una planta forjadora con capacidad de 45,000 ruedas anuales se ha determinado en aproximadamente 30 mil millones de pesos, y de 100 mil millones para una planta con capacidad para 150,000 ruedas. (* FUENTE NAFINSA-ONUUDI: Inversiones similares en tonelaje para rodillos laminadores.)

Considerando que la demanda interna sea abastecida completamente con la producción nacional; se requieren de 98,800 ruedas anuales. Otra posibilidad sería la de satisfacer completamente el mercado nacional más un 50% extra para exportaciones y/o expansiones futuras, o sea, ampliar la capacidad productiva a 148,000 ruedas anuales.

La planta fundidora actual tiene una capacidad para 45,000 ruedas o aproximadamente 16,650 toneladas anuales con lo que se cubre únicamente el 45.5% de la demanda interna. Para las 98,800 ruedas necesarias se requieren 34,580 toneladas y 52,000 toneladas para las 148,000 ruedas considerando incrementos del mercado.

Para todo inversionista es de vital importancia conocer el período necesario para recuperar el capital invertido y entonces poder decidir la mejor forma para arriesgar el capital. Se supone que los precios de los insumos no varían exponencialmente al pretender aumentar la producción. Sin embargo el costo asociado a la producción tendrá una tasa creciente. A continuación se analizan las diferentes opciones de inversión para forjar ruedas de ferrocarril con plantas de diferentes capacidades:

- a) Similar a la capacidad actual (45.5% de la demanda interna)
- b) Para cubrir la demanda actual al 100% (34,580 tons/ anuales)
- c) Con interés exportador (Abarcar 50% más para expansiones)
- d) Instalar una capacidad para 270% más de la demanda interna

Del precio del producto se establece que el precio promedio por rueda es de 910.990 pesos. Las utilidades para (a) de 16.5% establecida en el cuadro 6.4. y para las demás opciones se concidera la variación de la misma por los diferentes impactos de costos fijos e impuestos (15.5, 26.5 y 28.0% respectivamente).

TABLA 6.5. RECUPERACION DE INVERSIONES

	a)	b)	c)	d)
CAPACIDAD (tons/año)	16,650	34,580	52,000	93,000
(ruedas/año)	45,000	98,800	148,000	270,000
INVERSION (millones)	\$30,000	\$67,000	\$100,000	\$180,000
VENTAS INTERNAS "	\$41,000	\$90,000	\$ 90,000	\$ 90,000
VENTAS 50% EXTRAS "	-	-	\$ 45,000	\$155,900
UTILIDAD NETA "	\$ 6,750	\$13,950	\$ 35,780	\$ 68,850
RECUPERACION (años)	4.4	4.8	2.8	2.6

El interés del inversionista para satisfacer la demanda le permite escoger entre las diferentes capacidades de producción. Las opciones de menor capacidad presentan menores riesgos de inversión debido a que las ventas están aseguradas con los vehículos existentes. No presenta la posibilidad de competir o ganar más mercados. Quedaría la empresa dentro de una industria pequeña que a largo plazo podría desaparecer. El caso contrario tiene un futuro muy alentador si se logran tener las ventas totales; sin embargo, el riesgo para recuperar la inversión aumenta considerablemente. En México, donde el transporte ferroviario está nacionalizado y los precios para el mercado interno están controlados hace benéfica una opción expansionista. Se pueden aprovechar las ventajas que existen para empresas exportadoras y aumentar los precios de acuerdo al mercado.

La opción más rentable para contribuir a desarrollar el sistema ferroviario en el País, mejorar las condiciones sociales generando 1,000 plazas, tener los menores riesgos para los inversionistas y facilidades para crecimiento sin realizar cambios al sistema actual; sería la que da 50% más a la demanda actual y su recuperación en máximo 2.8 años. De la inversión total se considera que el 50 -55% se destina para la adquisición de maquinaria, equipo e instalaciones complementarias; el 30% corresponde a la compra de terreno y realización de obras civiles. el restante se canaliza para el montaje, instalación y arranque de la planta forjadora así como también para el pago de intereses durante la construcción y para el capital de trabajo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como se ha explicado en éste trabajo, el proceso de forja no es realmente un método nuevo. Este proceso nació en la antigüedad para dar nuevas y mejores formas a los utensilios. Se empleaban equipos muy sencillos que restringían las formas y materiales.

Con el desarrollo de mejores técnicas y mayores conocimientos se ha podido actualmente alcanzar unos mejores métodos y equipos. Es entonces por lo que se dice que el formado de materiales difíciles o de gran volúmen es reciente.

El proceso de forja analizado en ésta Tesis es solamente la aplicación en México de las técnicas antiguas con equipos más sofisticados y eficientes que permiten al hombre desarrollar mayores fuerzas o realizar trabajos pesados con un consumo de energía reducido y menores pérdidas de materiales.

En México aún no se han implantado las diferentes formas para forjar piezas de grandes dimensiones. En las normas americanas para la fabricación de ruedas de ferrocarril, es ya aceptado producir llantas por cualquier método siempre y cuando satisfaga los requisitos mínimos especificados de resistencia, calidad, etc. En Europa, donde los recursos naturales son más escasos y requieren de mejor y adecuada distribución; se pretende economizarlos al máximo. Es en Europa donde se han venido perfeccionando las técnicas modernas de forjado para satisfacer

las grandes demandas de productos de grandes dimensiones como las ruedas de ferrocarriles.

Esta Tesis permite comparar los diferentes métodos así como también obtener datos de las necesidades del producto en el país.

Los beneficios que se logran al producir ruedas para vagones y locomotoras por el método de forja son tanto sociales como económicos. En el aspecto social se puede decir que las fuentes de trabajo se incrementarían con lo que se reducirían las personas inactivas ó desempleadas.

Todos los servicios ferroviarios pueden ser mejorados para mantener en estado satisfactorio sus unidades. También es factible el desarrollar los polos más necesitados, logrando con ésto fomentar la descentralización de las grandes ciudades, beneficiando el desarrollo homogéneo del país.

Las inversiones que se hagan en el país contribuyen a mejorar y ampliar el marco económico. Con la apertura de una nueva fuente de trabajo el capital que se genera ayudará a desarrollar más y mejor los servicios públicos así como aumentar los empleos.

La fabricación de ruedas sólidas por el método de forja permite reducir las importaciones de materias primas y productos terminados logrando evitar la fuga de divisas. Con un buen control de calidad, los productos forjados en México se pueden exportar

satisfactoriamente al resto del mundo formando, nivelando y fortaleciendo la estructura económica del país. Las materias primas propias tendrán mayor demanda. El acero requerido puede ya producirse en las siderúrgicas nacionales.

Las ventajas técnicas que el proceso descrito imparte al producto fabricado son muy convenientes pues permiten la obtención de un artículo de mayor calidad y duración, menos gastos de reparación y más ahorro de materiales y energía.

Actualmente la fabricación de ruedas en México, como se nota en los datos de producción (tabla 6.1.), se ha paralizado totalmente. Se hace interesante realizar la modernización con el cambio de técnica propuesto. Utilizar el equipo instalado actualmente para fabricar productos costeables y evitar los cierres masivos.

De aplicar las nuevas técnicas con un alto grado de calidad, en una planta con capacidad total de 148.000 ruedas anuales, lograremos competir en el mercado internacional y satisfacer las demandas internas. La fuerte inversión de 100.000 millones de pesos que implica la adquisición de las maquinarias y accesorios será recuperada antes de 3 años.

En México existen empresas estatales que están forjando y exportando piezas de grandes dimensiones (rotores de turbinas y rodillos laminadores). El capital de inversión en estas empresas

es compartido entre México y Japón principalmente. Podría sugerirse que también para éste caso se dieran las facilidades para iniciar con una inversión mutua con Alemania Federal ya que cuenta con tecnologías y equipos adecuados.

Los índices contaminantes que despiden las plantas fundidoras son tan elevados que en los Estados Unidos se están cerrando plantas en las ciudades o exigen el uso de filtros muy costosos para alcanzar los niveles aceptables y menos tóxicos. Tan sólo por el factor de contaminación la forja vuelve a tener una gran ventaja frente a las fundiciones.

BIBLIOGRAFIA

1. Amstead, B.H.; Begeman, Myron L.; Ostwald, Phillip F.;
Procesos de Manufactura (Version SI)
Compañía Editorial Continental S.A. Tercera Edición
México (1981)
2. Baumeister III, T. ; Avallone, E.A. ; Baumeister, T. ;
Manual del Ingeniero Mecánico (MARKS)
Mc Graw-Hill Book Co. Octava Edición
Estados Unidos de Norteamérica (1978)
3. De Garmo, Paul E.
Materiales y Procesos de Fabricación
Editorial Reverte, S.A. Segunda Edición
Argentina (1978)
4. Derry, Thomas K. ; Williams, Trevor I. ;
Historia de la Tecnología
Editorial Siglo Veintiuno Segunda Edición
México (1978)
5. Egor, P. Popov
Mecánica de Materiales
Editorial Limusa, S.A. Primera Edición
México (1982)
6. Flimm, Joseph
Fabricación Metálica sin Arranque de Viruta
Compañía Editorial Continental, S.A. Primera Edición
México (1979)
7. Haak, J.
Fine Blanking Practical Handbook
Feintool A.G. Lyss Primera Edición
Zuerich (1972)
8. Kazanas, H.C. ; Baker, Glenn E. ; Gregor, Thomas G. ;
Procesos Básicos de Manufactura
Mc Graw Hill Book Co. Primera Edición
Estados Unidos de Norteamérica (1981)
9. Knaut, Percy
El Descubrimiento de los Metales
Editorial Time/Life; Lito Offset Latina S.A.
México (1977)
10. Latapi, Juan
Compendio de Términos Siderúrgicos Básicos
Sidermex Tercera Edición
México (1978)

11. Lopez Navarro, Tomás .
Troquelado y Estampación .
Editorial Gustavo Gili, S.A. Sexta Edición .
Barcelona (1981) .
12. Quercy, A. .
Trabajo de los Metales en Láminas .
Ediciones Urmo Primera Edición .
Bilbao (1985) .
13. Radford, John Dennis .
Production Engineering Technology .
Macmillan Segunda Edición .
Londres (1974) .
14. Rowe, Geoffrey W. .
Conformado de los Metales .
Editorial Urmo Primera Edición .
Bilbao (1972) .
15. Ruiz Mijares, A. .
Trabajos de Forja .
Publicación U.N.A.M. Primera Edición .
México (1980) .
16. Schey, John A. .
Introduction to Manufacturing Processes .
Mc Graw Hill Kogakusha, Ltd. Primera Edición .
Tokio (1977) .
17. Shigley, Joseph Edward .
Diseño en Ingeniería Mecánica .
Mc Graw Hill Book Co. Segunda Edición .
Estados Unidos de Norteamérica (1977) .
18. Slater, R.A.C. .
Engineering Plasticity: Theory and Application to .
Metal Forming Processes .
Macmillan Press Ltd. Primera Edición .
Inglaterra (1977) .
19. Timoshenko, S. .
Strength of Materials (Part I) .
D. Van Nostrand Co. Inc. Segunda Edición .
Nueva York (1941) .
20. American Society for Metals (A.S.M.) .
Metals Handbook vol.5: Forging and Casting .
Estados Unidos de Norteamérica (1970) .

21. American Society of Mechanical Engineers .
 Metals Engineering Processes vol.4 ASME Handbook .
 Mc Graw Hill Book Co. Primera Edición .
 Nueva York (1958) .

22. Ferrocarriles Nacionales de México. .
 Instituto de Capacitación Dirección de Coches y Carros .
 Manual de Ruedas y Ejes de la División Mecánica de la .
 A.A.R. Doceava Edición .
 México (1982) .

23. Ferrocarriles Nacionales de México. .
 Instituto de Capacitación Dirección de Coches y Carros .
 Manual de Taller, Reglas de la A.A.R. para Intercambio .
 de Equipo Remolcado .
 México (1982) .

24. El Mercado de Valores .
 Nacional Financiera, S.A. .
 año XL número 39 .
 año XLV número 1 .