

9
24.



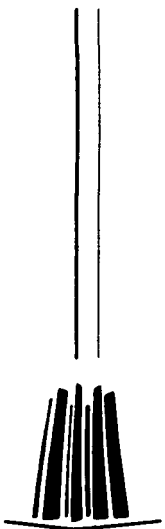
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"CAMPUS ARAGON"**

**"TÉCNICAS ESTRATÉGICAS DE
ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN LA
INDUSTRIA DE LA FUNDICIÓN"**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A N:
MARTÍN ARRIAGA SOTO
SERGIO CORTES FRAGOSO

ASESOR: IRMA VELAZQUEZ GONZALEZ



ENEP ARAGON

México

1997.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis 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.



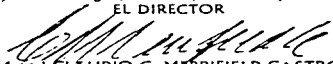
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGON
DIRECCION

MARTÍN ARRIAGA SOTO
P R E S E N T E .


En contestación a la solicitud de fecha 13 de mayo del año en curso, presentada por Sergio Cortés Fragozo y usted, relativa a la autorización que se le debe conceder para que la profesora, Ing. IRMA VELÁZQUEZ GONZÁLEZ pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado, "TÉCNICAS ESTRATÉGICAS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN LA INDUSTRIA DE LA FUNDICIÓN", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
San Juan de Aragon, México., 14 de mayo de 1997
EL DIRECTOR



M en I CLAUDIO C. MERRIFIELD CASTRO



c c p Jefe de la Unidad Académica.
c c p Jefatura de Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica.
c c p Asesor de Tesis.



CCMC/AIR/lla.



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGON
DIRECCION

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGON
DIRECCION


SERGIO CORTÉS FRAGOSO
P R E S E N T E .

En contestación a la solicitud de fecha 13 de mayo del año en curso, presentada por Martín Arriaga Soto y usted, relativa a la autorización que se les debe conceder para que la profesora, Ing. IRMA VELAZQUEZ GONZALEZ pueda dirigirles el trabajo de Tesis denominado, "TECNICAS ESTRATEGICAS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN LA INDUSTRIA DE LA FUNDICIÓN", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasion para reiterarle mi distinguida consideracion.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
San Juan de Aragon, México., 14 de mayo de 1997.
EL DIRECTOR


M en I CLAUDIO C. MERRIFIELD CASTRO


c c p Jefe de la Unidad Académica.
c c p Jefatura de Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica.
c c p Asesor de Tesis.

CCMC/AIR/la.

REZA PERO NO DEJES DE REMAR HACIA LA ORILLA

LA NOCHE ES TUYA PERO EL MAÑANA ME PERTENECE

PORQUE LA TORTUGA FUE PERSEVERANTE LLEGO AL ARCA DE NOE

**SI CUANDO LLEGAS A TROPEZAR ERES CAPAZ DE LEVANTARTE,
LLEGARA EL MOMENTO EN QUE NO CAERAS JAMAS.**

**NO IMPORTA LOS MEDIOS
LO QUE IMPORTA ES EL FIN.**

AGRADECIMIENTOS

A DIOS POR ILUMINAR MI CAMINO A LA VIDA.

A MI MADRE POR HABERME DADO LA VIDA,
POR ESTAR SIEMPRE A MI LADO Y POR QUE GRACIAS
A TI SOY LO QUE SOY
TU QUIERO

A TI PAPA QUE ME ENSEÑASTE EL VERDADERO AMOR
A LA VIDA A SIEMPRE SITUACIONES ADVERSAS Y EL GRAN
CARIÑO DE HERMANOS. ADMIRO TU FUERTE FUERZA.

A TI GORDITO QUE MAS QUE UN TIO HAS SIDO
UN AMIGO QUE ME HA APOYADO CUANDO MAS
LO HE NECESITADO

A TI FELIX POR ESA SAHIDE RIA LOCA
E INCOHERENTE.

A GERALDINE, ANDY, CHE Y RUBEN QUE
ME RON FUNDAMENTALES EN UN
MOMENTO DE TRANSICION, GRACIAS
POR SUS CONOCIMIENTOS Y POR UNA
AMISTAD TAN BELLA.

A TODOS MIS PROFESORES QUE HAN
DEDICADO TODA UNA VIDA A COMPARTIR
SUS CONOCIMIENTOS SIN IMPORTAR RAZA,
CREENCIAS, CONDICIONES SOCIAL, CON RESPETO
Y ADMIRACION.

AL DR. HUMBERTO, AL SR. VAUGHN, AGUILLE,
CLAUDIA, LUPIA GERARDO, CELIA POR ESOS
MOMENTOS DE COMPRESION Y APOYO

A MI PADRE, QUE AUNQUE CON PROFUNDA MAY
DIFERENCIAS SIEMPRE HA ESTADO
A MI LADO

A OSCAR, ARACELY Y ALICIA POR TANTOS
MOMENTOS AGRADABLES EN FAMILIA,
LA HANE DEL EXITO

A TI FLACO, POR ESOS SABIOS CONSEJOS
EN MOMENTOS TAN DIFICILES, POR ESA
SOLIEZGA Y TSE GRAN CORAZON

A TODA MI FAMILIA QUE HA SIDO UN
EJEMPLO A SEGUIR

A USTED PROFESORA IRMA, GRACIAS POR
TODO SU APOYO Y POR RECORDARNOS
QUE SIEMPRE HAY UNA GRAN PERSONA
A NUESTRO LADO, SIN SU AYUDA
ESTO NO HUBIERA SIDO POSIBLE

A MIS AMIGOS SERGIO, CESAR, JAVIER, JAIME,
COWAN, CARLOS, QUKE Y TODAS AQUELLAS
PERSONAS CON LAS QUE COMPARTE TANTAS
LEYENDAS E HISTORIAS SIN CONCLUIR

A TI RUBI, AUNQUE ESTEMOS SEPARADOS,
SIEMPRE ESTARE A TU LADO, TE AMO HIA.

Si he visto mas que otros es porque estuve en hombros de gigantes.

Te agradezco Señor por darme tantas oportunidades de seguir creciendo sin perder de vista lo que realmente es importante para el espíritu, a mi Madre mi guerrera incansable; a mi Padre jamas olvidare tu sonrisa increíble; a mi hermana Rosa Angélica mi gran líder; a mi hermano Carlos porque "El es mi hermano"; a Eduardo y su espíritu inquebrantable; a mi tía Zena por ser ella misma; a mi tío Porfirio gracias por tus consejos; a mis primos Mario, Gibran y Aldo seguiremos creciendo juntos; a Sergio "El Tocayo" y Alan "El roedor" cabalgaremos hasta el fin de los tiempos; a Gerardo por ser grande entre los grandes; a mis amigos de la carrera "Los miserables" jamas conoceré otros tipos como ellos; a mi amiga Lucero su nombre lo dice todo; a Alicia "Alma grande"; a mi amigo Domingo "hasta los 70s" recuerda; especialmente a Martín que es mi brazo derecho y yo soy el suyo un hermano en las buenas y en las malas; a mi "dama de hierro" sin ti hubiera sido cuatro veces mas difícil llegar hasta aquí gracias por permitirme entrar en tu vida; a los rostros sin nombre les doy las gracias por su ayuda incondicional; y al niño que hay dentro de cada uno de los que movemos este mundo.

GRACIAS.

**• TECNICAS ESTRATEGICAS DE ENSAYOS NO
DESTRUCTIVOS EN LA INDUSTRIA DE LA
FUNDICION.**

TECNICAS ESTRATEGICAS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN LA INDUSTRIA DE LA FUNDICION.

En la industria de la fabricación de productos diversos es necesario llevar a cabo un Control de Calidad de los mismos.

En particular para la producción y elaboración de piezas de fundición es posible aplicar el Control de Calidad de estos productos mediante inspecciones, empleando métodos no destructivos: para lo cual se enumeran a continuación los puntos en que se desarrollará la presente tesis.

- 1.- OBTENCIÓN DE PIEZAS MEDIANTE EL PROCESO DE FUNDICION.
- 2.- DEFECTOS EN LOS PRODUCTOS POR FUNDICIÓN.
- 3.- PROCEDIMIENTOS COMUNES DE INSPECCIÓN EN PRODUCTOS POR FUNDICION.
- 4.- TECNICAS ESTRATEGICAS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS DE INSPECCIÓN.
- 5.- APLICACIÓN DE LAS TECNICAS ESTRATEGICAS.

I N D I C E

TITULO.- TECNICAS ESTRATEGICAS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN LA INDUSTRIA DE LA FUNDICION.

INTRODUCCION.....	4
-------------------	---

CAPITULO 1

OBTENCION DE PIEZAS MEDIANTE EL PROCESO DE FUNDICION

1.1.-GENERALIDADES DEL PROCESO DE FUNDICIÓN.....	6
1.2.- VACIADO EN MOLDES DE ARENA.....	18
1.3.- VACIADO EN MOLDES PERMANENTES.....	22
1.4.- MOLDES METÁLICOS.....	26
1.5.- MOLDES NO METALICOS.....	27

CAPITULO 2

DEFECTOS EN LOS PRODUCTOS POR FUNDICIÓN.

2.1.- CLASIFICACION DE DEFECTOS EN PRODUCTOS DE FUNDICION.....	32
--	----

CAPITULO 3

PROCEDIMIENTOS COMUNES DE INSPECCIÓN EN PRODUCTOS POR FUNDICIÓN.

3.1.- INSPECCIÓN VISUAL.....	48
3.2.- INSPECCIÓN DIMENSIONAL.....	50
3.3.- INSPECCIÓN DIMENSIONAL ASISTIDA POR COMPUTADORA.....	52
3.4.- PRUEBAS DE PESO.....	60
3.5.- PRUEBAS DE DUREZA.....	61

CAPITULO 4

TECNICAS ESTRATEGICAS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS DE INSPECCIÓN.

4.1.- INSPECCIÓN CON LÍQUIDOS PENETRANTES.....	62
4.2.- INSPECCIÓN CON PARTÍCULAS MAGNÉTICAS.....	64
4.3.- INSPECCIÓN MEDIANTE CORRIENTES EDDY.....	67
4.4.- INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA.....	69
4.5.- INSPECCIÓN CON ULTRASONIDO.....	74
4.6.- PRUEBAS DE FUGA.....	80

CAPITULO 5

APLICACIÓN DE LAS TECNICAS ESTRATEGICAS.

5.1.- PRODUCTOS FERROSOS.....	83
5.1.1.- HIERRO GRIS.....	84
5.1.2.- HIERRO MALEABLE.....	87
5.1.3.- HIERRO DÚCTIL.....	88
5.2.- ALEACIONES DE ALUMINIO.....	91
5.3.- ALEACIONES DE COBRE.....	95
CONCLUSIONES	98
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101

TECNICAS ESTRATEGICAS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN LA INDUSTRIA DE LA FUNDICION.

INTRODUCCION.

La presente tesis tiene como finalidad la de presentar un panorama general de los métodos de inspección no destructivos aplicados en el control de la calidad en piezas fabricadas por fundición.

En esta se describe de forma general el proceso de Fundición y las diferentes formas de obtención de piezas o productos por este proceso. También se presenta la clasificación de los defectos inherentes y comúnmente encontrados en las fundiciones, mencionando posteriormente las distintas formas de detectarlos y evaluarlos, dependiendo de la aplicación para la que son diseñados y tomando en cuenta también los materiales con que se fabrican.

Los procedimientos de inspección para piezas fundidas son establecidos de acuerdo a dibujos y documentos, que frecuentemente se basan en normatividades o reglamentos, sociedades técnicas o especificaciones comerciales. Para asegurar la calidad de los productos de fundición, los procedimientos de inspección deben ser eficientemente dirigidos hacia la prevención de imperfecciones, detección de tendencias no satisfactorias y la conservación del material, lo cual finalmente nos lleva a reducir costos.

La inspección en la fundición normalmente involucra verificación de formas o perfil (geometría) y dimensiones, en conjunto con ayuda o no de la inspección visual para discontinuidades externas y calidad superficial, pudiendo emplear también las pruebas con líquidos penetrantes.

Las Pruebas Radiográficas y de Ultrasonido son aplicadas para detectar defectos internos, provocados por el material o tipo de fundición. El método de ultrasonido es difícil de aplicar en algunas fundiciones, por que éstas son creadas de estructura granular.

Las superficies rugosas de muchas fundiciones también pueden producir problemas en el acoplamiento del transductor, pero la prueba ultrasonica es aplicada ampliamente en la examinación de conductos de enfriamiento crítico en aspas de turbinas al medir su espesor.

Corrientes Eddy y Líquidos Penetrantes, también son empleados para detectar cortes y fracturas provocadas en los extremos de las aspas de turbinas, antes y durante el funcionamiento de estas.

Los Análisis Químicos y Pruebas de Propiedades Mecánicas son suplemento para varias pruebas de inspección no destructivas, incluyendo Pruebas de Fuga, todo lo cual es usado para evaluar la solidez de los productos. Estas inspecciones se suman al costo del producto, por lo tanto, la consideración inicial deberá ser para determinar la cantidad de inspecciones necesarias para un mantenimiento adecuado del control de calidad. En algunos casos, quizás se requiera una inspección completa al 100% de cada pieza o elemento fabricado, pero en otros casos, proceder a un muestreo, tal vez sea suficiente.

CAPITULO 1

OBTENCION DE PIEZAS MEDIANTE EL PROCESO DE FUNDICION.

1.1.- GENERALIDADES

La elaboración de productos, piezas o elementos metálicos empleados en la industria, se desarrollan de diversas maneras mediante distintos procesos de manufactura, sin embargo, una gran cantidad de estas piezas se fabrican por fundición.

El proceso de llenar una cavidad de un molde con metal líquido, y solidificarlo dentro de este para darle una forma determinada, es el proceso de manufactura llamado "fundición". Este es un método básico de producción de elementos.

Todos los materiales usados en la fabricación de metal serán fundidos en alguna etapa en su procesado. Fundiciones de todo tipo de metales, desde unas cuantas, hasta varias toneladas, son usadas directamente con o sin posteriores procesos de moldeo en su manufactura.

De igual manera los materiales considerados para ser forjados, primero son fundidos en lingotes antes de pasar al trabajo de deformado en estado sólido que les dará su condición final.

EL PROCESO DE FUNDICIÓN

La fundición es un proceso que consiste en una serie secuencial de pasos en un orden definido como se muestra en la fig. 1.1.1

El Patrón

El patrón que representa el producto terminado (patrón principal), debe ser elegido o construido. Los patrones pueden ser de diferentes números y estilos, pero son siempre el modelo de la parte terminada con una ligera holgura de dimensiones para permitir contracciones y porciones adicionales en la superficie que va a ser maquinada.

En algunos procesos de fundición que funcionan principalmente con moldes de metal, el patrón principal puede únicamente ser un diseño que a tomado en consideración el molde completamente lleno, es decir, en función del negativo del patrón tal como en todos los moldes se lleva a cabo. Por ejemplo los moldes para lingotes, troqueles para fundición y moldes de fundición permanente .

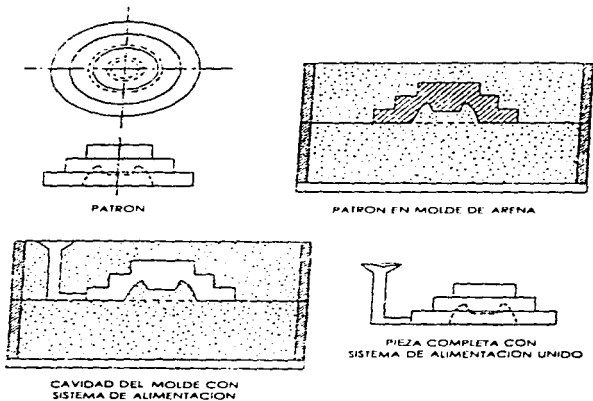


FIGURA 1 
PASOS PARA LA FUNDICION DE UNA PIEZA

El molde es construido a partir del patrón.

En algunos procesos de fundición, el segundo paso es el fabricar el molde de un material que no presente dificultad al deslizarse en contacto con el patrón y que tenga suficiente fuerza para mantener esa posición.

El molde se diseña de tal manera que pueda abrirse para remover el patrón.

El patrón puede tener rebordes que hagan ranuras en el molde que sirvan de canales para el flujo de material dentro de la cavidad. Si no están estos canales, deben ser hechos en el material del molde.

En uno o en otro caso, debe cortarse y formarse una abertura al exterior llamada esprea.

La cavidad se llena con material líquido fundido

El metal líquido es vertido a través de los canales hasta llenar la cavidad completamente. Después de un tiempo que se permite para que ocurra su solidificación, el molde es abierto. El producto es dispuesto para remover el exceso de metal que tiene solidificado en las ranuras, limpiando y removiendo alguna "rebaba" en el material del molde, e inspeccionando para determinar si los defectos son permitidos en el proceso. La fundición producida así nos da un producto terminado. Este producto ocasionalmente será usado en esta forma, pero frecuentemente se necesita un siguiente proceso de maquinado para dar calidad superficial y dimensional.

SOLIDIFICACIÓN DE METALES.

El proceso de fundición involucra un cambio de estado del material de líquido a sólido con control de forma, establecido durante el cambio de estado. Los problemas asociados con el proceso son principalmente los relacionados con los cambios de estado físico y cambios de propiedades así como la influencia de la variación de la temperatura. La solución de varios problemas de fundición pueden

únicamente ser resueltos entendiendo el proceso de solidificación y los efectos de la temperatura en los materiales.

CONTRACCIONES

Las contracciones ocurren en tres etapas. Y son algunos de los problemas más importantes relacionados con los procesos de fundición. La mayoría de las contracciones ocurren por supuesto cuando el material se comienza a fundir, pero en esto también influye el procedimiento y/o técnicas de fundición. Los tres estados de contracción ocurren cuando la temperatura disminuye desde la del molde metálico hasta la temperatura del lugar.

Contracción en el estado líquido.

En el procedimiento del fundido y la preparación para el vaciado, el metal siempre es calentado arriba de su temperatura de fusión. El calentamiento adicional superior que se requiere para fundirlo es llamado "sobrecalentamiento". Este es necesario para obtener una fluidez del líquido que permita adiciones frías para ser mezcladas en el metal antes de ser vaciado. El "sobrecalentamiento" permite al metal ser transformado para mantener un contacto en frío con el equipo, sin iniciar un enfriamiento y asegura además que haya un tiempo suficiente de enlace antes de que el enfriamiento ocurra para permitir el ajuste del material.

Algo del sobrecalentamiento se pierde durante la transferencia del metal líquido, desde el equipo de fundición al molde. Sin embargo como el metal es vaciado dentro del molde, alguna porción del sobrecalentamiento deberá permanecer para asegurar que el molde continúe lleno.

La pérdida del sobrecalentamiento resulta en la contracción e incremento de la densidad, pero no será tal que ocasione problemas serios en la fundición. El

cambio de volumen puede ser compensado, vaciando material adicional en la cavidad del molde según vaya perdiéndose "sobrecalentamiento". Existe una excepción cuando la cavidad está diseñada de tal manera que parte de esta quizá entre fuera y prevenga el derrame del metal líquido por reemplazo de contracciones.

Contracción en la Solidificación.

La segunda etapa de contracciones ocurre durante la transformación del líquido a sólido. El agua es una excepción a la regla, pero muchos materiales son más densos como sólidos que como líquidos. Los metales se contraen al cambiar de líquidos a sólidos. La contracción volumétrica aproximada en la solidificación para algunos metales comunes se muestran en la siguiente tabla.

TABLA 1.

CONTRACCION APROXIMADA DE SOLIDIFICACION PARA ALGUNOS METALES COMUNES

METAL	PORCENTAJE DE CONTRACCION VOLUMETRICA
Hierro gris	0-2
Acero	2.5-4
Aluminio	6.6
Cobre	4.9

La contracción que ocurre durante la solidificación y la microporosidad que frecuentemente la acompaña son minimizadas en materiales que se acercan a una composición eutéctica. Lo mismo ocurre para enfriamiento más uniforme con gradientes de temperaturas bajos y (NUCLEACION) al azar, produciendo estructura granular fina. La microcontracción es a menudo un problema en fundiciones de aluminio o magnesio.

Macroporosidad

La porosidad de una fundición puede ampliarse por la evolución del gas atrapado antes y durante la solidificación. El gas quizá forme vacíos o burbujas de este mismo o tal vez entre a los huecos de microporosidad para agrandarlos. El gas involucrado es usualmente Hidrógeno, el cual tal vez combine con oxígeno disuelto para formar vapor de agua. El cual está usualmente disperso y abierto a lo largo de las medidas del metal sólido y se conocen como macroporosidad.

Contracción en el estado sólido.

La tercer etapa de contracción es la que ocurre después de que la solidificación tiene lugar y es la primera causa de cambios dimensionales para una medida diferente a la del patrón usado para hacer la cavidad del molde. A pesar de que esta contracción de solidificación quizá contribuya en algunos casos, es en el metal sólido el principal elemento de contracciones típicas, la cual deberá ser permitida para realizar el patrón sobre medida.

ALIMENTACIÓN Y VACIADO DE FUNDICIÓN

Diseño de fundición.

La primer consideración que debe tenerse para obtener buenas piezas, es el diseño de la fundición. Si bien, la contracción volumétrica del líquido se toma en cuenta para reemplazarse por metal vaciado extra en el molde y por presión hidráulica desde partes elevadas en el sistema de fundición, esto puede ser cierto únicamente, sin ninguna parte de la fundición se entria antes de que el reemplazo se lleve a cabo. Excepto por los pequeños vacíos completamente encerrados por metal sólido en el desarrollo de estructuras dendríticas, la contracción de solidificación puede ser compensada si el metal líquido puede ser suministrado progresivamente a la cara de enfriamiento según éste avance.

PUNTOS FOCALES DE SOLIDIFICACIÓN. ZONAS CALIENTES.

Las áreas de temperatura elevada inmediatamente después del vaciado son llamadas "zonas calientes" y se localizan tan cerca como sea posible a la fuente de alimentación de metal.

Si se aíslan por secciones que pronto se enfrían tal vez esto nos impida una buena solidificación direccional, con lo que resulta que contracciones, porosidad, grietas, rupturas o torceduras dañarán la calidad de la fundición. Esto no es siempre necesario inspeccionar completamente en algunas piezas cuando las zonas vulnerables pueden ser determinadas por inspección visual. Los defectos son más probables en zonas calientes creadas por cambios de sección o geometría de las piezas y donde entradas de alimentación y respiradero han sido conectados al sistema de fundición.

Control de Zonas Calientes.

Las zonas calientes son usualmente localizadas en puntos de secciones de grandes dimensiones. Protuberancias, secciones de espesores no uniformes, e intersecciones de miembros son frecuentemente causantes de problemas en la producción de piezas fundidas de alta calidad. La solución de estos problemas involucra cambio de diseño, como muestra la fig. 1.1.2., o vaciado de la fundición de una manera tal que estas zonas dejen de ser fuentes de problemas.

Cambiar el diseño podría incluir el perforado de una saliente para hacerla un cilindro de pared delgada, aligerando salientes, proporcionando secciones de espesor que uniformicen cambios de dimensiones, empleando en el diseño canales delgados en lugar de secciones pesadas, ampliando o extendiendo y haciendo otros cambios que no afectaran la fundición del elemento pero disminuirán el grado de cambio de sección.

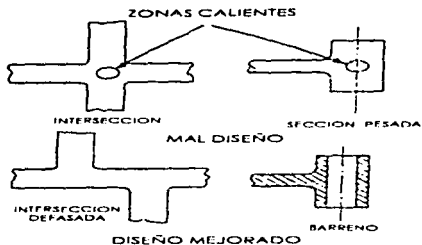


FIGURA 1.1.2
ELIMINACION DE ZONAS CALIENTES

SECCIONES DE ESPESOR UNIFORME DESEABLES.

Como una regla general, los cambios de sección deben ser tan mínimos como sea posible para acercarse a velocidades uniformes de entramiento, y reducir defectos. Cuando se vacía hierro, la sección pesada tiende a solidificarse como hierro gris con precipitación de grafito. Las secciones delgadas del mismo material enfriado a altas velocidades tienden a retener el carbón en el estado combinado como carburo de hierro, con lo que resulta que estas secciones se tornarán duras (en INGLÉS: hierro blanco frágil). Desde aquí se nota la imposibilidad de diseñar formas prácticas sin cambios de sección, procedimiento usual empleado para cambios graduales en las medidas de las secciones y el uso de filetes libres y redondos. Algunos cambios de sección son comparados en la fig. 1.1.3



FIGURA 1.1.3

CAMBIOS DE SECCION EN EL DISEÑO DE LA PIEZA

VACIADO HECHO DESDE CAZOS DE COLADA.

El vaciado es usualmente realizado mediante el uso de cazos de colada para transportar el metal caliente del equipo de fundición al molde. Muchos moldes son pesados y pueden ser fácilmente dañados por sacudidas y recipientes que al recibirlos se mueven de un lugar a otro. Existen excepciones con pequeños moldes o con moldes más pesados, con lo cual es usado un equipo especial, que puede ser transportado o movido a la estación central de vaciado, siempre y cuando, el metal caliente usualmente se vacía desde una colada, hasta que alguna disposición de alta producción haga uso de una estación automática de vaciado donde los canales son colocados sobre el molde y mantenga la correcta cantidad del metal para llenar la cavidad.

VELOCIDAD DE VACIADO

La velocidad de vaciado utilizada en el llenado de un molde es crítica si el metal entra en la cavidad muy lentamente, tal vez enfríe antes de que el molde se llene. Las secciones delgadas que enfrían rápidamente en contacto con las paredes del molde pueden enfriar antes de que el metal atraviese completamente su trayecto, o que el metal fluyendo en una dirección pueda solidificarse y entonces ser encontrado por metal fluyendo a través de otro trayecto para formar un defecto

conocido como "Cold Shut". Aunque el molde sea llenado completamente, el Cold Shut mostrara la costura sobre la superficie de la pieza, el metal no estará solidamente unido y de este modo estará sujeto a una facil ruptura.

Si la velocidad de vaciado es muy elevada, se producirá erosión de las paredes del molde, con inclusiones de arena como resultado, y un mal detallado de la pieza. Altas temperaturas que chocan en el molde tal vez resulten en grietas y pandeos.

La velocidad de vaciado es controlada por el diseño del molde y dimensiones de entrada y orificios de colada. El sistema de colado deberá ser diseñado de manera que cuando el deposito de vaciado se mantenga a tope el resto del sistema se llene completamente con un flujo uniforme de metal.

EFFECTOS DE SOBRECALENTAMIENTO EN LA CALIDAD DE LA FUNDICIÓN.

Los metales son sobrecalentados desde 100°C a 500°C sobre sus temperaturas de fusión para incrementar su fluidez y para permitir perdida de calor antes de que estén en su posición definitiva en el molde. Para obtener buenas piezas fundidas el metal deberá tener el sobrecalentamiento correcto al momento de ser vaciado dentro del molde. Si la temperatura es baja, se muestran flujos de trayectoria equivocada y cold shuts como defectos en la fundición o el metal tal vez entrie en el cazo de colada. Si la temperatura de vaciado es alta, el metal quizás penetre la arena y cause mucha rugosidad en la pieza terminada. También altas temperaturas de vaciado, causan excesiva porosidad o incrementan el desarrollo de gas principalmente formando huecos y aumentan las contracciones a causa de los gradientes térmicos que rompen la solidificación direccional apropiada.

Altas temperaturas de vaciado incrementan la temperatura del molde disminuyendo la temperatura diferencial y reducen la velocidad a la cual se entria la

fundición. Más tiempo a altas temperaturas permite gran crecimiento de los granos conforme la fundición enfría con una débil y burda estructura granular.

EL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

El metal es alimentado dentro de la cavidad que forma la fundición a través de un sistema de alimentación consistente de un depósito de vaciado, un orificio de colada, conductos y entradas internas.

Algunos sistemas típicos se muestran en la fig.1.1.4. Hay muchos diseños especiales relacionados con estos canales y aberturas, cuyo propósito es que mejore la calidad de la fundición.

Las características especiales de un sistema de vaciado son a menudo necesarias para reducir turbulencia y aire atrapado, reducción de velocidad y erosión de arena, y remover material exterior o escoria.

Desafortunadamente ningún diseño universal es satisfactorio para todas las fundiciones o materiales. No hay reglas que puedan ser universales, y la experimentación es comúnmente un requisito para una buena producción de fundición.

La localización o colocación de las conexiones para la entrada o entradas de alimentación, pueden usualmente ser determinadas visualmente. Estas zonas son posibles puntos de concentración de defectos.

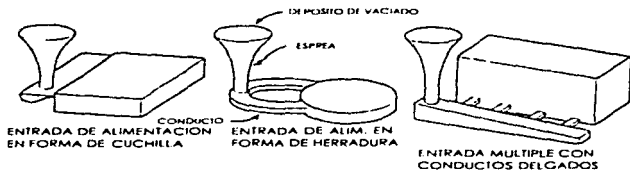


FIGURA 1.1.4

SISTEMAS TÍPICOS DE ALIMENTACION

TECNOLOGÍA DE FUNDICIÓN

Aunque el proceso puede ser usado para formar cualquier tipo de metal, y que ha sido necesario desarrollar un número de diferentes métodos, para alojar igual número de materiales y la satisfacción de otros tantos requerimientos, cada método tiene ciertas ventajas sobre otros, pero todos tienen limitaciones. (Algunos son por restricciones de aplicación especial).

1.2 VACIADO EN MOLDES DE ARENA

La arena es el material comúnmente usado para la construcción de moldes. Existe una gran variedad de tamaños de grano de arena, que combinados entre sí y con otros materiales y procesados de diferentes modos, causa que la arena muestre características convenientes para bastantes aplicaciones en el moldeo. La gran cantidad de fundiciones producto de el moldeo de arena por sobre otros métodos combinados.

PROCEDIMIENTO DE MOLDEO POR ARENA

Los siguientes requerimientos son básicos para el moldeo por arena, y también aplicables para la construcción de otros tipos de moldes.

ARENA.- Sirve como estructura principal del material para el molde.

PATRÓN.- Es la forma propiamente dicha, y el tamaño de la cavidad de la arena.

RECIPIENTE.- Contiene la arena alrededor del patrón, y permite removerlo después de que el molde ha sido hecho.

MÉTODO DE APISONADO.- Compactar la arena alrededor del patrón, para una exacta transferencia de tamaño y forma.

CORAZÓN.- Forma superficies internas en la pieza. (Usualmente no requerida para fundición sin cavidades).

SISTEMA DE ACCESO AL MOLDE.- Provisión de los medios de llenado a la cavidad del molde con metal en la velocidad apropiada para alimentar metal líquido a la cavidad del molde tomando en cuenta la contracción de la fundición durante el enfriamiento y solidificación.

El procedimiento más usual para hacer una fundición simple de arena verde comienza colocando el modelo que debe ser copiado como patrón, en el interior de una de las mitades del recipiente como se muestra en la figura 1.2.1

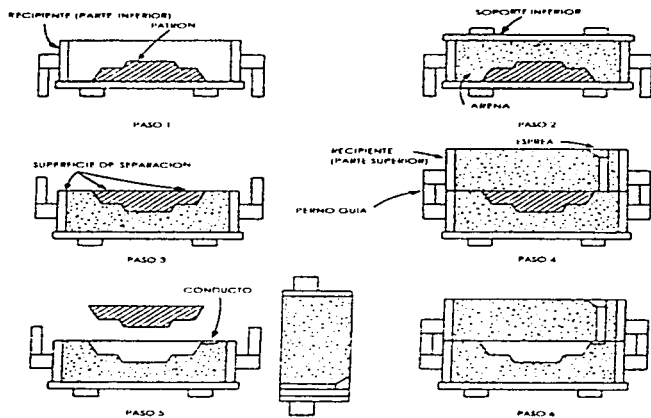


FIGURA 1.2.1

PASOS PRINCIPALES PARA LA FABRICACION DE UN MOLDE DE ARENA

La arena es compactada alrededor del patrón y entre las paredes del recipiente. Después se elimina el exceso de arena, cerrando el recipiente para compactar la arena sobre el patrón. Se remueve el recipiente para exponer la otra parte del patrón. Se espolvorea una pequeña capa compuesta de polvo en la

forma patrón, y en la arena que evita la adhesión. Esta capa debe ser de partículas secas no absorbentes.

Se colada la mitad superior del recipiente permitiendo que la arena reempaque el patrón.

Después de que el orificio de colada sea cortado hasta la línea de separación, la mitad superior del molde puede ser removida, el patrón retirado y el sistema de alimentación se ha completado.

Se ensamblian nuevamente las mitades del molde terminando la operación, y entonces el molde estará listo para el vaciado.

VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LA ARENA VERDE

Arena verde, proceso extremadamente flexible.

Para muchos metales y muchas medidas y formas de productos o piezas, el moldeo en arena verde es el proceso de moldeo más económico de todos. La arena verde puede ser trabajada manual o mecánicamente y, debido a que muchos equipos especiales muy pequeños son necesarios, puede ser barata y fácilmente empleada para una gran variedad de productos. La arena es reutilizable con únicamente ligeras adiciones necesarias para su adecuar su composición. En términos de costos, el proceso de arena verde puede ser el mejor únicamente cuando la cantidad de fundición es lo bastante grande que reduzca costos operacionales comparados con otros procesos, cubriendo más que las altas inversiones originales, o cuando las limitaciones del proceso de la arena verde prevea encontrar consistencia en la calidad requerida.

La arena verde no es aplicable universalmente.

Una de las limitaciones de la arena verde es su poca fuerza en secciones delgadas. No puede ser empleada adecuadamente para piezas de fundición delgadas, largas, o de salientes delgadas. La arena verde además tiende a

aplastarse y cambiar bajo el peso de secciones pesadas. Esta misma debilidad hace que la fundición de piezas complicadas (intrincadas) también se dificulte. La humedad presentada en la arena verde produce vapor al entrar en contacto con el metal caliente. La incapacidad del vapor y otros gases para escapar causan problemas con algunos diseños de fundición, teniendo como resultado la aparición de burbujas.

MOLDES DE ARENA SECA

Eliminación de humedad, reducción de defectos.

Las mejoras en calidad de fundición pueden algunas veces ser obtenidas mediante el uso de moldes de arena seca. Los moldes son hechos de arena verde para reducir su humedad en hornos de secado. La ausencia de humedad, elimina la formación de vapor de agua y reduce los defectos tipo de fundición que son debidas a la formación de gas. El costo de calentar, el tiempo requerido para el secado del molde, y la dificultad de manejar moldes pesados sin dañarlos, hace que el proceso sea comparado con el moldeo en arena verde, y este es empleado mayormente cuando la formación de gases debido a la humedad, presentara serios problemas.

1.3 VACIADO EN MOLDES PERMANENTES

Los moldes permanentes se emplean para vaciar centenares o miles de piezas, con ritmos de fabricación desde 10 hasta 30 piezas por hora.

Este proceso es muy practico, ya que no requiere moldeo ni desmoldeo la cavidad está formada permanentemente en el molde, interviniendo solamente este, los corazones y el metal.

Los corazones tienen la misma función que el vaciado en arena, variando únicamente el material y la técnica de empleo, pues también son permanentes.

Los moldes permanentes son mas usados para fundiciones de aleaciones de aluminio, cobre, magnesio y zinc. El hierro es ocasionalmente vaciado en moldes permanentes que tienen vida útil corta debido a las altas temperaturas de operación.

Alta exactitud y buen acabado.

El costo de los moldes algunas veces se refiere a los traqueles, y la operación del mecanismo para el cual son abiertos y cerrados es alta pero la fundición de moldes permanentes tiene demasiadas ventajas sobre la fundición de arena para altas producciones. Las tolerancias dimensionales son mas consistentes y pueden ser manufacturadas a ± 0.25 mm. Aproximadamente (0.01 pulg). La mayor conductividad de calor a través del metal del molde causa una acción de enfriamiento, produciendo piezas de fundición en una estructura granular mas fina, fuerte y dura.

El espesor mínimo práctico de una sección para moldes permanentes es alrededor de 3 mm. (0.25 pulg). La mayoría de las piezas de fundición son menores de 30 cm. (12 pulg) en diámetro y 10 Kg. (22 lb) en peso. El proceso es usado en la manufactura de cabezas cilíndricas automotrices, pistones de automóvil, barras de conexión de máquinas de baja potencia, y muchas otras piezas de fundición de aleaciones no ferrosas necesarias en grandes cantidades.

TROQUELES DE FUNDICION

En la fundición con troqueles la presión es aplicada al metal líquido para causar en este un flujo rápido y uniforme dentro de la cavidad del molde. El troquel es hecho de metal, usualmente de hierro o acero fundido. Tiene líneas de separación a lo largo, lo cual le permite abrirlo para extraer la pieza fundida, y es construido con pequeños ángulos en las paredes para reducir el trabajo de extracción y alargar la vida del troquel. Ventilaciones en forma de ranuras o pequeños agujeros se presentan para permitir el escape de aire conforme el metal líquido llena el troquel.

Troqueles de fundición con cámara caliente.

Las máquinas en las cuales los troqueles son usados, son ligeramente diferentes por que, además de cerrarse y abrirse las partes del troquel deben proveer metal líquido bajo presión para llenar la cavidad. El troquel de fundición con cámara caliente (figura 1.3.1) mantiene metal fundido en una cámara a través del cual un pistón se mueve dentro de un cilindro para aumentar la presión forzando el metal dentro del troquel.

El empleo de la cámara caliente está restringido a bajas presiones, del orden de los 14Mpa. (2 000 psi).

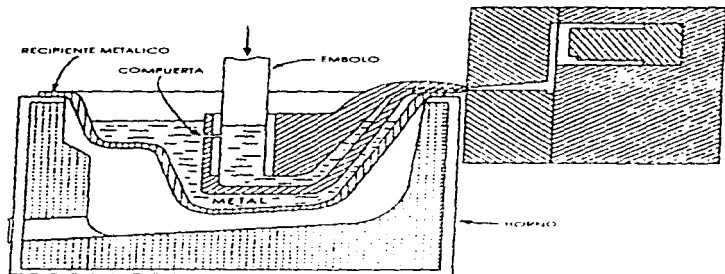


FIGURA 1.3.1
TROQUEL DE FUNDICION CON CAMARA CALIENTE

Troqueles de fundición con cámara fría

Con el equipo de cámara fría, como el mostrado en la fig.1.3.2, el metal fundido es vaciado dentro de la cámara y el pistón avanza para forzar al metal al interior del troquel.

Aleaciones de aluminio, cobre y magnesio son fundidas por este método con presiones del líquido tan altas como 210 Mpa. (30 000 psi).

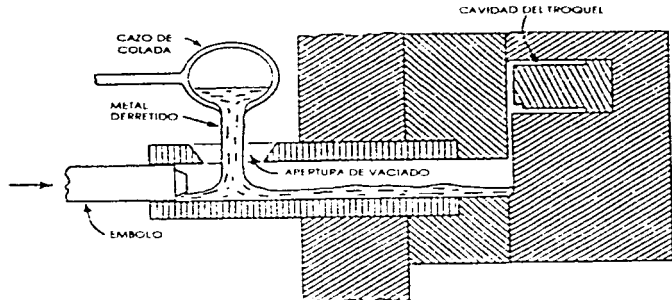


FIGURA 1.3.2

TROQUEL DE FUNDICION CON CAMARA FRIA.

Fundiciones de alta calidad

Las secciones tan delgadas como 0.4 mm de tolerancias tan pequeñas como 0.05 mm pueden ser fundidas con un acabado superficial muy bueno por este

proceso. Las propiedades del material son probablemente para elevarse, debido a que la presión mejora la densidad del metal, y un rápido enfriamiento por lo que el moldeo del metal produce buenas propiedades de resistencia. Además del alto costo inicial, la principal limitante de fundición por troquel, es que no puede ser empleada para materiales de muy alta resistencia. Sin embargo, aleaciones de temperaturas bajas son comúnmente desarrolladas, y con sus mejoras, la fundición con troqueles será más y más utilizada.

1.4 MOLDES METÁLICOS

Se utiliza, principalmente para el vaciado a presión.

El material de estos moldes debe soportar las temperaturas elevadas de los metales que se vacían en ellos: su costo es alto debido al maquinado preciso que requieren y que aún posee un alto porcentaje de trabajo manual. Su utilización se justifica únicamente cuando se requieren fabricaciones en medianas o grandes series.

Su utilización se limita únicamente para vaciar piezas medianas de materiales cuyo punto de fusión sea menor de 900 °C.

Muchos moldes metálicos son reutilizables muchas veces. Su vida dependerá, en gran medida de la intrincado del diseño de la fundición y la temperatura del metal que es vaciado dentro del molde. El hierro y el acero fundido son los materiales más comunes con los que se fabrican moldes.

Los procesos de moldeo metálico no se refieren a equipos para patrones, pero sí para un molde metálico realizable que es en sí mismo un patrón reversible en el cual la fundición se hace diferente.

1.5 MOLDES NO METALICOS.

Fundición con Revestimiento

La fundición con revestimiento (fig.1.5.1) también se conoce como fundición de precisión, y como el proceso de cera perdida.

El proceso ha sido empleado en odontología por muchos años; un nuevo patrón de cera es necesario para muchas piezas a fundir. Para piezas sencillas, el patrón de cera puede hacerse directamente por impresiones como una dentadura, por moldeo o esculpiendo como al hacer una estatua, o por algún método que forme la cera para obtener la figura deseada en la fundición.

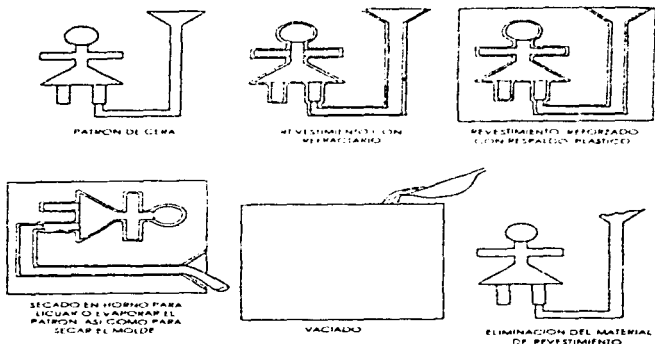


FIGURA 1.5.1

PASOS PARA LA FUNDICIÓN CON REVESTIMIENTO

Patrón muestra para el duplicado de partes.

La producción múltiple requiere iniciar con un patrón maestro sobre el cual se haga un troquel metálico. El troquel metálico puede ser usado para hacer cualquier número de patrones cerámicos. Un sistema de alimentación deberá ser parte del patrón de cera y podrá ser producido en el troquel metálico, o colocado después de remover el troquel. Cuando se completa, el patrón de cera es inmerso en un baño de material refractario fino y entonces es revestido (plástico de París o mezcla de materiales cerámicos con altas propiedades refractarias). La cera es entonces

removida del molde de calentamiento para licuarla y hacerla fluir pudiendo ser aprovechada nuevamente. Los moldes revestidos son precalentados a temperaturas idóneas de vaciado, usualmente entre 600 °C y 1100°C, dependiendo del metal que esta llenando el molde.

Después de vaciar y solidificarse, el revestimiento se rompe para liberar la pieza fundida y para remover el sistema de alimentación y dar la limpieza final.

PROCESOS LIMITADOS A PEQUEÑAS FUNDICIONES

La fundición con revestimiento es limitada a pequeñas piezas, usualmente abajo de 2 k.g. (4.4 libras) de peso. La principal ventaja de los procesos es la habilidad para producir piezas complicadas con tolerancias dimensionales muy reducidas. Altas temperaturas de fusión de los materiales que son difíciles de fundir por otros métodos, pueden hacerse de esta manera, debido a que el material de revestimiento del molde puede elegirse para propiedades refractarias que pueden soportar esas altas temperaturas. En muchos casos, la presión es aplicada al metal fundido para mejorar el flujo y la densidad de tal manera que las secciones delgadas puedan ser vaciadas por este método.

Alta calidad a alto costo.

En los procedimientos que mas se siguen para moldeo y fundición con revestimiento se tienen altos costos.

La precisión de los productos terminados, la cual talvez elimine o reduzca problemas de maquinado, puede mas que compensar el elevado costo de fundición con algunos materiales y para algunas aplicaciones.

Un numero importante de piezas, algunas de materiales nuevos o exóticos son manufacturados actualmente por fundición con revestimiento. Muchas de estas, tales como las aspas de aleaciones de alta resistencia para turbinas de gas, requieren inspecciones no destructivas (NDT) por radiografía y metodos de líquidos penetrantes para asegurar que únicamente piezas de alta calidad se tengan en servicio.

FUNDICIÓN CON MOLDES PLÁSTICOS

Existen moldes hechos de plástico de Paris con adiciones tales como talco, asbestos, polvo de silicio, arena, y otros materiales para variar las propiedades de los moldes, que son usados unicamente para fundiciones de metales no ferrosos. Los moldes plasticos producen una buena calidad de acabado y dimensiones de buena precisión, así como detalles complicados.

El procedimiento es similar al que se emplea en moldes de arena seca.

El material plastico deberá tener tiempo para solidificar, despues ser revestido y completamente secado en horno, removiéndolo luego, antes de que se inicie el vaciado.

Enfriamiento lento de la fundición

El molde seco es un buen aislador, lo cual es tanto una ventaja como una desventaja. La propiedad aisladora permite bajas velocidades de vaciado con menos sobrecalentamiento de el metal liquido. Esto contribuye a disminuir contracciones, menos gases atrapados por turbulencia, y mayor oportunidad de que los gases involucrados escapen del metal antes de la solidificación. En otras palabras, debido al lento enfriamiento, los moldes de plástico no serán aplicables cuando el crecimiento granular sea un problema serio.

CAPITULO 2

DEFECTOS EN LOS PRODUCTOS ELABORADOS POR FUNDICIÓN.

En fundición las fallas en la calidad de piezas son referidas como discontinuidades. Algunos defectos de las fundiciones quizá no tengan influencia en la vida de servicio (vida útil) de componentes de fundición, pero tendrán una apariencia inaceptable o insatisfactoria y se les hará un proceso posterior, tal como maquinado, más costoso. Muchos defectos así pueden ser fácilmente corregidos por limpieza con granalla o con chorro de arena.

Una de las más críticas determinaciones de la calidad de fundición a la vista de los compradores de piezas fundidas es la exactitud dimensional. Partes que están dentro de tolerancia dimensional, dan la ausencia de otros defectos de fundición, pueden ser maquinadas, ensambladas y usadas para su futura fundición con un mínimo de pruebas y costos de inspección. Los mejores compradores de productos de fundidos están demandando evidencias estadísticas en lugar de que tolerancias dimensionales sean mantenidas. Además el análisis estadístico en procesos caseros ha demostrado que es efectivo para mantener estos procesos bajo control, además reducir desperdicios y costos extras por retrabajos.

Otros defectos que tal vez sean más difíciles de remover pueden ser aceptables en algunas ocasiones, dependiendo de su localización y trazos. El diseño de piezas de fundición deberá comprender las diferencias y contar con especificaciones descritas que conozcan las verdaderas necesidades de diseño.

2.1.- CLASIFICACIÓN DE DEFECTOS DE FUNDICIÓN

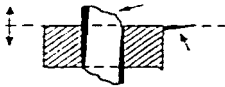



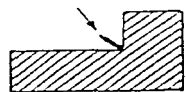

Los fundidores tradicionalmente han empleado muchos nombres únicos, tales como escoria, hebilla y cerrojos, para describir varias imperfecciones de fundición. Desafortunadamente, los fundidores tal vez usan diferente nomenclatura para describir los mismos defectos. El Comité Internacional de Técnicas de Fundición Asociación, ha estandarizado la nomenclatura, iniciando con la identificación de siete categorías básicas de defectos en fundición:

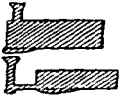






- Protuberancias Metálicas
- Cavidades
- Discontinuidades
- Defectos
- Fundición incompleta
- Dimensiones incorrectas
- Inclusiones o anomalías estructurales

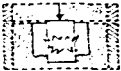
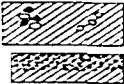
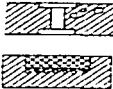



En este plano, el término DISCONTINUIDAD tiene el significado específico de una separación coplanar del metal, esto es, una grieta.







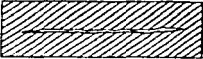
La tabla 2, presenta algunos de los defectos comunes en cada categoría. En general, defectos que pueden funcionar como concentradores de esfuerzos o provocar grietas que pudieran ser más serias. Esto incluye la preexistencia de grietas, vacíos internos e inclusiones no metálicas.

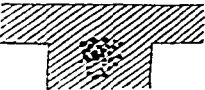


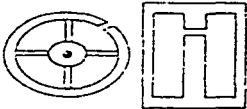

TABLA 2 "CLASIFICACION INTERNACIONAL DE DEFECTOS COMUNES EN FUNDICION"



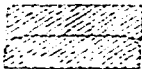
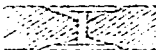

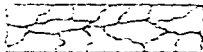
No	Descripcion	Nombre Comun	Esquema
Protuberancias Metálicas			
A 100	Protuberancias Metálicas en forma de viruta o rebaba.		
A 110	Protuberancias metálicas en forma de viruta o rebaba sin cambio en las principales dimensiones de la pieza fundida.		
A 111	Rebabas delgadas en la línea de separacion o en la marca del corazon	Virutas o rebabas	
A 112	Protuberancias en forma de vetas sobre la superficie de la fundicion	Veteado	
A 113	Red de protuberancias sobre la superficie de piezas fundidas en troquel.	Troquel cuarteado por calor	
A 114(a)	Protuberancia delgada paralela a una superficie de la pieza, en angulos re-entrantes	Costra en forma de filete.	
A 115	Protuberancia metálica delgada, localizada en un angulo re-entrante y dividiendo el ángulo en dos partes.	Veta en forma de filete	
A 120	Protuberancias metálicas en forma de rebabas con cambio en las dimensiones principales de la pieza fundida.		
A 123(a)	Formacion de rebabas en planos relacionados a la direccion de ensamble del molde (fundicion precisa con patron malogrado); cambio en las dimensiones principales de la fundicion	Molde roto o agrietado	



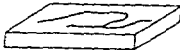
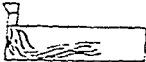
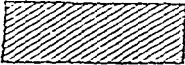

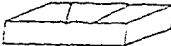
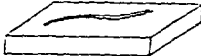
No	Descripción	Nombre Común	Esquema
A 200	Protuberancias macizas.		
A 210	Crecimientos.		
A212(a)	Exceso de metal cercano a la entrada de alimentación o debajo de la espesa.	Erosión, reducción o destape.	
A213(a)	Protuberancias metálicas en forma de áreas extendidas en dirección del ensamble del molde.	Aglomeración.	
A 220	Protuberancias con superficies toscas.		
A221(a)	Protuberancias con superficies toscas en la capa superior de la pieza fundida.	Molde caído.	
A222(a)	Protuberancias con superficies toscas en la parte inferior de la fundición (protuberancias macizas)	Corazon elevado o elemento del molde separado.	
A223(a)	Protuberancias con superficies toscas en la parte inferior de la fundición (en áreas dispersas).	Elevación de arena.	
A224(a)	Protuberancias con superficies toscas, en otras partes de la pieza fundida.	Molde caído.	
A225(a)	Protuberancias con superficies toscas sobre áreas extensas de la pieza fundida.	Costra en el ángulo	



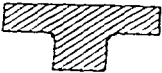
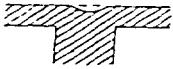

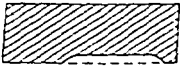
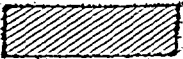
No.	Descripción	Nombre Común	Esquema
A226(a)	Protuberancias con superficies toscas en un área formada por un corazón.	Aplastamiento o ruptura del corazón.	
Cavidades			
B100	Cavidades con paredes lisas generalmente redondeadas, perceptibles a simple vista (porosidad y burbujas).		
B110	Cavidades Clase B100 internas en la pieza, sin propagarse a la superficie, detectables únicamente por métodos especiales, maquinado o ruptura de la fundición.		
B111(a)	Cavidades internas redondeadas, generalmente de paredes lisas, de diversos tamaños, aisladas o agrupadas irregularmente en todas las áreas de la pieza	Porosidad, burbujas	
B112(a)	Tal como el punto anterior, pero limitado a la cercanía de piezas metálicas colocadas en el molde (enfriadores, insertos, chaplets, etc.)	Burbujas adyacentes a insertos, enfriadores, chaplets, etc.	
B113(a)	Como en B111, pero acompañado por inclusiones de escoria (G122).	Burbujas con escoria	
B120	Cavidades clase B100 localizadas en la superficie de la fundición o cercanas a ella, ampliamente expuestas o al menos en contacto con el exterior.		
B121(a)	Cavidades expuestas de diversos tamaños, aisladas o agrupadas frecuentemente en la superficie o cercanas a ella, con paredes brillantes.	Burbujas superficiales o subsuperficiales.	
B122(a)	Cavidades expuestas en ángulos re-entrantes de la pieza, extendiéndose frecuentemente hacia adentro de forma profunda.	Burbujas en esquinas, rechupes.	







No	Descripción	Nombre Común	Esquema
B123	Porosidad fina (cavidades) en la superficie de la pieza, apareciendo sobre áreas mas o menos extensas	Porosidad superficial	
B124(a)	Cavidades pequeñas, estrechas, en forma de grietas, apareciendo sobre las caras o a lo largo de las orillas, generalmente después del maquinado	Contracción dispersa	
B200	Cavidades con paredes generalmente rugosas, contraídas.		
B210	Cavidades abiertas de Clase B200, con penetración profunda en la pieza.		
B211(a)	Cavidad abierta, en forma de embudo; paredes usualmente cubiertas por dendritas	Contracción abierta o externa	
B212(a)	Cavidad abierta, puntiaguda localizada en los fillos de piezas gruesas o en la entrada de alimentación	Contracción en esquinas o de filetes	
B213(a)	Cavidades abiertas, extendidas desde un corazon	Contracción en la zona de un corazon	
B220	Cavidades clase B200 localizadas completamente en el interior de la pieza fundida.		
B221(a)	Cavidad interna, irregularmente formada, paredes frecuentemente dendríticas	Contracción interna u oculta	
B222(a)	Cavidad interna o área porosa a lo largo de un eje central.	Contracción axial o en línea central.	

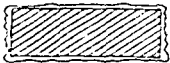



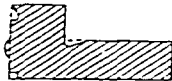
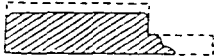


No	Descripción	Nombre Común	Esquema
B300	Estructuras porosas causadas por numerosas cavidades pequeñas.		
B310	Cavidades acorde a B300, apenas perceptibles a simple vista.		
B311(a)	Contracción dispersa, con delgadas paredes de dendritas esponjosas en la pieza fundida, apenas perceptible a simple vista.	Macro o micro-contracción, contracción porosa	
Discontinuidades			
C100	Discontinuidades, generalmente en intersecciones, causadas por efectos mecánicos (ruptura).		
C110	Agrietamiento normal.		
C111(a)	Aparición de fracturas normales, algunas veces con marcas adyacentes de mella o corte.	Resquebrajamiento en frío.	
C120	Agrietamiento con oxidación.		
C121(a)	Fracturas superficiales ovoidadas completamente alrededor de las orillas	Agrietamiento por calor o en caliente	
C200	Discontinuidades causadas por tensión interna y estrechamiento por contracción (grietas y desgarres).		
C210	Agrietamiento o desgarre en frío.		
C211(a)	Discontinuidades con aristas u orillas cuadradas en áreas susceptibles a esfuerzos de tensión durante el enfriamiento; superficie no ovoidada.	Desgarre en frío.	
C220	Agrietamiento o desgarre en caliente.		
C221(a)	Discontinuidades de formas irregulares en áreas susceptibles a la tensión; superficie de la fractura ovoidada mostrando un patrón dendrítico.	Desgarre en caliente.	


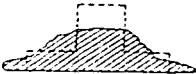

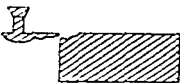
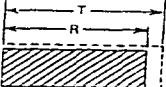
No	Descripcion	Nombre Común	Esquema
C222(a)	Ruptura posterior a la solidificación completa, ya sea durante el enfriamiento o durante el tratamiento termico	Agrietamiento por templado en liquido	
C300	Discontinuidades causadas por falta de fusión: orillas generalmente redondeadas, indicando contacto pobre entre las diversas corrientes de metal durante el llenado del molde.		
C310	Falta de fusión completa en la ultima porción del metal fundido para el vaciado.		
C311(a)	Separación completa o parcial de la pared de la pieza, frecuentemente en un plano vertical	Plegue de laminacion en frio, traslape en frio	
C320	Falta de fusión entre dos partes de la pieza fundida.		
C321(a)	Separación de la pieza en un plano horizontal	Interrupción en el vaciado	
C330	Escasez de fusión alrededor de los chaplets, enfriadores internos e insertos.		
C331(a)	Discontinuidad local en la cercanía de insertos metálicos	Corrimiento en frio de chaplets o insertos, chaplet no fusionado	
C400	Discontinuidades causadas por defectos metalúrgicos.		
C410	Separación a lo largo de la frontera reticular (superficie limite de los granos).		
C411(a)	Separación a lo largo de la superficie limite de los granos de la cristalización primaria.	Fractura en forma de concha o "rock candy"	
C412(a)	Red de grietas sobre la sección transversal entera.	Corrosión intergranular.	

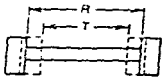
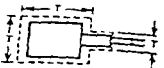
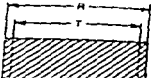


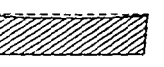

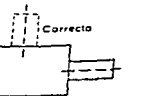
No	Descripción	Nombre Común	Esquema
Superficie defectuosa			
D100	Superficies irregulares en la pieza.		
D110	Arrugas o pliegues marcados en la superficie de la pieza.		
D111	Arrugas o pliegues marcados en áreas extensas de la fundición	Superficie arrugada o plegada	
D112	La superficie se muestra como una red de arrugas o pliegues dentados (hierro ductil)	Piel de elefante, capa exterior defectuosa	
D113	Pliegues o arrugas en formas ondulares sin discontinuidades, bordes de los pliegues al mismo nivel, la superficie de la pieza es lisa	Hendiduras, costuras o cicatrices	
D114	Marcas en la superficie de la pieza mostrando la dirección del flujo del metal líquido (aleación ligera)	Marcas de flujo	
D120	Superficies ásperas.		
D121	La profundidad de la rugosidad en la superficie es aproximadamente igual a las dimensiones de los granos de arena	Superficie de la fundición áspera	
D122	La profundidad de la rugosidad en la superficie es más grande que las dimensiones de los granos de arena	Aspereza severa, defecto por alta presión en el molde	
D130	Ranuras, muescas sobre la superficie de la pieza.		
D131	Ranuras de diversas longitudes, a menudo bifurcadas, con bases y bordes suavizados.	Bucle, rizo.	
D132	Ranuras de hasta 5-1 mm (0.2") de profundidad, una de las orillas formando un pliegue, el cual cubre más o menos por completo la ranura o muesca	Cola de rata.	



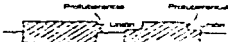
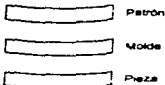
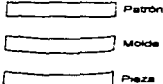
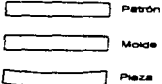
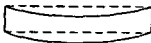
No	Descripción	Nombre Común	Esquema
D133	Depresiones irregularmente distribuidas de diversas dimensiones extendidas sobre la superficie de la pieza, usualmente a lo largo de la trayectoria de flujo del metal (en fundiciones de acero)	Marcas de flujo, patas de gallo	
D134	Superficies de la pieza completamente picada	Cáscara de naranja, reacción del metal del molde, piel de coque	
D135	Ranuras o muescas y rugosidad cercanamente a los ángulos de re-entrada en piezas fundidas por troquel.	Troquel o dado erosionado	
D140	Depresiones en la superficie de la pieza.		
D141	Depresiones en la superficie de la fundición cerca de una zona caliente.	Marcas de hundimiento, rechupes	
D142	Pequeñas cavidades superficiales en forma de gotitas o zonas poco profundas, generalmente en color verde grisáceo	Inclusiones de escoria	
D200	Defectos superficiales serios.		
D210	Mella profunda en la superficie de la pieza.		
D211	Mella profunda, frecuentemente sobre un área extensa de la mitad inferior de la pieza.	Levantamiento	
D220	Adherencia de la arena, mas o menos vitrificada.		
D221	Capa de arena fuertemente adherida a la superficie de la pieza.	Cocido	


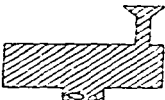




No.	Descripción	Nombre Común	Esquema
D222	Capa muy adherida de arena parcialmente fundida.	Quemado	
D223	Conglomerado de arena y metal fuertemente adheridos en los puntos más calientes de la fundición (en ángulos de re-entrada y corazonos).	Penetración de metal.	
D224	Fragmentos de material del molde enclavados en la superficie de la pieza.	Costra	
D230	Protuberancias metálicas en forma de placas con superficies toscas, usualmente paralelas a la superficie de la pieza.		
D231(a)	Protuberancias metálicas en forma de placas con superficies toscas, paralelas a la superficie de la pieza; removibles por medio de esmeril o cincel.	Costras, expansión de costras.	
			
			
D232(a)	Tal como arriba, pero imposibles de eliminar excepto por maquinado, rectificado o esmerinado.	Capa astillada, costra pegada.	






No.	Descripción	Nombre Común	Esquema
D240	Adherencia de óxidos posterior al tratamiento térmico (recocido, templado, maleabilizado) por descarbonización.		
D241	Adherencia de óxido posterior al recocido.	Escama de óxido.	
D242	Adherencia de mineral posterior al maleabilizado (corazon blanco maleable)	Paquetes de material adherente	
D243	Escamado posterior al recocido	Escamado	
Fundición Incompleta			
E100	Falta de porciones de la fundición (sin fractura).		
E110	Variaciones superficiales en la forma del patrón.		
E111	La pieza esta esencialmente completa, excepto por orillas y esquinas mas o menos redondeadas.	Falta de flujo	
E112	Orillas y contornos deformados debido a un molde mal reparado o desecado en el recubrimiento de capas deslavadas.	Recubrimiento defectuoso o molde mal reparado.	
E120	Variaciones serias de la forma del patrón.		
E121	Fundición incompleta debida a una solidificación prematura.	Falta de flujo	
E122	Fundición incompleta debida a insuficiente vaciado de metal.	Vaciado incompleto.	
E123	Fundición incompleta debida a perdida de metal desde el molde, posterior al vaciado.	Derivación.	

No	Descripción	Nombre Común	Esquema
E124	Falta significativa de material debida a excesiva limpieza por granallado	Limpieza excesiva.	
E125	Fundición parcialmente derretida o seriamente deformada durante el recocido	Fusión o derretimiento durante el tratamiento termico	
E200	Pérdida de porciones de la pieza (con fractura).		
E210	Fundición fracturada.		
E211	Pieza rota, perdida de secciones grandes; superficie de fractura no oxidada.	Pieza fracturada	
E220	Pieza rota desde el vaciado.		
E221	Dimensiones de fractura correspondientes a entradas de alimentación, ventilas, etc.	Pieza rota (en entradas de alimentación, aereadores o respiraderos)	
E230	Pieza rota con fractura oxidada.		
E231	La apariencia de la fractura indica exposicion a la oxidacion durante el calentamiento.	Sacudida prematura.	
Dimensiones o formas incorrectas			
F100	Dimensiones incorrectas, forma correcta.		
F110	Todas las dimensiones de la fundición son incorrectas.		
F111	Todas las dimensiones de la pieza son incorrectas en las mismas proporciones.	Contraccion admisible impropia.	

No	Descripción	Nombre Común	Esquema
F120	Ciertas dimensiones de la pieza son incorrectas.		
F121	Distancia demasiado grande entre proyecciones extendidas	Interrupción en la contracción.	
F122	Ciertas dimensiones inexactas	Contracción irregular.	
F123	Dimensiones demasiado grandes en dirección del golpeo del patrón	Exceso de golpeo del patrón.	
F124	Dimensiones demasiado grandes en dirección perpendicular a la línea de separación.	Expansión del molde durante la solidificación.	
F125	Espesor excesivo de metal, ubicados irregularmente en el exterior de la pieza	Aplonamiento suave o insuficiente, movimiento de las paredes del molde.	
F126	Paredes delgadas de la pieza sobre áreas generales, especialmente en superficies horizontales	Fundición deformada.	
F200	Forma incorrecta de la pieza en su totalidad o en ciertos lugares.		
F210	Patrón incorrecto.		
F211	La fundición no está conforme a la forma proyectada, en algunos o en muchos aspectos, al igual que el patrón.	Error en el patrón.	
F212	La forma de la pieza es diferente a la proyectada, en un área particular; el patrón es correcto	Montaje erróneo del patrón.	

No	Descripción	Nombre Común	Esquema
F220	Desvío o desajuste		
F221	La pieza parece haber sido sujeta a una acción de corte en el plano de la línea de separación.	Desvío	
F222	Variación en la forma de una cavidad interna de la pieza a lo largo de la línea de separación del corazón	Desvío del corazón	
F223	Protuberancias irregulares en superficies verticales, generalmente solo en un lado, cercanas a la línea de separación.	Recapitonado	
F230	Deformaciones de una forma correcta.		
F231	Deformación con respecto al proyecto, proporcional para la pieza, el molde y el patron	Patrón deformado.	 <p>Patrón Molde Pieza</p>
F232	Deformación con respecto al proyecto, proporcional para el molde y la pieza; patron conforme al proyecto	Molde deformado, deformación residual.	 <p>Patrón Molde Pieza</p>
F233	Pieza deformada con respecto al proyecto, patron y molde conforme al proyecto.	Pieza deformada.	 <p>Patrón Molde Pieza</p>
F234	Pieza deformada con respecto al proyecto, posterior al almacenamiento, recocido o maquinado.	Fundición distorsionada.	

No	Descripción	Nombre Común	Esquema
Inclusiones o anomalías estructurales			
G100	Inclusiones.		
G 110	Inclusiones metálicas.		
G111(a)	Inclusiones metálicas cuya apariencia, análisis químico o examinación estructural muestran haber sido causadas por un elemento extraño a la aleación	Inclusiones metálicas	
G112(a)	Inclusiones metálicas de la misma composición química que el metal base, generalmente esféricas y frecuentemente recubiertas con óxido	Cold shot	
G113	Inclusiones metálicas esféricas dentro de burbujas u otras cavidades o en depresiones superficiales (ver A311) Composición aproximada a la de la aleación fundida pero cercana a la de una eutéctica	Sudoración interna, condensación de fosfuros.	
G120	Inclusiones no metálicas: escoria, basura, agentes fundentes.		
G121(a)	Inclusiones no metálicas cuya apariencia o análisis muestran que surgen de escoria fundida, a consecuencia del tratamiento del metal o de agentes fundentes	Inclusiones de escoria, basura o agentes fundentes, ceróxidos	
G122(a)	Inclusiones no metálicas generalmente impregnadas con gas y acompañadas por burbujas (B113)	Defectos por escoria y burbujas	
G130	Inclusiones no metálicas; materiales del molde o corazón.		
G131(a)	Inclusiones de arena, generalmente muy cercanas a la superficie de la pieza.	Inclusiones de arena.	

No	Descripción	Nombre Común	Esquema
G132(a)	Inclusiones de revestimiento del molde, generalmente muy cercanas a la superficie de la pieza	Inclusiones con revestimiento refractario	
G140	Inclusiones no metálicas; óxidos y productos de reacción.		
G141	Zonas negras, claramente definidas e irregulares en la superficie fracturada de piezas de hierro dúctil	Zonas negras	
G142(a)	Inclusiones en forma de películas de óxido, causando una cicatriz local notoria	Inclusión o película de óxido, cicatrices	
G143(a)	Películas de grafito lustroso plegadas en la pared de la pieza	Películas de carbón lustroso	
G144	Inclusiones duras en piezas de aleaciones de aluminio obtenidas por molde permanente o por troquel de fundición.	Zonas endurecidas.	

* (a).- Defectos que bajo algunas circunstancias podrían contribuir, ya sea directa o indirectamente, a fallas en la pieza fundida.

CAPITULO 3

PROCEDIMIENTOS COMÚNES DE INSPECCIÓN

La inspección de piezas fundidas es muy a menudo limitada a la inspección visual y dimensional, pruebas de peso, pruebas o ensayos de dureza. Sin embargo para fundiciones que serán usadas en aplicaciones críticas, tales como componentes automotrices o aeroespaciales, métodos adicionales de inspección no destructivos son usados para determinar y controlar la calidad de los productos de fundición.

3.1 INSPECCION VISUAL

La inspección visual de cada pieza asegura que ninguna de sus características ha sido omitida o malformada por error de moldeo, insuficiencias o incorrecta limpieza. Siendo defectos superficiales y rugosidades las que pueden observarse en este etapa estado.

Una muestra de piezas iniciales a partir de un nuevo patrón debe ser cuidadosamente inspeccionado por defectos obvios. La inspección por líquidos penetrantes puede ser usada para detectar defectos superficiales. Imperfecciones de fundición tales como contracciones, grietas, burbujas o escoria, usualmente indican la necesidad de un ajuste en las formas o técnicas de fundición. Si la pieza aparenta ser satisfactoria mediante inspección visual, la calidad interna debe ser verificada por inspección radiografía y ultrasónica.

La primera operación de inspección visual en la producción de piezas por fundición es usualmente realizada inmediatamente después de sacar la pieza fundida, asegurando que existe una mejor visibilidad de las imperfecciones siendo detectadas tan pronto como sea posible. Esta información es transmitida rápidamente a la fundición y permite acciones correctivas oportunas para obtener un mínimo de desperdicio del material. El tamaño y complejidad de algunos moldes de arena requieren que las entradas de alimentación y respiraderos sean removidas para permitir una adecuada inspección de las piezas.

Muchas piezas de fundición que contienen numerosos corazones o tienen tolerancias dimensionales muy pequeñas, requieren un rápido pero constante aseguramiento de dimensiones críticas de paredes. En algunos casos, un indicador tipo calibrador galga es apropiado para este trabajo, y existen tipos especiales para piezas de fundición con formas no estandarizadas.

Resientes desarrollos en procedimientos de inspección visual para examinar la apariencia de los componentes son principalmente basados en sistemas ópticos que usan cámaras electrónicas acopladas a computadoras (asistencia por computadora) y sistemas de imagen-procesador.

Con el desarrollo de cámara de alta sensibilidad se tienen exposiciones a veces de 1/1000 seg., pudiendo inspeccionar componentes en bandas móviles. La flexibilidad para inspeccionar componentes en tres dimensiones, se emplea una red de cámaras múltiples acopladas a un procesador de imágenes común o con un controlador computarizado de sistemas de cámaras escudriñadoras.

Sistemas como este, han sido ser exitosamente aplicados para la inspección en la industria electrónica de circuitos impresos o tarjetas, y en la ingeniería automotriz en ensambles de lo manufacturado.

Estudio que han sido llevados a cabo para estimar la posibilidad de extender tales métodos a fundiciones de hierro han tenido resultados alentadores. El contraste entre áreas afectadas y sin defecto es bajo, la iluminación es crítica y estándares consistentes de inspección son difíciles de mantener debido a las diferencias a las diferencias en reflejo de las diferencias de las superficies de las piezas fundidas, lo cual depende en todo caso de que ha estas les haya sido aplicados un granallado para su limpieza.

Aun la simple tarea de identificar fundiciones es difícil; para determinar su tipo de la mejor manera se aplica la examinación de su silueta a contra luz, pero esto no provee ventajas al examinar su calidad.

3.2 INSPECCIÓN DIMENSIONAL.

La consistencia en las dimensiones es un requerimiento inevitable muy solicitada para la calidad de piezas fundidas. Los consumidores no aceptarán incrementos en el costo por maquinados para eliminar inconsistencias en dimensiones.

La prevención va de la mano con el control en las fundiciones.

Diferencias en el tamaño del patron cuando se usan placas multicalibradores, pueden ser virtualmente eliminadas por el uso del diseño y métodos de manufactura asistidos por computadora y maquinas de control numerico en la elaboración de patrones.

La mejora de métodos y procesos de control pueden eliminar variaciones en dimensiones, para cambios en la composición de metales o métodos de alimentación. Variaciones en rigidez de moldes, causadas por compactación inadecuada con arena verde, o el uso de arena fría o (tiempo insuficiente de curado con sistemas de fraguado en frío) causan fundiciones con dimensiones por debajo de los límites tolerables especificados y estos pueden ser reducidos por un buen moldeo y buenas practicas de elaboración de corazones.

Debido a que las dimensiones y peso de fundiciones de hierro son directamente relacionadas por su solidez y dependen de la rigidez del molde, la medida de su tamaño o peso provee una prueba sencilla para checar la integridad del producto y para monitorear la consistencia del proceso de moldeo.

Las dimensiones de las piezas son usualmente verificadas con calibradores de disco, calibradores vernier, micrometros o calibradores de alturas verticales, los cuales pueden ser manuales o incorporados en un sistema. La medición del espesor de pared puede ser hecha con un calibrador de espesores ultrasonico pequeño y manual. Bajo condiciones normales la precisión de este instrumento es de ± 0.01 mm (± 0.0004 pulg.), pero esto raramente es alcanzado en la practica, porque las

superficies no son paralelas y no son maquinadas. Los instrumentos muestran estas medidas en su pantalla desde algunos estándares determinados, y arrojan una lectura digital y un registro permanente de resultados para análisis estadístico.

Diferentes técnicas son usadas para determinar la exactitud o precisión dimensional de piezas fundidas. Estas incluyen verificaciones manuales con micrómetros, patrones manuales y automáticos, máquinas de medición por coordenadas, y estaciones de inspección automáticas tridimensionales (sistemas máquinas vision).

Los desarrollos dispuestos en el uso de sistemas de medición emplean capacitancia, contactos eléctricos o transductores de desplazamiento lineal. Tales sistemas son de alta precisión y alto rendimiento o capacidad y pueden ser conectados directamente a microcomputadoras para registro de datos y análisis estadísticos para conocer los requerimientos del proceso de control.

Los métodos de medición usando haz de rayos Laser, desplazan técnicas y están disponibles para uso de máquinas donde se requieren dimensiones precisas para el control de procesos de maquinado automáticos. Actualmente, estos no están adaptados generalmente para mediciones en productos de fundición, debido a su alto costo y la dificultad de hacer mediciones precisas en componentes de formas complejas, como fundiciones de superficies curvas. El método Laser es usado ampliamente en otras industrias.

3.3.- INSPECCION DIMENSIONAL ASISTIDA POR COMPUTADORA.

La computarización de operaciones puede reducir las horas-hombre requeridas para las tareas de inspección, incrementar la exactitud, y permite el análisis de datos de formas que son posibles o prácticas con operaciones manuales. Quizá el mejor ejemplo de esto, aportando el equipo disponible, es la aplicación de tecnología de computo para la inspección dimensional de fundiciones.

Importancia de la Inspección Dimensional.

La utilización de equipo computacional para la recolección y análisis de datos sobre inspección dimensional puede incrementar la cantidad de inspección que puede ser ejecutada y disminuir el tiempo requerido para grabar y analizar los resultados.

Esto permite crear un control de información para realizar ajustes al instrumental y equipo de inducción e información estadística para reportar a los consumidores sobre la exactitud dimensional de las partes.

Equipo común.

Una instalación común para la inspección dimensional de fundición consiste en una máquina de medición por coordenadas electrónicas, una microcomputadora conectada al coordinador de la misma un cable de transferencia de datos, además un sistema software para la microcomputadora (figura 3.3.1).

El sistema Software debe ser capaz de controlar las fundiciones y almacenamiento en memoria de la máquina de medición de coordenadas, tan efectivo como sea posible para la recolección y análisis de los datos que colecte.

El Software sirve como elemento principal de control para la inspección dimensional y de resultados de reportes estadísticos. El software puede ser comprado o si se tiene experiencia desarrollarlo para requerimientos especializados.

La máquina de coordenadas típica registra dimensiones a lo largo de tres ejes a partir de los puntos especificados como antecedente por el usuario. Dependiendo de la sofisticación de los controles, funciones, centros y diámetros son encontrados por rasgos circulares y la rotación electrónica de medición de planos que pueden ser realizadas. La construcción geométrica compleja, tal como la intersección de puntos de líneas y planos y las mediciones de fuera de redondez, son normalmente cargadas fuera por cálculo interno del microcomputador. La sonda de contacto (palpador) de la máquina de coordenadas puede ser manipulada manualmente, o en el caso que la máquina tenga un control computarizado directo, el palpador puede ser manejado por servomotores auxiliares para realizar la medición de las piezas con una pequeña intervención del operador.

El sistema de Software debe ser capaz de controlar las fundiciones y almacenamiento en memoria de la máquina de coordenadas, tan efectiva como sea posible para la recolección y análisis de los datos.

El Software sirve como elemento principal de control para la inspección dimensional y de resultados de reportes estadísticos. El software puede ser comprado o si se tiene experiencia desarrollarlo para requerimientos especializados.

La máquina de coordenadas común registra dimensiones a lo largo de tres ejes a partir de los puntos determinados por antecedente por el usuario. Dependiendo de lo sofisticado de los controles, tales funciones como centros y diámetros son encontrados por rasgos circulares, y la rotación electrónica de planos de medición que pueden ser realizadas. La construcción geométricamente compleja, tal como la intersección de puntas de líneas y planos y las mediciones externas de redondez, son normalmente datos introducidos para el cálculo interno

del microcomputador. El palpador de la maquina de coordenadas puede ser manipulado manualmente, o en el caso que la maquina tenga un control computarizado directo, el palpador puede ser manejado por servomotores auxiliares para realizar la medición de las piezas con una pequeña intervención del operador.

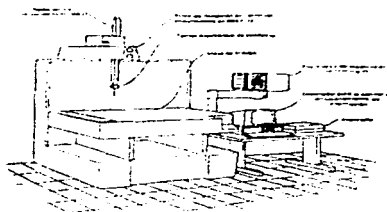


FIGURA 3.3.1
EQUIPO EMPLEADO EN UNA INSTALACION TIPICA PARA LA
INSPECCION DIMENSIONAL ASISTIDA POR COMPUTADORA.

Los Procesos de Medición.

En la figura 3.3.2 se ilustra el proceso general que se sigue en la aplicación semiautomática de inspección dimensional para una pieza dada. El primer paso es identificar las dimensiones críticas de las piezas que van a ser medidas y rastreadas. Las dimensiones nominales y tolerancias son usualmente tomadas de las especificaciones de los clientes y planos escritos. Las dimensiones que son convenientes durante el control del proceso de piezas de fundición pueden también ser seleccionadas.

Una archivo de base de datos, incluyendo una descripción y límites de tolerancias para cada dimensión a ser chequeada, es creado con el uso del sistema de software de la microcomputadora.

El siguiente paso en la instalación del proceso es desarrollar una serie de instrucciones para la medición de partes con la maquina de tres coordenadas. Las instrucciones consisten de comandos que la maquina de coordenadas usa de referencia para establecer planos de referencia y para mediciones características tales como puntos centrales de orificios o cavidades circulares.

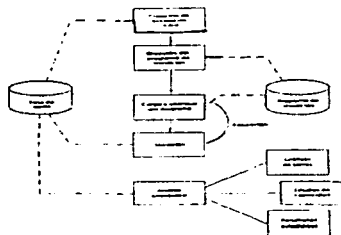


FIGURA 3.3.2

DIAGRAMA DE FLUJO MOSTRANDO LA SECUENCIA DE OPERACIONES TÍPICA EN LA INSPECCIÓN DIMENSIONAL ASISTIDA POR COMPUTADORA

Este programa de medición puede ser programado en cualquiera de las dos formas siguientes. En el primer método, el operador simplemente selecciona de una lista de comandos el que quiera que la máquina de coordenadas ejecute, y esta dará las dimensiones requeridas definidas para la pieza en la base de datos. El segundo método usa un modo de enseñar. El operador se coloca en la mesa de

trabajo de la máquina de coordenadas y checa la secuencia apropiada mientras el computador monitorea el proceso y almacena la secuencia de los comandos usados. En ambos caso, el resultado es un programa de medición almacenado en el microcomputador que define con detalles precisos como se debe medir la pieza. Comandos especiales pueden ser incluidos los programas de medición para desplegar instrucciones de operación en la pantalla de la computadora mientras la pieza esta siendo medida.

La maquina de medición por coordenadas usualmente registra dimensiones sobre tres de los datos especificos definidos por el usuario.

El desarrollar el programa de mediciones, debera tomar en cuenta requerimientos particulares de la pieza a ser medida. Los requerimientos normalmente mostrara se muestran en planos de referencia en la cuales se harán las mediciones. Cuando se tiene una superficie de una pieza fundida para establecer un plano de referencia, es bueno tomar un número de puntos en la superficie y permitir a la computadora establecer el plano que mejor se adecue a traves de los puntos. Similarmente, los puntos centrales de los hoyos de las piezas fundidas pueden ser encontrados tomando puntos múltiples alrededor de la circunferencia del hoyo mismo. Las características de maquinado generalmente pueden medirse con menos puntos de contacto de prueba. Cuando se miden piezas complejas, se debe usar al máximo la capacidad de la maquina de coordenadas para rotar electrónicamente los plano de medición sin movimiento físico de la pieza: liberando y girando la pieza disminuye la exactitud general del trazado final.

Basado en estudios estadísticos, debe ser desarrollado un procedimiento de frecuencia y muestreo. Las piezas son despues seleccionadas aleatoriamente de acuerdo a la frecuencia de proceso seleccionado. Las piezas son colocadas en la

máquina de medición de coordenadas y el operador llama el programa de medición para esa pieza y lo ejecuta. Conforme está siendo medida esta, las dimensiones se mandan desde la máquina de medición de coordenadas al banco de datos en la microcomputadora.

Una vez que el proceso de medición es completado, información tal como número de molde, turno, fecha y No. de serie deben ser capturados por el operador para que este grupo particular de dimensiones pueda ser identificado más tarde. Un reporte de resultado puede ser entonces generado para mostrar como buena la pieza medida en relación a las dimensiones y tolerancias especificadas. Un reporte como este es muy útil dando una especificación visual rápida de las mediciones del objeto.

Análisis Estadístico.

Permite la predicción matemática de las características de todas las piezas producidas, mediante la medición de un único muestreo de esas piezas. Todos los procesos están sujetos a variaciones naturales, en muchos procesos, estas variaciones siguen una distribución normal (curva de campana), cuando es graficada la probabilidad de ocurrencia contra el rango de valores posibles. La desviación estándar, una medida de la distancia desde el centro de la curva de probabilidad, es el principal medio para expresar el rango de los valores medidos. Por ejemplo una amplitud de 6 desviaciones estándares (más o menos tres desviaciones estándares en ambos lados del objeto medido) representa el rango en el que uno esperaría encontrar un 99.73% de las medidas observadas para un proceso normal. Esto permite a la variación natural inherente en el proceso a ser cuantificado.

Gráficos de Control.

Con un software estadístico incorporado en el sistema de la microcomputadora, los resultados de numerosas mediciones de piezas semejantes pueden ser analizadas para determinar que tan bien es controlado el proceso, por lo que las variaciones naturales ocurren en una medición dada, dentro de límites de control ocurriendo tendencias no identificadas: Gráficas de valor-simple con rangos móviles también pueden ser auxiliares. Los límites de control pueden ser calculados y desplegados. Con la computadora este tipo de gráfica es generada en segundos. El análisis de la gráfica puede mostrar una tendencia en desarrollo que puede corregirse ajustando el instrumental antes de que piezas fuera de tolerancias sean hechas.

Resumen de Reporte Estadístico.

El segundo tipo de análisis muestra la capacidad del proceso, esto es, como el rango de variación natural (medido por un múltiplo específico de la desviación estándar) es comparada con el rango de tolerancia específica para una dimensión dada.

Esta información es de gran interés para el cliente y para el ingeniero de proceso, pues indica si el proceso usado para producir la pieza mantiene las dimensiones dentro de los límites de tolerancias requeridas. El usuario debe saber que diferentes métodos de análisis de distintas capacidades son usados por diferentes

empresas, así que el software del programa debe ser lo suficientemente flexible para adecuarse a diversos métodos de cálculo que se requieran.

Histograma.

Un método alternativo para monitorear la capacidad involucra el uso de histogramas ó cuadro de frecuencias. Esta es una gráfica que muestra el número de ocurrencias que se suceden en espacios iguales de rangos de dimensiones de una medida dada.

Una gráfica como esta, superpuesta a los límites de tolerancia de las dimensiones analizadas, permite una rápida evaluación cualitativa de la variación y capacidad del proceso. Esto también permite que el proceso sea evaluado a través de una comparación con una curva normal esperada de un proceso normal.

En algunos casos la captura de datos directa en una computadora puede no ser recomendable. Pero los beneficios de capturar datos manualmente en un programa de análisis estadístico no se debe ignorar. La computadora permite un análisis rápido de muchos datos para que tendencias estadísticas significativas puedan detectarse y darles la atención propia en áreas para mejorar. Los beneficios y costos de cada aplicación anticipada de automatización a una situación particular, así como la factibilidad de aplicar un buen equipo necesita estudiarse ampliamente para saber si se puede implementar.

3.4 PRUEBAS DE PESO

Muchos corazones de forma intrincada son extremadamente difíciles de medir en forma precisa particularmente en las secciones internas. Esto es importante para asegurar que estas son correctas en espesor por tres razones principales:

1. No debe tener peso adicional que haga al producto terminado más pesado de lo permisible.
2. Las secciones no deben ser más delgadas que el diseño, de manera que no disminuya la resistencia de la pieza fundida.
3. Si las cavidades huecas han sido reducidas en área por incremento de espesor del metal de la sección, cualquier flujo del líquido o gas se reduce. Los medios disponibles de prueba para estas discrepancias es por medición minuciosa en cada pieza fundida o por medición del dispositivo causado por inmersión en un recipiente de medición lleno de fluido. En algunos casos en que la precisión es requerida, una tolerancia de sólo $\pm 1\%$ de un peso dado puede ser permitida.

3.5 Prueba de Dureza.

Es frecuentemente usada para verificar la efectividad del tratamiento en caliente aplicado a las piezas fundidas actuales, su relación en general son la fuerza de tensión de muchas aleaciones ferrosas permitiendo un pronóstico muy aproximado de la fuerza de tensión por aplicar.

La prueba de Dureza Brinell es usada con mayor frecuencia para aleaciones ferrosas. Una combinación de longitud-diametro de una bola (de 5 a 10mm) y una carga pesada (500 a 3000 kg. f) es de preferencia para una representación mas efectiva debido a que la profundidad de la impresion minimiza la influencia en la superficie y de la microestructura relativa. La prueba de Dureza Brinell es inaplicable para usarse con pruebas a altas fuerzas, (sobre 600 HB) porque la distorsion del penetrador de bola puede afectar la figura de la huella.

Cualquiera de las pruebas de Dureza Rockwell ó Vickers (con diamante piramidal de 136°) es usada para pruebas de Dureza extrema o para piezas de fundición de alta calidad y precisión en fundición en las cuales las largas indentaciones del Durometro Brinell, no pueden ser admitidas. Debido a las huellas tan pequeñas con cargas de 150 Kg. o menos, las pruebas Rockwell y Vickers son empleadas. Los resultados son obtenidos basándose en el promedio de un número de mediciones de las huellas hechas.

Los probadores de dureza portátiles o probadores de microdureza de ultrasonido pueden ser usados en piezas de fundición grandes o largas, las cuales no pueden ser colocadas en la plataforma de un tipo de maquina de bancada.

La Dureza de las fundiciones ferrosas pueden ser determinadas por la velocidad del sonido en el metal si todas las otras condiciones de prueba permanecen constantes.

CAPITULO 4

TECNICAS ESTRATEGICAS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS DE INSPECCION.

4.1.- INSPECCION POR MEDIO DE LIQUIDOS PENETRANTES.

Este método de inspección involucra esencialmente un líquido que humedece la superficie de una pieza de trabajo, fluyendo sobre la superficie para formar una película continua y uniforme e introduciéndose en las grietas o cavidades que están abiertas a la superficie.

Después de algunos minutos, la capa líquida es removida de la superficie de la pieza, y un revelador es aplicado para que el líquido penetrante dibuje las cavidades y grietas. Los líquidos penetrantes detectan defectos superficiales siendo esta detección muy segura.

La inspección con líquidos penetrantes no debe ser limitada para superficies de los productos de fundición, por ejemplo es frecuente para fundiciones de varias aleaciones que muestran grietas (frecuentemente intragranulares) en superficies maquinadas. Un patrón de una grieta de este tipo quizás sea resultado de grietas intergranulares entre el material, debido a un error en la composición o tratamiento térmico, o las grietas tal vez sean superficiales únicamente como resultado de maquinado o esmerilado. Grietas superficiales pueden resultar de un insuficiente maquinado requerido, el cual no permite una completa remoción de imperfecciones producidas en la superficie de la pieza, o es resultado tal vez de faltas técnicas de maquinado. Si se detectan imperfecciones de este tipo por inspección visual, los líquidos penetrantes deberán mostrar por completo dichas imperfecciones, dándonos algunas indicaciones de la profundidad y medida de los defectos bajo la superficie por la cantidad de penetrante absorbido, y nos indicará en todo caso las grietas que se presentan a través de la sección.

Existen dos métodos de inspección por medio de líquidos penetrantes:

METODO A .- Líquidos penetrantes visibles. Los cuales son apreciables a simple vista con luz blanca o natural.

METODO B .- Líquidos penetrantes fluorescentes. Estos son apreciables mediante el empleo de luz ultravioleta (luz negra).

Los líquidos penetrantes también se clasifican de acuerdo al agente empleado para removerlos:

Tipo 1.- Lavables con agua.

Tipo 2.- Removibles con solventes.

Tipo 3.- Postemulsificables.

4.2. INSPECCION CON PARTICULAS MAGNETICAS

La inspección con partículas magnéticas es una técnica altamente efectiva y sensitiva para descubrir grietas y defectos similares en la superficie o apenas por debajo de ella de piezas hechas de metales ferromagnéticos. La capacidad de detectar discontinuidades apenas por debajo de la superficie es importante porque algunos métodos de limpieza como granallado o chorro de arena, tienden a cerrar una discontinuidad que podría ser indetectable en inspección visual o por líquidos penetrantes.

Cuando un campo magnético es generado dentro y alrededor de una fundición hecha de metal ferromagnético y las líneas del flujo magnético son interceptadas por un defecto tal como una grieta, los polos magnéticos son inducidos sobre cada lado del defecto. La perturbación del flujo local resultante puede ser detectada por su efecto sobre las partículas de un material ferromagnético, las cuales llegan a ser atraídas a la región del defecto según vayan aplicándose sobre la fundición. La máxima sensibilidad de indicación es obtenida cuando un defecto está orientado en una dirección perpendicular al campo magnético aplicado y cuando la fuerza de este campo es suficiente para saturar la fundición que está siendo inspeccionada.

El equipo para inspección por partículas magnéticas emplea corriente directa o alterna para generar los campos magnéticos necesarios. La corriente puede ser aplicada en una variedad de formas para controlar la dirección y magnitud del campo magnético.



FIGURA 4.2.1

**CONTACTOS INDIVIDUALES Y DOBLES. LAS DISCONTINUIDADES SON
DETECTADAS POR EL CAMPO MAGNETICO GENERADO ENTRE LAS PUNTAS**

En un método de magnetización, una corriente grande es pasada directamente a través de la fundición colocada entre dos contactos sólidos. El campo magnético inducido entonces corre en dirección transversal o circunferencial, produciendo condiciones favorables a la detección de defectos longitudinalmente orientados. Una bobina alrededor de la fundición inducirá un campo magnético que corre en dirección longitudinal, produciendo condiciones favorables para la detección de defectos orientados circunferencialmente (o transversalmente). Alternativamente, un campo magnético longitudinal puede ser convenientemente generado por el paso de corriente a través de un cable conductor flexible, el cual puede ser bobinado alrededor de cualquier sección metálica. Este método es particularmente adaptable a fundiciones de forma irregular. Los campos magnéticos circunferenciales pueden ser inducidos dentro de fundiciones cilíndricas huecas por medio del uso de un conductor central dispuesto axialmente a través de la fundición.

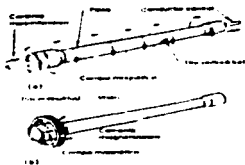


FIGURA 4.2.2

INSPECCION POR PARTICULAS MAGNETICAS PARA DISCONTINUIDADES

(a) LONGITUDINALES Y (b) CIRCUNFERENCIALES.

Las fundiciones pequeñas pueden ser inspeccionadas por partículas magnéticas directamente con equipos estacionarios que incorporen contactos sólidos y bobinas. Las regiones críticas de fundiciones grandes pueden ser inspeccionadas mediante el uso de yugos, bobinas, o puntas de prueba (probadores de contacto de prueba) colocados en cables flexibles conectados a la fuente de corriente; esta configuración permite que la mayoría de las regiones de fundiciones sean inspeccionadas.

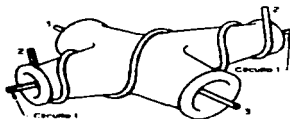


FIGURA 4.2.3

**METODO DE EMPLEO DE CABLES PARA LA APLICACIÓN DE CIRCUITOS
MAGNETIZADORES. LOS CIRCUITOS 1 Y 3 SON CONDUCTORES CENTRALES Y EL
CIRCUITO 2 ES UN CABLE ENVOLVENTE.**

4.3.- INSPECCION POR MEDIO DE CORRIENTES EDDY.

La inspección con corrientes Eddy consiste en la observación de la interacción entre campos electromagnéticos y metales. En un sistema básico, se induce flujo de corriente en la pieza a inspeccionar por una bobina de alambre que conduce corriente alterna. Conforme la pieza entra en la bobina, o según la bobina en forma de probador o vugo es colocada en la pieza a inspeccionar, la energía electromagnética producida por esta es parcialmente absorbida y convertida dentro en calor por efectos de resistividad e histeresis. Parte de la energía remanente es nuevamente reflejada por la bobina del probador : esta es una característica eléctrica que viene a ser cambiada en una manera determinada por las propiedades de la pieza que se inspecciona. Consecuentemente, el flujo de corriente atraviesa la bobina del probador siendo la fuente de información que describe las características de la pieza inspeccionada. Esta corriente puede ser analizada y comparada con flujo de corriente a través de un espécimen de referencia.

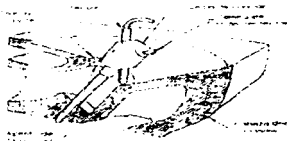


FIGURA 4.3.1

El método de inspección por corrientes Eddy es efectivo con metales ferromagnéticos y no ferromagnéticos. Este método no es tan sensible para defectos pequeños y abiertos, a la superficie como lo son líquidos penetrantes y partículas magnéticas. Debido a que el efecto "skin", en el método de corrientes Eddy es generalmente restringido a profundidades menores que 6 mm (1/4 pulg). El resultado de inspeccionar materiales ferromagnéticos puede ser menos confiable por cambios en la permeabilidad magnética de la pieza a inspeccionar. Cambios en la temperatura deberán ser evitados para prevenir resultados erróneos si la conductividad eléctrica u otras propiedades, incluyendo propiedades metalúrgicas, se empiezan a definir.

Aplicaciones.

La aplicación de este y otros métodos electromagnéticos de inspección de productos de fundición, puede dividirse en las siguientes 3 categorías:

A) INSPECCION CON CORRIENTES EDDY.

- Detección de defectos cercanos a la superficie, tales como grietas, burbujas.
- inclusiones, porosidad.

B) INSPECCION ELECTROMAGNETICA.

- Clasificación del tipo de aleación, temple, conductividad eléctrica, dureza y otros factores metalúrgicos.

C) AMBAS.

- Calibración de acuerdo a dimensiones, forma, trazos, planos, espesores o espesores aislados.

4.4.- INSPECCION RADIOGRAFICA.

La inspección Radiográfica es un proceso de prueba de materiales utilizando radiación penetrante de un generador de rayos X o una fuente radioactiva y un medio de imagen tal como una película Radiográfica o un instrumento electrónico. En el paso a través del material, parte de la radiación es atenuada, dependiendo del espesor y de la densidad radiográfica del material, mientras la radiación pasa a través del material y forma una imagen. La imagen Radiográfica es generada por las variaciones de la intensidad del haz proyectado.

Los defectos internos, tales como un gas atrapado o inclusiones no metálicas, tiene un efecto directo en la atenuación. Estas fallas crean variaciones en el espesor del material resultando en partes negras o luminosas localizadas en la imagen.

El término radiográfico usualmente implica un proceso radiográfico que produce una imagen permanente en la película (convencionalmente radiografía) o papel (papel radiográfico o xeroradiografía) aunque en un sentido amplio esto se refiere a todas las formas de inspección Radiográfica. Cuando la inspección implica una vista en imagen en una pantalla fluorescente o en un intensificador de imagen, el proceso es llamado sin película o inspección de tiempo real terminado en menor tiempo real (figura 4.4.1).

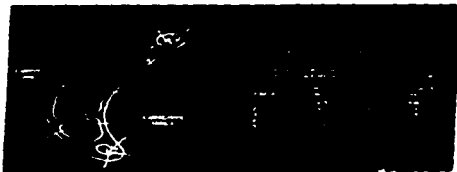


FIGURA 4.4.1

IMAGEN DE SECCION TRANSVERSAL DE UNA PIEZA CON MEDICION DE ESPESOR DE PARED INDICADAS Y VALORES DETERMINADOS CON SOFTWARE AUTOMATIZADO.

Tomografía.- Es un método de inspección por radiación adaptado de un rastreador del método de Tomografía axial computarizada del tipo médico, proyectando una vista de una sección transversal en una pieza de prueba (figura 4.4.2).

Todos los terminos anteriores son principalmente usados en conjunto con la inspección que involucra la radiación penetrante electromagnética en la forma de Rayos X o Rayos Gamma. La radiografía de Neutrones (Neutronica) se refiere a la inspección Radiográfica usando neutrones en lugar de radiación electromagnética.

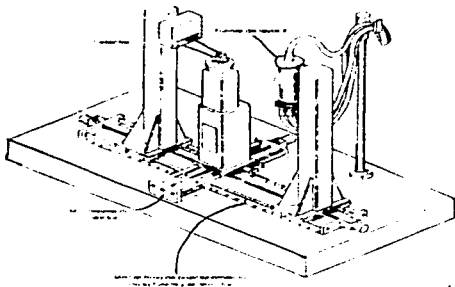


FIGURA 4.4.2
TOMOGRAFO DISEÑADO PARA ENSAYOS NO
DESTRUCTIVOS Y ANALISIS DIMENSIONAL DE PIEZAS.

La sensibilidad, o la habilidad para detectar defectos por inspección Radiográfica, depende de un control estricto de la técnica de inspección, incluyendo la relación geométrica entre la emisión de los rayos X, la fundición y el plano de imagen de los rayos X. La variación detectable más pequeña en el grosor del metal fluctúa entre 0.5 y 2% del total del grosor de la sección. Los defectos estrechos tales como grietas estarán en un plano aproximadamente paralelo a la fuente de rayos X que produce la imagen; múltiplos de REM (unidad de medición de exposición a la radiación) son usados en las películas de las técnicas de rayos X. Manipuladores de control remoto son partes de un sistema de tiempo real.

Los sistemas de tiempo real han eliminado la necesidad de mínimas exposiciones de las mismas fundiciones por inspección dinámica de partes en un manipulador con la capacidad de cambiar la energía de rayos X por el cambio en el espesor total del material. Estas capacidades mejoran significativamente la productividad y han reducido costos, de este modo se incrementan los porcentajes de fundición para ser inspeccionados y proveen retroalimentación instantánea para los procedimientos de reparación.

AVANCES.-

Bastantes avances han sido hechos para asistir a quienes realizan inspecciones radiográficas en la industria.

Estos incluyen la computarización de bosquejos estándar radiográficos, los cuales muestran gráficamente las áreas que van a ser expuestas a rayos X, y la dirección de la vista o ángulo al cual la exposición debe ser tomada, y el desarrollo de sistemas de rayos X controlado por un microprocesador capaz de almacenar diferentes parámetros de exposición de rayos X para una rápida recuperación y calentamiento automático del sistema previo a su uso.

La ventaja del sistema de procesamiento digital de imagen y las fuentes de microenfoque de rayos X (en puntos cercanos a la fuente) es la producción de energía capaz de penetrar las secciones de grosor del material, por lo que han hecho que la inspección de tiempo real sea capaz de producir imágenes iguales, y en algunos casos superiores a las imágenes de películas de rayos X empleando relaciones geométricas previamente, lo cual no es posible con el sistema de microenfoque de rayos X. El cual virtualmente elimina el borde de la penumbra asociada con el mecanismo de enfoque amplio.

El proceso de la imagen digital puede ser usada para aumentar imágenes por un marco integrado de video múltiple y técnicas que mejoran la señal de ruido-imagen. Estas capacidades radiográficas ajustan digitalmente el contraste de la imagen e incrementan visiblemente varias indicaciones lineales.

La interpretación de la imagen Radiográfica requiere de especialistas calificados quienes puedan establecer el método correcto de exposición a la fundición considerando las energías de los rayos X, relación geométrica, y orientación de fundición y puedan tomar todos estos factores en una cuenta para una interpretación aceptable de la imagen.

La interpretación de la imagen debe ser llevada a cabo para establecer estándares de acuerdo a instrucciones escritas o fotografías. El inspector debe también ser capaz de determinar si la indicación localizada es una indicación falsa, una imperfección en la película, o irregularidad superficial.

La Tomografía por computadora, también es conocida como tomografía axial computarizada (o PASTREADOR CAT), es una técnica de imagen más sofisticada de rayos X más originalmente desarrollada para diagnósticos médicos. Es la reconstrucción completa por computadora de un plano tomográfico o sección de algún objeto. Un colimador en forma de abanico del haz de rayos X es pasado a través de una sección de la pieza y es interceptado por un detector en otro lado. La

parte es rotada suavemente, y se hace otra medición en un nuevo punto, este proceso es repetido hasta que la pieza ha sido rotada 180°. La imagen resultante de la sección (tomograma) es formada por cálculos computarizados basados en mediciones electrónicas de la radiación transmitida a través de un objeto a lo largo de distintas secciones durante la rotación. De este modo los datos acumulados son usados para calcular las densidades de cada punto de intersección, facilitando a la computadora la reconstrucción de dos imágenes visuales dimensionales de la pieza.

Comparada con la radiografía electrónica, la tomografía computarizada provee un incremento en la sensibilidad y capacidad de detección. La resolución de contraste de una imagen de alta calidad tomográfica es de 0.1 a 0.2 %, el cual es aproximadamente de dos veces mejor en magnitud que con película de rayos "X".

En conclusión las imágenes son producidas cuantitativamente en un formato digital listo para su uso. Estas proveen una información física detallada, tal como tamaño, densidad, y composición, auxiliares en la evaluación de defectos. Con esta información se desarrollan métodos para predecir modos de falla o mejoramiento del sistema bajo cargas de operación. Los datos pueden ser también fácilmente manipulado para obtener varios tipos de imágenes para desarrollar técnicas automáticas de detección de defectos, y para la implementación de un eficiente archivo o base de datos.

4.5 INSPECCION POR ULTRASONIDO

La Inspección por Ultrasonido es un método no destructivo en el cual un haz de energía acústica de alta frecuencia es introducido en el material bajo evaluación para detectar imperfecciones o grietas en las superficies o sub-superficies y medir el espesor del material o la distancia de una imperfección (grieta). Un haz ultrasonico viaja através del material hasta que este choque o golpee con una interface o un defecto. Los defectos o interfaces interrumpen el haz y reflejan una porcion de la energía acústica que incide. La cantidad de energía reflejada es una funcion de la naturaleza y orientacion de la interfase de las imperfecciones así bien como la impedancia acústica proyectada por un reflector.

La energía reflejada de varias interfaces o defectos pueden ser usados para definir la presencia y lugar de los defectos, el espesor del material, o la profundidad del defecto de bajo de la superficie.

Las ventajas de una prueba de ultrasonido son las siguientes:

- * Alta sensibilidad, la cual permite la deteccion al momento de grietas.
- * Gran poder de penetracion, el cual permite la examinación de secciones extremadamente gruesas.
- * Exactitud de las mediciones de grietas, posición y estimacion del tamaño del defecto.

Las pruebas de Ultrasonido tienen las siguientes limitaciones:

- * La complejidad del tamaño del contorno, y la orientación desfavorable de la discontinuidad de pueden ocasionar problemas de interpretacion del patrón del eco.
- * Estructura interna indeseable, por ejemplo, tamaño del grano, estructura, porosidad, contenido de inclusión ó precipitados finos dispersos, pueden similarmemente dificultar la interpretacion.
- * Son requeridas referencias estándar.

EFFECTOS DE FORMA DE PIEZAS DE FUNDICION.

Debido a que las fundiciones son raramente de forma plana no son tan fáciles de inspeccionar, como por ejemplo las barras rectangulares, rodadas. Las reflexiones de un haz de sonico desde la parte posterior y una discontinuidad son mostradas esquematicamente en la figura 4.5.1 (a) junto con las alturas relativas y posición de las reflexiones de las dos superficies vistas en una pantalla de osciloscopio. Una reduccion en la reflexion al mismo tiempo que una variacion en el eco es una indicación secundaria de una discontinuidad en el material. Sin embargo, si la pared posterior de la fundicion en una posición particular para inspeccion no esta en un ángulo recto a la incidencia del haz de sonido, este sera reflejado hacia partes lejanas de la fundición y no volver directamente al detector.

En este caso como se muestra en la fig. 4.5.1(b) no hay reflexion hacia el monitor como una indicación secundaria.

Muchas fundiciones contienen, barrenos y cambios de seccion, los ecos desde los barrenos y cambios en seccion pueden interferir con los ecos de las discontinuidades. Como se muestra en la fig. 4.5.1(c) el eco del barreno sobrepone al eco de la discontinuidad al de la pantalla del osciloscopio. El mismo efecto es mostrado en la fig. 4.5.1(d) en la cual los ecos de la discontinuidad y los filetes de fundición como un cambio en seccion son mostrados parcialmente en el osciloscopio.

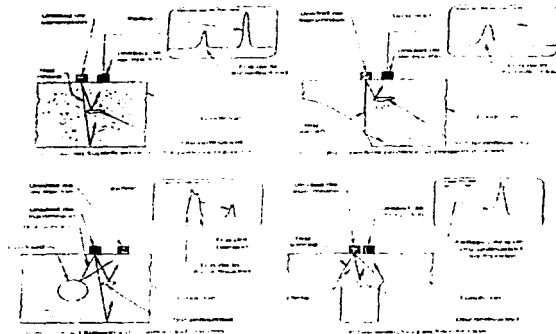


FIGURA 4.5.1

**ESQUEMA DEL EFECTO DE LAS FORMAS DE LA PIEZA
SOBRE EL REFLEJO DEL HAZ SONORO Y LA IMAGEN DE LA PANTALLA.**

Las superficies curvas no permiten adecuadamente o fácilmente el acoplamiento de las unidades de rastreo en las superficies de la pieza, especialmente con unidades de rastreo de doble contacto. Este problema puede ser resuelto utilizando un acoplante viscoso adecuado, pero se puede producir resultados engañosos debido a las múltiples reflexiones en la cuña del fluido entre la unidad de rastreo y la superficie, esto puede ocasionar ecos en las posiciones donde se espera que las discontinuidades aparezcan. Debido a que las reflexiones dentro del acoplante utilizan energía que de otra manera pasaría dentro de la fundición, el eco que regresa disminuye, esta disminución se puede interpretar como la

confirmación de la presencia de una discontinuidad. Sobre superficies cilíndricas la indicación va a cambiar según la unidad doble de rastreo sea rotada.

El efecto del espesor del acoplante (de cuña) es menor cuando la división entre el transductor transmisor y el receptor es paralela a el eje del cilindro. Los efectos de espesor del acoplante son un problema particular en piezas de fundición curvas en dos direcciones. Una solución en este caso es usar una unidad pequeña de rastreo de forma que el espesor de la película del acoplante sea delgada, aunque la resolución y la sensibilidad puede ser reducida.

Si la superficie de la pieza a ser inspeccionada es de forma regular, tal como el bareno de un cilindro en un block de motor, la parte frontal de la unidad de rastreo puede ser conformada para que abarque la curvatura de la superficie. Estas formas curvas forman unos lentes acústicos que alteran la forma de los haces de sonido, pero a menos que la curvatura sea grande no impedirá la adecuada exactitud en la inspección. La aplicación de la unidad de rastreo de ultrasonido es muy efectiva para la inspección de áreas particulares de piezas planas de metal.

Defectos Superficiales.

Defectos tales como burbujas, poros o inclusiones que ocurren, dentro de profundidades de 3 o 4 mm (0.1 o 0.15 pulg) de la superficie de una fundición están entre las más difíciles para detectar. Están más allá de los límites de sensibilidad de los métodos de partículas magnéticas convencionales y no son fácilmente identificados por las técnicas actuales de corrientes EDDY. Usualmente caen dentro de la zona muerta (la superficie de descanso que no puede ser inspeccionada) de transductores de ultrasonido de cristal simple convencional aplicadas directamente a la superficie de fundición, aunque algunas mejoras pueden ser obtenidas al usar transductores de cristal gemelo enfocadas hacia profundidades no muy por debajo de la superficie. La otra alternativa es usar métodos de contacto de pruebas de

ultrasonido empleando transductores angulares, pero esto complica el procedimiento de interpretación pudiendo ser aplicados satisfactoriamente bajo un control estricto por operarios hábiles.

Los defectos libres a la superficie son sin embargo, un aspecto muy importante de la calidad de las piezas; además estos defectos reducen propiedades por fatiga. Defectos de este tipo son revelados posteriormente en el maquinado de componentes, debiendo rechazarse.

Los métodos de ultrasonido para detectar defectos subsuperficiales son mucho más satisfactorios cuando la zona muerta es virtualmente eliminada por el uso del método de inmersión, en el cual el palpador es sostenido fuera de la superficie a una distancia conocida controlada, con una columna líquida como acoplante. Para hacer tales métodos consistentes y seguros, esta misma prueba puede ser automatizada. El equipo semiautomático ha sido desarrollado para examinar fundiciones tales como cabezas cilíndricas. Con este equipo la fundición es cargada dentro de una jaula tabiella por medio de rodillos para después transferirla, usando un elevador dentro del tanque de inmersión hasta que la superficie de la fundición a inspeccionar es sumergida en el líquido. La profundidad de inmersión es controlada estrictamente por el cliente, no permitiendo líquido en los pasillos internos de la cabeza cilíndrica. La superficie sumergida de la fundición es entonces explorada manualmente usando un transductor ultrasónico sostenido a una distancia fija de la superficie de la fundición. Este equipo es adecuado para examinar cualquier fundición con superficies planas.

Para determinar la posición y el tamaño de los defectos, el método usual para la presentación de datos de ultrasonido es un barrido scan-A, en el cual la amplitud de los ecos de los defectos es mostrada en un tiempo base y son bien conocidas sus limitaciones. La caída de la amplitud del eco como prueba de que está pasando sobre el límite de un defecto o la medición de la reducción de la

amplitud de la reflexión de la pared posterior debido a la dispersión del sonido por el defecto. En el muchos casos, la calibración es aproximada y es restringida para una o dos dimensiones. El perfeccionamiento en la presentación de datos en la forma de un scan-B y scan-C presentan una vista plana a través de una sección de un componente dado marcando un mejoramiento en la definición de la posición y dimensión del efecto de dos o tres dimensiones.

Tales despliegados tienen que ser usados para representar el sistema de defectos automáticamente en los cuales la porosidad, rotura, fisura y escoria han sido distinguidas. Debido a los requerimientos de barrido sobre la superficie, la aplicación de los métodos scan-B y scan-C han sido generalmente limitados por la simple forma geométrica simple teniendo un buen acabado superficial, tales como placas estructurales soldadas.

Evaluación Estructural.

Es una área en crecimiento importante para las piezas de fundición en ingeniería. La velocidad en las mediciones por ultrasonido son ampliamente usadas como un medio para garantizar la nodularidad de la estructura grafitica, y para conocer la consistencia de la estructura de la matriz y garantizar las propiedades de ductilidad de hierro.

La velocidad en las mediciones ha sido usada para evaluar estructuras de aceros grafitados compactas para asegurarse que las propiedades deseadas han sido consistentemente obtenidas.

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

4.6.- PRUEBAS DE FUGA.

Rama de los ensayos no destructivos que se ocupan del escape o entrada de líquidos o gases presurizados en componentes o sistemas evacuados que se pretende mantengan estos líquidos. La fuga de los fluidos (gas o líquido) puede penetrar desde afuera de un ensamble o componente o viceversa, como resultado de un diferencial de presión entre las dos regiones o como resultado de permeación a través de una barrera algo extendida. Las Pruebas de fuga abarcan procedimientos para uno o una combinación de los siguientes puntos:

Localización de fugas, Determinación de la tasa de pérdidas de un sistema, Monitoreo de pérdidas.

Las pruebas de fuga confiables disminuyen costos reduciendo el número de productos reabajados, reparaciones por garantía y reclamaciones de la responsabilidad. Las razones más comunes para ejecutar una prueba de fuga son:

- Evitar la pérdida de materiales o energía costosos.
- Evitar contaminación del entorno.
- Garantizar confiabilidad del sistema o componente.

Tipos de fugas.

Hay dos tipos básicos de fugas: Las fugas reales y las fugas virtuales.

Una fuga real es una fuga esencialmente localizada, que es, un pasaje discreto a través del cual el fluido puede fluir. Tal fuga puede tomar la forma de un tubo, una grieta, un orificio, o alguna similar. Al igual que con grietas, todas las fugas no son las mismas.

Las fugas tienden a crecer con el tiempo y tienden a operar de otro modo bajo condiciones de presión y temperatura. Un sistema puede también tener fuga debido a la permeación a través de los poros de una barrera algo extendida. Este tipo de fuga real es llamado una fuga distribuida. Un gas puede fluir a través de un

sólido no teniendo agujeros suficientemente grandes que permitan mas que una fracción pequeña del gas fluido a través de agujero alguno.

Este proceso involucra difusión a través del sólido y puede tambien involucrar diversos fenómenos de superficie, tales como absorción, disociación, migración, y desorción de moléculas de gas.

Las fugas virtuales involucran la desorción gradual de gases de superficies o escape de gases de componentes casi sellados dentro de un sistema de vacío. No es poco común para un sistema de vacío tener tantas fugas reales como fugas virtuales al mismo tiempo.

Ubicación de la fuga. Si la ubicación de la fuga es propósito de la prueba, los métodos que incluyen el uso de sondas o detectores transportables son necesarios de modo que la superficie del recipiente de prueba pueda ser examinado. En sistemas de vacío, el gas trazador puede ser rociado sobre la superficie del recipiente y sus puntos de entrada detectados observando la reacción del detector de fuga. En sistemas de presión, burbujas, inmersión, líquidos penetrantes, e indicadores químicos proveen medios de localizar fugas a través de la observación visual.

Las fundiciones que son pensadas para soportar presiones, pueden ser probadas por pruebas de fuga en el taller de fundición. Varios métodos son empleados, según el tipo de metal que este siendo probado. Un método consiste en bombear aire a una presión específica dentro de la fundición sumergida en agua a una temperatura dada. Cualquier fuga a través de la fundición llega a ser visible por la liberación de burbujas de aire a través de porciones defectuosas. Un método alternativo es llenar las cavidades de una fundición con parafina a una presión específica. La parafina, la cual penetra en los mas pequeños intersticios, rápidamente encontrará cualquier defecto, tal como porosidades, y se mostrara rápidamente como un parche aceitoso o humedo en la posición del defecto. Los líquidos

penetrantes pueden verse en áreas de aparente porosidad y a la vez permitir al líquido filtrarse a través de la pared de la fundición.

La prueba de fundiciones rugosas (no maquinadas) en el taller de fundición puede no revelar ningún escape, pero estos deben ser detectados ya que operaciones de maquinado subsiguientes en la fundición pueden cortar dentro de áreas porosas y causar agrietamientos en la fundición después del maquinado.

Fugas menores pueden ser selladas impregnando la fundición con líquido o llenándola con silicato de sodio, una resina sintética u otra sustancia conveniente.

Por otro lado, las partes de la fundición pueden ser impregnadas en el taller para sellar fugas si hay que hacer pequeños maquinados o si la experiencia ha mostrado que el maquinado no afecta las zonas sujetas a presión). Sin embargo, usualmente se recomienda impregnar estas después del maquinado final de fundición.

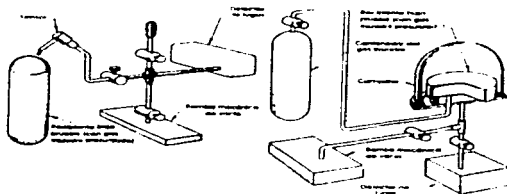


FIGURA 4.6.1

CONFIGURACIONES TÍPICAS PARA LOCALIZAR FUGAS EN FUNDICIONES

CAPÍTULO 5

APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS ESTRATÉGICAS.

5.1.- INSPECCIÓN DE FUNDICIONES FERROSAS.

Las fundiciones ferrosas pueden ser inspeccionadas por la mayoría de los métodos de inspección no destructivos. La inspección por medio de partículas magnéticas puede aplicarse a metales ferrosos con una excelente sensibilidad, aunque es posible que con cierta frecuencia puedan verse algunas grietas de fundición a través de inspección visual. La inspección con partículas magnéticas permite tener una buena delimitación de grietas y fracturas, pero no se recomienda para detectar otros defectos. Ocasionalmente se presentan indicaciones no relevantes en las fundiciones ferrosas, especialmente dentro de un campo magnético fuerte. Por ejemplo, un chaplet de acero correctamente fundido en la pieza, puede ser indicado como un defecto debido a la diferencia de la respuesta magnética entre el acero de bajo contenido de carbono y el hierro fundido. Aún el grafito en el hierro fundido, el cual no es magnético, puede producir indicaciones no relevantes.

Los rayos X y técnicas radiográficas pueden ser empleadas para radiografiar fundiciones ferrosas, pero la complejidad de la forma y el espesor variante de las fundiciones podrían requerir de una radiografía digital o una tomografía computarizada.

La inspección por Ultrasonido para verificación de espesores y evaluación de defectos, es más práctica para la mayoría de las fundiciones ferrosas, excepto para las fundiciones de hierro gris altas en carbono, las cuales tienen una alta capacidad de absorber humedad y energía suministrada. La medición de la frecuencia de resonancia es un buen método de la inspección para evaluar la solidez y la forma del grafito en algunas piezas de hierro dúctil. La inspección por corrientes Eddy es útil para distinguir las diferencias metalúrgicas entre las fundiciones. El criterio para

separar las fundiciones aceptables de las inaceptables debe ser establecido empíricamente para cada lote de piezas fundidas.

5.1.1.- FUNDICIONES DE HIERRO GRIS.

Estas fundiciones son susceptibles de presentar las imperfecciones inherentes al proceso de fundición, con problemas adicionales resultantes de las relativamente altas temperaturas de vaciado. Estos problemas resultan en una incidencia de gas atrapado, inclusiones, deficiente estructura del metal, paredes del metal con interrupciones y deficiencias en las paredes del molde.

El gas es atrapado en la pared de la fundición durante la solidificación. Este gas puede estar en el metal antes de vaciarlo o puede ser generado por aspiración durante el vaciado, o puede ser generado por los materiales del corazón y del molde. Los defectos internos de este tipo son óptimamente detectados por radiografía, pero los métodos de inspección ultrasónicos y por corrientes Eddy son útiles cuando el defecto es lo suficientemente grande actuales son útiles cuando el defecto es lo suficientemente grande para detectarlo a través de estos métodos.

Las inclusiones son defectos de fundición en los cuales materiales sólidos extraños son atrapados en la pared de la fundición. El material de la inclusión puede ser escoria generada en el proceso al derretirlo o pueden ser fragmentos del refractario, arena del molde, agregados del corazón u otros materiales usados en el proceso de fundición. Las inclusiones aparecen más seguido en la superficie y son detectadas usualmente con una inspección visual, pero en muchos casos las paredes internas de las fundiciones contienen inclusiones que o pueden ser detectadas visualmente. Las inclusiones internas pueden ser detectadas con inspección de ultrasonido, corrientes Eddy o Radiografía. El método más efectivo en general es la Radiografía.

DEFICIENTE ESTRUCTURA DEL METAL .

Muchos de los defectos en las fundiciones son el resultado de la estructura metálica y están relacionados con las contracciones, la cual puede presentarse como una cavidad, un área esponjosa unida con dendritas o una depresión en la superficie de la fundición. Este tipo de defecto se presenta debido a la variación de las relaciones de contracción en el momento en que el metal está cambiando de líquido a sólido. Otros defectos de fundición resultantes de la variación de la relación de contracción durante la solidificación incluyen formación de carburo, variaciones en la dureza y microporosidad.

Son los defectos internos por contracción se detectan mejor con inspección radiográfica, aunque Corrientes Eddy y Ultrasonido son utilizables. La dureza de las fundiciones de hierro gris son usualmente detectados por la prueba de Dureza Brinell o métodos electromagnéticos.

PAREDES DE METAL INTERRUPTIDAS.

Los defectos tales como desgarras en caliente, cold shuts, y agrietamientos en la fundición están incluidas en esta categoría. Las grietas de las fundiciones generalmente son un problema mayor en el hierro gris, debido a la combinación de diseños de fundición y los altos rangos de producción. La inspección visual o un método de apoyo visual como los líquidos penetrantes o las partículas magnéticas son usados para detectar grietas e imperfecciones en las fundiciones.

DEFICIENCIA EN LAS PAREDES DEL MOLDE.

Las deficiencias en las paredes del molde son problemas comunes en las fundiciones hierro gris. Dichas deficiencias resultan en defectos superficiales tales como costras, colas de rata, cortes, deslaves, rizados, caídas (de la arena) y penetración excesiva de metal dentro de los espacios entre los granos de arena. Estos defectos son generalmente detectados por inspección visual.

TAMAÑO Y CANTIDAD DE GRAFITO.

En las fundiciones de hierro la longitud de las laminaciones (escamas)- esto es, la aspereza del grafito - se expresa por número de código de 1 a 8, como se describe en ASTM A-247. Estos números corresponden a la longitud de las laminaciones en un rango desde 1.25 a 0.01 mm (0.05 a 0.0004 pulgadas) como se ve en las micrografías de la estructura de fundiciones de hierro. Con la disminución de la aspereza y la cantidad de grafito, la velocidad se aproxima a la del acero. En microlaminaciones de fundiciones de hierro, la cantidad de grafito es usualmente menor. Por lo tanto, entre más fino es el grafito, la velocidad del sonido es mayor. Tanto en fundiciones de hierro laminares como en esferoidales, la velocidad transversal de la onda de sonido está relacionada con la velocidad longitudinal.

5.1.2.- FUNDICIONES DE HIERRO MALEABLE.

Burbujas de aire y picos son defectos típicos de productos de fundición de hierro maleable. Los picos son una forma de contracción superficial normalmente no observable a simple vista, pero ellos aparecen como una multitud de pequeñas discontinuidades superficiales al ser inspeccionados por partículas magnéticas fluorescentes. Estos picos generan fracturas reales que no se propagan, pero que son inaceptables donde existen cargas cíclicas, las cuales pueden producir fallas por fatiga. Los picos son usualmente observados como pequeñas indicaciones alrededor de 1.6 mm (1/16 pulg) de longitud, y nunca más de 75 μ m (0.003 pulg) de profundidad. Estos defectos no tienen una orientación preferencial, pero quizás sigan un patrón al azar sin que este sea en sentido de la solidificación. La contracción o estructura abierta en el área es también un defecto típico en productos de fundición de hierro maleable que pueden ser detectados por inspección visual, además de observarse con la aplicación de partículas magnéticas o líquidos penetrantes.

5.1.3.- FUNDICIONES DE HIERRO DUCTIL

El hierro dúctil es una fundición de hierro en la cual el grafito se presenta en diminutas esferas en lugar de escamas (como en el hierro gris) o en agregados compactados.

La estructura esferoidal del grafito se produce por la adición de uno o más elementos al metal fundido.

SOLIDEZ E INTEGRIDAD

Existen fracturas y grietas finas que rompen la superficie de la pieza, pero que son difíciles de detectar visualmente. Estas pueden ser reveladas con inspecciones de partículas magnéticas o líquidos penetrantes. Las técnicas modernas de magnetización en fundiciones permiten la aplicación de partículas magnéticas fluorescentes de forma muy efectiva.

Los métodos de inspección sónicos que incluyen vibraciones en las fundiciones y detectan electrónicamente la relación de caída de frecuencias de resonancia o comportamiento de la disminución son usados para detectar tanto grietas como defectos en las piezas de fundición. La falta de solidez interna, no inmediatamente subsuperficial puede ser detectada con ultrasonido observándose la falla por medio de la reflexión de pared posterior cuando se emplea la reflexión del haz o por interferencia de la señal en la transmisión del haz a través de la fundición. La elección de la prueba adecuada y la interpretación de los resultados involucra la habilidad del operador. Existen métodos aplicables que consisten en una parcial o total inmersión de la pieza fundida en líquido, ya sea manual o automáticamente, de los transductores, procesando por computadora las señales para asegurar una más real y consistente interpretación de resultados. Se presentan problemas para detectar defectos muy cercanos a la superficie y cuando se

inspeccionan fundiciones muy delgadas, pero el uso de técnicas de transductores angulares y onda transversal ha redituado buenos resultados.

La solidez del hierro dúctil también puede ser revisado por rayos X o rayos Gamma. La presencia de grafito, especialmente en secciones pesadas, hacen que este método presente mayor dificultad para su evaluación que en el acero, pero el uso de imágenes intensificadas por instrumentos electrónicos ofrecen una considerable promesa, especialmente para secciones mayores a 50 mm (2puig) de espesor.

CONFIRMACION DE LA ESTRUCTURA DEL GRAFITO.

La velocidad de transmisión ultrasonica y la frecuencia de resonancia en una fundición puede estar relacionada con el modulo de elasticidad. En fundiciones de hierro, el cambio de hojuelas de grafito a grafito nodular esta en relacion con un incremento en los módulos de elasticidad de esfuerzo, así mismo, la medición de la velocidad ultrasonica o frecuencia de resonancia puede ser empleada como guía para conocer la nodularidad, esfuerzo y otras propiedades relacionadas.

La medición de la transmisión ultrasonica es realizada con dos transductores en cada lado de la fundición. Este método provee una guía para las propiedades locales.

Esta debe complementarse con medición de espesores y comunmente se emplea un equipo automático, además de involucrar inmersión de la fundición en un tanque de fluido.

Este método evalúa la estructura de grafito de la fundición completa y requiere calibración de la misma, usando estándares de fundiciones de estructuras conocidas. Esto también es necesario para mantener dimensiones dentro de un estrecho rango bien controlado. Algunas plantas de fundición emplean la inspección sónica como un método rutinario de inspección final y garantizar la estructura.

La relación entre nodularidad, frecuencia de resonancia o velocidad de transmisión ultrasónica y propiedades que tienen que han sido documentadas para esfuerzo de tensión, esfuerzo de ruptura por fatiga y esfuerzo al impacto.

La presencia de carburos puede también detectarse con medición sónica o ultrasónica para observar la suficiente reducción de grafito a través de estos carburos para afectar el módulo de elasticidad. La distinción entre los efectos de la variación de grafito y la cantidad de carburos requieren una inspección adicional, tal como pruebas de dureza.

PROPIEDADES DEPENDIENTES PARCIALMENTE DE LA ESTRUCTURA DE GRAFITO.

Cuando la estructura de la matriz del hierro dúctil varía, esta variación no puede detectarse tan fácilmente como la variación de la estructura de grafito, y las lecturas sónicas y ultrasónicas tal vez no sean aplicables para reflejar la variación en las propiedades mecánicas.

Una segunda medición, tal como medición de dureza es entonces necesaria para detectar la variación en la matriz, de la misma forma será necesaria para confirmar la presencia de carburos.

Inspecciones por medio de Corrientes Eddy o fuerzas coersivas pueden usarse para detectar muchos cambios en propiedades y estructura de la fundición, pero las indicaciones obtenidas de estas mediciones son difíciles de interpretar y la inspección es difícil de aplicar a muchas fundiciones, a menos que sean pequeñas y puedan hacerse pasar a través de una bobina de 100 a 200 mm 4 a 8 in de diámetro. Los resultados de las Corrientes Eddy son, sin embargo, muy usadas para evaluación de perlitita y carburos en estructuras de hierro.

5.2.-INSPECCION DE FUNDICIONES DE ALEACION DE ALUMINIO

Se necesita un control de calidad efectivo en cada paso de la producción de una fundición de aleación de aluminio, desde la selección del método de fundición, el diseño de esta y la aleación con la que se llevara a cabo la producción, la técnica de fundido, el maquinado, el acabado, y la inspección. Los métodos visuales, como la inspección visual, pruebas de fuga, inspección por líquidos penetrantes, inspección por ultrasonido, inspección Radiográfica, y examinación metalográfica, pueden emplearse para inspeccionar la calidad de la fundición. Los procedimientos de inspección empleados deben ser adecuados para el nivel de calidad especificado.

ETAPAS DE INSPECCION

La inspección puede ser dividida en tres etapas: preliminar, intermedia y final. Las pruebas posteriores (After tests) son conducidas a la fundición, para controlar el contenido de hidrogeno, la adecuación de la modificación del silicio, y el grado de refinamiento del grano, la inspección preliminar puede consistir en la inspección y prueba de probetas coladas con la aleación fundida al mismo tiempo que la producción de fundiciones es realizada. Estas probetas son empleadas para verificar la calidad de la aleación y la efectividad del tratamiento térmico. La inspección preliminar también incluye análisis químicos o espectrográficos de la fundición, asegurando así que las operaciones de fundido y vaciado hayan resultado en una aleación de la composición deseada.

La inspección intermedia, o inspección en caliente, es desarrollada en la fundición tal como es tomada de su molde. Este paso es esencial debido a que las fundiciones que son obviamente defectuosas pueden ser descartadas en esta etapa de la producción. Las fundiciones que son juzgadas como inaceptables en esta etapa pueden entonces ser consideradas como recuperables por impregnación, soldadura u otros métodos, dependiendo del tipo de desperfecto presente y del uso

final de la pieza. La mayoría de las piezas complejas usualmente pasan por una inspección visual y dimensional después de remover entradas de alimentación o aereadores.

La inspección final establece la calidad de la fundición acabada a través del uso de cualquiera de los métodos previamente mencionados. La inspección visual también incluye la medición y comparación final de las dimensiones actuales y las especificadas. Las dimensiones de piezas fundidas de una gran producción pueden ser verificadas con calibradores, galgas, patrones pasa-no pasa, o sistemas de medición por coordenadas.

INSPECCION POR LIQUIDOS PENETRANTES

La inspección por líquidos penetrantes es empleada extensamente como una ayuda visual para la detección de defectos superficiales en fundiciones de aleación de aluminio. La inspección por líquidos penetrantes es aplicable a todas las fundiciones hechas con aleaciones de aluminio así como a las fundiciones producidas por cualquier método. Una de las aplicaciones en la que es más frecuentemente usada es, sin embargo, la inspección de fundiciones pequeñas producidas en moldes permanentes las cuales son característicamente susceptibles al agrietamiento por calor. Por ejemplo, en vastagos de conexión fundidos, un calentamiento pobre puede resultar en grietas finas en ciertas secciones. Tales grietas son virtualmente indetectables a simple vista, pero son fácilmente detectables por inspección con líquidos penetrantes.

Todos los sistemas bien conocidos de líquidos penetrantes (ILAVABLES CON AGUA, POTSEMULSIFICABLES Y REMOVIBLES CON SOLVENTE), son aplicables a la inspección de fundiciones de aleación de aluminio. En algunos casos, especialmente en ciertas fundiciones de gran solidez, pueden emplearse más de un sistema. La selección del sistema se basa en principio en el tamaño y forma de las fundiciones.

rugosidad de superficies, cantidades de producción, nivel de sensibilidad deseado, y facilidades de inspección disponibles.

PRUEBAS DE FUGA

Las pruebas de fuga son empleadas en fundiciones que deben estar libres de fugas. Cavidades internas formadas por corazones y cavidades maquinadas son inicialmente selladas con accesorios especiales con entradas de aire. Estas entradas son empleadas para presurizar el interior de la fundición. La fundición completa es entonces sumergida en un tanque con agua, o es cubierta por una solución jabonosa. Las burbujas marcarán cualquier punto donde exista una fuga de aire.

INSPECCION RADIOGRAFICA

Es un medio muy efectivo de detectar condiciones tales como desgarres en contracciones internas, porosidad, desmoronamiento de corazones, e inclusiones en piezas de fundiciones de aleación de aluminio. La radiografía también puede ser empleada para medir el espesor de secciones específicas. Las fundiciones de aleación de aluminio son idealmente adaptables a la examinación por radiografía debido a su relativamente baja densidad: un cierto espesor de aleación de aluminio puede ser penetrado con, aproximadamente, un tercio de la potencia requerida para penetrar el mismo espesor de acero.

Las fundiciones de aleación de aluminio son frecuentemente radiografiadas con una máquina de rayos-X, empleando película para grabar los resultados. La radiografía de tiempo real y la tomografía computarizada son también ampliamente usadas y se adaptan mejor para la detección de contracciones, porosidad, y desmoronamiento de corazones). La radiografía con rayos gama es también satisfactoria para la detección de condiciones específicas en las fundiciones de aluminio. Aunque el método de rayos gama es empleado en una extensión más

pequeña que el método de rayos-X, es aproximadamente igual de efectivo para la medición y detección de defectos o condiciones. Las fundiciones de aleación de aluminio son frecuentemente radiografiadas para detectar aproximadamente el mismo tipo de defectos que pueden existir en otro tipo de fundiciones, es decir, condiciones tales como porosidad o contracciones, las cuales son registradas como secciones o áreas de baja densidad y aparecen más negras, sobre la película o la imagen en pantalla en tiempo real, que las áreas de metal sano. Las barras o lingotes (ingots) de aluminio pueden contener grietas internas ocultas de diversas dimensiones. Dependiendo del tamaño y localización, estas grietas pueden causar que una barra se resquebraje durante el trabajo mecánico y el tratamiento térmico, o pueden aparecer como discontinuidades en el producto final trabajado. Nuevamente el tamaño y localización de tales grietas son determinados, y una barra puede ser raspada (scrapped), o las secciones libres de grietas pueden cortarse y separarse para un procesamiento posterior. Debido a que las mayores dimensiones de las grietas están a lo largo de la fundición, estas presentan buenas superficies reflectantes para las ondas de sonido que viajan perpendicularmente a la dirección de la fundición. Por tanto, los métodos ultrasonicos que usan una frecuencia de onda que da una adecuada penetración a la barra provee excelente sensibilidad para la inspección al 100 % de esa parte de la barra que contiene grietas críticas. Debido al espesor de la barra (hasta 400 mm, o 16 in) y a la separación pequeña en el metal a través de la grieta, los métodos radiograficos son impracticos para la inspección.

INSPECCION ULTRASONICA

Las fundiciones de aleación de aluminio son algunas veces inspeccionadas por métodos ultrasónicos para evaluar el buen estado o solidez interna y el espesor de las paredes. Los principales usos de la inspección por ultrasonido para fundiciones de aleación de aluminio incluyen la detección de porosidad dentro de las fundiciones y grietas internas en las barras.

5.3.-INSPECCION DE FUNDICIONES DE ALEACIONES DE COBRE.

Las inspecciones de cobre y sus aleaciones son generalmente limitadas para inspección superficial por inspección visual y por líquidos penetrantes, junto con la inspección Radiográfica para discontinuidades internas. En casos específicos las pruebas de conductividad eléctrica y la inspección por ultrasonido pueden ser aplicadas, aunque lo usual para una fundición de grano de tamaño grande es aplicada con una gran efectividad.

La inspección visual es simple y también informativa. Esta incluiría mediciones dimensionales significativas de su apariencia general. Las discontinuidades superficiales comúnmente indican la presencia de discontinuidades internas.

Para pequeñas fundiciones producidas en volumen razonable, es práctica y económica una inspección destructiva metalográfica en puntos seleccionados al azar. Esto especialmente cierto, en fundiciones nuevas en las cuales la práctica de fundición no han sido optimizadas y un nivel satisfactorio de reproducibilidad aún no ha sido alcanzado.

Para fundiciones de algunos de las más duras y fuertes aleaciones, una prueba de dureza es un buen indicativo para estimación del nivel de las propiedades mecánicas. Las pruebas de dureza son de menor valor para fundiciones más suaves como aleaciones de bronce y estaño, ya que las pruebas de dureza no representan la integridad de la fundición.

Debido a que las aleaciones de cobre no son magnéticas, la inspección por partículas magnéticas no puede ser usada para detectar fracturas superficiales. En su lugar es recomendable la inspección por líquidos penetrantes. Comúnmente la inspección por líquidos penetrantes requiere algunas primordialmente de limpieza para que muestre la totalidad de los detalles.

La inspección Radiográfica es recomendada para la detección de defectos internos. Los métodos radiográficos y estándares están bien establecidos para algunas de las aleaciones de cobre. (por ejemplo ASTM E 272 y E 310)

Como una regla general, el método de inspección aplicado para varias de las primeras fundiciones hechas a partir de un nuevo patrón deben incluir todos los métodos que proveen una base de juicio de aceptación de la fundición para la aplicación regular. Algunas deficiencias o defectos deben ser revisados y el grado de perfección definido. Este procedimiento puede ser repetido en producciones sucesivas hasta que la reproducibilidad se asegure.

POROSIDAD POR GAS .- El cobre y muchas de sus aleaciones tienen una alta afinidad por el hidrógeno, con un incremento de solubilidad tanta como el incremento de temperatura en el baño de fusión. Recíprocamente, como el metal enfría en el molde bastante de este hidrógeno es expulsado del metal, de manera que todo el gas no necesariamente escapa a la atmósfera y puede ser atrapado en el proceso de solidificación, la porosidad puede ser encontrada en la fundición misma.

La visibilidad sobre una sección o por radiografía de estos, se presenta como pequeños, numerosos y ampliamente dispersos o en menor número pero relativamente grandes.

Independientemente del tamaño, raramente están interconectados excepto en algunas aleaciones de estaño-bronce, las cuales solidifican en un modo muy dendrítico. En estas fundiciones la porosidad del gas tiende a ser distribuida en las interfaces entre las dendritas.

HUECOS POR CONTRACCIONES.- Son causados por el cambio de volumen desde el estado líquido al estado sólido en aleaciones de cobre y son diferentes únicamente en grado y posiblemente en forma con respecto a aquellas encontradas en otros metales y aleaciones. Todos los metales no ferrosos exhiben esta contracción volumétrica cuando solidifican desde su condición líquida.

Los huecos por contracción pueden estar abiertos a la superficie, o quizás puedan estar a cierta profundidad en la pieza. Son irregulares en forma comparados con los defectos generados por gas, ya que su forma frecuentemente refleja los gradientes de temperatura internos inducidos por la forma de la pieza.

DESGARRES EN CALIENTE.

Los bronce estañados así como algunos latones son susceptibles a calentamientos pobres, esto es, presentan falta de ductilidad y esfuerzo a temperaturas elevadas. Esto significa que algunos desgarres y fracturas pueden tener lugar durante el entriamiento en el molde debido a que el molde o los corazones se contraen. Además, el resultado de desgarres en caliente en la pieza aparecen como grietas o fracturas visibles. Algunas veces sin embargo, las grietas no son visibles externamente y no se detectan hasta después del maquinado. En casos extremos, las grietas pueden ser evidentes únicamente a través del campo de la falla debido a que el desgarte fue profundo en la pieza fundida.

INCLUSIONES NO METÁLICAS.- En las aleaciones de cobre, como en todas las aleaciones, son normalmente el resultado de una inadecuada fundición y/o condiciones de pureza. En la operación de fundido, el uso de agitadores y crisoles, forros pobres de hornos, pueden introducir inclusiones no metálicas dentro del metal fundido. Similarmente, el diseño de coladas pobres y prácticas de vaciado pueden producir turbulencia y pueden generar inclusiones no metálicas. Inclusiones de arena tal vez sean evidentes como resultado de una inadecuada práctica de arena y corazones. Todos los metales comerciales, por la naturaleza de su disponibilidad comercial para fundición y procesos de moldeo, usualmente contienen menor cantidad de pequeñas inclusiones no metálicas. Estas tiene un efecto pequeño o no afectan en las fundiciones. Las inclusiones de un tamaño o número significativo se considera en su detrimento.

CONCLUSIONES

El principal objetivo de las inspecciones por medio de los métodos no destructivos es la de predecir, localizar y determinar la gravedad de las fallas durante el proceso de fabricación y en su acabado de las piezas de fundición. Previendo costos adicionales por la calidad evitando productos defectuosos o maquinados posteriores de los mismos.

La finalidad de emplear los métodos no destructivos en distintas piezas a inspeccionar es evitar la destrucción parcial o total de estas. de igual manera se pueden aplicar estas antes, durante y después de que una pieza sea puesta en servicio.

El ocupar el correcto proceso de fundición debe ser adecuado a los requerimientos de funcionamiento del producto a elaborar, así como el adecuado material a seleccionar, por ejemplo: para piezas de precisión se ocupará el proceso de fundición con revestimiento o fundición de precisión. Mientras que para piezas en serie de grandes dimensiones es conveniente el proceso de fundición con moldes metálicos. En todo proceso de fundición existe la posibilidad de que se presenten indicaciones tanto relevantes como no relevantes las cuales al evaluarse podrán determinarse como defectos. En algunos procesos de fundición se presentan defectos típicos de dicho proceso debido al material y técnicas empleadas en la elaboración de piezas.

Debido a la gran diversidad de defectos que se presentan no se puede hacer una clasificación particular para cada proceso de fundición siendo posible mencionar únicamente estos de manera general.

Los distintos defectos que se presentan en las piezas o productos elaborados por fundición son observables normalmente en la superficie, en sus dimensiones y

formas de estos. Tales defectos pueden ser detectados aplicando métodos de inspección como: inspección visual, inspección dimensional asistida por computadora, pruebas de peso y pruebas de dureza, los cuales son los métodos más comunes de aplicar para tal efecto.

La sola detección de los defectos mencionados no garantiza que la pieza sea aceptable en su totalidad, puesto que en el interior de dicha pieza es factible que se tengan otros defectos que no son apreciables a simple vista o por métodos de inspección comunes. Defectos subsuperficiales por resultado de la no-homogeneidad interna también son factores que hacen rechazable la pieza y pasara la detección de estos es necesario aplicar métodos de inspección más específicos tales como: líquidos penetrantes, corrientes Eddy, partículas magnéticas, radiografías, ultrasonidos y pruebas de fuga.

En la detección de los defectos internos la aplicación de uno solo de los métodos de inspección mencionados anteriormente puede detectar por completo a los mismos, pero en otros casos tal vez sea necesario complementar la inspección con otro método.

Es imposible definir un procedimiento específico para la aplicación de los métodos de inspección no destructivos a manera de "receta de cocina", debido a la gran variedad de materiales, formas, aplicaciones y niveles de calidad requeridos existentes. El desarrollo de un procedimiento especial dependerá, pues, de especificaciones particulares tanto del fabricante como del cliente, tomando en cuenta, claro está, factores tales como costo, facilidad de aplicación del método, condiciones y accesos a lugares y piezas a inspeccionar, propiedades del material en sí, experiencia y capacidad del personal y grado de seguridad de la pieza en servicio.

Teniendo en cuenta la apertura hacia los mercados internacionales, en la que la globalización de los mismos exige una producción de productos que

cumplan o que satisfagan los requerimientos establecidos al menor costo posible, unificado criterios en el desarrollo de una mejor temperatura. En esta parte donde los métodos no destructivos aportan una gran ventaja, que, como ya hemos visto, su aplicación es relativamente rápida y ofrece diversas opciones a considerar, además de tener como objetivo principal la comprobación de que el producto cumpla con las especificaciones, con la consecuente mejora del proceso y reducción de los costos de producción.