

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO**

**FABRICACIÓN EN FUNDICIÓN GRIS DEL TAMBOR DE FRENO PARA UN
AUTOMÓVIL ENSAMBLADO EN EL ECUADOR**

AUTORES:

GUEVARA GUEVARA EDWIN HERNAN

(eegg64@hotmail.com)

LOOR BAUTISTA JOSE ANDRES

(joanjoanjoan_1987@hotmail.com)

DIRECTOR: ING. FAUSTO HERNÁN OVIEDO FIERRO MSc.

(fausto.oviedo@epn.edu.ec)

CO-DIRECTOR: ING. HERNÁN PATRICIO ESTUPIÑÁN MELO MSc.

(hestupinan@ilpm-ec.com)

Quito, Junio 2015

DECLARACIÓN

Nosotros, Edwin Hernán Guevara Guevara y José Andrés Loor Bautista, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional, y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Edwin Hernán Guevara G.

José Andrés Loor B.

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado bajo mi supervisión por Edwin Hernán Guevara Guevara y José Andrés Loor Bautista.

Ing. Fausto Hernán Oviedo F. MSc.
DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Hernán Patricio Estupiñan Melo. MSc.
CODIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primero a Dios que con la confianza que tengo en él, me ha brindado una vida muy exitosa.

A mis padres Flavio y Olga que siempre han sabido llevarme por el camino del bien y sobre todo me han brindado todo para que yo logre salir en la vida.

A mis hermanos Geovanny, Jacke, Johana y Rommel que siempre han estado ahí en todo momento.

Al Magister Fausto Oviedo que como tutor me supo guiar a lo largo del proyecto.

Al Ingeniero Patricio Estupiñan que más que ser profesor ha sabido ser un amigo y una persona que admiro mucho.

A mis amigos que siempre estuvieron ahí y todavía siguen Byron, Homero, María Fernanda.

A todos los amigos que conocí en el Laboratorio de Fundición.

Amigos que También se merecen que les agradezca Gaby y Victoria.

A todos los Vodka Junior, Alejo S, Juan Pablo M, Cesar P, David T, Carlos M, Rodrigo M, Andrés V, Javier S, Wladimir S y mi compañero de tesis Andrés L.

A mi prima Katy G que ha sido como mi hermana.

Edwin

DEDICATORIA

Todo este esfuerzo se la dedico a mis padres que más que ser mi triunfo también es de ellos por el esfuerzo que ponen día a día para que yo salga en la vida.

Edwin

AGRADECIMIENTOS

Al Magister Fausto Oviedo, un extraordinario tutor quien me ha guiado en todo momento en la realización de este proyecto que enmarca el primer escalón hacia un futuro profesional lleno de éxitos.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería Mecánica, fundamentalmente agradezco al Ing. Patricio Estupiñan por impartir sus conocimientos en este mi segundo hogar.

Andrés

DEDICATORIA

A Dios, por darme la salud y haberme hecho llegar a este punto de mi vida.

A mi madre, por su fuerza, valor, responsabilidad, comprensión y paciencia cualidades ejemplares a seguir. ¡Gracias mamá!, por mostrarme que de donde venimos triunfar si es posible

A mi novia Karina por su amor, confianza y apoyo, tu ayuda fue esencial.

A Romina, por ser la hija que nunca pensé tener, alegras mis días con tus ocurrencias.

A mi hermano Jonathan, a quien considero un amigo incondicional desde mi niñez, y a mis hermanos Erick, Juanito y Naiara, que este logro lo hagan suyo como un ejemplo a seguir.

A mi abuelito Vicente, ejemplo de bondad, humildad y fortaleza, eres y serás siempre mi amuleto.

A mis tíos Manuel, Nelly, Adriana y Francisco por aportar ese grano en el éxito de mi vida.

A todos mis primos, principalmente a Juan Carlos y Jacqueline por ofrecerme su constante apoyo.

A mis amigos eternos del glorioso Vodka Juniors: Carlos, Edwin, David, César, Alejo, Andrés, Javier, Rodrigo y Juan Pablo.

A mi amigo y compañero de tesis, esta gloria es de los dos.

Andrés

CONTENIDO

CAPITULO I	1
LA FUNDICIÓN GRIS.....	1
1.1 PRELIMINARES.....	1
1.2 PRINCIPALES CONSTITUYENTES MICROSCÓPICOS.....	2
1.2.1 GRAFITO	2
1.2.1.1 Formación del grafito	4
1.2.1.2 Forma y tamaño del grafito en las fundiciones grises.....	5
1.2.2 STEADITA	8
1.2.3 FERRITA	8
1.2.4 CEMENTITA.....	9
1.2.5 PERLITA.....	9
1.3 TAMBORES DE FRENO	10
1.4 DIAGRAMA HIERRO-CARBONO	10
1.4.1 DIAGRAMA HIERRO-CARBONO ESTABLE	10
1.4.2 SOLIDIFICACIÓN DE LA FUNDICIÓN GRIS	12
1.4.3 ELEMENTOS QUE INFLUYEN EN UNA FUNDICIÓN GRIS.....	14
1.4.3.1 Carbono.....	14
1.4.3.2 Silicio	14
1.4.3.3 Azufre	15
1.4.3.4 Manganeso.....	15
1.4.3.5 Fósforo	16
1.4.3.6 Carbono equivalente.....	16
1.5 OBTENCIÓN DE LA FUNDICIÓN GRIS.....	17
1.5.1 HORNOS PARA PRODUCCIÓN DE FUNDICIÓN GRIS	17
1.5.1.1 Horno Cubilote	17
1.5.1.2 Hornos eléctricos.....	21
1.5.2 CLASIFICACIÓN DE LAS FUNDICIONES GRISES.....	23
1.5.2.1 Fundición gris perlítica	23
1.5.2.2 Fundición gris ferrítica.....	23

1.5.2.3 Fundición gris ferrito-perlítica.....	24
1.5.3 DEFECTOS QUE SE PRODUCEN EN LA FUNDICIÓN GRIS.....	24
1.5.3.1 Porosidades.....	24
1.5.3.2 Rechupe.....	25
1.5.3.3 Cavidades de contracción	26
1.5.3.4 Las sopladuras	27
1.5.4 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LAS FUNDICIONES GRISES	27
1.5.5 TRATAMIENTO TERMICO DE LA FUNDICIÓN GRIS	31
1.5.5.1 Recocido	31
1.5.5.2 Normalizado	31
1.5.5.3 Temple.....	32
1.5.5.4 Revenido.....	32
CAPITULO II	33
FUNCIONES Y PROPIEDADES DEL TAMBOR DE FRENO	33
2.1 SISTEMA DE FRENOS DE AUTOMÓVILES	33
2.1.1 SISTEMA DE FRENOS DE SERVICIO	33
2.1.2 TIPOS DE FRENO	33
2.1.2.1 Frenos de disco.....	34
2.1.2.2 Frenos de tambor.....	34
2.2 TAMBOR DE FRENO.....	36
2.2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS TAMBORES DE FRENO	37
2.2.1.1 Por el material que lo compone.....	37
2.2.1.2 Por su ubicación	41
2.2.1.3 Por la forma de acoplamiento de las zapatas al tambor.....	42
2.2.2 FUNCIONES Y PROPIEDADES	45
2.2.3 DEFECTOS DEL TAMBOR.....	45
2.2.3.1 Sobremedida	45
2.2.3.2 Grietas	45
2.2.3.3 Rayaduras.....	45
2.2.3.4 Forma de barril.....	46
2.2.3.5 Ovalado	47
2.2.3.6 Excéntrico	47

2.2.3.7 Acampanados	48
2.2.3.8 Desgaste cónico.....	49
2.2.3.9 Puntos duros	49
2.2.3 DETECCIÓN Y ELIMINACIÓN DE LOS DEFECTOS DEL TAMBOR.....	50
2.2.4 RECTIFICACIÓN DE TAMBORES	51
2.3 JUSTIFICACIÓN DE LA SELECCIÓN DEL TAMBOR DE FRENO PARA EL AUTOMOVIL CHEVROLET SAIL.....	53
2.3.1.2 Justificación de los factores de diseño	53
CAPÍTULO III	55
DISEÑO DE LOS MODELOS Y CAJA DE MOLDEO.....	55
3.1 DISEÑO DE LOS MODELOS	55
3.1.1 DELIMITACIÓN DEL PLANO DE DIVISIÓN.....	55
3.1.2 MÍNIMO ESPESOR REQUERIDO PARA LA PIEZA	56
3.1.3 ÁNGULOS DE SALIDA Y RETENCIONES	58
3.1.4 SOBREDIMENSIONAMIENTO POR CONTRACCIÓN DEL MATERIAL	59
3.1.5 DIMENSIONAMIENTO PARA MAQUINADO	61
3.2 CÁLCULO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN	62
3.2.1 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO.....	63
3.2.2 CÁLCULO.....	69
3.3 CÁLCULO DE CAJA DE MOLDEO	74
3.3.1 SELECCIÓN DEL TIPO DE CAJA DE MOLDEO	74
3.3.2 DIMENSIONAMIENTO.....	75
CAPÍTULO IV	76
PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN	76
4.1 CONTRUCCIÓN DE PLACA MODELO	76
4.2 CONSTRUCCIÓN DE CAJA DE MOLDEO	77
4.3 OBTENCIÓN DE MEZCLA DE MOLDEO.....	77
4.3.1 AGLOMERANTES Y AGLUTINANTES.....	78
4.3.2 CARACTERÍSTICAS FISIOQUÍMICAS DE LA ARENA	78
4.3.2.1 Análisis químico.....	78
4.3.2.2 Contenido arcilloso.....	79
4.3.2.3 Dimensión de los granos y su distribución.....	79

4.3.2.4 Forma de los granos	79
4.3.3 CARACTERISTICAS TECNICAS DE LA ARENA.....	80
4.3.3.1 REFRACTARIEDAD.....	80
4.3.3.2 COHESIÓN	80
4.3.3.3 PERMEABILIDAD	81
4.3.3.4 DESLIZAMIENTO	81
4.3.4 GRAFITO	82
4.3.4 PREPARACION DE LA ARENA	82
4.4 ELABORACIÓN DE MOLDES	83
4.5 FUNDICIÓN Y COLADO DE HIERRO GRIS	85
4.5.1 CONSUMO EFECTIVO DE CALOR PARA LA FUSIÓN EN EL HORNO	85
4.5.2 COLADO	87
4.6 DESMOLDEO Y DESBARBADO.....	88
4.6.1 LIMPIEZA Y DESBARBADO	88
4.6.2 CONTROL DE CALIDAD.....	89
4.7 MAQUINADO	89
4.7.1 TORNEADO	89
4.7.2 TALADRADO.....	91
4.7.3 CONTROL DE CALIDAD.....	91
4.8 LIMPIEZA Y PINTURA	91
CAPÍTULO V	92
PRODUCCIÓN DEL PROTOTIPO	92
5.1 PRODUCCIÓN DEL PROTOTIPO	92
5.1.1 INTRODUCCIÓN	92
5.1.2 ANTECEDENTES	92
5.1.2.1 DECISIÓN Y DEFINICIÓN	92
5.1.2.2 DISEÑO Y DESARROLLO	93
5.1.3 PRODUCTO, EMPRESA Y MERCADO	94
5.1.3.1 INTRODUCCIÓN	94
5.1.3.2 ORIGEN DEL PRODUCTO Y TIPOS DE FABRICACIÓN.....	94
5.1.3.2.1 Sistema o máquina única o fabricación en pocas unidades.....	94
5.1.3.2.2 Productos fabricados en pequeños y medianas series	94

5.1.3.2.3 Productos fabricados en grandes series	95
5.1.4 PROTOTIPAJE Y ENSAYO	95
5.1.4.1 SISTEMAS MÁS ÁGILES PARA FABRICAR PROTOTIPOS Y ÚTILES.....	96
5.1.4.2 PROTOTIPOS RÁPIDOS	97
5.1.4.3 ÚTILES RÁPIDOS	97
5.1.5 FUNCIONES DE DISTINTOS TIPOS DE PROTOTIPOS Y PRUEBAS	98
5.1.5.1 VALIDAR EL PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO. PRUEBAS PRELIMINARES	98
5.1.5.1.1 Prototipo preliminar.....	99
5.1.5.2 ASEGURAR LA FIABILIDAD. ENSAYOS DE DURABILIDAD	99
5.1.5.3 ASEGURAR LA FABRICABILIDAD. PRESERIES	100
5.2 COSTOS.....	101
5.2.1. COSTOS DEL PROYECTO	101
5.2.2. COSTO DE MANO DE OBRA.....	101
5.2.3. COSTO DE MATERIALES DIERECTOS E INDIRECTOS	102
5.2.4. COSTO DE SERVICIOS BÁSICOS.....	102
5.2.5. COSTOS TOTALES.....	103
CAPÍTULO VI	104
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	104
6.1 ANÁLISIS DEL PROTOTIPO OBETENIDO	104
6.1.1 ENSAYOS REALIZADOS AL MATERIAL OBTENIDO	105
6.1.1.1 ENSAYO DE TRACCIÓN	105
6.1.1.2 METALOGRAFÍA.....	105
6.1.1.3 DUREZA	107
6.2 CONCLUSIONES	107
6.3 RECOMENDACIONES	108
BIBLIOGRAFÍA.....	109
Internet:	110
ANEXOS	111
ANEXO 1. PLANOS DEL TAMBOR DE FRENO	111
A 1.1. PLANO DEL TAMBOR.....	111
A 1.2. PLANO DEL MODELO DE FUNDICIÓN.....	111
ANEXO 2. INSTRUCTIVO ELABORACIÓN DE MOLDE PARA TAMBOR DE FRENO	111

ANEXO 3. ENSAYO DE TRACCIÓN	111
ANEXO 4. METALOGRAFÍA Y MAPEO DE DUREZAS.....	111
ANEXO 5.	111
ANEXO 6. NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2481:2009	111
ANEXO 1. PLANOS DEL TAMBOR DE FRENO	112
A 1.1. PLANO DEL TAMBOR.....	112
A 1.2. PLANO DEL MODELO DE FUNDICIÓN.....	113
ANEXO 2. INSTRUCTIVO ELABORACIÓN DE MOLDE PARA TAMBOR DE FRENO	114
ANEXO 3. ENSAYO DE TRACCIÓN	115
ANEXO 4. METALOGRAFÍA Y MAPEO DE DUREZAS	116
ANEXO 5.	117
ANEXO 6.	118

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1.1 Microestructura de una fundición gris hipoeutéctica.....	3
Figura 1.2 Fundición gris ferrítica.....	4
Figura 1.3 Tipos de grafito que suelen aparecer en las fundiciones: a) Grafito tipo A; b) Grafito tipo B; c) Grafito tipo C; d) Grafito tipo D; e) Grafito tipo E.	7
Figura 1.4 Microestructura de la fundición con diversas formas de grafito: a) Grafito laminar (fundición gris ordinaria) tomado a 100 aumentos; b) Grafito esferoidal tomado a 200 aumentos; c) Grafito nodular tomado a 100 aumentos	5
Figura 1.5 Micrografía a 400 aumentos	8
Figura 1.6 Micrografía a 200 aumentos	9
Figura 1.7 Diagrama hierro-carbono estable (línea de rayas alternadas) y diagrama hierro-carbono meta estable (líneas continuas).	11
Figura 1.8 Esquema que muestra las curvas de enfriamiento A1, A2, A3 de la solidificación estable de las fundiciones.....	12
Figura 1.6 Parte externa e interna de un cubilote	18
Figura 1.7 Microestructura de la fundición gris: a) fundición perlítica, tomada a 200 aumentos; b) fundición ferrito-perlítica, tomada a 100 aumentos; c) fundición ferrítica tomada a 100 aumentos	24
Figura 1.8 Representación gráfica de la forma de amortiguarse las vibraciones que se pueden producir en las piezas de fundición, acero y aluminio.	29
Figura 1.9 Relación aprox. entre la resistencia de las fundiciones y su módulo de elasticidad.....	30
Figura 1.10 a) Indica la influencia del espesor de las piezas en la variación de la resistencia a la tracción de fundiciones de diferentes resistencias; b) indica la influencia del espesor de las piezas en la variación de la dureza de las fundiciones de diferentes resistencias a la tracción.	30
Figura 2.1 Vista esquemática de un conjunto de freno ordinario	34
Figura 2.2 Servo acción cuando se aplican los frenos a un tambor que se mueve hacia la derecha	35
Figura 2.3 Vista del tambor de freno	37
Figura 2.4 Tambor de acero forjado.....	38
Figura 2.5 Tambor de aleación de hierro fundido.....	39
Figura 2.6 Anillo de rozamiento de aleación de hierro fundido con disco de acero	39
Figura 2.7 Anillo de rozamiento de aleación de hierro fundido con tambor de acero.....	40
Figura 2.8 Anillo de rozamiento de aleación de hierro fundido con tambor de aluminio.....	41
Figura 2.9 Vista de un tambor con su maza y con pistas de rodamientos.....	41
Figura 2.10 Freno de tambor simplex	43
Figura 2.11 Freno de tambor dúplex.....	43
Figura 2.12 Freno de tambor dúo-servo	44
Figura 2.13 Tambor de frenos rayado.....	46
Figura 2.14 Tambor de freno en forma de barril	46
Figura 2.15 Tambor de freno ovalado.....	47

Figura 2.16 Tambor de freno excéntrico.....	48
Figura 2.17 Tambor de freno acampanado.....	48
Figura 2.18 Desgaste cónico del tambor.....	49
Figura 2.19 Puntos duros en la superficie del tambor	50
Figura 2.20 Torno típico de tambor de frenos	52
Figura 2.21 Vista esquemática de los dos métodos que se emplean para rectificar un tambor de freno.....	52
Figura 3.1 Plano de división del molde	56
Figura 3.2 Espesores mínimos de piezas.....	57
Figura 3.3 Medidas de salida y ángulo β	58
Figura 3.5 Posición de las variables para el cálculo de la altura media de carga.....	64
Fig. 3.6 Secciones típicas de escoriadores y alimentadores.....	68
Fig. 3.7 Dimensiones de alimentadores y escoriadores (mm)	73
Fig. 3.8 Dimensiones del canal vertical (mm).....	73
Figura 4.1 Placa modelo semimetálica.....	77
Figura 4.2 Moldes Listos Para Colar	85
Figura 4.3 Transporte del material fundido desde el horno hasta los moldes	88
Figura 4.4 Desmoldeo	88
Figura 4.5 Limpieza.....	89
Figura 4.6 Maquinado cara externa del Tambor de freno	90
Figura 4.7 Maquinado cara interna del tambor de freno	90
Figura 4.8 Taladrado de los alojamientos del tambor de freno.....	91
Figura 6.1 Tambor de freno terminado.....	104
Figura 6.2 Probeta ensayo de tracción.....	105

ÍNDICE TABLAS

Tabla 3.1 Valores aconsejables de la salida s , en milímetros y en tanto por ciento, y del ángulo de salida β para modelos sólidos y bien contruidos.....	59
Tabla 3.2 Contracción de diferentes materiales	60
Tabla 3.3 Sobremedida de maquinado	62
Tabla 3.4 Valores de coeficientes para el cálculo	65
Tabla 3.5 Valores de espesores predominantes y velocidades de ascenso recomendadas.....	66
Tabla 3.6 Relaciones de colada	67
Tabla 3.7 Dimensiones normalizadas de los alimentadores	68
Tabla 3.8 Dimensiones normalizadas de los escoriadores.....	69
Tabla 4.1 Contantes físicas de algunos metales y aleaciones	86
Tabla 5.1 Costos del Proyecto	101
Tabla 5.2 Costo de mano de obra.	102
Tabla 5.3 Costo de Materiales.....	102
Tabla 5.4 Costo de Servicios Básicos	103
Tabla 5.7 Variación de costos para diferente producción.	103

INTRODUCCIÓN.

En los últimos años, la industria ensambladora automotriz del país, ha optado por la adquisición de tambores importados, misma que incurre en altos costos de envío, y en la que en muchos casos excede la capacidad real de adquisición de la empresa, generando altos costos en amortización de dichos equipos y por ende pérdidas. Por esta razón se ve la necesidad de innovar sus procesos y la calidad de sus servicios en función de las necesidades requeridas por dicha industria.

Las ensambladoras nacionales tienen interés en desarrollar este campo, debido a la resolución No. 18 del Comité de Comercio Exterior y considerando los artículos 284 y 304 de la Constitución de la República del Ecuador en los que se incentiva la producción nacional de CKDs de vehículos, ya que si dichas empresas incorporan a su producción más del 20% de CKDs producidos nacionalmente, pagarán el arancel mínimo establecido en dicha resolución.

La producción de estas piezas permitirá un desarrollo técnico y tecnológico en la industria ecuatoriana.

CAPITULO I

LA FUNDICIÓN GRIS

1.1 PRELIMINARES

En la manufactura de hierros fundidos grises, la tendencia de la cementita a separarse en grafito y austenita o ferrita es favorecida controlando la composición de aleación y las rapidezces de enfriamiento. La mayoría de los hierros fundidos grises son aleaciones hipoeutécticas que contienen entre 2,5 y 4% de carbono.¹

En el proceso de enfriamiento de las fundiciones grises se produce en la zona de 1000 a 800° una ligera dilatación debida a la formación de grafito. En los procesos de solidificación desde el estado líquido hasta la temperatura ambiente, las fundiciones grises se contraen aproximadamente, un 2,1%.

Proporcionalmente en las fundiciones grises el carbono ocupa un volumen mayor que el que parece que debería ocupar por su peso. Esto es debido a que el peso específico del grafito es aproximadamente 1/3 del peso específico del acero.²

La fundición gris contiene, en general mucho silicio 1,5 a 3,5%. El color oscuro que tienen las fracturas, se debe a la presencia en las mismas de gran cantidad de láminas de grafito. Las velocidades de enfriamiento lentas favorecen este tipo de fundición.³

Su colabilidad es mejor en cuanto mayor sea el contenido de carbono por ser pequeño el intervalo de temperaturas entre líquidos y sólidos. Las fundiciones grises dan poco rechupe, 1% de contracción lineal aproximadamente, inferior a la de los aceros y fundiciones blancas. La pequeña contracción al solidificar se debe a que su densidad es inferior a la de las fundiciones blancas y a la de aceros.

¹ AVNER H; "Introducción a la metalurgia física"; 2da Edición; Mc Graw Hill; México; 1995; pág. 430-431.

² APRAIZ J; "Fundiciones"; 2da Edición; Dossat; Madrid; 1963; pág. 15

³ APRAIZ J; "Fundiciones"; 2da Edición; Dossat; Madrid; 1963; pág. 5

El comportamiento mecánico de una fundición gris resulta parecido al de un acero con numerosas microfisuras taponadas por grafito.

La presencia de grafito equivale a microentallas, manifiestamente en fundiciones no esferoidales. Por eso, el alargamiento a la tracción de las fundiciones grises laminares es pequeño (generalmente menor de 0,6%). La existencia previa de esas microentallas esclarece también la débil sensibilidad de esas fundiciones a la influencia complementaria de entallas mecánicas superficiales. Por ello, en fundiciones grises laminares no es preciso evitar con tanto cuidado como en los aceros la presencia de rayas de mecanizado.

Puede señalarse, con carácter general, que la resistencia a la tracción disminuye en las fundiciones grises laminares al aumentar el contenido de carbono. El grafito disminuye la sección real del constituyente matriz, el que aguanta el esfuerzo de tracción.

Gracias a la buena colabilidad de las fundiciones grises es posible moldear piezas de paredes delgadas. Para una buena colabilidad, se requiere que el intervalo de posible, solidificación sea el menor posible, o lo que es igual, altos valores de carbono equivalente.

Las fundiciones grises ordinarias presentan buena resistencia a la corrosión, superior a los aceros. Los productos de corrosión quedan apresados por el esqueleto de grafito y dificultan el deterioro de zonas más profundas.⁴

1.2 PRINCIPALES CONSTITUYENTES MICROSCÓPICOS

1.2.1 GRAFITO⁵

El grafito es una forma elemental del carbono. Es blando, untuoso, de color gris oscuro, con peso específico 2,25 gr/cm³, que es aproximadamente 1/3 del que

⁴ http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_43_187_9_279.pdf

⁵ APRAIZ J; "Fundiciones"; 2da Edición; Dossat; Madrid; 1963; pág. 12

tiene el acero. Se presenta en estado libre en algunas clases de fundiciones, ejerciendo una influencia muy importante en sus propiedades y características.

En las fundiciones grises (Fig. 1.1; 1.2), que son las de mayor aplicación industrial, se presenta en forma de láminas u hojuelas. La presencia de grafito en cantidad importante, baja la dureza, la resistencia y el módulo de elasticidad en comparación con los valores que corresponderían a las mismas microestructuras sin grafito. El grafito además reduce casi a cero su ductilidad, su tenacidad y su plasticidad.

En cambio, el grafito mejora la resistencia al desgaste y a la corrosión. Disminuye el peligro de los agarrotamientos por roce de mecanismos y piezas de máquinas y motores, ya que en cierto modo actúa como lubricante. También mejora la maquinabilidad y reduce las contracciones durante la solidificación.

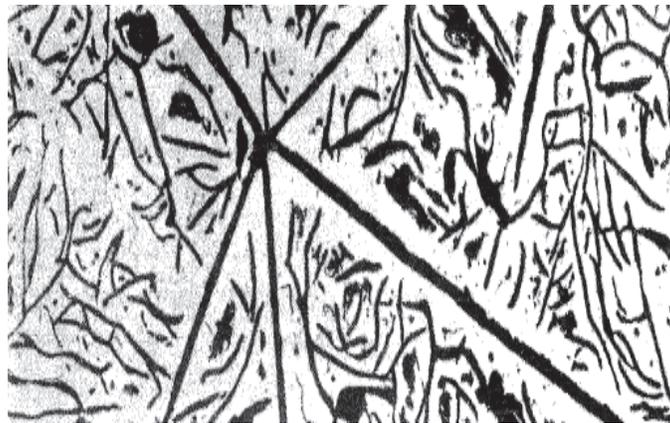


Figura 1.1 Microestructura de una fundición gris hipoeutéctica⁶

⁶ APRAIZ J; "Fundiciones"; 2da Edición; Dossat; Madrid; 1963; pág. 2



Figura 1.2 Fundición gris ferrítica⁷

1.2.1.1 Formación del grafito⁸

La aparición del grafito en vez de cementita en las aleaciones hierro-carbono, es debida a la inestabilidad del carburo de hierro en determinadas circunstancias y condiciones que hacen imposible su existencia y favorecen, en cambio, la formación del grafito.

Las principales circunstancias que favorecen la formación de grafito son: un elevado porcentaje de silicio y un enfriamiento relativamente lento. Experimentalmente se ha comprobado también que la presencia de núcleos de cristalización en la fase líquida, ejerce gran influencia en la formación de grafito. La máxima temperatura alcanzada por la aleación durante la fusión y la temperatura de colada, también influyen en la cantidad, tamaño y distribución de las láminas de grafito. En algunos casos el grafito se forma directamente, y en otros se forma al desdoblarse la cementita en grafito y hierro, según la siguiente reacción:



Es interesante señalar que, en general, en las fundiciones grises en el proceso de enfriamiento que sigue a la solidificación, se suele obtener primero grafito en la zona de temperaturas elevadas y superiores a 900°.

⁷ APRAIZ J; "Fundiciones"; 2da Edición; Dossat; Madrid; 1963; pág. 4

⁸ APRAIZ J; "Fundiciones"; 2da Edición; Dossat; Madrid; 1963; pág. 23, 24

En general, el grafito se forma más fácilmente a temperaturas elevadas que a bajas temperaturas, y en las fundiciones hipereutéticas se realiza más fácilmente la formación de grafito cuando parte de la aleación está todavía fundida, que cuando toda ella se encuentra en estado sólido.

1.2.1.2 Forma y tamaño del grafito en las fundiciones grises

Las propiedades de la fundición gris se ven influidas por la forma y distribución de las láminas de grafito. El método estándar de la definición de la forma del grafito se basa en el sistema propuesto por la ASTM, que clasifica la forma, la distribución y el tamaño del grafito.⁹

El grafito de las fundiciones puede tener cuatro formas principales: grafito laminar, grafito vermicular, grafito esferoidal y grafito nodular.

1.2.1.2.1 Grafito laminar¹⁰

En la fundición gris ordinaria el grafito toma la forma de vetas pequeñas, este grafito se llama laminar. Figura 1.3a.

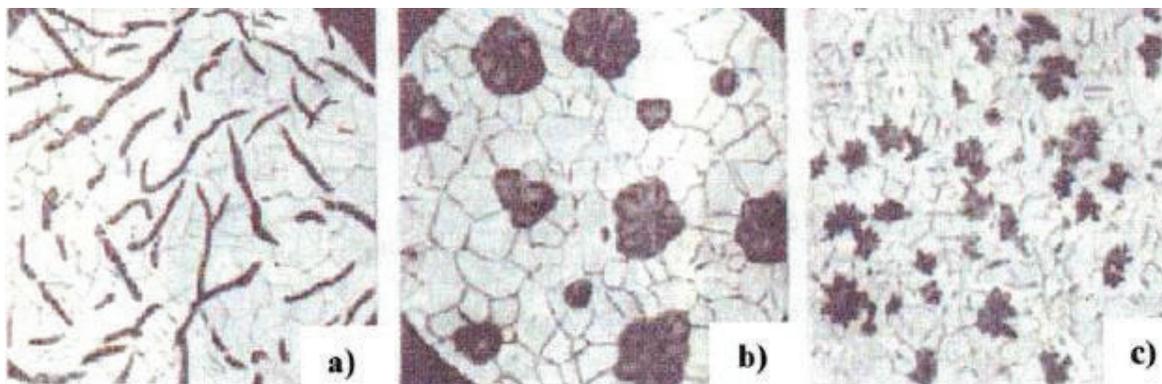


Figura 1.3 Microestructura de la fundición con diversas formas de grafito: a) Grafito laminar (fundición gris ordinaria) tomado a 100 aumentos; b) Grafito esferoidal tomado a 200 aumentos; c) Grafito nodular tomado a 100 aumentos¹¹

⁹ BROWN J; "Foseco ferrous foundryman's handbook"; Butterworth heinemann; Great Britain; 2000; pág. 34, 35

¹⁰ BROWN J; "Foseco ferrous foundryman's handbook"; Butterworth heinemann; Great Britain; 2000; pág. 35, 36, 37

¹¹ GULYAVEV A.; "Physical metallurgy"; Mir Publishers; Volumen 1; 1980; pág. 205

Existen distintos tipos de grafito laminar de solidificación. El grafito puede observarse en el microscopio directamente sobre una probeta pulida, sin necesidad de atacarla químicamente. Normalmente la muestra se examina a 100 aumentos. Es así pues que se tienen los siguientes tipos de grafito laminar:

Tipo A, suele ser el más corriente, aparece en el centro de las piezas de cierto espesor, fabricadas con fundiciones grises ordinarias, de composición próxima a la eutéctica. Este tipo de grafito es el que conviene para la fabricación de piezas para maquinaria y es el más antiguo obtenido en los cubilotes, trabajando sin precauciones especiales, Figura 1.4a.

Tipo B, aparece con porcentajes de silicio y, sobre todo de carbono elevados, en piezas enfriadas rápidamente. Se suele representar en piezas delgadas de unos 10 mm de espesor, coladas en arena, Figura 1.4b.

Tipo C, cuando un fundido tiene composición hipereutéctica, la solidificación comienza con la formación de grafito primario, en el intervalo entre la temperatura del líquido y la temperatura eutéctica. Este grafito se desarrolla libremente en el interior del líquido, sin obstáculos para su crecimiento, y proporciona láminas rectas cuyo espesor supera al que presentará el grafito eutéctico cuando llegue a formarse. Figura 1.4c.

Tipo D, este tipo de grafito tiene una distribución aleatoria. Al igual que el grafito tipo E, se forma cuando se tiene temperaturas de enfriamiento altas. Figura 1.4d.

Tipo E, se suele presentar cuando la fundición es muy hipoeutéctica, es decir, cuando tiene bajo contenido en carbono. Requerirá más silicio para evitar el blanqueo o aparición de ledeburita. Formándose también cuando la temperatura de colada es elevada, como consecuencia de los fenómenos de subenfriamiento. Figura 1.4e.

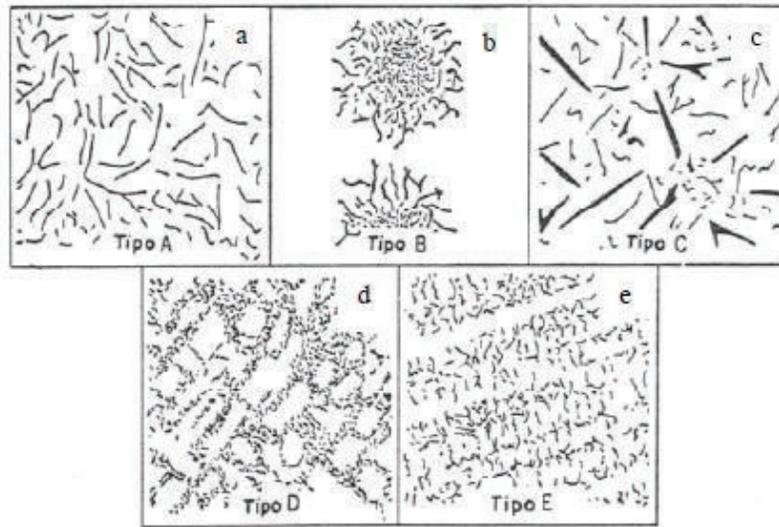


Figura 1.4 Tipos de grafito que suelen aparecer en las fundiciones: a) Grafito tipo A; b) Grafito tipo B; c) Grafito tipo C; d) Grafito tipo D; e) Grafito tipo E.¹²

1.2.1.2.2 Grafito esferoidal

En las fundiciones modernas de alta resistencia, que se fabrican adicionando una pequeña cantidad de magnesio o de cerio, el grafito toma la forma de esfera. Figura 1.3b.

1.2.1.2.3 Grafito nodular

Si en la colada se obtiene fundición blanca y después, aprovechando la inestabilidad de la cementita se somete a recocido para descomponerla, el grafito toma una forma compacta, casi equiaxial, pero no redonda. Figura 1.3c.

En la práctica, la fundición con grafito nodular se llama fundición maleable. Por lo tanto, la fundición laminar se llama fundición gris ordinaria, y la fundición con grafito esferoidal, fundición de alta resistencia.

1.2.1.2.4 Grafito vermicular

Forma de grafito degenerado que consiste en láminas gruesas con apariencia de gusanillo (del latín, vermiculus) redondeado, usualmente como resultado de bajo magnesio residual.¹³

¹² APRAIZ J; "Fundiciones"; 6ta Edición; Dossat; Madrid; 1998; pág. 68

¹³ http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_43_187_9_279.pdf

1.2.2 STEADITA¹⁴

La steadita es un compuesto de naturaleza eutéctica, duro y frágil y de bajo punto de fusión (960°) que aparece en las fundiciones de alto contenido de fósforo. En la fundición gris la steadita está compuesta de un eutéctico celular binario de ferrita y fósforo de hierro.

El fosforo de hierro que forma parte de la steadita tiene una dureza muy elevada, 600 a 700 Vickers, y la steadita suele tener de 300 a 350 Vickers. En las fundiciones grises se observa que casi siempre en las proximidades de la steadita la dureza suele ser un poco más elevada que en las demás zonas.



Figura 1.5 Micrografía a 400 aumentos, steadita¹⁵

1.2.3 FERRITA

Presenta una dureza de orden de 90 HB, posee una resistencia a la tracción de aproximadamente 30Kg/mm² (300 MPa) y tiene un alargamiento de 40%. Es una fase blanda de bajo contenido en carbono que presenta baja resistencia a la tracción pero alta ductilidad. Su forma se puede promover por medio de grafitizantes como el silicio y por una lenta velocidad de enfriamiento tal como aquella que predomina en piezas grandes. La ferrita se encuentra frecuentemente en unión con el grafito subenfriando.

¹⁴ APRAIZ J; "Fundiciones"; 2da Edición; Dossat; Madrid; 1963; pág. 12,13

¹⁵ <http://www.esi2.us.es/IMM2/Pract-html/y2.html>

1.2.4 CEMENTITA

Llamada también carburo eutéctico, es un compuesto intermetálico duro y frágil. Su formación es favorecida en áreas de fundido donde tiene lugar una rápida velocidad de enfriamiento tales como: esquinas, en toda la superficie de la pieza y en secciones delgadas. Los hierros con bajo carbono equivalente, particularmente aquellos con bajo contenido de silicio son propensos a contener cementita.

Este compuesto posee una dureza del orden de los 68 HRC, siendo el componente más duro del diagrama metaestable, lo cual implica que es muy frágil. Cristalográficamente se presenta en celdas ortorrómbicas, es un material magnético por debajo de los 210 °C y tiene un punto de fusión indeterminable ya que cuando se llega a 1227°C, éste se descompone y no funde.¹⁶



Figura 1.6 Micrografía a 200 aumentos, cementita¹⁷

1.2.5 PERLITA

Es el producto de una transformación eutectoide y, en el hierro gris consiste en láminas intercaladas de ferrita y cementita. Esta posee mayor dureza y resistencia en la tracción que la ferrita pero su ductilidad es más baja. La dureza y la resistencia a la tracción asociada a la perlita dependen principalmente del espacio interlaminar entre la ferrita y la cementita. Los valores más altos corresponden a la perlita con espaciado interlaminar fino.¹⁸

¹⁶ http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_43_187_9_279.pdf

¹⁷ <http://www.esi2.us.es/IMM2/Pract-html/y2.html>

¹⁸ http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_43_187_9_279.pdf

1.3 TAMBORES DE FRENO

Existen variaciones de materiales para el uso en los tambores de freno, ya que diferentes variaciones en el material pueden dar similares propiedades al tambor de freno por lo tanto el uso del material será determinado por las necesidades que tenga la ensambladora o una marca de vehículo.

En el caso del tambor de freno del Chevrolet Sail se tiene que General Motors trabaja con las especificaciones de las normas SAE con pequeñas variaciones que dependen del fabricante del tambor de freno.

Los tambores de freno son fabricados de fundición gris perlítica material considerado por:

- Elevada resistencia al desgaste
- Menor costo de fabricación
- Buena absorción de calor producido por el rozamiento en el frenado
- Fácil mecanizado
- Absorción de vibraciones

1.4 DIAGRAMA HIERRO-CARBONO

1.4.1 DIAGRAMA HIERRO-CARBONO ESTABLE¹⁹

Las transformaciones que se producen en los calentamientos y enfriamientos de las fundiciones grises deben estudiarse con ayuda de un diagrama hierro-carbono estable (que señala los fenómenos y transformaciones estables correspondientes a las aleaciones hierro-carbono), y se refiere, en general, a aleaciones de alto contenido de silicio (1 a 4% generalmente). Una característica de este diagrama estable es que sus constituyentes son grafito y hierro en lugar de cementita y hierro, que son los constituyentes del diagrama metaestable.

Otra circunstancia importante que debe de cumplirse para que las transformaciones se verifiquen de acuerdo con el diagrama estable, además de un

¹⁹ APRAIZ J; "Fundiciones"; 2da Edición; Dossat; Madrid; 1963; pág. 21

alto contenido en el silicio es que el enfriamiento de las aleaciones se verifique de una forma lenta.

Junto al clásico diagrama de hierro-carbono metaestable, se señala con línea segmentada un diagrama estable (Figura 1.7) que nos servirá para estudiar las transformaciones que experimenta las fundiciones grises en los procesos de calentamiento y enfriamiento, y para conocer las microestructuras que en cada caso se podrán obtener.

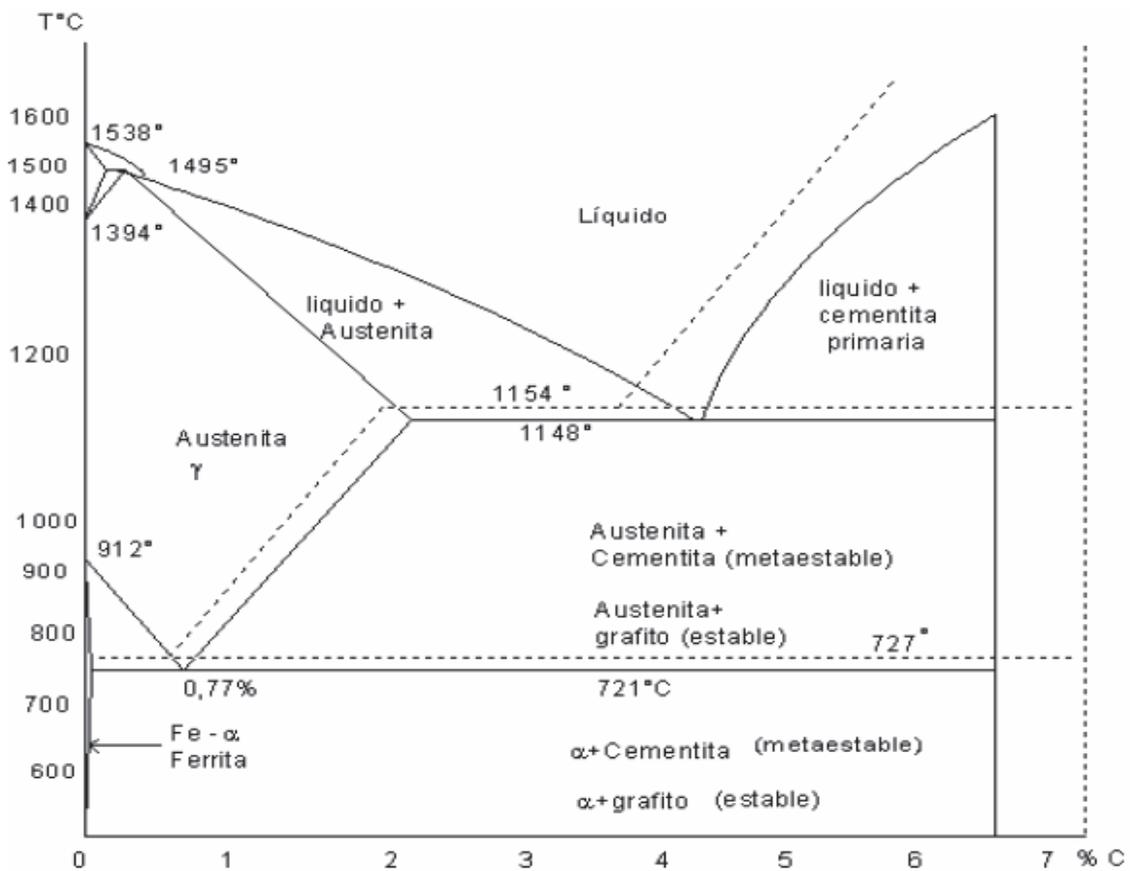


Figura 1.7 Diagrama hierro-carbono estable (línea segmentada) y diagrama hierro-carbono metaestable (líneas continuas).²⁰

²⁰ APRAIZ J; "Fundiciones"; 6ta Edición; Dossat; Madrid; 1998; pág. 22

1.4.2 SOLIDIFICACIÓN DE LA FUNDICIÓN GRIS²¹

A continuación se explican algunos procesos de solidificación, de manera que pueda entenderse cómo es este proceso a lo largo de todo el diagrama. En la figura 1.8 se muestran las curvas de enfriamiento de una aleación de composición binaria (Fe-C), que siguen un enfriamiento estable.

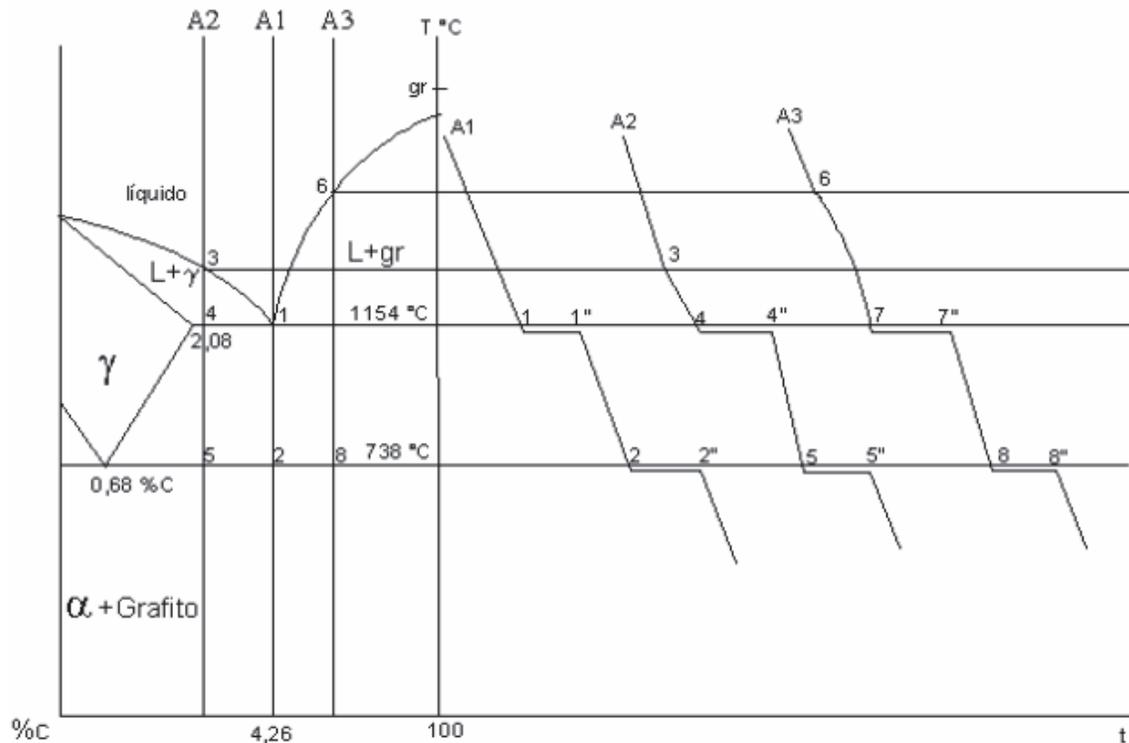


Figura 1.8 Esquema que muestra las curvas de enfriamiento A1, A2, A3 de la solidificación estable de las fundiciones.²²

La aleación eutéctica al (4,26 %C) empieza a solidificar a una temperatura constante de 1154°C (punto 1). A modo de dos fases: grafito (100%C) + austenita del 2,08% C, solidificando completamente en el punto 1''. Por debajo del punto eutéctico el grafito es formado por precipitación de carbono desde la austenita eutéctica y se acumula en las partículas ya existentes. Este proceso continúa hasta la temperatura eutectoide de 738°C (punto 2) en la que la austenita

²¹ http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_43_187_9_279.pdf

²² http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_43_187_9_279.pdf

contiene el 0,68% C y es aquí donde ocurrirá la reacción eutectoide a temperatura constante y la austenita se transforma en ferrita + grafito (punto 2"). Luego continúa el enfriamiento hasta la temperatura ambiente, obteniendo de esta manera ferrita y grafito.

Una aleación hipoeutética A2 empieza a solidificar en el punto 3 de la línea de líquidus. La aleación líquida solidificada en forma de dendritas de austenita que crecen y se desarrollan desde el líquido. A la temperatura de 1154 °C termina la solidificación de la austenita primaria y el líquido alcanza la composición eutética (punto 4), solidificando entonces el eutético austenita-grafito (punto 4"). A medida que continúa el enfriamiento de la aleación ya solidificada se formarán nuevas cantidades de grafito por precipitación de carbono desde la austenita en tanto que la concentración de esta se acerca a la composición de la eutectoide de 0,68% C. A la temperatura de 738 °C (punto 5) comienza la reacción eutectoide y la austenita de 0,68 %C se compone en ferrita y grafito, para terminar en el punto 5". El grafito se une con las partículas ya existentes y no se presenta separando del grafito eutético. Luego continúa la solidificación hasta la temperatura ambiente, obteniéndose finalmente ferrita y grafito.

Una aleación líquida hipereutética estable A3 (con %C mayor a 4,26) empieza a solidificar en la línea líquidus (punto 6) con la precipitación de cristales de grafito. A este grafito se lo llama grafito primario y en todo momento de su desarrollo hasta el punto 7 se encuentra en estado de suspensión, que por su baja densidad con respecto a la del líquido tiende a flotar en la superficie. En el punto 7 ocurre la reacción eutética, para terminar en menor tamaño. Por debajo de la temperatura eutética el grafito sigue formándose por precipitación de carbono desde la austenita eutética, y a 738 °C empieza la reacción eutectoide (punto 8) a temperatura constante y la austenita se transforma en ferrita + grafito, terminado el punto 8". Posteriormente continúa el enfriamiento hasta llegar a temperatura ambiente, obteniendo de esta manera ferrita y grafito.

1.4.3 ELEMENTOS QUE INFLUYEN EN UNA FUNDICIÓN GRIS²³

Las fundiciones no son resultado de aleaciones simples de Fe-C, sino que influyen en su estructura y propiedades diversos elementos. Son cinco los elementos básicos que caracterizan a una fundición: C – Si – S – Mn – P.

1.4.3.1 Carbono

El carbono baja las características mecánicas de las fundiciones, su contenido se fija entre 2,5 y 4%. Las fundiciones resistentes son de bajo carbono, por otro lado, el carbono reduce la tendencia al temple, mejora la colabilidad y la exactitud del moldeado.

1.4.3.2 Silicio²⁴

El silicio es un elemento muy importante en la metalurgia del hierro gris; incrementa la fluidez y tiene efecto sobre la solidificación de la aleación fundida. La composición eutéctica se mueve a la izquierda (aproximadamente 0,30% de carbono por cada 1% de silicio), lo cual abate efectivamente la temperatura a la cual la aleación empieza a solidificar. Conforme aumenta el contenido de silicio, disminuye el área de campo de austenita, el contenido de carbono eutectoide decrece y la transformación eutectoide ocurre sobre un intervalo que se amplía.

El silicio es un grafitizador y si no está contrabalanceado por los elementos de promoción de carburos, favorece la solidificación de acuerdo con el sistema estable hierro-grafito. Por ende, durante la solidificación en presencia de silicio, el carbono se precipita como grafito primario en forma de hojuelas. Una vez que se ha constituido el grafito primario, su forma no puede alterarse por ningún método. Estas débiles hojuelas de grafito rompen la continuidad de la matriz y el efecto de

²³ http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_43_187_9_279.pdf

²⁴ AVNER H; "Introducción a la metalurgia física"; 2da Edición; Mc Graw Hill; México; 1995; pág. 433.

muesca (concentración de esfuerzos), lo cual explica la baja resistencia y la poca ductilidad de hierro gris.

1.4.3.3 Azufre²⁵

El azufre se opone a la grafitización del carbono y favorece la formación de cementita. Su influencia en ausencia del manganeso es verdaderamente sensible. El azufre tiene una fuerte afinidad con el manganeso y al combinarse ambos elementos forman el sulfuro de manganeso, que no tiene en cambio ninguna influencia en la formación del grafito o de la cementita. Por lo tanto la primera adición de azufre a una fundición de un contenido relativamente elevado de manganeso, tiende indirectamente a grafitizar la fundición. Lo mismo ocurre con las adiciones de manganeso a una fundición de elevado contenido de azufre, ya que al principio favorecen la grafitización en lugar de oponerse a ella.

El azufre en ocasiones, cuando se encuentra en las fundiciones en cantidades importantes y forma S Fe, por no haber suficiente cantidad de manganeso, puede dar lugar al fenómeno de temple invertido. Suele ocurrir que el azufre aparece segregado en las zonas centrales próximas a las mazarotas o rechupes en forma de sulfuro de hierro que tiende a blanquear en esos puntos a la fundición. Entonces ocurre que la zona central es más dura que la periferia, y por eso este fenómeno suele conocerse con el nombre de temple invertido.

1.4.3.4 Manganeso

El manganeso se opone lo mismo que el azufre a la grafitización del carbono y favorece por tanto, la formación de cementita. Tiende a blanquear las fundiciones y aumentar su dureza dificultando la mecanización. Normalmente las fundiciones suelen contener de 0,4 a 1,5% de manganeso, y como ya hemos señalado anteriormente, el principal papel del manganeso es neutralizar el azufre, evitando la formación del sulfuro de hierro.

²⁵ APRAIZ J; "Fundiciones"; 2da Edición; Dossat; Madrid; 1963; pág. 32, 33, 34

1.4.3.5 Fósforo

El fósforo se suele añadir a veces intencionadamente a la fundición con objeto de favorecer su colabilidad y se emplea cuando se quiere fabricar piezas de forma complicada o de carácter decorativo u ornamental.

El fósforo no ejerce influencia muy sensible sobre la grafitización del carbono en las fundiciones, aunque puede decirse que, en general, se opone ligeramente a ella. La presencia de fósforo da lugar a un aumento de la fragilidad y de la dureza.

En las fundiciones grises se forma un eutéctico binario de 39% de ferrita con algo de fósforo en solución y 61% de fosfuro de hierro.

1.4.3.6 Carbono equivalente²⁶

Los tres componentes de las fundiciones, que más afectan a la resistencia y dureza son: carbono, silicio y fósforo. Un índice conocido como carbono equivalente (CEV) combina los efectos de estos tres elementos. El hierro gris eutéctico se produce con un contenido de carbono de 4,3% en el sistema binario Fe-C. Si el silicio y el fósforo están presentes, se reduce el contenido de carbono de la mezcla eutéctica. La influencia del fósforo y del silicio en la solidificación del hierro viene dada por la expresión.

$$C_{eq} = \%C + \frac{\%Si + \%P}{3} \quad \text{Ecuación 1.2}$$

Las fundiciones con C_{eq} menores a 4,3% son llamadas hipoeutécticas, los que tienen valores superiores a 4,3% son llamadas hipereutécticas.

Con un carbono equivalente igual a la del eutéctico la colabilidad es máxima y la tendencia de la contracción es mínima, con el aumento de carbono equivalente la tendencia al temple y la resistencia mecánica disminuyen.

²⁶ BROWN J; "Foseco ferrous foundryman's handbook"; Butterworth heinemann; Great Britain; 2000; pág. 32, 33.

1.5 OBTENCIÓN DE LA FUNDICIÓN GRIS

1.5.1 HORNOS PARA PRODUCCIÓN DE FUNDICIÓN GRIS

Por lo general la producción de fundición gris se realiza tanto en hornos de cubilote como en hornos eléctricos. Sin embargo en nuestro medio, debido a su capacidad y facilidad económica, se ha popularizado el uso del horno cubilote para fines comerciales.

1.5.1.1 Horno Cubilote

El cubilote es el horno más utilizado en la obtención de la fundición gris, da un buen rendimiento técnico y permite con los medios sencillos unas temperaturas suficientes.

1.5.1.1.1 Descripción del Cubilote²⁷

En líneas generales, consiste simplemente en un tubo de acero casi siempre cilíndrico de 6 a 12 mm. de espesor, el cual se encuentra revestido en su parte interior con ladrillos o bloques refractarios sostenidos por cuatro columnas. El diseño del horno cubilote se basa en su diámetro interior, el cual puede variar normalmente entre 50 cm. y 2m., alcanzando alturas de 4,5 a 8 m. De acuerdo a su tamaño, la producción del hierro líquido en los cubilotes pequeños es de 1000kg por hora y puede alcanzar hasta 1500 kg y más por hora en los cubilotes grandes.

²⁷ DOYLE L; "Materiales y Procesos de Manufactura para ingeniería"; Prentice Hall; México; 2001

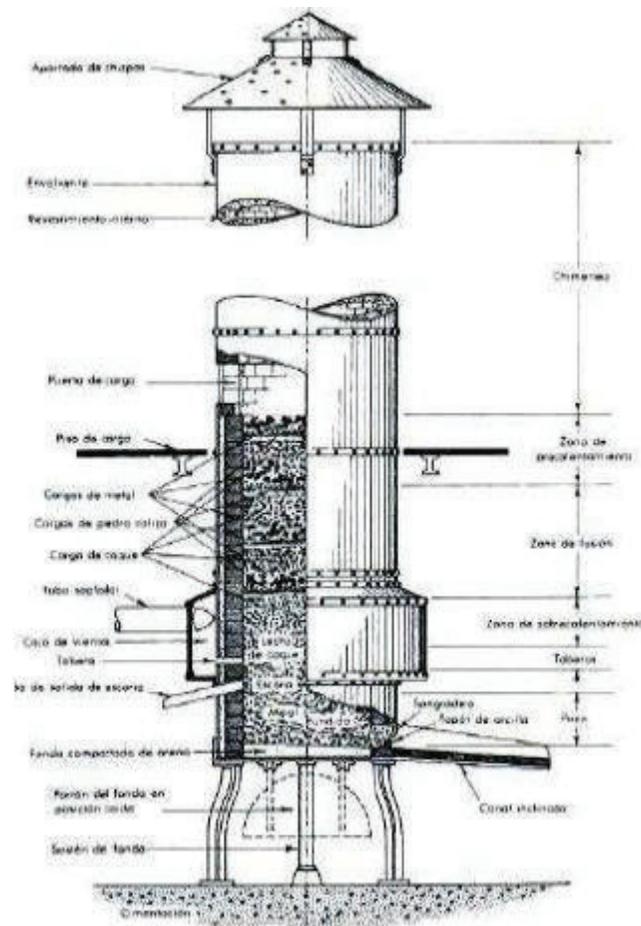


Figura 1.9 Parte externa e interna de un cubilote²⁸

1.5.1.1.2 Metalurgia en el Horno Cubilote²⁹

Durante la fusión en el cubilote los materiales de carga y los gases avanzan unos al encuentro de otros. Los materiales de carga descenden y se calientan con los gases, que ascienden desde el nivel de las toberas transmitiendo su calor a los materiales de la carga. Además de la transmisión de calor en el cubilote transcurre una gran cantidad de procesos químicos.

²⁸ DOYLE L; "Materiales y Procesos de Manufactura para ingeniería"; Prentice Hall; México; 2001

²⁹ TITOV N.; "Tecnología del proceso de fundición"; Editorial Mir; Moscú; 1981; pag. 286, 287, 288, 289, 240

El cubilote por su altura se puede dividir en cinco zonas: cuba del cubilote, zona de fusión, zona de reducción de la carga de sólo coque, zona de oxígeno de la carga de sólo coque y crisol del cubilote.

Cuba del Cubilote. En esta zona el metal sólido que se calienta entra en reacciones químicas solamente con la fase gaseosa. El hierro, combinándose con los gases, forma Fe_2O_3 y Fe_3O_4 , y también puede carbonizarse. En este caso tiene lugar la disolución del carbono en la fase metálica. El exceso de carbono se halla en forma de grafito o en forma de carburo.

El combustible se calienta hasta 1000°C , pierde la humedad que contiene y luego las sustancias volátiles, se hace amorfo y poroso y adquiere un elevado poder reaccional. Por eso el combustible para cubilote debe tener el mínimo de sustancias volátiles.

Zona de fusión. En esta zona los trozos de metal, calentándose, comienzan a fundirse. Los gases no varían su composición, pero se enfrían considerablemente, puesto que ceden el calor para el calentamiento y la fusión del metal.

Zona de reducción. En esta zona las gotas de metal se recalientan a cuenta de la alta temperatura de la fase gaseosa y, principalmente, a cuenta del choque ardiente.

La atmósfera en la zona, como en las primeras dos zonas, es débilmente oxidante. Los óxidos de hierro creados en la superficie de la gota de metal se disuelven en la misma gota y transmiten el oxígeno a las impurezas de la fundición, que tienen más afinidad con el oxígeno que el hierro, a saber el silicio, manganeso y parcialmente el carbono. Al mismo tiempo las gotas de metal, al hacer con el combustible, disuelven el carbono y el azufre de combustible.

En esta zona también ocurre la escorificación de la cal sólida con sílice líquido creando la escoria.

Zona de oxígeno. Las gotas de metal se recalientan a cuenta del calor de los gases y el coque y, a causa de la oxidación de las impurezas de la fundición en la

fase gaseosa. Al pasar por el flujo de aire frío junto a las toberas, las gotas de escoria se enfrían, y las gotas de fundición se recalientan a cuenta de calor de oxidación de las impurezas.

Con un fuerte recalentamiento de la fundición la combustión del silicio, manganeso y el cromo puede interrumpirse. Cuanto mayor es el recalentamiento de la fundición, tanto más intensiva es la combustión del carbono con la simultánea saturación de la fundición líquida con carbono del coque.

Crisol del cubilote. La atmósfera en el crisol en la parte superior es oxidante, en la parte media débilmente oxidante y junto a la solera es oxidante.

La influencia de la fase gaseosa depende del nivel del metal y la escoria que se acumula en el crisol del cubilote. Si el nivel de la escoria en el cubilote, sin antecrisol, se eleva hasta las toberas o cerca de ellas, ocurre la oxidación del metal a través de la escoria a cuenta del oxígeno del aire. Cuanto menor es el nivel de la escoria, tanto menos oxidante será la atmósfera en el crisol del cubilote.

Cuanto mayor es la profundidad del crisol, tanto más lejos de las toberas se halla el nivel de la escoria y menor es la oxidación del metal en el crisol y viceversa: cuanto menor es la profundidad del crisol, tanto más cerca de las toberas se halla el nivel de la escoria y mayor es la oxidación del metal en el crisol. Cuanto más gruesa es la capa de escoria, tanto más lentamente transcurre el proceso de transmisión del oxígeno al metal y tanto menor es la oxidación.

En las primeras porciones de fundición se disuelve el azufre de las capas superficiales de los trozos de coque, dispuestos en el crisol en gotas separadas y chorros, sin mezclarse entre sí, por eso en los cubilotes sin antecrisol no ocurre el mezclado completo de la fundición.

Procesos que transcurren en el antecrisol. La fundición chorrea de la solera del crisol a través del canal de la unión al antecrisol donde tiene lugar el mezclado de la fundición y, a consecuencia de la difusión, su composición se iguala. En el antecrisol con el oxígeno del óxido ferroso se oxidan el silicio y el manganeso,

puesto que ellos tienen una gran afinidad con el oxígeno. Los productos de oxidación emergen a la escoria.

La fundición en el antecrisol se enfría como resultado de la pérdida de calor a través de las paredes del antecrisol.

Como resultado del paso del metal a través de todas las zonas del cubilote tiene lugar la oxidación de aquellos elementos que tienen mayor afinidad con el oxígeno que el hierro.

El níquel, el cobalto y el cobre no se oxidan. El carbono se oxida pero, simultáneamente, tiene lugar la saturación de la fundición con carbono, por lo que al final de cuentas la fundición se satura hasta la composición eutéctica.

Escorias en el proceso del cubilote. La escoria del cubilote influye en el carácter de la fusión y las propiedades de la fundición. La cantidad y composición de la fundición de cubilote depende del régimen de fusión, la calidad de los materiales iniciales y fundentes, como también de la estructura del cubilote. En el proceso de fusión, como fuentes de la creación de escorias sirven la ceniza del combustible que pasa a la escoria; la oxidación de los elementos Si, Mn, Fe; la fusión de parte del revestimiento; la arena y los óxidos que penetran en el cubilote junto con la carga; los fundentes que se añaden para reducir la viscosidad de la escoria. En total la escoria formada en el proceso de fusión constituye un 3-4% de la masa del metal.

1.5.1.2 Hornos eléctricos

Algunos hornos eléctricos utilizados en la producción de aceros y fundiciones son los hornos de arco, los de resistencia y los de inducción de baja y alta frecuencia.

1.5.1.2.1 Hornos de Arco³⁰

Estos hornos utilizan el calor producido por la chispa que salta dos o varios electrodos para fundir el metal. Se clasifican en hornos de arco directo e indirecto y de acuerdo al número de electrodos que utilizan, en monofásicos, bifásicos o trifásicos, si el arco salta por encima de la atmósfera del baño metálico, este constituye uno de los electrodos. Para la fundición del hierro gris se utilizan los hornos de arco directo.

- Los hornos de arco directo reciben este nombre, porque el arco salta directamente entre el electrodo y el metal a fundir. Los electrodos son de grafito o de carbón amorfo y los hornos pueden ser monofásicos cuando son muy pequeños (menos de 100kg de capacidad) o, con más frecuencia, los trifásicos que tienen tres electrodos suspendidos verticalmente sobre la solera refractaria que generalmente es cóncava. Los hornos modernos casi todos de plata circular, con paredes refractarias y cubiertos con una bóveda con agujeros para el paso de los electrodos.

1.5.1.2.3 Hornos de inducción

Estos pueden ser de baja frecuencia y de alta frecuencia.

- En el horno de baja frecuencia la masa a fundir hace de arrollamiento secundario en un transformador. El crisol tiene la forma de uno o varios anillos alrededor del núcleo garantizando una transformación completamente económica de la energía tomada de la red cuando el arrollamiento secundario está cerrado en sí, es decir, cuando el metal está fundido. Estos hornos dan un buen rendimiento cuando trabajan en forma continua.³¹
- El horno de alta frecuencia está formado por un crisol refractario que contiene el metal, rodeado de una espiral de tubo de cobre, por el que circula una corriente de alta frecuencia que crea un campo magnético

³⁰ NAVARRO J; "Fundición de hierro, fundición gris del alto valor; Dossat; Madrid; 1947

³¹ DeGARMO E.; "Materiales y procesos de Fabricación"; Reverte; 2da Edición; Barcelona; 1994; pág. 293

variable, calentándose la masa del metal contenida en el crisol por las corrientes de Foucault inducidas por el campo magnético. El tubo de cobre de la espiral que rodea el crisol está refrigerado por agua que circula por su interior.³²

1.5.1.2.4 Características de las fundiciones obtenidas en los hornos eléctricos

La obtención de la fundición gris en el horno eléctrico se caracteriza por la seguridad con que puede obtenerse la composición deseada. Esto se debe al fácil logro de altas temperaturas y a la sencillez y exactitud con que pueden alcanzarse. La obtención de temperatura elevada permite garantizar un afino en el grafito.

Frente a otros hornos posee ventajas tales como un alto rendimiento y fácil regulación, además de su estabilidad química.³³

1.5.2 CLASIFICACIÓN DE LAS FUNDICIONES GRISES

1.5.2.1 Fundición gris perlítica³⁴

La fundición perlítica es una fundición gris, que está constituida por una serie de láminas de grafito embebidas en una masa de perlita laminar y puede considerarse como un acero eutectoide en el que se hallan incrustados innumerables láminas de grafito.

1.5.2.2 Fundición gris ferrítica³⁵

En esta fundición la matriz es ferrita y todo el carbono que hay en la aleación está en forma de grafito.

³² DUPONCHELLE L.; "Manual del Fundidor"; GILL S.A.; E.E.U.U.; 1972.

³³ NAVARRO J; "Fundición de hierro, fundición gris del alto valor; Dossat; Madrid; 1947

³⁴ APRAIZ J; "Fundiciones"; 2da Edición; Dossat; Madrid; 1963; pág. 52

³⁵ http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_43_187_9_279.pdf

1.5.2.3 Fundición gris ferrito-perlítica

La estructura de esta fundición está formada por ferrita y perlita e inclusiones de grafito. En esta fundición la cantidad de carbono ligada es menor que el 0,8% de C.

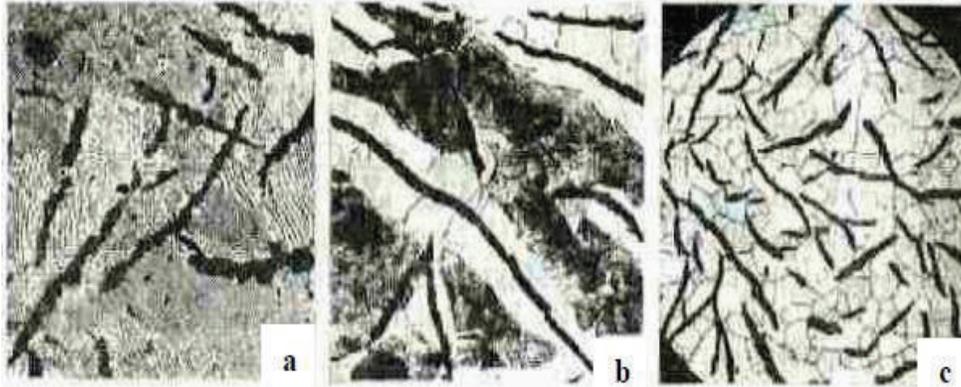


Figura 1.10 Microestructura de la fundición gris: a) fundición perlítica, tomada a 200 aumentos; b) fundición ferrito-perlítica, tomada a 100 aumentos; c) fundición ferrítica tomada a 100 aumentos³⁶

1.5.3 DEFECTOS QUE SE PRODUCEN EN LA FUNDICIÓN GRIS³⁷

Son discontinuidades en la matriz de las fundiciones grises disminuyen las propiedades de las piezas fundidas debido a que reducen la sección útil de las piezas moldeadas y disminuyen su resistencia.

Es necesaria por eso una identificación cuidadosa previa de éstos, de manera que puedan ser eliminados o minimizarlos. El lugar, la forma y el tamaño de un defecto proveen valiosos indicios acerca de su origen. A continuación se estudian los defectos comunes encontrados en las fundiciones grises.

1.5.3.1 Porosidades

Se refiere a aquellos defectos que se encuentran debajo de la superficie superior del fluido y en el centro del molde. Estos defectos pueden ser de forma esférica o

³⁶ GULYAVEV A.; "Physical metallurgy"; Mir Publishers; Volumen 1; 1980; pág. 204

³⁷ http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_43_187_9_279.pdf

irregular. Muchos es estos huecos contienen escoria, y algunas cavidades contienen metal segregado.

El metal frío resultante de una temperatura de vaciado baja, es la causa principal de estas porosidades. Esto explica porque el fundido último, vaciado de una cuchara, es el que más posibilidades tienen de resultar defectuoso, la combinación de excesivos niveles de azufre y manganeso producen también piezas con defectos de este tipo. Por tanto, para si mismo, bajas temperaturas de vaciado.

La formación de las porosidades se debe a que cuando la temperatura de metal fundido cae, se forman sulfuros de manganeso y se separan del metal fundido. Estos flotan sobre la superficie donde se mezclan con la escoria de la cucharada (silicatos de hierro y de manganeso), creando una escoria de muy alta fluidez. Esta escoria entra en las cavidades del molde, reacciona con el grafito precipitado durante la reacción eutéctica, y resulta en la evolución de monóxido de carbono y la formación de las porosidades. Temperaturas apropiadas del metal, niveles balanceados de azufre y manganeso, cucharas limpias y una buena práctica de quitar la capa de escoria de la superficie minimizan estas porosidades.

1.5.3.2 Rechupe

La densidad de un metal líquido es generalmente inferior a la densidad de ese mismo metal solidificado. El metal se contrae en estado líquido desde la temperatura de colada (contracción líquida), también se contrae durante el cambio del estado líquido-sólido. A la suma de la contracción líquida y de la contracción por solidificación, se le denomina rechupe. Cuanta más alta sea la temperatura en el momento de colar, más acentuada será la diferencia entre el volumen específico del líquido y del sólido y, por tanto, mayor será el rechupe.

El rechupe así definido comprende tanto la contracción macroscópica, o macrorrechupe, como la contracción microscópica o microrrechupe. Frecuentemente aparecen en los espacios interdendríticos rellenos por líquido no conectados con el resto del metal líquido, cuando los dendritos están muy

desarrollados. Al solidificar - y contraerse, por tanto – estas pequeñas porciones líquidas no conectadas forman porosidades internas: esto es el microrrechupe.

1.5.3.3 Cavidades de contracción

Pueden aparecer aisladas o interconectadas como vacíos de forma irregular. Secciones gruesas y zonas calientes, tales como áreas adyacentes a alimentadores o regiones que experimentan cambios en el tamaño de la sección, son más susceptibles a este tipo de defectos.

Los factores que promueven la formación de cavidades de contracción incluyen: falta de rigidez del molde, inadecuada composición del metal, temperatura de vaciado incorrecta, y un alto grado de nucleación. Estos factores pueden actuar independientemente o combinados.

Casi todos los líquidos se contraen durante el enfriamiento y solidificación. En las fundiciones grises, sin embargo, ocurre expansión durante la formación del eutéctico austenita-grafito. Esta expansión aumenta si la aleación está altamente nucleada, un estado que es producido por inoculación. Moldes particularmente de arena verde que no tiene suficiente dureza son incapaces de contener esta expansión. Esto conduce a un incremento de la capacidad. Se forman entonces cavidades de contracción si el metal suplementario no es suficiente para acomodarse a este incremento.

La composición de la aleación puede tener un efecto pronunciado sobre las cavidades de la contracción. Niveles de fósforos tan pequeños como 0,02% pueden causar la formación de finas porosidades en los bordes de las células eutécticas y en las regiones calientes.

Temperaturas excesivas de vaciado pueden también incrementar la contracción del metal cuando se enfría a temperaturas de solidificación que favorecen la formación de cavidades de contracción. Además debido a que los moldes de arena verde no son cambios de movimiento de las paredes del molde. Existe un

compromiso entre temperaturas de vaciado muy altas y muy bajas. Si la temperatura de vaciado usada es muy baja se pueden producir porosidades. Por tanto, la experiencia es el mejor camino para determinar la temperatura óptima de vaciado.

1.5.3.4 Las sopladuras

En estado fundido los metales suelen retener gran volumen de gases en disolución o en forma de compuestos líquidos inestables. Así por ejemplo el hierro líquido disuelve monóxido de carbono, dióxido de carbono, nitrógeno, vapor de agua, oxígeno, etc. Cuando la temperatura de fundido desciende hasta el umbral de la solidificación, se produce una rápida disminución de la solubilidad y los gases se desprenden del metal líquido. Su desprendimiento prosigue a lo largo de todo el proceso de solidificación.

Cuando el desprendimiento de gases se opera en un metal casi totalmente solidificado, que no permite su salida, los gases quedan retenidos: parte en las porosidades interdendríticas, y parte en el interior de las cavidades de la masa metálica aún plástica. Estas cavidades reciben el nombre de sopladuras y pueden ser periféricas o internas.

El aire que llenaba el molde y queda retenido durante la colada puede dar origen también a cavidades, en la masa metálica. Los gases ocluidos en las piezas moldeadas pueden deberse también a la acción del metal líquido sobre el agua que humedece los moldes; el rápido desprendimiento del vapor de agua del molde origina poros superficiales denominados picaduras.

1.5.4 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LAS FUNDICIONES GRISES³⁸

En la práctica industrial, cada día se tiene más en cuenta la resistencia a la tracción de las fundiciones grises, y es frecuente clasificar las fundiciones por la

³⁸ APRAIZ J; "Fundiciones"; 2da Edición; Dossat; Madrid; 1963; pág. 39, 40, 41, 42

resistencia a la tracción que con ella se obtiene en barras fundidas de 30 mm. de diámetro. Las fundiciones suelen tener de 10 a 15 kg/mm² de resistencia a la tracción.

Al realizarse el ensayo de tracción de una fundición gris, se observa que el módulo de elasticidad no es constante como en los aceros, sino que disminuye a medida que aumenta la carga que actúa sobre el material. No hay, por lo tanto, como en los aceros una zona en la que hay rigurosa proporcionalidad en las cargas y las deformaciones. Por ello, a cada carga que actúa sobre el material corresponde un módulo de elasticidad siendo frecuente que en la práctica se de como valor del módulo de elasticidad de una fundición, el que corresponde a un carga de un 75% de la máxima de rotura. Durante el ensayo en un momento determinado del mismo tendremos:

Módulo de elasticidad = Carga que está actuando/alargamiento que ha producido. (kg/mm²).

En general, el módulo de elasticidad varía entre los 7000 y 13000 kg/mm². Al disminuir tamaño y cantidad de las láminas de grafito, aumenta el módulo de elasticidad y también resistencia a la tracción de las fundiciones.

En general, el alargamiento plástico y permanente de las probetas en la mayoría de fundiciones ordinarias es muy pequeño, puede decirse casi nulo, ya que no suelen llegar a 1% mientras que en los aceros son normales los alargamientos que oscilan entre 10 y 20%.

La presencia de numerosas discontinuidades en la estructura, debido a las líneas de grafito hace que las fundiciones grises sean mucho menos sensibles al efecto de entalla que aceros, lo cual también es muy ventajoso. Por ello, no hay que temer tanto como en aceros, el peligro de ruptura en las piezas o rayas de mecanizado, ángulos vivos, etc.

Una propiedad importante de las fundiciones, debida precisamente a la presencia de láminas de grafito, es su gran capacidad de amortiguación a las vibraciones, muy superior a la de los aceros.

En la figura 1.11 se representan esquemáticamente las vibraciones que se producen ensayando en las mismas condiciones, varillas de fundición, de aceros y de aleación de aluminio. Se observa que las vibraciones se amortiguan en la fundición mucho antes que el acero y que en la aleación de aluminio, los cual, en general, es muy ventajoso cuando se emplea este material para la fabricación de bancadas de máquinas, motores, etc.

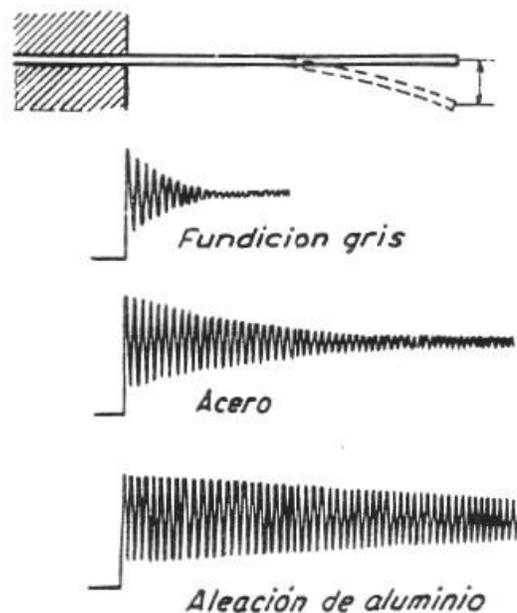


Figura 1.11 Representación gráfica de la forma de amortiguarse las vibraciones que se pueden producir en las piezas de fundición, acero y aluminio.³⁹

En las figuras 1.12 y 1.13 se señalan las resistencias, durezas y módulos de elasticidad que se obtienen en piezas de diferentes espesores con las fundiciones de 15, 20, 30, etc. Kg/mm² (es decir, fundiciones que en probeta de 30mm. dan 15, 20, 30 kg/mm² de resistencia).

³⁹ APRAIZ J; "Fundiciones"; 2da Edición; Dossat; Madrid; 1963; pág. 41

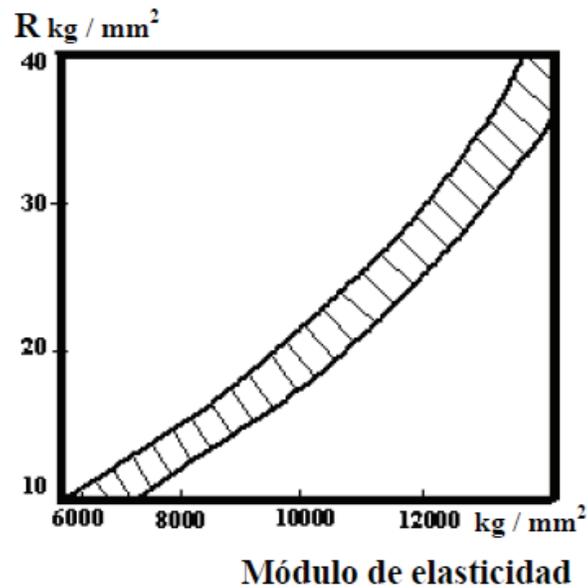
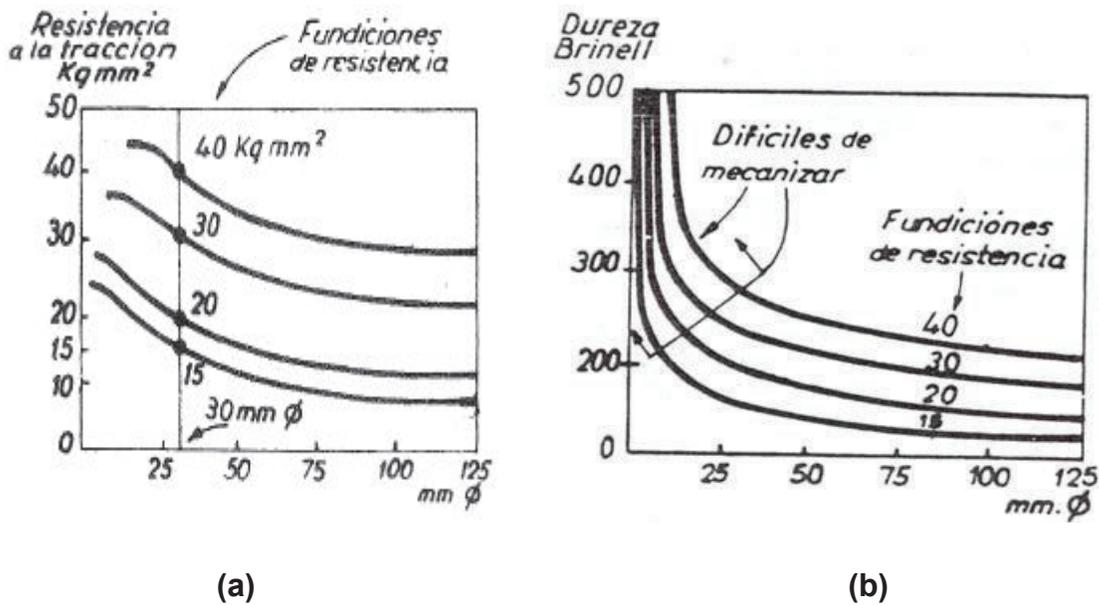


Figura 1.12 Relación aprox. entre la resistencia de las fundiciones y su módulo de elasticidad⁴⁰



⁴⁰ APRAIZ J; "Fundiciones"; 2da Edición; Dossat; Madrid; 1963; pág. 42

⁴¹ APRAIZ J; "Fundiciones"; 2da Edición; Dossat; Madrid; 1963; pág. 41, 42

1.5.5 TRATAMIENTO TERMICO DE LA FUNDICIÓN GRIS⁴²

La supresión de las tensiones internas es, probablemente, el tratamiento térmico que más se aplica para hierros grises. El hierro gris sin tratamiento térmico ulterior al fundido suele contener tensiones residuales, porque el enfriamiento avanza a diferentes velocidades por todas las secciones de una pieza fundida. Las tensiones residuales resultantes pueden reducir la resistencia, producir deformación y, en algunos casos extremos, aun presentar fisuras. La temperatura para la supresión de tensiones está generalmente por debajo del intervalo de transformación de perlita a austenita. Para una máxima supresión de tensiones con mínima descomposición de carbono, es deseable un intervalo de temperatura de 1000 a 1050 °F.

1.5.5.1 Recocido

El recocido del hierro gris consiste en calentarlo a una temperatura suficientemente alta para suavizarlo y mejorar así la maquinabilidad. Para la mayoría de los hierros grises se recomienda una temperatura de recocido entre 1300 y 1400 °F. Hasta aproximadamente 1100°F, el efecto de la temperatura sobre la estructura del hierro gris es insignificante. Conforme la temperatura aumenta a más de 1100°F, la rapidez a que el carburo de hierro se descompone en ferrita más grafito aumenta marcadamente, alcanzando un máximo a unos 1400°F para hierro no aleado o de baja aleación. La pieza fundida debe mantenerse a cierta temperatura durante un tiempo suficiente para permitir que el proceso de grafitización se complete. A temperaturas inferiores a 1300°F, se requiere generalmente un tiempo de calentamiento demasiado largo.

1.5.5.2 Normalizado

El hierro gris se normaliza al ser tratado a una temperatura superior a la del intervalo de transformación, se mantiene a esta temperatura por un periodo aproximado de 1hr/pulg. de máximo espesor de sección y se enfría en aire inmóvil temperatura ambiente. El intervalo de temperatura para la normalización del hierro gris es aproximadamente de 1625 a 1700°F. la normalización puede utilizarse para

⁴² AVNER H; "Introducción a la metalurgia física"; 2da Edición; Mc Graw Hill; México; 1995; pág. 435, 436, 437.

mejorar las propiedades mecánicas (como dureza y resistencia tensil) o para restaurar las propiedades de la condición de fundido modificadas por otro proceso de tratamiento térmico (como la grafitización o el precalentamiento y poscalentamiento, asociado con la reparación con la soldadura).

1.5.5.3 Temple

El hierro gris, como el acero, puede endurecerse cuando se enfría rápidamente o templarse desde una alta temperatura adecuada. El hierro templado puede revenirse recalentando en el intervalo de 300 hasta 1200°F para aumentar al tenacidad y suprimir las tensiones. Por lo general, el hierro gris se endurece calentando el horno y templando desde una temperatura de 1575 hasta 1600°F. El medio de templado puede ser agua, aceite, sal caliente o aire, dependiendo de la composición y tamaño de la sección. El aceite es el medio de templado usual cuando se busca un endurecimiento profundo y completo de la pieza. El templado en el agua puede ser demasiado drástico y producir fisuras y distorsión, a menos que las piezas fundidas sean de sección transversal maciza y uniforme. El agua se emplea a menudo para templar con endurecimiento por llama o inducción en casos en que solo se endurece la superficie exterior. El hierro gris en la condición de templado es frágil.

1.5.5.4 Revenido

Revenir después de templar mejora la resistencia y tenacidad, pero disminuye la dureza. Una temperatura de unos 700°F se requiere antes de que la resistencia al impacto se restaure al nivel de condición de fundido. Después de revenir a 700°F para máxima tenacidad, la dureza de la matriz es todavía como Rockwell C 50. Donde no se requiere la tenacidad equivale a Rockwell C 55 a 60.

El hierro gris generalmente se temple y reviene para incrementar la resistencia al desgaste y a la abrasión, aumentando la dureza.

CAPITULO II

FUNCIONES Y PROPIEDADES DEL TAMBOR DE FRENO

2.1 SISTEMA DE FRENOS DE AUTOMÓVILES⁴³

Cada automóvil tiene dos sistemas de frenos. Uno se utiliza para reducir la velocidad o detener el automóvil cuando esté en movimiento; este sistema se llama el sistema de frenos de servicio. El otro sistema se utiliza para mantener a un automóvil en un lugar, a este sistema, cuya finalidad no es detener al vehículo en movimiento, se le llama el sistema de frenos de estacionamiento.

2.1.1 SISTEMA DE FRENOS DE SERVICIO

Todos los sistemas de frenos de servicio son mecánicos; usan piezas mecánicas para detener las ruedas. El conductor aplica los frenos de servicio oprimiendo el pedal de freno; esta acción hace que las zapatas de freno en las cuatro ruedas opriman contra el tambor o los discos que se encuentran detrás de las ruedas. El contacto de las zapatas contra los tambores o los discos crea la fricción que tiene el movimiento de las ruedas.

La absorción de la energía cinética del vehículo para frenarlo se realiza haciendo rozar las superficies de dos piezas, una de ellas gira con la rueda, mientras que el único movimiento de la otra es el de aproximación a la primera; el coeficiente de adherencia entre ambas es muy elevado.

2.1.2 TIPOS DE FRENO

Dependiendo de la forma de las superficies y de la manera de aplicar la una contra la otra, se distinguen dos tipos de frenos: el de tambor y el de disco.

⁴³ REMLING J; "Frenos"; Limusa; México; 1991; pág. 1, 2

2.1.2.1 Frenos de disco

Habitualmente se usan en las ruedas delanteras, aunque ya existen en el mercado gran cantidad de autos dotado de este sistema en las cuatro ruedas. Este sistema está basado en la presión que ejercen dos pastillas (superficies de altos coeficientes de fricción) al comprimirse a ambos lados de un disco (parte móvil) que gira solidario con el cubo de la rueda.

2.1.2.2 Frenos de tambor

En un freno de tambor, las zapatas del freno presionan contra la superficie interior de un tambor.

2.1.2.2.1 Partes principales del tambor de freno

Este tipo de freno está constituido por un tambor, que es el elemento móvil, montado sobre el buje de la rueda por medio de unos tornillos o espárragos y tuercas, del cual recibe movimiento, y un plato de freno, elemento fijo sujeto al puente o la mangueta.

En este plato van instalados los elementos de fricción, llamados ferodos, y los mecanismos de accionamiento para el desplazamiento de las zapatas.

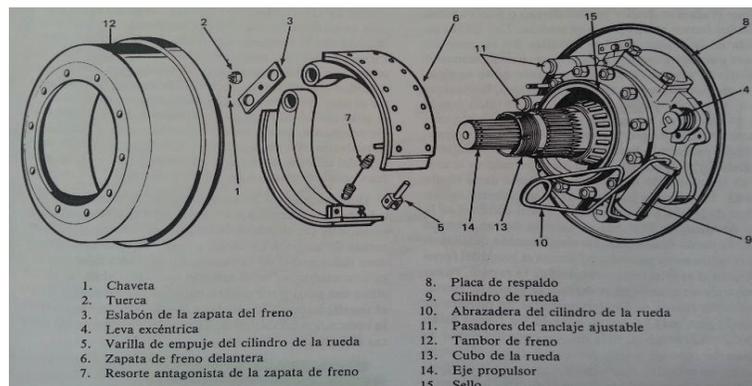


Figura 2.1 Vista esquemática de un conjunto de freno ordinario⁴⁴

⁴⁴ ERICH J.; "Equipo Diésel"; Mc Graw Hill; México; 1992; pág. 275

2.1.2.2.2 *Funcionamiento del freno de tambor*⁴⁵

Cuando se aplican los frenos a una rueda en movimiento, la fricción entre el tambor en rotación y la balata del freno hace que las zapatas tiendan a girar con el tambor. El perno de anclaje impide que las zapatas giren y provoca que la fuerza de arrastre haga que las zapatas tengan un contacto más firme con el tambor. Las posiciones del perno de anclaje y del ajustador de rueda de estrella determinan la facilidad con que las zapatas reaccionan ante esta fuerza de arrastre. Mediante la colocación cuidadosa de estas piezas, el fabricante puede obtener gran fuerza de frenado sin que el conductor tenga que ejercer mucha presión sobre el pedal del freno. Esta es la característica de autoenergizado de este tipo de freno. Utiliza la fricción junto con la colocación de las piezas para aumentar la fuerza con que se mantienen las zapatas contra el tambor.

El movimiento de rotación traba la zapata secundaria contra el perno de anclaje. El mismo movimiento del tambor hace que la zapata primaria se separe del perno de anclaje y lo fuerza contra el ajustador de rueda de estrella, Fig. 2.2. El ajustador de rueda de estrella pasa este empuje a lo largo de la parte inferior de la zapata secundaria. Este empuje extra se suma a la fuerza que mantiene a la zapata secundaria contra el tambor.

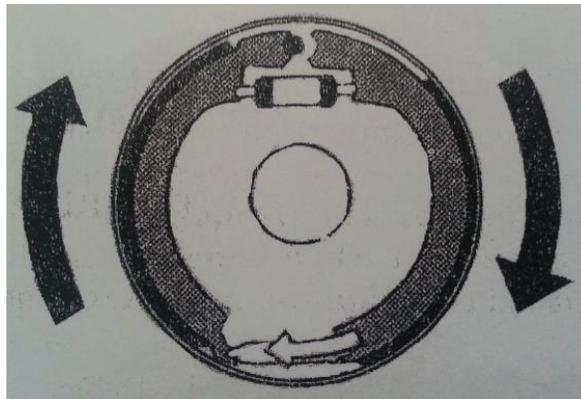


Figura 2.2 Servo acción cuando se aplican los frenos a un tambor que se mueve hacia la derecha⁴⁶

⁴⁵ REMLING J; "Frenos"; Limusa; México; 1991; pág. 3, 5

⁴⁶ REMLING J; "Frenos"; Limusa; México; 1991; pág. 3, 5

Cuando un automóvil avanza en reversa, la rotación del tambor se invierte y también se invierte la función de las zapatas. La zapata secundaria se separa del perno de anclaje y se fuerza contra el ajustador de rueda de estrella. El empuje pasa a lo largo de la parte inferior de la zapata primaria. Esta acción se suma a la fuerza que mantiene a la zapata primaria contra el tambor. Esto significa que el freno es tan efectivo para detener un vehículo que se mueve hacia atrás, como uno que se mueve hacia adelante.

2.2 TAMBOR DE FRENO⁴⁷

Un tambor es un aro que está unido a la parte interior de una rueda y gira con ella. La fricción entre las zapatas de los frenos y el tambor, hace que este reduzca la velocidad y se detenga. Como la rueda está sujeta al tambor, se detiene.

Los dos tipos de tambores de freno que se consideran básicos son los de tipo interior, que la superficie de rozamiento de la zapata es la circunferencia interior del tambor, y el tipo externo, en el que la zapata o freno en forma de banda se coloca sobre la superficie de rozamiento exterior del tambor.

Otra clase de tambor de freno que se usa en algunos equipos para fuera de carretera es el tipo interior y exterior. El tambor para este tipo de freno tiene dos superficies labradas a máquina la interior y la exterior. Figura 2.3.

⁴⁷ ERICH J.; "Equipo Diésel"; Mc Graw Hill; México; 1992; pág. 259

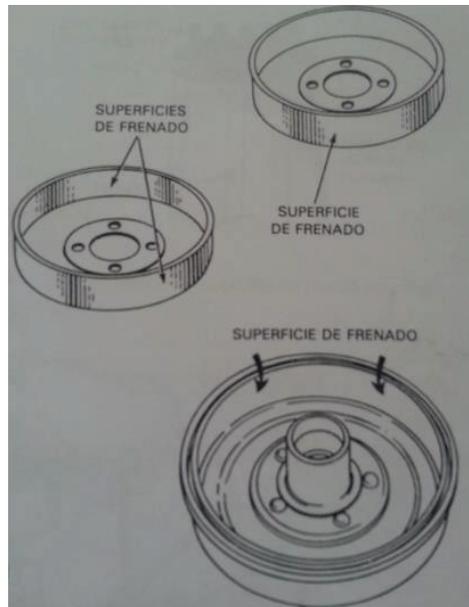


Figura 2.3 Vista del tambor de freno⁴⁸

2.2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS TAMBORES DE FRENO ⁴⁹

Existen tres formas de clasificar a los tambores de freno, según el material que lo compone, según su ubicación y según la forma de acoplamiento de las zapatas al tambor.

2.2.1.1 Por el material que lo compone

2.2.1.1.1 Acero forjado

El tambor de freno de acero forjado se forma con una lámina de acero. El costo de fabricación es bajo, pero tiene también un coeficiente de rozamiento bajo, disipación baja de calor, y se distorsiona o deforma cuando las aplicaciones de freno son excesivas. Por tanto, las aplicaciones a este tipo se limitan a unas cuantas. Por ejemplo, se usa en los frenos de estacionamiento, en los tambores pequeños de los malacates, y en los tractores agrícolas. Fig. 2.4

⁴⁸ ERICH J.; "Equipo Diésel"; Mc Graw Hill; México; 1992; pág. 259

⁴⁹ ERICH J.; "Equipo Diésel"; Mc Graw Hill; México; 1992; pág. 260, 261

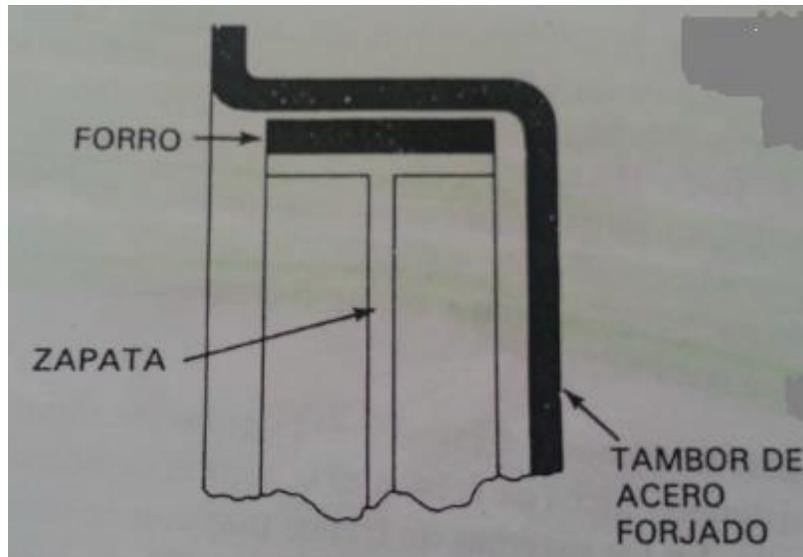


Figura 2.4 Tambor de acero forjado⁵⁰

2.2.1.1.2 Aleaciones de hierro fundido

El tambor de aleaciones de hierro fundido se usa principalmente en la mayoría de vehículos debido a sus cualidades inherentes. Variando el método de vaciado y la aleación usada, es posible mejorar la calidad del rozamiento, de aumentar su capacidad para la disipación de calor, aumentar su resistencia, y disminuir el desgaste y las rayaduras. Además, pueden colocarse costillas de enfriamiento o aletas o labrarse en la superficie exterior del tambor, para aumentar más su capacidad de disipación de calor y mejorar la resistencia del tambor. Aunque este tipo no se deforma con facilidad, los grandes calentamientos seguidos de enfriamientos rápidos pueden agrietarlos o deformarlos en forma permanente. Fig. 2.5.

⁵⁰ ERICH J.; "Equipo Diésel"; Mc Graw Hill; México; 1992; pág. 260

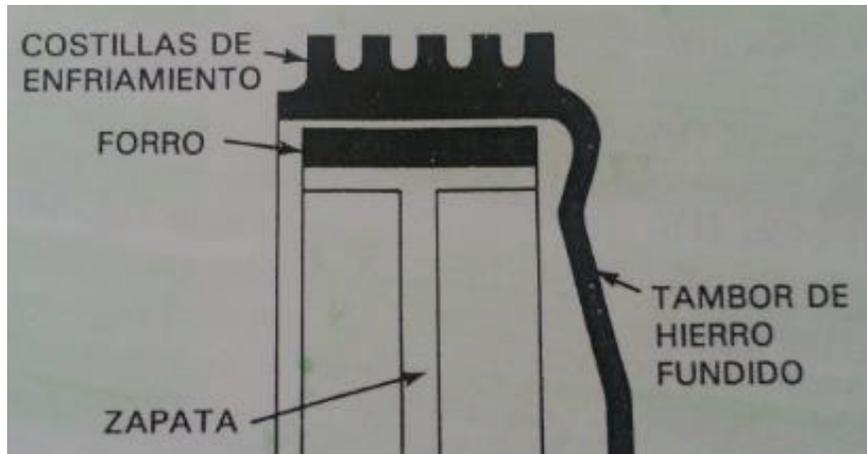


Figura 2.5 Tambor de aleación de hierro fundido⁵¹

2.2.1.1.3 De anillo de rozamiento de aleación de hierro fundido con disco de acero

La combinación de tambor de freno que se usa en los camiones pequeños y en los tractores agrícolas pueden tener un disco de acero sujeto a un anillo de hierro fundido que tiene costillas de enfriamiento, o puede ser un tambor de acero forjado con estampa, al que se cuela o funde la superficie de frenado de manera centrífuga. Fig. 2.6.

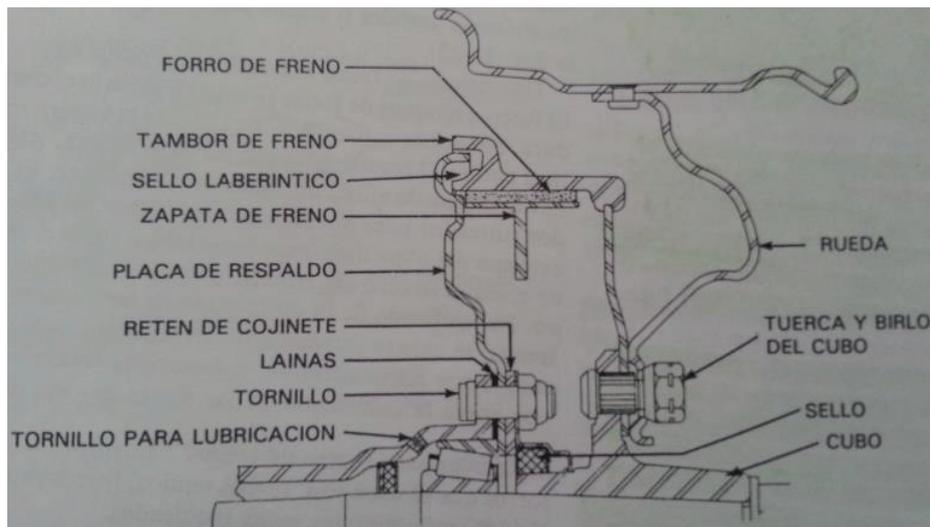


Figura 2.6 Anillo de rozamiento de aleación de hierro fundido con disco de acero⁵²

⁵¹ ERICH J.; "Equipo Diésel"; Mc Graw Hill; México; 1992; pág. 260

⁵² ERICH J.; "Equipo Diésel"; Mc Graw Hill; México; 1992; pág. 260

2.2.1.1.4 De anillo de rozamiento de aleación de hierro fundido con tambor de acero

Es un tambor que, a su elevada eficiencia de enfriamiento, se está haciendo más popular en los sistemas grandes de freno es uno proyectado básicamente en la misma forma que el que tiene tambor de acero con superficie de rozamiento de hierro fundido, sin embargo el método de producción y el metal de tambor se han cambiado. Fig. 2.7.



Figura 2.7 Anillo de rozamiento de aleación de hierro fundido con tambor de acero⁵³

2.2.1.1.4 Anillo de rozamiento de aleación de hierro fundido con tambor de aleación de aluminio

El tambor de aleación de aluminio se forma y funde al anillo de hierro fundido, por tanto tiene la calidad de un tambor de freno de hierro fundido y, debido a la cubierta de aleación de aluminio, tiene una capacidad mayor para disipar calor.

⁵³ ERICH J.; "Equipo Diésel"; Mc Graw Hill; México; 1992; pág. 260



Figura 2.8 Anillo de rozamiento de aleación de hierro fundido con tambor de aluminio⁵⁴

2.2.1.2 Por su ubicación⁵⁵

2.2.1.2.1 Tambores con mazas y con pistas de rodamientos

Por lo general, estos tambores se encuentran en las ruedas delanteras de un automóvil. Giran sobre rodamientos, y las pistas de los rodamientos están colocadas a presión dentro del cubo o maza. Las superficies interiores y cónicas de las pistas son perfectamente redondas, y se usan para colocar el tambor en posición en el eje.

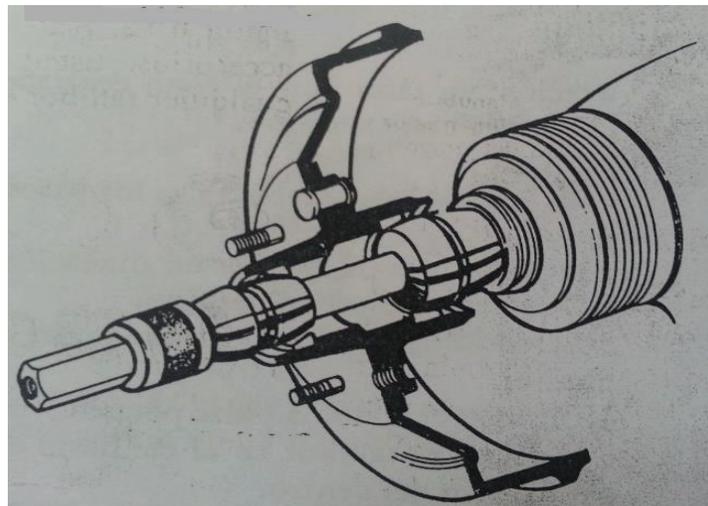


Figura 2.9 Vista de un tambor con su maza y con pistas de rodamientos⁵⁶

⁵⁴ ERICH J.; "Equipo Diésel"; Mc Graw Hill; México; 1992; pág. 260

⁵⁵ REMLING J; "Frenos"; Limusa; México; 1991; pág. 6-8

2.2.1.2.2 Tambores flotantes

Los tambores flotantes no tienen maza ni están sostenidos por rodamientos. Estos tambores se usan en los ejes traseros. Están montados en la brida del eje y la rueda y sostenidos por las tuercas de la rueda. Algunos fabricantes también usan tambores flotantes en las ruedas delanteras, en las que se mantienen fijos en una brida de la maza delantera.

2.2.1.2.3 Tambores con maza o cubo con orificios o perforaciones estriadas o cónicas

Este tipo de tambor se encuentra en automóviles que tienen extremos estriados o cónicos en sus semiejes traseros. La perforación estriada o cónica ofrece una superficie de montaje precisa, por lo que estos tambores son fáciles de montar en un eje del torno.

2.2.1.3 Por la forma de acoplamiento de las zapatas al tambor⁵⁷

2.2.1.3.1 Freno de tambor simplex

En este tipo de freno las zapatas van montadas en el plato, fijas por un lado al soporte de articulación y accionadas por medio de un solo bombín de doble pistón. Este tipo de frenos de tambor es de los más utilizados sobre todo en las ruedas traseras.

Este tipo de freno de tambor se caracteriza por no ser el más eficaz a la hora de frenar, debido a que las zapatas no apoyan en toda su superficie sobre el tambor, pero destaca por su estabilidad en el coeficiente de rozamiento, es decir, la temperatura que alcanza los frenos en su funcionamiento le afectan menos que a los otros frenos de tambor

⁵⁶ REMLING J; "Frenos"; Limusa; México; 1991; pág. 6-8

⁵⁷ <http://www.aficionadosalamecanica.net/frenos-2.htm>

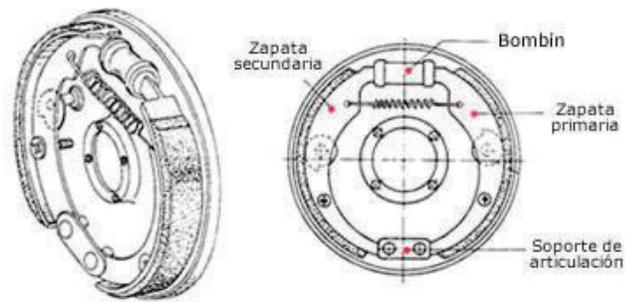


Figura 2.10 Freno de tambor simple⁵⁸

2.2.1.3.2 Freno de tambor dúplex

En este freno, y con el fin de obtener una mayor fuerza de frenado, se disponen las zapatas en forma que ambas resulten primarias. Para ello se acopla un doble bombín de pistón único e independiente para cada zapata, los cuales reparten por igual las presiones en ambos lados del tambor.

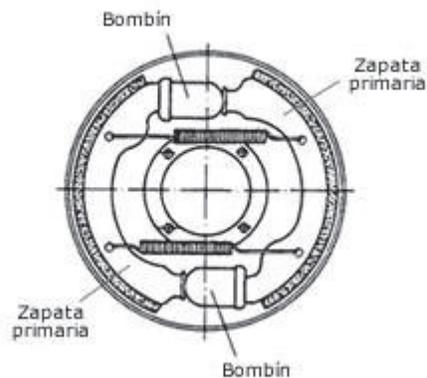


Figura 2.11 Freno de tambor dúplex⁵⁹

2.2.1.3.3 Freno de tambor triplex

Este tipo de freno de tambor es muy similar al duplex salvo que los puntos de apoyo de las zapatas en vez de ir fijos se montan flotantes. En este freno las dos

⁵⁸ <http://www.aficionadosalamecanica.net/frenos-2.htm>

⁵⁹ <http://www.aficionadosalamecanica.net/frenos-2.htm>

zapatas son secundarias, pero por un sistema de articulaciones, trabajando en posición flotante, se acoplan al tambor en toda su superficie, evitando el acuñamiento y ejerciendo una presión uniforme sobre el tambor. En un sentido de giro las dos zapatas actuarían como zapatas primarias y en el otro sentido como zapatas secundarias.

2.2.1.3.4 Freno de tambor dúo-servo

Está constituido por dos zapatas primarias en serie, con lo cual se aumenta el efecto de auto bloqueo. En este freno, una zapata empuja a la otra mediante una biela de acoplamiento. Es un freno altamente eficaz, pero muy sensible a las variaciones del coeficiente de rozamiento. Se consiguen esfuerzos más elevados de frenado y las zapatas ejercen en cada sentido de giro igual esfuerzo. Este tipo de freno se emplea mucho en frenos americanos.

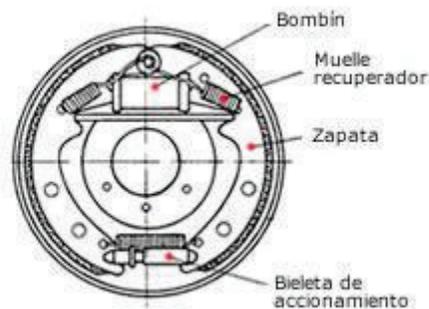


Figura 2.12 Freno de tambor dúo-servo⁶⁰

⁶⁰ <http://www.aficionadosalamecanica.net/frenos-2.htm>

2.2.2 FUNCIONES Y PROPIEDADES

2.2.3 DEFECTOS DEL TAMBOR⁶¹

2.2.3.1 Sobremedida

Todo tambor que se ha utilizado acusará algún desgaste. Cuando se fabrican los tambores se les da un grosor suficiente para soportar cierto volumen de desgaste y rectificación. Sin embargo, hay un límite en cuanto a la cantidad de material que se puede desgastar y rectificar. Mucho de los tambores de los automóviles de pasajeros se pueden rectificar, sin peligro, a 0.060 de pulgada en relación con sus diámetros originales.

Aun así, se debe considerar cierta tolerancia para el desgaste después de haber rectificado un tambor.

2.2.3.2 Grietas

Se debe reemplazar inmediatamente todo tambor agrietado, ya que puede fallar y causar accidentes graves.

2.2.3.3 Rayaduras

Una de las causas más comunes de las rayaduras es la tierra atrapada entre la balata y el tambor. En automóviles con balatas remachadas, los tambores se rayan si la tierra queda atrapada en los orificios de los remaches. Los remaches en sí rayarán los tambores si la balata se gasta hasta alcanzar las cabezas de los mismos.

⁶¹ REMLING J; "Frenos"; Limusa; México; 1991; pág. 6-3

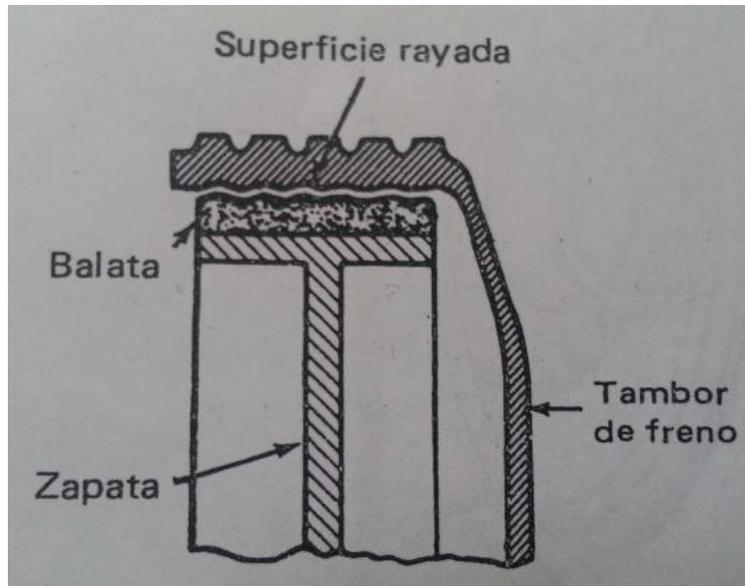


Figura 2.13 Tambor de frenos rayado⁶²

2.2.3.4 Forma de barril

Algunas veces un tambor está demasiado desgastado en el centro de su superficie de fricción. En muchos casos, ello se debe a la excesiva presión de frenado. Tal presión distorsiona la plataforma al punto que la presión se concentra en el centro de la balata

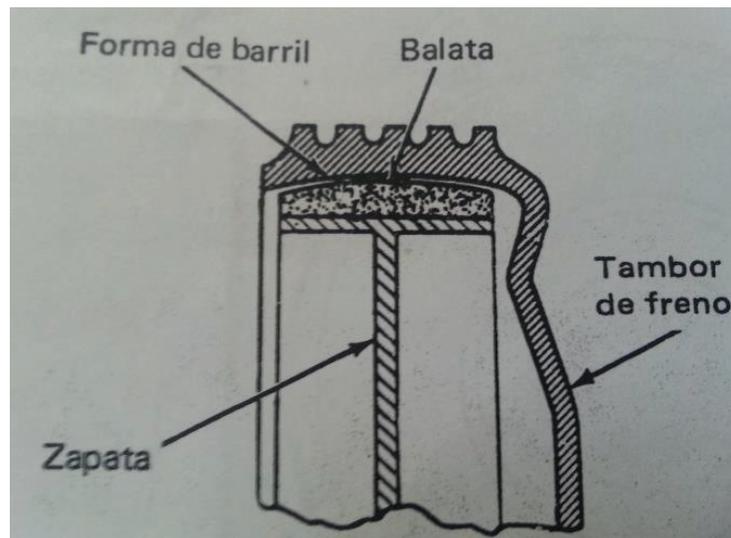


Figura 2.14 Tambor de freno en forma de barril⁶³

⁶² REMLING J; "Frenos"; Limusa; México; 1991; pág. 6-4

⁶³ REMLING J; "Frenos"; Limusa; México; 1991; pág. 6-4

2.2.3.5 Ovalado

Puede reconocer un tambor ovalado midiendo el diámetro del tambor en varios puntos. Por lo general, los tambores ovalados son la causa de la pulsación del pedal del freno. Un pedal de freno con pulsaciones es el que se mueve hacia arriba y hacia abajo al aplicar los frenos cuando el automóvil está en movimiento. Cuando el tambor gira, las zapatas de los frenos se mueven hacia adentro y hacia afuera y siguen la forma torcida del tambor. Esto produce pulsaciones que se transmiten al pedal del freno.

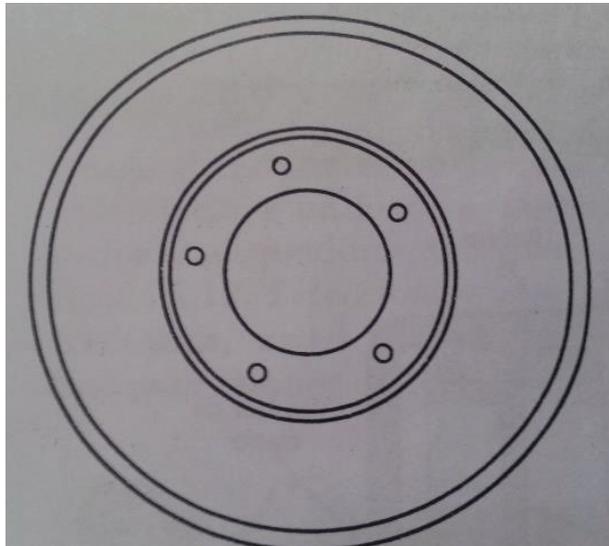


Figura 2.15 Tambor de freno ovalado⁶⁴

2.2.3.6 Excéntrico

Los tambores excéntricos, o descentrados, también pueden producir pulsaciones en el pedal del freno. La causa de los tambores ovalados y excéntricos es que los conductores aplican el freno de estacionamiento cuando los tambores están recalentados. Luego, a medida que los tambores se enfrían adoptan una posición distorsionada. Otra de las causas es el apriete inadecuado de las tuercas de la rueda y su ajuste en una secuencia indebida.

⁶⁴ REMLING J; "Frenos"; Limusa; México; 1991; pág. 6-4

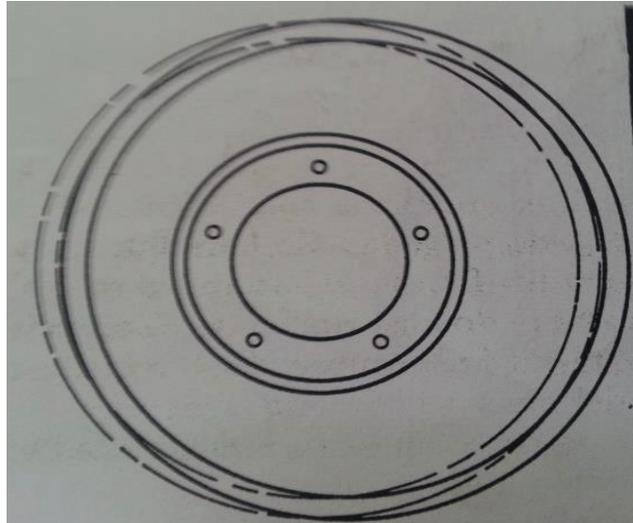


Figura 2.16 Tambor de freno excéntrico⁶⁵

2.2.3.7 Acampanados

Las altas temperaturas y presiones pueden hacer que un tambor se distorsione o doble. Con frecuencia, la distorsión sobrepasará el límite elástico del material del tambor. Cuando ello ocurre, es posible que el tambor, al enfriarse, no tome su forma original. El tambor tiene menos apoyo y disipa menos calor en su extremo cerrado. Por ello, tal vez tome la forma acampanada que se muestra en la Fig. 2.17.

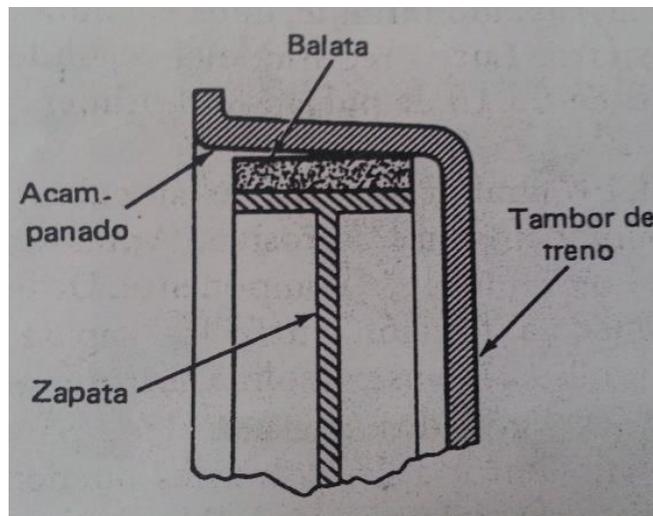


Figura 2.17 Tambor de freno acampanado⁶⁶

⁶⁵ REMLING J; "Frenos"; Limusa; México; 1991; pág. 6-4

2.2.3.8 Desgaste cónico

El desgaste cónico se debe a que el desgaste es mayor cerca del extremo cerrado que cerca del extremo abierto de un tambor. Esto es producto de un tambor recalentado que se extiende más en su extremo abierto que en su extremo cerrado. Por tanto, la presión en la zapata cercana al extremo cerrado es superior a la presión cercana al extremo abierto. Esto produce un mayor desgaste en el extremo cerrado. Cuando el tambor se enfría y adopta su diámetro original, se origina el desgaste adicional en el borde interior.

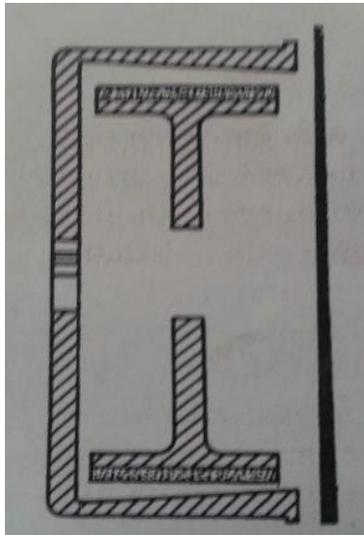


Figura 2.18 Desgaste cónico del tambor⁶⁷

2.2.3.9 Puntos duros

Los puntos duros se encuentran en la superficie de fricción de muchos tambores. En la mayoría de los casos, no se pueden detectar estos puntos hasta que se rectifique el tambor. Se forman debido al calor y presión considerables. Después de rectificar el tambor, aparecen los puntos duros como pequeños bultos sobre la superficie de fricción. Estos bultos hay que eliminarlos mediante un pulido adicional.

⁶⁶ REMLING J; "Frenos"; Limusa; México; 1991; pág. 6-5

⁶⁷ REMLING J; "Frenos"; Limusa; México; 1991; pág. 6-5

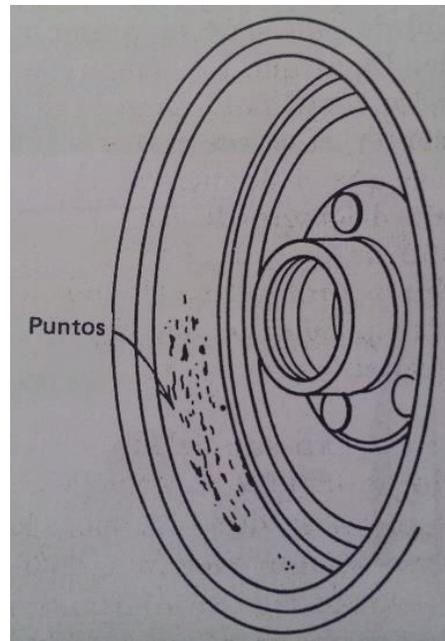


Figura 2.19 Puntos duros en la superficie del tambor⁶⁸

2.2.3 DETECCIÓN Y ELIMINACIÓN DE LOS DEFECTOS DEL TAMBOR⁶⁹

De todos los defectos enumerados, los únicos que se pueden detectar visualmente son los tambores agrietados o rayados. Los otros defectos se pueden detectar solamente con un micrómetro o tratando de rectificarlos.

Con excepción de un tambor agrietado, todos los defectos indicados se pueden solucionar rectificando el tambor. Pero hay que recordar que los defectos que no se pueden eliminar con una rectificación o una Sobremedida de 0.060 de pulgada exigen reemplazar el tambor.

⁶⁸ REMLING J; "Frenos"; Limusa; México; 1991; pág. 6-5

⁶⁹ REMLING J; "Frenos"; Limusa; México; 1991; pág. 6-5

2.2.4 RECTIFICACIÓN DE TAMBORES⁷⁰

El siguiente procedimiento general puede tener que modificarse de acuerdo con el torno para tambores que se use o para ajustarse a las instrucciones del fabricante. Fig.... Primero cerciórese de que el buril está afilado y correctamente alineado para cortar cerca del respaldo de la superficie del tambor. O, si se usa un esmeril, deberá haberse rectificado y deberá tener el ángulo correcto.

Móntese en el torno al tambor delantero o trasero que tenga el mayor diámetro. Úsese el adaptador suministrado pero téngase cuidado de no apretar en exceso la tuerca, porque se podría dañar la pista del cojinete o deformarse el tambor. Instálese el amortiguador de hule para las vibraciones alrededor de la superficie exterior del tambor y se ajusta el torno de manera que la alimentación para cortar sea rápida. Ajustese el buril (o la muela del esmeril) cerca del diámetro menor del tambor y luego arránquese el motor que hace girar el tambor(y el esmeril). Aliméntese a mano el buril (o el esmeril) hacia adentro o hacia afuera para encontrar el diámetro menor del tambor. Por lo que generalmente está en el extremo inferior y en el extremo del aro del tambor. Muévase el buril acercándolo a la superficie del respaldo del tambor, aliméntese a mano el buril o el esmeril hacia afuera más o menos 0.005 plg. (0.12 mm.), luego hágase funcionar el torno con el control automático. Márquese en el torno el ajuste del micrómetro. Cuando se completa el corte ajústese el torno para que haga un corte fino. Después que se ha hecho el último corte, sosténgase la lija de esmeril contra la superficie del tambor (mientras se continúa el torneado del tambor), hasta que ya no se vean las marcas de los cortes.

Cuando se tornea el otro tambor, delantero o trasero, cerciórese de que el corte final se haga con el micrómetro del torno ajustado de manera que el diámetro de los dos tambores sea el mismo, límpiense con vapor o lávese en agua jabonosa caliente y luego séquese con aire comprimido. Si los tambores no se instalan inmediatamente, límpiense la superficie del tambor con alcohol metílico para evitar que se oxide.

⁷⁰ ERICH J.; "Equipo Diésel"; Mc Graw Hill; México; 1992; pág. 268

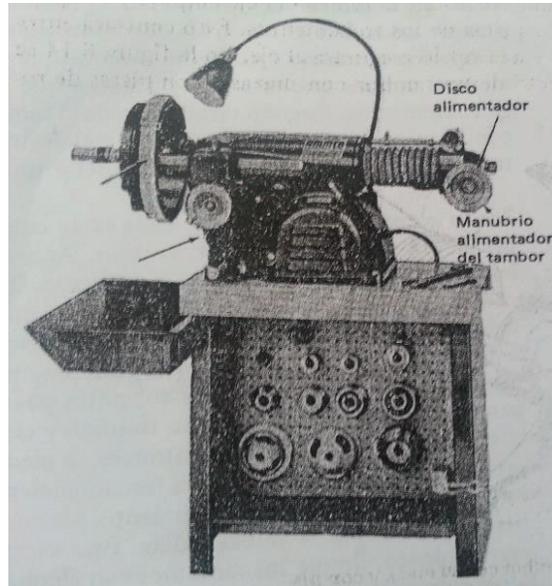


Figura 2.20 Torno típico de tambor de frenos⁷¹

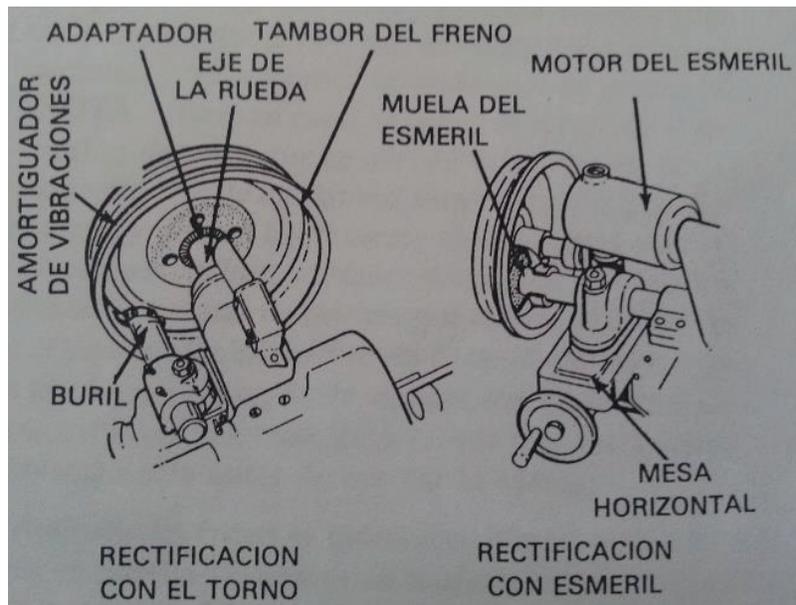


Figura 2.21 Vista esquemática de los dos métodos que se emplean para rectificar un tambor de freno⁷²

⁷¹ REMLING J; "Frenos"; Limusa; México; 1991; pág. 6-7

⁷² ERICH J.; "Equipo Diésel"; Mc Graw Hill; México; 1992; pág. 268

2.3 JUSTIFICACIÓN DE LA SELECCIÓN DEL TAMBOR DE FRENO PARA EL AUTOMOVIL CHEVROLET SAIL

Se realiza una breve justificación de los factores más importantes que se toman en consideración para el diseño del tambor de freno propuesto. Para esto se tiene en cuenta los siguientes factores que son:

- Adaptabilidad
- Facilidad de ensamblaje
- Versatilidad
- Facilidad de construcción
- Costo de producción
- Facilidad de mantenimiento
- Producción anual

2.3.1.2 Justificación de los factores de diseño

Se consideran los siguientes factores para la selección como los más importantes que cumplen con los requerimientos para satisfacer las necesidades y exigencias del proyecto.

2.3.1.2.1 Adaptabilidad

Esta característica se refiere al nivel de capacitación de las personas que van a manipular el tambor, es decir, una persona con un alto nivel de capacitación, produce un alto costo de operación. También se debe al sistema de control de cada tambor, lo cual proporciona la seguridad necesaria para manipular los mismos.

2.3.1.2.2 Facilidad de ensamblaje

Se analiza cual es la facilidad de montaje del tambor en la rueda del vehículo, el tiempo en que se demora en poner en servicio el sistema, y el nivel de confiabilidad para operar el mismo.

2.3.1.2.3 Versatilidad

Este factor está relacionado con el espacio físico, tomando en cuenta cada sistema, su estado de operación y de funcionamiento, es decir, en su operación se considera los movimientos que realiza y también el tiempo para llevar a cabo el proceso de frenado.

2.3.1.2.4 Facilidad de construcción

Se toma en cuenta los siguientes parámetros como son: tiempo, costo de fabricación, obtención del tambor, tipo de geometría, las máquinas y herramientas a utilizar. Lo que se busca es que su construcción no sea muy compleja y que se pueda construir en cualquier taller de fundición, así se abarata costos y en si disminuye su tiempo de construcción.

2.3.1.2.5 Costo de producción

El objetivo de este factor es analizar el costo de la alternativa que posea mayores beneficios a un precio más económico.

2.3.1.2.6 Facilidad de mantenimiento

Se toma en consideración los siguientes parámetros como son: el tipo de mantenimiento, la complejidad y el tiempo que se demora en cada uno de los mantenimientos a cada sistema constitutivo.

CAPÍTULO III

DISEÑO DE LOS MODELOS Y CAJA DE MOLDEO

3.1 DISEÑO DE LOS MODELOS

Para la construcción del molde es necesario el uso de varias herramientas, el modelo de fundición tiene un papel importante ya que es una réplica exacta de la pieza a obtener tomando en cuenta las diferentes características que el mismo debe tener para ser considerado modelo de fundición, las cuales son: contracción, facilidad de moldeo, sobre dimensionado para maquinado y ángulos de extracción.

3.1.1 DELIMITACIÓN DEL PLANO DE DIVISIÓN

El plano de división del molde se obtiene teniendo en cuentas las siguientes consideraciones:

- Este modelo debe garantizar la facilidad del moldeo y su extracción del molde, evitando obtener varias partes que conformen el mismo.
- Evitar tener un molde con excesiva cantidad de divisiones.
- Procurar obtener superficies planas en el molde evitando su complejidad.
- Facilitar la salida de gases.
- Garantizar la comodidad del apisonado, acabado, pintado, secado.
- Permitir el control de dimensiones del molde.

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores se define el siguiente plano divisor de la pieza a fabricar.

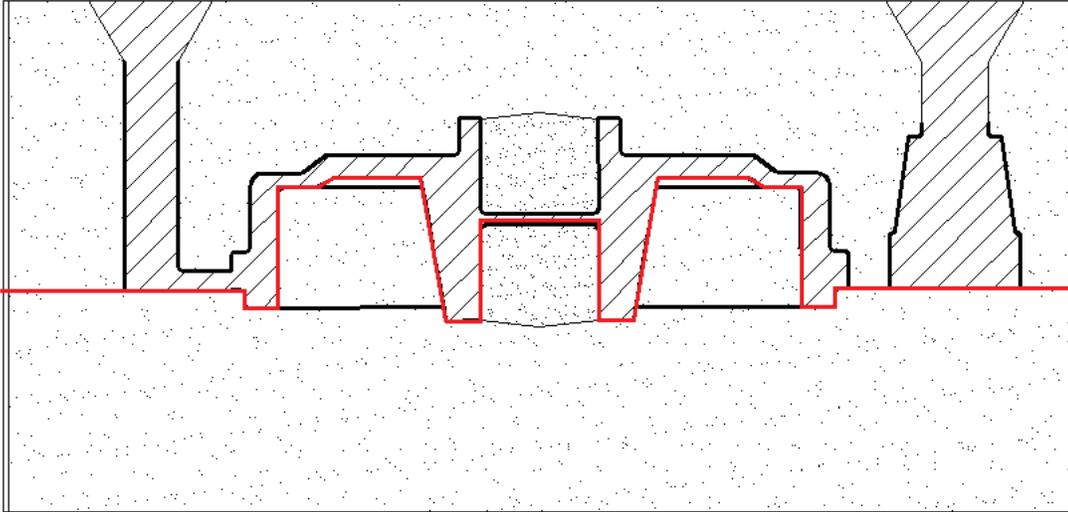


Figura 3.1 Plano de división del molde

La línea roja muestra el plano de división del molde

3.1.2 MÍNIMO ESPESOR REQUERIDO PARA LA PIEZA

Con el fin de verificar si el tambor a producir se lo puede obtener por el método de fundición, se determina sus espesores mínimos, los cuales dependen del tipo de aleación, propiedades mecánicas y tecnológicas, método de fundición y dimensiones máximas.

Se debe tener en cuenta que el excesivo espesor de la pieza aumenta el peso de la misma, provocando así aparición de porosidades por contracción.

Para determinar el mínimo espesor requerido en las fundiciones de arena, se calcula la dimensión equivalente N.

$$N = \frac{2l + b + h}{3} \text{ (m)} \quad \text{Ecuación 3.1}^{73}$$

Donde:

l: longitud

b: ancho

h: altura

N: dimensión equivalente

$$N = \frac{2(0,23) + 0,23 + 0,71}{3} (m)$$

$$N = 0,25 m$$

Una vez calculada la dimensión equivalente N y con la aleación determinada se busca en la figura 3.2 el espesor mínimo requerido.

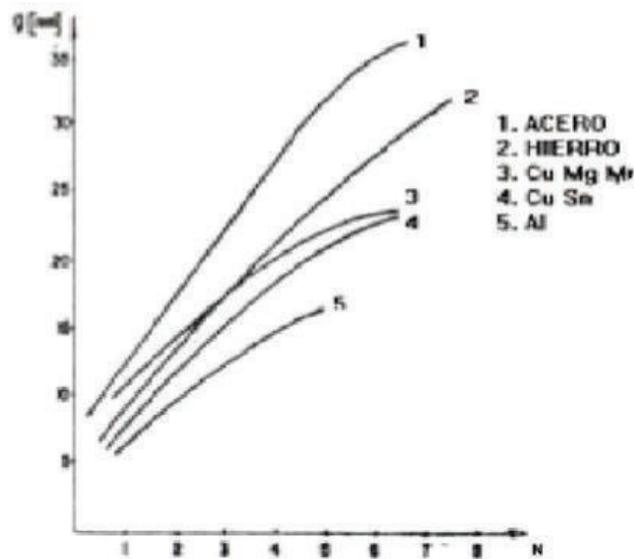


Figura 3.2 Espesores mínimos de piezas⁷⁴

⁷³ GOYOS, L; "Tecnología de la Fundición II; ISPJAE; pág. 21

⁷⁴ GOYOS, L; "Tecnología de la Fundición II; ISPJAE; pág. 22

Se recomienda para fundiciones grises con $N < 0,5$ m un espesor de pared de 1,5 a 2,0 mm⁷⁵

La pieza en estudio tiene un espesor de 5 mm mucho menor a 0,5 m, esta pieza puede ser obtenida sin ningún problema por el método de fundición ya que es menor a 0,5 m.

3.1.3 ÁNGULOS DE SALIDA Y RETENCIONES

Una vez hecho el molde, se extrae el modelo, por lo tanto debe ser de fácil extracción para evitar que al ser extraído arrastre consigo el material del molde.

Determinada la dirección de apertura del molde y extracción del modelo se asigna un valor de salida s y un ángulo de salida β , en consecuencia es claro que todas las piezas no pueden desarrollarse por fundición sin modificar su estructura.

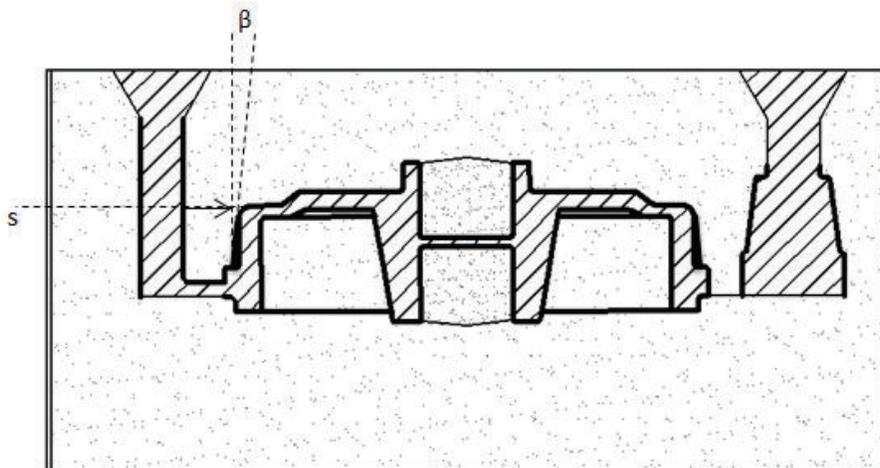


Figura 3.3 Medida s de salida y ángulo β

Es importante que el diseñador, en el proyecto establezca este ángulo de salida evitando así que el modelista asuma un ángulo erróneo alterando el molde o las dimensiones de la pieza.

⁷⁵ GOYOS, L; "Tecnología de la Fundición II"; ISPJAE; pág. 22

Tabla 3.1 Valores aconsejables de la salida s , en milímetros y en tanto por ciento, y del ángulo de salida β para modelos sólidos y bien contruidos⁷⁶

ALTURA DEL MODELO mm	SALIDA			OBSERVACIONES
	s		ANGULO β DE SALIDA	
	mm	%		
Hasta 40	0,5	1,25	1'30"	Para paredes o nervaduras delgadas conviene aumentar estos valores hasta duplicarlos. Para agujeros y huecos: = 15°...20°, y a veces más
40...59	0,75	1,8...1,2	1'	
60...119	1	1,7...0,8	40"	
120...159	1,5	1,25...0,9	40"	
160...199	1,75	1,1...0,9	40"	
200...249	2	1...0,8	30"	
250...299	2,5	1...0,8	30"	
300...399	3	1...0,75	30"	
400...499	3,5	0,9...0,8	30"	
Más de 500	4	Menos de 0,8	30"	

En el proyecto la pieza a diseñar presenta una altura de 71 mm por lo que el ángulo de salida para la fácil extracción del modelo es de 40". Tabla 3.1

3.1.4 SOBREDIMENSIONAMIENTO POR CONTRACCIÓN DEL MATERIAL

La contracción del material es el cambio de volumen que experimenta la pieza durante el proceso de solidificación y enfriamiento.

La contracción del material (E) está expresada en porcentaje Tabla 2.2 y será aumentada a las dimensiones del modelo para que al solidificarse la pieza, esta tenga las dimensiones nominales de diseño establecidas.

⁷⁶CAPELLO, E; "Tecnología de la Fundición"; G. Gili; 1971; pág. 11

Tabla 3.2 Contracción de diferentes materiales⁷⁷

Tipo de pieza y aleación	E %	
	Frenada	Libre
Fundición gris		
Moldes pequeños y medianos	0,9	1
Moldes medianos y grandes	0,8	0,9
Moldes muy grandes		
Formas cilíndricas especiales	0,7	0,8
Por la longitud	0,8	0,9
Por el diámetro	0,5	0,7
Fundición de acero		
Al carbono de construcción y baja aleación	1,3-1,7	1,6-2,0
Al cromo y de alta aleación	1,0-1,4	1,3-1,7
Aceros ferrito-austeníticos	1,5-1,9	1,8-2,2
Aceros austeníticos	1,7-2,0	2,0-2,3
Fundición no-ferrosas		
Bronce al estaño	1,2	1,4
Bronce sin estaño	1,6-1,8	2,0-2,2
Latones con Zn	1,5-1,7	1,8-2,0

Debe tenerse en cuenta que existirán dos tipos de contracciones: las libres y las frenadas que estarán determinadas fundamentalmente por la geometría y complejidad de la pieza; por ejemplo: los diámetros de cavidades internas se considerarán contracción frenada, mientras que la dimensión a lo largo de un borde de la pieza será una contracción libre.⁷⁸

No se diseñan machos, adicional a esto se tiene una superficie libre, por lo tanto se sobredimensiona la pieza con el 1% adicional a sus dimensiones nominales ya que la pieza a fabricar se la va a obtener por fundición gris.

⁷⁷ GOYOS, L; "Tecnología de la Fundición II; ISPJAE; pág. 44

⁷⁸ GOYOS, L; "Tecnología de la Fundición II; ISPJAE; pág. 43

3.1.5 DIMENSIONAMIENTO PARA MAQUINADO

Luego de obtener la pieza fundida se la lleva a un proceso de maquinado, debido a esto la misma pierde material cambiando así sus dimensiones representativas.

A fin de evitar lo antes señalado se dimensiona la pieza para maquinarla, esto es se adiciona material a las superficies de la pieza a fundir para llevarla al maquinado a la medida establecida de diseño.

Las dimensiones de las sobremedidas de maquinado dependen de: la precisión de la producción, la elaboración del modelo, la dimensión básica (Z), la dimensión determinante (S) y de la posición de la superficie maquinada en relación con la colada.

La dimensión básica para superficies curvas es la mayor distancia entre las dos superficies más alejadas.

La dimensión determinante en superficies curvas es la diagonal de la sección longitudinal, la cual posee tres grados de precisión A, B y C precedidas ya sea por 1 (fundición de acero) o 2 (cualquier tipo de aleación fundida que no sea acero). Revisar Anexo 1.

El grado de precisión A es aquel que se aplica a piezas fundidas moldeadas mecánicamente.

El grado de precisión B es aquel que se aplica cuando se trata de una producción de piezas fundidas en serie.

El grado de precisión C es aquel que se aplica para producción de piezas moldeadas manualmente⁷⁹

Teniendo en consideración que la parte del tambor a maquinar es la parte interna, se tiene por dimensión básica y determinante 200 mm y 212 mm respectivamente. Fig. 3.3. Con los datos de dimensiones se va a la tabla 2.3.

⁷⁹ GOYOS, L; "Tecnología de la Fundición II; ISPJAE; pág. 35

Tabla 3.3 Sobremedida de maquinado⁸⁰

Grado de precisión C-2											
Dimensión básica (mm)	Dimensión determinante (mm)										
	Más de / hasta (mm)										
Más de - a	30	30 80	80 180	180 315	315 500	500 800	800 1250	1250 2000	2000 3150	3150 5000	5000 8000
0-30	2,5	3	3	3,5	4	5	6	7	8	9	10
30-80	2,5	3	3,5	3,5	4,5	5	6	7	8	9	10
80-100	3	3,5	4	4	4,5	5	6	7	8	9	10
180-315	3	3,5	4	4	4,5	6	7	8	9	10	11
315-500	3,5	3,5	4	4,5	5	6	7	8	9	10	11
500-800	3,5	4	4,5	5	5,5	6	7	8	9	10	11
800-1250	4	4,5	5	5,5	6	7	8	9	10	11	12
1250-2000	4	4,5	5	5,5	6	7	8	10	11	12	13
2000-3150	4,5	5	5,5	6	7	8	9	11	12	13	14
3150-5000	5	6	6,5	7	8	9	10	12	13	14	14
5000-8000	6	7	7,5	8	9	10	11	13	14	14	26

La tabla anterior sirve para cualquier fundición de aleaciones que no sean acero y para producciones de piezas moldeadas a mano, que es el caso del tambor de freno analizado en el presente proyecto.

Para una dimensión básica de 200 mm y una dimensión determinante de 212 mm se tiene una sobremedida de 4mm.

3.2 CÁLCULO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

El sistema de alimentación es el responsable de conducir el metal líquido a la cavidad del molde en el punto adecuado y a una velocidad conveniente.

Las principales funciones que debe cumplir el sistema de alimentación son: conducir el metal líquido a la cavidad del molde en forma controlada, separar la escoria del metal, evitar la presencia de gases en la pieza, garantizar una solidificación dirigida y simultánea.

⁸⁰ GOYOS, L; "Tecnología de la Fundición II; ISPJAE; pág. 40

Los elementos principales que conforman un sistema de alimentación son: embudo para entrada de colada, bebedero, escoriador y canal de alimentación. Se puede observar con mejor detalle el sistema de alimentación en el plano del modelo de fundición que está en el **Anexo 1**.

3.2.1 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO⁸¹

Se va a utilizar el diseño de conducción del metal líquido por el plano divisor permitiendo así combinar las ventajas que poseen tanto los sistemas de llenado por arriba como por abajo.

Existen varios métodos para el cálculo de los sistemas de alimentación pero el más común es el método de Ossan.

La expresión para este caso es la siguiente:

$$A_c = \frac{G}{\mu\tau 0,31\sqrt{H_m}} \text{ (cm}^2\text{)} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Donde:

A_c : área de control (cm²)

G : Masa de metal que circula (Kg)

μ : coeficiente de gasto general

τ : tiempo de colada (s)

H_m : altura media de carga (cm)

La expresión anterior se refiere al área de control para que la masa G circule por el mismo en un tiempo τ .

⁸¹ GOYOS, L; "Tecnología de la Fundición II; ISPJAE; pág. 156

Al seguir ascendiendo la colada por el molde, aparece una contrapresión por este motivo para el cálculo de sistemas de alimentación se trabaja con la altura corregida (H_m) según la siguiente expresión:

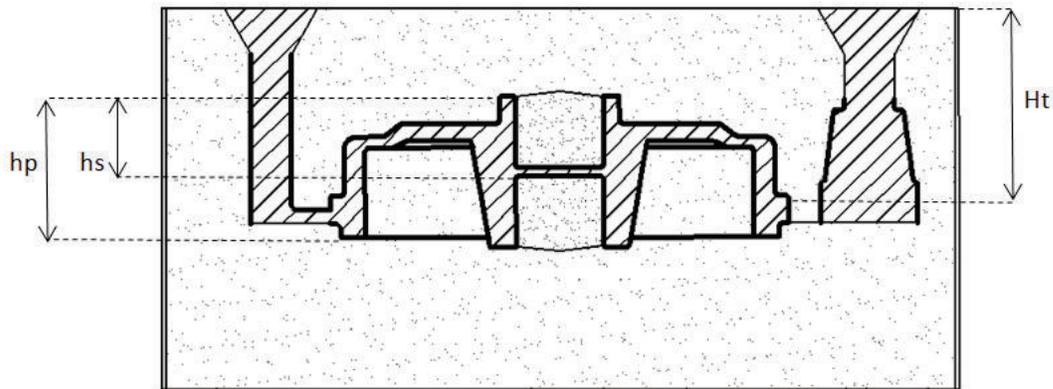


Figura 3.5 Posición de las variables para el cálculo de la altura media de carga

$$H_m = H_t - \frac{h_s^2}{2h_p} \text{ (cm)} \quad \text{Ecuación 3.3}$$

Donde:

H_m : altura media de carga (cm)

H_t : altura del canal vertical desde el lugar de suministro de la masa fundida (cm)

h_s : altura del modelo desde el lugar de suministro de la masa fundida (cm)

h_p : altura del modelo (cm)

El cálculo del sistema de alimentación se realiza en dos etapas, primero el cálculo del tiempo de colada y posteriormente el área de los conductos.

El tiempo de colada es una función del metal a colar, la masa del metal y el espesor reducido (δ) de la pieza.

Se tiene entonces una expresión general fácil de usar la cual se plantea de la siguiente manera:

$$\tau = K_t \delta^n G^m \text{ (s)} \quad \text{Ecuación 3.4}$$

Donde:

τ : tiempo de colada (s)

δ : espesor predominante (mm)

G: masa del metal que circula (Kg)

K_t , n, m: coeficientes de corrección (tabla 3.4)

Tabla 3.4 Valores de coeficientes para el cálculo

Tipo de aleación	K_t	n	m
Acero	1,47	0,21	0,34
Hierro gris	0,76	0,23	0,50
Hierro maleable	1,89	0,43	0,50
Hierro nodular	0,97	0	0,50
Aluminio	1,42	0,18	0,50
Bronce	0,47	0,2	0,50

Es muy importante observar que G para cualquier cálculo debe tomarse en cuenta incluyendo el metal que circula por el sistema de alimentación. Se recomienda estimar una masa adicional de 20% a 30% para el hierro fundido que representa la masa de metal en el sistema de alimentación.

Los valores de μ recomendados son $\mu = 0,3-0,5$ para hierro de paredes finas y $\mu = 0,7-0,8$ para paredes gruesas.

Posteriormente se calcula la velocidad de ascenso (V_{ac}) que es la que posee el metal en el área de control, es decir la menor área del sistema de alimentación.

Para las aleaciones ferrosas es necesario garantizar la siguiente velocidad de ascenso:

$$\frac{h_p}{\tau} > V_{ca} \text{ (cm/s)} \quad \text{Ecuación 3.5}$$

Donde:

V_{ca} : velocidad crítica de ascenso y se toma según el espesor predominante δ .

h_p : altura del modelo (cm).

Los valores de δ se toman según:

Tabla 3.5 Valores de espesores predominantes y velocidades de ascenso recomendadas.

δ (mm)	< 10	10 a 40	> 40
V_{ca} (cm/s)	2	1	0,8

Luego de determinar el área del alimentador, el comportamiento hidrodinámico depende de la relación que existe entre las diferentes áreas del sistema (alimentador, colector de escoria y canal vertical), la cual se conoce como relación de colada.

En tabla 3.6 se proponen recomendaciones para la selección de las relaciones de colada.

Tabla 3.6 Relaciones de colada

Aleación	Tipo de pieza	Sistema	Alimentadores	Escoriador	Canal vertical
Acero	Pequeñas	Con presión	1	1,1	1,2
			1	1,2	1,6
	Medias	Presión parcial	1	1	1,05
			1,5	1	1,2
			1	1	1
Grandes	Sin presión	2	2	1	
Hierro gris	Pequeñas y finas	Con presión	1	1,06	1,11
	Medias y pequeñas	Con presión	1	1,1	1,15
	Grandes	Con presión	1	1,2	1,4
Hierro maleable		Sin presión	1,5	1	1
Hierro nodular		Con presión	1	2,7	1,3
			1	1,12	1,25
Magnesio y aluminio		Sin presión	4	2	1
			6	3	1
			1	3	1
			2	4	1
Bronce		Con presión	1	1,3	1,6
Latones y bronce oxidables		Sin presión	1,5	0,6	1

En el caso del tambor de freno por tratarse de una pieza pequeña de pared delgada y utilizando un sistema con presión para garantizar que todo el sistema de alimentación se mantenga lleno de metal permitiendo así un trabajo adecuado del escoriador, la relación de colada a utilizar es:

$$A_a : A_e : A_{cv} = 1 : 1,06 : 1,11 \quad \text{Ecuación 3.6}$$

Donde:

A_a : área del alimentador (cm²)

A_e : área del escoriador (cm²)

A_{cv} : área del canal vertical (cm²)

Se debe tener en cuenta para el cálculo que los sistemas con presión presentan como área de control la del alimentador.

En la figura 3,6 se presentan las secciones típicas de alimentadores y escoriadores

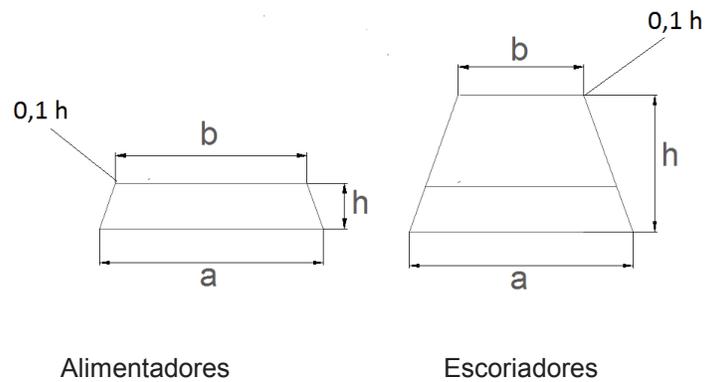


Fig. 3.6 Secciones típicas de escoriadores y alimentadores

Las dimensiones de las secciones típicas para escoriadores y alimentadores se presentan en la tabla 3.7 y 3.8, las cuales se usan luego de determinar el área del alimentador.

Tabla 3.7 Dimensiones normalizadas de los alimentadores

Aa (cm ²)	h = 0,5 a		
	a	b	h
1,0	15,0	12,0	7,5
1,5	18,0	15,5	9,0
2,0	22,0	18,0	11,0
2,5	24,0	20,0	12,0
3,0	26,0	22,0	13,0
3,5	28,0	23,0	14,0
4,0	30,0	24,0	15,0
4,5	31,0	28,0	15,5
5,0	33,0	28,0	16,5
5,5	35,0	29,0	17,5
6,0	36,0	31,0	18,0
6,5	37,0	32,0	18,5
7,0	38,0	33,0	19,0

Tabla 3.8 Dimensiones normalizadas de los escoriadores

Aa (cm ²)	h = a			h = 1,25 a			h = 1,5 a		
	Dimensiones en mm								
	a	b	h	a	b	h	a	b	h
1,0	11	8	11						
1,3	12	10	12	11	8	14			
1,6	14	10	14	12	9	15	11	7	17
2,0	15	12	15	14	10	17	12	8	20
2,5	16	13	17	15	11	19	14	10	21
3,15	18	14	19	16	12	21	15	11	23
4,0	22	18	21	18	13	25	18	13	26
5,0	24	19	24	22	16	27	20	14	30
6,3	26	20	27	24	18	30	23	16	34
8,0	30	24	30	26	19	35	24	17	38
10,0	34	28	33	30	22	38	28	20	42
12,5	38	30	37	34	26	43	30	22	47
16,0	42	34	42	38	29	48	36	25	54
20,0	48	38	47	42	32	53	40	28	60
25,0	52	42	53	48	36	60	44	32	66
31,5	60	48	59	52	40	66	50	35	75
40,0	66	52	67	60	45	77	56	39	84

Para evitar caídas de presión provocadas por la velocidad del flujo así también como la absorción de gases a través de las paredes del canal vertical, el mismo se diseña con sección circular y su forma será tronco cónica.

3.2.2 CÁLCULO

Gracias a las herramientas que posee Autodesk Inventor y ya que el tambor de freno está diseñado en el mismo programa se conoce que su volumen es de 589,74 cm³.

En primer lugar se calcula la masa (G) de la pieza con la fórmula de la densidad:

$$\rho = \frac{G}{V} \quad \text{Ecuación 3.7}$$

Despejando la masa queda:

$$G = \rho * V$$

Donde:

ρ : densidad de la aleación, 0,0078 kg/cm³ (fundición gris)

$$V = 589,74 \text{ cm}^3$$

$$G = 0,0078 * 589,74$$

$$G = 4,6 \text{ kg}$$

A la masa calculada se le añade un 25% de masa que corresponde a la masa del sistema de alimentación como se señaló anteriormente, de donde:

$$G = 4,6 * 1,25$$

$$\mathbf{G = 5,75 \text{ kg}}$$

Se calcula la altura media de carga:

$$H_m = H_t - \frac{h_s^2}{2h_p}$$

Donde:

$$H_t = 9 \text{ cm}$$

$$h_s = 5 \text{ cm}$$

$$h_p = 7,1 \text{ cm}$$

$$H_m = 9 - \frac{5^2}{2 * 7,1}$$

$$\mathbf{H_m = 7,24 \text{ cm}}$$

El tiempo de vaciado se lo obtiene de la siguiente manera:

$$\tau = K_t \delta^n G^m (s)$$

Donde:

$$\delta = 5 \text{ mm}$$

$$G = 5,75 \text{ kg}$$

$$K_t = 0,76$$

$$n = 0,23$$

$$m = 0,50$$

K_t , n , m obtenidos de la tabla 3.4

$$\tau = 0,76 * 5^{0,23} * 5,75^{0,50}$$

$$\tau = 2,64 \text{ s}$$

Se garantiza la siguiente relación para las aleaciones ferrosas

$$\frac{h_p}{\tau} > V_{ca}$$

Donde:

$$h_p = 7,1 \text{ cm}$$

$$\tau = 2,64 \text{ s}$$

$$\frac{h_p}{\tau} = \frac{7,1}{2,64}$$

$$\frac{h_p}{\tau} = 2,69 \text{ cm/s}$$

De la tabla 3.5 se tiene que para espesores menores a 10 mm la velocidad de ascenso no debe sobrepasar los 2 cm/s, por lo tanto la relación anterior se cumple $h_p/\tau > V_{ca}$

Una vez determinados el tiempo de colado y la altura media de carga, se obtiene el área de control que en este caso como se señaló anteriormente corresponde a los alimentadores.

$$A_c = \frac{G}{\mu\tau 0,31\sqrt{H_m}}$$

$$G = 5,75 \text{ kg}$$

$$\mu = 0,40 \text{ para fundición gris de paredes delgadas}$$

$$\tau = 2,64 \text{ s}$$

$$H_m = 7,24 \text{ cm}$$

$$A_c = \frac{5,75}{0,40 * 2,64 * 0,31\sqrt{7,24}}$$

$$A_c = 6,53 \text{ cm}^2$$

$$A_a = 6,53 \text{ cm}^2$$

Para obtener el área del escoriador se sigue la siguiente relación:

$$A_a : A_e = 1 : 1,06$$

$$A_e = 6,92 \text{ cm}^2$$

De la misma manera y con la siguiente relación se obtiene el área del canal vertical:

$$A_a : A_{cv} = 1 : 1,11$$

$$A_{cv} = 7,18 \text{ cm}^2$$

A continuación se dimensionan los elementos del sistema de alimentación.

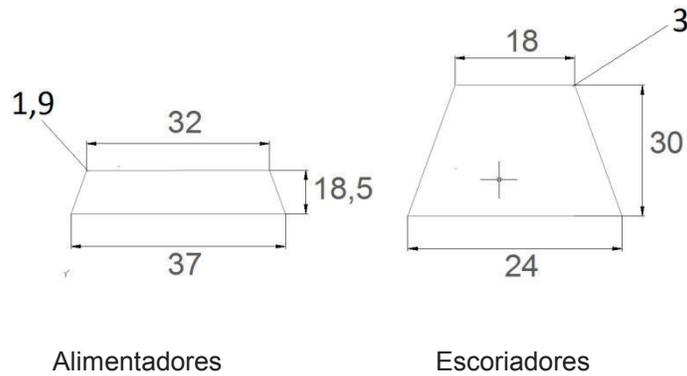


Fig. 3.7 Dimensiones de alimentadores y escoriadores (mm)

Para el canal vertical se considera un cilindro con cubeta para evitar caídas de presión como se indicó anteriormente por lo tanto su radio será:

$$A_{cv} = \pi r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{7,18}{\pi}}$$

$$r = 1,51 \text{ cm}$$

Se tiene entonces:

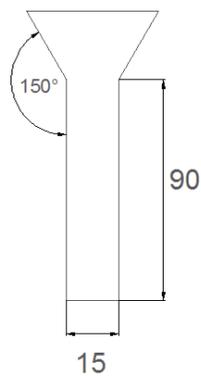


Fig. 3.8 Dimensiones del canal vertical (mm)

3.3 CÁLCULO DE CAJA DE MOLDEO

Las dimensiones de la caja de moldeo están determinadas por:

- La dimensión de la pieza fundida.
- La dimensión del sistema de alimentación.
- Las dimensiones de las mazarotas.
- Las dimensiones de los noyos.
- La posición de la pieza.
- La cantidad de piezas en la caja.

Por esta razón el cálculo de la misma se la realiza luego de la elaboración de la tecnología de la pieza fundida.

La capa de mezcla entre la cavidad del molde y las paredes de la caja de moldeo debe garantizar la resistencia del molde debido a las presiones estática y dinámica del metal vertido.

Las dimensiones de la caja de moldeo no deben ser exageradas evitando de esta manera el consumo innecesario de mezcla de moldeo y la forzada fabricación del molde.

En el caso de la producción de tambores de freno, para dimensionar la caja de moldeo no se toma en cuenta las dimensiones de los noyos ya que no posee.

3.3.1 SELECCIÓN DEL TIPO DE CAJA DE MOLDEO

El molde elaborado debe ser preciso por lo tanto las guías que posee la caja no debe dejar una falla por la desubicación entre las dos tapas del molde, esto influye en obtener una pieza con menos defectos y que puede afectar al maquinado posterior o tener una pieza rechazada.

Para asegurar un molde sin defectos se selecciona una caja totalmente metálica con guías laterales

3.3.2 DIMENSIONAMIENTO

La caja de moldeo debe tener el tamaño apropiado para que se ubique el modelo dentro de la misma.

Para tener un molde que no consuma mucha arena de moldeo se determina la forma circular ya que la pieza a fabricar tiene esta forma.

El tambor de freno ya sumadas las contracciones, sobremedidas posición del bebedero y espesor de maquinado tenemos un diámetro de 280 mm, y teniendo una distancia desde la pieza hasta el filo de la caja de aproximada mente 60 mm. Nos queda una caja de moldeo de 400mm de diámetro.

CAPÍTULO IV

PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN

4.1 CONTRUCCIÓN DE PLACA MODELO

Las placas modelos permiten el ahorro de tiempo para producción de piezas pequeñas en serie, por lo general son de metal pero por economía se va a utilizar una placa modelo semimetálica.

La placa modelo a considerar en el proyecto es la de doble cara, en ésta la parte superior e inferior del modelo se ubican en las caras opuestas de la placa de madera, la cual sigue el plano de división del modelo.

Se emplea la placa modelo de doble cara por la economía que representa el uso de una sola placa y por el empleo de un solo moldeador.

Adicional a lo mencionado anteriormente, la placa modelo nos permite: obtener una mayor exactitud de la pieza colada, el sistema de alimentación va incorporado a la misma placa.

El plano para la fabricación de la placa modelo se lo detalla en el Anexo 1, dimensionado con medidas superiores a la caja de moldeo para evitar que se introduzca en la misma, la caja de moldeo superior se ubica sobre la placa modelo mediante clavijas de centrado.



Figura 4.1 Placa modelo semimetálica

La figura 4.1 muestra la placa modelo semimetálica utilizada en el proyecto, el modelo es de aluminio mientras que la placa soporte es de madera.

4.2 CONSTRUCCIÓN DE CAJA DE MOLDEO

Se emplea una caja de acero del tipo redondo con paredes verticales, la cual va a contener la arena compactada y el modelo, la misma está constituida por una caja superior e inferior, ambas unidas mediante clavijas con el fin de fijar cada una de las cajas y permitir su fácil separación.

Las clavijas y los agujeros de los mangos de las cajas deben ser exactamente perpendiculares a los planos de las caras confrontadas mientras que la distancia entre pasadores y agujeros deben permitir el encaje correcto.

4.3 OBTENCIÓN DE MEZCLA DE MOLDEO⁸²

Para obtención de la mezcla es necesario preparar la arena añadiendo a la misma materiales adecuados para que pueda adquirir las propiedades necesarias que satisfagan un buen colado. Estas propiedades son: permeabilidad, cohesión, refractariedad, dureza, etc.

- Permitir la facilidad de moldeo
- Poder reproducir y conservar la reproducción del modelo
- Soportar altas temperaturas

⁸²GOYOS, L; "Tecnología de la Fundición II; ISPJAE; pág. 36

- Permitir la fácil evacuación de gases.
- Ser disgregable.

4.3.1 AGLOMERANTES Y AGLUTINANTES

Se utiliza la bentonita el cual es un aglutinante inorgánico del tipo arcilloso, que está constituido de montmorillonita, es un ejemplo de arcilla coloidal. En general, la acción de la arcilla natural y de la bentonita es cualitativamente similar a la de la arcilla geológicamente aglutinada a las arenas arcillosas naturales.

La bentonita se diferencia de la arcilla en que tiene una capacidad de absorción mucho más elevada, y su poder aglutinante es de 2 a 7 veces mayor que el de la arcilla.

Se emplea en una proporción del 2 al 4% del peso de arena seca, se añade después del 3 al 4% de agua y se amasa durante 5 a 15 minutos, se puede introducir también en la mezcla un fijador de la humedad, dextrina por ejemplo, en la proporción del 1 al 2%.

4.3.2 CARACTERISTICAS FISIOQUIMICAS DE LA ARENA

Las siguientes características tienen una influencia directa sobre las propiedades de la arena:

- Análisis químico
- Contenido arcilloso
- Dimensión de los granos y su distribución
- Forma de los granos

4.3.2.1 Análisis químico

Más que el análisis químico en las arenas arcillosas interesa el análisis racional, que tiende a establecer la composición de las arenas en su contenido de cuarzo, arcilla y feldespato.

Es importante y evidente este análisis ya que permite prever la refractariedad y la cohesión de las arenas.

4.3.2.2 Contenido arcilloso

La determinación del contenido arcilloso se lo realiza con un levigador. Se pesan con exactitud 20 g de arena previamente secada durante una hora en una estufa a la temperatura de 105 °C, se ponen a hervir durante 30 minutos con agua destilada y se introduce la mezcla en el levigador, procurando que no quede ningún poso en la vasija. Se añade agua destilada fría hasta alcanzar el nivel señalado en el levigador, se agita durante 5 minutos y se deja en reposo 16 minutos y 40 segundos.

Con el sifón se descarga el agua turbia en una cápsula, donde se deja depositar unos minutos, se decanta el agua y el eventual residuo arenoso se introduce de nuevo en el levigador, se rellena este último con agua nueva y se repite dos o tres veces la levigación hasta que el agua introducida quede limpia.

El residuo arenoso lavado que queda en el levigador se coloca en una cápsula, se deja secar y se pesa, por la diferencia con el peso de origen se deduce el porcentaje arcilloso de la arena.

4.3.2.3 Dimensión de los granos y su distribución

Para determinar el tamaño de los granos de una arena se efectúa el análisis granulométrico. Para este objeto se procede, previamente, a la separación de los materiales arcillosos por medio de la levigación, después de lo cual el residuo lavado compuesto solamente de granos de sílice se deja caer y se hace pasar a través de una serie de cedazos metálicos de mallas decrecientes.

Las series unificadas de cedazos más usadas son las americanas de la A.F.S., constituida por once cedazos numerados correlativamente, cada uno de los cuales se caracteriza por un determinado tamaño de mallas.

4.3.2.4 Forma de los granos

La forma de los granos permite establecer el probable comportamiento de la arena, este examen se realiza en el microscopio. La distinción entre granos redondos y granos angulosos es puramente indicativa, de hecho no existen arenas con todos los granos esferoidales. El redondamiento es un fenómeno provocado

por la acción abrasiva de un grano sobre otro. Los granos bien redondeados no son muy abundantes y no se encuentran por debajo de los tamaños del cedazo 70.

4.3.3 CARACTERISTICAS TECNICAS DE LA ARENA

Las características técnicas más comunes como se mencionó anteriormente son:

- La refractariedad
- La cohesión o resistencia
- La permeabilidad
- El deslizamiento

4.3.3.1 REFRACTARIEDAD

La refractariedad de una arena se determina por la temperatura a que puede someterse sin presentar signos de fusión, la misma viene asegurada por la sílice, cuyas características, por otra parte, resultan siempre modificadas por la presencia de otros elementos. El punto de vitrificación de una arena disminuye en proporción inversa a su contenido en otros materiales.

También la forma y el tamaño de los granos tienen una notable influencia sobre la refractariedad, los granos angulosos sinterizan más fácilmente que los esféricos, y los finos más que los gruesos.

El grado de refractariedad que se exige de una arena de fundición depende naturalmente del metal que deba colarse, la arena para acero debe resistir temperaturas de 1350 a 1400 °C

4.3.3.2 COHESIÓN

La cohesión de una arena es consecuencia directa de la acción del aglutinante y depende de la naturaleza y contenido de este último y del porcentaje de humedad.

La forma de los granos también influye sobre la cohesión. En igualdad de otras condiciones, una arena de granos angulosos presenta una cohesión menor que una arena de granos redondos, porque en esta última las superficies de contacto son mayores.

En igualdad de forma, la cohesión queda influida por el tamaño de los granos. En general, las cohesiones más elevadas se obtienen con arenas de granos muy gruesos o muy finos. En el primer caso, la superficie total de los granos es menor que la de una arena de granos finos y, por lo tanto, el revestimiento de arcilla de los granos resultará de más espesor, confiriéndole con ello mayor cohesión, en el caso de la arena fina se tendrá una capa ligera de arcilla en torno a los granos, pero, en compensación, serán mucho más numerosas las superficies de contacto.

4.3.3.3 PERMEABILIDAD

La permeabilidad es la propiedad que permite a la arena ser atravesada por los gases y que permite la evacuación de estos del molde en el momento de la colada.

La permeabilidad tiene una enorme importancia, si es escasa, la evacuación del gas resulta muy difícil o casi imposible, provocando la ebullición del metal líquido y la consiguiente formación de sopladuras en la pieza.

En consecuencia, depende de la forma, del tamaño y de la distribución de los granos, y es siempre mayor en una arena de granos gruesos que en la de granos finos.

Tanto la cohesión como la permeabilidad están influidas por: el grado de elaboración de la arena y el tiempo que se invierte en mezclarla, así como el grado de compresión.

4.3.3.4 DESLIZAMIENTO

El deslizamiento y la movilidad de una arena de fundición es la capacidad de llenar todos los huecos del modelo y se desliza hacia la superficie del mismo y no necesariamente en la dirección del atacado.

Es evidente que cuanto mayor sea la capacidad de deslizamiento de la arena, tanto más fácilmente podrá ser comprimida en sus justos límites, lo contrario hará que la dureza del molde en determinados puntos del mismo pueda resultar

insuficiente para resistir la acción mecánica del metal líquido, con posibilidad de defectos.

Naturalmente que también un grado excesivo de deslizamiento es perjudicial porque en tal caso, la arena, con un atacado normal, se comprime demasiado, el molde resulta excesivamente duro y no puede absorber la dilatación que provoca en la arena la acción del calor. De este modo se pueden producir grietas en la superficie del molde, con los consiguientes defectos en la pieza.

4.3.4 GRAFITO

El principal objeto de su empleo es compensar la dilatación de la arena y crear una capa aislante entre la arena del molde y el metal líquido a fin de impedir el contacto entre el metal y la arena y que esta última se pegue a la pieza aumentando las dificultades del pulimento de las superficies. De este modo se reduce el tiempo de pulimento de las piezas mejorando su aspecto.

Se añade normalmente a la arena verde en la proporción del 3 al 6%, aplicándolo en seco sobre la superficie del molde. Este material, por la elevada temperatura que se produce en el molde en el momento de la colada, arde. Los productos de la combustión formados constituyen un velo protector entre el metal y la superficie de la arena.

El valor del grafito es tanto mayor cuanto mayor es el contenido de carbono, un buen grafito debe contener cerca de un 70% de carbono fijo, un 25% de cenizas y un 5% de materiales volátiles.

4.3.4 PREPARACION DE LA ARENA

La arena de moldeo se utiliza para confeccionar moldes que antes de la colada se someten a un secado cuya finalidad es la de aumentar la cohesión de la arena al objeto para que soporte mejor la acción mecánica del metal fundido, acrecentar la permeabilidad y reducir el volumen de los gases que se producen en el curso de la colada.

Se debe hacer énfasis en la distinción entre la arena de modelo y la arena de relleno, la primera, como su nombre indica, se aplica en contacto inmediato con el modelo y, al formar la superficie del molde, sufrirá la acción directa del molde líquido. Por lo tanto, exige una comprobación cuidadosa y una preparación perfecta para garantizar la refractariedad, permeabilidad y cohesión más elevadas.

La arena de relleno sirve para completar el molde y no requiere tanto cuidado como la arena de modelo.

Se mezcla normalmente arena nueva con arena usada en anteriores moldeos, añadiendo los ingredientes adecuados. La finalidad de esta preparación es la de obtener una masa homogénea sin terrones, cuerpos extraños o polvo, compuesta solamente de granos de sílice separados unos de otros y recubiertos de una capa de aglutinante humedecido.

La arena usada procede del desmoldeo en masa heterogénea, reagrupada en terrones compactos en los puntos que estuvieron en contacto directo con el metal, por este motivo hay que reducir esta masa al estado granular.

Para los fragmentos metálicos no ferrosos, cuerpos extraños o arena sin descompactar el único sistema de separación es la criba, la criba inclinada se usa en fundiciones pequeñas, puede ser de diversos tamaños al objeto de proporcionar granos clasificados.

En este punto la arena usada es granular y sin cuerpos extraños, hay que dosificarla, mezclarla con una cantidad de arena nueva, agua y especialmente garantizar la distribución uniforme del aglutinante en toda la masa de modo que todos los granos queden recubiertos por igual.

4.4 ELABORACIÓN DE MOLDES

El moldeo consiste en obtener una reproducción en negativo de la pieza, vaciado en el cual ha de colarse el metal líquido que, al solidificarse, adquirirá la forma del modelo, por su consiguiente duración y el material empleado el molde a elaborar es de arena.

El molde a obtener se lo realiza a mano y moldeado en cajas, el atacado se lo realiza con un punzón directamente con la mano.

Para la elaboración del molde se realizan los siguientes pasos:

1. Ubicar la placa modelo sobre la caja superior de tal modo que se vea la parte inferior de la placa, luego se ubica la caja inferior mediante los pasadores de la caja y espolvoreamos grafito sobre el modelo.
2. Con una pala coger la arena y cernirla, esta arena fina obtenida es llamada arena de modelo con la cual dicho modelo es cubierto en un espesor de pocos centímetros, a continuación se comprime esta arena con la mano.
3. Con la misma pala coger arena y llenar la caja de esta arena gruesa llamada arena de relleno.
4. Atacar la arena ligeramente entorno al modelo.
5. Añadir más arena de relleno hasta desbordar la caja y apisonarla.
6. Aplanar la superficie superior de la caja, arrastrando una paleta metálica sobre el borde de la misma quitando así la arena sobrante.
7. Levantar la caja moldeada con la placa modelo y dar la vuelta de tal modo que se vea la parte superior de la placa la cual contiene el sistema de alimentación, espolvorear grafito sobre el modelo.
8. Disponer adecuadamente el modelo del sistema de alimentación y seguir los pasos 2, 3, 4, 5 y 6.
9. Con una aguja metálica picar la arena del molde con el fin de dar más facilidad a la salida de gases aumentando así la permeabilidad del molde.
10. Extraer el modelo del sistema de alimentación y abrir el molde levantando con cuidado la caja superior siguiendo la guía de los pasadores de la caja de moldeo, retirar la placa modelo y dejar la caja superior junto a la caja inferior.
11. Con barniz humedecer la arena alrededor de los moldes con barniz y secarlos.

12. Cerrar el molde y con una espátula diseñar el embudo de la entrada al sistema de alimentación.
13. Para compensar la presión metalostática, se aseguran las cajas con pasadores y lingotes ubicados sobre la caja superior.



Figura 4.2 Moldes Listos Para Colar

4.5 FUNDICIÓN Y COLADO DE HIERRO GRIS

4.5.1 CONSUMO EFECTIVO DE CALOR PARA LA FUSIÓN EN EL HORNO

Es necesario generar determinada cantidad de calor adicional al alcanzar la temperatura de fusión de los metales y sus aleaciones, con el fin de pasar del estado sólido al líquido.

La siguiente tabla indica las temperaturas de fusión, calores específicos y latentes de fusión de algunos metales y aleaciones más usadas en fundición.

Tabla 4.1 Contantes físicas de algunos metales y aleaciones⁸³

METAL O ALEACIÓN	TEMPERATURA DE FUSIÓN °C	CALOR ESPECIFICO DEL SOLIDO C1 kcal/kg °C	CALOR ESPECIFICO DEL LÍQUIDO C2 kcal/kg °C	CALOR LATENTE DE FUSIÓN C3 kcal/kg °C
Estaño	232	0,056	0,061	14
Plomo	327	0,031	0,04	6
Zinc	420	0,094	0,121	28
Magnesio	650	0,25	0	72
Aluminio	657	0,23	0,39	85
Latón	900	0,092	0	0
Bronce	900 a 960	0,09	0	0
Cobre	1083	0,094	0,156	43
Fundición gris	1200	0,16	0,2	70
Fundición blanca	1100	0,16	0	0
Acero	1400	0,12	0	50
Níquel	1455	0,11	0	58

La siguiente expresión permite determinar el calor total de fusión y de recalentamiento:

$$Q = P[C_1(t_1 - t) + C_2(t_2 - t_1) + C_3] \text{ kcal} \quad \text{Ecuación 4.1}^{84}$$

Donde:

t: temperatura ambiente (°C).....15 °C

t₁: temperatura de fusión (°C)

t₂: temperatura de recalentamiento (°C).....1300 °C

C₁: calor específico del estado sólido (kcal/Kg °C)

C₂: calor específico del estado líquido (kcal/Kg °C)

C₃: calor latente de fusión (kcal/Kg °C)

⁸³ CAPELLO, E; "Tecnología de la Fundición; pág. 148

⁸⁴ CAPELLO, E; "Tecnología de la Fundición; pág. 148

P: cantidad de metal (kg)

La temperatura de recalentamiento es ligeramente superior a la temperatura de fusión.

Con la ecuación 4.1 y los valores de la tabla 4.1, el calor total para fundir y recalentar el hierro gris resulta:

$$Q = 5,75 [0,16(1200 - 15) + 0,2(1300 - 1200) + 70] \text{ kcal}$$

$$Q = 1607,7 \text{ kcal}$$

El calor total necesario para fundir y recalentar 5,75 kg de hierro gris es 1607,7 kcal.

El rendimiento del horno resulta del coeficiente entre el calor teórico (Q) y el calor efectivo necesario, así:

$$\eta = \frac{Q}{Q_e} \% \quad \text{Ecuación 4.2}$$

Donde Q es el calor teórico, η es la eficiencia del horno ($\eta=66\%$ para hornos de inducción eléctrica) y Q_e es el calor efectivo necesario de fundición.

Entonces:

$$Q_e = \frac{Q}{\eta} \text{ kcal}$$

$$Q_e = \frac{1607,7}{0,66} \text{ kcal}$$

$$Q_e = 2435,91 \text{ kcal}$$

4.5.2 COLADO

Una vez cerrado el molde y ubicado los lingotes sobre la caja superior, se procede al fundido del material dentro del horno.

Luego de fundido el material, se vierte la colada en la cuchara.

Se traslada la cuchara hacia la ubicación de los moldes y se vierte el metal fundido por el cono del canal de alimentación procurando que no ingrese escoria.



Figura 4.3 Transporte del material fundido desde el horno hasta los moldes

4.6 DESMOLDEO Y DESBARBADO

Luego del enfriamiento y solidificación de la pieza se rompe la caja de moldeo y se extrae la pieza.



Figura 4.4 Desmoldeo

4.6.1 LIMPIEZA Y DESBARBADO

Una vez retirada la pieza, se procede a eliminar los conductos de alimentación y rebabas limpiando todas las asperezas e incrustaciones de arena



Figura 4.5 Limpieza

4.6.2 CONTROL DE CALIDAD

Se revisa el tambor de freno si hay alguna grieta, porosidad, mal llenado, rechupe, etc. Este control se lo realiza de manera visual

4.7 MAQUINADO

La pieza obtenida requiere para su funcionalidad, entrar en juego con otras piezas, por tanto es importante dar precisión en partes que requieran entrar en contacto con otros materiales. Esto se lo obtiene con los diferentes procesos de mecanizado.

4.7.1 TORNEADO

Casi todo el tambor es torneado ya que se tiene un sobrespesor de maquinado, con esto se logra obtener una superficie homogénea y también ayuda al balanceo del tambor. En el proyecto de estudio se lo maquino en una torno manual pero para producciones en serie se recomienda el uso de tornos CNC por su funcionalidad, exactitud y rapidez.



Figura 4.6 Maquinado cara externa del Tambor de freno



Figura 4.7 Maquinado cara interna del tambor de freno

4.7.2 TALADRADO

En esta etapa se procede a realizar los alojamientos que permiten asegurar el tambor en su ubicación en el vehículo.



Figura 4.8 Taladrado de los alojamientos del tambor de freno

4.7.3 CONTROL DE CALIDAD

En cualquiera de las etapas de maquinado se puede hacer un control ya que el este proceso deja a la vista cualquier imperfección en la pieza por eso es fundamenta el control de calidad en este procedimiento.

4.8 LIMPIEZA Y PINTURA

La limpieza es importante ya que pudo haber quedado alguna impureza del proceso anterior y para poder aplicar la capa de pintura, la superficie del tambor debe estar limpia.

CAPÍTULO V

PRODUCCIÓN DEL PROTOTIPO

5.1 PRODUCCIÓN DEL PROTOTIPO

En un inicio se procedió al estudio de la producción cero del tambor de freno pero por ciertos limitantes que en este caso vendría a ser el factor económico, no se realizó el estudio para la producción cero y se procedió al estudio del prototipo.

5.1.1 INTRODUCCIÓN

Previo al inicio de una producción se construye el primer ejemplar que sirve como modelo del producto a producir permitiendo así comprobar el objeto antes de que entre en producción detectando errores y deficiencias asegurando un producto de alta calidad y servicio para el usuario.

Entonces es muy importante señalar que toda producción empieza con el prototipo del objeto a fabricar por ende cuando este prototipo está suficientemente perfeccionado en todos los sentidos requeridos y alcanza las metas para lo que fue pensado, el objeto puede empezar a producirse.

5.1.2 ANTECEDENTES⁸⁵

5.1.2.1 DECISIÓN Y DEFINICIÓN

La primera etapa previa a la vida de un producto corresponde a la decisión de crearlo y a la tarea de definirlo por medio de especificaciones.

El origen de un producto puede ser diverso (encargo de un cliente; rediseño de un producto existente propuesto por la dirección; detección de una nueva necesidad u oportunidad en el mercado por parte del departamento comercial).

⁸⁵ CARLES Riba; Diseño Concurrente; 2002; pág. 22

La etapa de decisión y definición no es en absoluto trivial ni sencilla y, probablemente, es la que tiene luego consecuencias más importantes a lo largo de su vida:

a) El lanzamiento de un producto va asociado a invertir una determinada cantidad de recursos materiales, humanos y de tiempo. Antes de hacer la decisión, la empresa debe responderse preguntas como: ¿Hay suficientes clientes potenciales para cubrir los gastos de diseño y desarrollo?, ¿La empresa tiene capacidad para emprender el proyecto, ¿Tiene al alcance ayudas exteriores?.

b) La definición del producto es una etapa crucial del proceso de desarrollo y contiene en gran medida el acierto o desacierto que más adelante se irá manifestando durante el resto de la etapa.

5.1.2.2 DISEÑO Y DESARROLLO

El diseño agrupa aquellas actividades que tienen por objeto la concepción de un producto adecuado a las especificaciones y a la etapa prevista y su concreción en todas aquellas determinaciones que permitan su fabricación.

El desarrollo incluye, además del diseño, todas aquellas acciones destinadas a llevar el producto al mercado o a disposición del usuario.

a) El diseño es el responsable en última instancia de que el producto tenga las funciones y prestaciones para las que ha sido concebido y su funcionamiento sea el adecuado durante todo el ciclo de vida.

b) La coordinación entre el diseño y las restantes tareas del desarrollo contiene los elementos para mejorar y hacer lo más rentable posible los procesos de fabricación y comercialización de la empresa, aspectos que en última instancia redundan favorablemente en el precio y la calidad del producto.

5.1.3 PRODUCTO, EMPRESA Y MERCADO⁸⁶

5.1.3.1 INTRODUCCIÓN

Las relaciones entre el producto, la empresa y el mercado, junto con el grado de innovación en los productos y procesos de fabricación, hacen que los proyectos de ingeniería de diseño y desarrollo sean realidades complejas que puedan ser observadas desde distintas perspectivas.

Cada uno de los puntos de vista caracteriza un aspecto del proyecto y la multiplicidad de combinaciones que resultan, hace que el diseñador se halle ante situaciones muy diferentes a las que debe saber entender, valorar y adaptarse.

5.1.3.2 ORIGEN DEL PRODUCTO Y TIPOS DE FABRICACIÓN

Uno de los aspectos que más influye en los trabajos de diseño y desarrollo de un producto son su origen y el tipo de fabricación:

5.1.3.2.1 Sistema o máquina única o fabricación en pocas unidades

Suele ser un sistema o máquina de mediana o gran complejidad que tiene el origen en un encargo definido por un conjunto de especificaciones iniciales. En general, la venta se produce en un contexto competitivo entre varias empresas que hacen ofertas sobre principios de solución, plazos y precios.

Hay que optimizar el coste de diseño ya que su repercusión en el conjunto del proyecto es muy elevada. Ante la duda se opta por elementos sobredimensionados y por soluciones probadas. El proyecto requiere una buena programación y el sistema de fabricación es básicamente manual.

5.1.3.2.2 Productos fabricados en pequeños y medianas series

Muchos productos y bienes de equipo son fabricados en series comprendidas entre 50 y 5000 unidades por año y suelen comprender un cierto número de variantes.

⁸⁶ CARLES Riba; Diseño Concurrente; 2002; pág. 32

En principio, la empresa realiza una oferta al mercado en base a una definición del producto y al establecimiento de la especificación antes de iniciar las ventas y con independencia de clientes concretos, pero no es raro que se negocien determinados aspectos con clientes importantes. El diseño y desarrollo del producto cuyo coste ya no es tan crítico puesto que se repercute en un mayor número de unidades, puede permitir una optimización y la validación de las soluciones en base a prototipos y ensayos. La producción puede ejecutarse en series cortas y la automatización debe ser forzosamente limitada.

5.1.3.2.3 Productos fabricados en grandes series

En este caso, la definición del producto y el establecimiento de las especificaciones se producen de forma totalmente desligada de la venta a los futuros compradores y, por ello, deben de ser determinadas por medio de técnicas de marketing. El diseño debe ser muy cuidado y completar equilibradamente todos los puntos de vista del producto, ya que cualquier error o falta e calidad tiene consecuencias económicas de grandes dimensiones. La existencia de variantes es contemplada por el fabricante pero, fuera de las propuestas, no se negocian con el comprador. Aun estando condicionada por el acierto en las etapas de definición y concepción del producto, hay acciones de marketing que facilitan la comercialización

5.1.4 PROTOTIPAJE Y ENSAYO⁸⁷

El ensayo con prototipos físicos tienes dos ventajas respecto a la simulación virtual:

- a) Reproduce con más fidelidad el comportamiento real del futuro producto
- b) Pone de manifiesto circunstancias y modos de funcionamiento difíciles de imaginar en un contexto de simulación virtual.

Por lo tanto, antes de validar un producto e iniciar su producción en serie, conviene realizar ensayos con prototipos físicos que más allá de confirmar o no los resultados de la simulación, pueden hacer aparecer fenómenos (ruido, atascos,

⁸⁷ CARLES Riba; Diseño Concurrente; 2002; pág. 47

calentamientos, desgastes) o usos (manipulaciones, sobreesfuerzos, golpes) no previstos.

El inconveniente es que previamente hay que construir los prototipos y preparar el banco de ensayo y la instrumentación, aspectos que suelen consumir grandes recursos económicos y de tiempo. Sin embargo, la tentación de eludir esta etapa puede acarrear más adelante graves consecuencias cuando el producto esté en el mercado. Sólo si se dispone de una buena correlación entre el comportamiento del producto en el mercado y los resultados de la simulación, pueden aceptarse estos resultados (siempre con prudencia) como base para la evaluación final del producto.

5.1.4.1 SISTEMAS MÁS ÁGILES PARA FABRICAR PROTOTIPOS Y ÚTILES

La realización de muchos prototipos (algunos de los metálicos y la mayoría de los basados en polímeros) conlleva la construcción previa de útiles específicos (modelos, moldes, matrices) de elevado coste y tiempo de fabricación que a menudo deben rehacerse debido a modificaciones derivadas de los resultados de los ensayos.

Eso se debe en gran medida a las diferencias de características y de comportamiento que presentan los componentes fabricados con procesos y útiles de producción (forja, fundición, extrusión, inyección, termoconformado) respecto a los prototipos realizados con medios artesanos (mecanizado, encolado, soldadura). Estas diferencias, especialmente acusadas en los componentes plásticos y de elastómeros (estabilidad dimensional, alabeo, resistencia mecánica, comportamiento térmico, condiciones de deslizamiento, texturas superficiales, transparencias, detalles constructivos) dificultan las decisiones ya que el riesgo de las inversiones es muy elevado.

Para resolver esta dificultad, se viene trabajando en varias tecnologías para la fabricación de prototipos rápidos en la etapa de desarrollo y de útiles rápidos en la etapa de industrialización. La principal ventaja de estos sistemas es que permiten

obtener prototipos y series pequeñas de piezas casi idénticas al modelo de CAD 3D en un tiempo muy corto y con una relación calidad/precio favorable.

El principal inconveniente de los prototipos rápidos está en que no siempre reproducen todas las características de las futuras piezas de serie (resistencia mecánica, transparencia, propiedades superficiales), mientras que la principal limitación de los útiles rápidos es que sólo permiten fabricar un número limitado de piezas antes de deteriorarse. Sin embargo, permiten validar diversos aspectos del diseño (estética, dimensiones y montaje; en ciertos casos, resistencia mecánica) y de la fabricación (partición, facilidad de moldeo), de manera que se acortan los tiempos, disminuye el riesgo en las inversiones y en definitiva, fomentan la innovación en los productos.

5.1.4.2 PROTOTIPOS RÁPIDOS

Son técnicas que permiten convertir un modelo virtual de CAD 3D directamente en un prototipo físico. A diferencia de otros procesos que eliminan material (mecanizado a alta velocidad, electroerosión), los sistemas de prototipaje rápido se basan en la superposición de capas finas de material que componen la forma de la pieza y la geometría del modelo virtual. Una de las grandes ventajas de estos sistemas es la simplicidad del proceso en una sola operación, en contra de la multiplicidad de herramientas y operaciones que requieren los procesos de prototipaje convencionales.

5.1.4.3 ÚTILES RÁPIDOS

La electroerosión, el mecanizado por láser o el mecanizado a alta velocidad han dado lugar a mejoras muy considerables en la fabricación de útiles convencionales. Sin embargo, la fabricación de útiles rápidos (o los insertos con las improntas del punzón y de la cavidad de los moldes y matrices) se basan en la aportación de material, de forma análoga a los prototipos rápidos

5.1.5 FUNCIONES DE DISTINTOS TIPOS DE PROTOTIPOS Y PRUEBAS⁸⁸

En el proceso de desarrollo de un producto se pueden distinguir tres situaciones en las que puede ser conveniente desarrollar prototipos y realizar pruebas:

- a) En la etapa conceptual: prototipos preliminares y pruebas preliminares, destinadas a confirmar la viabilidad de principios de funcionamiento.
- b) En la etapa de materialización: prototipos funcionales y pruebas de durabilidad, destinadas a asegurar la calidad del producto.
- c) En la etapa de lanzamiento de la producción: preseries y pruebas de fabricabilidad, destinada a confirmar el buen funcionamiento de los procesos de fabricación.

5.1.5.1 VALIDAR EL PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO. PRUEBAS PRELIMINARES

Los productos que incluyen un diseño original, o un diseño de adaptación, deben validar los principios de solución en la etapa del diseño conceptual a través de alguno de los siguientes métodos:

- a) *Cualitativos*. Se realizan normalmente por un equipo pluridisciplinario, en base al diseño de un producto y a partir de consideraciones de tipo cualitativo o por medio de métodos de estimación.
- b) *Simulaciones virtuales*. Se realiza sobre modelos virtuales del producto, forzosamente simplificados, y pueden aportar evaluaciones cuantitativas y criterios de mucha utilidad en la decisión de validar o no las soluciones.
- c) *Prototipos y pruebas preliminares*. Se realizan sobre prototipos físicos y permiten comprobar las hipótesis sobre determinados principios de funcionamiento o nuevos procesos de fabricación, a la vez que ponen de manifiesto aspectos difíciles de prever o de simular por los métodos anteriores.

⁸⁸ CARLES Riba; Diseño Concurrente; 2002; pág. 52

5.1.5.1.1 Prototipo preliminar

Los prototipos y las pruebas preliminares son, en cierta manera, un último recurso cuando los métodos cualitativos o de simulación no disipan determinadas dudas y se producen puntos muertos en el proyecto o cuando el desconocimiento de determinados parámetros paraliza las decisiones. Llegado el caso, como más pronto se realicen, mejor. Las principales ventajas de los prototipos y pruebas preliminares son:

- a) Evitan avanzar en una solución donde permanecen dudas sobre su viabilidad.
- b) Viceversa, dan solidez a los principios de solución probados.
- c) Permiten detectar problemas no previstos desde etapas iniciales del diseño.
- d) Permiten ajustar parámetros de diseño (dimensiones, pesos, velocidades)

5.1.5.2 ASEGURAR LA FIABILIDAD. ENSAYOS DE DURABILIDAD

Una vez establecido el diseño de materialización de un componente, de un subgrupo o de una máquina completa, hay que realizar un prototipo funcional y los correspondientes ensayos de durabilidad que se relacionan con el deterioro que sufre el producto y sus componentes a lo largo de su funcionamiento.

La fiabilidad es la aptitud de un sistema o componente para funcionar correctamente durante un tiempo predeterminado. Asegurar la fiabilidad es uno de los requisitos más importantes del diseño para la calidad y es fruto de la aplicación de tecnologías de ensayo bien establecidas. Algunos de los ensayos de durabilidad más usuales son:

- a) *Ensayos de fatiga*. Se aplican ciclos repetidos de cargas de trabajo sobre determinados componentes o sobre el producto y se comprueba que resisten a la fatiga durante un tiempo suficiente (avance de la fisura o rotura).
- b) *Ensayos de desgaste*. Se aplican ciclos repetidos de movimiento o de circulaciones de fluidos sobre determinados componentes o sobre el producto y se

comprueba que el desgaste de los diferentes elementos (especialmente los contactos en los enlaces o las conducciones) sea aceptable.

c) *Ensayos de corrosión*. Se someten determinados componentes o el producto entero a ambientes corrosivos (humedad, atmósferas oxidantes u otras atmósferas) y se analizan los efectos de la corrosión con el tiempo.

d) *Ensayos de maniobras*. Se establecen secuencias repetidas de maniobras sobre determinados componentes (especialmente sobre los dispositivos electrónicos) o sobre el producto y se comprueba que mantengan el correcto funcionamiento durante el número de ciclos previsto.

5.1.5.3 ASEGURAR LA FABRICABILIDAD. PRESERIES

Los productos fabricados en grandes series (automóviles, electrodomésticos, ciertos componentes industriales) que suelen pertenecer a mercados maduros, además de responder a su función y de asegurar su calidad, también deben ser fabricados de forma fiable y poco costosa. En estos casos, se establece una tercera clase de prototipos (las preseries) y de pruebas cuyo banco de ensayo es la propia línea de fabricación y que tienen por misión asegurar la fabricabilidad.

Hay diversos aspectos a tener en cuenta en el lanzamiento de las preseries:

a) Inicio de la preserie

Las preseries se orientan a asegurar la fabricabilidad, por lo que todos los aspectos básicos de funcionalidad y de fiabilidad deben de estar ya resueltos.

b) Dimensión de la preserie

Conviene no lanzar preseries de excesivo tamaño, ya que cualquier modificación afecta a un gran número de unidades; pero tampoco deben ser demasiado cortas ya que deben confirmarse tendencias. Una solución es fabricar la preserie de forma secuencial, analizando cada unidad antes de iniciar la siguiente.

c) Homologaciones y variantes

Las preseries son el instrumento ideal para gestionar las homologaciones y evaluar el despliegue de variantes previas a la producción

5.2 COSTOS

Para el proyecto se considera los costos que implican la fabricación de un prototipo ya que para una producción en serie entra en juego ciertas consideraciones que hace de este estudio llegue a ser muy grande. Por lo tanto se presenta los costos de una forma más sencilla.

5.2.1. COSTOS DEL PROYECTO

Si tomamos en cuenta que el prototipo se realizarán pruebas este debe ser seleccionado en base a un lote que se lo determina de acuerdo a la cantidad de piezas necesarias para montar en los vehículos de la ensambladora, en este caso el lote tiene la cantidad de 48 vehículos por lo tanto se necesitan 96 tambores de freno.

Para los costos del proyecto se considera la construcción de las placas modelo y las cajas de moldeo.

Tabla 5.1 Costos del Proyecto

ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Fabricación de Placa Modelo	u	1	250.00	250.00
Cajas de Moldeo	u	15	40.00	600.00
TOTAL				850.00

Teniendo en cuenta las cantidades adquiridas en la Tabla 5. 3, la estimación de costos se la realiza para un lote completo de tambores de freno.

5.2.2. COSTO DE MANO DE OBRA

De acuerdo al ministerio de relaciones laborales, los salarios mínimos sectoriales para el área fundición de metales son de \$354 al mes lo que da un costo por hora \$2,21.

Tabla 5.2 Costo de mano de obra.

ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	TIEMPO EMPLEADO	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Moldeador	hora	1	50	2.21	53.21
Ayudante de Moldeador	hora	1	50	2.21	53.21
Fundidor	hora	1	20	2.21	23.21
Ayudante de Fundidor	hora	1	20	2.21	23.21
Tornero	hora	1	90	2.21	93.21
Operador de Taladro	hora	1	14	2.21	17.21
Total					263.26

Se puede ver que el costo de mano de obra es para la producción de un lote.

5.2.3. COSTO DE MATERIALES DIIRECTOS E INDIRECTOS

En el literal 3.2.2 se calcula la masa del tambor a producirse, por otro lado el sistema de alimentación tiene el 25% de la masa del mismo teniendo así un valor total de 5,75 kg/Tambor.

Para la producción de un lote completo, se tiene una masa total de 552 kg, asumiendo que el rendimiento metálico de un horno induccion en el país en promedio es del 95%, es necesaria una carga de chatarra de 581 kg.

Considerando el porcentaje de ferro-silicio calculado anteriormente, se tiene que la masa requerida del mismo es de 8,71 kg.

Tabla 5.3 Costo de Materiales

ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Chatarra de Hierro	kg	581.00	0.20	116.20
Ferrosilicio	kg	8.71	3.50	30.49
Slag (Escoriente)	kg	5.00	4.00	20.00
Total				166.69

5.2.4. COSTO DE SERVICIOS BÁSICOS

Se considera el costo de energía de las máquinas que se necesitan para la producción de los tambores de freno.

Tabla 5.4 Costo de Servicios Básicos

ITEM	CANTIDAD	POTENCIA	TIEMPO DE TRABAJO	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Mescladora de Arena	1	8 kw	50 horas	0.08 usd/kw	32.00
Horno de Inducción	1	100 Kw	20 horas	0.08 usd/kw	160.00
Torno	1	15 Kw	90 horas	0.08 usd/kw	108.00
Taladro	1	1 kw	12 hora	0.08 usd/kw	0.96
Total					268.96

5.2.5. COSTOS TOTALES

Es la suma del total de los costos descritos anteriormente, teniendo así un valor de \$1936,13 para toda la producción, considerando una utilidad del 25% el costo unitario por tambor de freno es de \$20,17.

Tomando en cuenta la vida útil de la placa modelo, entre 1000 y 1200 moldes, se realiza también una estimación para producir 1000 Tambores de freno, y de esta manera observar la variación de los costos totales.

Tabla 5.7 Variación de costos para diferente producción.

ITEM	COSTO TOTAL LOTE 96 UNIDADES	COSTO TOTAL 1000 UNIDADES
COSTOS DEL PROYECTO	850.00	850.00
COSTO DE MANO DE OBRA	263.26	4701.07
COSTO DE MATERIALES DIERECTOS E INDIRECTOS	166.69	2976.52
COSTO DE SERVICIOS BÁSICOS	268.96	4802.86
SUBTOTAL	1548.91	13330.45
UTILIDAD 25%	387.23	3332.61
Total	1936.13	16663.06
COSTO UNITARIO	20.17	16.66

En la Tabla 5. 7 se puede observar que el valor unitario del Tambor de freno disminuye debido al aumento de su producción. Teniendo así un precio con el que se puede competir con los precios de los tambores de freno importados.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 ANÁLISIS DEL PROTOTIPO OBTENIDO

Si bien se obtuvo el prototipo del tambor de freno faltan de hacer muchas pruebas que indiquen de una forma más acertada la calidad de este, ya que si se controló la calidad en cada procedimiento, existen pruebas que se las realiza luego de la producción del mismo en tal caso hace falta la producción de un lote completo para realizar estas pruebas ya que según la norma la selección del sujeto de prueba se las realiza respecto a un lote completo.

Las características del material tomando en cuenta los ensayos que se muestran a continuación se asemejan a las características mostradas en la norma SAE J431 (Anexo 5) para fundición gris de automotores.

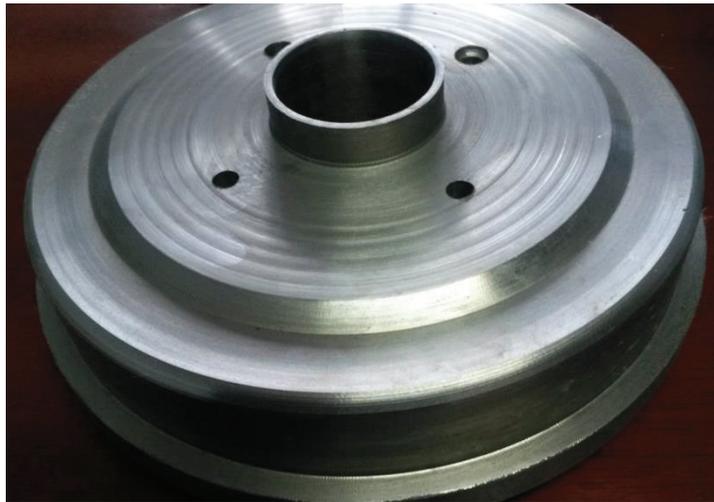


Figura 6.1 Tambor de freno terminado

6.1.1 ENSAYOS REALIZADOS AL MATERIAL OBTENIDO

6.1.1.1 ENSAYO DE TRACCIÓN

Debe estar fabricado con el mismo material que se fabrica los tambores de freno, esto se obtiene colando el material fundido en un molde de arena para probetas ya que la muestra debe ser representativa. Una vez extraído el material se procede al maquinado de la misma para poder realizar el ensayo, esto se lo hace respecto a la norma ASTM A48.

Para el material obtenido de los tambores de freno se tiene una resistencia a la tracción de 34.5 ksi.

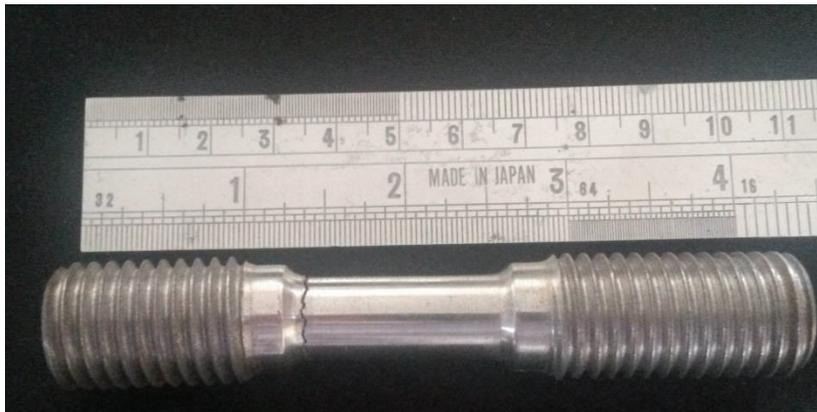


Figura 6.2 Probeta ensayo de tracción

Ensayo de tracción en Anexo 3

6.1.1.2 METALOGRAFÍA

En este caso se usó una muestra del material el cual se lo pulió con el método metalográfico es decir se preparó la probeta para visualizarla en el microscopio.



Figura 6.3 Probeta para ensayo metalográfico

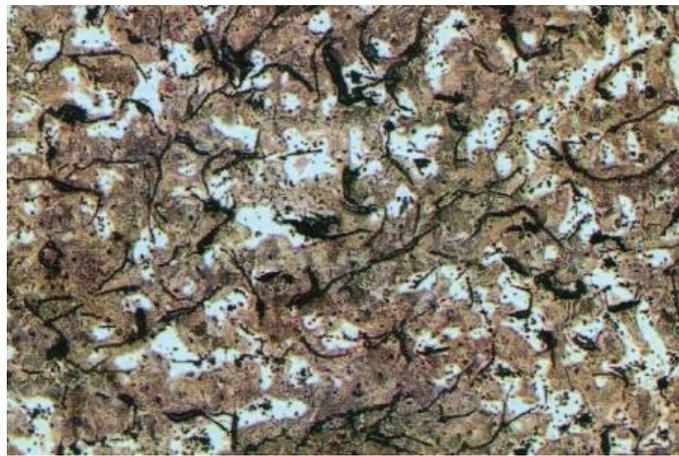


Figura 6.4 Fundición Gris tipo A, tamaño 4, Forma VII

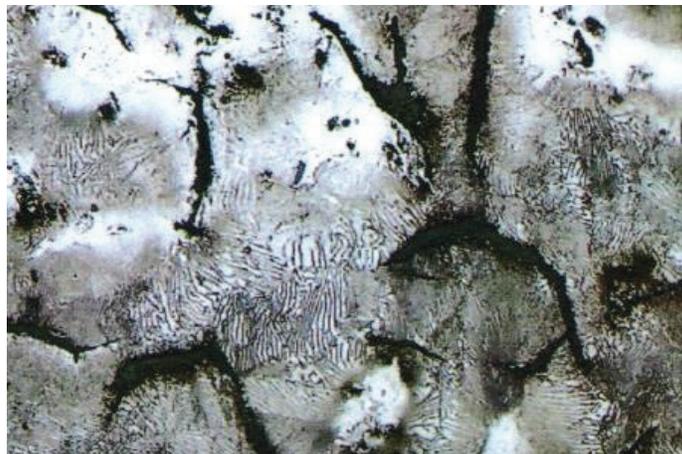


Figura 6.5 Matriz ferrítica perlítica

Metalografía Anexo 4

6.1.1.3 DUREZA

Así como los anteriores ensayos se los realiza a una muestra del material teniendo una dureza promedio de 95 HRB.

Mapeo de durezas Anexo 4

6.2 CONCLUSIONES

- El procedimiento de fabricación del tambor de freno se lo puede integrar de una forma muy satisfactoria aunque cabe mencionar que la automatización de la planta de fundición es fundamental para la producción, ya que esto es lo que reduce muy significativamente los costos de producción.
- Las características del tambor de freno obtenido son comparables con los tambores ya fabricados como son la matriz perlítica, la resistencia a la tracción de 34,5 Ksi y la dureza de 95 HRB. Pero cabe mencionar que en este proyecto no se logró hacer ciertas pruebas por el costo que estas significan.
- El cálculo y diseño de los sistemas de alimentación garantizan que la pieza no muestren defectos como por ejemplo rechupes.
- El moldeo con placas modelo aumenta la eficiencia del proceso de fabricación reduciendo el tiempo de producción de un molde, así como mejorar la calidad del mismo.
- Los controles de calidad realizados durante el proceso de producción de la pieza son de suma importancia ya que la misma está directamente relacionada con el buen funcionamiento del vehículo cumpliendo con normas internacionales, de no cumplir estos estándares internacionales se puede llegar a poner en riesgo la vida de los usuarios.

6.3 RECOMENDACIONES

- Si ya se tiene una producción en serie se recomienda que los modelos de fundición se lo fabrique enteramente de aluminio maquinado en un centro de mecanizado CNC, ya que para producciones en serie se toma en la pieza no debe tener una sobre medida de maquinado muy exagerada y esto se consigue con la precisión de los modelos de fundición. Con un sobre espesor de maquinado más exacto se reduciría los tiempos en el proceso de torneado aumentando la productividad.
- El control de arena de moldeo es fundamental para el proceso ya que son variables que pueden influir en la integridad de la pieza.
- El pintado de los moldes es importante ya que al momento de colar el hierro fundido ayuda a que la arena de fundición no se pegue a la superficie de la pieza.
- Con el fin de evitar porosidades no deseadas por presencia de gases en el molde por el vapor de agua contenida en los mismos, el secado debe garantizar la mínima presencia de humedad evitando así la existencia de poros.
- Con el fin de que se tenga una producción normalizada es necesario la definición de un procedimiento que partirá desde el control de materias primas, controles de calidad en la diferentes etapas del proceso como son humedad del molde, propiedades de la arena de moldeo tiempo y temperatura de fusión, etc.
- El moldeo es una etapa de mucha importancia en el proceso de fabricación de los tambores de freno. Por lo tanto se recomienda el uso de placas modelo maquinada en aluminio y el uso de máquinas moldeadoras. Para garantizar la precisión el maquinado de las palcas modelo se recomienda hacerlo en un centro de mecanizado CNC.

BIBLIOGRAFÍA

- ERICH J, SCHULZ; Equipo Diésel; Mc Graw Hill; México; 1992.
- REMLING JOHN; Frenos; Limusa; México; 1991
- APRAIZ J; Tratamientos térmicos de los aceros; Editorial Dossat; Madrid; 1984.
- NTE INEN 2481; Fundiciones de hierro gris; 2009
- CAPELLO, E; Tecnología de la Fundición; Editorial G. Gili; 1971.
- GOYOS L; Tecnología de la Fundición II; Editorial ISPJAE; La Habana; 1994.
- RIBA Carles; Diseño concurrente; 2002.
- TITOV N; Tecnología del proceso de Fundición; Editorial Mir; Moscú; 1981.
- SYDNEY H; Introducción a la metalurgia física; Mc Graw Hill; México; 1988.
- DESLANDES F; Modelos y moldes para fundición; Unión Tipográfica; México; 1966.
- SALUEÑA X; Tecnología mecánica; Ediciones UPC; 2000.
- BROWN J; Foseco Ferrous Foundryman's Handbook; Butterworth Heinemann; Boston; 1981.
- NAVARRO J; Fundición de hierro, fundición gris de alto valor; Dossat; Madrid; 1947.
- ABRIL L; Metalurgia técnica y fundición; Alsina; Argentina; 1956.

Internet:

- <http://www.frro.utn.edu.ar>
- <http://www.educa.madrid.org>
- http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_43_187_9_279.pdf

ANEXOS

ANEXO 1. PLANOS DEL TAMBOR DE FRENO

A 1.1. PLANO DEL TAMBOR

A 1.2. PLANO DEL MODELO DE FUNDICIÓN

ANEXO 2. INSTRUCTIVO ELABORACIÓN DE MOLDE PARA TAMBOR DE FRENO

ANEXO 3. ENSAYO DE TRACCIÓN

ANEXO 4. METALOGRAFÍA Y MAPEO DE DUREZAS

ANEXO 5. NORMA SAE J431

ANEXO 6. NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2481:2009

ANEXO 1. PLANOS DEL TAMBOR DE FRENO

A 1.1. PLANO DEL TAMBOR

A 1.2. PLANO DEL MODELO DE FUNDICIÓN

ANEXO 2. INSTRUCTIVO ELABORACIÓN DE MOLDE PARA TAMBOR DE FRENO

ANEXO 3. ENSAYO DE TRACCIÓN

ANEXO 4. METALOGRAFÍA Y MAPEO DE DUREZAS

ANEXO 5. NORMA SAE J431

ANEXO 6. NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2481:2009