

41126
42

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
CAMPUS ARAGÓN**

**METODOLOGÍA PARA LA FABRICACIÓN DE PIEZAS DE
ACERO POR FUNDICIÓN**

T E S I S

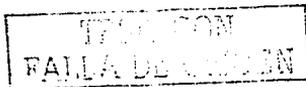
**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

ÁREA: ING. MECÁNICA

P R E S E N T A:

MARCO FAVIO GARCÍA LIRA

ASESOR: ING. RAÚL CRUZ ARRIETA





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

A Dios:

Te doy gracias por hacerme tomar la mejor
decisión de mi vida, darme las fuerzas
necesarias para lograr las metas propuestas
y abrimme el camino ante las peores
situaciones.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A Guadalupe Lira Palacios,

Mi Madre:

Mujer incansable que nunca se ha doblegado
ante las adversidades de la vida y que juntos
sorteamos durante muchos años hasta
alcanzar el éxito.

Gracias por la vida, por cuidarme tantos años
y por convencerme de que sólo con esfuerzo
se logran las satisfacciones más grandes.

A Esperanza Ramos Ávila,

Mi esposa:

Compañera de mi vida, testigo fiel de mis éxitos y fracasos, de mis alegrías y tristezas, pilar de mi vida y alimento de mi alma, luz de mis días más oscuros y generador de mis sentimientos más profundos.

Te amo.

A mi hija Paola:

Tu llegada a sido el regalo más grande que
me ha otorgado Dios, te cuidaré y guiaré de
la mejor manera.

Te ama tu papá.

A mi hermano Alejandro:

Que tengo la confianza de que algún día
encontrará la paz y tranquilidad de una vida
plena.

JK

A mi hermano Benjamín:

En quien tengo la confianza de que algún día
tomará el camino indicado y logrará todas
sus metas.

A mis sobrinas Diana y Marina:

**Pequeños seres que han venido a alegrar
nuestras vidas.**

A José Arnulfo Barrera Gutiérrez,

Mi Jefe:

Indiscutiblemente un gran tipo, amigo entre los amigos e indudablemente estimado por todos los que estamos comprometidos con él.

**A mi querida Universidad, a mis profesores
que ejercen la más noble de las profesiones
que, es la de traspasar sus conocimientos y a
todos aquellos que hacen posible la
educación pública en mi querido México.**

ÍNDICE

JUSTIFICACIÓN.

OBJETIVO.

INTRODUCCIÓN.

CAPITULO 1. EL ARTE DE PRODUCIR ACERO.

- 1.1 Historia del acero.
- 1.2 Producción del acero.
 - 1.2.1 Fábrica de aglomeración.
- 1.3 Procesos de acabado.
- 1.4 Clasificación del acero.
 - 1.4.1 Aleaciones.
- 1.5 Propiedades del acero.

CAPITULO 2. PROCESO DE FUNDICIÓN EN ARENA.

- 2.1 Modelos para fundición.
 - 2.1.1 Tipos de modelos.
 - 2.1.2 Materiales para su construcción.
 - 2.1.3 Construcción de un modelo.
 - 2.1.4 Tolerancias en los modelos.
- 2.2 Procedimiento de moldeo.
 - 2.2.1 Tipos de moldeo.
 - 2.2.2 Corazones.
 - 2.2.3 Entradas, rebosaderos y características de solidificación.
 - 2.2.4 Equipo mecánico de moldeo.
- 2.3 Arenas de moldeo.
- 2.4 Proceso de fusión.
 - 2.4.1 Homo de inducción.
 - 2.4.2 Homo de arco eléctrico.
- 2.5 Limpieza de piezas.
- 2.6 Segundad en la fundición.

CAPITULO 3. APLICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO A LAS PIEZAS OBTENIDAS.

- 3.1 Normalizado y recocido.
- 3.2 Temple.
- 3.3 Revenido.

CAPITULO 4. ENSAYOS REALIZADOS A LAS PIEZAS OBTENIDAS.

- 4.1 Inspección visual.
- 4.2 Líquidos penetrantes.
- 4.3 Partículas magnéticas.

CONCLUSIÓN.

ANEXO.

BIBLIOGRAFÍA.

JUSTIFICACIÓN.

Dentro de la industria, el ingeniero mecánico va a tener la necesidad de seleccionar materiales para el diseño, construcción o sustitución de piezas de máquinas y equipos, por lo tanto debe tener conocimiento de los diferentes materiales, para tener una adecuada selección, buscando siempre la seguridad y factibilidad en sus diseños de tal manera que los materiales seleccionados sean funcionales y cumplan con los requerimientos mínimos de calidad.

Uno de los materiales más utilizados en la construcción de máquinas, equipos y estructuras es el acero, que por su amplia gama de aleaciones permite seleccionar desde aceros al carbón, inoxidable, refractarios, etcétera; siendo esta la principal razón por la que el ingeniero mecánico tiene que conocer el proceso del acero y de las piezas mecánicas fundidas.

OBJETIVO.

Mediante el estudio de un proceso de fundición pretendo mostrar los conocimientos teóricos en la obtención y trabajo de piezas de acero fundido a partir de planos, modelos y muestras físicas con el fin de que el ingeniero mecánico sepa valorar el proceso en este campo, utilizando el método necesario para desarrollarse en la industria metal-mecánica, automotriz, siderúrgica, de construcción, eléctrica y fundición.

INTRODUCCIÓN.

El acero es el material más versátil disponible en la actualidad. El acero puede ser soldado, fácilmente mecanizado, y permite su utilización en las más diversas aplicaciones. Se puede utilizar ventajosamente en donde se requiera una elevada resistencia mecánica, resistencia al desgaste y/o a la corrosión, a elevadas o bajas temperaturas, etc., con una excelente relación calidad-precio.

El acero moldeado se caracteriza principalmente porque el método de producción permite obtener productos de formas complicadas directamente con la forma final, eliminando la mayor parte del mecanizado y las complejas y caras composiciones soldadas. Ello se traduce en una reducción notable del costo final de la pieza.

El proceso de fabricación de piezas acero por fundición se basa en la colada, en un molde, en el cual la fuerza de gravedad permite la obtención de piezas con una alta calidad.

En este trabajo que presento a continuación, se describe el proceso sistemático de fabricación de piezas de acero, basado en el estudio metalúrgico así como en los conocimientos empíricos obtenidos de la experiencia propia.

Este trabajo comienza con una breve historia del acero así como los procesos básicos de obtención del hierro, base del acero junto con su clasificación, aleaciones y propiedades.

El proceso de fundición abarca desde la fabricación de un modelo, materiales, tolerancias, moldeo, características de los moldes, hasta la obtención final de la pieza.

Además trata sobre los tratamientos térmicos necesarios para los materiales obtenidos, como son el normalizado, el recocido, el temple y el revenido; tratamientos que darán mejores características al material.

Así mismo describe la realización de los ensayos más comunes realizados a las piezas obtenidas dentro de la fundición y que son necesarios para detectar fallas como son poros, fracturas y malos acabados.

CAPITULO 1. EL ARTE DE PRODUCIR ACERO.

La fabricación de acero es la tecnología relacionada con la producción del hierro y sus aleaciones, en especial las que contienen un pequeño porcentaje de carbono, que constituyen los diferentes tipos de acero. En general, el acero es una aleación de hierro y carbono a la que suelen añadirse otros elementos. Algunas aleaciones denominadas 'hierros' contienen más carbono que algunos aceros comerciales. El hierro de crisol abierto y el hierro forjado contienen un porcentaje de carbono de sólo unas centésimas. Los distintos tipos de acero contienen entre el 0.04 y el 2.25% de carbono. El hierro colado, el hierro colado maleable y el arrabio contienen entre un 2 y un 4% de carbono. Para fabricar aleaciones de hierro y acero se emplea un tipo especial de aleaciones de hierro denominadas ferroaleaciones, que contienen entre un 20 y un 80% del elemento de aleación, que puede ser manganeso, silicio o cromo.

1.1 HISTORIA DEL ACERO.

No se conoce con exactitud la fecha en que se descubrió la técnica de fundir mineral de hierro para producir un metal susceptible de ser utilizado. Los primeros utensilios de hierro descubiertos por los arqueólogos en Egipto datan del año 3000 a.C., y se sabe que antes de esa época se empleaban adornos de hierro. Los griegos ya conocían hacia el 1000 a.C. la técnica, de cierta complejidad, para endurecer armas de hierro mediante tratamiento térmico.

Las aleaciones producidas por los primeros artesanos del hierro (y, de hecho, todas las aleaciones de hierro fabricadas hasta el siglo XIV d.C.) se clasificarían en la actualidad como hierro forjado.

Para producir esas aleaciones se calentaba una masa de mineral de hierro y carbón vegetal en un horno o forja con tiro forzado. Ese tratamiento reducía el mineral a una masa esponjosa de hierro metálico llena de una escoria formada por impurezas metálicas y cenizas de carbón vegetal. Esta esponja de hierro se retiraba mientras permanecía incandescente y se golpeaba con pesados martillos para expulsar la escoria y soldar y consolidar el hierro. El hierro producido en esas condiciones solía contener un 3% de partículas de escoria y un 0.1% de otras impurezas. En ocasiones esta técnica de fabricación producía accidentalmente auténtico acero en lugar de hierro forjado. Los artesanos del hierro aprendieron a fabricar acero calentando hierro forjado y carbón vegetal en recipientes de arcilla durante varios días, con lo que el hierro absorbía suficiente carbono para convertirse en acero auténtico.

Después del siglo XIV se aumentó el tamaño de los hornos utilizados para la fundición y se incrementó el tiro para forzar el paso de los gases de combustión por la carga o mezcla de materias primas. En estos hornos de mayor tamaño el mineral de hierro de la parte superior del horno se reducía a hierro metálico y a continuación absorbía más carbono como resultado de los gases que lo atravesaban. El producto de estos hornos era el llamado arrabio, una aleación que funde a una temperatura menor que el acero o el hierro forjado. El arrabio se refinaba después para fabricar acero.

La producción moderna de acero emplea altos hornos que son modelos perfeccionados de los usados antiguamente. El proceso de refinado del arrabio mediante chorros de aire se debe al inventor británico Henry Bessemer (1813-1898), que en 1855 desarrolló y patentó un método más barato para fabricar acero en gran escala. Un chorro de aire atravesaba el hierro fundido y quemaba todo el carbono necesario para obtener el acero. Bessemer construyó un recipiente cónico de acero forrado de ladrillos refractarios que se llamó convertidor y que se podía inclinar para vaciarlo. El hierro fundido se vertía en el convertidor situado en posición vertical, y se hacía pasar aire a través de orificios abiertos en la base.

El primer acero fabricado por este método era quebradizo por culpa del oxígeno absorbido. Pero un amigo de Bessemer, el escocés Robert Mushet, resolvió el problema al proponer que se añadiera magnesio después del soplado para que combinara con el oxígeno excedente en el acero, con lo que se evitaría su

fragilidad y resultaría más fácil de trabajar. El producto se denominó "acero suave": hierro con bajo contenido de carbono.

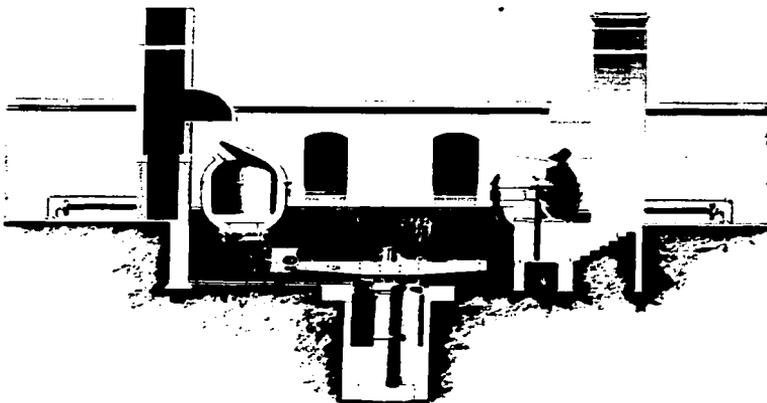


Fig. 1.1.1 Planta Bessemer.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.2 PRODUCCIÓN DEL ACERO.

Producción de arrabio.

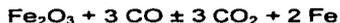
Se denominan propiamente arrabios o hierros de primera fusión los que se obtienen directamente del horno alto en forma de panes o lingotes que, refundidos, dan las fundiciones o hierros de segunda fusión, empleados en coladas, en los que, en general, se introducen correctivos convenientes. Además de carbono, las fundiciones corrientes contienen: silicio, fósforo, manganeso y azufre. La adición de fósforo en pequeños porcentajes mejoran las características mecánicas, mientras que porcentajes mayores del 0.8% le dan gran resistencia al desgaste (fundiciones fosforosas). El fósforo favorece la colabilidad de la fundición, mejorando su fluidez. El azufre confiere fragilidad y, por tanto, su contenido ha de ser muy limitado. Se llama fundición especial a la que contiene otros elementos además de los antes mencionados, particularmente níquel, cromo, molibdeno y vanadio. Se denomina fundición hematites a la de primera fusión que tiene menos del 0.1 % de fósforo, un 4% de carbono y carece casi de azufre; por su pureza se emplea para obtener fundiciones especiales.

Para la producción de hierro y acero son necesarios cuatro elementos fundamentales:

- Mineral de hierro.
- Coque.
- Piedra caliza.
- Aire.

Los tres primeros se extraen de minas y son transportados y preparados antes de que se introduzcan al sistema en el que se producirá el arrabio.

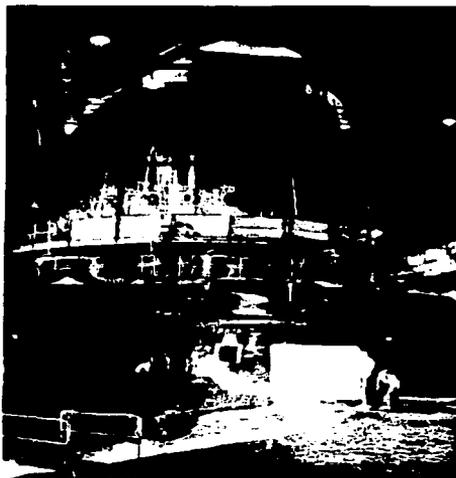
El coque se quema como combustible para calentar el horno, y al arder libera monóxido de carbono, que se combina con los óxidos de hierro del mineral y los reduce a hierro metálico. La ecuación de la reacción química fundamental de un alto horno es:



La caliza de la carga del horno se emplea como fuente adicional de monóxido de carbono y como sustancia fundente. Este material se combina con la sílice presente en el mineral (que no se funde a las temperaturas del horno) para formar silicato de calcio, de menor punto de fusión. Sin la caliza se formaría silicato de hierro, con lo que se perdería hierro metálico. El silicato de calcio y otras impurezas forman una escoria que flota sobre el metal fundido en la parte inferior del horno. El arrabio producido en los altos hornos tiene la siguiente composición: un 92% de hierro, un 3 o 4% de carbono, entre 0.5 y 3% de silicio, del 0.25% al 2.5% de manganeso, del 0.04 al 2% de fósforo y algunas partículas de azufre.

Un alto horno típico está formado por una cápsula cilíndrica de acero forrada con un material no metálico y resistente al calor, como asbesto o ladrillos refractarios. El diámetro de la cápsula disminuye hacia arriba y hacia abajo, y es máximo en un punto situado aproximadamente a una cuarta parte de su altura total. La parte inferior del horno está dotada de varias aberturas tubulares llamadas toberas, por

donde se fuerza el paso del aire. Cerca del fondo se encuentra un orificio por el que fluye el arrabio cuando se sangra (o vacía) el alto horno. Encima de ese orificio, pero debajo de las toberas, hay otro agujero para retirar la escoria. La parte superior del horno, cuya altura es de unos 30 m, contiene respiraderos para los gases de escape y un par de tolvas redondas, cerradas por válvulas en forma de campana, por las que se introduce la carga en el horno. Los materiales se llevan hasta las tolvas en pequeñas vagonetas o cucharas que se suben por un elevador inclinado situado en el exterior del horno.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Fig. 1.2.1 Alto horno

Los altos hornos funcionan de forma continua. La materia prima que se va a introducir en el horno se divide en un determinado número de pequeñas cargas que se introducen a intervalos de entre 10 y 15 minutos. La escoria que flota sobre el metal fundido se retira una vez cada dos horas, y el hierro se sangra cinco veces al día.

El aire insuflado en el alto horno se precalienta a una temperatura comprendida entre los 550 y los 900 °C. El calentamiento se realiza en las llamadas estufas, cilindros con estructuras de ladrillo refractario. El ladrillo se calienta durante varias horas quemando gas de alto horno, que son los gases de escape que salen de la parte superior del horno. Después se apaga la llama y se hace pasar el aire a presión por la estufa. El peso del aire empleado en un alto horno supera el peso total de las demás materias primas.

Después de la II Guerra Mundial se introdujo un importante avance en la tecnología de altos hornos: la presurización de los hornos. Estrangulando el flujo de gas de los respiraderos del horno es posible aumentar la presión del interior del horno hasta 1.7 atmósferas o más. La técnica de presurización permite una mejor combustión del coque y una mayor producción de hierro. En muchos altos hornos puede lograrse un aumento de la producción de un 25%. En instalaciones experimentales también se ha demostrado que la producción se incrementa enriqueciendo el aire con oxígeno.

El proceso de sangrado consiste en retirar a golpes un tapón de arcilla del orificio del hierro cercano al fondo del horno y dejar que el metal fundido fluya por un canal cubierto de arcilla y caiga a un depósito metálico forrado de ladrillo, que puede ser una cuchara o una vagoneta capaz de contener hasta 100 toneladas de metal. Cualquier escoria o sobrante que salga del horno junto con el metal se elimina antes de llegar al recipiente. A continuación, el contenedor lleno de arrabio se transporta a la fábrica siderúrgica.

Los altos hornos modernos funcionan en combinación con hornos básicos de oxígeno, y a veces con hornos de crisol abierto, más antiguos, como parte de una única planta siderúrgica. En esas plantas, los hornos siderúrgicos se cargan con arrabio. El metal fundido procedente de diversos altos hornos puede mezclarse en una gran cuchara antes de convertirlo en acero con el fin de minimizar el efecto de posibles irregularidades de alguno de los hornos.

Otros métodos de refinado del hierro.

Aunque casi todo el hierro y acero que se fabrica en el mundo se obtiene a partir de arrabio producido en altos hornos, hay otros métodos de refinado del hierro que se han practicado de forma limitada. Uno de ellos es el denominado método directo para fabricar hierro y acero a partir del mineral, sin producir arrabio. En este proceso se mezclan mineral de hierro y coque en un horno de calcinación rotatorio y se calientan a una temperatura de unos 950 °C. El coque caliente desprende monóxido de carbono, igual que en un alto horno, y reduce los óxidos del mineral a hierro metálico. Sin embargo, no tienen lugar las reacciones

secundarias que ocurren en un alto horno, y el horno de calcinación produce la llamada esponja de hierro, de mucha mayor pureza que el arrabio. También puede producirse hierro prácticamente puro mediante electrólisis haciendo pasar una corriente eléctrica a través de una disolución de cloruro de hierro. Ni el proceso directo ni el electrolítico tienen importancia comercial significativa.

Proceso de crisol abierto.

Cualquier proceso de producción de acero a partir de arrabio consiste en quemar el exceso de carbono y otras impurezas presentes en el hierro. Una dificultad para la fabricación del acero es su elevado punto de fusión, 1400 °C, que impide utilizar combustibles y hornos convencionales. Para superar la dificultad se desarrolló el horno de crisol abierto, que funciona a altas temperaturas gracias al precalentado regenerativo del combustible gaseoso y el aire empleados para la combustión. En el precalentado regenerativo los gases que escapan del horno se hacen pasar por una serie de cámaras llenas de ladrillos, a los que ceden la mayor parte de su calor. A continuación se invierte el flujo a través del horno, y el combustible y el aire pasan a través de las cámaras y son calentados por los ladrillos. Con este método, los hornos de crisol abierto alcanzan temperaturas de hasta 1650 °C.

El horno propiamente dicho suele ser un crisol de ladrillo plano y rectangular de unos 6 × 10 m, con un techo de unos 2.5 m de altura. Una serie de puertas da a una planta de trabajo situada delante del crisol. Todo el crisol y la planta de trabajo están situados a una altura determinada por encima del suelo, y el espacio situado

bajo el crisol lo ocupan las cámaras de regeneración de calor del horno. Un horno del tamaño indicado produce unas 100 toneladas de acero cada 11 horas.

El horno se carga con una mezcla de arrabio (fundido o frío), chatarra de acero y mineral de hierro, que proporciona oxígeno adicional. Se añade caliza como fundente y fluonita para hacer que la escoria sea más fluida. Las proporciones de la carga varían mucho, pero una carga típica podría consistir en 60000 kg de chatarra de acero, 11000 kg de arrabio frío, 45000 kg de arrabio fundido, 12000 kg de caliza, 1000 kg de mineral de hierro y 200 kg de fluorita. Una vez cargado el horno, se enciende, y las llamas oscilan de un lado a otro del crisol a medida que el operario invierte su dirección para regenerar el calor.

Desde el punto de vista químico la acción del horno de crisol abierto consiste en reducir por oxidación el contenido de carbono de la carga y eliminar impurezas como silicio, fósforo, manganeso y azufre, que se combinan con la caliza y forman la escoria. Estas reacciones tienen lugar mientras el metal del horno se encuentra a la temperatura de fusión, y el horno se mantiene entre 1550 y 1650 °C durante varias horas hasta que el metal fundido tenga el contenido de carbono deseado. Un operario experto puede juzgar el contenido de carbono del metal a partir de su aspecto, pero por lo general se prueba la fundición extrayendo una pequeña cantidad de metal del horno, enfriándola y sometiéndola a examen físico o análisis químico. Cuando el contenido en carbono de la fundición alcanza el nivel deseado, se sangra el horno a través de un orificio situado en la parte trasera. El acero fundido fluye por un canal corto hasta una gran cuchara situada a ras de suelo, por

debajo del horno. Desde la cuchara se vierte el acero en moldes de hierro colado para formar lingotes, que suelen tener una sección cuadrada de unos 50 cm de lado, y una longitud de 1.5 m. Estos lingotes —la materia prima para todas las formas de fabricación del acero— pesan algo menos de 3 toneladas. Recientemente se han puesto en práctica métodos para procesar el acero de forma continua sin tener que pasar por el proceso de fabricación de lingotes.

Proceso básico de oxígeno.

El proceso más antiguo para fabricar acero en grandes cantidades es el proceso Bessemer, que empleaba un horno de gran altura en forma de pera, denominado convertidor Bessemer, que podía inclinarse en sentido lateral para la carga y el vertido. Al hacer pasar grandes cantidades de aire a través del metal fundido, el oxígeno del aire se combinaba químicamente con las impurezas y las eliminaba.

En el proceso básico de oxígeno, el acero también se refina en un horno en forma de pera que se puede inclinar en sentido lateral. Sin embargo, el aire se sustituye por un chorro de oxígeno casi puro a alta presión. Cuando el horno se ha cargado y colocado en posición vertical, se hace descender en su interior una lanza de oxígeno. La punta de la lanza, refrigerada por agua, suele estar situada a unos 2 m por encima de la carga, aunque esta distancia se puede variar según interés. A continuación se inyectan en el horno miles de metros cúbicos de oxígeno a velocidades supersónicas. El oxígeno se combina con el carbono y otros elementos no deseados e inicia una reacción de agitación que quema con rapidez

las impurezas del arrabio y lo transforma en acero. El proceso de refinado tarda 50 minutos o menos y es posible fabricar unas 275 toneladas de acero en una hora.

Acero de horno eléctrico.

En algunos hornos el calor para fundir y refinar el acero procede de la electricidad y no de la combustión de gas. Como las condiciones de refinado de estos hornos se pueden regular más estrictamente que las de los hornos de crisol abierto o los hornos básicos de oxígeno, los hornos eléctricos son sobre todo útiles para producir acero inoxidable y aceros aleados que deben ser fabricados según unas especificaciones muy exigentes. El refinado se produce en una cámara hermética, donde la temperatura y otras condiciones se controlan de forma rigurosa mediante dispositivos automáticos. En las primeras fases de este proceso de refinado se inyecta oxígeno de alta pureza a través de una lanza, lo que aumenta la temperatura del horno y disminuye el tiempo necesario para producir el acero. La cantidad de oxígeno que entra en el horno puede regularse con precisión en todo momento, lo que evita reacciones de oxidación no deseadas.

En la mayoría de los casos, la carga está formada casi exclusivamente por material de chatarra. Antes de poder utilizarla, la chatarra debe ser analizada y clasificada, porque su contenido en aleaciones afecta a la composición del metal refinado. También se añaden otros materiales, como pequeñas cantidades de mineral de hierro y cal seca, para contribuir a eliminar el carbono y otras impurezas. Los elementos adicionales para la aleación se introducen con la carga o después, cuando se vierte a la cuchara el acero refinado.

Una vez cargado el horno se hacen descender unos electrodos hasta la superficie del metal. La corriente eléctrica fluye por uno de los electrodos, forma un arco eléctrico hasta la carga metálica, recorre el metal y vuelve a formar un arco hasta el siguiente electrodo. La resistencia del metal al flujo de corriente genera calor, que —junto con el producido por el arco eléctrico— funde el metal con rapidez. Hay otros tipos de horno eléctrico donde se emplea una espiral para generar calor.

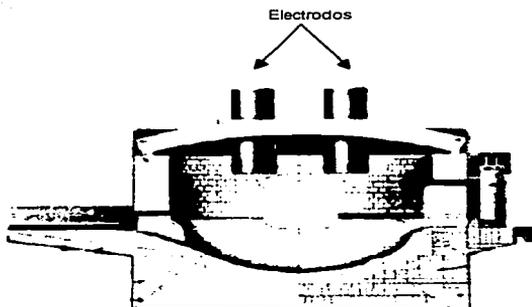


Fig. 1.2.2 Horno eléctrico.

HECHO CON
TALA DE ORIGEN

1.2.1 FÁBRICA DE AGLOMERACIÓN.

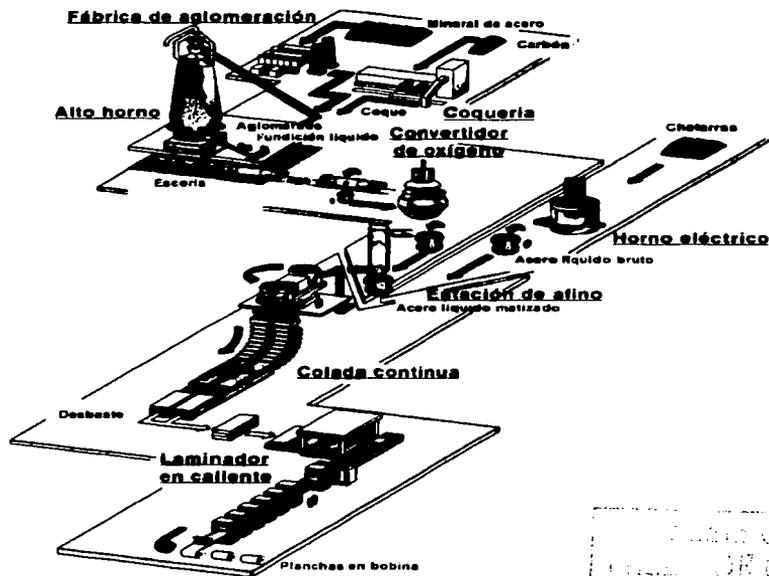


Fig. 1.2.3 Fábrica de aglomeración.

Para preparar el mineral de hierro: Éste se tritura y calibra en granos que se aglomeran (se aglutinan) entre ellos. El aglomerado así obtenido se compacta, cargándolo después en el alto horno junto con el coque. El coque es un potente combustible, que se obtiene como residuo sólido de la destilación de la hulla (una clase de carbón muy rico en carbono).

Alto horno: Se extrae el hierro de su mineral. El mineral y el coque sólidos se introducen por la parte superior del horno. El aire caliente (1200°C) inyectado en la base produce la combustión del coque (carbono casi puro). El óxido de carbono así formado reduce los óxidos de hierro, es decir, extrae su oxígeno, aislando el hierro de ese modo. El calor desprendido por la combustión funde el hierro y la ganga en una masa líquida en que la ganga, de menor densidad, flota sobre una mezcla a base de hierro, denominada "fundición". Los residuos formados por la ganga fundida (escorias) son aprovechados por otras industrias: construcción de carreteras, fabricación de cementos, etc.

Convertidor de oxígeno: Aquí se convierte la fundición en acero. La fundición en fusión se vierte sobre un lecho de chatarra. Se queman los elementos indeseables (carbono y residuos) contenidos en la fundición, inyectando oxígeno puro. Se recuperan los residuos (escoria de acero). Se obtiene acero líquido "bruto", que se vierte en una cuchara. Se denomina acero bruto porque, en esa etapa, está todavía inacabado.

Coquería: El coque es un combustible obtenido mediante destilación (gasificación de los componentes no deseados) de la hulla en el horno de la fábrica de coque. El coque es carbono casi en estado puro, dotada de una estructura porosa y resistente a la rotura. Al arder en el alto horno, el coque aporta el calor necesario para la fusión del mineral y los gases necesarios para su reducción.

Procedimiento eléctrico: La materia prima introducida en el horno puede incluir desde material en bruto (por ejemplo, piezas de maquinaria) debidamente seleccionado, hasta chatarra entregada en forma preparada, clasificada, triturada y calibrada con un contenido mínimo de hierro del 92%. La chatarra se funde en un horno eléctrico.

El acero líquido: obtenido de esa manera, se somete a continuación a las mismas operaciones de afinado y de matización que en el procedimiento de fundición. La chatarra procede de envases desechados, edificaciones, maquinaria y vehículos chatarra o desechos de fundición o acero recuperados en la planta siderúrgica o de sus clientes transformadores. Cada matiz de acero requiere una elección rigurosa de la materia prima, especialmente en función de las "impurezas" que un metal determinado u otro mineral contenido en la chatarra pueda representar para un matiz.

Estación de afino: Afino (descarburación) y adiciones químicas. Las operaciones se producen en un recipiente al vacío, haciendo que gire el acero entre la cuchara y el recipiente con la ayuda de un gas inerte (argón). Se inyecta oxígeno a fin de

activar la descarburación y calentar el metal. Este procedimiento permite una gran precisión en el ajuste de la composición química del acero ("matización").

Colada continua moldeo de piezas en bruto (semiprocesados): El acero fundido se vierte en continuo en un molde sin fondo. Al atravesar este molde, comienza a solidificarse en contacto con las paredes refrigeradas por agua. El metal moldeado baja, guiado por un conjunto de rodillos, y continúa enfriándose. Al llegar a la salida, está solidificado hasta el núcleo. En ese momento se corta inmediatamente en las longitudes deseadas.

1.3 PROCESOS DE ACABADO.

Laminado en caliente y colada continua.

El acero se vende en una gran variedad de formas y tamaños, como varillas, tubos, rieles de ferrocarril o perfiles en H o en T. Estas formas se obtienen en las instalaciones siderúrgicas laminando los lingotes calientes o modelándolos de algún otro modo. El acabado del acero mejora también su calidad al refinar su estructura cristalina y aumentar su resistencia.

El método principal de trabajar el acero se conoce como laminado en caliente. En este proceso, el lingote colado se calienta al rojo vivo en un horno denominado foso de termodifusión y a continuación se hace pasar entre una serie de rodillos metálicos colocados en pares que lo aplastan hasta darle la forma y tamaño deseados. La distancia entre los rodillos va disminuyendo a medida que se reduce el espesor del acero.

El primer par de rodillos por el que pasa el lingote se conoce como tren de desbaste o de eliminación de asperezas. Después del tren de desbaste, el acero pasa a trenes de laminado en bruto y a los trenes de acabado que lo reducen a láminas con la sección transversal correcta. Los rodillos para producir railes o rieles de ferrocarril o perfiles en H, en T o en L tienen estrías para proporcionar la forma adecuada.

Los procesos modernos de fabricación requieren gran cantidad de chapa de acero delgada. Los trenes o rodillos de laminado continuo producen tiras y láminas con

anchuras de hasta 2.5 m. Estos laminadores procesan con rapidez la chapa de acero antes de que se enfríe y no pueda ser trabajada. Las planchas de acero caliente de más de 10 cm de espesor se pasan por una serie de cilindros que reducen progresivamente su espesor hasta unos 0.1 cm y aumentan su longitud de 4 a 370 metros. Los trenes de laminado continuo están equipados con una serie de accesorios como rodillos de borde, aparatos de decapado o eliminación y dispositivos para enrollar de modo automático la chapa cuando llega al final del tren. Los rodillos de borde son grupos de rodillos verticales situados a ambos lados de la lámina para mantener su anchura. Los aparatos de decapado eliminan la costra que se forma en la superficie de la lámina apartándola mecánicamente, retirándola mediante un chorro de aire o doblando de forma abrupta la chapa en algún punto del recorrido. Las bobinas de chapa terminadas se colocan sobre una cinta transportadora y se llevan a otro lugar para ser recocidas y cortadas en chapas individuales. Una forma más eficiente para producir chapa de acero delgada es hacer pasar por los rodillos planchas de menor espesor. Con los métodos convencionales de fundición sigue siendo necesario pasar los lingotes por un tren de desbaste para producir planchas lo bastante delgadas para el tren de laminado continuo.

El sistema de colada continua, en cambio, produce una plancha continua de acero con un espesor inferior a 5 cm, lo que elimina la necesidad de trenes de desbaste y laminado en bruto.



Fig. 1.3.1 Laminado en caliente.

Fabricación de Tubos.

Los tubos más baratos se forman doblando una tira plana de acero caliente en forma cilíndrica y soldando los bordes para cerrar el tubo. En los tubos más pequeños, los bordes de la tira suelen superponerse y se pasan entre un par de rodillos curvados según el diámetro externo del tubo. La presión de los rodillos es suficiente para soldar los bordes. Los tubos sin soldaduras se fabrican a partir de barras sólidas haciéndolas pasar entre un par de rodillos inclinados entre los que está situada una barra metálica con punta que perfora las barras y forma el interior del tubo mientras los rodillos forman el exterior.



Fig. 1.3.2 Fabricación de tubo.

TESIS CON
FARMACIA DE ORIGEN

1.4 CLASIFICACIÓN DEL ACERO.

Los diferentes tipos de acero se agrupan en cinco clases principales: aceros al carbono, aceros aleados, aceros de baja aleación ultrarresistentes, aceros inoxidables y aceros de herramientas.

Aceros al carbono.

Más del 90% de todos los aceros son aceros al carbono. Estos aceros contienen diversas cantidades de carbono y menos del 1.65% de manganeso, el 0.60% de silicio y el 0.60% de cobre. Entre los productos fabricados con aceros al carbono figuran máquinas, carrocerías de automóvil, la mayor parte de las estructuras de construcción de acero, cascos de buques, somieres y horquillas o pasadores para el pelo.

Aceros aleados.

Estos aceros contienen una proporción determinada de vanadio, molibdeno y otros elementos, además de cantidades mayores de manganeso, silicio y cobre que los aceros al carbono normales. Estos aceros se emplean, por ejemplo, para fabricar engranajes y ejes de motores, patines o cuchillos de corte.

Aceros de baja aleación ultrarresistentes.

Esta familia es la más reciente de las cinco grandes clases de acero. Los aceros de baja aleación son más baratos que los aceros aleados convencionales ya que contienen cantidades menores de los costosos elementos de aleación. Sin embargo, reciben un tratamiento especial que les da una resistencia mucho mayor

que la del acero al carbono. Por ejemplo, los vagones de mercancías fabricados con aceros de baja aleación pueden transportar cargas más grandes porque sus paredes son más delgadas que lo que sería necesario en caso de emplear acero al carbono. Además, como los vagones de acero de baja aleación pesan menos, las cargas pueden ser más pesadas. En la actualidad se construyen muchos edificios con estructuras de aceros de baja aleación. Las vigas pueden ser más delgadas sin disminuir su resistencia, logrando un mayor espacio interior en los edificios.

Aceros inoxidables.

Los aceros inoxidables contienen cromo, níquel y otros elementos de aleación, que los mantienen brillantes y resistentes a la herrumbre y oxidación a pesar de la acción de la humedad o de ácidos y gases corrosivos. Algunos aceros inoxidables son muy duros; otros son muy resistentes y mantienen esa resistencia durante largos periodos a temperaturas extremas. Debido a sus superficies brillantes, en arquitectura se emplean muchas veces con fines decorativos. El acero inoxidable se utiliza para las tuberías y tanques de refinerías de petróleo o plantas químicas, para los fuselajes de los aviones o para cápsulas espaciales. También se usa para fabricar instrumentos y equipos quirúrgicos, o para fijar o sustituir huesos rotos, ya que resiste a la acción de los fluidos corporales. En cocinas y zonas de preparación de alimentos los utensilios son a menudo de acero inoxidable, ya que no oscurece los alimentos y pueden limpiarse con facilidad.

Aceros de herramientas.

Estos aceros se utilizan para fabricar muchos tipos de herramientas y cabezales de corte y modelado de máquinas empleadas en diversas operaciones de fabricación. Contienen wolframio, molibdeno y otros elementos de aleación, que les proporcionan mayor resistencia, dureza y durabilidad.

1.4.1 ALEACIONES.

Debido a que las aleaciones han venido ganando un gran campo de acción en la Ingeniería, podíamos conocer las propiedades que caracterizan a cada tipo de aleación. La resistencia no es la única característica que nos permite decidir si el elemento tendrá un desempeño óptimo. Un desempeño satisfactorio depende también de la densidad, la resistencia a la corrosión y los efectos de la temperatura, así como también de las propiedades eléctricas y magnéticas. Como ejemplo consideremos algunas partes para las cuales son especialmente apropiadas ciertas aleaciones.

Aleaciones de aluminio: partes de aviones (alta resistencia en la relación con su peso).

Aleaciones de magnesio: fundiciones para aviones (compite con el aluminio).

Aleaciones de cobre: alambres eléctricos (alta conductividad).

Aleaciones de níquel: partes para turbinas de gas (alta resistencia a temperaturas elevadas).

Encontramos que más del 95% en peso de los metales de ingeniería, utilizados en los Estados Unidos cada año son aleaciones basadas en aluminio, magnesio, cobre hierro y níquel. De hecho, más del 85% es de la familia basada en el hierro y, a pesar de que los porcentajes para las aleaciones de magnesio y níquel son pequeños, estas tienen gran importancia y sería conveniente conocer algunas de las características principales de algunos tipos de aleaciones.

Aleaciones martensíticas. Contienen de 12 a 20% de cromo con cantidades controladas de carbono y otros aditivos. El tipo 410 es un miembro característico de este grupo. Esas aleaciones se pueden endurecer mediante el tratamiento térmico, con un aumento en la resistencia a la tracción de 550 a 1380 Mpa (80000 a 200000 lbf / in²). La resistencia a la corrosión es inferior a la de los aceros inoxidable austeníticos y los aceros martensíticos se utilizan en general en ambientes ligeramente corrosivos (atmosférico, agua dulce y materiales orgánicos).

Aleaciones inoxidables vaciadas. Se utilizan mucho en bombas, válvulas y accesorios. Esas aleaciones vaciadas se designan según el sistema de Alloy Casting Institute (ACI). Todas las aleaciones resistentes a la corrosión tienen la letra C más otra letra (A aN) que denota el contenido creciente de níquel. Los números indican el contenido máximo de carbono. Aunque se puede hacer una comparación aproximada entre los tipos ACI y Los AISI, las composiciones no son idénticas y los análisis no se pueden utilizar en forma intercambiable. Las técnicas de fundición requieren un rebalanceo de las composiciones químicas forjadas. Sin

embargo, la resistencia a la corrosión no se ve afectada por esos cambios de composición. Los miembros característicos de este grupo son CF- similar al acero inoxidable tipo 304; CF-8M, similar al tipo 316 CD-4M Cu, que tiene una resistencia mecánica al ácido nítrico, al sulfúrico y al fosfórico.

Además de los grados, hay una serie de grados resistentes al calor de aleaciones vaciadas, que se identifican por su similitud con los grados de resistencia a la corrosión, excepto que la primera letra es H en vez de C. Es preciso mencionar también los aceros inoxidables de endurecimiento por precipitación (PH), que se pueden endurecer por medio de tratamientos térmicos a temperaturas moderadas. Muy fuertes y duros a las temperaturas elevadas, estos aceros tienen sólo una resistencia moderada a la corrosión. Un acero PH usual que contiene 17% Cr, 7% Ni 1.1% Al tiene una resistencia elevada, buenas propiedades ante la fatiga y buena resistencia al desgaste. Un número elevado de estos aceros, con composiciones variables, se encuentran disponibles comercialmente. En forma esencial contienen cromo y níquel con agentes agregados de aleación como cobre aluminio, berilio, molibdeno, nitrógeno y fósforo.

Aleaciones medias. Un grupo de aleaciones en su mayor parte patentadas, con una resistencia ligeramente mejor a la corrosión que la de los aceros inoxidables se denominan aleaciones medias. Uno de los miembros más populares de este grupo es la aleación 20, producida por ciertas compañías con diversos nombres comerciales. La aleación 20 se desarrollo originalmente para satisfacer la necesidad de un material con una resistencia al ácido sulfúrico superior a la de los

aceros inoxidables.

Otros miembros del grupo de aleaciones medias son incoloy 825 y Hastelloy G-3.

El Incoloy 825 forjado tiene 40% Ni, 21%Cr, 3% Mo y 2.25% Cu.

El Hastelloy G-3 contiene 44% Ni, 22% Cr, 6.5% Mo y como máximo 0.05% C.

Estas aleaciones tienen una aplicación muy amplia en los sistemas de ácido sulfúrico. Debido a su alto contenido de níquel y molibdeno tienen mayor tolerancia a la contaminación por el ion cloruro que los aceros inoxidables estándares. El contenido de níquel disminuye el riesgo de fractura debido a la corrosión por esfuerzo. El molibdeno mejora la resistencia a la corrosión por grieta y a las picaduras.

Aleaciones altas. El grupo de materiales que se denominan aleaciones altas contienen porcentajes relativamente grandes de níquel. El Hastelloy B-2 contiene 61% Ni, y 28% Mo. Existen en la forma forjada y vaciada. El endurecimiento por trabajo presenta ciertas dificultades de fabricación y el maquinado es un poco más difícil que para el acero inoxidable del tipo 316. Se pueden utilizar métodos tradicionales de soldadura. La aleación tiene una resistencia desacostumbrada alta a todas las concentraciones de ácido clorhídrico. Las sales y los ácidos oxidantes corroen con rapidez el Hastelloy B-2; pero los álcalis y las soluciones alcalinas provocan pocos daños en él.

El Coloriste 2 tiene 63% Ni y 32% Mo y se asemeja al Hastelloy B-2. Existe sólo en forma vaciada, principalmente en válvulas y bombas. Se trata de una aleación dura, muy resistente a los choques mecánicos y térmicos. Se puede labrar con herramientas de punta de carburo y soldar con técnicas de arco metálico.

El Hastelloy 0-276 es una aleación basada en níquel que contiene cromo (15.5%), molibdeno (15.5%) y tungsteno (3%) como principales elementos de aleación. Solo se puede conseguir en la forma forjada. Esta aleación es una modificación baja en impurezas del Hastelloy C, que se puede conseguir en forma fundida. El bajo nivel de impurezas reduce substancialmente el riesgo de la corrosión en la precipitación de las superficies límites de los granos en las zonas afectadas por el calor de la soldadura. Esta aleación es resistente a las soluciones de cloruro fuertemente oxidante, como el cloro húmedo y las soluciones de hipoclorito. Es una de las pocas aleaciones que son totalmente resistentes al agua de mar.

Hastelloy C-4 es una variación reciente, que es casi totalmente inmune a la corrosión intergranular en las zonas afectadas por el calor de la soldadura.

Chlorimet 3 es una aleación que se consigue sólo en la forma fundida y es similar al Hastelloy C en su contenido de aleación y en resistencia a la corrosión.

Inconel 600 basado en 80% Ni, 16% Cr, 7% Fe, se debe mencionar también como aleación alta. No contiene molibdeno. El grado resistente a la corrosión se recomienda para ambientes reductores-oxidantes, sobre todo a temperaturas

elevadas. Cuando se calienta en el aire, la aleación resiste la oxidación hasta 1100°C. La aleación es sobresaliente en su resistencia a la corrosión por gases cuando éstos últimos están esencialmente libres de azufre.

Las aleaciones que se han citado son los ejemplos característicos de gran número de aleaciones altas patentadas de empleo en la industria química.

Aceros de baja aleación y alta resistencia. Existen un gran número de aceros de alta resistencia y baja aleación cubiertos por las normas ASTM bajo varios números. Además de contener carbono y manganeso, la resistencia de estos aceros se debe a que se usan como elementos de aleación al columbio, vanadio, cromo, silicio, cobre, níquel y otros. Estos aceros tienen límites de fluencia tan bajos como 42000 psi (2940 kg/cm²) y tan altos como 65000 psi (4550 kg/cm²). Estos aceros tienen mucha mayor resistencia a la corrosión que los aceros simples al carbón. En este grupo se incluyen el A529, A242, A440, A441, A572 y A588.

Aceros aleados térmicamente tratados para la construcción. Estos aceros contienen elementos de aleación en mayor cantidad que los de baja aleación y alta resistencia y además se tratan térmicamente (por revenido y templado), para obtener aceros tenaces y resistentes. Se eniistan en las normas ASTM con la designación A514 y tienen límites de fluencia de 90000 a 100000 psi (6300 a 7030 kg/cm²) dependiendo del espesor.

Se dice que existen por ahora más de 200 tipos de acero en el mercado cuyo límite de fluencia está por encima de los 36000 psi. La industria del acero experimenta con tipos cuyos esfuerzos de fluencia varían de 200000 a 300000 psi y esto es sólo el principio. Muchos investigadores de la industria piensan que al final de la década de los 70 se tengan en disponibilidad aceros de 500000 psi de límite de fluencia. La fuerza teórica que liga o vincula átomos de hierro se ha estimado que está por encima de los 4 000 000 psi.

Aun cuando el precio del acero se incrementa con el aumento de su límite de fluencia, este incremento no es linealmente proporcional y puede resultar económica la utilización de estos aceros, a pesar de su costo, si el uso de ellos se realiza diseñándolos a sus máximos esfuerzos permisibles, a máxima eficiencia, sobre todo en piezas de tensión o tirantes, en vigas con patines impedidos de pandeo, columnas cortas (o de baja relación de esbeltez). Otra aplicación de estos aceros es frecuente en la llamada construcción híbrida, en donde se usan dos o más aceros de diferentes resistencias, los más débiles se colocan en donde los esfuerzos son bajos y los más resistentes en donde los esfuerzos son mayores.

Uso de vigas poco aperaltadas (poca altura) que permiten entresijos menores. Posible ahorro en materiales de recubrimiento incombustible, ya que pueden utilizarse miembros más pequeños.

El primer pensamiento de la mayoría de los ingenieros al elegir el tipo de acero, es el costo directo de los elementos. Una comparación de costo puede hacerse

fácilmente, pero la economía por el grado de acero a usar no se puede obtener a menos que se involucren: el peso, las dimensiones, deflexiones, costos de mantenimiento, fabricación, etc; hacer una comparación general exacta de los aceros es probablemente imposible a menos que se tenga un tipo específico de obra a considerar.

1.5 PROPIEDADES DEL ACERO.

Dado el caso de que los materiales mas usados en la construcción no se encuentran en la naturaleza en estado puro, por lo que para su empleo hay que someterlos a una serie de operaciones metalúrgicas cuyo fin es separar el metal de las impurezas u otros minerales que lo acompañen. Pero esto no basta para alcanzar las condiciones optimas, entonces para que los metales tengan buenos resultados, se someten a ciertos tratamientos con el fin de hacer una aleación que reúna una serie de propiedades que los hagan aptos para adoptar sus formas futuras y ser capaces de soportar los esfuerzos a los que van a estar sometidos.

El acero como material indispensable de refuerzo en las construcciones, es una aleación de hierro y carbono, en proporciones variables, y pueden llegar hasta el 2% de carbono, con el fin de mejorar algunas de sus propiedades, puede contener también otros elementos. Una de sus características es admitir el temple, con lo que aumenta su dureza y su flexibilidad.

En las décadas recientes, los ingenieros y arquitectos han estado pidiendo continuamente aceros cada vez mas resistentes, con propiedades de resistencia a la corrosión; aceros mas soldables y otros requisitos. La investigación llevada a cabo por la industria del acero durante este periodo ha conducido a la obtención de varios grupos de nuevos aceros que satisfacen muchos de los requisitos y existe ahora una amplia variedad cubierta gracias a las normas y especificaciones actuales.

El acero es una aleación de hierro con carbono en una proporción que oscila entre 0.03 y 2%. Se suele componer de otros elementos, ya inmersos en el material del que se obtienen. Pero se le pueden añadir otros materiales para mejorar su dureza, maleabilidad u otras propiedades.

Las propiedades físicas de los aceros y su comportamiento a distintas temperaturas dependen sobre todo de la cantidad de carbono y de su distribución. Antes del tratamiento térmico, la mayoría de los aceros son una mezcla de tres sustancias, ferrita, perlita y cementita.

Las propiedades principales que un metal debe cumplir para ser utilizado indispensablemente en una construcción debe cumplir con las siguientes propiedades.

Fusibilidad: Es la facilidad de poder dar forma a los metales, fundiéndolos y colocándolos en moldes.

Forjabilidad: Es la capacidad para poder soportar las variaciones de formas, en estado sólido o caliente, por la acción de martillos, laminadores o prensas.

Maleabilidad: Propiedad para permitir modificar su forma a temperatura ambiente en laminas, mediante la acción de martillado y estirado.

Ductilidad: Es la capacidad de poderse alargar longitudinalmente.

Tenacidad: Resistencia a la ruptura al estar sometido a tensión.

Facilidad de corte: Capacidad de poder separarse en trozos regulares con herramientas cortantes.

Soldabilidad: Propiedad de poder unirse hasta formar un cuerpo único.

Oxidabilidad: Al estar en presencia de oxígeno, se oxidan formando una capa de óxido.

Diagrama Fe-C.

La adición de elementos de aleación al hierro influye en las temperaturas a que se producen las transformaciones alotrópicas. Entre estos elementos, el más importante es el carbono.

El diagrama hierro-carbono, aun cuando teóricamente representa unas condiciones metastables, se puede considerar que en condiciones de calentamiento y enfriamiento relativamente lentas representa cambios de equilibrio.

En el diagrama aparecen tres líneas horizontales (fig. 1.5.1), las cuales indican reacciones isotérmicas. La parte del diagrama situada en el ángulo superior izquierdo de la figura se denomina *región delta*. En ella se reconocerá la horizontal correspondiente a la temperatura de 1493 °C como la típica línea de una reacción peritéctica. La ecuación de esta reacción puede escribirse en la forma:



La máxima solubilidad del carbono en el hierro delta (de red cúbica centrado en el cuerpo) es 0.10 % de C, mientras que el Fe gamma (de red cúbica centrado en las caras) disuelve al carbono en una proporción mucho mayor. En cuanto al valor industrial de esta región es muy pequeño ya que no se efectúa ningún tratamiento térmico en este intervalo de temperaturas.

La siguiente línea horizontal corresponde a una temperatura de 1129°C, esta temperatura es la de solidificación del eutéctico, y la reacción que en ella se desarrolla es:



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La mezcla eutéctica, por lo general, no se ve al microscopio, ya que a la temperatura ambiente la fase gamma no es estable y experimenta otra transformación durante el enfriamiento.

La última línea horizontal, se presenta a los 722°C, esta línea corresponde a la temperatura de formación del eutectoide, y al alcanzarse en un enfriamiento lento la fase gamma debe desaparecer. La ecuación de la reacción eutectoide que se desarrolla puede expresarse por:



En función del contenido de carbono suele dividirse el diagrama de hierro-carbono en dos partes: una que comprende las aleaciones con menos del 2 % de carbono y que se llaman *aceros*, y otra integrada por las aleaciones con más de un 2 % de carbono, las cuales se llaman *fundiciones o arrabio*. A su vez, la región de los aceros se subdivide en otras dos: una formada por los aceros cuyo contenido en carbono es inferior al correspondiente a la composición eutectoide (0.77 %C) los cuales se llaman aceros hipoeutectoides, y la otra compuesta por los aceros cuyo contenido se encuentra entre 0.77 y 2 %, y que se conocen por *aceros hipereutectoides*.

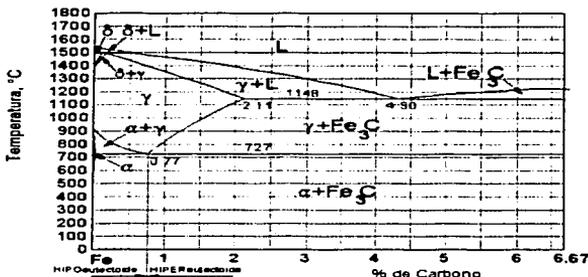


Fig. 1.5.1 Diagrama Fe-C.

TESIS CON
DE ORIGEN

Microestructuras de los aceros.

Los constituyentes metálicos que pueden presentarse en los aceros al carbono son: ferrita, cementita, perlita, sorbita, troostita, martensita, bainita y rara vez austenita, aunque nunca como único constituyente. También pueden estar presentes constituyentes no metálicos como óxidos, silicatos, sulfuros y aluminatos.

Las microestructuras que presenta el diagrama de equilibrio para los aceros al carbono son:

Ferrita (Hierro α).

Es una solución sólida de carbono en hierro alfa, su solubilidad a la temperatura ambiente es del orden de 0.008% de carbono, por esto se considera como hierro puro, la máxima solubilidad de carbono en el hierro alfa es de 0.02% a 723 °C.

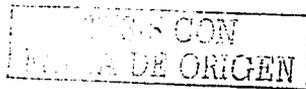


Fig. 1.5.2 Microestructura del acero al carbono, cristales blancos de ferrita.

La ferrita es la fase más blanda y dúctil de los aceros, cristaliza en la red cúbica centrada en el cuerpo, tiene una dureza de 90 Brinell y una resistencia a la

tracción de 28 kg/mm², llegando hasta un alargamiento del 40%. La ferrita se observa al microscopio como granos poligonales claros.

En los aceros, la ferrita puede aparecer como cristales mezclados con los de perlita, en los aceros de menos de 0.6% de C, figura 1.5.2; formando una red o malla que limita los granos de perlita, en los aceros de 0.6 a 0.85% C en forma de agujas o bandas circulares orientados en la dirección de los planos cristalográficos de la austenita como en los aceros en bruto de colada o en aceros que han sido sobrecalentados.

La ferrita también aparece como elemento eutectoide de la perlita formando láminas paralelas separadas por otras láminas de cementita, en la estructura globular de los aceros de herramientas aparece formando la matriz que rodea los glóbulos de cementita (figura 1.5.3), en los aceros hipoeutectoides templados, puede aparecer mezclada con la martensita cuando el temple no ha sido bien efectuado.

Cementita.

Es el carburo de hierro de fórmula Fe₃C, contiene 6.67 %C y 93.33 % de hierro, es el microconstituyente más duro y frágil de los aceros al carbono, alcanzando una dureza Brinell de 700 (68 Rc) y cristaliza en la red ortorrómbica.



Fig. 1.5.3 Microestructura del acero 1% de C, red blanca de cementita.

En las probetas atacadas con ácidos se observa de un blanco brillante y aparece como cementita primaria o proeutéctica en los aceros con más de 0.9%C formando una red que envuelve los granos de perlita, formando parte de la perlita como láminas paralelas separadas por otras láminas de ferrita, se presenta en forma de glóbulos o granos dispersos en una matriz de ferrita, cuando los aceros de alto carbono se han sometido a un recocido de globulización, en los aceros hipoeutectoides que no han sido bien templados.

Perlita.

Es el microconstituyente eutectoide formado por capas alternadas de ferrita y cementita, compuesta por el 88 % de ferrita y 12 % de cementita, contiene el 0.8 % de C. Tiene una dureza de 250 Brinell, resistencia a la tracción de 80 kg/mm² y un alargamiento del 15%; el nombre de perlita se debe a las irisaciones que adquiere al iluminarla, parecidas a las perlas. La perlita aparece en general en el

enfriamiento lento de la austenita y por la transformación isotérmica de la austenita en el rango de 650 a 723°C.



Fig. 1.5.4 Microestructura del acero al carbono, cristales oscuros de perlita

Si el enfriamiento es rápido (100-200°C/seg.), la estructura es poco definida y se denomina sorbita, si la perlita laminar se somete a un recocido a temperatura próxima a 723°C, la cementita adopta la forma de glóbulos incrustados en la masa de ferrita, denominándose perlita globular.

Austenita.

Es el constituyente más denso de los aceros y está formado por una solución sólida por inserción de carbono en hierro gamma. La cantidad de carbono disuelto, varía de 0.8 al 2 % de C que es la máxima solubilidad a la temperatura de 1130°C.

La austenita no es estable a la temperatura ambiente pero existen algunos aceros al cromo-níquel denominados austeníticos cuya estructura es austenita a temperatura ambiente.

CON
FALLA DE ORIGEN

La austenita está formada por cristales cúbicos centrados en las caras, con una dureza de 300 Brinell, una resistencia a la tracción de 100 kg/mm² y un alargamiento del 30 %, no es magnética.



Fig. 1.5.5 Microestructura de la austenita.

Martensita.

Es el constituyente de los aceros templados, está conformado por una solución sólida sobresaturada de carbono o carburo de hierro en ferrita y se obtiene por enfriamiento rápido de los aceros desde su estado austenítico a altas temperaturas.

El contenido de carbono suele variar desde muy poco carbono hasta el 1% de carbono, sus propiedades físicas varían con su contenido en carbono hasta un máximo de 0.7 % de C.





Fig. 1.5.6 Microestructura de la martensita.

La martensita tiene una dureza de 50 a 68 Rc, resistencia a la tracción de 170 a 250 kg/mm² y un alargamiento del 0.5 al 2.5 %, muy frágil y presenta un aspecto acicular formando grupos en zigzag con ángulos de 60 grados.

Los aceros templados suelen quedar demasiado duros y frágiles, inconveniente que se corrige por medio del revenido que consiste en calentar el acero a una temperatura inferior a la crítica inferior (727°C), dependiendo de la dureza que se desee obtener, enfriándolo luego al aire o en cualquier medio.

Troostita.

Es un agregado muy fino de cementita y ferrita, se produce por un enfriamiento de la austenita con una velocidad de enfriamiento ligeramente inferior a la crítica de temple o por transformación isotérmica de la austenita en el rango de temperatura de 500 a 600 °C o por revenido a 400 °C.

Sus propiedades físicas son intermedias entre la martensita y la sorbita, tiene una dureza de 400 a 500 Brinell, una resistencia a la tracción de 140 a 175 kg/mm² y

un alargamiento del 5 al 10%. Es un constituyente nodular oscuro con estructura radial apreciable a unos 1000X y aparece generalmente acompañando a la martensita y a la austenita.

Sorbita.

Es también un agregado fino de cementita y ferrita. Se obtiene por enfriamiento de la austenita con una velocidad de enfriamiento bastante inferior a la crítica de temple o por transformación isotérmica de la austenita en la zona de 600 a 650 °C, o por revenido a la temperatura de 600 °C. Su dureza es de 250 a 400 Brinell, su resistencia a la tracción es de 88 a 140 kg/mm², con un alargamiento del 10 al 20%.

Con pocos aumentos aparece en forma muy difusa como manchas; pero con 1000X toma la forma de nódulos blancos muy finos sobre oscuro, de hecho tanto la troostita como la sorbita pueden considerarse como perlita de grano muy fino.

Bainita.

Es el constituyente que se obtiene en la transformación isotérmica de la austenita cuando la temperatura del baño de enfriamiento es de 250 a 500 °C. Se diferencian dos tipos de estructuras: la bainita superior de aspecto arborescente formada a 500-580°C, compuesta por una matriz ferrítica conteniendo carburos. Bainita inferior, formada a 250-400°C tiene un aspecto acicular similar a la martensita y constituida por agujas alargadas de ferrita que contienen delgadas placas de carburos.

La bainita tiene una dureza variable de 40 a 60 Rc comprendida entre las correspondientes a la perlita y a la martensita.

Los constituyentes que pueden presentarse en los aceros aleados son los mismos de los aceros al carbono, aunque la austenita puede ser único constituyente y además pueden aparecer otros carburos simples y dobles o complejos.

La determinación del tamaño de grano austenítico o ferrítico, puede hacerse por la norma ASTM o por comparación de la microfotografía de la probeta a 100X, con las retículas patrón numeradas desde el 1 para el grano más grueso hasta el 8 para el grano más fino.

En el sistema ASTM el grosor del grano austenítico se indica con un número convencional n , de acuerdo con la fórmula:

$$\log G = (n-1) \log 2$$

Donde G es el número de granos por pulgada cuadrada sobre una imagen obtenida a 100 aumentos; este método se aplica a metales que han recristalizado completamente, n es el número de tamaño de grano de uno a ocho.



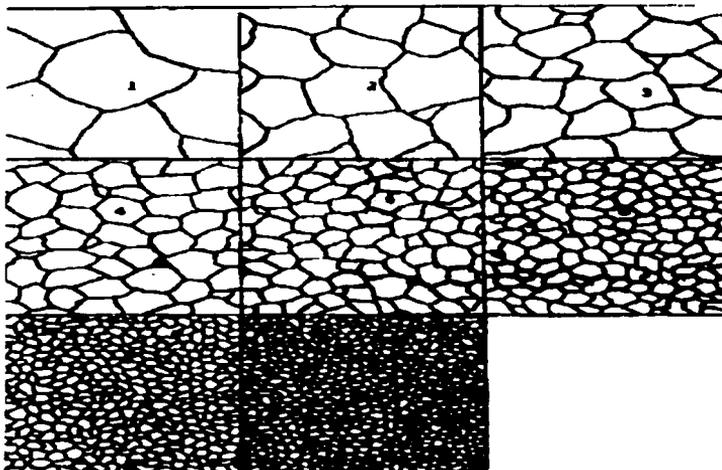


Fig. 1.5.7 Forma, tamaño y distribución de los cristales o granos en la microestructura del acero para comparación a 100X.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO 2. PROCESO DE FUNDICIÓN EN ARENA.

El proceso de fundición en arena consiste en preparar un molde capaz de soportar las agresiones térmicas y mecánicas, para posteriormente llenarlo con el correspondiente metal líquido. La elaboración del molde y la fusión del metal requieren prácticas y conocimientos tecnológicos relacionados con la ingeniería.

En la elaboración del metal líquido se utilizan sistemas de fusión, de forma que en estas instalaciones se alcanzan las temperaturas necesarias para llegar al estado líquido correspondiente al metal. Los metales y las aleaciones susceptibles de utilizarse en el proceso de fundición son muy variados, ya que abarca desde el oro hasta el hierro, pasando por el cobre, el magnesio, el aluminio, etc.

Existe una gran variedad de moldes, que dependen del tipo de pieza, de su tamaño y del número que se va a fabricar. En muchos casos, el material básico de moldeo es la arena de sílice, a la que se añaden otros componentes encargados de transmitirle resistencia y capacidad de moldeo, de forma que con la mezcla pueda trabajarse sin dificultad.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.1 MODELOS PARA FUNDICIÓN.

Para cualquier tipo de fundición en arena se requiere hacer un modelo, que servirá para formar la cavidad del molde donde se vaciará el metal fundido.

Cuando hay que formar un hueco en una pieza, al molde se le llama corazón, y para hacerlo se utiliza una caja de corazones, que es de hecho un modelo también; de esta manera se obtienen los modelos que dan forma, tanto a la superficies exteriores del producto final como a las interiores.

Los modelos deben ser correctos desde el punto de vista de la forma y de su aptitud para la colada, para el desmoldeo y limpieza. Un modelo es correcto en cuanto a la forma cuando su constitución corresponde a la técnica de confección del molde; es correcto desde el punto de vista de la colada, cuando los espesores de la pared, los huecos para los corazones y los respiraderos corresponden a las exigencias del proceso de colada; es correcto desde el punto de vista del desmoldeo y de la limpieza cuando los núcleos pueden separarse fácilmente al proceder al retocado.

Un modelo natural corresponde en su configuración externa a una pieza moldeada que carece de espacio hueco. Un modelo en el que la forma hueca interior de la pieza moldeada se configura mediante uno o varios corazones, se denomina un modelo con corazones.

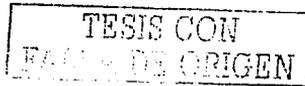




Fig. 2.1.1 Modelo de carcaza de bomba centrífuga con caja de corazón.



Fig. 2.1.2 Modelo natural de un impulsor.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

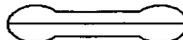
2.1.1 TIPOS DE MODELOS.

En la figura 2.1.3 se muestran siete tipos de construcción de modelos. La forma más simple es el modelo natural o de una sola pieza, mostrado en A. Muchos modelos no pueden hacerse de una sola pieza por la dificultad que se encuentra en el moldeo. Para eliminar esto, algunos se hacen en dos partes, como se ve en la figura en B; así, una mitad del modelo descansa en la parte inferior del molde y la otra mitad en la parte superior. En C se muestra un modelo con dos piezas sueltas, que son necesarias para extraerlo del molde.

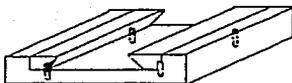
En el trabajo de producción, donde se requieren muchos colados, se usan los modelos con alimentadores ramificados, como se ve en D. Tales modelos se hacen de metal para darles resistencia y eliminar cualquier tendencia a la torsión. Los alimentadores o vertederos para el metal fundido quedan formados por las uniones entre las partes de los modelos individuales. Las placas de coincidencia proporcionan un montaje sustancial a los modelos y se usan ampliamente en el moldeo a máquina. En E se muestra una de estas placas, sobre la cual están montados los modelos de dos mancuernas pequeñas. Consisten en una placa de metal o de madera, a la cual se sujetan permanentemente los modelos y el alimentador. En ambos extremos de dicha placa hay agujeros para fijarla a una caja normal. El tablero soporte que se muestra en F, se puede usar con modelos de alimentación simple o múltiples. Los modelos que requieren tableros soporte son, generalmente, algo difíciles de hacer como modelos divididos. El tablero se coloca de tal manera que el modelo descansa en él, arriba de la línea de separación y luego la tabla actúa como tablero de moldeo para la primera



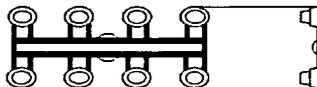
A Modelo sólido.



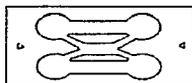
B Modelo en dos piezas.



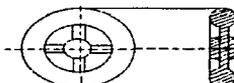
C Modelo de piezas sueltas.



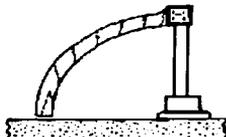
D Modelo con alimentadores ramificados.



E Placas de coincidencia.



F Tablero soporte para modelo de polea.



Perfiladora curva para formar corazones muy grandes de arena verde



Perfiladora plana

G Modelos perfilados.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Fig. 2.1.3 Tipos de modelos.

operación de moldear. Muchos moldes de forma regular se pueden construir utilizando perfiladoras, como se ilustra en G en la figura. El perfilado curvo puede usarse para formar parte del molde de una marmita de hierro fundido de gran tamaño y el perfilado recto para cualquier tipo de ranura o surco. La ventaja principal de este proceso es que elimina la construcción de modelos costosos.

El modelo que debe hacerse para una pieza determinada depende en mucho del juicio y experiencia del modelista, quedando gobernado por el costo del modelo y el número de colados que se van a producir.

Los colados de gran tamaño se vacían generalmente solos en un molde, ya que un modelo múltiple o con alimentadores ramificados solamente aumentaría las dificultades de moldeo y colado. Para piezas fundidas que tienen una sección simétrica uniforme, existe un ahorro definido en el costo del modelo, si puede usarse el método de tipo perfilado o de esqueleto. Prácticamente todo el trabajo de alta producción en máquinas de moldeo utiliza modelos de placas coincidentes. Además del hecho de que se pueden moldear simultáneamente varias piezas con modelos de este tipo, se logran varias economías, por el moldeo mecánico. A pesar de que son costosos en su fabricación, dichos modelos duran mucho tiempo en uso muy intenso.

2.1.2 MATERIALES PARA SU CONSTRUCCIÓN.

La mayoría de los modelos se hacen de madera, que es de poco costo y se puede trabajar con facilidad. Puesto que solamente un pequeño porcentaje de modelos intervienen en el trabajo de producción en gran cantidad, la mayoría de ellos no requieren ser hechos de un material que soporte el uso intenso en las fundiciones. En el caso de requerir durabilidad y resistencia, los modelos se hacen de metales como el aluminio aleado, el latón o las aleaciones de magnesio. En trabajos de gran producción serán preferibles los modelos de acero o de hierro fundido.

Si bien los modelos se hacen de una gran cantidad de maderas, el pino blanco es el favorito por tener fibras rectas, ser ligero, fácil de trabajar e improbable que se tuerza o raje. Otras maderas adecuadas para la construcción de modelos, son la caoba, el cerezo, la haya, el álamo, el tilo americano y el arce, este último es especialmente conveniente para trabajarse en torno.

Antes de que la madera se pueda usar comercialmente, deberá dársele un secado y curtirla. Esto se puede hacer por medios naturales o artificiales. Con frecuencia se usan ambos métodos; durante cierto tiempo se curte la madera al aire y después se seca en hornos adecuados. El secado en hornos, que requiere poco tiempo, reduce al mínimo la humedad, desaloja a la materia volátil contenida en la madera, endurece la resina y hasta cierto grado hace a la madera menos susceptible a una futura absorción de humedad.

Muchos de los modelos usados en trabajo de gran producción se hacen de metal por que soportan el uso intenso. Los modelos de metal no cambian su forma cuando se les somete a condiciones húmedas, además, requieren un mínimo de atención para mantenerlos en condiciones de trabajo. Los metales utilizados para hacer modelos incluyen el latón, metal blanco, hierro fundido y aluminio. Probablemente el aluminio sea el mejor de todos por que es fácil de trabajar, es de peso ligero y resistente a la corrosión.

Los plásticos se adaptan especialmente bien como materiales para modelos, por que no absorben humedad, son fuertes, estables en sus dimensiones y tienen superficies perfectamente tersas. Se producen económicamente por colado en una forma similar al colado del metal. El duplicado de los modelos se hace con prontitud y el proceso de acabado es rápido.

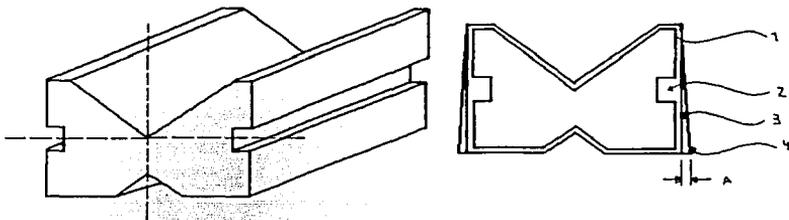
Al hacer los modelos de plástico, es necesario primeramente hacer un modelo maestro que sirve para formar el molde dentro del cual se vierte la resina plástica. Estos moldes primarios se hacen de una gran variedad de materiales, incluyendo madera, hule, plásticos, metal, o blanco de España. Los dos últimos son los más usados comúnmente.

El uso de espuma de estireno, para hacer modelos, es un descubrimiento reciente. El aspecto inusual de este método es que la espuma de estireno se deja en el molde y vaporiza cuando el metal caliente se pone en contacto con ella. Se

pueden obtener por colado, formas en extremo complejas, ya que no es necesario retirar ningún modelo de la arena.

2.1.3 CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO.

Los detalles para obtener un bloque en V, de acero fundido, se muestra en la figura 2.1.3.1 en donde se ha trazado primero una vista del extremo, usando una regla de contracción. Como el detalle pide acabado en toda la pieza, debe dejarse metal adicional, lo cual queda indicado en el segundo croquis del bloque, en el plano. Al dar aguzamiento, se considerará el método que ha de seguirse para moldear el modelo. Las esquinas interiores muy agudas se rellenan para eliminar las grietas en el metal, por contracción.



"A" Bloque en V de acero colado.

"B" Contorno del bloque en V.

1. Hacer el primer contorno, usando la regla de contracción.
2. La ranura se labra posteriormente.
3. Agregar excedente para maquinado.
4. Margen para extracción.
- A. Ahusamiento para extracción.

Fig. 2.1.3.1 Método de hacer el trazo de un modelo para un bloque en V.

Un filete es una superficie cóncava de unión o bien el redondeo de la esquina de dos planos de intersección. Las esquinas redondeadas o los filetes facilitan materialmente el moldeo, ya que la arena no tiende a desmoronarse al extraer el molde. El metal fluye dentro de él con más facilidad y hay menor peligro de que la arena sea arrastrada al modelo. La apariencia del colado se mejora y generalmente es más fuerte, teniendo pocos esfuerzos internos o por contracción. A medida que progresa el enfriamiento hacia el centro, el grano del metal se orienta a sí mismo normalmente a la superficie, en una estructura dendrítica. En los modelos que tienen esquinas agudas, el metal en ellas tiende a separarse debido a la contracción. Los filetes se hacen generalmente de madera, cuero, metal o cera.

A los modelos de madera se les da generalmente tres capas de goma laca para tapar el poro, formándole un sello contra la humedad y dándole al modelo una superficie tersa.

Los modelos con piezas sueltas, se hacen en los casos en que se tienen proyecciones o partes colgantes y es imposible sacarlas de la arena aun cuando estén partidas. En tales modelos las proyecciones deben sujetarse flojas al modelo principal, por medio de clavijas de madera o alambre. Una vez hecho el molde, dichas piezas sueltas permanecen ahí hasta después de que el modelo es extraído. A continuación se sacan separadamente a través de la cavidad formada por el modelo principal. El empleo de piezas sueltas, se ilustra en el colado de una

guía que ajusta en una corredera con forma de milano, un detalle de la cual se muestra en la figura 2.1.3.2.

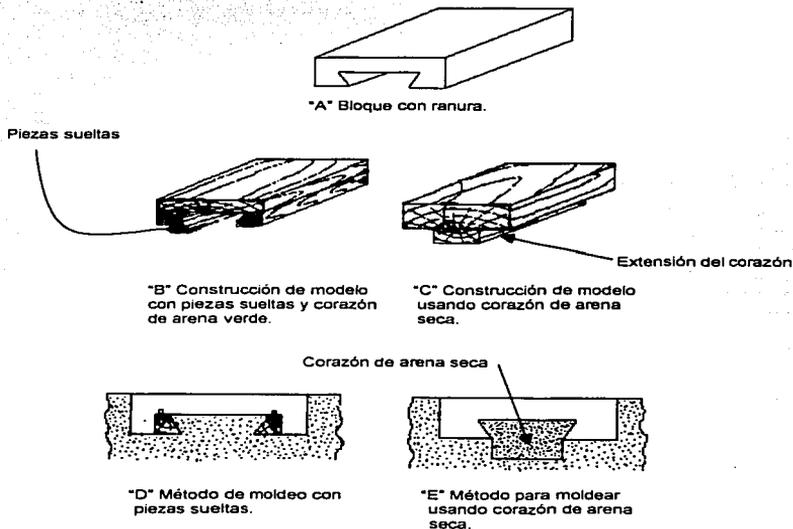


Fig. 2.1.3.2 Métodos alternativos para hacer un modelo para una guía, a cola de milano

Para comenzar el modelo, es necesario hacer un diagrama con todas las tolerancias para la extracción, el acabado y la contracción. A continuación se decide en que forma se hará el molde. Son posibles dos métodos como se ilustra

en D y E de la figura. En el primero, dos piezas sueltas facilitan la extracción del modelo de la arena. El modelo principal es el que se extrae primero, dejando en la arena las dos piezas sueltas. Estas se secan posteriormente, tomando en consideración el espacio adicional que era ocupado al principio por la parte principal del modelo. El modelo construido en esta forma ha sido hecho en cinco partes, como se ve en la figura en B.

Las piezas sueltas pueden ser eliminadas por un corazón de arena seca. Si se emplea esta construcción, el modelo deberá hacerse como se ve en C. Además, se hará necesaria una caja de corazón. Este último método es menos económico, debido a lo costoso de hacer la caja del corazón y el corazón mismo.

2.1.4 TOLERANCIAS EN LOS MODELOS.

En el trabajo de modelos la pregunta que se impone es por qué razón una pieza fundida terminada, que vaya a servir para labrar un engrane o cualquier otro objeto, no se usa para moldear eliminando el inconveniente y costo de hacer un modelo. En algunos casos esto se puede hacer pero, en general, el proceso no es práctico, ya que en el modelo van consideradas ciertas tolerancias. Estas tolerancias son: el excedente de contracción, el excedente para el maquinado, los ángulos de salida, la distorsión y el golpeteo.

Tolerancia. Es la diferencia entre el valor mínimo y el máximo en una dimensión de una pieza fundida. Una regla común es tomarla como la mitad de la contracción, aunque en ciertas fundiciones muy precisas, se puede reducir a una décima de milímetro.

Excedente de contracción. Es el aumento en las dimensiones del modelo para compensar la contracción del metal al enfriarse; aunque la contracción es volumétrica, se aproxima expresándola linealmente. La tabla 2.1.4.1 nos da la contracción de los metales más comunes usados en fundición.

Excedentes para maquinado. Es el aumento que se da a aquellas dimensiones que hay que maquinar posteriormente, depende del metal, del diseño de la pieza, del método de limpieza, y debe ser mayor si la superficie está en la tapa del molde que si esta en la base del molde, ya que la base sufre una menor variación

dimensional. La tabla 2.1.4.2 da lineamientos generales sobre excedentes para maquinado.

ALEACIÓN	DIMENSIONES DEL MODELO PIEZAS MACIZAS mm	PIEZAS CON CORAZONES mm	CONTRACCIÓN EN %
Fundición gris	Hasta 600	Hasta 600	1
	De 630 a 1200	De 630 a 920	0.85
	Más de 1200	Más de 920	0.7
Acero	Hasta 600	Hasta 450	2.0
	De 630 a 1800	De 480 a 1200	1.55
	Más de 1800	De 1220 a 1675	1.3
		Más de 1675	1.1
Bronce mecánico con 10% de estaño			1.4
Latón con 37% de Zn			1.6
Latón con 40% de Zn			1.8
Aluminio y sus aleaciones	Piezas pequeñas	Piezas pequeñas	1.3 - 1.5
	Piezas medianas	Piezas medianas	1.2 - 1.3
	Piezas grandes	Piezas grandes	1.1 - 1.2
Aleaciones de magnesio			1.1 - 1.4
Metal blanco antifricción (Aleación de plomo y estaño)			0.2 - 0.3

Tabla 2.1.4.1 Excedentes de contracción.

ALEACIONES FUNDIDAS	DIMENSIONES DEL MODELO (mm)	BARRENADO (mm)	ACABADO (mm)
Fundición de hierro	Hasta 304.8	3.175	2.381
	330.2 a 609.6	4.76	3.175
	635 a 1066	6.35	4.76
	1092 a 1524	7.937	6.35
	1549 a 2032	9.525	7.937
	2057 a 3048	11.11	9.525
	Más de 3048	s/especificaciones	s/especificaciones
Fundición de acero	Hasta 304.8	4.76	3.175
	330.2 a 609.6	6.35	4.76
	635 a 1066	7.937	7.937
	1092 a 1524	9.525	9.525
	1549 a 2032	12.7	11.11
	2057 a 3048	15.875	12.7
	Más de 3048	s/especificaciones	s/especificaciones
Hierro maleable	Hasta 152.4	1.587	1.587
	152.4 a 228.6	2.38	1.587
	228.6 a 304.8	2.38	2.38
	304.8 a 609.6	3.968	3.175
	609.6 a 889	4.76	4.76
	Más de 914.4	s/especificaciones	s/especificaciones
Latón, bronce y fundiciones de aluminio aleadas	Hasta 304.8	2.38	1.587
	330.2 a 609.6	4.76	3.175
	635 a 914.4	4.76	3.968
	Más de 914.4	s/especificaciones	s/especificaciones

Tabla 2.1.4.2 Excedentes para maquinado.

Ángulos de salida. Son aquellos que se requieren para permitir que el modelo salga sin romper las paredes del hueco.

Para desmoldeo a mano, se deja un ángulo de 3° y en cavidades muy profundas se deja más para evitar golpear la pared al estar retirando el modelo. Para desmoldeo a máquina, con 1° es suficiente.

Distorsión. Ciertos domos o formas en "U" al enfriarse se distorsionan y pierden la forma del molde, en estos casos el modelo se distorsiona al revés, intencionalmente, para que al enfriarse la pieza tome la forma deseada.

Golpeteo. Cuando un modelo es golpeado ligeramente estando en el molde antes de extraerlo, la cavidad del molde aumenta ligeramente. En un colado de tamaño medio, puede ignorarse este aumento. En vaciados de gran tamaño o en aquellos que deben coincidir sin ser maquinados deberá considerarse una tolerancia por sacudidas, haciendo el modelo ligeramente menor para compensar el golpeteo.

La función primordial de un modelo es formar la cavidad del molde, sin embargo, un buen modelo cumple con otras funciones:

- Hace los alimentadores y conductos de colada para obtener máximos beneficios del moldeo a máquina.
- Hace las bases de montaje de corazones.

- Establece puntos de medición y de localización para verificar dimensiones y para localizar la pieza en maquinados posteriores.
- Si la superficie es lisa y los montajes firmes, se eliminan defectos en las piezas fundidas.
- Reduce costos por medio de un buen aprovechamiento del espacio en el molde, tamaños estándar, método de moldeo, etc.

2.2 PROCEDIMIENTO DE MOLDEO.

Para entender el procedimiento de fundición, es necesario conocer como se hace un molde y que factores son importantes para producir un buen vaciado. Los factores principales son:

1. El moldeo.
2. La arena.
3. El molde.
4. Los corazones.
5. El metal.

En la figura 2.2.1 se ilustra un procedimiento simple para moldear un disco de acero fundido para hacer un engrane. El molde para este disco se hace en una caja de moldeo, que consta de dos partes. A la parte superior se le llama tapa y a la inferior base. Si la caja la forman tres partes, a la del centro se le llama parte central. Las partes que forman a la caja se mantienen en una posición definida, unas con respecto a otras por medio de pernos colocados en dos lados opuestos de la base, que encajan en agujeros de unos ángulos sujetos a los lados de la tapa.

El primer paso de la hechura de un molde es el de colocar el modelo sobre un tablero de moldear, que coincide con la caja de moldeo. Enseguida se coloca la tapa sobre el tablero con los pernos dirigidos hacia abajo, como se ve en la sección A de la figura 2.2.1. luego se criba la arena sobre el modelo para que lo vaya cubriendo; la arena deberá compactarse con los dedos en torno del modelo, terminando de llenar completamente la tapa. Para moldes pequeños, la arena se compacta firmemente con apisonadores manuales. El apisonado mecánico se usa para moldes muy grandes y para moldeo de gran producción. El grado de

apisonado necesario sólo se determina por la experiencia. Si el molde no ha sido lo suficientemente apisonado, no se mantendrá en su posición al moverlo o cuando el metal fundido choque con él. Por otra parte, si el apisonado ha sido muy intenso no permitirá que escapen el vapor y el gas cuando penetre el metal fundido al molde.

Una vez que ha terminado el apisonado, se quita el exceso de arena arrasándola con una barra recta llamada rasero. Para asegurar el escape de gases cuando se vierta el metal, se hacen pequeños agujeros a través de la arena, que llegan hasta unos cuantos milímetros antes del modelo.

Se voltea la mitad inferior del molde, de forma que la tapa se pueda colocar en su posición y se termina el moldeo. Antes de darle la vuelta se esparce un poco de arena sobre el molde y se coloca en la parte superior un tablero inferior de moldeo. Este tablero deberá moverse hacia atrás y hacia delante varias veces para asegurar un apoyo uniforme sobre el molde. Luego se voltea la base haciéndola girar sobre una arista y se retira la tabla de moldeo, quedando expuesto el modelo. Se alisa la superficie de la arena con una plana y se cubre con una capa de separación, de arena fina y seca. La arena de separación es una arena de sílice, finamente pulverizada, seca y sin consistencia. Con ella se evita que se pegue la arena de la tapa sobre la de la base.

En seguida se coloca la tapa sobre la base, como se ve en la sección B de la figura 2.2.1, manteniéndose en la posición correcta por medio de los pernos en

ambos lados. Para proporcionar un conducto por donde entre el acero al molde, se coloca un mango ahusado conocido como clavija de colada, separado unos 25 mm a un lado del modelo. Las operaciones de llenado, apisonado y agujerado para escape de gases, se llevan a cabo en la misma forma que en la base.

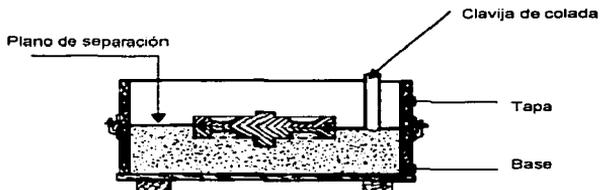
Con esto, el molde a quedado completo excepto que falta quitar el modelo y la clavija de colada. Primero se extrae ésta abocardando el conducto en la parte superior, de manera que se tenga una gran abertura por donde verter el metal. La mitad correspondiente a la tapa, es levantada a continuación con mucho cuidado y colocada a un lado. Antes de que sea extraído el modelo, se humedece con un pincel la arena alrededor de los bordes del modelo, de modo que la orilla del molde se mantenga firme al extraerlo. Para aflojar el modelo, se encaja en él una alcajata y se golpea ligeramente en todas direcciones. En seguida se puede extraer el modelo levantando la alcajata.

Antes de cerrar el molde deberá cortarse entre la cavidad hecha por el modelo y la apertura de la colada un pequeño conducto conocido como alimentador. Este conducto se estrecha hacia el molde de tal forma que después que el acero ha sido vertido, el metal contenido en el alimentador se puede romper muy cerca de la pieza colada. Para prever el rechupe del metal, algunas veces se hace un agujero en la tapa, el cual provee un suministro de metal caliente a medida que se enfría la pieza colada; a esta abertura se le llama un rebosadero. La superficie del molde se debe rociar o untar con pintura a base de zirconio. La capa de pintura del molde mejora el acabado de las superficies del colado y reduce las posibilidades

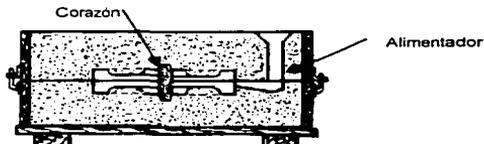
de defectos en las superficies de la pieza. el molde terminado se muestra en C de la figura 2.2.1. Antes de que el acero sea vertido en el interior del molde deberá colocarse un peso sobre la tapa para evitar que el metal líquido salga entre la tapa y la base.



Sección A. Modelo sobre el tablero de moldeo, listo para llenar la base.



Sección B. Base volteada y modelo amado, listo para llenar la tapa.



Sección C. Molde completo con corazón de arena seca colocado en su lugar.

Figura 2.2.1 Procedimiento para hacer un molde.

2.2.1 TIPOS DE MOLDEO.

Moldeo en banco: Este tipo de moldeo es para trabajos pequeños, y se hace en un banco de una altura conveniente para el moldeador. En estos tipos de moldeo se producen grandes cantidades, también se utilizan placas correlativas que son modelos especiales metálicos de una sola pieza al igual que las cajas de tableros de soporte que permiten sacar con facilidad el modelo del molde de arena, el cual se puede volver a utilizar.

Moldeo en piso: Cuando las piezas de fundición aumentan de tamaño, resulta difícil su manejo, por consiguiente, el trabajo es hecho en el piso. Este tipo de moldeo se usa prácticamente todas las piezas medianas y de gran tamaño. Suelen ser muy costosos, tienen el mismo procedimiento que el moldeo en banco salvo las características ya mencionadas.

Moldeo en fosa: Las piezas de fundición extremadamente grandes son moldeadas en una fosa en vez de moldear en cajas. La fosa actúa como la base de la caja, y se usa una capa separadora encima de él. Los lados de la fosa son una línea de ladrillos y en el fondo hay una capa gruesa de carbón con tubos de ventilación conectados a nivel del piso. Entonces los moldes de fosa pueden resistir las presiones que se desarrollan por el calor de los gases, esta práctica ahorra mucho en moldes costosos.

Moldeo en máquina: Las máquinas han sido construidas para hacer un número de operaciones que el moldeador hace ordinariamente a mano, tales como

apisonar la arena, voltear el molde completo, formar la alimentación y sacar el modelo; todas estas operaciones pueden hacerse con la maquina mucho mejor y más eficiente que a mano.

Los moldes se clasifican según los materiales usados.

Moldes de arena en verde. Es el método más común que consiste en la formación del molde con arena húmeda, usada en ambos procedimientos. La llamada arena verde es simplemente arena que no se ha curado, es decir, que no se ha endurecido por horneado. El color natural de la arena va desde el blanco hasta el canela claro, pero con el uso se va ennegreciendo. La arena no tiene suficiente resistencia para conservar su forma, por ello se mezcla con un aglutinante para darle resistencia; luego se agrega un poco de agua para que se adhiera. Esta arena se puede volver a emplear solo añadiendo una cantidad determinada de aglutinante cuando se considere necesario.

Moldes con capa seca. Dos métodos son generalmente usados en la preparación de moldes con capa seca. En uno la arena alrededor del modelo a una profundidad aproximada de 10 mm se mezcla con un compuesto de tal manera que se seca y se obtiene una superficie dura en el molde. El otro método es hacer el molde entero de arena verde y luego cubrir su superficie con un rociador de tal manera que se endurezca la arena cuando el calor es aplicado. Los rociadores usados para este propósito contienen aceite de linaza, agua de melaza, almidón gelatinizado y soluciones líquidas similares. En ambos métodos el molde debe

secarse de dos maneras: por aire o por una antorcha para endurecer la superficie y eliminar el exceso de humedad.

Moldes con arena seca. Estos moldes son hechos enteramente de arena común de moldeo mezclada con un material aditivo similar al que se emplea en el método anterior. Los moldes deben ser cocidos en un horno para eliminar toda humedad antes de usarse. Los moldes de arena seca mantienen esta forma cuando son vaciados y están libres de turbulencias de gas debidas a la humedad.

Moldes de arcilla. Los moldes de arcilla se usan para trabajos grandes. Primero se construye el molde con ladrillo o grandes partes de hierro. Luego, todas estas partes se emplastecen con una capa de mortero de arcilla, la forma del molde se empieza a obtener con una terraja o esqueleto del modelo. Luego se permite que el molde se seque completamente de tal manera que pueda resistir la presión completa del metal vaciado. Estos moldes requieren de mucho tiempo para hacerse y su uso no es muy extenso.

Moldes furánico. el proceso es bueno para la fabricación de moldes usando modelos y corazones desechables. La arena seca de grano agudo se mezcla con ácido fosfórico el cual actúa como un acelerador de endurecimiento. La resina furánica es agregada y se mezcla de forma continua el tiempo suficiente para distribuir la resina. El material de arena empieza a endurecerse casi de inmediato al aire, pero el tiempo demora lo suficiente para permitir el moldeo. El material usualmente se endurece de una a dos horas, tiempo suficiente para permitir alojar

los corazones y que puedan ser removidos en el molde. En uso con modelos desechables la arena de resina furánica puede ser empleada como una pared o cáscara alrededor del modelo que estará soportado con arena de grano agudo o en verde o puede ser usada como el material completo del molde.

Moldes de CO₂. En este proceso la arena limpia se mezcla con silicato de sodio y es apisonada alrededor del modelo. Cuando el gas de CO₂ es alimentado a presión en el molde, la arena mezclada se endurece. Piezas de fundición lisas y de forma intrincada se pueden obtener por este método, aunque el proceso fue desarrollado originalmente para la fabricación de corazones.

Moldes de metal. Los moldes de metal se usan principalmente en fundición en matriz de aleaciones de bajo punto de fusión. Las piezas de fundición se obtienen de formas exactas con una superficie fina, esto elimina mucho trabajo de maquinado.

Moldes especiales. Plástico, cemento, papel, yeso, madera y hule todos estos son materiales usados en moldes para aplicaciones particulares.

El molde debe poseer las siguientes características:

Debe ser lo suficientemente fuerte para sostener el peso del metal.

Debe resistir la acción de la erosión del metal que fluye con rapidez durante la colada.

Debe generar una cantidad mínima de gas cuando se llena con el metal fundido. Los gases contaminan el metal y pueden alterar el molde.

Debe construirse de modo que cualquier gas que se forme pueda pasar a través del cuerpo del molde mismo, más bien que penetrar el metal.

Debe ser suficientemente refractario para soportar la alta temperatura del metal y poderse desprender con limpieza del colado después del enfriamiento.

El corazón debe ceder lo suficiente para permitir la contracción del colado después de la solidificación.

2.2.2 CORAZONES.

Para piezas con cavidades o pasajes internos, como los que se encuentran en un monoblock o en un cuerpo de válvula, se utilizan corazones. Los corazones se colocan en la cavidad del molde antes de la colada para formar las superficies interiores de la misma y son extraídos de la pieza terminada durante la limpieza y el procesamiento posterior. Igual que los moldes, los corazones deben tener resistencia, permeabilidad, capacidad de resistir el calor y colapsabilidad; por tanto, los corazones se fabrican de compuestos de arena.

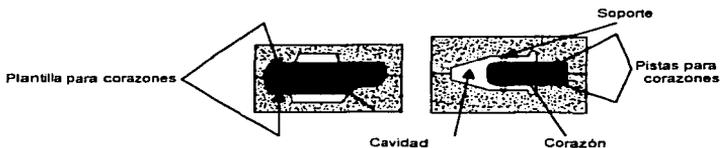


Fig. 2.2.2.1 Corazones de arena mostrando pistas y soportes para los mismos.

El corazón se fija mediante plantillas de corazones. Éstas se generan por recesos que se agregan al modelo para soportar al corazón y proporcionar ventilaciones para el escape de los gases figura 2.2.2.1. Un problema común que tienen los corazones es que, para ciertos requerimientos de fundición, como en el caso que se requiere un receso, pueden carecer de suficiente soporte estructural en la cavidad. Para impedir que se muevan, se pueden utilizar soportes para anclar el corazón en su sitio.

Por lo general los corazones se fabrican de manera similar a los moldes; la mayor parte se hace utilizando procesos de moldes en cáscara, arena verde o seca. Los corazones se forman en cajas de corazones, que se utilizan de una manera muy similar a los modelos para formar los moldes de arena. La arena se puede compactar en las cajas con apisonadores o soplada dentro de la caja mediante aire comprimido a través de sopladores de corazón. Esto último ofrece ventajas de lograr corazones uniformes y velocidades de producción muy altas.

Clases de corazones.

primera clase: corazones de configuración complicada, que tienen portadas pequeñas, crean en las piezas cavidades que no se maquinan; la calidad de las superficies plantea altas exigencias por ejemplo, corazones para las piezas de los motores de combustión interna.

Segunda clase: corazones de configuración complicada, que además de partes gruesas, tienen salientes delgadas, tabiques. Estos forman en la pieza superficies parcial o totalmente elaborables.

Tercera clase: corazones de complejidad media, sin partes muy delgadas con grandes marcas. Estos corazones hacen las cavidades en la pieza cuya superficie debe ser de calidad elevada

Cuarta clase: corazones que forman grandes cavidades en piezas de gran tamaño.

Los corazones de primera y segunda clase deben ser de alta resistencia, penetrabilidad al gas (buena permeabilidad) buena comprensibilidad y expulsión de la pieza (fácil desmoldeo). La mezcla del corazón en estado húmedo debe tener buena fluidez, llenar bien las complicadas cavidades de la caja de corazón.

Los corazones de la tercera clase pueden poseer menor resistencia puesto que la salida de los gases es posible a través de las grandes portadas. Deben tener buena comprensibilidad y fácil desmoldeo.

Los corazones de la cuarta clase deben tener buena compresibilidad y expulsarse fácilmente ya que forman cavidades grandes y largas.

Mezclas para la fabricación de corazones.

Mezclas para corazones que requieren tratamiento térmico. El fin es darle resistencia al corazón. Ellas pueden ser de aceite y arena, arena y arcilla, arena y resina. Las de arena y resina o arcilla son regularmente baratas, se pueden utilizar para fabricar corazones a mano o a máquina.

Las mezclas para corazones de arena y resina sin catalizador tienen la aptitud de endurecerse a una temperatura de 230 - 250 °C durante un tiempo de 2 a 3 minutos.

Un aceite para corazones consiste generalmente de un número de ingredientes incluyendo sólidos y líquidos. Estos aceites para corazones pueden ser una

combinación de aceites secados, semisecados, extractados de minerales, vegetales marinos o grasas de animales; también pueden contener resinas sintéticas o naturales.

En el proceso en cáscara el calor es aplicado a la caja de corazón; los corazones normalmente son huecos; las cajas de corazón son de metal debido a que estas se calientan a temperaturas entre 193 - 330 °C. La mayoría de las cáscaras son huecas, algunas son sólidas. En ciertos corazones grandes y pequeños en el cual la arena se utiliza con resinas fenólicas pueden ser difícil drenar el exceso de arena, en tales casos los corazones se producen macizos. El proceso en cáscara puede emplearse para aleaciones ferrosas y no ferrosas; las cajas para el proceso pueden ser calentadas por gas o electricidad y las arenas empleadas en el proceso en cáscara son sílice o zirconio ambas clases varían en pureza, tamaño de grano, granulometría y estructura.

Algunas Ventajas Del Proceso En Cáscara Son:

- Se vuelve mas productivo el trabajo.
- Se producen piezas con excelente acabado.
- Piezas de precisión con mínima variación de las dimensiones
- La operación del equipo es mas fácil.
- las arenas finas dan adecuados respiraderos.
- Los corazones son livianos y fáciles de manipular y almacenar.
- El precio es menor que en otros métodos.

Mezclas para corazones que no requieran tratamiento térmico. Pueden ser elaborados en cajas de madera, material plástico o metálico.

Mezclas para corazones de endurecimiento en frío con resinas sintéticas. En la composición de estas mezclas se emplean las resinas carbamidas, carminofuradicas, fenolicas, fenolfuradicas, formaldeidofenolicas y un catalizador que acelera el proceso de endurecimiento del aglutinante. Los catalizadores de endurecimiento por lo general son ácidos orgánicos e inorgánicos.

Una de las características importantes de las mezclas es el tiempo durante el cual la mezcla conserva su moldeabilidad, este tiempo se regula con la cantidad del catalizador que se introduce en la mezcla, elevada cantidad de catalizador reduce la moldeabilidad.

Ventajas del proceso :

- Alta resistencia mecánica.
- Buena estabilidad dimensional.
- Disminución de la mano de obra calificada.
- Velocidad de curado.

Mezclas de endurecimiento en frío con aglutinantes silicos. Son mezclas cuyo aglutinante son los silicatos, los cuales se secan soplándolos con gas carbónico CO₂, las mezclas de este tipo tienen alta resistencia, buena permeabilidad pero poca compresibilidad y regular capacidad de moldeado; hay dos tipos:

I. Solución acuosa de silicato de sodio y no contienen aditivos, es usual especificar un grado particular de silicato de sodio refiriéndose a la razón en peso obtenida por la división del porcentaje de sílice y el porcentaje de óxido de sodio, esta razón en unión con la gravedad específica, es suficiente para caracterizar un silicato de sodio.

II. Un tipo de silicato consiste en soluciones acuosa de silicato de sodio con adiciones de azúcar o melaza, la razón utilizada $\text{SiO}_2 : \text{Na}_2\text{O}$ es 2 : 1 por lo general y contienen de 10 a 25 % de azúcar como aditivo.

Con respecto al gas la cantidad de CO_2 precisa para una determinada aplicación son la masa de la arena que se quiere endurecer y el tiempo disponible para la gasificación, ambos dependen de la geometría global de la masa y la producción. El silicato sólido se endurece, por un brusco incremento de la viscosidad debido a:

Aumento de relación $\text{SiO}_2 / \text{H}_2\text{O}$ o aumento del módulo : $\text{SiO}_2 / \text{Na}_2\text{O}$.

Ambas circunstancias se logran al disminuir el agua y la alcalinidad (Na_2O) cuyos procesos se obtienen mediante el efecto físico de deshidratación y reacción química, ambos procesos tienen lugar cuando se pasa anhídrido carbónico (CO_2) en un corazón aglutinado con silicato sódico.

El resultado final es el gel de sílice hidratada que une los granos de arena. La eliminación de agua por la corriente gaseosa de CO_2 y la reducción química del

Na_2O por el mismo gas que precipita el gel de sílice hidratado que aglutina los granos de arena.

Ventajas del proceso CO_2 .

- Excelente colapsibilidad, en particular si se emplea conjuntamente con el silicato, buen aglomerante.
- Rápida obtención de corazones.
- Versatilidad, sirve tanto para corazones grandes como pequeños.
- No produce olores, ni escozores.
- Durante y después de la colocada no emite humos, la atmósfera se nota transparente.
- Es soluble en agua. Si salpica o pica la piel, desaparece con un simple lavado.
- Se suprime la mayoría de las armaduras.
- Se elimina la mayor parte de las rupturas de corazones debido a maniobras.
- Sirve para cualquier tipo de arena o metal.

Estructura de los corazones. Una buena estructura de un corazón comprende portadas, armaduras y labrado de canales de ventilación.

Portadas. Deben tener una sección suficiente para soportar el peso del corazón y resistir el empuje del metal líquido. Por lo general las dimensiones de la portada del corazón se determina partiendo de la mínima superficie con la cual la presión sobre el sector del molde, conjugado con la portada del corazón no supera 50-

75% de la resistencia de la mezcla de moldeo a la compresión, la superficie de la portada se determina :

$S = Q / \sigma \text{ compr.}$

S = superficie de la portada en molde inferior.

Q = masa del corazón.

$\sigma \text{ compr.}$ = Resistencia a la compresión.

Colocación de las portadas en el molde.

En las juntas.

Sobre los bordes.

Sobre las caras laterales.

En varias regiones.

Armadura de los corazones. Para aumentar la resistencia de los corazones en ellos se forma una armadura o armazón de endurecimiento, la cual se elabora de alambre, acero o hierro. La armadura para los corazones debe responder a las siguientes exigencias:

- Asegurar la suficiente resistencia y rigidez del corazón.
- No despegarse de la mezcla para corazones, el alambre debe ser blando y recocido.
- No impedir la contracción de la pieza.
- No impedir el labrado de canales de ventilación.
- Expulsarse con facilidad al desmoldear el corazón.

Labrado De Canales De Ventilación. Durante el vaciado del metal en el molde se desprende gran cantidad de gas. En especial se calientan mucho los corazones por eso estos deben tener canales de ventilación para expulsar los gases. Estos se labran en los corazones por diferentes métodos :

- Practicando canales de ventilación con agujas en los corazones.
- Moldeando en los corazones varillas de acero que luego se extraen.
- Tubos reticulares.

2.2.3 ALIMENTADORES, REBOSADEROS Y CARACTERÍSTICAS DE SOLIDIFICACIÓN.

Prevención de defectos asociados a la solidificación

Como se ha mencionado con anterioridad, los metales presentan tres niveles de contracción desde el estado líquido, presentando diversos tipos de deformación a saber:

Rechupe: que se refiere a una cavidad que puede o no comunicar al exterior o quedar dentro de la pieza; este defecto se caracteriza por presentar una superficie rugosa aterciopelada y se encuentra asociado a zonas muy gruesas o a concavidades como puntos calientes y su aparición se debe principalmente a la contracción entre las líneas de liquidus y solidus.

Hundimientos o depresiones: son deformaciones superficiales asociadas a la contracción entre las líneas de liquidus y solidus, generalmente aparecen en la zona superior de la pieza (tapa del molde).

Porosidades: se denominan también "microrechupes", y se caracterizan por presentar apariencia dendrítica y arborescente y por estar asociados a puntos calientes, partes gruesas de las piezas y ocasionalmente cercanos a los rechupes; su ubicación es preferente hacia las zonas donde termina la solidificación. Ver figura 2.2.3.1

Se establece, entonces, que la forma de solidificar de las aleaciones metálicas están regidas por una velocidad de solidificación (llamada también rata de

solidificación) que se refiere al tiempo que se demora el metal dentro del molde en pasar totalmente desde el estado líquido hasta el estado sólido y gobierna el crecimiento de los granos del metal sólido y las segregaciones, lo cual nos permite el cálculo de sistemas de alimentación o enfriamientos direccionados para evitar los defectos antes mencionados en la pieza fundida.

En un molde cualquiera, la velocidad a la cual solidifica un material metálico está determinada por la capacidad o habilidad que tiene el material del molde para aceptar y transmitir el calor que suministra el metal desde el estado líquido.

CHVORINOV encontró que esta rata de solidificación cumple la siguiente relación, llamada regla de Chvorinov:

$$t = k (V / A)^2.$$

Donde: t = Tiempo de solidificación.

V = Volumen del metal.

A = Área superficial del molde (área disipadora de calor del molde)

K = constante.

$$K = ((\delta_{\text{metal}} \cdot \sqrt{\pi} \alpha_{\text{molde}} (L_{\text{metal}} + C_{\text{metal}} (T_p - T_i))) / (2 \cdot K_{\text{molde}} (T_i - T_o)))$$

Donde: δ_{Metal} = Densidad del metal en Lb / Pie^3 .

α_{Molde} = Difusividad térmica del molde = $K_{\text{Molde}} / (C_{\text{Molde}} \cdot \delta_{\text{Molde}})$.

K_{Molde} = Conductividad térmica del molde en $\text{BTU} \cdot \text{Pie} / ^\circ\text{F} \cdot \text{Hora} \cdot \text{Pie}^2$.

C_{Molde} = Calor específico del molde en $\text{BTU} / ^\circ\text{F} \cdot \text{Lb}$.

δ_{Molde} = Densidad del molde en Lb / Pie^3 .

L_{Metal} = Calor latente de fusión del metal en BTU / Lb .

C_{Metal} = Calor específico del metal en $\text{BTU} / ^\circ\text{F} \cdot \text{Lb}$.

T_p = Temperatura de colado del metal.

T_o = Temperatura inicial del molde.

T_i = Temperatura instantánea que adquiere el molde en el instante que se vacía el metal líquido.

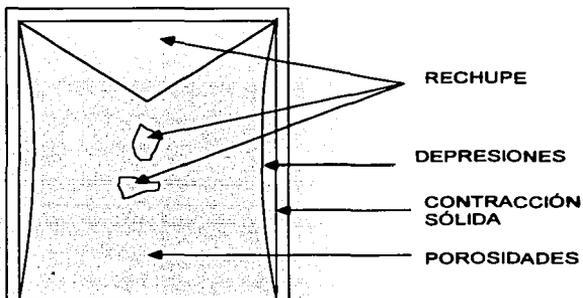


Figura 2.2.3.1. Defectos asociados a la solidificación de los metales.

Contracción volumétrica de algunas aleaciones ferrosas desde el estado líquido hasta la solidificación.

MATERIAL	Contracción líquida + contracción de solidificación
Acero < 0.30 % C.	5 %
Acero > 0.30 % C.	6 %
Acero Hadfield (18 % Mn)	6.5 %
Acero inoxidable 18 – 8.	7 %

Contracción de solidificación de algunas aleaciones comerciales.

MATERIAL	Contracción de solidificación
Acero al Carbono	2.5 % - 3.0 %
Acero con 1 % de Carbono	4.0 %
Hierro blanco	4.0 % - 5.5 %
Hierro gris	Expansión de 2.5 % si se cumple que $C_{total} - 2 + 0.1 (\% Si) \geq 1.5$. Esto producirá Grafito Eutéctico.
Cobre	4.9 %
Latón 70 % Cu – 30 % Zn.	4.9 %
Aleación 90 % Cu – 10 % Al	4.0 %
Aluminio	6.6 %
Aleación 95.5 % Al – 4.5 % Cu	6.3 %
Aleación 88 % Al – 12 % Si	3.8 %
Magnesio	4.2 %
Zinc	6.5 %

Alimentación de las piezas.

Alimentar una pieza es entregar suficiente material líquido para que los defectos asociados a los procesos de solidificación, sean reducidos al mínimo en la pieza fundida, haciendo que esos defectos sean corregidos o trasladados a depósitos de metal adicionados a la pieza y los cuales reciben el nombre de "alimentadores", "cargadores" o "mazarotas".

Crterios para elegir las zonas a alimentar:

1. Por trazado de líneas isotermas es posible saber cuales zonas presentan puntos calientes y son los últimos en solidificar.

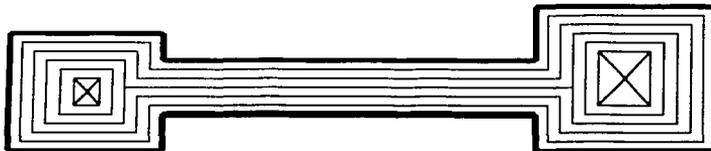


Fig. 2.2.3.2 Isotermas.

2. Por calculo del módulo (V / A) de solidificación de las distintas partes que integran la geometría de las piezas, en esta forma se definen los puntos calientes o últimos de solidificación; los módulos mayores indican las zonas que requieren ser alimentadas.

Condiciones que debe cumplir un alimentador :

1. Debe ser la última parte del molde en solidificar (criterio térmico).
2. Debe tener suficiente volumen para compensar su propia contracción y la de la pieza (criterio volumétrico).
3. Debe tener un radio de acción, es decir, que su influencia alcance a alimentar toda la pieza.

El cumplimiento de estas tres condiciones, debe producir una solidificación direccionada hacia el alimentador, así como también una columna de presión de metal líquido desde el alimentador hacia la pieza.

Factores que afectan la acción de los alimentadores:

1. La solidificación prematura de la unión alimentador – pieza, que ha de corregirse con un cálculo adecuado de dicha unión y, para ello, se debe tener en cuenta la siguiente relación de los respectivos módulos:

$$M_p / 1 = M_u / 1.1 = M_a / 1.2$$

Donde M_p = Modulo de la pieza.
 M_u = Modulo de la unión.
 M_a = Modulo del alimentador.

2. La solidificación prematura de la parte superior del alimentador, en cuyo caso, se impide la acción de la presión atmosférica sobre el metal líquido del alimentador; esto lo debemos corregir y se proponen diversas maneras, tales como terminar el vaciado del metal a través de la mazarota que garantiza que el metal mas caliente entra de último sobre la mazarota; o con el uso de

materiales exotérmicos o aislantes sobre la parte superior de la mazarota; los materiales exotérmicos suelen estar compuestos por una mezcla de óxido de hierro y aluminio, que al ser mezclados, producen una reacción de oxidación del aluminio y reducción del hierro produciendo un incremento en la temperatura:



Eventualmente pueden usarse otros óxidos metálicos de Cu, Ni, Co y Mn.

Estos factores afectan el rendimiento (eficiencia) de los diseños de sistemas de alimentación que se realizan y que, como se ha mencionado, el rendimiento afecta directamente los "criterios económicos" del diseño; el rendimiento de un diseño de sistema de alimentación se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\text{Eficiencia} = \text{Peso Neto} / \text{Peso Bruto}.$$

Donde peso neto = corresponde al peso de la pieza sin alimentadores vaciaderos.

Peso bruto = peso de la pieza más los alimentadores y vaciaderos.

Clasificación y forma de los alimentadores:

1. Alimentadores exteriores o atmosféricos, que se caracterizan por que su parte superior esta en contacto con la atmósfera y pueden ser laterales o cimeros.
2. Alimentadores ciegos, en cuyo caso, se encuentran totalmente encerrados o cubiertos por la arena del molde, y su comunicación con la atmósfera se

presenta a través de un orificio o corazón que lo comunica con el exterior; estos alimentadores son comúnmente más eficientes que los exteriores.



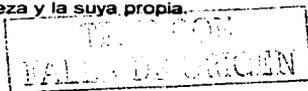
Fig. 2.2.3.3 Alimentadores.

3. La forma de los alimentadores depende de las posibilidades que se tengan en el molde, sin embargo, es recomendable que teniendo en cuenta que ha de ser la última zona en solidificar, posea la geometría más eficiente posible; para tal fin, consideremos los módulos de diferentes formas; de todas maneras, las formas de los alimentadores tienen un orden de mayor eficiencia desde las esferas hasta las formas rectangulares, pasando por los cilindros, las secciones ovaladas y los cubos.

Cálculo de alimentadores.

Los cálculos de alimentadores, como se ha mencionado, se basan cualquiera que sea el método de cálculo, en los siguientes tres principios:

1. El tiempo de solidificación del alimentador debe ser mayor que el de la pieza.
2. El Alimentador debe tener un volumen mínimo, como para compensar la contracción volumétrica de la pieza y la suya propia.



3. El alimentador debe tener un radio de acción suficiente que cubra la pieza.

Para el cálculo de los dos primeros principios, existen varios métodos, a saber:

- I. La primera aplicación de los dos primeros principios se debe a CAINE, quien desarrollo una curva de alimentación para aceros.

En cuyo caso, se debe cumplir siempre que:

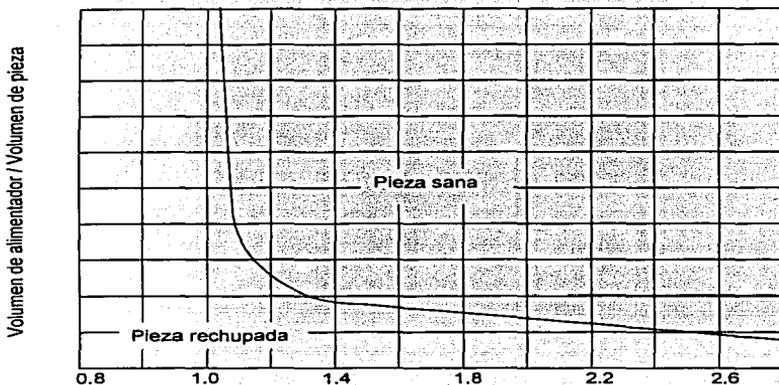
1. $V_a / V_p > 0$; por lo mencionado anteriormente que el alimentador debe tener un volumen como mínimo igual a la contracción de la pieza (para este caso de aceros igual a 3 %).
2. $t_{sa} / t_{sp} > 1$; puesto que si ello no se cumple, el alimentador solidificaría primero que la pieza y no cumpliría su misión.

Donde t_{sa} = Tiempo de solidificación del alimentador.

t_{sp} = Tiempo de solidificación de la pieza.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura. 2.2.3.4



R. E = *Relación de enfriamiento*; (Área superficial de la pieza / Volumen de la pieza) / (Área superficial del alimentador/ Volumen del alimentador)

El razonamiento de Caine para construir su curva fue: " *La disipación de calor de una pieza es función de su área de superficie y del contenido de calor en función de su volumen*" y, basado en Chvorinov, encontró que la tasa de enfriamiento de un cuerpo es inversamente proporcional a la raíz cuadrada del tiempo de enfriamiento.

Como se puede apreciar, la curva de Caine es un gráfico de volúmenes relativos contra tiempos relativos de solidificación y la ecuación matemática de dicho gráfico es:

$$X = (a / (y - b)) + c.$$

Donde a es la constante característica de enfriamiento (se determina experimentalmente).

b es la contracción de solidificación.

c es un factor que depende de la rata relativa del alimentador y la pieza.

Para los aceros vaciados en arena, la ecuación es:

$$X = (0.12 / (Y - 0.05)) + 1.$$

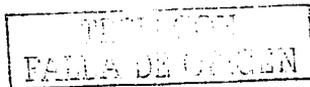
Si se agrega un material exotérmico a la parte superior del alimentador, la ecuación se convierte en:

$$X = (0.12 / (Y - 0.05)) + 0.8.$$

- II. **Método del círculo inscrito:** en este método, el diámetro del alimentador se obtiene multiplicando el diámetro del mayor círculo que se puede inscribir en la sección a ser alimentada en la pieza, por un factor arbitrario que normalmente es entre 1.3 y 3.
- III. **Método de los módulos:** este método se basa fundamentalmente en que si el módulo del alimentador es mayor que el módulo de la pieza, este estará en condiciones de cumplir su cometido.

$$Ma > 1.2 Mp.$$

Conocido el módulo, se puede asumir una relación adecuada de altura contra diámetro.



- IV. Método de Wlodawer:** se basa en el hecho de que un alimentador cilíndrico, es eficiente cuando su contracción total (rechupado del alimentador) es máximo un 14 %, o sea que baja máximo 80 % de su altura total original; se deduce que el módulo del alimentador debe ser:

Volumen rechupado del alimentador = Contracción total (pieza +
alimentador).

$$(14 / 100) V_a = C / 100 (V_a + V_p).$$

Donde V_a = volumen del alimentador

V_p = Volumen de la pieza.

C = Contracción del metal (contracción de solidificación).

- V. Método de Ackesson:** Este método desarrollado en 1955, esta basado en la ecuación de Chvorinov y esta representado por la siguiente ecuación:

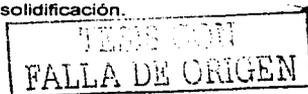
$$V_a / A_a \geq (V_p / A_p) ((1 + \beta) / (1 - \beta (V_p / V_a))).$$

Donde: β Contracción de solidificación del metal.

- VI. Método de Adams y Taylor:** Este método basado en planteamientos teóricos y con la utilización de constantes de solidificación, fue utilizado para alimentadores ciegos, sin enfriadores, ni materiales exotérmicos; esta representada por la siguiente expresión:

$$(1 - \beta) V_a / V_p = (A_a / A_p) + \beta$$

Donde: β es contracción de solidificación.



VII. Método naval: este es el único método que consideró en sus investigaciones el concepto de distancia de alimentación, lo cual nos permite encontrar el número de alimentadores que requiere una pieza; el método fue desarrollado por los laboratorios de investigación naval de los EE.UU. igualmente es un método empírico que elimina el tanteo y error se hace necesario en los métodos donde hay que calcular las áreas superficiales de las piezas que se han de vaciar; e introdujo el concepto de factor de forma para evitar el cálculo de las áreas superficiales.

$$\text{Factor de forma} = (L + W) / T,$$

Donde:

L es la longitud o dimensión máxima de la pieza.
T es el espesor o dimensión mínima de la pieza.
W es la dimensión intermedia o ancho de la pieza.

Como puede apreciarse, el cálculo del factor de forma es sencillo y los investigadores graficaron V_a / V_p contra el factor de forma; este método fue probado para placas con sección de $\frac{1}{2}$ " hasta 4" y barras con sección de 4" * 4".

Para el desarrollo de este método se dividieron todas las geometrías en dos clases a saber:

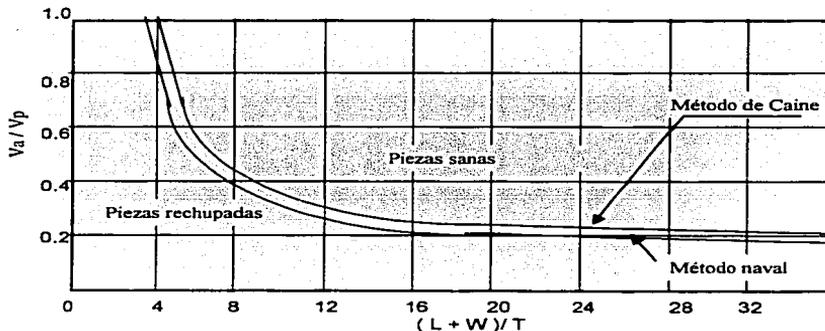
Placa cuando $W > 3 T$

Barra cuando $W < 3 T$.

En la práctica se ha comprobado que para geometrías sencillas, el método naval y el método de Caine, dan como resultado iguales tamaños de alimentadores, sin

embargo, para geometrías complicadas, el método naval es más utilizado por su facilidad de manejo.

Fig. 2.2.3.5 aplicado para aceros de 0.2 hasta 0.5 % de C.



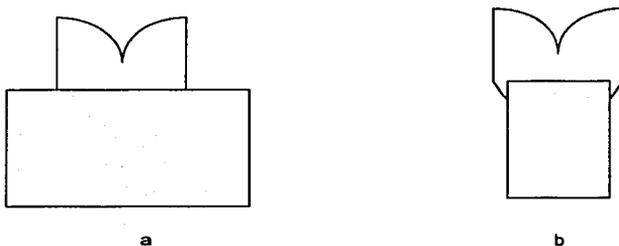
Unión mazarota – pieza.

Es frecuente encontrar que después de realizar un cálculo cuidadoso de un sistema de alimentación a las piezas, se encuentra después de fundidas que los alimentadores no han cumplido la función para la cual fueron calculados, esto suele ocurrir debido a que la unión de la mazarota a la pieza se solidifica antes que la pieza creando que aunque la mazarota tenga metal líquido, este no puede pasar hasta la pieza, produciendo en ella defectos del tipo "rechupe".

Para alimentadores cimeros, se acostumbra que la unión del alimentador a la pieza se haga a través de toda el área seccional del alimentador, como se aprecia en la fig. 2.2.3.6.

Nótese que cuando la pieza no tiene suficiente área, (fig. 2.2.3.6 b) ésta es deformada para producir una sección aproximada.

Fig. 2.2.3.6 Alimentadores.



Sin embargo, algunos autores, presentan diferentes dimensiones de la unión mazarota – pieza, de acuerdo a la siguiente tabla.

Dimensiones de las secciones de unión

Aleación	d	L	
Aceros	0.4 D ₀ min.	0.14 D ₀ min.	0.18 D ₀ max.
Fundiciones	2/3 D ₀	0.14 D ₀	0.18 D ₀
Aleaciones cuprosas	2/3 D ₀	0.25 D ₀	0.35 D ₀
Aleaciones de	Si 0.3 D ₀ d < 0.5 D ₀	L = 0.1 D ₀	
Aluminio	Si d = 0.5 D ₀	0.1 D ₀ ≤ l ≤ 0.2 D ₀	
	Si d = 0.55 D ₀	L = 0.3 D ₀	

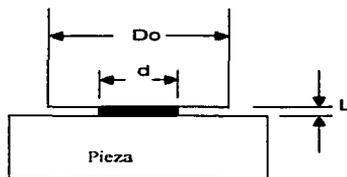


Fig. 2.2.3.7 Alimentador.

Para los alimentadores laterales cilíndricos y, en los cuales se trabaje bajo la suposición que la altura del alimentador es igual a 1.5 veces su diámetro; y partiendo de:

$$\frac{M_p}{1} \leq \frac{M_u}{1.1} \leq \frac{M_a}{1.2}$$

Donde: M_p = Módulo de la pieza.

M_u = Modulo de la unión.

M_a = Modulo del alimentador.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Las dimensiones recomendadas para la unión alimentador - pieza se presentan a continuación:

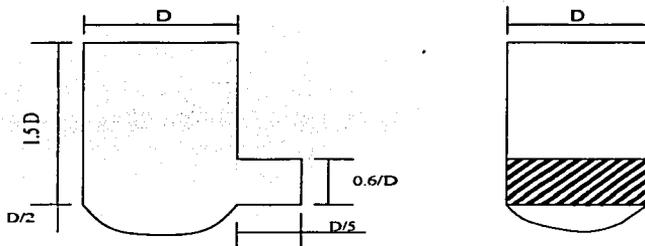
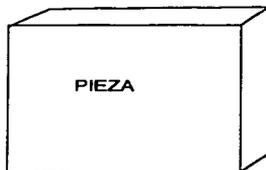


Fig. 2.2.3.8 Dimensiones recomendadas para la unión alimentador-pieza.

Evaluación de los criterios térmico y volumétrico.

Para este efecto se supondrá que debemos alimentar una pieza de acero con menos de 0.3 % C (porcentaje de contracción de 3%); cuyas dimensiones son 10" * 10" * 0.1", y que el alimentador propuesto es un cubo de 0.5" de lado.

Fig. 2.2.3.9 Pieza y su alimentador.



Alimentador



1. Analicemos primero el criterio térmico:

$$\begin{aligned} M_p &= V_p / A_p \\ &= (10 * 10 * 0.1) / ((100 + 100 + 4 (10 * 0.1))) \\ &= \underline{0.049 \text{ cm}}. \end{aligned}$$

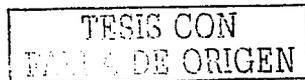
$$\begin{aligned} M_a &= V_a / A_a \\ &= (0.5 * 0.5 * 0.5) / (0.5 * 0.5 * 6) \\ &= \underline{0.083 \text{ cm}}. \end{aligned}$$

Puede apreciarse claramente que el módulo del alimentador propuesto es mayor que el módulo de la pieza y por tanto cumplirá que el alimentador solidifica después que la pieza (criterio térmico).

2. Analicemos ahora el criterio volumétrico:

$$\begin{aligned} V_p &= 10 * 10 * 0.1 \\ &= 10 \text{ cm}^3. \Rightarrow \text{volumen mínimo requerido } 10 * 0.03 = 0.3 \text{ cm}^3. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_a &= 0.5 * 0.5 * 0.5 \\ &= \underline{0.125 \text{ cm}^3}. \end{aligned}$$



Se aprecia claramente que el volumen del alimentador propuesto es inferior al volumen mínimo requerido por la contracción de la pieza.

Adicionalmente, basándonos en el método Wlodawer, podemos encontrar el volumen del alimentador necesario (criterio volumétrico):

$$0.14 V_a = \% \text{ de contracción de solidificación } (V_a + V_p)$$

Reemplazando los valores de volumen de la pieza y porcentaje de contracción del metal, tendremos:

$$0.14 * V_a = 0.03 * (V_a + 10)$$

$$\Rightarrow V_a = 2.7 \text{ cm}^3.$$

Al comparar el volumen de alimentador requerido contra el volumen de alimentador propuesto, se encuentra que el alimentador propuesto no cumple con el criterio volumétrico.

En conclusión, el alimentador propuesto, no sirve, ya que debe cumplir ambos criterios (térmico y volumétrico) en otras palabras, después de calculado los alimentadores por los dos criterios, se tomará como válido el de mayor volumen.

Diseño del sistema de colada.

El sistema de colada es denominado también ataque de las piezas y es la parte del molde, a través del cual el metal líquido es vertido hacia el interior del molde.

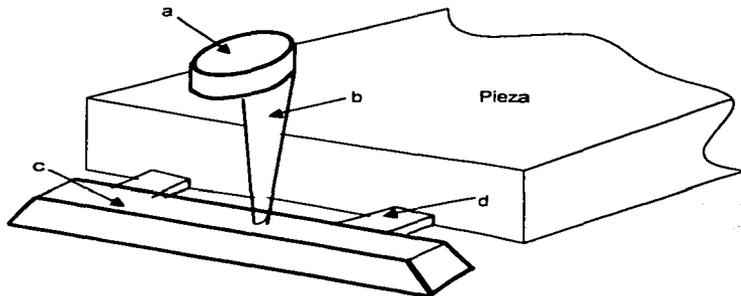


Fig. 2.2.3.10 Sistema de colada.

Donde: **a** es el bacín de colada del sistema de vaciado.

b es el bebedero o bajante.

c es el canal distribuidor.

d son las entradas o ataques.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Su diseño es la forma mas importante a través del cual el fundidor puede controlar la forma como el metal entra al molde. La importancia del diseño de colada es consecuencia de sus propósitos:

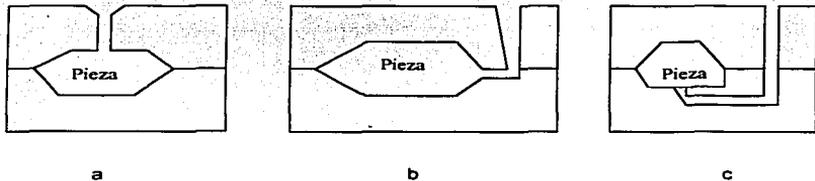
1. La velocidad y dirección del flujo metálico debe ser tal que asegure un completo llenado del molde antes que este solidifique (función del tiempo de vaciado).
2. El flujo debe ser suave y uniforme con una turbulencia mínima para eliminar o por lo menos minimizar la turbulencia (que posibilita la oxidación del metal, el atrapamiento de gases, la erosión de los moldes, etc) basados en los conceptos de mecánica de fluidos.
3. El diseño debe incluir una selección adecuada de la zona por donde se ha de introducir el metal al molde que favorezca la solidificación direccionada.
4. El diseño puede incluir, además, filtros para atrapar las inclusiones no metálicas.

Además, estos propósitos eminentemente técnicos deben conciliarse con los aspectos económicos (costo de moldeo, cantidad de metal y acabado de los moldes); la fig. 2.2.3.10 muestra los principales elementos de un sistema de vaciado.

Las principales variaciones de la posición de los sistemas de vaciado (representado en la fig. 2.2.3.11) son:

- por arriba o directa (a).
- Por la línea de partición o por el costado (b).
- Por el fondo (c).

Fig. 2.2.3.11 Sistemas de vaciado.



a). El vaciado del metal por colado directo a través de un canal vertical, produce con frecuencia alto grado de erosión en el molde, por lo que cuando se ha de utilizar este sistema, se recomienda fabricar el molde con materiales que sean muy resistentes a la erosión; además, cuando se está produciendo piezas fundidas de metales tales como el aluminio o el magnesio altamente ávidos por el oxígeno, este sistema de colado, produce una alta turbulencia y por lo tanto, una gran posibilidad de oxidarse el metal colado, esto puede minimizarse con la utilización de coladores o filtros cerámicos.

Las ventajas comparativas de este sistema de colado son: facilidad de moldeo, mayor rendimiento metálico, gradiente térmico apropiado.

b). El colado por la línea de partición, es otro método sencillo de colocar el sistema de llenado de las piezas, excepto cuando la línea de partición se encuentra en la parte alta del modelo, ya que se producirá una cierta turbulencia, sin embargo, es probablemente el sistema más cercano a un buen acuerdo entre la sencillez de moldeo y baja turbulencia; además, suele ser colocado de manera que las

entradas llenen los alimentadores de manera que se produzca un frente de solidificación direccionado para optimizar el funcionamiento de ellos.

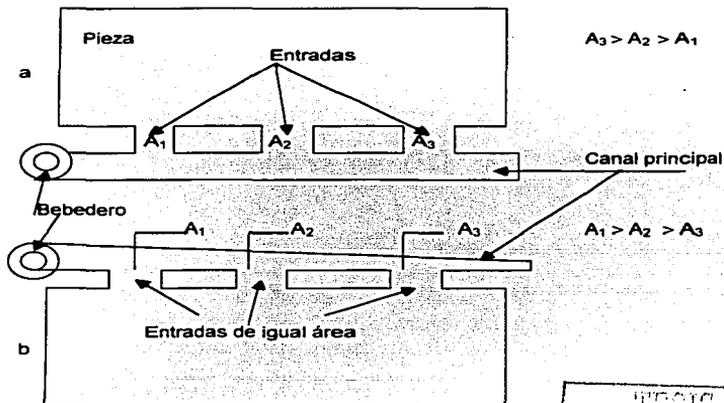


Fig. 2.2.3.12 Entradas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

c). El colado por el fondo es indudablemente el que posibilita un llenado más suave y sin turbulencia y ocasionalmente se puede hacer de manera que este llene los alimentadores para mejorar, igualmente, el funcionamiento de estos.

En todos los casos, es posible establecer un tipo de sistema de múltiples entradas (ataques) que pueden siempre mejorar las condiciones fluidodinámicas del metal cuando entra al molde; esto puede ser manejado mediante diseños con diferente

ángulo de entrada o en su defecto cambiando las dimensiones de las entradas entre la mas cercana al vaciadero y la mas alejada (fig 2.2.3.12).

Consideraciones practicas de diseño sistemas de colada.

El diseño tiene como objeto la de obtener las formas y dimensiones requeridas en concordancia con los principios físicos y geométricos para la posterior elaboración de él dentro del molde, este diseño debe entregar un plano acotado con todas las dimensiones del sistema.

1. Cavidades de vertido:

La cavidad de vertido sirve para que el operador de la cuchara de vaciado pueda dirigir mejor el chorro de metal hacia el vaciadero que conforma parte del sistema, es recomendado hacer un bacín o depósito de colado (fig. 2.2.3.13), sin embargo, por efectos de practica y facilidad, se acostumbra hacer cavidades de vertido más sencillos (fig. 2.2.3.14).

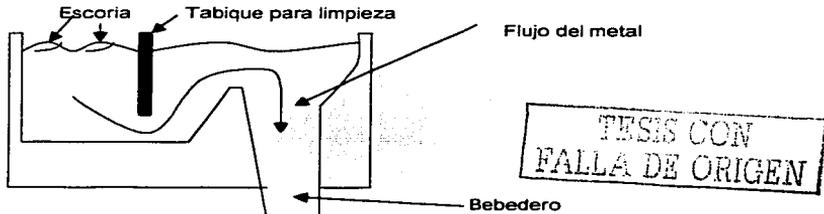


Fig.2.2.3.13 Bacín o depósito de colado.

Estas cavidades de colado, deben cumplir los siguientes propósitos:

- Mantener un flujo requerido y deposito de metal.
- Minimizar las turbulencias.
- Separar las inclusiones no metálicas, escorias, etc.
- Desarrollar el mejor gradiente de temperaturas posible.

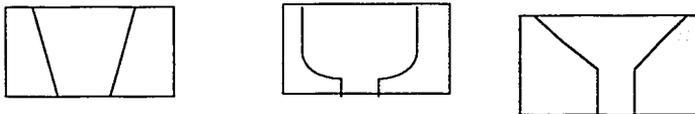


Fig. 2.2.3.14 Cavidades de vertido.

2. Redondeado de las aristas vivas:

Siempre que sea posible, es recomendado redondear las aristas vivas (fig. 2.2.3.15) para mejorar el flujo del fluido o metal vaciado y así obtener piezas sanas, aunque ahí se incrementa su velocidad; fundamentalmente, el redondeado produce mejoras que minimizan los cambios bruscos y dificultan que el metal erosione el molde, atrape escorias y aspire aire.

El bebedero también debe ser diseñado fluidinamicamente para reducir al mínimo la turbulencia; cuando el bebedero es ahusado, la turbulencia y la absorción de gases será reducida al mínimo. Debajo del bebedero, se debe colocar un pozo que deberá absorber la energía creada por la caída del metal (fig. 2.2.3.16).

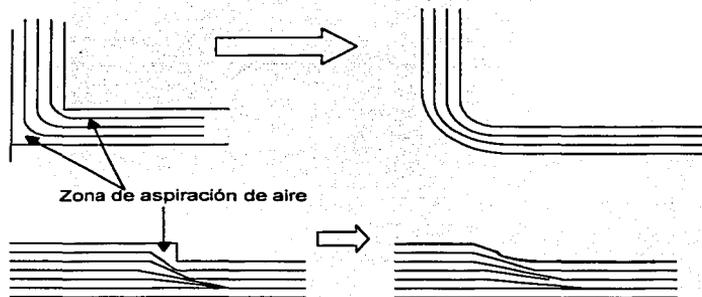
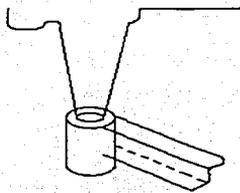


Fig. 2.2.3.15 Aristas.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Fig. 2.2.3.16 Pozo de bebedero.

Aspectos teóricos de diseño.

Como hemos planteado anteriormente, los sistemas de colado tienen como función minimizar la turbulencia (medido por el N_R) y por lo tanto proteger de la erosión al molde, presentando la tendencia de los flujos a regímenes laminares.

$$N_R = V \cdot d \cdot \gamma / \nu .$$

Donde: V Es velocidad del fluido.

d Es diámetro del canal.

ν Es viscosidad dinámica.

γ Es peso específico.

La mayoría de los sistemas de colado o vaciado de los metales, han sido basados fundamentalmente en tres leyes de la dinámica de los fluidos:

1. Ley de conservación de la energía, o Teorema de BERNOULLI, y que establece que la energía total de la unidad de peso del fluido se mantiene constante a través de todo el sistema:

$$E_{\text{constante}} = E_{\text{potencial}} + E_{\text{cinética}} + E_{\text{metalostática}} + E_{\text{fricción}}$$

$$W \cdot h + W \cdot v^2 / 2g + W \cdot V \cdot P + W \cdot F.$$

Donde: h Es la altura del depósito de metal.

v Es la velocidad del fluido.

V Es el volumen de metal.

P Es la presión estática.

g Es aceleración de gravedad.

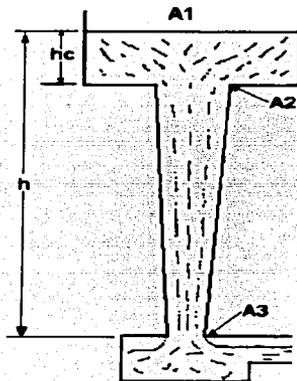
F Son las pérdidas por fricción.

Dividiendo por W toda la ecuación, obtendremos:

$$\text{Constante} = h + v^2 / 2g + V \cdot P + F.$$

2. Teorema de TORRICELLI. Que expresa la conservación de la energía de un fluido en caída libre (Fig. 2.2.3.19):

$$V_3 = \sqrt{2gh}$$



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Fig. 2.2.3.19 Relaciones para el cálculo de áreas del bajante.

3. Ley de Continuidad: que establece que el caudal es constante a través de todo el sistema, expresado como:

$$Q_1 = Q_2 = Q_3$$

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 = A_3 \cdot v_3.$$

Donde A_i representan las áreas de las diferentes partes del sistema.

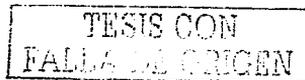
v_i se refiere a las velocidades del fluido en dichas partes.

Las tres leyes nos permiten establecer, con ciertos márgenes de error, las dimensiones más adecuadas a los sistemas de llenado de los moldes, que pueden ser obviados usando algunos coeficientes determinados experimentalmente.

Si suponemos que el molde es permeable, que el bebedero no es ahusado y que todo el sistema se encuentra lleno de metal líquido y calculamos la energía en los puntos 1 y 3, tendremos que:

$$h + 0 + P_a \cdot V = 0 + v_3^2 / 2g + P_a \cdot V.$$

Resolviendo, encontramos que: $v_3 = \sqrt{2gh}$.



Además, por la ecuación de continuidad, teniendo en cuenta que $A_2 = A_3$, tendremos: $v_2 = v_3$, lo cual no parece cumplir con la ley de conservación de la energía, ya que el punto 2 se encuentra más alto que el punto 3 y por lo tanto tendrá mayor $E_{\text{potencial}}$, esta desigualdad surge del término de presión en el punto 2, aplicando BERNOLLI en los puntos 2 y 3, tendremos:

$$h_2 + v_2^2 / 2g + P_2 \cdot V = 0 + v_3^2 / 2g + P_3 \cdot V.$$

Si tomamos $v_2 = v_3$ y resolvemos la ecuación, tendremos:

$$P_2 = P_3 - h_2 / V.$$

Como puede notarse, la presión en el punto 2 es menor que la presión en el punto 3, y por lo tanto, por ser el molde permeable, se presentará una absorción de aire en 2, que causará problemas posteriores en la pieza fundida.

Analizando la ecuación de BERNOULLI nuevamente para los puntos 2 y 3, tenemos:

$$h_2 + v_2^2 / 2g + P_2 \cdot V = 0 + v_3^2 / 2g + P_3 \cdot V.$$

Si tenemos en cuenta el problema expuesto anteriormente, en cuyo caso, las velocidades y las áreas en los puntos 2 y 3, son iguales, debemos establecer a cambio, que las presiones son las que se igualan en todos los puntos del sistema, por ser el molde permeable, entonces, tendremos:

$$h_2 + v_2^2 / 2g = v_3^2 / 2g.$$

Pero por continuidad, tenemos que :

$$A_2 \cdot v_2 = A_3 \cdot v_3. \quad \longrightarrow \quad v_2^2 = v_3^2 \cdot (A_3 / A_2)^2.$$

Reemplazando y multiplicando el numerador y el denominador por $(2g / v_3^2)$, tendremos :

$$1 = (A_3 / A_2)^2 + 2 h_2 g / v_3^2.$$

De la figura 2.2.3.19 y teorema de TORRICELLI, se tiene que :

$$H_2 = h - h_c \quad \text{y} \quad v_3 = \sqrt{2gh} .$$

Reemplazando y resolviendo encontramos que:

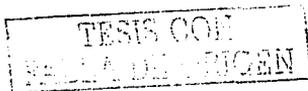
$$A_3 / A_3 = \sqrt{h_c / h} .$$

Fluidez.

Es la propiedad que tienen los metales de correr por todos los pasajes del molde llenándolo completamente hasta sus lugares mas delgados, reproduciendo fielmente los contornos de las piezas.

La fluidez no es una propiedad física como la densidad o la viscosidad, sino que es algo más complejo que tiene que ver con el comportamiento de cada metal exclusivo dentro de cada molde, bajo ciertas condiciones específicas; de todas maneras, la fluidez depende de la viscosidad, pero esta no es la determinante cuando se evalúa la capacidad que tiene un metal para llenar totalmente un molde.

Se sabe que una de las propiedades de los líquidos es la de tomar la forma de los recipientes que lo contienen y esto no es ajeno a los metales fundidos, en cuyo caso, se cumple dicha propiedad dependiendo del tiempo (de llenado y solidificación) de la temperatura de vaciado, de la composición de la aleación que se funde y de la velocidad de llenado del molde.



La medida de la fluidez se hace mediante procedimientos empíricos, realizados en condiciones de mucho control, existen diferentes formas a llenar para determinarla, entre ellas se pueden mencionar espiral de fluidez y barras de fluidez.

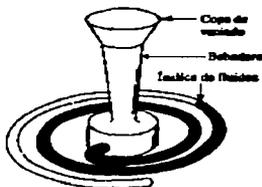


Fig. 2.2.3.20 Fluidez.

Cálculo del sistema de llenado.

Tiempo de vaciado.

El tiempo de vaciado nos posibilita establecer como se realiza el llenado de los moldes (flujo turbulento o laminar) y depende del metal que se procesa, del peso de la pieza mas el peso de la mazarota, de los coeficientes de fricción del metal dentro del molde, el espesor de la pieza, etc.

Existen diferentes maneras de hallar los tiempos óptimos de vaciado, desde curvas obtenidas de largas experimentaciones hasta formulaciones más o menos complicadas, sin embargo, para nuestro trabajo calcularemos los tiempos de vaciado apoyados en las formulaciones encontradas para aleaciones de hierro gris

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

y acero al carbono, sin embargo, es prudente tener en cuenta que las aleaciones de aluminio y cobre tienen diferente densidad, y sería posible comparar los resultados obtenidos.

$$t = S \cdot \sqrt{e \cdot W}$$

Donde t es el tiempo de vaciado en segundos.

e es el espesor predominante o promedio de la pieza (mm).

W es el peso de la pieza más el alimentador (Kg.).

S es un coeficiente que depende del tamaño de la pieza según la tabla siguiente

TAMAÑO	S	S
	Hierro gris	Acero
Muy grande, (más de 10 ton.).	1.9 – 2.3	1.8 – 2.8
Desde 1 hasta 10 ton.	1.6 – 1.9	1.2 – 2.0
Hasta 1 ton.	1.4 – 1.6	1.0 – 1.5

Además del tiempo óptimo de vaciado, como se mencionó, debemos tener en cuenta la velocidad de llenado de los moldes, de acuerdo a los siguientes valores:

ESPESOR (mm)	v, Kg. / seg. Fundición gris	v, Kg. / seg. Acero
Hasta 4 mm	3 – 10	-
Desde 4 hasta 10 mm	2 – 3	2
Desde 10 hasta 40 mm	1 – 2	1
Más de 40 mm	0.8 – 1	0.8

Si después de calculado el tiempo de vaciado, se encuentra que la velocidad es muy baja, de acuerdo con el espesor, se debe disminuir el tiempo de vaciado y, en caso contrario, que el tiempo de vaciado produzca una velocidad de llenado

alta de acuerdo con el espesor de la pieza se debe, entonces, **incrementar** el tiempo de vaciado.

Área de choque.

Como área de choque denominaremos el área que nos controla el flujo de llenado del molde, en otras palabras se refiere a la menor apertura del sistema de colado; y se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$A_c = (W / t) * 1 / (0.31 * \mu * \sqrt{h_p}).$$

Donde **W** es el peso de la pieza mas los alimentadores en Kg.

t es el tiempo de colada en seg.

h_p es la altura metalostática promedio.

μ es coeficiente empírico de resistencia del molde al llenado, según la siguiente tabla:

MOLDE	TAMAÑO		
	Grande	Mediano	Pequeño
Seco	0.30 / 0.41	0.38 / 0.46	0.50 / 0.60
Verde	0.25 / 0.35	0.32 / 0.42	0.42 / 0.50

Conclusión: Después de tener el peso de la pieza mas el peso de los alimentadores, los pasos a seguir para el diseño del sistema de llenado son:

- Cálculo del tiempo de vaciado.
- Comparar tiempo de vaciado con velocidad de llenado.
- Cálculo de área de choque.
- Definir relación de áreas, número de canales y entradas.
- Calcular las dimensiones de las entradas, de los canales y bebedero.



2.2.4 EQUIPO MECÁNICO DE MOLDEO.

Cuando se requiere producir lotes grandes de piezas de fundición, se justifica el empleo de máquinas para moldeo (operación fundamental dentro del proceso de fundición).

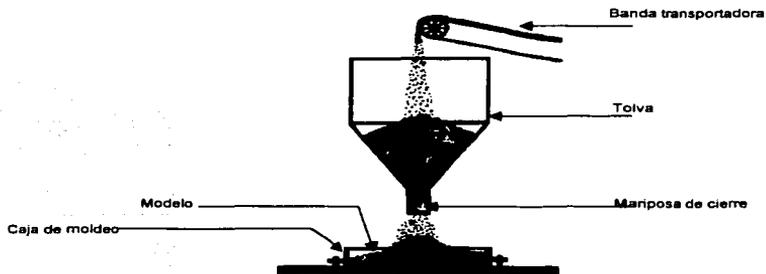


Fig. 2.2.4.1 Banda transportadora y tolva de dosificación.

Este tipo de maquinaria, básicamente puede realizar algunas o varias de las siguientes funciones: proveer de arena a la caja de moldeo, comprimir o apisonar la arena que llena la caja (donde se encuentra el modelo), extraer el modelo del molde y colocar las cajas de moldeo superior e inferior una sobre la otra para proceder al vaciado del metal.

A continuación, se explicará brevemente, el funcionamiento y las principales características de esta maquinaria.

Suministro de arena a las cajas de moldeo. Esto se hace generalmente mediante bandas transportadoras y tolvas dosificadoras que vacían sobre la caja de moldeo una cierta cantidad de arena que cae por gravedad (fig. 2.2.4.1). se emplea también un impulsor centrífugo de paletas, que proyecta la arena contra el modelo y cuando el impulsor es de gran potencia o el molde es de poca altura, se evita el apisonado posterior (fig. 2.2.4.2).

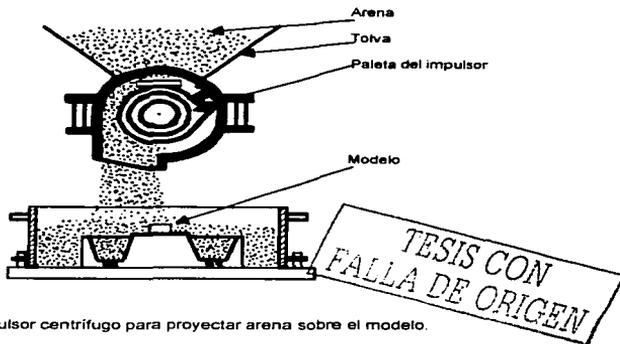


Fig. 2.2.4.2 impulsor centrífugo para proyectar arena sobre el modelo.

Compresión o apisonado de la arena dentro del molde. En este proceso, algunas máquinas comprimen la arena por medio de un pisón mecánico que tiene las dimensiones interiores de la caja de moldeo; el apisonado se puede efectuar de dos formas; con la caja de moldeo fija y el pisón móvil (aunque tiene la desventaja de que se comprime más la arena en la proximidad del pisón), o con la caja de moldeo móvil y el pisón fijo (en este caso se comprime mejor la arena en

la proximidad del modelo), una máquina del segundo tipo se muestra en la figura 2.2.4.3.

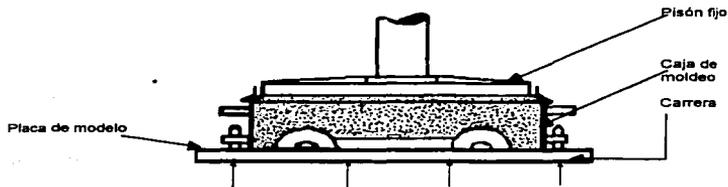


Fig. 2.2.4.3 Moldeado mecánico por atacado, mediante pisón fijo y placa modelo móvil hacia amba.

En ambos casos se obtienen buenos resultados en modelos de poca altura.

Otro tipo de máquinas para apisonar la arena, someten a la caja llena de arena a movimientos verticales relativamente amplios y lentos (sacudidas) o de poca amplitud y mucha velocidad (vibraciones), de tal forma que la arena se comprima en el fondo contra el modelo. En ambos casos, se consigue comprimir mejor la arena en las proximidades del modelo, por lo que estos sistemas son adecuados para modelos y cajas de mediana altura.

Hay máquinas que combinan la compresión de la arena por medio del pisón mecánico con sacudidas o con vibraciones de la caja, por lo que son llamadas de vibrocompresión, y debido a que el apisonado es bastante uniforme en toda la caja, se emplea para modelos y cajas altas (fig. 2.2.4.4).

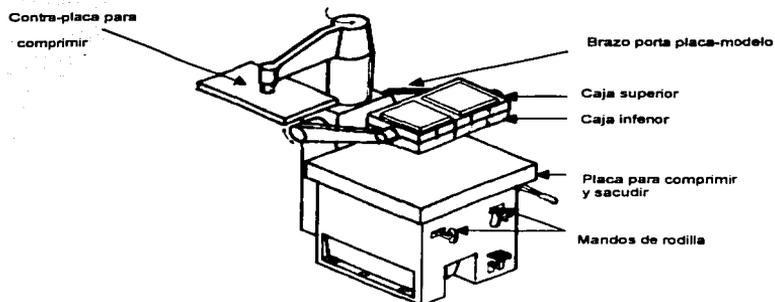


Fig. 2.2.4.4 Máquina de moldeo por sacudidas y compresión.

Máquinas para la extracción del modelo de la caja. Su función consiste básicamente, en el levantamiento y volteado de la caja que contiene el modelo para su extracción (fig. 2.2.4.5).

El modelo está integrado o unido a la placa base, que es el equivalente a la tarima en el moldeo a mano.

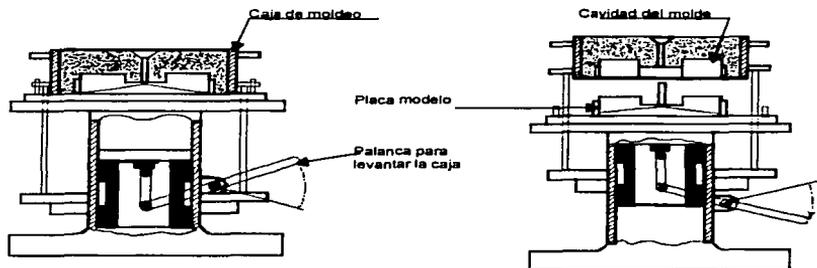


Fig. 2.2.4.5 Máquina para la extracción del modelo de la caja.

La caja, se apoya en la placa-modelo y en las espigas o vástagos guías; una vez que se han terminado el llenado y el apisonado se levanta la caja por medio de las espigas, en algunas máquinas, la caja permanece fija, siendo la placa móvil la que se desplaza hacia abajo.

El movimiento de la caja o de la placa-modelo, se puede efectuar con sistemas mecánicos (levas o palancas), hidráulicos (aceite) o neumáticos (aire). En la figura se muestra una máquina accionada por palanca con elevación de la caja.

Algunas máquinas para moldear, pueden efectuar a la vez, varias de las operaciones descritas; normalmente, para la preparación completa de un molde, se emplean dos máquinas distintas, una para la preparación de la caja inferior y otra para la caja superior; en este caso se puede realizar el llenado, el

compactado y la extracción del modelo en la misma máquina. Las dos medias cajas se acoplan y cierran manualmente.

También es posible obtener el moldeado completo de las dos medias cajas con una sola máquina, empleando cajas que contengan en cada lado la mitad correspondiente del modelo. La figura 2.2.4.4 muestra una máquina de este tipo. El compactado es por vibración y compresión, y los mandos son accionados con las rodillas para que el operario tenga las manos libres.

Cuando los moldes son grandes y pesados, (inclusive el moldeo en fosa), se usan los impulsores centrífugos para la arena, el peso excesivo del molde, puede impedir que se haga en máquinas de otro tipo.

2.3 ARENAS DE MOLDEO.

Los procesos de fusión de piezas, tradicionalmente han utilizado las arenas para la fabricación de los moldes y, en general, se puede demostrar que un gran porcentaje de los defectos de fundición están asociados con la calidad de ella; basados en esta afirmación es necesario tener un estricto control sobre los materiales que la conforman.

Durante muchos años, las empresas fundidoras utilizaron arenas naturales que eran extraídas de minas cercanas a las instalaciones de la fundición, sin embargo, las arenas naturales presentaron diferencias apreciables dentro de la misma mina y en cortos lapsos de tiempo; esta característica fue analizada teniendo en cuenta algunas propiedades tales como la resistencia en verde y en seco de los moldes y la permeabilidad, circunstancia que demostró la dificultad de controlar las propiedades mencionadas, haciendo necesario preparar arenas que permitieran controlar las propiedades mencionadas mediante adiciones controladas de arcillas y materiales carbonaceos, surgieron las arenas sintéticas.

Las propiedades mencionadas pudieron ser comparadas entre las arenas naturales y las arenas sintéticas, encontrándose que la permeabilidad y la resistencia se incrementa en ocasiones hasta 10 veces en las segundas.

La permeabilidad se refiere a la capacidad que tiene las arenas de moldeo de permitir la salida del aire, los gases y vapores que se forman cuando se adiciona el metal caliente dentro del molde, esto impide que se presenten reacciones

fuertes y hervidos durante el proceso de vaciado. La permeabilidad de las tierras naturales era del orden de 15 unidades, mientras que en las arenas sintéticas se alcanza en muchas ocasiones 100 y más unidades.

La permeabilidad en las arenas puede ser incrementada controlando el tamaño de los granos de arena y las adiciones de materiales que se quemen durante el vaciado del metal dentro del molde que, en general, pueden adicionarse como harina de madera, carbón finamente molido, etc., y después de quemarse, dejara espacios vacíos entre los granos de arena.

La resistencia a la compresión es la carga que puede soportar el molde antes de destruirse, expresado en libras por pulgada cuadrada o en kilogramos por centímetro cuadrado.

Esta propiedad nos asegura la capacidad del molde para ser transportada dentro del patio de trabajo, para soportar las presiones debidas al metal liquido, para soportar la carga que se coloca sobre los moldes, para evitar el escape de metal por su junta, y lógicamente que permita retirar los modelos sin que el molde se destruya.

La resistencia a la compresión de las arenas naturales era del orden de 4 PSI. Mientras que la resistencia de las arenas sintéticas se usa en general entre 12 y 14 PSI, y ocasionalmente se puede obtener valores muy por encima de estas

hasta 25 – 30 PSI, estos valores pueden ser obtenidos con adiciones altas de aglomerante arcilloso que desarrolla su propiedad ligante con la adición de agua.

Como puede observarse se han mencionado tres elementos fundamentales que conforman las arenas de moldeo (arena, aglomerante y agua), los demás aditivos cumplen un papel secundario para imprimir propiedades específicas a la mezcla de arena, tales como acondicionar la reactividad de la arena con el vaciado metálico.

Arena base.

Las arena base la clasificaremos teniendo en cuenta las características químicas y físicas a saber:

Arena de sílice: Es un dióxido de silicio, denominado también cuarzo o sílica, y es el compuesto de mayor abundancia en el globo terráqueo, cuya densidad es 2.7 gr/cm² y su punto de fusión es de 1728°C; Este material es el mas ampliamente usado en fundición por lo dicho de su abundancia que redunde en un bajo precio. Sin embargo, presenta un cambio volumétrico de expansión, causado por la transformación alotrópica de cuarzo alfa a cuarzo beta a la temperatura de 573°C cuando se produce el calentamiento por vaciado de metal caliente, lo que causa posibilidad de fractura del molde; adicionalmente, algunos metales reaccionan con la sílice (magnesio) o metales oxidados (óxido de manganeso y óxido de hierro) produciendo mezclas de óxido de bajo punto de fusión.

Finalmente, las arenas de sílice, presentan los mas bajos coeficientes de difusibilidad térmica.

Arenas de olivino: Las arenas de olivino se componen de un ortosilicato de magnesio y hierro (90% de $2\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$ y 10% de $2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$) denominados fosterita y fayalita respectivamente, cuya densidad es 3.25/3.4 dependiendo de la composición y su punto de fusión alrededor de 1800°C . Esta arena es óptima para la fabricación de piezas fundidas en metales no ferrosos y en buena medida para aceros al manganeso. Posee mejores propiedades de conductividad térmica que la sílice hasta una temperatura de 1000°C , a partir de la cual se hace aislante térmicamente y su expansión térmica es menor que la de la sílice; la forma del grano es angular.

Arenas de cromita: La composición promedio de las arenas de cromita se encuentra representado por: 45-50% de Cr_2O_3 , 12-24 de Al_2O_3 , 20-26% de Fe_2O_3 , 14-18% de MgO y contenidos de SiO_2 menores que 5%. Las arenas de cromita presentan una densidad de 4 hasta 4.6 gr/cm^3 , y un alto punto de fusión de 2180°C ; ofrece mejor conductividad térmica que las anteriores y su expansión térmica es moderada. Estas arenas se obtienen por molienda y clasificación y por lo tanto, sus granos son angulares.

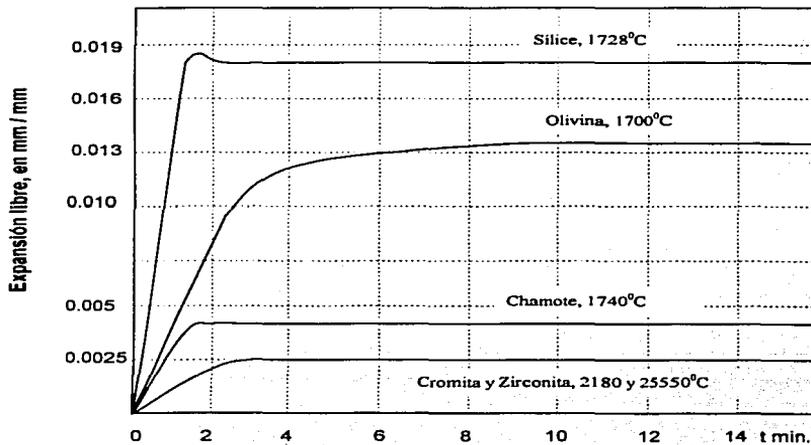
Arenas de zirconio: Las arenas de zirconio o zirconitas, están constituidas por mezclas de silicato de zirconio (ZrO_2) y oxígeno (SiO_2) con contenidos de óxido de zirconio de 65-68% y el balance sílice. Las propiedades son superiores que las

anteriores, ya que su expansión térmica y su conductividad térmica es la menor, además que su punto de fusión es de 2550°C y su densidad 4.7 gr/cm³. En el mercado nacional, las arenas de zirconio son las de mayor costo.

Arenas de chamote: Para la fabricación de moldes de gran tamaño y materiales de alto punto de fusión, se acostumbra utilizar las arenas producidas por molienda de chamote, que se obtiene por calcinación de algunas arcillas. Estas requieren ser aglomeradas con arcillas compatibles.

La característica principal que se controla a todas las arenas base, es la granulometría que incluye su forma y el índice de finura; sobre la forma, se incluyen las formas angulares, subangulares y redondeadas. Para calcular el índice de finura es necesario utilizar una serie estándar de tamices cuyo factor multiplicativo es $\sqrt{2}$, es decir, cada tamiz multiplicado por dicho factor corresponde aproximadamente al tamiz siguiente. La serie utilizada es bajo la norma ASTM o serie Tyler, incluye los tamices # 20, # 30, #40, # 50, # 70, # 100, # 140 # 200, # 240 y bandeja.

Expansión libre contra el tiempo



El número de tamiz corresponde aproximadamente a la cantidad de hilos o mallas por pulgada y, para el ensayo, se colocan uno sobre otro iniciando con la bandeja en la parte inferior y terminando con la malla # 30 en la cima.

Para determinar el número de finura, se pesa una muestra de 50 gramos de arena base y se coloca en el tamiz # 30, se tapa y se agita durante 15 minutos, posteriormente se pesa el material que queda en cada tamiz y se reporta en una tabla procediendo de la siguiente manera:

# de tamiz	Gramos retenidos	% retenido	Factor Multiplicativo	Factor de finura
20				
30				
40	2.6	5.2	30	156
50	6.2	12.4	40	496
70	35.05	70.1	50	3505
100	5.15	10.3	70	721
140	0.75	1.5	100	150
200				
240				
bandeja	0.25	0.5	240	120
Total	50.0	100.0		5148

INDICE DE FINURA = 5148 / 100 = 51.48

Aglomerantes arcillosos.

Como se menciona anteriormente, los aglomerantes tienen alta importancia como constituyentes de las arenas de moldeo y, en general, son arcillas de origen volcánico de tres tipos a saber: Caoliniticas, Ilíticas y Montmorilloníticas.

Todos los aglomerantes arcillosos contienen iones de aluminio de diferente número de valencia, sin embargo, las arcillas más usadas son las arcillas montmorilloníticas por que poseen además iones de Calcio (Ca^{++}) denominadas bentonitas cálcicas, de suministro local y iones de Sodio (Na^+) denominadas bentonitas sódicas.

Las bentonitas Sódicas son de mejor calidad por poseer mayor capacidad de hinchamiento y mayor durabilidad o resistencia al calor, es decir, las sódicas requieren menores adiciones iniciales y por recirculación de las arenas, aunque todas las bentonitas se degradan con el uso.

Las adiciones de bentonita cálcica se hacen entre 9 y 11 %, las sódicas en cambio, requieren únicamente 6%, lo que induce menores cantidades de agua para activar la propiedad ligante en la mezcla. De todas maneras, cuando se prepara una arena para moldeo se debe tratar, en lo posible, de adicionar la menor cantidad de aglomerante sin que la mezcla falte a las propiedades exigidas en la operación de llenado de los moldes con el metal líquido.

Mezcla completa.

La pretensión final es la de obtener una mezcla de arena con la cual podemos fabricar moldes que nos produzcan piezas buenas y, en general, se ha establecido que los contenidos óptimos de agua se encuentran en relación 1 : 3, con respecto a la bentonita, por lo tanto, se puede decir que el contenido de humedad recomendado es de 3.3 %, sin embargo, los procesos de fundición aceptan ocasionalmente contenidos hasta de 5 %, teniendo cuidado de acuerdo con los materiales y tamaños de pieza que se estén produciendo.

Tradicionalmente, las empresas fundidoras y, claro, los fundidores tienen la errónea tendencia a no tomar las precauciones con las arenas de moldeo, causando errores frecuentes que aparecen, a veces, inmediatamente después del desmoldeo o posteriormente cuando se mecanizan las piezas, ya que la mayoría de los defectos de las piezas fundidas se pueden asociar a la mala calidad del molde y este es consecuencia de la calidad de la arena.

Los **aditivos** más usados en las mezclas de arena de moldeo son:

1. **Carbón molido**, adicionado a las arenas de moldeo para los hierros grises, nodulares y blancos; su función en las arenas de moldeo es la de evitar la adherencia de la arena a la pieza fundida, evitar la penetración del metal líquido en el molde y reducir la posibilidad de defectos debidos a la expansión térmica de la sílice; esta adición produce una atmósfera reductora que mejora sustancialmente la superficie de las piezas fundidas y evita que los óxidos de hierro que se produzcan reaccionen con la sílice del molde. Los efectos

negativos producidos por esta adición, están asociados al hecho que los carbones contienen cantidades de ceniza y azufre en cantidades de 10% y 4% aproximadamente, el azufre degrada las bentonitas y las cenizas incrementan los contenidos de finos en la arena produciendo oolitización (bolitas de arena) con altos contenidos de agua.

2. **Almidones y dextrinas.** La principal razón para el empleo de las dextrinas y almidones es el aumento de la plasticidad y la disminución de los efectos de la expansión térmica de la sílice, así como la contribución a la formación de la atmósfera reductora y la posibilidad de aceptar mayores contenidos de agua en la arena de moldeo.

3. **Aditivos celulosos.** El principal aditivo de este tipo es la harina o polvo de madera, que no debe confundirse con el aserrín, puesto que este debe ser en granulometría fina, menos malla # 50 y su efecto principal es de disminuir los efectos de expansión térmica de la sílice y mejorar la formación de la atmósfera reductora.

Mezclado: El mezclado de las arenas de moldeo es el aspecto menos controlado en la mayoría de las empresas fundidoras y es necesario mencionar que la mezcla completa requiere, en todos los casos mínimo cinco minutos, aunque se ha revisado los tiempos de mezcla total en algunos laboratorios encontrando que se alcanza después de 20 minutos de mezclado.

La eficiencia de los tiempos de mezclado tienen que ver con la posibilidad de distribuir las arcillas aglomerantes por toda la superficie activa de los granos de arena, activada por la acción del agua adicionada (antes o después que los aglomerantes y aditivos). Deficientes tiempos de mezclado posibilitarán la oolitización de la arena, dificultad de desmoldeo, reducción de la estabilidad térmica y secado rápido de los moldes produciendo friabilidad de las aristas.

Para efectos de calcular las cantidades de aglomerantes a adicionar cuando se recicla la arena de fundición de metales cuyo punto de fusión es por arriba de 1000°C , se puede demostrar que la capa de arena afectada por el calor del metal líquido corresponde al 25 – 30% y que, por lo tanto, esta es la cantidad de aglomerante que debe ser adicionada.

Los principales ensayos que se realizan a las arenas de moldeo son:

- Porcentaje de humedad.
- Permeabilidad.
- Resistencia a la compresión en verde, RCV.
- Compactabilidad.
- Porcentaje de bentonita activa
- Porcentaje de arcilla total
- Resistencia a la compresión en seco.



Porcentaje de humedad: El ensayo de porcentaje de humedad, se refiere a la cantidad de agua que posee la mezcla de arena preparada para el proceso de moldeo y se calcula pesando una muestra de 50 gramos de arena preparada, que luego se seca completamente a una temperatura de 110 °C en una estufa o secador por espacio de 10 minutos.

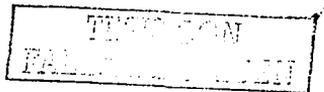
$$\% \text{ humedad} = (50 - \text{peso de la muestra seca}) * 100 / 50$$

Igualmente se utiliza la bomba "speedy" que aprovecha la reacción que se produce entre el carburo de calcio y el agua.

Permeabilidad: La permeabilidad de las arenas de moldeo, tiene relación con la capacidad que ellas poseen de dejar pasar los gases y el aire a través de ella.

La permeabilidad se determina por la velocidad de flujo de aire bajo presión normal a través de una probeta cilíndrica bajo norma AFS, de 50 mm de diámetro por 50".0.79 mm de longitud.

Para tal efecto cuenta con un aparato que tiene un tambor flotante con marcas de 0, 1000, 2000 cm³, que suministra un volumen de aire con precisión de +/- 1%, bajo una presión de 10 gr. / cm², y que se puede desplazar y colocar en un volumen preestablecido, $P = 3007.2 / t$ (seg.), para un volumen de 2000 cm³.



La permeabilidad también se expresa relacionando el volumen del aire (cm^3), la altura de la probeta (cm), la presión del aire (gr./cm^2), el área transversal (cm^2) y el tiempo de desalojo, expresado en minutos.

$$P = (V \cdot h) / (p \cdot A \cdot t)$$

Resistencia a la compresión en verde: La resistencia a la compresión es la carga (de transporte, por abrasión del metal, etc.) que puede soportar el molde antes de destruirse, expresado en libras por pulgada cuadrada o en kilogramos por centímetro cuadrado.

Para este análisis, requerimos de una probeta igual que la utilizada para el ensayo de permeabilidad, esta es colocada en la máquina universal (que puede ser de dos tipos) y se aplica una carga de compresión menor de $132 \text{ gr./cm}^2 \text{ min.}$ hasta la rotura de la muestra.



2.3.1 Cilindro para la fabricación de las probetas.

El cilindro para la fabricación de las probetas debe tener una longitud de 4.750 +/- 0.007 pulgadas de longitud, y un diámetro interior de 2.000 +/- 0.001 pulgadas; el cilindro debe ser mecanizado de manera que el paralelismo entre los dos extremos sea casi perfecto y admite hasta 0.002" de error.

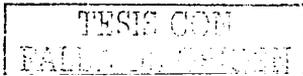
El equipo compactador consiste de un pistón que deja caer una pesa de 14 libras desde una altura de 2" y para la preparación de las muestras que han de ser ensayadas, se aplica en tres oportunidades (tres golpes).

Compactabilidad: El ensayo de Compactabilidad nos permite reconocer la capacidad que tienen las arenas preparadas de producir moldes que cumplan con los requerimientos necesarios para ello. La Compactabilidad se calcula en porcentaje de la diferencia de altura después de apisonada la arena dentro de un cilindro (probeta patrón) que tiene una altura total de 120.45 mm.

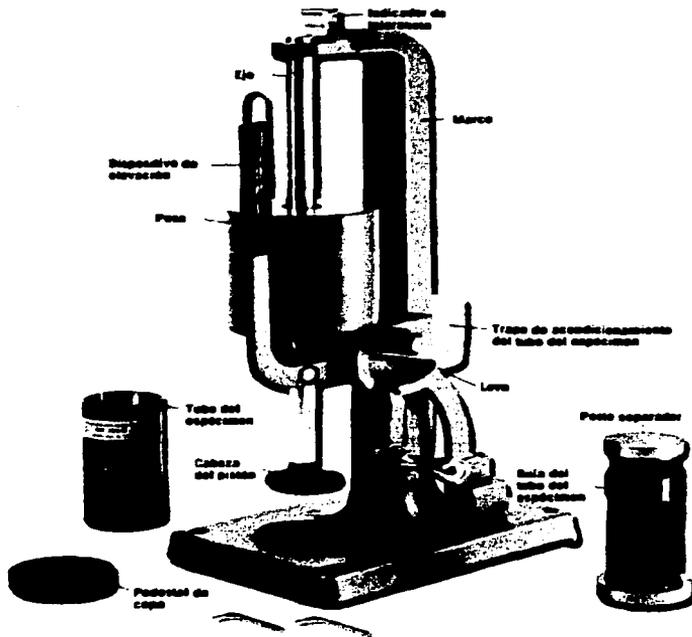
Para el ensayo, se debe tamizar (malla No. 8) una porción de la arena de moldeo, se llena el cilindro y se enrasa, posteriormente se apisona (tres golpes) dentro del cilindro; se mide la altura de la probeta resultante y se calcula la compactabilidad:

$$\text{Compactabilidad} = (120.45 - \text{Altura de la probeta, mm}) * 100 / 120.45$$

Los ensayos de porcentajes de bentonita activa y arcilla total se realizan con menor frecuencia, y tienen que ver con la cantidad de aglomerante que puede



responder a la humectación de las arenas y de materiales finos que posteriormente castigarán la permeabilidad de las mezclas de arena.



2.3.2 Compactadora típica de arena con sus partes indicadas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.4 PROCESO DE FUSIÓN.

El proceso de fusión es un aspecto importante de las operaciones de fundición, ya que tiene un efecto directo sobre la calidad de las piezas fundidas.

2.4.1 HORNO DE INDUCCIÓN.

Se dividen en hornos de baja frecuencia, con núcleo de hierro y hornos de alta frecuencia sin núcleo magnético.

Baja frecuencia. La cámara de fusión consta de una sección principal y de un anillo delgado que envuelve a un núcleo de hierro excitado por una bobina (fig. 2.4.1.2), esto induce un voltaje en el metal contenido en el anillo, y como éste se encuentra en corto circuito, circula una fuerte corriente que libera calor por Ley de Joule y funde el metal. Poco a poco, este calor se transmite a la cámara principal por conducción y convección, y toda la masa se funde. Los hornos chicos son monofásicos y los grandes trifásicos con tres anillos de fusión. El factor de potencia es aproximadamente de 0.7, por lo que generalmente se les acopla un condensador. Estos hornos no alcanzan temperaturas muy altas, por lo que no pueden fundir acero, sin embargo, se pueden usar para fundir hierro colado, aleaciones y metales ligeros.

Alta frecuencia. Estos hornos se basan en que al colocar un metal en un campo magnético de frecuencia y densidad altas, dicho metal se calienta por la rápida vibración de sus dipolos magnéticos. Constan de un grupo motor-generator de alta frecuencia (500 hz a 10 000 hz en la industria y hasta 100 000 hz en

laboratorios), conectado a una bobina con condensadores para mejorar el factor de potencia. La bobina envuelve un crisol que contiene el metal a fundir. Su capacidad varía entre unos cuantos kilogramos y de 10 a 12 toneladas (fig. 2.4.1.1)

La principal característica de los hornos de inducción es que no habiendo combustible que se quemé, ni resistencia que se gaste, la pureza del metal no se altera.

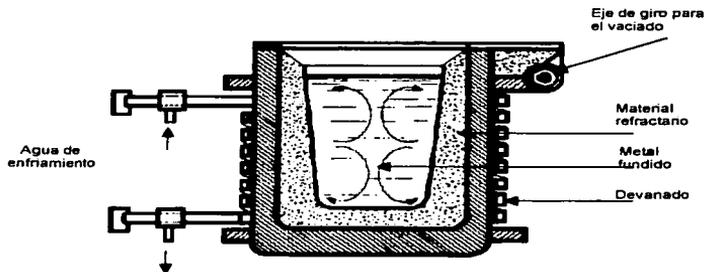


Fig. 2.4.1.1 Horno de inducción de alta frecuencia.

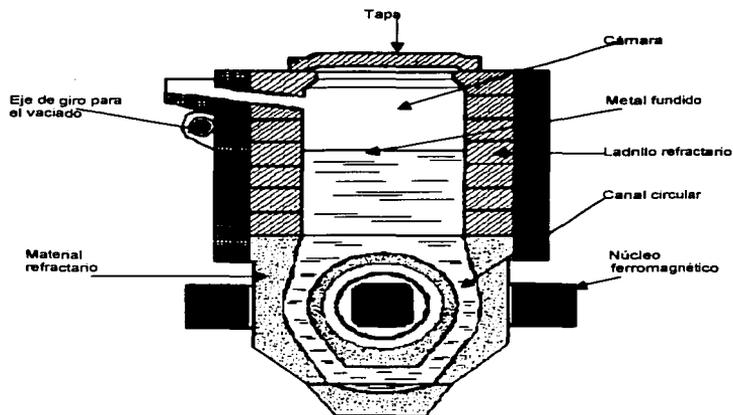


Fig. 2.4.1.2 Horno de inducción de baja frecuencia.

Frecuencias empleadas. La alimentación de los hornos eléctricos de inducción se realiza con corriente eléctrica de tres gamas de frecuencia: De baja frecuencia, de 50 hz en Europa y 60 en América, es decir, la frecuencia normal de la red, de alta frecuencia de 500 a 10 000 hz y de muy alta frecuencia, superior a los 10 000 hz, con corrientes eléctricas generadas electrónicamente. Sólo se utilizan a escala de laboratorio para la alimentación de hornos de muy pequeña capacidad.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

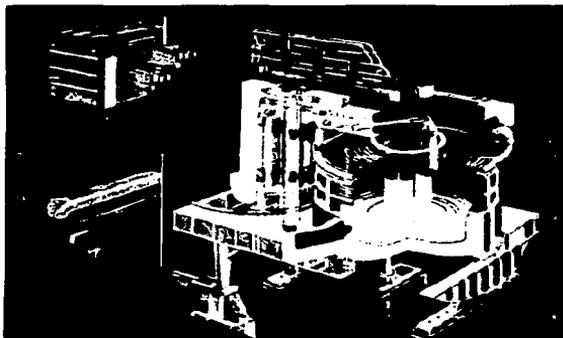
2.4.2 HORNO DE ARCO ELÉCTRICO.

Para iniciar un arco se ponen en contacto los extremos de dos electrodos en forma de lápiz, por lo general de carbono, y se hace pasar una corriente intensa (unos 10 amperes) a través de ellos. Esta corriente provoca un gran calentamiento en el punto de contacto, y si a continuación se separan los electrodos, se forma entre ellos un arco similar a una llama. La descarga está producida por electrones que van desde el electrodo negativo al positivo, pero también, en parte, por iones positivos que se mueven en sentido opuesto. El impacto de los iones genera un intenso calor en los electrodos, pero el positivo se calienta más debido a que los electrones que golpean contra él tienen mayor energía total. En un arco abierto al aire a presión normal el electrodo positivo alcanza una temperatura de 3500 grados centígrados.

El intenso calor generado por el arco eléctrico suele utilizarse en hornos especiales para fundir materiales refractarios. En este tipo de hornos pueden alcanzarse fácilmente temperaturas del orden de los 2 800 °C.

El horno de arco voltaico es el tipo de horno eléctrico más utilizado para la producción de aceros de aleación de alta calidad, y su capacidad va desde unos 200 kg hasta 180 toneladas. En estos hornos, el calor se genera a partir de un arco eléctrico formado entre el metal que se quiere calentar y uno o más electrodos suspendidos por encima de él. Una modalidad típica de horno de arco tiene tres electrodos alimentados por una fuente trifásica, que producen tres arcos de calentamiento. Los electrodos son de grafito o carbono.

Una vez cargado el horno se hacen descender unos electrodos hasta la superficie del metal. La corriente eléctrica fluye por uno de los electrodos, forma un arco voltaico hasta la carga metálica, recorre el metal y vuelve a formar un arco hasta el siguiente electrodo. La resistencia del metal al flujo de corriente genera calor, que —junto con el producido por el arco voltaico— funde el metal con rapidez.



- | | |
|---------------------------------|----------------------------|
| 1. Transformador. | 8. Estructura. |
| 2. Conexión de cable flexible. | 9. Estructura oscilante. |
| 3. Brazos de los electrodos. | 10. Cremallera. |
| 4. Sujeción de los electrodos. | 11. Bodega refrigerada. |
| 5. Pórtico con brazos. | 12. Dispositivo de volteo. |
| 6. Salida de humos refrigerada. | 13. Grupo hidráulico. |
| 7. Paneles refrigerados. | |

Fig. 2.4.2.1 Horno de arco eléctrico.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.5 LIMPIEZA DE PIEZAS.

La limpieza de las piezas fundidas se refiere a las operaciones de eliminación de arena pegada, bebederos, rebosaderos y demás adhesiones indeseables.

Eliminación de bebederos y rebosaderos. Si la fundición es quebradiza, ésta se hace por medio de un impacto o por vibración; la eliminación por impacto se efectúa generalmente, con un martillo o marro. Con este método existe el riesgo que se fracture la pieza. Otro método consiste en cortar los bebederos por medio de disco abrasivo. Para piezas grandes y pesadas de acero, se recomienda usar el soplete de oxiacetileno.

Eliminación de arena. Esta operación se hace generalmente después de haber quitado los bebederos y rebosaderos, sin embargo, cuando se cortan éstos se puede facilitar la operación quitando la arena antes.

Limpieza por chorro. Este método es el más rápido para quitar la arena y escamas; consiste en proyectar contra la pieza un chorro de partículas abrasivas. Los abrasivos utilizados son arena y/o granalla de acero. Para imprimirle velocidad a la arena se utiliza aire o agua a presión, siendo la segunda forma mejor, ya que no libera polvo que tendría que ser recolectado con filtros.

La granalla se proyecta generalmente, por medio de un impulsor centrífugo de paletas (fig. 2.5.1), en cualquiera de los casos las piezas deben girar para que reciban el chorro sobre todas sus superficies.

La limpieza con arena se utiliza sólo cuando se requiere obtener piezas con acabados grises u opacos. Si se necesitan superficies pulidas y totalmente limpias, se emplea granalla. Otros métodos para limpiar las piezas utilizan cepillos de alambre de acero (manuales o mecánicos), baños de ácido (decapado), esmeriles o algún otro método de pulido.

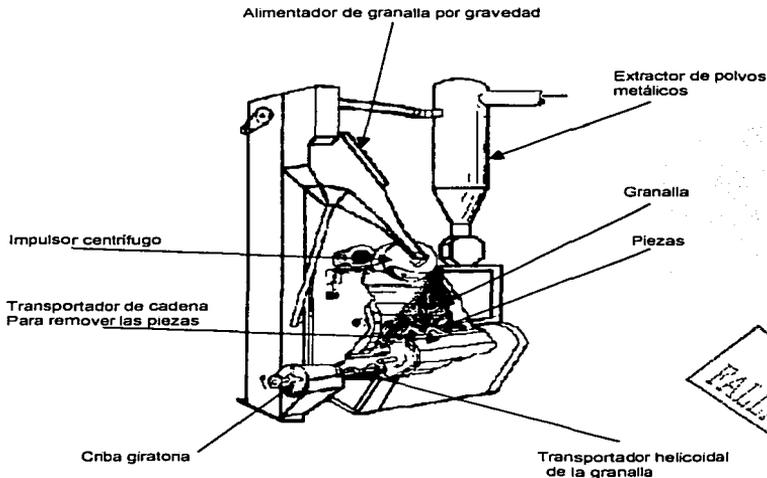


Fig. 2.5.1 Limpiadora de piezas mediante chorro centrifugo de granalla.

2.6 SEGURIDAD EN LA FUNDICIÓN.

Riesgos higiénicos en el proceso.

1. Preparación de las arenas y tierras de moldeo.

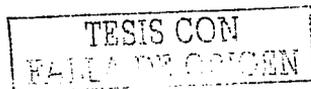
Los riesgos higiénicos que podemos detectar en estas operaciones son:

- Polvo silíceo, en las operaciones de manipulado, transporte y demás trabajos (molienda, cribado, etc.).
- Vapores orgánicos si se utilizan como aglomerantes sustancias orgánicas para el moldeo.

2. Moldeo.

Los principales riesgos higiénicos son:

- Polvo silíceo debido a que la arena empleada en estos procesos es generalmente nueva, por lo que su contenido de sílice es alto. El momento de mayor emisión de polvo se presenta en el momento de la carga de la mezcladora.
- Vapores orgánicos debido a los aglomerantes empleados en la confección de los corazones.
- Cuando se emplean resinas furánicas como aglomerantes orgánicos, sólo el formol pasa a la atmósfera en concentraciones apreciables y más raramente el fenol, siendo proporcionales estas concentraciones a la temperatura de trabajo en la arena. En las arenas fenol-isocianato (uretano) entra a formar parte del MDI (metilen-bisfenil-isocianato), que actúa como irritante primario sobre las vías respiratorias.



- En cuanto a los problemas creados por las resinas furánicas en contacto con la piel, se ha demostrado que pueden producir dermatitis, lo que obliga el uso de guantes protectores.
- En el moldeo al CO_2 en corazones grandes, donde se aplica el CO_2 a través de una ventosa, pueden existir concentraciones elevadas instantáneas de estos gases desplazando el aire.

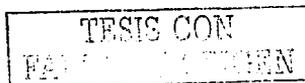
3. Preparación de corazones.

- Los posibles problemas higiénicos derivados de estas suelen ser inhalación de vapores de disolvente donde pueden alcanzarse concentraciones muy elevadas durante cortos periodos de tiempo. Aquí hemos de tener presente los valores de referencia higiénicos para cortos periodos de exposición.

4. Fusión de los metales.

Los principales riesgos higiénicos son:

- Humos metálicos, formados básicamente por óxidos de los metales fundidos. En algún tipo de hornos se añaden metales o sustancias para mejorar la calidad de la fundición, lo que puede generar concentraciones instantáneas elevadas de polvo o humas metálicos.
- Monóxido de carbono procedente de los gases de cubilote, por cuyo motivo pueden producirse intoxicaciones o mareos.



5. Colada.

Consiste en el vaciado sobre un recipiente (cuchara de vaciado) del metal fundido y su vertido en los moldes. Los riesgos más importantes son:

- Humos metálicos. Frecuentemente se añaden polvos exotérmicos en el momento posterior de la colada que producen una concentración elevada de humos, pero de corta duración. Básicamente, los humos metálicos están formados por óxidos de los metales fundidos.
- Gases y vapores desprendidos en la transformación de los aglutinantes orgánicos del polvo de carbón empleado.

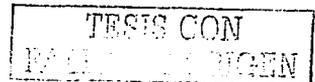
6. Desmoldeo.

- El principal contaminante es el polvo silíceo procedente de los moldes. La operación de desmoldeo es uno de los focos pulvígenos más considerable dentro de la nave de fundición, no sólo para los puestos próximos sino para el ambiente en general del taller, ya que esta caída libre provoca una cantidad de polvo imposible de controlar. También el arrastre de las piezas por el suelo, desde el desmoldeo hasta el puesto de cortes de mazarotas, genera elevadas concentraciones de polvo. Se recomienda el uso de un polipasto para piezas grandes y ganchos o tridentes para piezas pequeñas.

7. Acabado.

Los riesgos higiénicos más significativos son:

- Polvo silíceo en el desarenado, granallado y rebabeado, tanto en piedra de esmeril fija como portátil. El uso en arena silícea en las operaciones de



desarenado está totalmente contraindicado. Técnicamente es posible la sustitución de la arena por otros abrasivos menos peligrosos. La granalla metálica es superior técnica y económicamente a la arena. Dentro de ésta, la granalla de acero se desgasta muchísimo menos que la de fundición, produciendo por ello menor cantidad de polvo. Además gran parte de estos procesos se realizan en cabinas automáticas, donde el diseño del sistema de aspiración y la estanqueidad son esenciales. Si se realiza por un operario adquiere gran importancia la correcta protección personal.

Otros puntos que se deben verificar con particular importancia:

- La presencia de agua y de humedad en crisoles, moldes y otros sitios de la planta, ya que rápidamente se transforma en vapor creando un severo peligro de explosión.
- Inspección de crisoles, herramientas y otro equipo en busca de desgaste, grietas, etc.
- Inspección de equipo, como los pirómetros en función de su precisión y calibración adecuadas.
- La necesidad de un adecuado equipo de seguridad personal.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO 3. APLICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO A LAS PIEZAS OBTENIDAS.

Los tratamientos térmicos son operaciones de calentamiento y enfriamiento a temperaturas y en condiciones determinadas, a que se someten los aceros (y otros metales y aleaciones) para darles características más adecuadas para su empleo. Los tratamientos térmicos no modifican la composición química del acero.

Con los tratamientos térmicos se modifica la constitución del acero, variando el estado en que se encuentra el carbono, y el estado alotrópico del hierro; se modifica la estructura variando el tamaño del grano y el reparto de los constituyentes. El estado mecánico queda afectado también por las tensiones a que quedan sometidos los materiales después de algunos tratamientos térmicos, principalmente después del temple.

Los tratamientos térmicos fundamentales son: el recocido, el temple y el revenido.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.1 NORMALIZADO Y RECOCIDO.

Normalizado.

El normalizado es en realidad una variedad del recocido que se aplica exclusivamente a los aceros.

Se practica calentando el material a una temperatura de 40° a 50° superior a la crítica (Ac_3), y una vez que haya pasado todo el metal a estado austenítico, se deja enfriar al aire tranquilo (fig. 3.1.1).

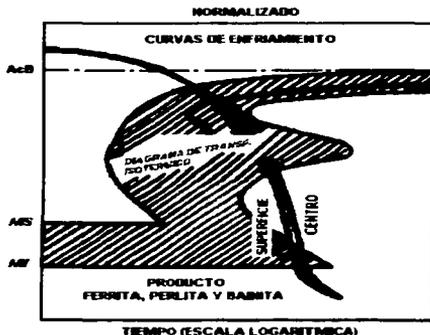


Fig. 3.1.1 Representación esquemática del normalizado en un diagrama TTT.

Se diferencia el normalizado del recocido de regeneración y del temple, en que el enfriamiento es mucho más lento en el recocido (dentro del horno) y mucho más rápido en el temple (en agua, etc.) (fig. 3.1.2).

El objeto del normalizado es volver el acero al estado que se supone normal después de haber sufrido tratamientos defectuosos, o bien después de haber sido trabajado en caliente o en frío por forja, laminación, etc. Se consigue así afinar su estructura y eliminar tensiones internas (fig.3.1.3).

Se emplea casi exclusivamente para aceros al carbono de baja aleación (0.15 a 0.50% de C).

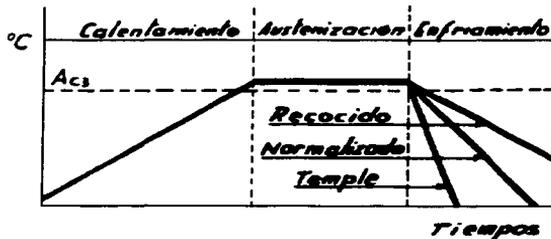


Fig. 3.1.2 Esquema de los procesos de calentamiento y enfriamiento del recocido de regeneración, normalizado y temple.

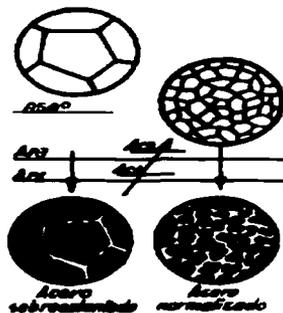
El resultado de este tratamiento depende del espesor de la pieza, debido a que las velocidades de enfriamiento son mayores en las piezas delgadas que en las piezas gruesas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En el cuadro 3.1.1 se dan las temperaturas de calentamiento en el normalizado de redondos de 25 mm de diámetro y características obtenidas después del tratamiento.

CUADRO No. 3.1.1
TEMPERATURAS DE NORMALIZADO Y CARACTERÍSTICAS OBTENIDAS EN ACEROS AL CARBONO DE 25 mm DE DIÁMETRO.

% C	TEMPERATURAS	R Kg/mm ²	E Kg/mm ²	A %	ρ kg/cm ²
0.15	925	45	27	27	23
0.30	880	58	35	20	16
0.50	840	70	42	16	7



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Fig. 3.1.3 Normalizado de un acero sobrecalentado.

Recocidos.

El fin principal de los recocidos es ablandar el acero para poder trabajarlo mejor. Hay diversas clases de recocidos, que se diferencian en la temperatura máxima a

que debe calentarse el acero, y en las condiciones y velocidades de enfriamiento. Atendiendo a la temperatura máxima de calentamiento, pueden dividirse en recocidos supercríticos, en la que se calienta el acero a temperaturas superiores a las críticas Ac_3 o Ac_{cm} (austenización completa), o a temperaturas sólo superiores a las Ac_1 y Ac_{3-2-1} (austenización incompleta) y recocidos subcríticos en los que se calientan a temperaturas inferiores a las temperaturas críticas Ac_1 o Ac_{3-2-1} .

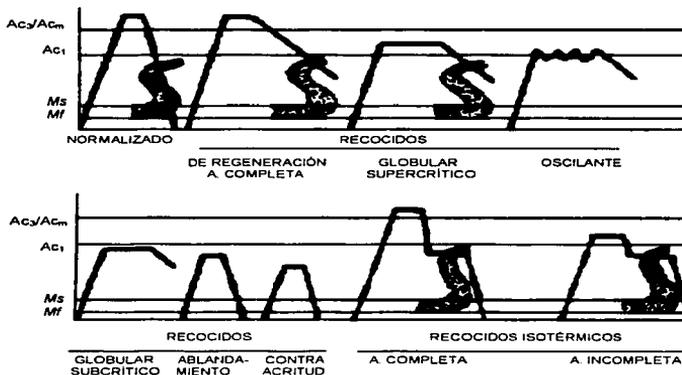


Fig. 3.1.4 Representación esquemática del normalizado y distintos tipos de recocidos.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Además, se emplean los recocidos denominados isotérmicos de austenización completa con calentamientos superiores a las temperaturas críticas Ac_3 o Ac_{cm} y los recocidos isotérmicos de austenización incompleta con calentamientos sólo

superiores a las temperaturas críticas AC_1 o $Ac_{3,2-1}$. Estos recocidos se distinguen de todos los anteriores en que se transforma la austenita a una temperatura constante (fig. 3.1.4).

En resumen, los recocidos empleados son los siguientes:

Recocidos supercríticos.

De austenización completa: recocido de regeneración.

De austenización incompleta: recocido globular de austenización incompleta.

Recocidos subcríticos.

Recocido globular.

Recocido de ablandamiento.

Recocido contra acritud.

Recocido de estabilización.

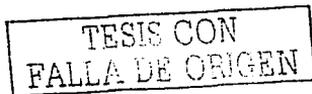
Recocidos isotérmicos.

Recocido de austenización completa.

Recocido de austenización incompleta.

Recocido de regeneración.

Se realiza este recocido calentando el acero a temperaturas ligeramente superiores a las críticas Ac_3 o Ac_{cm} , según sea el acero hipoeutectoide o hipereutectoide, para transformar todo el material en austenita y enfriado después muy lentamente en el interior del horno (fig. 3.1.5), se obtiene así una constitución



final de ferrita y perlita si se trata de un acero hipoeutectoide o cementita y perlita si se trata de un acero hipereutectoide.

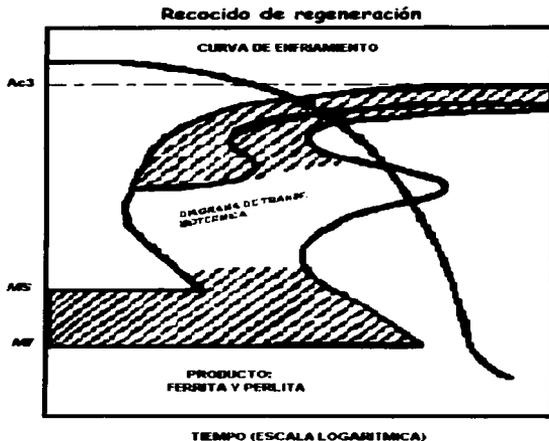


Fig. 3.1.5 Representación esquemática del recocido de regeneración en un diagrama TTT.

Respecto a la temperatura máxima a que debe calentarse el acero, en el cuadro número 3.1.2 se dan las temperaturas de orientación para las distintas composiciones del acero. En general estas temperaturas son de 20° a 40° por encima de la temperatura crítica superior Ac_3 o Ac_{cm} . A estas temperaturas, los aceros hipereutectoides no estarán constituidos totalmente por austenita, pero es preferible que parte de la estructura quede formada por cementita a correr el

riesgo con una mayor elevación de temperatura o mayor permanencia en ella de aumentar el tamaño de los granos de austenita.

**CUADRO No. 3.1.2
TEMPERATURAS RECOMENDABLES PARA EL RECOCIDO DE REGENERACIÓN DE LOS
ACEROS AL CARBONO.**

Composición % de C	De austenización Completa °C	Composición % de C	De austenización Completa °C
0.10	910*	0.70	775*
0.20	890*	0.80	760*
0.30	860*	0.90	760*
0.40	840*	1.00	825*
0.50	820*	1.10	860*
0.60	800*	1.20	900*

} Poco
recomendables

Respecto al enfriamiento, en los aceros hasta de un 0.50% de carbono, se utilizan velocidades de 10°, 20°, 30°, 50° y hasta 100° a la hora. En los aceros de 0.50% a 0.90% de carbono, la velocidad deberá ser inferior a 15° hora. En todo caso, se deberá cuidar, sobre todo, que el enfriamiento sea muy lento, de 600° a 723°, que es la zona crítica de formación de la perlita.

No hace falta que el acero permanezca en el horno hasta que se enfríe totalmente. Una vez que la temperatura haya bajado de la crítica inferior A_{r1} , toda la austenita se habrá transformado y, por tanto, puede sacarse la pieza del horno sin el menor inconveniente y enfriarla rápidamente. La temperatura a que esto puede realizarse oscila entre 600° y 500°, según el porcentaje de carbono sea bajo o alto. Y para una misma composición del acero depende también la aparición de la temperatura

crítica inferior Ar_1 de la velocidad de enfriamiento, siendo tanto más baja cuando mayor es la velocidad.

El recocido de regeneración como tratamiento de ablandamiento se utiliza solamente para aceros de 0.60% de C en adelante. En aceros de contenido inferior a 0.60% de carbono no se presentan problemas de maquinado. Incluso puede decirse que una dureza media es conveniente cuando se maquina con arranque de viruta, pues se desprende mejor que si el material es demasiado blando.

En aceros de menos de 0.60% de carbono únicamente se aplica el recocido de regeneración para ordenar y afinar la estructura constituida en su mayor parte por granos de ferrita. En el recocido de estos aceros, el enfriamiento debe ser más rápido que el de los aceros de alto contenido de carbono. Para esto se deja la puerta del horno abierta para los aceros de 0.35 a 0.50% de carbono. Los aceros de 0.10 a 0.30% de carbono se enfrían al aire, pues si el enfriamiento fuese más lento, los granos de ferrita, que es el constituyente predominante, serían groseros y en cambio con enfriamiento rápido son más finos.

Recocido globular de austenización incompleta.

Ya hemos dicho al tratar del recocido de regeneración, que en el tratamiento de los aceros hipereutectoides no se cumple la condición de que todo el material quede en estado austenítico al calentarlo a la temperatura máxima recomendada, pues debería mantenerse un tiempo demasiado prolongado a esta temperatura

para obtener la transformación austenítica total. Se refiere en lugar de esto que el porcentaje de austenita sea de un 90%, pues esto no solo no perjudica el fin propuesto de ablandar el acero, sino que lo favorece, como vamos a ver.

En general, cuando se obtiene la austenización completa en el calentamiento de los recocidos de regeneración, al enfriar el acero aparecen estructuras laminares de perlita.

En cambio, si en el calentamiento, bien por no sobrepasar la temperatura crítica a $A_{C_{em}}$ o por permanecer poco tiempo por encima de ella, la austenización obtenida en el calentamiento no es completa, al enfriar, se obtienen estructuras globulares constituidas por partículas globulares de cementita y de carburos incluidos en una masa de ferrita.

Desde el punto de vista del ablandamiento del acero conviene más la estructura globular que la laminar. Por ejemplo, se ha comprobado que un acero de 1.20% de carbono recocido con austenización completa (recocido de regeneración), queda con una dureza aproximada de 210 Brinell. En cambio, el mismo acero, con el recocido de austenización incompleta, queda con estructura globular y 175 Brinell de dureza.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Y no sólo esto, sino que si se pretende templar el acero después de maquinarlo, la estructura previa más conveniente para este tratamiento es la globular, por ser la más uniforme y la que da después del temple mayor tenacidad.

Por esto se prefiere para los aceros de 0.60 a 1.20% de carbono, el recocido de austenización incompleta, y después el temple, también con austenización incompleta, a temperaturas entre $A_{c3-2.1}$ y A_{cm} .

Tampoco los aceros aleados se calientan casi nunca hasta la austenización completa, ni en el recocido ni en el temple, pues se obtienen mejores características cuando la estructura está formada por carburos embebidos en una matriz martensítica.

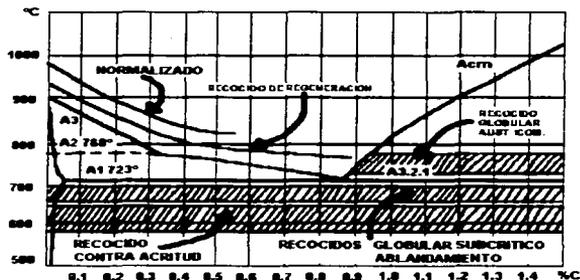


Fig. 3.1.6 Temperaturas de calentamiento y recomendadas para el normalizado y distintos tipos de recocido.

Las temperaturas de calentamiento para obtener estructuras globulares no deben ser muy superiores a la crítica inferior $A_{c3-2.1}$, bastando con superarla de 30° a 50°. Si se rebasan estas temperaturas al enfriar no se obtienen estructuras globulares puras, sino mixtas, formadas por perlita laminar y cementita globular (cuadro 3.1.3).

TESIS CON
FALLA DE CALIBRE

También pueden obtenerse estructuras globulares, procedentes de austenizaciones incompletas, con calentamientos a temperaturas variables, oscilando ligeramente por encima y por debajo de la crítica inferior Ac_1 o $Ac_{3,2-1}$.

**CUADRO No. 3.1.3
TEMPERATURAS PARA EL RECOCIDO DE AUSTENIZACIÓN INCOMPLETA DE LOS
ACEROS AL CARBONO**

Composición % de C	De austenización Incompleta °C	Composición % de C	De austenización Incompleta °C
0.10	780°	0.70	760°
0.20	780°	0.80	750°
0.30	780°	0.90	750°
0.40	760°	1.00	760°
0.50	760°	1.10	780°
0.60	760°	1.20	780°

De acuerdo con lo expuesto, las temperaturas más empleadas para recocidos de austenización incompleta, están comprendidas entre los 760° y 780° para los aceros al carbono, 800° a 850° para los aceros de aleación media y de 875° para los aceros de alta aleación.

Si el acero al que se ha de someter al recocido globular de austenización incompleta tiene estructura perlítica laminar, conviene mantenerlo durante cierto tiempo a una temperatura de unos 20° por debajo de $Ac_{3,2-1}$, para destruir la estructura laminar. Después se calienta hasta la temperatura de austenización incompleta que le corresponda y después se enfría lentamente en el horno.

FALLA DE ORGÁN

El enfriamiento en el recocido globular debe ser muy lento hasta los 500°, recomendándose una velocidad inferior a 15° por hora.

El recocido globular de austenización incompleta se emplea preferentemente para el ablandamiento de los aceros aleados de herramientas.

Recocido globular subcrítico.

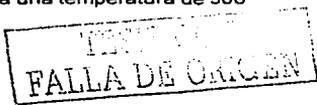
Consiste en calentar el acero a una temperatura muy próxima a la crítica inferior A_{c1} o $A_{c3.2-1}$ y enfriarlo después muy lentamente.

En este proceso, la cementita tiende a adoptar la estructura globular tanto más perfecta cuanto más próxima sea la temperatura máxima del recocido a la crítica inferior A_{c1} o $A_{c3.2-1}$. la coalescencia (globulización) en este recocido globular es tanto o más rápida cuanto más fina es la estructura inicial.

Los diámetros de los glóbulos que se obtienen en los recocidos globulares de los aceros al carbono o de baja aleación, se consideran normales cuando están comprendidos entre 0.001 y 0.004 mm, estimándose pequeños los inferiores y grandes los superiores.

Las temperaturas recomendadas en este recocido se dan en el cuadro 3.1.4.

Respecto al enfriamiento, se hacen las mismas recomendaciones del recocido anterior. Debe ser inferior a 15° hora hasta una temperatura de 500°



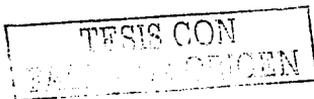
**CUADRO No. 3.1.4
TEMPERATURAS RECOMENDADAS PARA EL RECOCIDO GLOBULAR SUBCRÍTICO DE LOS
ACEROS AL CARBONO.**

Composición % de C	Subcrítica °C	Composición % de C	Subcrítica °C
0.10	680*	0.70	680*
0.20	680*	0.80	680*
0.30	680*	0.90	680*
0.40	680*	1.00	680*
0.50	680*	1.10	680*
0.60	680*	1.20	680*

Recocido de ablandamiento subcrítico.

El recocido de ablandamiento subcrítico o simplemente recocido de ablandamiento, como se le conoce ordinariamente, se obtiene calentando el acero a una temperatura algo inferior a la crítica Ac_1 o $Ac_{3.2-1}$, dejando después enfriar la pieza al aire. Se diferencia este tratamiento del recocido globular en que en éste se calienta también el acero a temperaturas ligeramente inferiores a la crítica Ac_1 o $Ac_{3.2-1}$, pero luego se enfría la pieza lentamente en el horno y no al aire como en el recocido de ablandamiento.

El proceso es similar también al de revenido, con la diferencia de que éste se aplica como tratamiento complementario de los aceros templados y, en cambio, el recocido de ablandamiento se da a los aceros después de forja o laminación.


 TESIS CON
BASE TECNICA

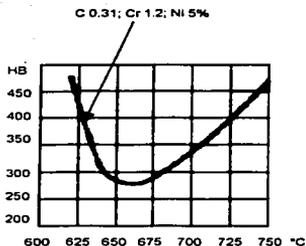


Fig. 3.1.7 influencia de la temperatura del recocido de ablandamiento en la dureza final de un acero cromo-níquel.

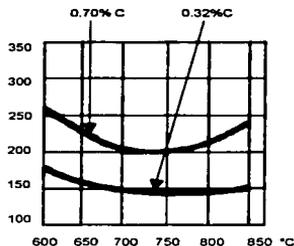


Fig. 3.1.8 influencia de la temperatura del recocido de ablandamiento en la dureza de dos aceros al carbono calentados durante cinco horas y enfriados en agua.

Su objeto es ablandar los aceros aleados de gran resistencia, al cromo-níquel, cromo-molibdeno, etc., a los que no es práctico aplicar el recocido de regeneración, pues por ser su velocidad crítica de temple muy pequeña habría que enfriarlos muy lentamente, para evitar su temple. Se emplea también para los aceros al carbono.

Las temperaturas más apropiadas oscilan entre 700° y 725°.

En las figuras 3.1.7 y 3.1.8 se aprecia la influencia de las temperaturas de calentamiento en la dureza de un acero cromo-níquel y dos aceros al carbono. La ventaja de este tratamiento es que es muy sencillo y rápido y no exige ningún cuidado especial en el enfriamiento.

TESIS CON
FALLA DE OUIJEN

Recocido contra acritud o de recristalización.

Los aceros que han sido estirados o laminados en frío se endurecen y pierden tenacidad. Después de haber sufrido varios trefilados o laminados sucesivos, si la disminución de sección experimentada ha sido grande, llega un momento en que es imposible continuar el trabajo, por que el acero se ha vuelto tan frágil y tan duro que se rompe. Se dice entonces que tiene demasiada acritud.

Para mejorar la ductilidad y maleabilidad del acero y poder someterlo a nuevos estirados o laminados, es necesario darle un tratamiento térmico para contrarrestar su acritud, que por eso se denomina recocido contra acritud.

El recocido contra acritud consiste en un calentamiento de 600° a 700°, seguido de un enfriamiento al aire o dentro del horno si se quiere evitar la oxidación del acero. En general se aplica este tratamiento para el recocido de fleje, alambre, etc., que se obtienen partiendo de aceros hipoeutectoides, o sea, de menos de 0.89% de carbono y, por tanto, formados por ferrita y perlita. Lo más corriente es que el acero sea de menos de 0.30% de carbono y, por tanto, la mayor parte de la masa está formada por granos de ferrita que quedan estirados después del trefilado o laminado.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En el recocido contra acritud, al llegar aproximadamente a los 550° se produce la recristalización de la ferrita, recobrando los granos la forma poliédrica y el acero su maleabilidad y ductilidad iniciales. Los granos de perlita, que también se habían alargado en el trabajo en frío, no recobran con este tratamiento su forma primitiva,

pero como su proporción es pequeña, no afectan sensiblemente las propiedades del acero.

Recocido isotérmico.

Consiste este recocido en calentar el acero a una temperatura superior a la crítica Ac_1 y algunas veces superior a la crítica Ac_3 , para después enfriarlo rápidamente hasta una temperatura ligeramente inferior a Ar_1 , manteniendo el acero a esta temperatura hasta que se verifica la transformación de la austenita en perlita. Después se enfría al aire. Si la temperatura de calentamiento ha sido superior a Ac_3 , se denomina recocido isotérmico de austenización completa, por que al terminar el calentamiento, el acero estará en su totalidad formado por austenita. Si la temperatura de calentamiento está comprendida entre Ac_1 y Ac_3 , se denomina recocido isotérmico de austenización incompleta, por que solamente la perlita se habrá transformado en austenita al terminar el calentamiento.

En la figura 3.1.9 se representa la curva de enfriamiento de un recocido isotérmico de austenización completa.

Este tratamiento se emplea mucho para el recocido de herramientas de alta aleación, por durar aproximadamente la mitad del tiempo que el recocido de regeneración clásico. En el cuadro 3.1.5 damos la marcha y duración del recocido de un acero al wolframio según sea de regeneración o isotérmico.



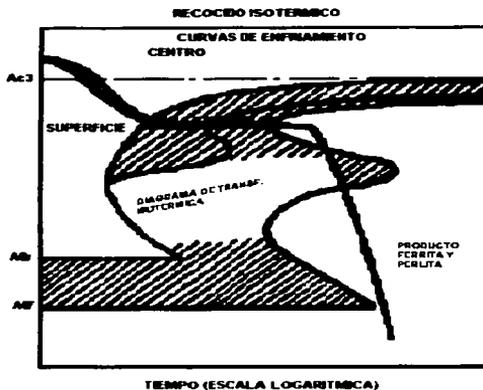


Fig. 3.1.9 Representación esquemática del recocido isotérmico en el diagrama TTT.

El recocido isotérmico se practica en gran escala para recocer piezas forjadas que deben calentarse a temperaturas superiores a 700° para la forja. Después de ser trabajadas y antes de que la temperatura descienda de 700° se introducen en un baño de sales que se mantiene a una temperatura que se determina en el diagrama TTT del acero con arreglo a la dureza que se quiere obtener. Después del tiempo fijado se sacan las piezas del baño y se enfrían al aire . Las temperaturas de los baños de sales oscilan entre 700° y 800° .

TESIS CON
FALLA DE CALIFICACION

CUADRO No. 3.1.5
COMPARACIÓN ENTRE TIEMPOS NECESARIOS PARA EFECTUAR EL RECOCIDO DE
REGENERACIÓN Y EL RECOCIDO ISOTÉRMICO DE UN ACERO AL WOLFRAMIO.

RECOCIDO DE REGENERACIÓN		RECOCIDO ISOTÉRMICO	
Temperatura	875°	Temperaturas	875° y 780°
Tiempo de calentamiento	12 horas	Tiempo de calentamiento	12 horas
Tiempo de permanencia a 875°	6 horas	Tiempo de permanencia a 875°	2 horas
		Tiempo de permanencia a 780°	4 horas
Tiempo de enfriamiento (15° por hora)	30 horas	Tiempo de enfriamiento	6 horas
Total	48 horas	Total	24 horas

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.2 TEMPLE.

el temple, como todos los tratamientos térmicos, es un proceso de calentamiento y enfriamiento, realizado éste último con una velocidad mínima, determinada, generalmente muy rápida, que se denomina crítica. El fin que se pretende generalmente conseguir en este ciclo es transformar toda la masa de acero con el calentamiento en austenita y después, por medio de un enfriamiento suficientemente rápido, se convierte la austenita en martensita, que es el constituyente típico de los aceros templados (fig. 3.2.1).

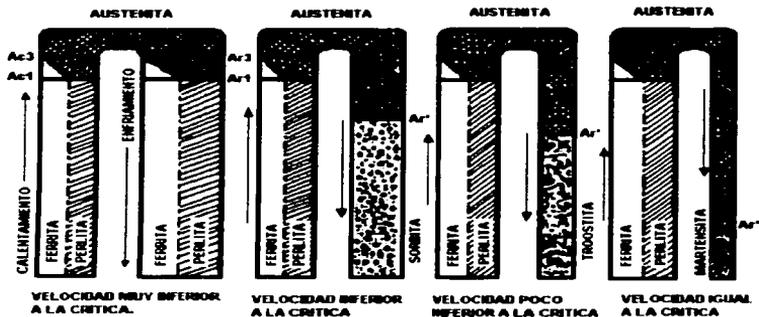


Fig. 3.2.1 Productos de transformación de la austenita, obtenidos según la velocidad de enfriamiento en un acero al carbono de 0.45% de C.

En la práctica, sin embargo, como ya hemos mencionado al tratar del recocido de regeneración con austenización incompleta, no interesa transformar la totalidad de la masa de los aceros hipereutectoides (de más de 0.89% de carbono), en

austenita, pues la cementita, que no se ha transformado y queda, por tanto, en la pieza después del temple, es aún más dura que la martensita.

Tampoco se transforma en la práctica la totalidad de la austenita formada, en martensita, en muchos casos por que es imposible conseguir una velocidad de enfriamiento suficientemente rápida en la totalidad de la masa de las piezas muy grandes y en otros por que no interesa obtener este constituyente, sino otros, como bainita, etc., como ocurre en algunas variedades del temple.

El proceso del temple, pues, consta esencialmente de dos fases: una fase de calentamiento y otra fase de enfriamiento.

Primera fase del temple: el calentamiento.

Temperatura límite de temple.- Se define la temperatura límite de temple como la mínima que debe de alcanzar un acero de una composición determinada, para que toda su masa pueda transformarse en cristales de austenita. Esta condición debe cumplirse rigurosamente en los aceros hipoeutectoides (de menos de 0.89% de carbono) para que el temple obtenido sea perfecto. En los aceros hipereutectoides, teóricamente, y de acuerdo con lo dicho, también debería exigirse que a la temperatura límite de temple toda la masa del acero quedase transformada en austenita. Prácticamente, sin embargo, se obtienen tan buenas o mejores características del acero templado no llegando a la austenización completa de la masa, o sea, rigurosamente hablando, con un temple imperfecto.

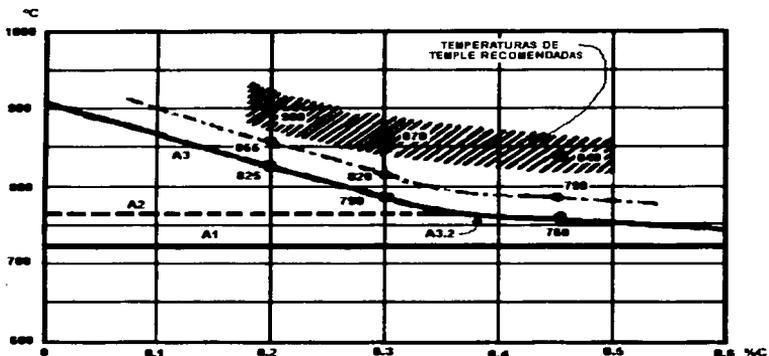


Fig. 3.2.2 Temperaturas de temple recomendadas para los aceros al carbono hipoeutectoides.

Las temperaturas límites de temple, prácticamente utilizadas, son unos 50° superiores a las críticas teóricas A_3 , para tener la seguridad de que se han rebasado las temperaturas de transformación en el calentamiento A_{c3} o A_{cm} , que, son tanto más altas cuanto más rápido es la velocidad de calentamiento. Así para los aceros hipoeutectoides, las temperaturas prácticas son aproximadamente $A_3 + 50^\circ$ (fig. 3.2.2). Los aceros hipereutectoides se templen todos cualquiera que sea su composición, aproximadamente a la misma temperatura $A_{3.2-1} + 50^\circ$, en lugar de templearlos a temperaturas variables, según la composición de $A_{cm} + 50^\circ$, que son las temperaturas mínimas necesarias para obtener la austenización completa en el calentamiento.

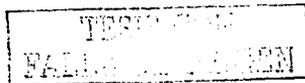
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La diferencia establecida por las dos clases de aceros está justificada. Para los aceros hipoeutectoides formados por ferrita y perlita, que son dos constituyentes blandos, interesa transformarlos en austenita y, por tanto, la temperatura mínima debe ser superior a la crítica Ac_3 . así, al enfriar el acero la austenita se transforma en martensita.

En cambio, en los aceros hipereutectoides formados por cementita y perlita sólo interesa transformar en martensita a la perlita, pues la cementita es más dura que la martensita y puede quedar como constituyente final junto con la martensita después del temple. Por eso es suficiente calentar el acero por encima de Ac_{3-2-1} , que es el límite de estabilidad de la perlita.

Si se intentase en los aceros hipereutectoides disolver totalmente la cementita y obtener en el calentamiento austenita para la masa total del acero, se correría el riesgo de producirse fisuras al templar, sin ganancia apreciable en las características finales del acero. Un acero al que se ha sometido a este tratamiento se dice que ha sido hipertemplado.

La martensita de los aceros hipereutectoides contiene, por tanto, aproximadamente 0.89% de C, cualquiera que sea el contenido total de carbono del acero. Por eso la dureza obtenida de los aceros al carbono hipereutectoides templados es sensiblemente la misma que la de los aceros con 0.89% de C, cualquiera que sea su porcentaje de carbono.



Segunda fase del temple: el enfriamiento.

Tiene por objeto, en teoría, transformar la totalidad de la austenita formada en otro constituyente muy duro, denominado martensita, aunque en alguna variedad de temple el constituyente final deseado es la bainita.

El factor que caracteriza a la fase de enfriamiento es la velocidad de enfriamiento mínimo para que tenga lugar la formación de la martensita. Esta velocidad se denomina velocidad crítica de temple. Para aclarar mejor este concepto seguiremos el proceso de enfriamiento de un acero eutectoide, o sea, de 0.89% de C, cuya temperatura teórica de transformación de la austenita es 723°.

Supongamos que lo calentamos hasta 773°, es decir, a $A_3 + 50$. este margen de 50° se da para tener la seguridad de que se ha rebasado la temperatura límite de austenización a la velocidad de calentamiento que prácticamente se emplee. Supongamos por tanto, que al terminar de elevarse la temperatura hasta la indicada, y después de mantener el acero en ella el tiempo necesario, todo el material se ha transformado en austenita. A continuación se enfría el acero a distintas velocidades, representadas en la figura 3.2.3 por las líneas verticales I, II, III, IV y V, y examinemos lo ocurrido en cada uno de estos cinco procesos de enfriamiento.

Línea I.- Enfriamiento lento en el interior del horno. La transformación de la austenita tiene lugar en el punto Ar, a unos 700°, es decir, con solo 23° de retraso de la temperatura crítica de equilibrio $A_1 = 723^\circ$. El constituyente finalmente

obtenido es perlita de poca dureza (HB = unos 200), que crece cuanto más fina es su estructura, es decir, cuanto mayor es la velocidad de enfriamiento. El proceso, en realidad, ha sido el de un recocido de regeneración.

Línea II.- Enfriamiento menos lento. La transformación de la austenita se retrasa más, y tiene lugar a unos 650°, siendo el constituyente formado la sorbita, cuya dureza HB = 320 es superior a la de la perlita.

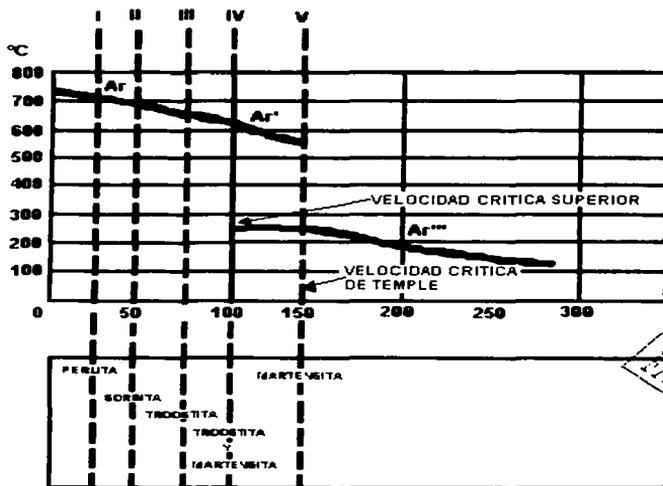


Fig. 3.2.3 Procesos de enfriamiento desde el estado austenítico de una aleación hierro-carbono eutéctico (0.89 %C) a diferentes velocidades de enfriamiento y productos obtenidos de la transformación de la austenita.

Línea III.- Enfriamiento medianamente rápido. La transformación de la austenita tiene lugar a 600° , siendo el constituyente formado la troostita, más duro que los anteriores, pues tiene $HB = 450$.

Línea IV.- A partir de una velocidad de enfriamiento determinada que se denomina primera velocidad crítica de temple o velocidad crítica inferior, se observa un desdoblamiento del punto crítico A_r en dos. Uno que se denomina A_r' que aparece a temperaturas de unos 600° , que es la iniciación de la troostita, y otro punto de transformación A_r'' , que aparece a unos 250° , a partir del cual se forma martensita, que es, como se sabe, el constituyente característico de los aceros templados.

Línea V.- Enfriamiento rápido. A partir de una velocidad determinada de enfriamiento desaparece el primer punto de transformación A_r' , quedando únicamente el punto A_r'' . La velocidad mínima a que tiene lugar esta desaparición del punto A_r' se denomina segunda velocidad crítica de temple, o velocidad crítica superior, o más comúnmente velocidad crítica de temple. A partir de ella el único constituyente formado por transformación de la austenita, es la martensita, que es el único constituyente de los aceros que han adquirido un temple perfecto.

TESIS CON
FALLA EN EL CONTENIDO

Velocidad crítica de temple.

Se define la velocidad crítica de temple de acuerdo con lo expuesto en el párrafo anterior, a la velocidad de enfriamiento mínima para que la totalidad del acero se transforme en martensita.

Las velocidades críticas de temple varían para los aceros al carbono de 200° a 600° por segundo, según sea el porcentaje de carbono.

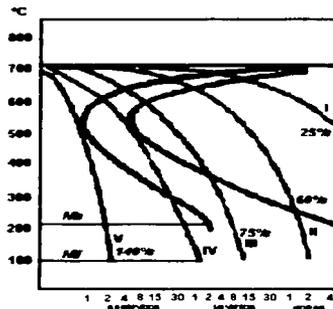


Fig. 3.2.4 Representación de los procesos de enfriamiento de la figura 3.2.3 en el diagrama TTT del acero experimentado.

Los elementos de aleación hacen, en general, disminuir la velocidad crítica de temple, pudiendo alguno de ellos templarse al aire, a velocidades inferiores a 50° por segundo.

Representación del temple en los diagramas de las curvas TTT.

Todo lo que hemos expuesto en el párrafo anterior puede representarse en los diagramas de las curvas TTT. En la figura 3.2.4 se ha representado el diagrama TTT correspondiente al acero eutectoide del párrafo anterior. En él se han dibujado también las líneas I, II, III, IV y V, que representan las curvas de enfriamiento a diferentes velocidades.

La curva representativa de la velocidad crítica del temple es la V, tangente a la curva TTT. A menores velocidades, parte de la austenita se transformará en otros constituyentes. A velocidades superiores a la crítica, toda la austenita se transformará íntegramente en martensita.

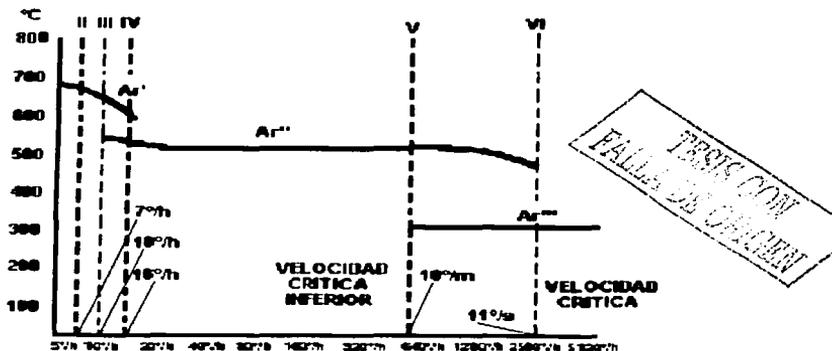


Fig. 3.2.5 Procesos de enfriamiento desde el estado austenítico de un acero de alta aleación a diferentes velocidades. Obsérvese la aparición de los puntos Ar'.

En las figuras 3.2.5 y 3.2.6 damos las transformaciones observadas en un acero de alta aleación, en las que figuran los puntos Ar'', en la que se origina la aparición de la bainita.

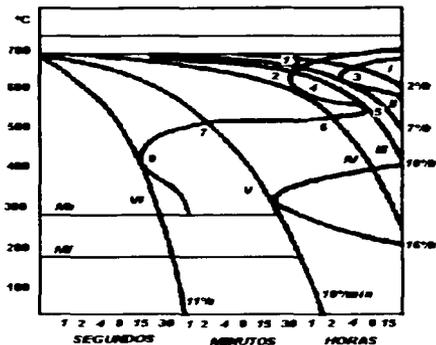


Fig. 3.2.6 Representación de los procesos de enfriamiento de la figura 3.2.5 en el diagrama TTT.

CUADRO No. 3.2.1

TEMPERATURAS RECOMENDADAS PARA EL TEMPLE DE LOS ACEROS AL CARBONO.

%C	°C	AUSTENIZACIÓN
0.10	925	Completa
0.20	900	
0.30	870	
0.40	840	
0.50	830	
0.60	810	
0.70	780	
0.80	770	
0.90	770	
1.00	760	
1.20	760	
1.40	760	

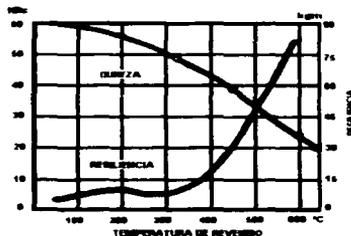
TESIS CON FALLA DE ORIGEN

3.3 REVENIDO.

El revenido es un tratamiento complementario del temple, que generalmente sigue a éste. Consiste en calentar el acero después de templado a una temperatura inferior a A_c1 y enfriarlo después, generalmente al aire, aunque algunos tipos de aceros se enfrían en agua o en aceite.

Antiguamente se denominaba bonificación al conjunto de los dos tratamientos, es decir, al temple seguido del revenido. Y, por extensión, se denominaban aceros bonificables o de bonificación los aceros que, sometidos a los dos tratamientos, temple y revenido, o sea, a la bonificación, mejoraban sus características.

El objeto del revenido es mejorar la tenacidad (o sea la resiliencia) de los aceros templados, a costa de disminuir su dureza, su resistencia mecánica y su límite elástico (fig. 3.3.1). En el revenido se consigue también eliminar, o por lo menos disminuir, las tensiones internas del material, producidas a consecuencia del temple.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Fig. 3.3.1 Disminución de la dureza y aumento de la tenacidad (resiliencia) según la temperatura de revenido en los aceros al carbono, templados.

A veces, sin embargo, al revenir un acero de alta aleación, puede ocurrir que en lugar de disminuir la dureza, aumente. Esto es debido a la transformación de la austenita residual en martensita y, por tanto, al aumentar el porcentaje de este constituyente, aumenta también la dureza.

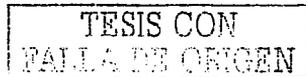
Modificación de la constitución de los aceros templados, por el revenido.

La modificación de las características mecánicas que se obtienen en el revenido se creía que era debida a la transformación de la martensita en troostita cuando el calentamiento llegaba a los 400° y en sorbita cuando rebasaba los 600° (fig. 3.3.2). Hoy se cree que la martensita se transforma, según la temperatura, en cuatro etapas:

Primera, de 100° a 250°.- Disminuye el contenido de carbono de martensita por separación de percarburo de hierro epsilon (ϵ), de fórmula probable $C Fe_{2.4}$, que cristaliza en el sistema tetragonal. La estructura cristalina de la martensita cambia de tetragonal a cúbica.

Segunda, de 250° a 400°.- esta segunda etapa se presenta sólo cuando queda en el acero templado austenita residual. En ella se transforma la austenita retenida en bainita. Si el revenido continúa a temperaturas superiores a 600°, la bainita se transforma en cementita y ferrita.

Tercera, de 250° a 600°.- además de la transformación de la austenita residual, si la hay, tiene lugar a partir de 250° la redisolución del percarburo de hierro epsilon



(C Fe_{2.4}), formándose una red o película de cementita (C Fe₃) rodeando las agujas de martensita. A medida que se eleva la temperatura se va rompiendo la película de cementita. A partir de los 600° se inicia su coalescencia (globulización), quedando finalmente constituido el acero por cementita globular sobre una matriz ferrítica.

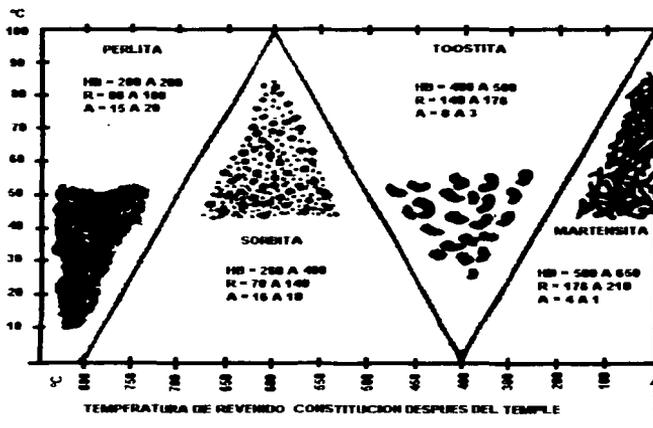


Fig. 3.3.2 Constitución de los aceros después del revenido según la antigua interpretación de las micrografías observadas en microscopio normal.

Cuarta etapa.- Si los aceros son de alta aleación tiene lugar una cuarta etapa a temperaturas de 600° o más, en la que se precipitan los carburos complejos de aleación.

Factores que influyen en el revenido.

Los principales factores que influyen en el revenido son: el estado inicial de la pieza, la temperatura del revenido, la duración del revenido y el tamaño de la pieza.

La velocidad de enfriamiento no tiene influencia teóricamente en los efectos del revenido. Sin embargo, conviene enfriar no muy bruscamente, para evitar la aparición de tensiones internas y deformaciones en las piezas.

Influencia del estado inicial de la pieza en el revenido.

Los resultados obtenidos en el revenido varían mucho si se parte de un acero templado formado únicamente por martensita o de un acero que contiene un porcentaje elevado de austenita residual, que puede llegar, según los elementos aleados que contenga, hasta un 35%.

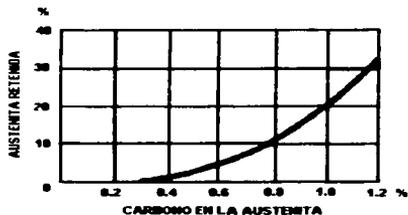


Fig. 3.3.3 Porcentaje de austenita retenida según el contenido de carbono.

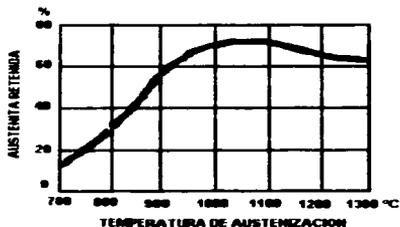


Fig. 3.3.4 Porcentaje de austenita retenida según la temperatura de austenización.

La cantidad de austenita residual que queda en los aceros templados varía según el porcentaje de carbono (fig. 3.3.3), la temperatura de austenización (fig. 3.3.4) y los elementos aleados que contenga.

La austenita residual de los aceros aleados es muy refractaria a transformarse, aun después de largas permanencias a la temperatura de revenido.

Influencia de la temperatura en el revenido.

A igualdad de permanencia a la temperatura de revenido, se observa a medida que aumenta ésta, un aumento de dureza hasta los 100°, lo que atribuye a la precipitación de partículas finas de cementita (fig. 3.3.5).

A partir de los 200° a 300° en adelante, la dureza decrece rápidamente, siendo esta disminución inversamente proporcional aproximadamente al aumento de temperatura.

Por otra parte, se ha comprobado que los efectos del revenido se obtienen también más rápidamente, es decir, con menos tiempo de permanencia, cuanto más alta es la temperatura de calentamiento.

Las temperaturas de revenido más empleadas para los aceros de construcción varían entre 400° y A_{c1} . las de los aceros de herramientas varían entre los 200° y 300°.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

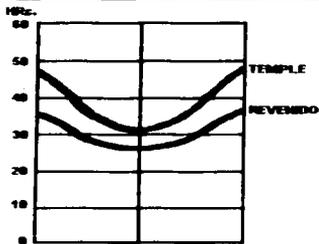


Fig. 3.3.5 Variación de la dureza obtenida en el revenido según las temperaturas, a igualdad de duración del revenido.

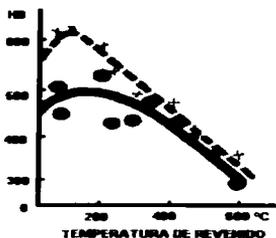


Fig. 3.3.6 El revenido produce un efecto nivelador en la dureza de los aceros templados como puede apreciarse en las curvas en U del temple (línea de trazos), y del revenido, (línea continua).

Influencia de la duración del calentamiento en el revenido.

Para una misma temperatura de revenido suficientemente elevada, o sea, superior por lo menos a 150°, la dureza del acero revenido decrece sensiblemente en los primeros treinta minutos de permanencia a esta temperatura, siendo la disminución de la dureza muy rápida en los primeros diez segundos.

En general, no interesa prolongar la duración del revenido más de una hora, pues no se obtienen beneficios apreciables que compensen el costo.

En realidad, la temperatura y la duración del revenido son dos factores complementarios. Pueden obtenerse los mismos resultados, por ejemplo (fig.

3.3.7), con un revenido de diez segundos a 535°, que con una de treinta minutos a 425°.

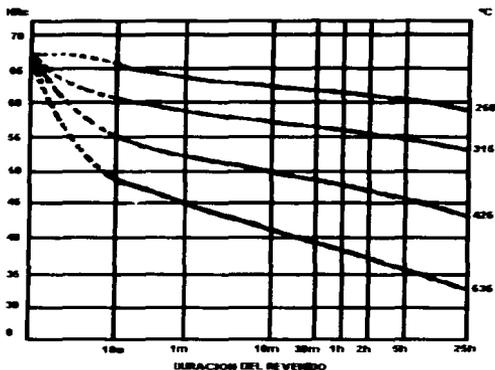


Fig. 3.3.7 Influencia de la duración y temperatura del revenido en la dureza obtenida.

Influencia del tamaño de las piezas.

Al revenir las piezas gruesas o de gran diámetro se produce un efecto nivelador, pues el resultado del revenido es tanto más intenso cuanto mayor es el porcentaje de martensita. Por esto hace bajar más la dureza en las zonas martensíticas puras que en las de transición o en las de otro constituyente (fig. 3.3.6).

Por tanto, el revenido suavizará las desigualdades de los temple de las piezas grandes.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Doble revenido.

A los aceros rápidos e indeformables, con un porcentaje elevado de cromo, empleados para la construcción de herramientas, se acostumbra a dar dos revenidos sucesivos después del temple.

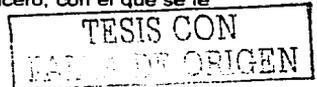
Estos aceros quedan generalmente después del temple con un elevado porcentaje de austenita residual, que llega hasta el 25%.

En el primer revenido se transforma la martensita en martensita revenida. Además en la martensita residual se precipitan los carburos de los elementos de aleación, transformándose en bainita inferior.

En el segundo revenido, la martensita, que había sido transformada en el tratamiento anterior, no sufre variación en su constitución ni estructura, pero la bainita inferior se transforma en martensita revenida, quedando una constitución y estructura muy uniforme.

Importancia del revenido.

El revenido es el verdadero tratamiento acondicionador del acero, con el que se le da las propiedades más adecuadas al fin que se destina.

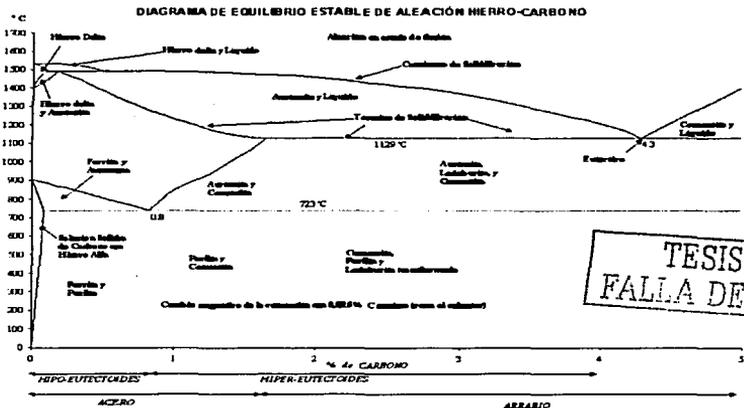


El temple es sólo un tratamiento preparatorio, cuyo fin es convertir la mayor cantidad del acero en martensita pura, es decir, obtener la máxima dureza. Por

eso deben elegirse aceros de suficiente templeabilidad, para conseguir el temple en toda o en la mayor parte de la pieza.

Cuanto mayor se a la dureza del acero, o sea, cuanto mayor sea la cantidad de martensita que contenga, mayor será el margen de las propiedades que pueden lograrse con un buen revenido, y disminuyendo la dureza hasta un valor suficiente y aumentando, en cambio, la tenacidad.

Además, con el revenido se destruyen las tensiones internas, se estabiliza el material y se consigue una estructura perfecta de cementita y carburos precipitados, sobre una matriz dúctil de ferrita.



CAPITULO 4. ENSAYOS REALIZADOS A LAS PIEZAS OBTENIDAS.

Con el nombre genérico de ensayos se designan una serie de procedimientos normalizados que tienen por objeto conocer o comprobar las características y propiedades de los materiales o descubrir los defectos en las piezas fabricadas.

Los ensayos se han hecho indispensables en la industria moderna, realizándose sistemáticamente para control de la calidad de la producción y para la recepción de los materiales.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.1 INSPECCIÓN VISUAL.

Entre las técnicas más utilizadas para la inspección de piezas de fundición, se encuentra la inspección visual por la facilidad de su aplicación y el mínimo de medios necesarios para su uso. En todas las especificaciones técnicas para la fabricación de productos, se incluye en primer término la inspección visual para detectar defectos de fabricación, fallas de origen, fisuras, grietas, acabado inadecuado, reparaciones no autorizadas que oculten el estado real de las piezas, etc. Para tal fin deberá indicarse el procedimiento usado, los iluminadores, instrumentos, equipos y herramientas, de tal manera que sus equivalentes puedan ser utilizados en futuras inspecciones, haciendo comparables los resultados obtenidos bajo condiciones similares de prueba.

La inspección visual es usada generalmente para determinar las condiciones de la superficie, alineamiento de superficies acopladas, forma o evidencias de fugas en piezas o componentes. Consideraciones importantes en la ejecución de esta inspección, son: la accesibilidad, iluminación y ángulo de visión, tanto para la inspección directa como remota.

Inspección visual directa. Esta inspección puede efectuarse cuando el acceso es suficiente para colocar la vista del evaluador a poco menos de 610 mm (24 pulgadas) de la superficie, examinando a un ángulo no menor de 30° con la superficie a inspeccionar. Pueden usarse espejos para mejorar el ángulo de visión así como lentes de aumento para auxiliarse. Se requiere alumbrado natural o artificial suficiente para iluminar el área por inspeccionar. La iluminación en el área

que se va a inspeccionar deberá tener un nivel mínimo de 350 luxes. El personal que efectúe el examen visual, deberá someterse a un examen de la vista para asegurar que la agudeza visual a corta distancia, natural o corregida debe ser tal, que permita leer las letras J-1 en las cartas de la prueba tipo JAEGER o métodos equivalentes para visión cercana.

Inspección visual remota. En esta inspección pueden usarse ayudas visuales tales como espejos, telescopios, baroscopios, hilos ópticos, cámaras u otros instrumentos adecuados. Tales sistemas podrían tener una capacidad de resolución de al menos el equivalente a la obtenida por observación visual directa.

En este tipo de inspección se requiere en algunas áreas a inspeccionar que por su inaccesibilidad salga de los límites de la inspección visual directa en cuanto a distancia o iluminación. De aquí que se utilicen equipos auxiliares.

Inspección visual translúcida. El método de inspección visual translúcida, utiliza la ayuda de iluminación artificial que puede estar contenida en un iluminador que produzca iluminación direccional. El iluminador deberá proporcionar luz de una intensidad que ilumine y difunda uniformemente la luz a través del área o región que se inspecciona. Por otra parte, la iluminación ambiente del lugar donde se lleve a cabo la inspección debe estar dispuesta de tal manera que no haya superficies deslumbrantes o reflexiones desde la superficie a inspeccionar y deberá ser menor que la luz aplicada a través del área a examinar.

4.2 LÍQUIDOS PENETRANTES.

El ensayo por líquidos penetrantes, es un método que permite localizar y detectar discontinuidades superficiales, aún en piezas de geometría complicada. A pesar de que este método sólo detecta discontinuidades superficiales, proporciona ciertas ventajas como son el ser efectivo, confiable, rápido y fácil de llevar a cabo, puede aplicarse a una gran variedad de materiales y es un método relativamente económico.

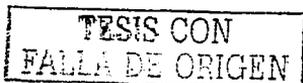
El método consiste en aplicar un líquido penetrante sobre la superficie de la pieza a inspeccionar. Después de un tiempo apropiado para que el líquido se introduzca en las discontinuidades, se limpia la superficie para eliminar el exceso de penetrante. Por último se aplica el revelador el cual absorbe el líquido penetrante que se introdujo en las discontinuidades, extrayéndolo hasta la superficie y produciendo una indicación o marca visible de la discontinuidad.

Este método es aplicable a materiales metálicos como por ejemplo: aceros, aleaciones en fundición y maquinados, uniones soldadas, etc. y materiales no metálicos como vidrios, cerámica, plástico, etc.

Descripción del proceso de líquidos penetrantes.

En la inspección por líquidos penetrantes, se requiere normalmente de seis pasos que son los siguientes:

- a) Preparación de la superficie.
- b) Aplicación del penetrante.



- c) Remoción del exceso de penetrante.
- d) Aplicación del revelador.
- e) Inspección.
- f) Limpieza final.

a) preparación de la superficie.

Es importante que la superficie de prueba se encuentre seca y libre de cualquier contaminante. Esto quiere decir que la superficie del material debe estar exenta de polvo, grasa, óxidos, escamas, ácidos, recubrimientos metálicos y pintura, los cuales pueden afectar directamente o bloquear la entrada del penetrante a las discontinuidades y alterar las indicaciones.

Existen diversas formas de limpiar una superficie, las cuales se encuentran en normas y especificaciones (ejemplo ASME SEC V SE-165). Los métodos de limpieza son clasificados como:

Limpieza por medios químicos { Limpieza alcalina
Limpieza ácida
Limpieza con sal fundida

Limpieza por métodos mecánicos { Pulido abrasivo
Aplicación de arena seca a alta presión
Aplicación de arena húmeda a alta presión
Agua y vapor a alta presión
Limpieza ultrasónica

Limpieza por solventes.- Desengrasado por vapor y enjuagues por solventes.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Es importante que la limpieza final de la pieza, sea hecha con un limpiador volátil, y que ninguno de los limpiadores previos quede alojado en las discontinuidades.

b) Aplicación del penetrante.

El penetrante se aplica sobre la superficie a inspeccionar, si existen discontinuidades una determinada cantidad de éste se introduce en ellas, por medio de la acción capilar. Los líquidos penetrantes para que sean visibles tienen que tener un color de contraste, clasificándose según ASME SEC V SE-165 en dos métodos que son:

Método A: Líquidos penetrantes fluorescentes.

Método B: Líquidos penetrantes visibles.

La aplicación de los penetrantes fluorescentes o visibles, pueden aplicarse por inmersión, rociado, con brocha o vaciado.

Tiempo de penetración.- El tiempo de penetración es el tiempo necesario para que el penetrante entre en las discontinuidades, el cual varía en forma considerable dependiendo del tipo de penetrante utilizado, tipo de material a inspeccionar y posibles tipos de discontinuidades a encontrar.

c) Remoción del exceso de penetrantes.

Después del tiempo de penetración necesario, se elimina el exceso de penetrante que es aquel que queda en la superficie de la pieza y que no ha entrado en la discontinuidad durante el tiempo de penetración. Es necesario que el exceso de

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

penetrante este húmedo antes de removerlo, ya que si por cualquier razón se ha secado al estarlo removiendo, puede eliminarse al penetrante de las discontinuidades.

De acuerdo al sistema empleado para eliminar el exceso de penetrante se dividen, según ASME SEC V SE-165 en:

Tipo 1 Penetrante lavable en agua.

Tipo 2 Penetrante post-emulsificable.

Tipo 3 penetrante removible con solvente.

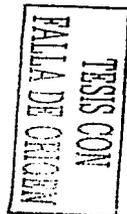
d) Aplicación del revelador.

La cantidad de penetrante que emerge de una pequeña discontinuidad superficial es muy reducida, por lo que es necesario ampliar su visibilidad.

Esto es, los reveladores están diseñados de tal forma que extraen al penetrante atrapado en las discontinuidades, provocando que estas sean visibles al ojo humano.

Existen tres tipos de reveladores:

- I. Secos.
- II. Húmedos (suspendidos o solubles en agua).
- III. No acuosos. (suspendidos en solventes).



e) Inspección.

Después de un tiempo determinado, en que se aplica el revelador, la muestra se prepara para la inspección, la cual se lleva a cabo observando el contraste de color entre el penetrante extraído de la discontinuidad y la superficie de fondo.

Para el caso en que el penetrante sea visible la inspección se lleva a cabo bajo la luz blanca y para los penetrantes fluorescentes la observación se efectúa en un cuarto oscuro bajo luz negra cuya intensidad mínima a la superficie de la pieza sea de 800 microwatts por centímetro cuadrado.

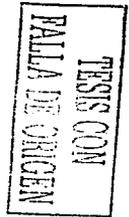
f) Limpieza final.

Es necesaria una limpieza posterior, ya que el penetrante y el revelador residual tienden a extraer humedad, por lo cual puede causar corrosión, o bien puede interferir en el uso o proceso posterior. En general, el método de limpieza recomendado es semejante para la pre-limpieza. Los limpiadores a base de detergentes generalmente se utilizan para remover materiales base agua, mientras que los desengrasantes al vapor son mejores en remover materiales base aceite.

MIL-1-25135 Materiales penetrantes para inspección.

ASTM E 165 Método estandarizado para la inspección con líquidos penetrantes.

ASME RDT 3-6T Examen con líquidos penetrantes.



4.3 PARTÍCULAS MAGNÉTICAS.

Este tipo de ensayo se basa en el hecho de que las líneas del campo magnético se distorsiona debido a fallas que presenta la pieza.

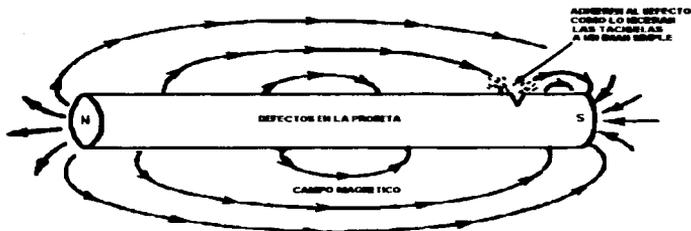


Fig. 4.3.1 Ensayo por partículas magnéticas.

El procedimiento es sencillo. Primero, se aplica un campo magnético a la pieza que se desea analizar para después investigar las deformaciones sufridas por el campo; esto se logra rociando polvo muy fino de óxido ferromagnético (Fe_3O_4) sobre la pieza. Este óxido revelará la forma del campo magnético en superficie de la muestra, indicando la presencia de fallas.

Nótese que al existir un defecto dentro del material, las líneas del campo magnético ya no son paralelas e, incluso, salen de la superficie, independientemente de que la falla llegue hasta ella o no (fig. 4.3.2). Esto resulta siempre y cuando la falla no sea paralela a las líneas del campo magnético.

La inducción del campo magnético se logra por medio de una bobina o una corriente que se hace pasar por el objeto. En la figura 4.3.3, se muestra que es posible formar un campo magnético longitudinal o transversal. Al introducir el espécimen dentro de una bobina con un número considerable de vueltas se genera un campo magnético, cuyo vector de intensidad de campo magnético, B , apunta en una dirección paralela a la barra (fig. 4.3.3 a). Para lograr que el campo magnético sea perpendicular a la barra, se hace pasar una corriente, i , a través de ésta (fig. 4.3.3 b).

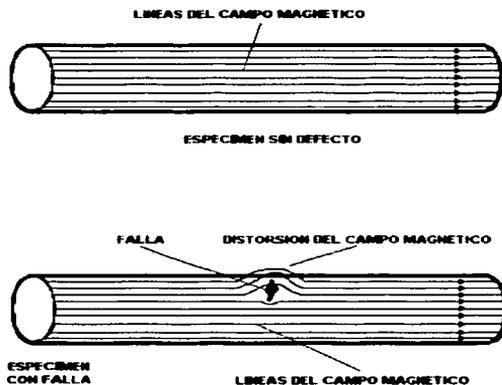


Figura 4.3.2 Detección de fallas con pruebas magnéticas.

TESIS CON
FALLA DE COPIA

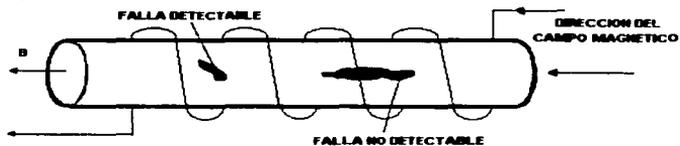


Figura A

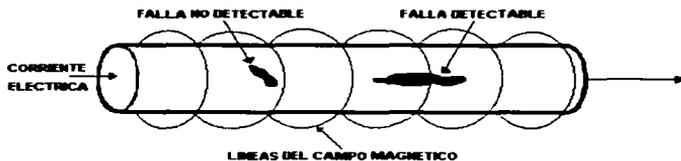


Figura B

Fig. 4.3.3 Método de pruebas magnéticas.

En la práctica, con frecuencia se usan yugos, como el mostrado en la figura 4.3.4, en combinación con partículas de óxido ferromagnético suspendidas en un medio líquido, así como sustancias magnéticas fluorescentes. Lógicamente este tipo de inspección sólo se aplica a materiales ferromagnéticos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

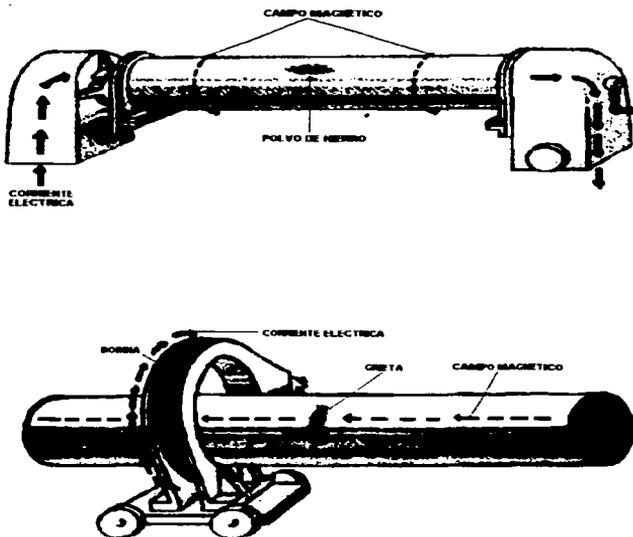


Fig. 4.3.4 Yugos para realizar pruebas magnéticas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CONCLUSIÓN.

Tratando de impulsar la industria mexicana del acero y a su vez contribuir de alguna manera al crecimiento de la economía nacional por medio del uso de este producto, presento este trabajo para promover la fabricación del acero por empresas y mano de obra cien por ciento mexicanas.

Siendo el acero uno de los materiales más versátiles dentro de la industria, dadas sus diferentes características químicas y mecánicas; en este trabajo se describe un proceso sistematizado de la fabricación de piezas de acero con sus características para su correcta elección en el reemplazo y diseño de elementos de máquinas.

Espero que al lector le sirva como guía en el complejo proceso de fundición para la correcta fabricación de piezas ya que, en este escrito el fabricante encontrará las alternativas para la corrección de defectos que pudieran resultar durante el proceso de fabricación disminuyendo significativamente el rechazo de las piezas obtenidas.

PROPIEDADES QUÍMICAS

ACERO	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P	Mo	Cu	V	OTROS
ASTM A-532 GDO. II-D	2 00-3 30	2 00-MAX	1 00-2 20	18 00-23 00	2 50-MAX*	0 06-MAX	0 10-MAX	3 00-MAX*	1 20-MAX*		
ASTM A-439 GDO. D-2	3 00-MAX*	0 70-1 25	1 50-3 00	1 75-2 75	18 00-22 00		0 08-MAX*				
ACERO INOXIDABLE											
ASTM A-217 GDO. C 5	0 20-MAX	0 40-0 70	0 75-MAX	4 00-6 50	0 50-MAX*	0 045-MAX	0 040-MAX	0 45-0 65	0 50-MAX*		0 10-MAX* W
ASTM A-217 GDO. CA-15	0 15-MAX	1 00-MAX	1 50-MAX	11 50-14 00	1 00-MAX	0 040-MAX	0 040-MAX	0 50-MAX			
AISI 410	0 15-MAX	1 00-MAX	1 00-MAX	11 50-13 50		0 030-MAX	0 040-MAX				
ASTM A-351 GDO. CF8	0 08-MAX	1 50-MAX	2 00-MAX	18 00-21 00	8 00-11 00	0 040-MAX	0 040-MAX	0 50-MAX*			
AISI 310	0 25-MAX	2 00-MAX	1 50-MAX	24 00-26 00	19 00-22 00	0 030-MAX	0 045-MAX				
ASTM A-743 GDO. CN7M	0 07-MAX	1 50-MAX	1 50-MAX	19 00-22 00	27 50-30 50	0 040-MAX	0 040-MAX	2 00-3 00	3 00-4 00		
AISI 420	0 15-MIN	1 00-MAX	1 00-MAX	12 00-14 00		0 030-MAX	0 040-MAX				
ASTM A-743 GDO. CF20	0 20-MAX	1 50-MAX	2 00-MAX	18 00-21 00	8 00-11 00	0 040-MAX	0 040-MAX				
ASTM A-352 GDO. C69NM	0 06-MAX	1 00-MAX	1 00-MAX	11 50-14 00	3 50-4 50	0 030-MAX	0 040-MAX	0 40-1 00			
ASTM A-217 GDO. C 12	0 20-MAX	0 35-0 65	1 00-MAX	8 00-10 00	0 50-MAX*	0 045-MAX	0 040-MAX	0 90-1 20	0 50-MAX*		0 10-MAX* W
ASTM A-351 GDO. CH20	0 04-0 20	1 50-MAX	2 00-MAX	22 00-26 00	12 00-15 00	0 040-MAX	0 040-MAX	0 50-MAX			
AISI 416	0 15-MAX	1 25-MAX	1 00-MAX	12 00-14 00		0 15-MIN	0 060-MAX	0 60-MAX*			
ASTM A-351 GDO. CF8C	0 08-MAX	1 50-MAX	2 00-MAX	18 00-21 00	9 00-12 00	0 040-MAX	0 040-MAX				0 80-1 00 Nb
ASTM A-351 GDO. CF8M	0 08-MAX	1 50-MAX	1 50-MAX	18 00-21 00	9 00-12 00	0 040-MAX	0 040-MAX	2 00-3 00			
ASTM A-351 GDO. CK20	0 04-0 20	1 50-MAX	1 75-MAX	23 00-27 00	19 00-22 00	0 040-MAX	0 040-MAX	0 50-MAX			
ACERO REFRACTARIO											
ASTM A-297 GDO. HC	0 30-0 40	0 50-0 90	1 40-1 90	26 00-28 00	2 00-3 50	0 040-MAX	0 040-MAX				
ASTM A-297 GDO. HD	0 30-0 40	1 00-1 40	1 50-1 90	26 00-28 00	4 00-6 50	0 040-MAX	0 040-MAX				
ASTM A-297 GDO. HE	0 20-0 40	1 50-1 90	1 50-1 90	26 00-28 00	8 00-10 00	0 040-MAX	0 040-MAX				
ASTM A-297 GDO. HF	0 20-0 40	1 50-1 90	1 50-1 90	18 00-22 00	8 00-11 00	0 040-MAX	0 040-MAX				
ASTM A-297 GDO. HI	0 20-0 40	1 50-1 90	1 580-1 90	26 00-29 00	14 00-17 00	0 040-MAX	0 040-MAX				
ASTM A-297 GDO. HL	0 20-0 40	1 50-1 90	1 50-1 90	28 00-31 00	18 00-21 00	0 040-MAX	0 040-MAX				
ASTM A-297 GDO. HH-I	0 20-0 40	1 50-1 90	1 50-1 90	24 00-27 00	11 00-13 00	0 040-MAX	0 040-MAX				
ASTM A-297 GDO. HH-II	0 20-0 40	2 00-2 40	1 00-1 50	24 00-27 00	10 00-14 00	0 050-MAX	0 050-MAX				
ASTM A-297 GDO. HK	0 28-0 50	1 50-1 90	1 50-1 90	24 00-27 00	18 00-21 00	0 040-MAX	0 040-MAX				

*Elementos residuales.

PROPIEDADES QUÍMICAS

ACERO	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P	Mo	Cu	V	OTROS
ASTM A-297 GDO HN	0.20-0.40	1.50-1.90	1.50-1.90	19.00-22.00	23.00-26.00	0.040-MAX	0.040-MAX				
ASTM A-297 GDO HU	0.35-0.45	1.50-1.90	2.00-2.40	17.00-20.00	37.00-40.00	0.040-MAX	0.040-MAX				
ASTM A-297 GDO HT	0.35-0.45	1.00-1.50	1.60-2.00	16.00-18.00	34.00-36.00	0.040-MAX	0.040-MAX				
ASTM A-297 GDO HW	0.35-0.65	1.50-1.90	2.00-2.40	10.00-13.00	58.00-61.00	0.040-MAX	0.040-MAX				
ASTM A-297 GDO HX	0.35-0.65	1.50-1.90	2.00-2.40	16.00-18.00	64.00-67.00	0.040-MAX	0.040-MAX				
MONELL 400	0.35-MAX	1.00-1.40	0.90-1.10		65.00-68.00	0.030-MAX	0.030-MAX		26.00-33.00		3.50-MAX* Fe

*Elementos residuales.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

205

PROPIEDADES MECÁNICAS

ACERO	RESISTENCIA A LA TENSION		REDUCCION DE AREA		ELONGACION		TRATAMIENTO TERMICO
	KPSI (MPa)	KPSI (MPa)	%	%	BHN		
ASTM A-217 GDO WC1	65-90 (450-620)	35 MINIMO (240)	35 MINIMO	24 MINIMO	130-197**	NORMALIZADO-REVENIDO	
ASTM A-217 GDO WC6	70-95 (485-655)	40 MINIMO (275)	35 MINIMO	20 MINIMO	143-217**	NORMALIZADO-REVENIDO	
ASTM A-217 GDO WC9	70-95 (485-655)	40 MINIMO (275)	35 MINIMO	20 MINIMO	143-217**	NORMALIZADO-REVENIDO	
ASTM A-216 GDO WCA	60-85 (415-585)	30 MINIMO (205)	35 MINIMO	24 MINIMO	123-179**	NORMALIZADO	
AISI 1045	90 MINIMO	55 MINIMO	54 MINIMO	27 MINIMO	190 MAXIMO**	NORMALIZADO	
AISI 4140	117-150 95 MINIMO	70-100 60 MINIMO	48 56 MINIMO	17 27 MINIMO	228 MINIMO** 197 MINIMO	NORMALIZADO-RECOCIDO	
AISI 4320	102 84 MINIMO	57 61 MINIMO	50 58 MINIMO	22 29 MINIMO	200** 163 MINIMO	NORMALIZADO-RECOCIDO	
AISI 8630	92 MINIMO 81 MINIMO	56 MINIMO 54 MINIMO	53 MINIMO 58 MINIMO	23 MINIMO 29 MINIMO	187 MINIMO** 156 MINIMO	NORMALIZADO-RECOCIDO	
AISI 9840					207 MINIMO**	NORMALIZADO-RECOCIDO	
ASTM A-27 GDO 60-30	60 MINIMO (415)	30 MINIMO (205)	30 MINIMO	22 MINIMO	130-197**	NORMALIZADO	
ASTM A-27 GDO 60-35	65 (240)	35 (240)	35 MINIMO	24 MINIMO	135-207**	NORMALIZADO	
ASTM A-27 GDO 70-40	70 (485)	40 MINIMO (275)	30 MINIMO	22 MINIMO	147-187**	NORMALIZADO	
ASTM A-216 GDO WCB	70-95 (485-655)	35 MINIMO (250)	35 MINIMO	22 MINIMO	147-200**	NORMALIZADO	
ASTM A-217 GDO WCC	70-95 (485-655)	40 MINIMO (275)	35 MINIMO	22 MINIMO	149-200**	NORMALIZADO	
ASTM A-352 GDO LCB	65-90 (450-620)	35 MINIMO (240)	35 MINIMO	24 MINIMO	147-200**	TEMPLE-REVENIDO	

**Datos no registrados en norma, son estadísticos.

TESTES CON
 FALLA DE ORIGEN

200

PROPIEDADES MECÁNICAS

ACERO	RESISTENCIA A LA TENSION	LIMITE ELASTICO	REDUCCION DE AREA	ELONGACION	DUREZA	TRATAMIENTO TERMICO
	KPSI (MPa)	KPSI (MPa)	%	%	BHN	
ASTM A-352 GDO LC3	70-95 (485-655)	40 (275)	35 MINIMO	24 MINIMO	149-217**	TEMPLE-REVENIDO
AISI 4140	121-166	95-161	54-63	14-20	286-302**	TEMPLE-REVENIDO
ASTRALLOY.V	223 MINIMO	181 MINIMO	36 MINIMO	11 MINIMO	430 MINIMO**	TEMPLE-REVENIDO
ASTM A-128 GDO B-2	100-145	50-57	30-40	30-85	170-210** 228 MINIMO	TEMPLE AL AGUA
ASTM A-128 GDO C	82 MINIMO	53 MINIMO	29 MINIMO	31 MINIMO		TEMPLE AL AGUA
ASTM A-597 GDO. D-2					450 MINIMO**	NORMALIZADO-REVENIDO
AISI H-13					228-286**	RECOCIDO SUBCRITICO
ALLOY 3	250 MINIMO	200 MINIMO	10 MINIMO	6 MINIMO	450-550**	TEMPLE-REVENIDO
ASTM A-532 GDO. IA					550 MINIMO**	AS-CAST
ASTM A-532 GDO. IIA					550 MINIMO**	AS-CAST
ASTM A-532 GDO III-A					450-600**	AS-CAST
XR					450 MINIMO**	AS-CAST
ASTM A-532 GDO. II-D					450 MINIMO**	AS-CAST
ASTM A-439 GDO D-2	58 MINIMO (400)	30 MINIMO (207)		8 MINIMO	139-202**	AS-CAST
ASTM A-217 GDO. C-5	90-115	60 MINIMO	35 MINIMO	18 MINIMO	150 MINIMO** 150	NORMALIZADO-REVENIDO RECOCIDO

**Datos no registrados en norma, son estadísticos.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

207

PROPIEDADES MECÁNICAS

ACERO	RESISTENCIA A LA TENSION	LIMITE ELASTICO	REDUCCION DE AREA	ELONGACION	DUREZA	TRATAMIENTO TERMICO
	KPSI (MPa)	KPSI (MPa)	%	%	BHN	
ASTM A-217 GDO CA-15	90-115 (620-795)	65 MINIMO (450)	30 MINIMO	18 MINIMO	190-255** 185 MAXIMO	NORMALIZADO-REVENIDO RECOCIDO
AISI 410	70 MINIMO (485)	40 MINIMO (275)	45 MINIMO	20 MINIMO	167 MINIMO**	RECOCIDO
ASTM A-351 GDO CF8	70 MINIMO (485)	30 MINIMO (205)		35 MINIMO	143-179**	TEMPLE AL AGUA
AISI 310	75 MINIMO (485)	30 MINIMO (205)	40 MINIMO	30 MINIMO	143-197**	TEMPLE AL AGUA
ASTM A-743 GDO CN7M	62 MINIMO (425)	25 MINIMO (170)		35 MINIMO	130-179**	TEMPLE AL AGUA
AISI 420					197 MAXIMO**	RECOCIDO
ASTM A-743 GDO CF20	70 MINIMO (485)	30 MINIMO (205)		30 MINIMO	143-197**	TEMPLE AL AGUA
ASTM A-352 GDO CA6NM	110-135 (760-930)	80 MINIMO (550)	35 MINIMO	15 MINIMO	143-179**	TEMPLE-REVENIDO
ASTM A-217 GDO C-12	90-115 (620-795)	60 MINIMO (415)	35 MINIMO	18 MINIMO	190-234**	NORMALIZADO-REVENIDO
ASTM A-351 GRADO CH20	70 MINIMO (485)	30 MINIMO (205)		30 MINIMO	143-179**	TEMPLE AL AGUA
AISI 416					167 MAXIMO**	RECOCIDO
ASTM A-351 GDO CF8C	70 MINIMO (485)	30 MINIMO (205)		30 MINIMO	143-187**	TEMPLE AL AGUA
ASTM A-351 CF8M	70 MINIMO (485)	30 MINIMO (205)		30 MINIMO	147-180**	TEMPLE AL AGUA
ASTM A-351 GDO CK20	65 MINIMO (450)	28 MINIMO (195)		30 MINIMO	143-179**	TEMPLE AL AGUA
ASTM A-297 GDO HC	55 MINIMO (380)				223 MINIMO**	AS-CAST (METAL HANBOOK)

**Datos no registrados en norma, son estadísticos.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

708

PROPIEDADES MECÁNICAS

ACERO	RESISTENCIA A LA TENSION	LIMITE ELASTICO	REDUCCION DE AREA	ELONGACION	DUREZA	TRATAMIENTO TERMICO
	KPSI (MPa)	KPSI (MPa)	%	%	BHN	
ASTM A-297 GDO HD	75 MINIMO (515)	35 MINIMO (240)		8	190 MINIMO**	AS-CAST (METAL HANBOOK)
ASTM A-297 GDO HE	85 MINIMO (585)	40 MINIMO (275)		9	200 MINIMO**	AS-CAST (METAL HANBOOK)
ASTM A-297 GDO HF	70 MINIMO (485)	35 MINIMO (240)		25	165 MINIMO**	AS-CAST (METAL HANBOOK)
ASTM A-297 GDO HI	70 MINIMO (485)	35 MINIMO (240)		10	180 MINIMO**	AS-CAST (METAL HANBOOK)
ASTM A-297 GDO HL	65 MINIMO (450)	35 MINIMO (240)		10	192 MINIMO**	AS-CAST (METAL HANBOOK)
ASTM A-297 GDO HH	75 MINIMO (515)	35 MINIMO (240)		10	185 MINIMO**	AS-CAST (METAL HANBOOK)
ASTM A-447 GDO. HH-II	80 MINIMO (550)			9	180 MINIMO**	AS-CAST (METAL HANBOOK)
ASTM 297 GDO. HK	65 MINIMO (450)	35 MINIMO (240)		10	170 MINIMO**	AS-CAST (METAL HANBOOK)
ASTM A-297 GDO. HN	63 MINIMO (435)			8	160 MINIMO**	AS-CAST (METAL HANBOOK)
ASTM A-297 GDO. HU	65 MINIMO (450)			4	170 MINIMO**	AS-CAST (METAL HANBOOK)
ASTM A-297 GDO. HT	65 MINIMO (450)			4	180 MINIMO**	AS-CAST (METAL HANBOOK)
ASTM A-297 GDO. HW	60 MINIMO (415)				185 MINIMO**	AS-CAST (METAL HANBOOK)
ASTM A-297 GDO. HX	60 MINIMO (415)				176 MINIMO**	AS-CAST (METAL HANBOOK)
MONEL 400	65 MINIMO	25 MINIMO		25 MINIMO		AS-CAST
ASTM A-494 GDO. M35-1	(450)	(170)				

**Datos no registrados en norma, son estadísticos.

209

BIBLIOGRAFÍA.

Aparicio, F y Aparicio, J. A.
Tecnología del metal
Editorial Paraninfo, S.A. de C.V.
Madrid, 1987

Apraiz Barreiro, José
Fabricación de hierro, aceros y fundiciones tomo 1 y 2
Urmo, S.A. de Ediciones
España, 1978

Aspin, B. Terry
Principios de fundición
Editorial Gustavo Gili, S.A. de C.V.
México, 1995

Duponchelle, J.
Manual del fundidor de metales
Editorial Gustavo Gili, S.A. de C.V.
México, 1972

Gerling, Heinrich
Moldeo y conformación
Editorial Reverté, S.A.
España, 1979

Groover, Mikell P.
Fundamentos de manufactura moderna
Materiales, procesos y sistemas
Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A.
México, 1997

Higgins, Raymond A.
Tecnología de los procesos metalúrgicos
Compañía Editorial Continental, S.A.
México, 1980

Lasheras, José María
Tecnología del acero
Ediciones CEDEL
España, 1978

Bibliografía.

Morral, F. R. y Jimeno, E.
Metalurgia general tomo I
Editorial Reverté, S.A.
España, 1982

Neely, John E. y Kibbe, Richard R.
Materiales y procesos de manufactura
Editorial Limusa, S.A. de C.V.
México, 1992

Scharkus Lobert, Jutz
Prontuario de metales
Tablas para la industria metalurgica
Editorial Reverté, S.A.
México, 1996

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN