



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA
Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

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

“DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN
DEL HIERRO DÚCTIL A TRAVÉS DEL HORNO DE CUBILOTE
ARTESANAL SEGÚN LOS REQUERIMIENTOS DE LA NORMA
NTE INEN 2 499:2009”

AUTOR: MARIO ANTONIO PROAÑO GUEVARA

SANGOLQUÍ – ECUADOR

2014

CERTIFICACIÓN

En nuestra calidad de Director y Codirector, certificamos que el señor Mario Antonio Proaño Guevara ha desarrollado el proyecto de grado titulado “DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE HIERRO DÚCTIL A TRAVÉS DEL HORNO DE CUBILOTE SEGÚN LOS REQUERIMIENTOS DE LA NORMA NTE INEN 2 499:2009”, bajo nuestra dirección.

Sangolquí, 17 de febrero de 2014.

Ing. Patricio Quezada
DIRECTOR

Ing. Hernán Ojeda
CODIRECTOR

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Declaro que el proyecto de grado titulado “DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE HIERRO DÚCTIL A TRAVÉS DEL HORNO DE CUBILOTE SEGÚN LOS REQUERIMIENTOS DE LA NORMA NTE INEN 2 499:2009”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan en las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este proyecto es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico de este proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 17 de febrero de 2014.

Sr. Mario Antonio Proaño Guevara

AUTORIZACIÓN

Yo, Mario Antonio Proaño Guevara, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, la publicación en la biblioteca virtual de la Institución el proyecto de grado titulado “DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE HIERRO DÚCTIL A TRAVÉS DEL HORNO DE CUBILOTE SEGÚN LOS REQUERIMIENTOS DE LA NORMA NTE INEN 2 499:2009”, cuyo contenido es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 17 de febrero de 2014.

Sr. Mario Antonio Proaño Guevara

DEDICATORIA

Dedico el esfuerzo depositado en la realización del presente trabajo a mis padres y hermanos por ser un pilar importante en el cumplimiento de mis metas.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por las bendiciones recibidas. A mi madre ejemplo de lucha y perseverancia, a mi padre por ser mi guía y mi soporte, a mis hermanos por ser parte de momentos importantes en mi vida.

Al Ing. Patricio Quezada por su apoyo y tutoría en la realización de este trabajo igualmente al Ing. Hernán Ojeda por su guía durante la elaboración de la presente tesis.

Agradezco a todas las personas involucradas directa o indirectamente en la búsqueda e investigación de este proyecto para lograr el objetivo alcanzado.

INDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN.....	I
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	II
AUTORIZACIÓN.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTOS.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XV
LISTA DE ANEXOS.....	XVII
RESUMEN.....	XVIII
ABSTRACT.....	XIX
CAPITULO I.....	1
GENERALIDADES.....	1
1.1 DESCRIPCION DEL TAMBOR DE FRENO.....	1
1.1.1 DESCRIPCION DEL SISTEMA DE FRENADO DEL AUTOMOVIL.....	1
1.2 TAMBOR DE FRENO.....	2
1.2.1 CLASIFICACION POR TIPO.....	2
1.3 FUNDICIONES OBTENIDAS EN EL CUBILOTE.....	5
1.3.1 INTRODUCCION A LOS HIERROS FUNDIDOS.....	6
1.3.2 PRINCIPALES PROPIEDADES DE LAS FUNDICIONES.....	8
1.3.3 TIPOS DE HIERROS FUNDIDOS.....	9
1.3.3.1 FUNDICION GRIS.....	10
1.3.3.2 FUNDICION BLANCA.....	11
1.3.3.3 FUNDICION MALEABLE.....	12
1.3.3.4 FUNDICION ATRUCHADA.....	13
1.3.3.5 FUNDICIONES ESPECIALES.....	14
1.3.3.6 FUNDICIONES GRISES ACICULARES.....	15

1.3.3.7 FUNDICIONES INOCULADAS.....	15
1.3.3.8 FUNDICION NODULAR.....	15
1.4 PROCEDIMIENTO DE OBTENCION DE HIERRO NODULAR.....	16
1.4.1 COMPOSICION DEL HIERRO BASE.....	17
1.4.2 INTRODUCCION DEL NODULIZANTE DE MAGNESIO AL HIERRO COLADO.....	18
1.4.3 ALEACIONES DE MAGNESIO.....	19
1.4.4 CANTIDAD DE MAGNESIO NECESARIA.....	22
1.4.5 TRATAMIENTO DE INOCULACION.....	23
1.4.6 INFLUENCIA DE OTROS ELEMENTOS.....	23
1.4.7 HIERRO FUNDIDO EN EL CUBILOTE.....	24
1.4.8 CONTRACCION LIQUIDA DE LOS HIERROS COLADOS NODULARES.....	24
1.5 ENSAYOS DE IDENTIFICACION.....	25
1.6 PROPIEDADES.....	26
1.7 PRODUCCION DE FUNDICION NODULAR.....	27
1.8 PROPIEDADES MECANICAS Y TECNOLOGICAS.....	28
1.9 APLICACIONES.....	29
CAPITULO II.....	32
HORNO DE CUBILOTE.....	32
2.1 RESEÑA HISTORICA DEL CUBILOTE.....	32
2.2 DESCRIPCION DEL CUBILOTE.....	33
2.3 DIMENSIONAMIENTO DEL CUBILOTE.....	35
2.4 PEDACERIA PARA LAS MEZCLAS DEL CUBILOTE.....	37
2.4.1 RAZONES PARA EL EMPLEO DE PEDACERIA.....	39
2.4.2 COMO SELECCIONAR LA PEDACERIA PARA SU USO EN EL CUBILOTE....	40
2.4.3 MUESTREO PARA ANALISIS QUIMICO.....	41
2.5 COMBUSTIBLES PARA EL CUBILOTE.....	42
2.5.1 COQUE PARA FUNDICION.....	43
2.6 FUNDENTES EMPLEADOS EN EL CUBILOTE.....	48
2.6.1 PIEDRA CALIZA.....	48

2.6.2 DOLOMITA.....	49
2.6.3 ACCION DE LA CALIZA Y LA DOLOMITA.....	49
2.7 REGIMEN DE DESCOMPOSICION.....	49
2.8 COMPORTAMIENTO DE LOS FUNDENTES EN EL CUBILOTE.....	49
CAPITULO III.....	52
CONTROL METALURGICO EN EL CUBILOTE.....	52
3.1 QUIMICA DE LA FUNDICION EN EL CUBILOTE.....	52
3.1.1 COMPOSICION DEL HIERRO FUNDIDO.....	52
3.1.2 LINGOTE DE HIERRO FUNDIDO.....	68
3.2 FUNCIONAMIENTO DEL CUBILOTE.....	69
3.2.1 CONTROL QUIMICO EN EL CUBILOTE.....	70
3.3 CLASIFICACION DEL LINGOTE DE ARABIO.....	72
3.3.1 GRADOS ESPECIALES.....	73
3.4 ALEACIONES EMPLEADAS EN LA FUSION EN EL CUBILOTE.....	73
3.4.1 ALEACIONES PARA FUSION EN EL CUBILOTE.....	73
3.4.2 ALEACIONES PARA ADICION EN LA CUCHARA.....	74
3.4.3 ALEACIONES EN EL CUBILOTE.....	76
3.4.4 AGREGADO DE ALEACIONES EN LA CUCHARA.....	76
3.5 PRINCIPIOS DE FLUIDIFICACION Y CONTROL DE ESCORIA.....	78
3.5.1 COMPOSICION DE LA ESCORIA.....	78
3.5.2 DISTINCION DE LA ESCORIA ACIDA Y BASICA.....	80
3.6 CARACTERISTICAS DE LOS EQUIPOS DISPONIBLES.....	81
3.6.1 CUBILOTE.....	81
3.6.2 MATERIAL DE CARGA.....	83
3.6.3 MATERIALES Y EQUIPO EN EL MOLDEO.....	84
3.6.4 MATERIALES Y EQUIPO PARA LA FUSION.....	84
3.6.5 MATERIALES Y EQUIPO PARA TRATAMIENTOS QUIMICOS Y COLADO...84	84
3.6.6 MATERIALES Y EQUIPOS PARA DESMOLDEO Y MAQUINADO DE PROBETAS....85	85
3.6.7 EQUIPOS PARA ENSAYOS.....	85
3.7 PROCESO DE OBTENCION DE LA FUNDICION NODULAR.....	85

	IX
3.7.1 FUSION.....	85
3.7.2 NODULIZACION E INOCULACION.....	86
3.7.3 COLADO.....	89
CAPITULO IV.....	91
FABRICACION DEL TAMBOR DE FRENO EN FUNDICION NODULAR..	91
4.1 REACCIONES QUIMICAS.....	91
4.1.1 REACCIONES QUIMICAS DURANTE LA COMBUSTION.....	91
4.2 ZONAS DEL CUBILOTE.....	92
4.3 FACTORES FISICOS QUE INFLUENCIAN EN LAS ZONAS DEL CUBILOTE....	93
4.4 INFLUENCIA DE LAS ZONAS SOBRE EL METAL FUNDIDO.....	95
4.4.1 SOBRECALENTAMIENTO.....	95
4.4.2 PERDIDAS DE METAL.....	96
4.5 PROCESO DE FUSION EN EL CUBILOTE.....	96
4.6 GRAFICO DE OPERACIÓN DEL CUBILOTE.....	97
4.7 CALCULO DEL REQUERIMIENTO DE AIRE.....	99
4.8 INFLUENCIA DEL AZUFRE DURANTE LA FUSION DEL METAL.....	100
4.9 FORMULA DE CALCULO REQUERIMIENTO DE AIRE EN CONDICIONES NORMALES.....	100
4.10 CONTROL DE LA COMBUSTION.....	100
4.11 DESULFURACION.....	101
4.12 NODULIZACION.....	102
4.13 INOCULACION.....	105
4.13.1 COMPOSICION DE LAS ALEACIONES INOCULANTES (Fe-Si).....	106
4.14 COLADO.....	106
CAPITULO V.....	108
PRUEBAS DE CALIDAD EN LA FUNDICION NODULAR.....	108
5.1 MAQUINADO DEL TAMBOR DE FRENO.....	108
5.2 PREPARACION DE LAS PROBETAS.....	108
5.3 ENSAYOS DE TRACCION EN EL LABORATORIO.....	112

5.4 METALOGRAFIA.....	115
5.4.1 DESBASTE GRUESO.....	116
5.4.2 DESBASTE FINO.....	117
5.4.3 PULIDO GRUESO.....	118
5.4.4 PULIDO FINO.....	118
5.4.5 ATAQUE QUIMICO.....	119
5.4.6 MICROSCOPIO.....	119
5.5 ANALISIS DE RESULTADOS.....	121
5.5.1 ANALISIS DE LA FUNDICION NODULAR OBTENIDA MEDIANTE CUBILOTE.....	121
5.6 REQUERIMIENTOS GENERALES Y ESPECIFICOS SEGÚN NORMA INEN.....	122
5.7 COMPARACION DE RESULTADOS CON LA NORMA NTE INEN 2499:2009...	126
5.8 ANALISIS METALOGRAFICO.....	128
CAPITULO VI.....	130
ANALISIS ECONOMICO FINANCIERO.....	130
6.1 INVERSION TOTAL.....	130
6.2 ACTIVOS FIJOS Y CAPITAL DE TRABAJO.....	130
6.2.1 ACTIVOS FIJOS.....	130
6.2.1.1 MAQUINARIA Y EQUIPOS.....	131
6.2.1.2 OTROS ACTIVOS.....	132
6.2.2 CAPITAL DE TRABAJO.....	132
6.2.2.1 MATERIA PRIMA.....	133
6.2.2.2 MATERIALES DIRECTOS.....	133
6.2.2.3 MANO DE OBRE DIRECTA.....	134
6.2.2.4 MANO DE OBRA INDIRECTA.....	136
6.2.2.5 COSTOS ADMINISTRATIVOS.....	136
6.2.2.6 SUMINISTROS.....	138
6.2.2.7 MANTENIMIENTO Y REPARACIONES.....	138
6.2.2.8 SEGUROS.....	139
6.3 FLUJO DE CAJA.....	139
6.4 RENTABILIDAD.....	140

CAPITULO VII.....142

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....142

7.1 CONCLUSIONES.....142

7.2 RECOMENDACIONES.....144

BIBLIOGRAFIA.....145

GLOSARIO.....147

ANEXOS.....148

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Freno de tambor Sistema Simplex	3
Figura 2 Freno de tambor Sistema Twinplex.....	4
Figura 3 Freno de tambor Sistema Servo.....	5
Figura 4 Freno de tambor Sistema Duo-Servo.....	5
Figura 5 Diagrama de equilibrio binario hierro – carbono.....	8
Figura 6 Fundición gris.....	10
Figura 7 - Fundición blanca (x100).....	12
Figura 8 Fundición maleable ferrítica (x200)	13
Figura 9 Fundición atruchada (x50).....	13
Figura 10 Fundición nodular reconocida con una matriz ferrítica (x250).....	15
Figura 11 Diagrama esquemático del tratamiento de la fundición nodular.....	16
Figura 12 Violencia de la Reacción durante la Nodulización del Hierro Colado.....	19
Figura 13 Nodulizante Ferrosilicio.....	22
Figura 14 Fotografía de Microestructura Fundición Nodular y Fundición Gris.....	26
Figura 15 Fundición según jeroglíficos egipcios.....	32
Figura 16 Fundición con fuelle en la antigua China (770 al 446 A.C.).....	33
Figura 17 Cubilote de carga 150 Kg.....	34
Figura 18 Diagrama de Cubilote.....	51
Figura 19 Propiedades de los hierros vs. Contenido de carbono.....	54
Figura 20 Influencia de los elementos de aleación en la dureza.....	57
Figura 21 Influencia del manganeso en la resistencia.....	57
Figura 22 Factores de templabilidad.....	59
Figura 23 Cubilote Fundiciones Bonilla.....	82
Figura 24 Micro estructura de fundición nodular.....	86

Figura 25 Colado de fundición.....	89
Figura 26 Molde de arena para fundición.....	90
Figura 27 Fusión y carga de metal líquido.....	90
Figura 28 Nodulización del metal líquido.....	90
Figura 29 Zonas del Cubilote.....	92
Figura 30 Esquema del soplado del aire en el cubilote.....	94
Figura 31 Esquema del ingreso del aire soplado a través de las toberas en el cubilote.....	95
Figura 32 Grafico ilustrativo de las condiciones físicas óptimas de operación del cubilote.....	98
Figura 33 Colado a molde.....	106
Figura 34 Temperatura del metal fundido medido con pirómetro.....	107
Figura 35 Torno para maquinado del tambor de freno.....	108
Figura 36 Vistas para el bloque Y.....	109
Figura 37 Dimensionamiento de la probeta para ensayo de tracción.....	111
Figura 38 Dimensionamiento de probetas proporcionales para ensayo de.....	111
Figura 39 Verificación de dimensiones según norma ecuatoriana.....	113
Figura 40 Realización del ensayo de tracción.....	113
Figura 41 Medición de la deformación en las probetas posterior al ensayo de tracción....	114
Figura 42 Equipo microscopio óptico y computadora en Laboratorio de Metalografía....	116
Figura 43 Equipo para realizar operaciones de desbaste – DECEM ESPE.....	117
Figura 44 Equipo para realizar operaciones de desbaste – DECEM ESPE.....	117
Figura 45 Equipo para realizar pulido – DECEM ESPE.....	118
Figura 46 Operación de pulido – DECEM ESPE.....	118
Figura 47 Inmersión en el reactivo con Nital al 3%.....	119
Figura 48 Observación micro estructura mediante microscopio.....	120
Figura 49 Microestructura de la fundición observada mediante microscopio.....	120
Figura 50 Microestructura de la fundición observada mediante microscopio.....	128

Figura 51 Microestructura de la fundición observada mediante microscopio 400x.....129

Figura 52 Microscopio para verificación de metalografía.....129

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Composición General de un Hierro Base.....	18
Tabla 2 Composición general de varios tipos de nodulizante.....	19
Tabla 3 Composición típica nodulizante.....	20
Tabla 4 Inhibidores para la formación de Grafito Esferoidal.....	21
Tabla 5 Recuperación de Magnesio por nodulización.....	22
Tabla 6 Propiedades mecánicas de aleaciones de hierro nodular.....	30
Tabla 7 Clasificación según el contenido de manganeso.....	58
Tabla 8 Clasificación según el contenido de manganeso.....	60
Tabla 9 Clasificación según el contenido de manganeso.....	61
Tabla 10 Contenido de cromo por tipo de acero.....	62
Tabla 11 Contenido de níquel por tipo de acero.....	63
Tabla 12 Contenido de Molibdeno por tipo de acero.....	64
Tabla 13 Lingotes de arabio.....	72
Tabla 14 Grados del Ferrosilicio.....	77
Tabla 15 Características del Cubilote Fundiciones Bonilla.....	82
Tabla 16 Composición química del desulfurante.....	102
Tabla 17 Dimensiones recomendadas según el espesor de la pieza.....	109
Tabla 18 Composición química recomendada según norma.....	112
Tabla 19 Resultados de probetas que cumplieron requerimientos.....	122
Tabla 20 Tipos de Fundición Nodular.....	123
Tabla 21 Tipos de Fundición Nodular.....	124
Tabla 22 Composición química recomendada según norma NTE INEN 2499:2009.....	125
Tabla 23 Inversión para elaborar el proyecto.....	130
Tabla 24 Inversión fija tangible.....	130
Tabla 25 Descripción de maquinaria y equipos.....	131

Tabla 26 Descripción de otros activos.....	132
Tabla 27 Descripción del capital de trabajo.....	132
Tabla 28 Descripción de la materia prima.....	133
Tabla 29 Descripción de los materiales directos.....	134
Tabla 30 Costo mano de obra directa para la operación del proyecto.....	135
Tabla 31 Costo mano de obra indirecta para la operación del proyecto.....	136
Tabla 32 Costo del personal administrativo para la operación del proyecto.....	137
Tabla 33 Costo del personal administrativo para la operación del proyecto.....	138
Tabla 34 Costo del personal administrativo para la operación del proyecto.....	138
Tabla 35 Costo del mantenimiento.....	138
Tabla 36 Costo de los seguros.....	139
Tabla 37 Costo de producción.....	139
Tabla 38 Proyección de ingresos por ventas.....	140
Tabla 39 Flujo de caja neto.....	140

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO A:** Plano de Tambor de Freno.
- ANEXO B:** Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 499:2009
- ANEXO C:** Material didáctico: “Propiedades Mecánicas: Esfuerzo – Deformación Unitaria”.
- ANEXO C:** Guía de Tambor de Freno – Tipos de Frenos de Tambor.

RESUMEN

El presente proyecto da el procedimiento para la optimización del proceso de fusión del hierro en el horno de cubilote con el objetivo de obtener un metal fundido de buenas características para la nodulización, posteriormente este material es sometido a las exigencias de la norma ecuatoriana INEN NTE 2499:2009, siendo tales exigencias cumplidas como lo demuestran los resultados; obteniéndose un material bajo los estándares normalizados que dan como resultados un material de buenas características mecánicas, químicas y metalográficas.

Palabras claves:

- Fusión
- Hierro
- Cubilote
- Metal
- Nodulización

ABSTRACT

This project gives the procedure for optimizing the process of melting iron in the cupola furnace in order to obtain a molten metal of good features for nodulization, then this material is subjected to the demands of the Ecuadorian standard INEN NTE 2499 : 2009, such requirements being met as evidenced by the results; obtaining a standard material under standard giving as result a material with good mechanical, chemical and metallographic characteristics.

Keywords:

- Merger
- Iron
- Cupola
- Metal
- Nodulization

CAPITULO I – GENERALIDADES

1.1 DESCRIPCIÓN DEL TAMBOR DE FRENO

1.1.1 DESCRIPCIÓN SISTEMA DE FRENADO DEL AUTOMÓVIL

En este sistema, la función del mando de los frenos será separar las zapatas y poner en contactos las guarniciones con el tambor. Mientras tanto la recuperación es efectuada por un muelle.

El tambor tiende a arrastrar las zapatas cuando está en movimiento. Por esto la zapata primaria va a sostenerse sobre su articulación de modo que aumentará el rozamiento y por tanto la frenada.

Mientras tanto la zapata secundaria tendrá tendencia a ejercer menos presión sobre el tambor ya que la guarnición secundaria es más corta.

Este sistema sufre ciertos inconvenientes como puede ser desgastes desiguales, esfuerzos desproporcionados, aumentos de recorrido para el sistema de mando, entre otros. Para esto se ha utilizado diferentes maneras para los montajes de freno de tambor.

Actualmente los sistemas de freno de tambor son equipados de aproximación automática. Entre estos se distinguen los sistemas Girling y Bendix.

- **El sistema Girling.**

Este sistema consta de una biela de longitud variable mediante una rueda moleteada, un empujador fileteado y un vástago. Su modo de funcionamiento al frenar, las zapatas se separan y liberan así la bieleta. La palanca pivota sobre su eje bajo la acción del muelle y hace girar la rueda del empujador con el diente.

- **El sistema Bendix.**

Este sistema está compuesto por la palanca, articulado sobre la zapata primaria en su parte superior y dentado en su parte inferior. Un gallito dentado que se engrana bajo la acción de un muelle sobre la palanca de reajuste. Una bieleta fijada en la zapata secundaria por un muelle y que engrana con la palanca a través de la ventanilla.

En cuanto a su funcionamiento, al frenar, las zapatas se separan, la zapata secundaria mueve la bieleta y mueve también al levier. La palanca se desplaza y pasa un número de dientes sobre el gatillo correspondientes al juego a aproximar.

Al desfrenar, la palanca no puede regresar por el gatillo dentado. El muelle hace que las zapatas hagan contacto sobre la bieleta por acción de la palanca y de la palanca del freno de mano. El juego determina entonces el juego ideal entre zapatas y tambor.

1.2 TAMBOR DE FRENO.

Los frenos de tambor pueden clasificarse de la siguiente manera:

1.2.1 CLASIFICACIÓN POR TIPO

Según su tipo los frenos de tambor pueden clasificarse con sistemas simplex, dúplex, twinplex y duo-servo.

La característica del *sistema simplex* es que las zapatas disponen de un punto de apoyo fijo sobre el que pivotan al ser accionadas. Generalmente, este sistema tiene un bombín de freno de doble efecto. Cuando se acciona el pedal de freno, la zapata primaria y secundaria se ponen en contacto con el tambor de freno. La particularidad de este sistema es que la zapata de freno primaria, debido a su montaje, se apoya en

el tambor en contra del giro del mismo obteniendo así una presión ejercida superior sobre la superficie de frenado del tambor. Por el contrario, la zapata secundaria se apoya en el tambor en el sentido de giro del mismo, lo que hace que la zapata tienda a salir rechazada, traduciéndose en una menor presión ejercida sobre el tambor, respecto a la zapata primaria.

El inconveniente de este sistema es que debido a que la presión ejercida por las zapatas no es homogénea en toda la superficie de frenado del tambor, la frenada obtenida no es muy eficaz.

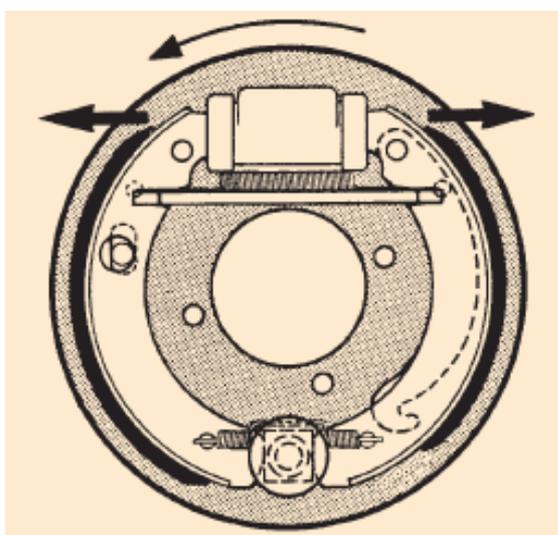


Figura 1 Freno de tambor Sistema Simplex

Fuente: (Batista)

Por otra parte el *sistema dúplex* se caracteriza porque las zapatas están montadas en serie, en forma de que ambas zapatas son primarias. Siguen teniendo un punto de apoyo sobre el que pivotan al ser accionadas, pero disponen de dos bombines de freno simples, de forma que el bombín de freno de una zapata sirve de punto de apoyo para la otra. Con esto se consigue que las dos zapatas sean primarias, es decir, que ambas zapatas apoyen contra el tambor de freno en contra de su giro. Obteniendo una frenada más eficaz, ya que la presión ejercida por las mismas es más uniforme en toda la zona de frenado del tambor que en el sistema simplex.

En el *sistema twinplex*, los puntos de apoyo de las zapatas en lugar de ir montados fijos van montados en posición flotante. Con este montaje de las zapatas se obtiene un mejor reparto de la presión ejercida sobre el tambor de freno, debido a que el efecto cuna que sufre las zapatas queda paliado.

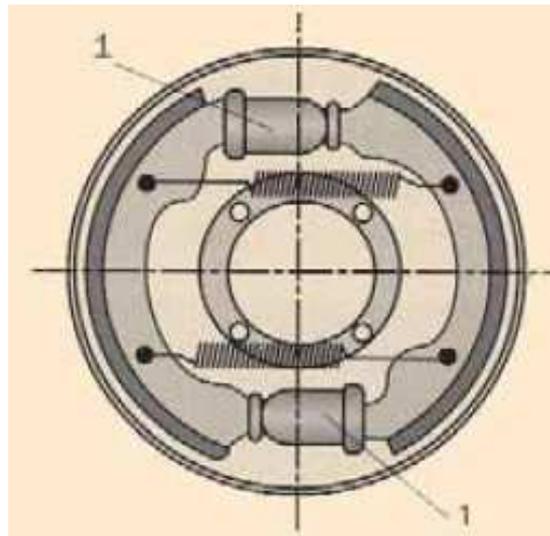


Figura 2 Freno de tambor Sistema Twinplex

Fuente: (Batista)

Por otra parte, el *sistema duo-servo* se caracteriza porque el punto de apoyo consiste en una biela de acoplamiento. Las dos zapatas son también primarias. Al accionar las zapatas de freno, pivotan sobre su apoyo a la vez que empujan, mediante la biela de acoplamiento, a la otra zapata. Con este sistema se consigue un reparto de la presión de frenado más uniforme por toda la superficie de frenado del tambor y del forro de la zapatas. Son muy sensibles a las variaciones de coeficiente de fricción que puedan sufrir los forros de las mismas.

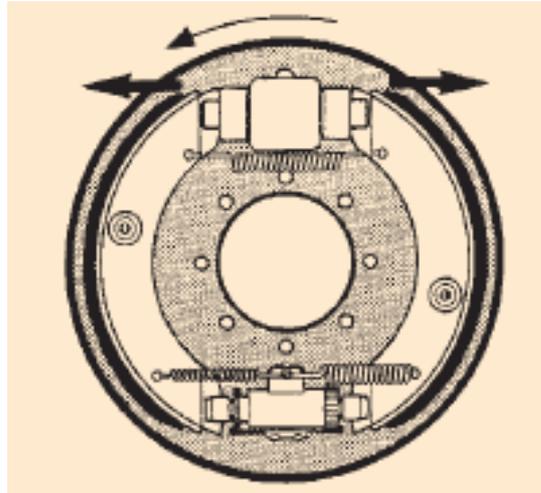


Figura 3 Freno de tambor Sistema Servo

Fuente: (Batista)

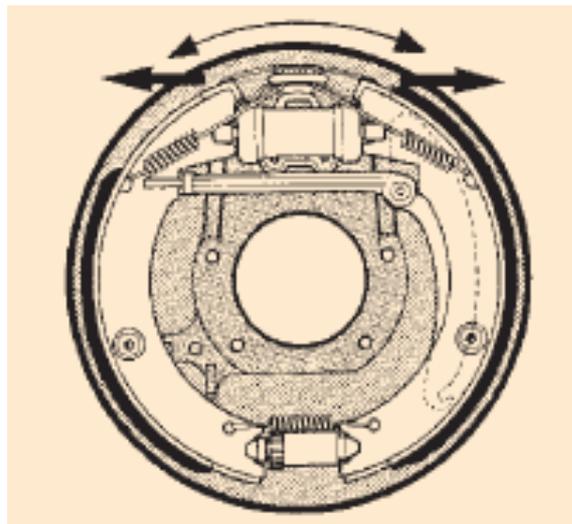


Figura 4 Freno de tambor Sistema Duo-Servo

Fuente: (Batista)

1.3 FUNDICIONES OBTENIDAS EN EL CUBILOTE

Para explicar de mejor manera lo que es la fundición nodular es necesario tener un criterio general sobre los hierros fundidos.

1.3.1 INTRODUCCIÓN A LOS HIERROS FUNDIDOS.

El ser humano a lo largo de la historia permaneció en continua búsqueda de mejores materiales que le permitieran fabricar herramientas y armas para poder sobrevivir en las difíciles condiciones de la naturaleza.

Desde la prehistoria el hombre utilizaba la piedra pulimentada para fabricar los utensilios necesarios para realizar sus labores cotidianas en la agricultura y ganadería. Más adelante, los antiguos comenzaron a utilizar tecnologías de fuego para malear metales dando paso al nacimiento de la metalurgia.

Existen piezas metálicas desarrolladas hace más de 10.000 años, esto hace suponer que el hombre emprendió la técnica de forja y fusión de metales en hornos rudimentarios alcanzando altas temperaturas y usando como combustible el carbón de leña. Los vestigios de poblaciones egipcias, sirias, hebreas, europeas, etc. presentan aleaciones de varios metales como cobre, estaño, arsénico, oro, plata, entre otros.

El dominio de los metales ha permitido el impulso de nuevas y mejores técnicas para la producción de maquinaria, accesorios, piezas, partes, etc. para el desarrollo industrial; el avance en el conocimiento de elementos químicos y nuevos procedimientos para fabricar moldes, y ha permitido que hoy en día la utilización de los metales sea considerada la base primordial para el desarrollo.

La técnica de fundición de metales en el Ecuador llegó y se desarrolló con la venida de los europeos. En el siglo XIX comenzaron a aparecer acerías, las cuales se dedicaban a producir trapiches, despulpadoras, pulverizadores, prensas, etc. para poder desarrollar todo tipo de industrias a una escala más alta. Secuencialmente se fue desarrollando esta industria mientras la ciencia y la tecnología iban avanzando. No obstante, en nuestro país, existe palpante el reto de llegar a tener mejores maquinarias y procesos para poder competir con industrias del más alto nivel de la región.

La mayoría de talleres de fundición en el Ecuador no emplean técnicas modernas (existiendo sus excepciones) debido a las pequeñas series que deben producir; uno de

sus mayores retos es ofrecer productos con alta tecnología y cumpliendo estándares de calidad para poder conquistar, además, el mercado internacional.

Por tanto, las posibilidades de desarrollo de la fundición son amplias y su efecto sobre el resto de la industria es de gran importancia, siempre y cuando se piense en un desarrollo industrial sostenible y de largo impacto para el futuro.

Se entiende por fundición a la fabricación de piezas, generalmente metálicas, que consiste en fundir el material (cambiar de estado sólido a líquido por acción del calor) e introducirlo a moldes donde se solidificara y tomara una forma definida.

Las fundiciones son aleaciones de hierro, carbono, contienen también manganeso, fósforo, azufre, entre otros elementos químicos. Las fundiciones contiene mayormente carbono que los aceros (2 a 4.5%) y adquieren su forma definitiva directamente por colada. Para obtener piezas de fundición se utiliza como materia prima por lo general arrabio o lingote de hierro, chatarras de fundición y chatarras de acero.

En tanto, en los procesos de fabricación se suelen hacer adiciones de ferrosilicio y ferromanganeso, y en ocasiones especiales, se añaden también ferrocromo, níquel, etc., para obtener en cada caso la composición deseada.

Teóricamente, las fundiciones pueden contener elementos de acuerdo con el diagrama hierro-carbono (Figura No. 1.5):

- Del 2 al 6.67% de carbono.
- Del 0.5 al 3.5% de silicio.
- Del 0.4 al 2% de manganeso.
- Del 0.01 al 0.20% de azufre.
- Del 0.040 al 0.80% de fosforo.

Para conseguir ciertas características especiales, se fabrican fundiciones aleadas que, además de los elementos citados, contienen también porcentajes variables de cobre, níquel, cromo, molibdeno, etc.

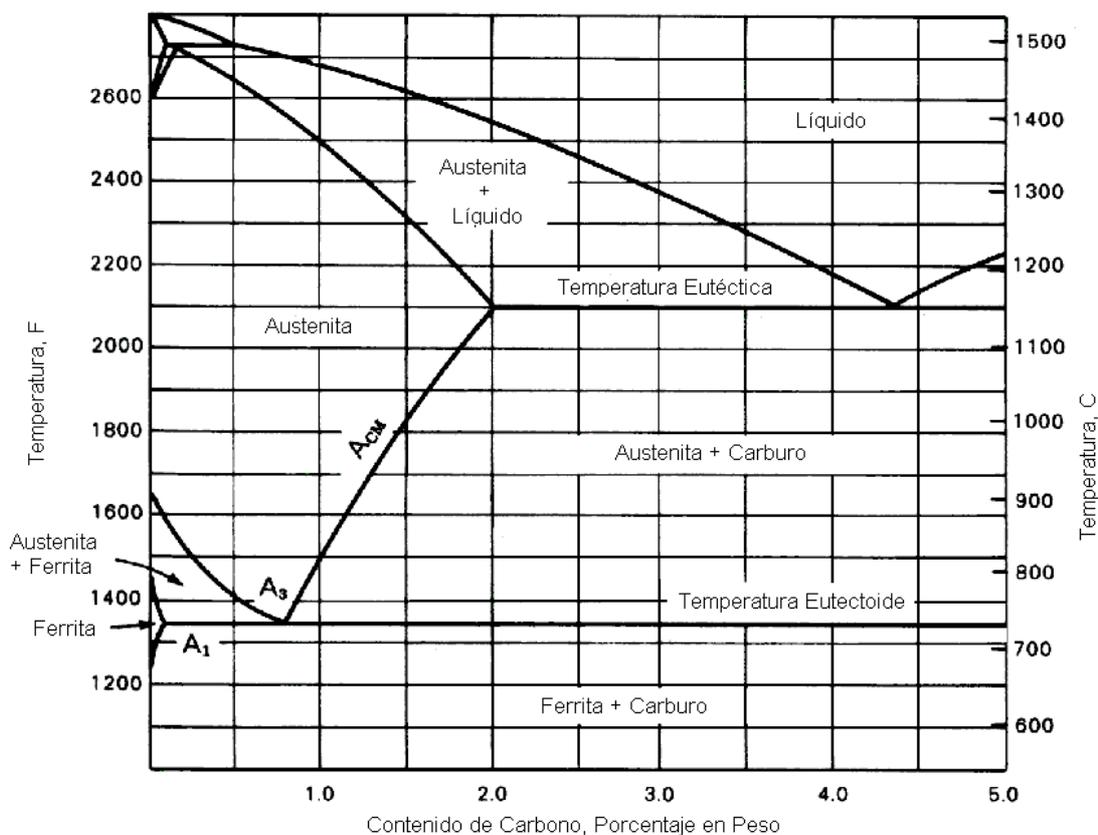


Figura 5 Diagrama de equilibrio binario hierro – carbono.

Fuente: (Capello, 1966)

En donde:

La temperatura eutéctica y eutécticoide (Fe-Fe₃C) es de 1148 y 727°C.

La temperatura eutéctica y eutécticoide (Fe-C) es de 1154 y 738°C.

1.3.2 PRINCIPALES PROPIEDADES DE LAS FUNDICIONES.

Las fundiciones aportan al desarrollo industrial por la diversidad de productos que se pueden desarrollar; las propiedades son las siguientes:

- Permiten desarrollar piezas de diferentes formas, medidas y características de acuerdo al empleo que se le vaya a dar.

- Gran precisión para formar piezas de alta complejidad.
- Las piezas de fundición son resistentes al desgaste.
- Resisten la compresión (puede variar de 490 – 980 MPa), y a la tracción (puede variar de 117 a 880 MPa).
- Absorben muy bien las vibraciones de maquinas, motores, etc.
- Presentan maleabilidad en caliente.
- Al solidificarse presentan escasa contracción.
- Las piezas de fundición son fáciles de mecanizar.
- Las temperaturas de fusión son relativamente bajas, por lo que al sobrepasarlas, se puede obtener fundiciones de gran fluidez para la fabricación de piezas de poco espesor.
- El proceso de obtención es relativamente económico con referencia al acero.

1.3.3 TIPOS DE HIERROS FUNDIDOS.

Los tipos de hierros fundidos pueden ser clasificados de acuerdo a la microestructura del grafito. Esta clasificación está basada en la forma en la que la mayor parte de carbono aparece en el hierro. Según esta clasificación existen cinco tipos básicos:

- Hierro gris,
- Hierro blanco,
- Hierro maleable,
- Hierro nodular,
- Hierro de grafito compacto.

Cada uno de estos tipos pueden ser moderadamente aleados o tratados térmicamente sin cambiar su estructura básica.

A continuación se detalla la clasificación de los tipos de hierros:

1.3.3.1 FUNDICIÓN GRIS.

Conocida también como hierro fundido o hierro colado, la fundición gris es un tipo de aleación; es la más utilizada en la industria. Los elementos fundamentales del hierro gris son: carbono, silicio, fósforo, manganeso y azufre; la base metálica de los mismos pueden ser: ferrítica, ferrítica - perlítica, perlítica y atruchados o intermedios.

Si la composición del hierro líquido y su velocidad de enfriamiento son apropiadas, el carbono en el hierro se separa durante la solidificación y forma flóculos de grafito, esta crece con sus contornos afilados dentro del líquido y forma las hojuelas características que se observan en la Figura 1.6.

Cuando el hierro gris se fractura la mayor parte de ella ocurre a lo largo del grafito, así se relaciona con el característico color gris de la superficie fracturada. Las bondades del hierro gris son influenciadas por el tamaño, cantidad y distribución de los flóculos de grafito y por la relativa dureza de la matriz alrededor del grafito.



Figura 6 Fundición gris, en la primera parte esquema de grafito y en la segunda parte micrografía de hojuelas de grafito en hierro gris (x100)

Fuente: (Capello, 1966)

Estas propiedades son controladas principalmente por la cantidad de carbono y silicio del metal y la velocidad de enfriamiento en la solidificación. Un enfriamiento

muy lento y contenidos de carbono y silicio altos tienden a producir gran cantidad de flóculos de grafito de gran tamaño y una matriz suave de baja resistencia.

Estos flóculos de grafito proveen al hierro gris propiedades excelentes como altos niveles de dureza, lo que provoca buenas características de resistencia a la abrasión, resistencia al desgaste y excelente absorción de vibraciones, resultado de una relación no lineal esfuerzo-deformación a esfuerzos relativamente bajos. Varios factores influyen en la nucleación y crecimiento de los flóculos de grafito.

Se utilizan técnicas especiales para obtener un grafito del tamaño apropiado y conseguir las propiedades deseadas.

1.3.3.2 FUNDICIÓN BLANCA.

La fundición blanca es muy dura, resistente al desgaste y a la vez frágil, baja resistencia al impacto. Se debe su nombre a que su fractura es de color blanco. Es una aleación hierro – carbono donde gran parte de carbono se encuentra combinado en forma de cementita (Fe_3C).

Se la utiliza para elaborar fundiciones maleables, por ejemplo para equipos de minería y fabricación de rodillos, esferas, recubrimientos, entre otras aplicaciones.

Para obtener mejores piezas de fundición blanca se agregan elementos como cromo, níquel y molibdeno, de manera que además de la cementita o carburos de aleación que se forman durante la solidificación, se puede producir martensita durante el tratamiento térmico posterior.

Este tipo de material se obtiene por un enfriamiento rápido en la solidificación del metal ó por presencia de elementos aleantes que no favorecen a la grafitización.

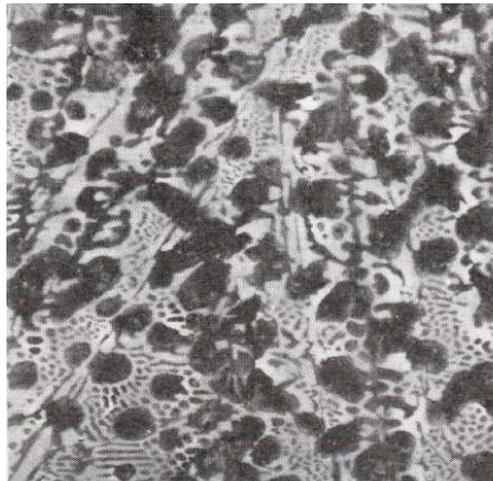


Figura 7 Fundición blanca (x100)

Fuente: (Capello, 1966)

1.3.3.3 FUNDICIÓN MALEABLE.

“Esta fundición se obtiene al tratar térmicamente la fundición blanca no aleada del tres por ciento de carbono equivalente (2.5% C, 1.5% Si). Durante el tratamiento térmico de maleabilización, se descompone la cementita formada durante la solidificación y se produce agrupamientos de grafito” (Linebarger)

Este carbono de revenido, frecuentemente parecen palomitas de maíz, la forma redonda del grafito permite que se obtenga una buena combinación de resistencia y ductilidad.

Las fundiciones maleables se moldean fácilmente y son muy dúctiles. Su contraparte es que los tratamientos térmicos de maleabilización son largos y por lo general muy costosos.

Con este tipo de procedimiento se elaboran piezas de fundición como accesorios para cañerías, tubería de conducción para líquidos y gases, piezas pequeñas de bajo espesor, entre otras aplicaciones.

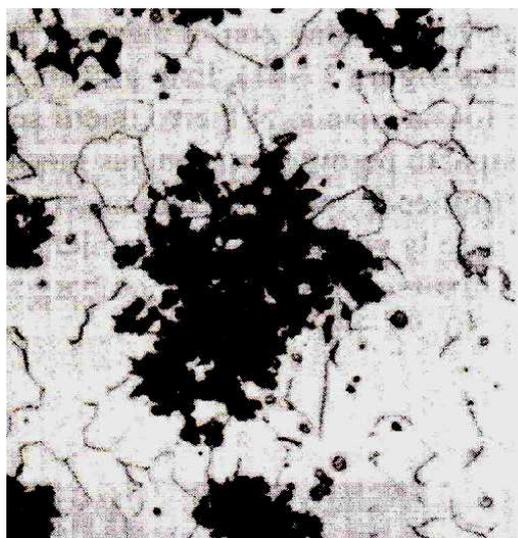


Figura 8 Fundición maleable ferrítica (x200)

Fuente: (Capello, 1966)

1.3.3.4 FUNDICIÓN ATRUCHADA.

La fundición atruchada es una variedad entre la fundición blanca y la fundición gris, por cuanto el carbono se encuentra en forma libre como laminas de grafito y combinado con la cementita. A este grupo pertenece la mayoría de las fundiciones que se fabrican y utilizan normalmente como son las fundiciones grises, atruchadas perlíticas. Se la utiliza por lo general en piezas que no requieran soportar grandes esfuerzos.

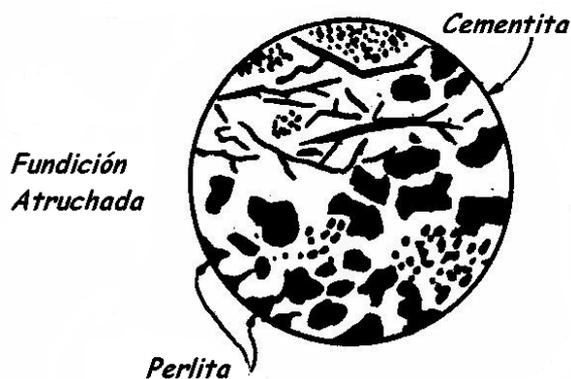


Figura 9 Fundición atruchada (x50)

Fuente: (Capello, 1966)

1.3.3.5 FUNDICIONES ESPECIALES

Las fundiciones especiales tienen por objetivo obtener piezas con determinadas características que servirán para el trabajo que se les asigne, como por ejemplo mejor resistencia al desgaste, durabilidad, mecanización, corrosión, etc.

Generalmente en estas fundiciones el efecto que se consigue es acelerar o retardar la grafitización utilizando para ello cromo, níquel, cobre, molibdeno y vanadio. Por su parte el cromo incrementa el carbono, lo que ocasiona un aumento en la resistencia y en la dureza, a la vez una mejor resistencia al calor y al desgaste.

El níquel es el grafitizador, permite lograr matrices totalmente perlíticas, se lo utiliza combinado con el cromo en la fundición blanca, logrando una excelente resistencia a la abrasión y dureza óptima.

Comúnmente se utiliza el cobre para fabricar fundiciones maleables especiales; el cobre tiene un efecto grafitizador ligero, disgrega la cementita maciza haciendo menos frágil la matriz, pero sobre todo aumenta la resistencia a la corrosión.

El Molibdeno en cambio, rezaga la formación de la austenita incrementando la templabilidad. Su efecto es similar al que ocurre en el acero, que es aumentar la resistencia a la fatiga, al calor y la dureza.

Los elementos de aleación y tratamientos térmicos adecuados, permiten la obtención de una gama de fundiciones, en las cuales las estructuras y propiedades mecánicas se adaptan a las aplicaciones particulares. Teniendo la siguiente clasificación:

- Fundiciones Grises Aciculares
- Fundiciones Inoculadas
- Fundición Nodular

1.3.3.6 FUNDICIONES GRISES ACICULARES.

Las fundiciones grises aciculares tienen resistencias variables desde 392 a 588 MPa mucho más elevadas que las otras clases de fundiciones grises. Están constituidas por láminas de grafito y una matriz acicular de tipo bainítico. Igual que en los aceros para obtener estas estructuras bainíticas es necesario que al iniciarse el enfriamiento no se forme perlita y suele convenir que la matriz de las curvas de la "S" de las fundiciones que en cierto modo son iguales a las de los aceros, este algo retrasada hacia la derecha y que luego la zona bainítica este más retrasada para que la transformación se realice en esta zona y se forme una estructura acicular.

Además, son más fáciles de mecanizar, su resistencia al desgaste es muy elevada, posee una resistencia al choque y alta tenacidad comparada con la fundición perlítica de grafito laminar

1.3.3.7 FUNDICIONES INOCULADAS.

En esta fundición la inoculación consiste en introducir en el metal fundido (en el momento de sangrar) una especie de catalizador que favorece la formación de un estructura perlítica en lugar de la cementita.

Los materiales inyectados son el silicato de calcio o el ferrosilicio con más del 50% de éste. Las fundiciones así inoculadas presentan grafito libre microforme.

1.3.3.8 FUNDICIÓN NODULAR.

El hierro colado nodular o fundición nodular se la puede definir como un hierro colado que tiene una microestructura que contiene como mínimo el 60% de partículas de grafito en forma de diminutos nódulos esferoidales en una matriz metálica dúctil. Así, este tipo de fundición tiene una resistencia mucho mayor que la fundición gris y un considerable grado de ductilidad, estas propiedades pueden mejorarse con la utilización de tratamientos térmicos adecuados.

Para desarrollar piezas de tipo nodular se utiliza entre otros elementos también como el cerio y el litio. Siendo el cerio y el magnesio los elementos más ampliamente utilizados.

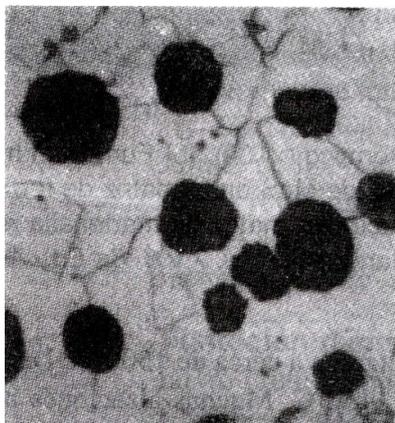


Figura 10 Fundición nodular reconocida con una matriz ferrítica (x250)

Fuente: (Batista)

1.4 PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE HIERRO NODULAR

El hierro fundido nodular se produce añadiendo magnesio al hierro gris en estado de fusión líquido, con un nivel relativamente alto de carbono equivalente; esto hace que durante la solidificación crezca grafito esferoidal.



Figura 11 Diagrama esquemático del tratamiento de la fundición nodular.

Fuente: (Batista)

Primero en la Desulfuración el azufre hace que el grafito crezca en forma de hojuelas. Se obtiene hierro con bajo contenido de azufre fundiendo materiales con baja carga de azufre; también al fundir en hornos que durante la fusión eliminen el azufre del hierro o mezclando el hierro con un agente desulfurante, como el carburo de calcio.

En la nodulización se agrega magnesio para la nodulización en donde se elimina cualquier resto de azufre y oxígeno que todavía quede en el metal líquido y dejando un residual de 0.03% Mg, que causa el crecimiento de grafito esferoidal. El Magnesio se agrega aproximadamente a los 1300 °C; hay que tener en cuenta que este elemento se vaporiza alrededor de los 1150°C. Muchas aleaciones nodulantes contienen magnesio diluido como ferrosilicio para reducir la violencia de la reacción y permitir recuperaciones más altas de Mg. La atenuación, es decir la evaporación gradual y no violenta u oxidación del magnesio, también debe ser controladas. Si no se vacía el hierro en los minutos siguientes después de la nodulación, el hierro se convierte en fundición gris.

Para la Inoculación se conoce que el magnesio por si mismo es un estabilizador eficaz de carburos, y hace que durante la solidificación se forme fundición nodular. El efecto de la inoculación también se atenúa con el tiempo.

En comparación con el hierro gris, el hierro nodular tiene excelente resistencia mecánica, ductilidad y tenacidad. La ductilidad y la resistencia mecánica también son superiores a las de los hierros maleables, pero dado el mayor contenido de silicio en la fundición nodular, la tenacidad es inferior

1.4.1 COMPOSICION DEL HIERRO BASE

Generalmente se tiene chatarra de hierro o arabio para la fundición en el cubilote, el cual hay que romperlo según sea el tamaño que se desea, para cargarlo dentro del cubilote a la hora de producir hierro colado. Para producir Hierro Nodular

este tiene que ser del nivel más bajo de carbono posible. Además se tomara en cuenta que el magnesio es un activo agente desulfurante y su primer efecto es el reducir el azufre hasta un nivel de 0,010%. Para la formación del sulfuro de magnesio 0,1% de azufre requiere 0,075% de magnesio.

Aparte del azufre, la composición preferente del hierro base se encuentra entre los límites siguientes:

Tabla 1 Composición General de un Hierro Base

Composición	
Carbono total	3,4% - 4,2%
Silicio	1,8% - 2,5%
Manganeso	0,4% - máximo
Fosforo	0,2% - máximo

Fuente: (Capello, 1966)

Si bien el manganeso y el fosforo no evitan la formación de nódulos de grafito, reduce la ductibilidad muy considerablemente y como que esta propiedad es una característica muy importante del hierro colado nodular, es esencial mantener estos dos elementos al nivel más bajo posible.

1.4.2 INTRODUCCION DEL NODULIZANTE DE MAGNESIO AL HIERRO COLADO

Una de las mayores dificultades prácticas parece ser la introducción en el hierro líquido de la cantidad necesaria de magnesio con el grado de consistencia y seguridad requerido, junto con la ausencia total de peligro alguno. El magnesio hierve alrededor de los 1.150°C, y cuando se sumerge en el hierro colado líquido a 1300°C, el magnesio funde y se vaporiza instantáneamente, escapando violentamente y arrastrando consigo algo de hierro.

Para lograr un tratamiento con garantías de éxito mediante el magnesio se requiere una emulsión íntima, la liberación del magnesio tendría que durar cierto periodo de tiempo y en varios puntos del hierro líquido. Esto puede lograrse con el

empleo de aleaciones de magnesio con uno o más elementos que sean solubles en el hierro.



Figura 12 Violencia de la Reacción durante la Nodulización del Hierro Colado

(Proaño, 2012)

1.4.3 ALEACIONES DE MAGNESIO

Algunos textos que se citan, se refieren a aleaciones que contienen magnesio con las que se han conseguido resultados satisfactorios. Una composición extensamente empleada es la de magnesio-níquel-silicio. Su especificación es como sigue: 12 a 30% de magnesio, 10 a 45% de silicio, y un contenido mínimo de níquel del 35%.

Para las fundidoras norteamericanas se citan tres ejemplos de aleaciones preferidas de magnesio-silicio-cobre-hierro que, según indica, dan resultados superiores y constantes.

Tabla 2 Composición general de varios tipos de nodulizante.

	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
Magnesio	9,96%	9,68%	20,35%
Silicio	33,97%	20,70%	29,40%
Cobre	6,32%	19,28%	11,42%
Hierro	Resto	resto	resto

Fuente: (Capello, 1966)

La presencia del hierro en los porcentajes citados, aumenta la densidad de la aleación y eleva su punto de fusión, con lo que se favorece la penetración en el hierro líquido y se disminuye la violencia de la reacción del magnesio.

Otra aleación que se describe es una aleación con 7% al 17% de magnesio, 53% al 70% de silicio y el resto hierro. También se trata de una mezcla de zirconio triturado como materia de soporte, silicio y magnesio elemental, aglomerado todo ello en forma de briquetas. Su composición preferida es:

Tabla 3 Composición típica nodulizante

	Porcentajes
Zirconio	15 al 30%
Silicio	20 al 45%
Hierro	5 al 35%
Magnesio	15 al 30%

Fuente: (Capello, 1966)

Entre las ventajas que se atribuyen están un mayor aprovechamiento del magnesio y zirconio y la posibilidad de mantener durante más tiempo el hierro tratado en estado líquido, sin que haya reversión a grafito laminar como resultado de la pérdida de magnesio.

Pronto se averiguó que no todas las fusiones respondían del mismo modo al tratamiento nodulizante del magnesio, a pesar de haber aplicado técnicas normalizadas. Se demostró que la causa de estos resultados erróneos, era debido a la presencia de vestigios de elementos en los lingotes de hierro y otras primeras materias empleadas. Sobre este asunto hay distintas opiniones que, aunque a veces se contradigan, todas ellas coinciden en señalar a los elementos siguientes como inhibidores en grado variable en la formación de grafito nodular: aluminio, antimonio, arsénico, bismuto, plomo, selenio, telurio, estaño y titanio.

Trabajos experimentales en piezas de pequeño espesor, han demostrado que los elementos que se mencionan tienen un efecto inhibitor con los contenidos expuestos:

Tabla 4 Inhibidores para la formación de Grafito Esferoidal

	Composición
Aluminio	superior al 0,13%
Arsénico	superior al 0,09%
Bismuto	superior al 0,002%
Plomo. Elimina por completo la formación de nódulos	0,005%
Estaño	superior al 0,04%
Titanio	superior al 0,04%

(Nacional, 1979)

Todos ellos ejercen un efecto detrimetal sobre el desarrollo de la estructura de grafito nodular. También el efecto combinado de dichos elementos es sumatorio y puede ser todavía más potente. Por tanto cuando dos o más elementos están presentes en cantidades que individualmente no afectarían la estructura al actuar conjuntamente pueden evitar la formación de grafito nodular. Algunos de los elementos que causan interferencia son capaces también de producir una nodulización limitada, principalmente el bismuto, selenio, telurio y titanio. Esta anomalía indica que la nodulización puede tener lugar a través de dos o tres mecanismos distintos. Como se indica a continuación, el cerio añadido al hierro tratado con magnesio neutralizara el efecto de los elementos interferentes.

Se dispone de un agente Nodulizante Mg/Fe/Si que se suministra como aleación triturada en saquitos de lienzo y tiene un contenido aproximado en magnesio de 7%.

Con una concentración tan baja de magnesio, no existe peligro de explosión y la reacción se realiza tranquilamente. Como es natural, se forma una llama brillante debido a la oxidación de parte del magnesio.



Figura 13 Nodulizante Ferrosilicio

(Proaño, Investigación directa., 2012)

1.4.4 CANTIDAD DE MAGNESIO NECESARIA

Durante el tratamiento con magnesio, parte de este elemento se pierde por evaporación. Otra parte se oxida y reacciona con el hierro fundido formando compuestos solubles e insolubles, alguno de los cuales entra a formar parte de la escoria. La principal reacción en la formación de escoria, es la que produce el sulfuro de magnesio, como ya se hablado anteriormente. Solamente es efectivo en la promoción de la nodulización del grafito el magnesio residual que queda en el hierro fundido. El magnesio residual en el hierro colado nodular dura solo de unas pocas centésimas. La eficiencia de la recuperación del magnesio varía considerablemente, pero parece ser mayor cuando se emplea aleaciones de níquel y cobre portando el 20% o menos de magnesio. Las recuperaciones observadas varían del 25% hasta más del 60%. La aleación que contiene aproximadamente el 7% de magnesio, 45% de silicio y el resto principalmente de hierro, muestra las siguientes recuperaciones:

Tabla 4 Recuperación de Magnesio por nodulización.

Temperatura de colada	Magnesio recuperado
1.454°C	35%
1.399°C	42,60%
1.343°C	65%

(Nacional, 1979)

Estos valores indican que la recuperación depende de varios factores, uno de los cuales es, sin duda alguna, la temperatura del hierro cuando se introduce la aleación. Otros factores a parte del contenido inicial de azufre, son el tiempo de la manutención del caldo antes de la colada, y el grado de exposición a las condiciones oxidantes después de hacer la adición.

En conjunto, parece ser que la cantidad óptima de aleación de magnesio a añadir, solamente puede determinarse mediante experimentación bajo las condiciones existentes para cada caso. Como orientación practica puede decirse que se necesita adicionar una cantidad de aleación equivalente del 0,25% al 0,50% de magnesio cuando se trata de obtener un magnesio residual del 0,05 al 0,08%. El contenido de magnesio deberá incrementarse a medida que aumente el espesor de la pieza y a la medida que aumente el carbón total y el silicio.

1.4.5 TRATAMIENTO DE INOCULACION

Inmediatamente después de adicionar la aleación que contiene magnesio, el baño tiene que ser inoculado con un inoculante grafitizante. Esta operación se realiza para compensar la acción estabilizadora de carburos por parte del magnesio.

Existen teorías que indican que cuando se utilizan aleaciones de magnesio altas de silicio, tales como ferro-silicio / magnesio no se precisa una inoculación posterior. Si bien se han obtenido algunas aseveraciones en este aspecto, todavía no es posible establecer una conclusión categórica.

1.4.6 INFLUENCIA DE OTROS ELEMENTOS

El níquel, cobre y molibdeno pueden estar presentes en cualquier proporción, bien sea separadamente o combinados. De esta forma, pueden obtenerse estructuras especiales de matriz austenítica martensítica o aciculares.

Por otra parte hay varios elementos que inhiben el desarrollo de nódulos de grafito. Dichos elementos ya se han mencionado anteriormente, así como la forma de contrarrestar sus perniciosos efectos mediante el empleo del magnesio.

1.4.7 HIERRO FUNDIDO EN EL CUBILOTE

Normalmente, el hierro fundido en el cubilote tiene un contenido de azufre superior al 0,05%, por lo que, para evitar el tener que añadir excesivas cantidades de aleación de magnesio, necesitará un tratamiento de desulfuración. Por tanto, abra que considerar la posibilidad de adoptar las tres operaciones siguientes:

1. Desulfuración.
2. Adición del magnesio.
3. Inoculación.

Por consiguiente, a fin de mantener una temperatura suficiente para colar las piezas, se hace preciso un horno de mantenimiento que contenga el hierro desulfurado y lo mantenga caliente. En algunos casos, se han empleado para dicho objeto un horno de crisol.

1.4.8 CONTRACCION LIQUIDA DE LOS HIERROS COLADOS NODULARES

En el proceso del magnesio, son esenciales hierros base de composición hipereutética. De esta forma, las características de contracción líquida no presentan mayores problemas que en el caso de un hierro colado gris de alta resistencia de 31 kg/mm².

Por otra parte, cuando se emplea el proceso del magnesio y hierros de composición hipoeutética, los problemas de contracción pueden ser considerables:

“Las características de contracción líquida del hierro dúctil son mayores que las del hierro colado de la misma composición química y menores que las del hierro maleable. Una fundición de hierro que produce con éxito piezas fundidas a presión,

tales como cuerpos de válvulas, ha desarrollado y adquirido gran experiencia en los sistemas de colada y alimentación. La fundición media tendría que adquirir cierta experiencia en sistemas de colada y mazarotaje a presión si es que intentan ser completamente expertos en fabricar piezas fundidas satisfactorias.

Como que las características de solidificación del hierro nodular difieren de las del hierro maleable, un modelo correctamente preparado con entradas y mazarotas adecuadas para hierro maleable, puede ser inadecuado para producir piezas sanas de hierro colado nodular, pues la alimentación podría ser inversa, es decir, de la pieza a la mazarota.

Por tanto, algunas de las previsiones de mazarotaje para piezas de hierro maleable tendrían que alimentarse para el hierro dúctil”.

La fluidez del hierro colado nodular es menor que la de los hierros colados grises ordinarios.

1.5 ENSAYOS DE IDENTIFICACION

Para comprobar si se ha producido satisfactoriamente hierro nodular, pueden seguirse los simples y rápidos ensayos siguientes:

- a) La fractura del material es completamente distinta a la de otros hierros colados. Tiene un aspecto “acerado” que puede ser rápidamente reconocido con un poco de experiencia.
- b) El hierro colado nodular emite una nota sonora cuando se le da un golpe seco con un martillo. Esto es debido a que su capacidad de amortiguamiento es menor que en los hierros grises normales.
- c) Los hierros colados nodulares se templean más fácilmente que otros hierros similares no tratados, por consiguiente, puede seguirse el tratamiento durante el curso de la producción mediante el empleo de cuñas de temple.
- d) La estructura nodular es fácilmente reconocible bajo el microscopio, se considera un resultado satisfactorio cuando presenta por lo menos el 90% del

grafito en forma nodular. Un diámetro de 40 a 50 micras parece ser un tamaño medio para los nódulos.

1.6 PROPIEDADES

La fundición nodular es comparable en su composición química a la fundición gris con grafito laminar o hierros gris. Mientras que la fundición gris con grafito laminar precipita el carbono como grafito en forma de plaquitas o laminitas, en la fundición nodular se obliga al carbono libre a tomar una forma redondeada o esférica adoptando medidas metalúrgicas en el estado fundido. En la figura 1.6 se muestra un microestructura de una fundición nodular y de una fundición gris con grafito laminar.

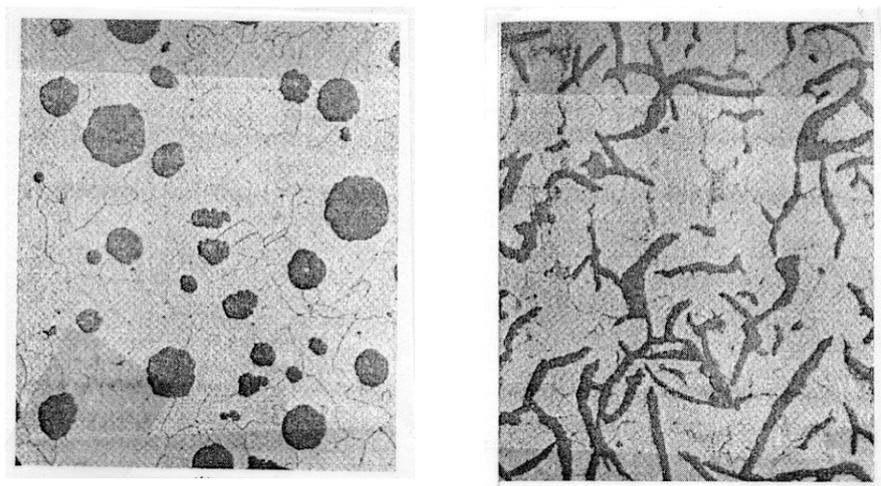


Figura 14 Fotografía de Microestructura Fundición Nodular y Fundición Gris

(Jimenez, 2003)

Las propiedades de los materiales de moldeo hierro carbono vienen determinadas en primer lugar por la forma del grafito. El grafito en forma de laminas tiene por cierto una serie de propiedades de gran valor, como elevada capacidad de amortiguación, baja sensibilidad a la entalla, buena conductibilidad térmica y maquinabilidad, así como excelentes propiedades de deslizamiento de emergencia (el grafito hace a veces de lubricante) por otra parte, sin embargo, disminuye la resistencia y la ductilidad. La figura 1.14 muestra, como los nódulos y sobre todo las propiedades mecánicas pueden experimentar una mejora esencial por una conformación esférica del grafito.

Además del aumento de la resistencia a la tracción – pueden alcanzarse valores de 120 kg/mm^2 – otras propiedades como el alargamiento al desgaste; así como las resistencias térmica y química se ven afectadas favorablemente por la forma esférica del grafito. Mención especial merece la resistencia a la fatiga de la fundición esferoidal. Gracias a su baja sensibilidad a la entalla disminuyen los efectos de las concentraciones locales de tensiones.

Como la composición química de la fundición nodular es análoga a la del hierro gris, lo es también su colabilidad, lo que permite una amplia gama de formas a moldear, sobre todo en la colada de piezas complicadas y también de secciones delgadas, que presenten propiedades mecánicas mejoradas.

1.7 PRODUCCION DE FUNDICION NODULAR

Como materiales de carga se emplean lingotes de alto valor y sobre todo recortes limpios de acero, que presentan contenidos bajos de azufre y oxígeno, así como de elementos traza, tales como plomo, bismuto, titanio, antimonio y arsénico para la fusión se emplea con preferencia hornos eléctricos aunque también se funde el hierro esferoidal en cubilotes con revestimiento ácido o básico, si bien en el caso del cubilote el revestimiento ácido es conveniente realizar a continuación el tratamiento de desulfuración.

Entre los numerosos tratamiento del caldo para producir fundición nodular se ha acreditado como más favorable, tanto técnica como económicamente, la adición de distintas aleaciones de magnesio. Una proporción de magnesio de tan solo unas centésimas por ciento es ya suficiente para llevar el grafito de la forma laminar a la esferoidal. Como el punto de ebullición del magnesio es aproximadamente $1100 \text{ }^\circ\text{C}$, en la zona de temperaturas de la fundición líquida, es decir en la zona de 1200 a $1500 \text{ }^\circ\text{C}$, desarrolla el magnesio una presión de vapor relativamente alta, de unas $6-10 \text{ kgf/cm}^2$. Para llegar a controlar el tratamiento en la fundición, es necesario dominar esta presión del magnesio o su velocidad de disolución. Buenos resultados ha dado el

fijar el magnesio a otro metal en forma de aleación, para disminuir así su presión de vapor. Los metales de soporte que mejor se adaptan son el níquel, el silicio, el calcio así como el cobre y el magnesio.

Tales aleaciones se ponen en reacción con el hierro de partida líquido bien por inmersión, soplado, o riego, así como también vertiendo el hierro sobre ellas, empleando cucharas o cámaras de presión, cucharas giratorias o agitadoras, o bien por adición a través de toberas cerámicas. Una aleación de hierro-silicio-magnesio, con el 10% de magnesio, se coloca en el fondo de la cuchara y se cubre con recortes de acero de pequeño tamaño, para evitar una reacción inmediata. El tratamiento se lleva a cabo en cucharas de colada normales. El caldo a tratar viene directamente de los cubilotes. Una vez concluida la reacción, y tras un tratamiento de inoculación adicional, se cuela en los moldes.

1.8 PROPIEDADES MECÁNICAS Y TECNOLÓGICAS

Como consecuencia de la forma esférica del grafito presenta en la fundición esferoidal propiedades comparables a las del acero de la misma composición química y estructura. Las propiedades de las fundiciones grises no dependen, sin embargo, únicamente de la forma del grafito, sino también de la matriz. La formación de esferas de grafito es tan solo una condición, para que las propiedades mecánicas de la matriz, semejante al acero, puedan ponerse de manifiesto y por esto es misión del fundidor desde un principio, el llegar a producir en la pieza colada una matriz metálica que posea las propiedades deseadas por el cliente.

Las diversas matrices metálicas, con sus distintas propiedades, se consiguen generalmente por adición de elementos de aleación, o por diversos tratamientos térmicos. Específicos de la fundición nodular, en comparación con el acero, es que partiendo de un caldo único, pueden llegar a producirse todos los tipos de fundición esferoidal, desde la ferrita, pasando por la perlita, hasta la vainita y la martensita, y de conseguir con él una pluralidad de propiedades dentro de amplios márgenes.

En la tabla 1.5 se muestra los valores de resistencia que pueden llegar a alcanzarse en fundición esferoidal. En esta tabla están indicados los valores de

garantía mínimos de las normas americanas, que prácticamente coinciden también con los valores de la norma europeas.

Se ve la gran cantidad de tipos, con distintas propiedades, que abarca el concepto fundición esferoidal.

Condición indispensable para la elección correcta del material es el conocimiento exacto de sus propiedades características. A continuación se discutirán las propiedades especiales y las posibilidades de aplicación de algunas fundiciones esferoidales típicas.

1.9 APLICACIONES.

Las fundiciones de hierro nodular en los últimos años han venido siendo muy utilizadas para producir piezas de máquina en algunos campos de la industria, particularmente se las prefiere donde se requiera una combinación de dureza, buena maquinabilidad y bajo costo.

El proceso constructivo empleando fundiciones de hierro nodular como materia prima es de preferencia la fundición en lugar de la soldadura, debido a que: Se puede utilizar la gran ventaja que constituye poder elegir las propiedades físico-mecánicas de la pieza, característica que es única en las fundiciones de el hierro nodular.

Se logran variar los valores de las propiedades mecánicas para establecerlas en diferentes piezas y obtener una configuración integrada en la máquina o producto final, empleando un solo tipo de material.

Se consiguen ventajas económicas en la fabricación, por que debido a las buenas características de colabilidad de los hierros nodulares, disminuyen las tareas de terminado en las piezas.

Adicionalmente las fundiciones de hierro nodular, se caracterizan por que su microestructura es uniforme, las propiedades físico-mecánicas son constantes y no hay la presencia de zonas afectada por el proceso térmico como es el caso de las juntas soldadas. Se ha podido establecer que cualquier porosidad en la fundición de hierro nodular es predecible y generalmente permanece en las regiones cercanas al centro térmico.

Una de las propiedades físicas que es única en las fundiciones de hierro nodular es la facilidad que presta para la aplicación de procesos de tratamiento térmico, es característico en este tipo de fundiciones que con el propósito de controlar la dureza y la resistencia mecánica, el carbón libre en la matriz pueda ser redisuelto a cualquier nivel que el usuario desee.

Los métodos de endurecimiento superficial que se pueden aplicar a las piezas provenientes de este material son múltiples, entre ellos destacan: el flameado, temple inductivo, temple mediante láser o bombardeo con electrones.

Tabla 5 Propiedades mecánicas de aleaciones de hierro nodular

GRADO	RESITENCIA A LA TRACCIÓN MPa	LÍMITE DE FLUENCIA MPa	ELONGACIÓN %	ENERGÍA DE IMPACTO Joules	DUREZA BRINELL
1	850	550	10	100	269-321
2	1050	700	7	80	302-363
3	1200	850	4	60	341-344
4	1400	1100	1	35	380-447
5	1600	1300	N/A	N/A	444-555

(Nacional, Seminario de Fundicion Nodular, 1979)

Basándose en las buenas propiedades mecánicas de los hierros nodulares, en las excelentes propiedades de las fundiciones austemperizadas y el relativo bajo costo de los procesos de fundición y maquinado, los investigadores metalúrgicos prevén cada día una creciente aplicación en todos los campos.

En la actualidad se tienen ya algunas aplicaciones relacionadas con varias industrias como se indica:

Aplicaciones industriales de las fundiciones de hierro nodular:

- Industria Automotriz:
Engranajes, piezas de transmisión y suspensión, cigüeñales, etc.
- Maquinaria Agrícola:
Embragues, acoples, cinceles, rejas, cuchillas, etc.
- Industria Ferroviaria
Ruedas, enganches, zapatas, partes de suspensión, accionamientos de vías, etc.
- Usos Militares
Blindajes, partes de vehículos, proyectiles, etc.
- Uso Industrial General:
Engranajes, horquillas, bridas, brazos, piezas para industria petrolera, etc.

CAPITULO II – HORNO DE CUBILOTE

2.1 RESEÑA HISTORICA DEL CUBILOTE

La palabra “cubilote” procede de la palabra latina “cupa”, que significa cuba. La razón para el uso de esta palabra se demuestra en la grafica. Un cubilote puede ser definido, como una cavidad revestida de refractario, con las aberturas necesarias en la parte superior para el escape de los gases y para la carga de los materiales, y en el fondo para la entrada del soplado del aire, y para la extracción del hierro fundido y la escoria.



Figura 15 Fundición según jeroglíficos egipcios

(Edad de los Metales)

Un fondo de combustible es dispuesto en el cubilote y encendido, después de cual son cargadas capas de alternadas de metal y combustible, e iniciando el soplado del aire. Si se obedecen unas cuantas leyes sencillas, la función comienza prontamente y continúa por largo tiempo si así se desea.

El cubilote es por mucho el horno de fusión más sencillo y eficiente. Es empleado en la fundición de casi todo el hierro gris, como la unidad primaria en la fusión del hierro maleable y como el único medio de fusión de un tonelaje considerable de arabeo, chatarra y para algunas aleaciones de cobre.

El cubilote moderno esta asociado al nombre de John Wikilson que patento el cubilote en el año de 1794; realmente fue ideado como una mejora de los antiguos

hornos de fusión usados durante siglos. Los cubilotes operados mediante soplado de fuelles han sido empleados por fundidores incipientes a lo largo de los siglos.



Figura 16 Fundición con fuelle en la antigua China (770 al 446 A.C.)

(Fundiciones)

2.2 DESCRIPCION DEL CUBILOTE

El cubilote es un horno que funciona con combustible sólido y donde la carga metálica, el combustible y el comburente se hallan en íntimo contacto, Esto permite un intercambio térmico directo; sin embargo el hierro colado no puede ser rigurosamente controlado desde el punto de vista metalúrgico.

Las partes constitutivas del cubilote son:

- Envoltura Cilíndrico (Cuerpo) construida en chapa de hierro soldado
- Revestimiento interno en material refractario
- Chimenea
- Boca de carga: pequeña y provista de una plancha inclinada para la introducción de la carga cuando se efectúa a mano.
- Cámara de viento: construida en chapa soldada circunda de todo o en parte la envoltura cilíndrica y dentro del cual pasa aire soplado mediante una maquina sopladora para ingresarlo e iniciar la combustión.
- Toberas: conducen el aire al interior del cubilote además de estar provista de una boquilla para la vigilancia de la combustión y manejo con la piqueta para el control de cargas

- Evacuador de escorias: abertura dispuesta a unos 15 a 20 cm por debajo del plano de las toberas, que se destina a la evacuación de la escoria que por mas ligera que el hierro fundido flota sobre el mismo.
- Puerta lateral de encendido y limpieza: Antes de cerrarla al comienzo de la operación del cubilote, hay que rehacer el murete el revestimiento refractario.
- Canal de colada: plancha de hierro revestida con masa refractaria, que parte de la piquera y con una inclinación aproximada del 10% hace caer el hierro fundido en el caldero.
- Solera o fondo del cubilote: Arena de fundición con una inclinación leve hacia la piquera.
- Plancha base: de una chapa gruesa de hierro consiste en la tapa de descarga cuando se termina con el trabajo en el cubilote.
- Columnas de apoyo: casi siempre es eje macizo de hierro fundido y sostiene a la plancha base del cubilote durante el trabajo.
- Crisol: constituye la parte inferior del cubilote comprendido entre la solera y el plano de las toberas.



Figura 17 Cubilote de carga 150 Kg.

Fuente: (Proaño, Investigación Directa, 2012)

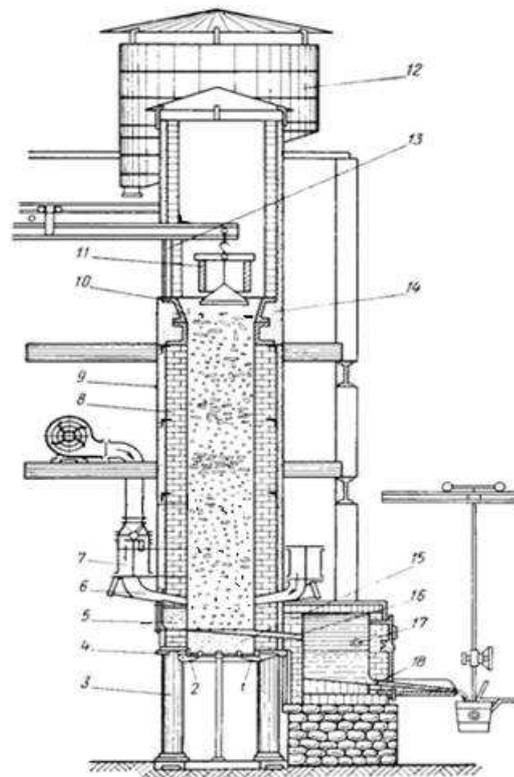


Figura 18 Partes de un Cubilote

Fuente: (Fundiciones)

2.3 DIMENSIONAMIENTO DE UN CUBILOTE

El tamaño y las proporciones de un cubilote son bastante variables porque los técnicos aplican a los mismos los resultados de sus experiencias personales; sin embargo se enunciarán algunos valores indicativos:

- Diámetro interior: La producción de los cubilotes medianos y grandes es de 75 Kg/h y por decímetro cuadrado de sección. Por lo tanto, si P es la producción en Kilogramos/hora, S es la sección interior del cubilote en decímetros cuadrados y d_i el diámetro interior en decímetros cuadrados, tendremos:

$$\text{Ecuación 2.1 } P = S * 75 = \pi/4 * d_i^2 * 75 \text{ Kg/h}$$

De donde:

$$P = 58.9 * d_i^2$$

$$\text{Ecuación 2.2} \quad d_i = \sqrt{\quad} \quad (\text{P/58.9}) \quad (\text{dm})$$

- Espesor del revestimiento o diámetro exterior: el espesor de los refractarios varía desde 15 cm. Para los cubilotes pequeños hasta 30 cm. Para grandes cubilotes; pero existen cubilotes modernos cuyo revestimiento refractario se ha reducido hasta 8 cm. Y cuya envoltura se enfría por agua en su exterior en la zona más caliente por un chorro de agua. Si a es el espesor del refractario y b el de la capa intermedia en decímetros, el diámetro exterior del cubilote será:

$$\text{Ecuación 2.3} \quad d_e = d_i + 2 (a + b) \quad (\text{dm})$$

- Altura del cubilote: es la distancia H entre la solera y la boca de carga. En algunos casos está establecida en proporción al diámetro interior, en tal caso

$$\text{Ecuación 2.4} \quad H = (7 \dots \dots 5) d_i \quad (\text{dm})$$

Normalmente el cubilote debe contener entre 4 a 6 cargas de material (coque + fundente + metal), una altura demasiado reducida provoca pérdidas de calor, por cuanto los gases calientes no encuentran el modo de ceder la mayor parte de su calor sensible a la carga situada en la parte superior. Una excesiva altura puede provocar el desmenuzamiento del coque y, al contacto con la carga de la parte superior, la conversión de anhídrido carbónico CO_2 en monóxido de carbono CO según la reacción:



Gas que se marchara por la chimenea desperdiciando calor sensible y por lo tanto desperdiciando combustible.

- Número y sección de las toberas: Actualmente se prefiere colocar las toberas en un mismo plano, su número varía desde 2 hasta 8 para los cubilotes pequeños, medianos, y 12 para los grandes cubilotes. Su forma puede ser

redonda, triangular, cuadrada o rectangular. La sección S_t en cm^2 de las toberas se establece en proporción a la sección interior S en centímetros cuadrados de cubilote.

$$\text{Ecuacion 2.5} \quad S_t = S / (5 \dots 6) \quad (\text{cm}^2) \quad \text{Cubilotes grandes}$$

$$\text{Ecuación 2.6} \quad S_t = S / (4 \dots 5) \quad (\text{cm}^2) \quad \text{Cubilotes mas pequeños}$$

También se tomara en cuenta la cantidad de aire que debe ser proporcionada según la relación:

$$\alpha = p / P$$

Entre el peso p en kilogramos del coque de carga y el peso P en kilogramos de la carga metálica, fijan la sección total S_t de las toberas así:

$$\text{Ecuacion 2.7} \quad S_t = \alpha * S \quad (\text{cm}^2)$$

Es conveniente comprobar que la sección S_t resulta por lo menos el doble de la sección de la boca expelente del ventilador. Las toberas se colocan ligeramente inclinadas hacia el interior del cubilote para evitar que las invadan las escorias o el metal liquido.

2.4 PEDACERIA PARA LAS MEZCLAS DEL CUBILOTE

La pedacería de hierro como la de acero, son elementos muy importantes en las mezclas de metal fundidas en el cubilote.

Puede ser situada en dos amplias especificaciones:

- Chatarra de fabrica o coladas

En cada tipo de piezas y la alimentación empleada, el resultado de las piezas buenas en una fundición puede variar 50% hasta tanto como el 90% del metal fundido. El sobrante se regresa al cubilote como parte de la carga.

La chatarra de fábrica forma una clase de materia de fusión, toda la pedacería es fundida de nuevo, la cantidad de chatarra de fábrica que se obtiene de la fusión variara con el rendimiento de piezas útiles producidas.

- Pedacería de hierro colado comprada.

La pedacería de hierro colado para la compra de piezas de hierro que cumplieron su vida útil, que fueron parte de maquinaria, equipos de calefacción, vehículos, o en otras estructuras que han sido utilizadas en fundición.

Por estas razones la pedacería es muy variable en el análisis químico y el tamaño relacionado con la chatarra de fabrica.

La pedacería comprada está contaminada por otros materiales no ferrosos que incluyen aleaciones a base de cobre y aluminio y otros materiales distintos.

Las piezas de hierro colado son uniformes o estándar, que demanda una estricta adherencia a determinadas especificaciones. Así las piezas utilizadas en productos automotrices son invariablemente de bajo contenido de fosforo y menos de 0,25% y entre 3,00 y 3,5% de carbono, 2,00 a 2,50% de silicio. Ejemplo las ruedas de ferrocarril, pueden tener un análisis de 3,50% de carbono, 0,55% de silicio y 0,30% de fosforo.

En artículos sanitarios, las planchas de cocina y muchas otras piezas son altas en silicio y en fosforo. La función del comerciante es realizar un recogido inteligente, retirando los contaminantes para ser revendidos a las acerías para la fundición.

- Pedacería de acero.

Al igual que el hierro colado, el acero es producido en altísimas temperaturas que varían en composición química y varían según el uso que le va a dar. Esta pedacería se obtiene en grandes cantidades en centros industriales.

El costo de este tipo adquiere un precio muy alto por tener un análisis conocido y limpieza, este se obtiene del desmantelamiento de estructuras en desuso y maquinarias gastadas.

De esta forma, el producto gastado se convierte en un producto vendible que puede ser utilizado en la carga del cubilote.

2.4.1 RAZONES PARA EL EMPLEO DE PEDACERIA

Las pedacerías de hierro y acero son empleadas en el cubilote por muchas razones, por ser metalúrgicas o estar cimentadas en la economía y disponibilidad.

El lingote de arrabio es el material más caro, si se dispone de la pedacería apropiada, este puede formar un gran porcentaje de carga en un ahorro en el costo. Además del alto contenido del carbono, en el lingote de arrabio, entre 3,50 y 4,00%, puede producirse un problema en la producción de hierros de alta resistencia, en los que el carbono debe ser controlado a un nivel bajo.

Una cantidad excesiva de lingote puede causar una estructura gráfica gruesa y grano abierto. Las fundiciones instaladas en lugares aislados encuentran que la pedacería es más obtenible que ningún otro material de fusión, y la carga del cubilote se forma enteramente en pedacería seleccionada con aleaciones u otras fuentes de manganeso y silicio, para compensar la pérdida en la fusión.

La pedacería de acero al igual que el hierro es utilizada en múltiples funciones. El acero tiene un bajo contenido de carbono en la carga del cubilote, al fundirse el acero, absorbe una gran cantidad de carbono en el hierro fundido producido.

Así se emplea algo de acero en todos los grados de hierro gris, los hierros de alta calidad y bajo contenido de carbono contienen regularmente de 40 a 80% de pedacería de acero.

2.4.2 COMO SELECCIONAR LA PEDACERÍA PARA SU USO EN EL CUBILOTE

Los materiales cargados en el cubilote cubren especificaciones estrictas en lo que se refiere a análisis químico, tamaño y forma. El fundidor puede comprar este material contenido en diversos porcentajes de carbono, silicio, manganeso y fósforo según sus necesidades.

- Pedacería de hierro colado

Son de gran valor los siguientes indicadores:

- a) Las piezas de chatarra que han sido mecanizadas son altas en carbono y silicio para dar una fractura gris con un mínimo de 3,40% de carbono y 2,00% de silicio, piezas de espesor mediano entre (20 – 50 mm), piezas gruesas que pueden contener aun menos silicio hasta 1,25%.
- b) Piezas automotrices, cabezas, bloques de cilindros, carcasas son invariablemente de bajo contenido de fósforo (-0,25%), el promedio de este elemento.
- c) Las piezas de colado que provienen de maquinaria agrícola estarán libres de aleaciones algo más altas en fósforo, y algo más altas que el carbono y silicio.
- d) Las piezas templadas como ruedas de ferrocarril.
- e) Las piezas de secciones delgadas.
- f) Chatarra requemada o altamente oxidada.
- g) Tipos de pedacería de colada, ejemplo: zapatas de freno de ferrocarril.
- h) El hierro maleable tiene un análisis de 2% de carbono y 1 a 1,5% de silicio.

- i) La pedacería de hierro colado no deberá tener cantidades requeridas de acero.
 - j) El material que muestra ductilidad y se dobla cuando es golpeado con un martillo es acero, hierro forjado o hierro maleable.
 - k) Las piezas que no se corroen o no son levantadas por el electroimán son de alto contenido en aleaciones.
 - l) Accesorios no – ferrosos tales como aluminio, aleaciones de cobre y metales antifricción.
- Pedacería de acero

El acero como el hierro colado esta hecho de una variedad de análisis para cumplir con diversos requerimientos, observando los siguientes paramenteraros:

- a) El acero estructural (ángulos, viguetas, etc.)
- b) Planchas de barcos, calderas, tanques.
- c) Pedacería de lámina y soleras.
- d) Rieles de ferrocarril.
- e) Planchetas y barras de unión de rieles de ferrocarril.
- f) Bastidores en chasises automotrices.
- g) Cigüeñales automotrices.
- h) Los muelles y resortes de ferrocarril.
- i) Los muelles y ballestas de automóviles.
- j) Las piezas de forja.
- k) Los recortes de forjado.
- l) Pequeñas partes de acero que han tenido una cantidad de operaciones de mecanización están hechas de acero de fácil trabajo con azufre en cantidades de 0,08% a 0,30%.

2.4.3 MUESTREO PARA ANÁLISIS QUÍMICO

El análisis químico sirve para comprobar el material dudoso. Al comprobar la chatarra de hierro colado que contengan silicio y fosforo. La presencia de aleaciones puede ser una ventaja definida a bajo costo.

- Tamaño y preparación

El tamaño de las piezas en cada carga depende del tamaño del cubilote, de manera que ninguna dimensión exceda el 1/3 del diámetro del cubilote.

En el espesor la velocidad de absorción de calor y fusión en el cubilote tiene relación de superficie a peso.

Las piezas gruesas, ya sea de hierro o acero, absorberán el calor lentamente y se funden a bajo nivel en el cubilote. Una gran cantidad de piezas pesadas puede afectar adversamente la temperatura y grado de oxidación del metal, por esta razón muchas fundiciones especifican un espesor máximo de 38 mm., o un diámetro de 64 mm. Para una pieza individual.

Los recortes de lámina bien empacados, tienen un análisis químico.

Los paquetes pequeños de pedacería pequeña que no poseen más de 55 kg. son de acero muy aceptable para la operación del cubilote.

Los otros paquetes como son llamados por los comerciantes de chatarra, son hechos de pedacería vieja.

Las piezas muy delgadas son objetables, acarrea un excesivo porcentaje de orín y durante su descanso se produce mucho óxido en la superficie, dando como resultado pérdidas excesivas de silicio y manganeso.

Los máximos tamaños de pedacería que pueden ser usados en el cubilote dependen del tamaño de cubilote y del equipo de carga en uso. Hay que tener muy en cuenta estos parámetros con los que se reflejara las condiciones de operación y control errático de la calidad del metal.

2.5 COMBUSTIBLES PARA EL CUBILOTE.

La industria del hierro fundido comenzó en 1642, y se empleó carbón vegetal. En 1833 la antracita desplazó al carbón vegetal y el coque de panal es empleado como combustible en el cubilote.

2.5.1 COQUE PARA FUNDICIÓN.

El coque es el residuo sólido, celular que se obtiene cuando al calentar ciertos carbones bituminosos fuera del contacto con el aire arriba de las temperaturas a las que ocurre la descomposición térmica activa y eso ocurre a 350 y 400 °C, según se eleva la temperatura hasta unos 500 °C, se desprenden gases y la carga se solidifica.

El coque hecho a temperaturas de hasta 600 °C es clasificado como coque de baja temperatura y el producto formado por el calentamiento proseguido hasta 900 °C es llamado coque de alta temperatura.

- Coque de subproductos

Los coques de subproductos son hechos por una rigurosa selección de mezclas de carbono y de volátiles altos, medios y bajos, se añade un porcentaje fino de antracita o coque pulverizado para mejorar el coque.

Además de controlar la calidad y las propiedades de coquización de cada uno de los carbones, deberá darse una pulverización de la carga, de un tamaño de 3,18 mm., para protegerse control la introducción de exquistos de tamaño grueso.

El control de densidad a la carga se obtiene por ajuste del contenido de humedad o tratamiento de aceites. Para un tamaño dado de la carga, el ajuste en el contenido de humedad, el uso es de 2 litros de aceite por tonelada de carga y permitirá el alto grado de uniformidad de densidad de carga.

Los productos volátiles de la carbonización: gas, amoníaco, aceites ligeros y alquitrán son recuperados y procesados para su comercialización.

- Manejo del coque

El coque que sale de la planta ha sido seleccionado en cuanto al tamaño.

- Almacenamiento

Es deseable un almacenamiento bajo cubierta cuando prevalecen las mejores condiciones.

- Significación de las pruebas del coque y sus propiedades

El valor de un coque de fundición es sin duda el comportamiento en el cubilote y esta es su prueba final, se puede distinguir el coque bueno del malo por medio de métodos de laboratorio, se determina las propiedades físicas – químicas del combustible, y se relacionan con el comportamiento térmico y metalúrgico en el cubilote.

En el muestreo el coque tiene una variación tanto en las propiedades físicas como en las químicas. El empleo de procedimientos estándar, basados en control estadístico se ha hecho un tanto menos difícil el muestreo.

El tamaño y distribución del coque que entra en el cubilote es uno de los mayores factores en el control eficiente de la operación del cubilote. Se emplea el método estándar para determinar la resistencia y consiste en dejar caer 4 veces unas 22,68 kilos (50 libras) de la muestra sobre una placa de acero gruesa desde una altura de 9 pies.

El criterio de la resistencia es la habilidad de coque para que llegue a su destino final (el cubilote). Las temperaturas de carbonización excesivas causan fisuras en la estructura del coque y perdida seria de resistencia en las piezas más grandes.

- Dureza

Esta propiedad se mide mecánicamente en una prueba de volteo o tambor en donde se determina la resistencia relativa a la abrasión por la cantidad de productos de degradación.

- Densidad a granel

Esta medición se hace según el método estándar ASTM D 292 según el cual se pesa el coque de dimensión máxima de 127 mm. de una caja de 24 pulgadas por lado. Se acompaña por el análisis granulométrico y contenido de humedad del coque. A veces se ha nivelado el coque en el mismo carro del ferrocarril y teniendo su peso y el volumen del carro se calcula su densidad.

El peso por metro cubico o densidad a granel es una buena relación muy importante, cuando se vigila el tamaño del coque de la fundición del coque bajo normas estrictas su densidad varía entre 385 y 432 kg/m³.

- Porosidad y gravedad específica

La porosidad o espacio intercelular es la relación entre las gravedades específicas aparente y real según se determina en el método para determinación del volumen o espacio intercelular o método estándar.

La gravedad específica aparente es:

$$\text{Peso del coque seco} = \text{Peso del agua desplazada} + (\text{peso del coque húmedo} - \text{peso del coque seco})$$

La gravedad específica verdadera es:

$$\text{Peso del coque seco} = \text{Peso del coque seco} - (\text{peso de la botella} + \text{coque seco} + \text{agua}) - (\text{peso de la botella} + \text{agua})$$

La gravedad específica aparente de los coques de fundición varía de 0,80 a 1,05. En general decrece al crecer el porcentaje de carbón de bajos volátiles, contenido en la mezcla inicial aumenta con la temperatura de carbonización y grado de pulverización de la carga en el horno de coque.

- Pruebas químicas

Las pruebas químicas incluyen generarme los ítems de humedad, materias volátiles, carbono fijo, cenizas, azufre y fosforo.

La relación esta expresada por la siguiente ecuación:

$$T_p = 1510 - 1040 \log (\% \text{ hidrogeno})$$

T_p es la temperatura máxima de coquización en °F y el porcentaje de hidrogeno sobre la base de ceniza libre de humedad.

- Humedad

Se puede obtener muestras de humedad total separadas de materiales originales por un procedimiento especial que protege contra la pérdida de humedad incurrida al preparar la muestra. Las operaciones de secado se llevan a cabo a 105 °C (221 °F).

La humedad es un contaminante físico del coque que reduce el poder calórico del combustible en relación con la cantidad contenida.

- Cenizas

Se define el contenido de cenizas como el residuo de una muestra de un gramo de coque después de ser quemado en una mufla ventilada a una temperatura no mayor a 950 °C (1742°F).

- Carbono fijo

En el coque seco el contenido de carbono fijo es por definición la diferencia entre el 100% y la suma del contenido de ceniza y materiales volátiles:

$$\% \text{ CARBONO FIJO} = 100 - (\% \text{ MATERIALES VOLÁTILES} + \% \text{ CENIZAS})$$

- Fosforo

Este elemento se determina por análisis químico de la ceniza del coque. El fosforo está presente en la ceniza en cantidades que varían alrededor de 0,01% del coque por peso.

- Azufre

Puede ser determinado en el lavado de bomba calorimétrica empleada para el objeto de análisis calorimétricos. El azufre absorbido por el hierro fundido en el cubilote varía casi directamente con el contenido de azufre del coque. La absorción de azufre es generalmente más alta a temperaturas bajas.

Las pruebas han indicado una mayor absorción de azufre en los tamaños menores de coque y la absorción es generalmente mayor en cubilotes profundos.

- Grafito

Los métodos usados generalmente para la estimación del contenido de carbono grafitico del coque incluyen la espectrografía con rayos x, la oxidación en ácido cromo fosfórico y la conductividad eléctrica.

El carbono grafitico encontrado en las superficies del coque proviene del desdoblamiento térmico de descomposición de los productos volátiles de las superficies calientes del coque.

- Inflamabilidad

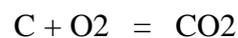
Básicamente este procedimiento consiste en observar con termopares sensibles el comportamiento de la temperatura del coque.

- Combustibilidad

La relación del contenido de carbono en los gases de escape se podría determinar por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Combustibilidad \%} = \frac{\text{CO}_2 + \text{CO}}{\text{CO}_2 + \text{CO} + \text{O}_2} \times 100$$

Ocurren 2 reacciones básicas en el cubilote:



Resumen general de las propiedades de los combustibles de fundición:

- El tamaño de cada pieza deberá ser tan uniforme como es posible entre las mismas.
- La resistencia, dureza, contenido de carbono, contenido de grafito y poder calórico deberán ser elevados.
- La reactividad, cenizas, humedad, materias volátiles, azufre y fosforo deberán ser bajos.

2.6 FUNDENTES EMPLEADOS EN EL CUBILOTE

Un fundente es una sustancia que bajo el punto de fusión y mejora de la fluidez de la escoria producida naturalmente durante la operación de fusión.

Los elementos constituyentes básicos que son fundentes y sus fuentes de origen son:

- **Fuentes primarias.**
 - Cal (Oxido de calcio, CaO) de piedra caliza (Carbonato de Calcio, CaCO₃).
 - Calcita (Carbonato de calcio, CaCO₃).
 - Concha de moluscos (Ostras, Ostiones, etc.).
 - Magnesio (Oxido de magnesio, MgO) de la dolomita (MgCO₃ Y CaCO₃).
- **Fuentes secundarias o suplementarias.**
 - Carbonato de sodio (Na₂CO₃) de la sosa fundida.
 - Trona mineral (sexqui carbonato de sodio).
 - Fluoruro de calcio (CaF₂) del carburo producido comercialmente.

La mayoría de los cubilotes pueden ser escoriados con propiedades con fundentes primarios añadidos en cantidades que varían de 2 a 7% de peso de la carga del metal.

2.6.1 PIEDRA CALIZA

Es una roca natural que contiene principalmente carbonato de calcio. La caliza buena puede ser contaminada con lodo o arena o puede contener ocasionalmente trozos de pizarra los cuales son altos en sílice.

La calcita es una forma mineral pura de carbonato de calcio y puede ser utilizada como fundente. La aragonita es también un mineral puro.

2.6.2 DOLOMITA

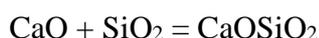
Es una roca natural muy similar a la piedra caliza. En algunas de las escorias altamente básicas se prefiere la piedra caliza ya que se tiene suficiente magnesio de los refractarios.

2.6.3 ACCION DE LA CALIZA Y LA DOLOMITA

Cuando la caliza o la dolomita se calientan a una temperatura de 800 °C comienzan a disociarse o calcinarse para formar oxido de calcio y/o magnesio (CaO – MgO) desprendiéndose anhídrido carbónico (CO₂) así:



La reacción es endotérmica:



2.7 RÉGIMEN DE DESCOMPOSICIÓN

La calcinación comienza en la superficie de la pieza de piedra y procede hacia el centro en una zona muy angosta, el límite de fase entre CaCO₃ y CaO depende de la temperatura.

La dolomita que contiene alrededor del 45,5% de carbonato de magnesio comienza a descomponerse a 350 °C (662°F).

2.8 COMPORTAMIENTO DE LOS FUNDENTES EN EL CUBILOTE

Las piedras dolomíticas porosas o de alto calcio de peso ligero, no solo se descomponen a oxido más rápidamente que los tipos más densos. Así pues la piedra más porosa con la de menor tamaño y más rápida descomposición, la acción del fundente tiene lugar en regiones más altas del cubilote, las reacciones tienen lugar en un régimen más rápido. Siempre se pierde fundente en mayor o menor cantidad en forma de polvo de cal.

Por lo tanto es evidente que para mejores resultados deberá controlarse el tamaño de la piedra fundente, profundidad de la carga del cubilote y la temperatura y las diferentes alturas hasta la zona de fusión.

- Carbonato de sodio

El carbonato de sodio o sosa es un fundente fuertemente básico y un licuado efectivo de la escoria. Las escorias que contienen concentraciones altas de sodio tienen una capacidad de sulfurante potencial, pero la volatilidad de los compuestos de sodio y el ataque de los refractarios ácidos hace difícil retener tales concentraciones en la escoria final de un cubilote ácido.

- Fuentes de carbonato de sodio

La sosa calcinada y fundida, tal como se fabrica para la industria química, es un producto en polvo, para uso del cubilote es necesario hacerla compacta.

Otra fuente de óxido de sodio es la trona mineral natural, que consiste esencialmente de hexafluorocarbonato de sodio y agua de cristalización combinada.

- Espato flúor

Es el flúor de calcio mineral (CaF_2). El contenido de fluoruro de calcio es superior al 85%. El espato flúor es un fuerte fundente básico y licuado de la escoria. Funde a $1330\text{ }^\circ\text{C}$ ($2426\text{ }^\circ\text{F}$) que es una temperatura que prevalece en una zona arriba de la zona de fusión normal del cubilote.

- Fundentes de marca

Existe un cierto número de fundentes de marca que son vendidos para mejorar las condiciones de la escoria y el funcionamiento del cubilote. Cuando los cubilotes se operan con especial cuidado en la que toca a buena práctica y principios adecuados en la aplicación de estos fundentes se obtienen mejores resultados.

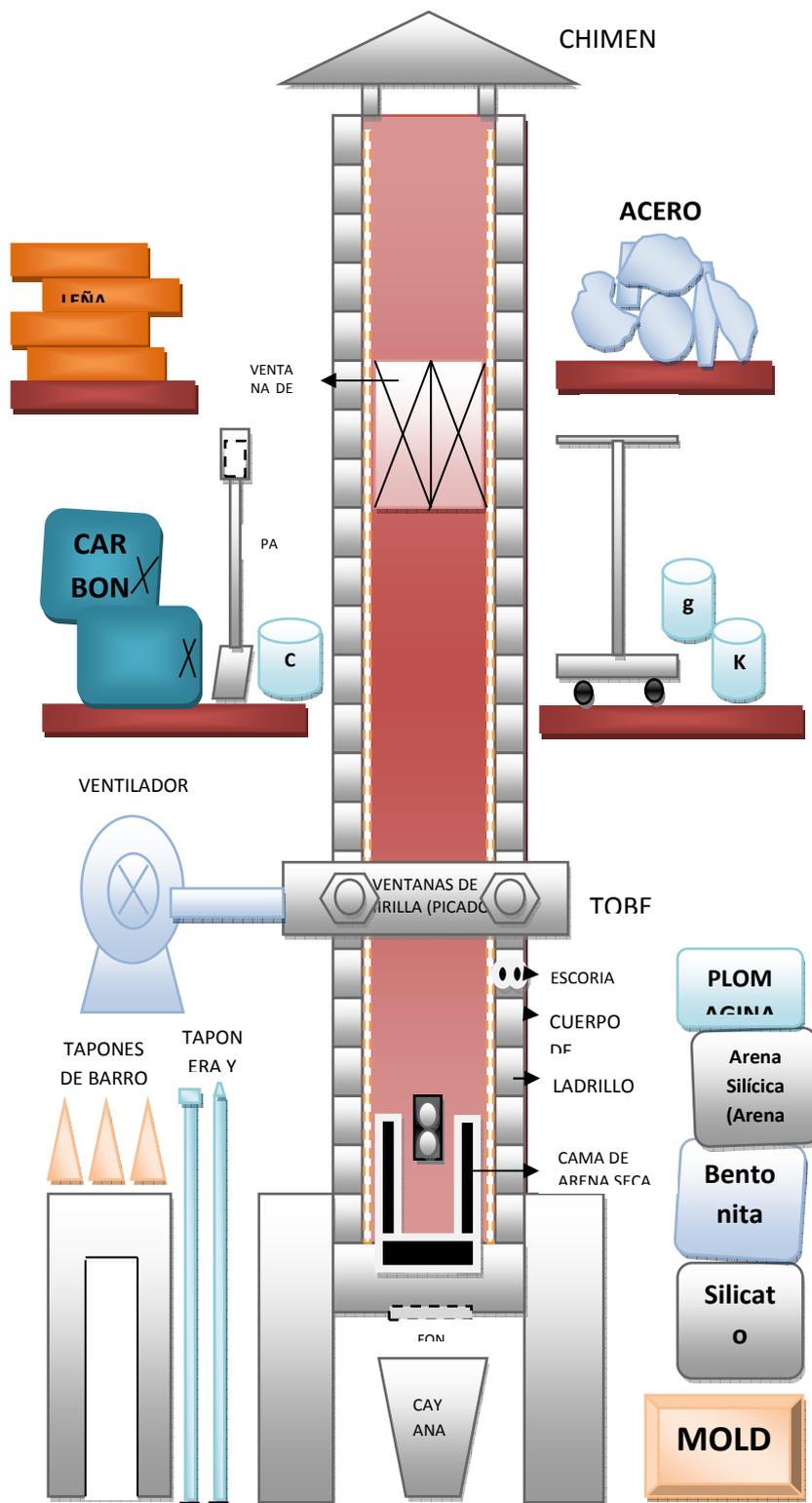


Figura 18 Diagrama de Cubilote.

Fuente: (Proaño, Investigación Directa)

CAPÍTULO III: CONTROL METALURGICO EN EL CUBILOTE

3.1 QUÍMICA DE LA FUNDICION EN EL CUBILOTE

3.1.1 COMPOSICION DEL HIERRO FUNDIDO

A tratar tiene que ser del nivel más bajo posible. El magnesio es también un activo agente desulfurante y su primer efecto es el reducir el azufre hasta un nivel de 0,010%. Hasta que el azufre no queda reducido a un al indicado, el magnesio ejerce poca influencia sobre la formación del grafito. Para la formación del sulfuro de magnesio 0,1% de azufre requiere 0,075% de magnesio.

Aparte del azufre, la composición preferente del hierro base se encuentra entre los límites siguientes:

Carbono total 3,4% - 4,2%

Silicio 1,8% - 2,5%

Manganeso 0,4% - máximo

Fosforo 0,2% - máximo

Si bien el manganeso y el fosforo no evitan la formación de nódulos de grafito, reduce la ductibilidad muy considerablemente y como que esta propiedad es una característica muy importante del hierro colado nodular, es esencial mantener estos dos elementos al nivel más bajo posible.

Para entender el comportamiento del hierro fundido, y las características que le imparten los elementos de aleación, conviene recordar que es un hierro fundido, como se constituye y como se incorporan los elementos de aleación.

Actualmente es difícil definir qué elementos son impurezas, ya que dependiendo de las características que se desean impartir al hierro fundido, será la cantidad de cada elemento que se incorpore a este la que dará ciertas características.

Carbono (C)

- Dureza.- El contenido de carbono es directamente proporcional a la dureza.
- Resistencia a la tracción.- El contenido de carbono aumenta la resistencia a la tracción directamente proporcional hasta contenidos de 0.7 % C.- con contenidos mayores aumenta, pero en menor grado.
- Limite de fluencia.- Aumenta con respecto al aumento del contenido de carbono.
- Reducción de área.- Disminuye con respecto al aumento del contenido de carbono.
- Alargamiento.- Disminuye con el aumento de carbono.
- Choque charpy.- A mayor contenido de carbono, menor es su resistencia.
- Soldabilidad.- Disminuye en proporción inversa al contenido de carbono.

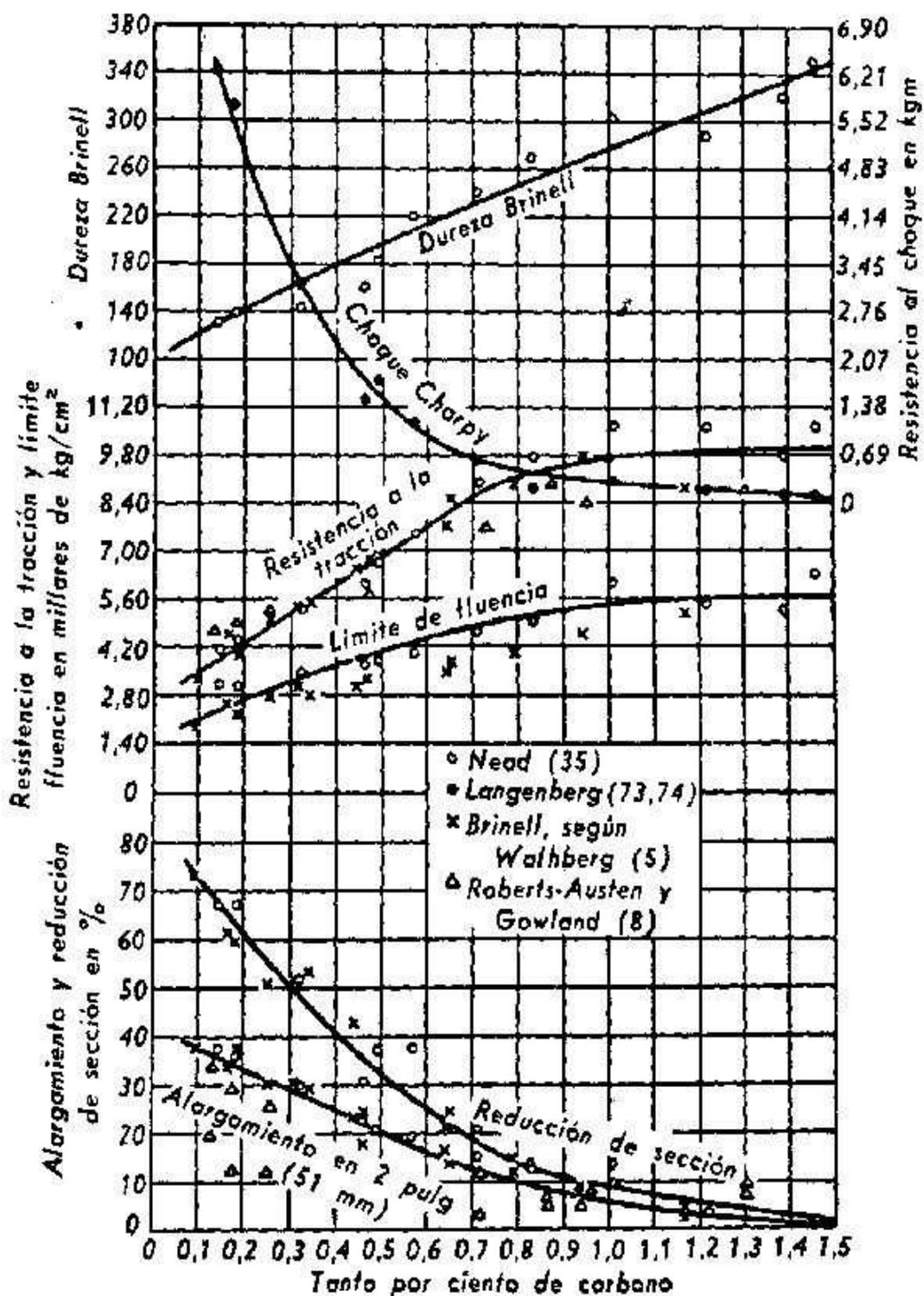


Figura 19 Propiedades de los hierros vs. Contenido de carbono

Fuente: (Nacional, Fundicion , 2012)

Azufre (S)

El azufre es uno de los elementos considerado generalmente como impureza en la mayor parte de los hierros fundidos, sin embargo hay fundiciones que requieren azufre para impartir determinadas características a este.

El azufre tiene afinidad por el hierro y forma el sulfuro de hierro, el cual es soluble en el hierro líquido, sin embargo tiene una solubilidad limitada en el estado sólido; por lo tanto durante la cristalización en la solidificación del hierro fundido, el sulfuro de hierro se segrega y queda atrapado en los límites de grano.

El sulfuro de hierro tiene un punto de fusión de 1,195 ° C, y el hierro con el sulfuro de hierro, forman un eutéctico de punto de fusión mas bajo de 988 ° C, y en presencia de oxígeno forma oxisulfuros, que funden a temperaturas todavía más bajas; estas temperaturas son por debajo de las temperaturas que se emplean para laminar y/o forjar en caliente el acero, por lo tanto cuando calentamos un hierro fundido para deformarlo en caliente, existe una fusión en los límites de grano de un hierro fundido que tenga sulfuro de hierro y al intentar deformarlo, el material pierde cohesión (se rompe).

Para evitar que el azufre forme sulfuro de hierro, se agrega manganeso.- El azufre tiene mayor afinidad por el manganeso que por el hierro (por tener una variación de energía ΔG^0 para la formación del sulfuro de manganeso, menor que la del sulfuro de hierro), de tal forma que en vez de formar sulfuro de hierro formara sulfuro de manganeso.

El sulfuro de manganeso en el hierro líquido, es un precipitado de menor densidad (4 gr/c.c.) que el hierro líquido y por lo tanto flota en el proceso hacia a la escoria.- Es conveniente realizar prácticas de desulfuración en el proceso de fundición, para atrapar la mayor cantidad de sulfuro de manganeso en la escoria, sin embargo el sulfuro de manganeso que quede atrapado en el hierro fundido al solidificar, formara una inclusión sólida de alto punto de fusión (1,620 ° C) la cual es plástica, de tal forma que el hierro podrá ser deformado.

Estas inclusiones de sulfuro de manganeso, si bien permiten la deformación del hierro fundido, también son una falta de cohesión (continuidad del mismo material) en la masa de este, de tal forma que una cantidad alta de estas provoca baja resistencia a la tracción y pérdida de propiedades.

Pero la presencia de muchas inclusiones pequeñas de sulfuro de manganeso, homogéneamente distribuidas en la masa del hierro fundido, favorece el trabajo de la herramienta, y hacen que la viruta salte y rompa con facilidad.

El contenido de azufre para los hierros fundidos de alta o fácil maquinabilidad es de 0.04 a 0.35 % S.

Manganeso (Mn)

El manganeso además de formar sulfuros de manganeso, también es un elemento que se agrega en el proceso de fundición como desoxidante. El oxígeno se combina con el manganeso formando óxidos de manganeso, que son precipitados de menor densidad (5.5 gr/c.c.) que el hierro fundido y de alto punto de fusión 1,785 °c., los cuales viajarán a la escoria y serán retenidos en ella, bajo ciertas condiciones fisicoquímicas.

El manganeso tiene una mayor tendencia a ser soluble en la ferrita que a formar carburos, esto depende del contenido de carbono, cuando el manganeso está en aceros de bajo contenido de carbono, siempre estará disuelto en la ferrita, y con contenidos mayores de carbono empezará a tener tendencia a formar carburos.

De hecho todos los elementos de aleación que son solubles en la ferrita (Fig. 2), aumentan la dureza y resistencia, siendo el fósforo, el manganeso y el níquel los de mayor influencia.

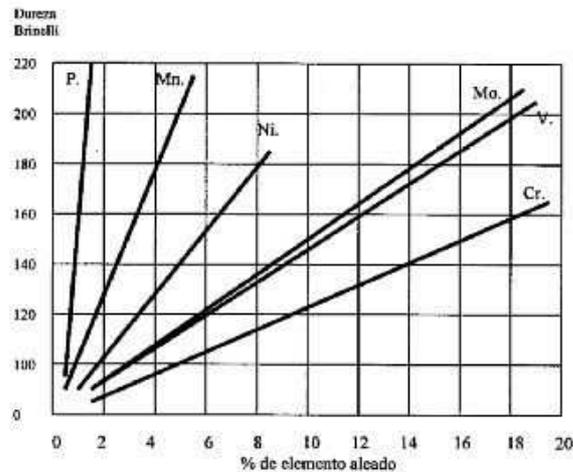


Figura 20 Influencia de los elementos de aleación en la dureza

Fuente: (Nacional, Fundicion , 2012)

La influencia del manganeso en la resistencia a la tracción de los hierros al carbono normalizados, aproximadamente es, que ocho partes de manganeso hacen el mismo efecto, que una parte de carbono; esto puede variar de 6 a 14 en la práctica.

En la siguiente gráfica, se puede observar la variación de resistencia que se tiene con diversos hierros al carbono al variar el porcentaje de manganeso.

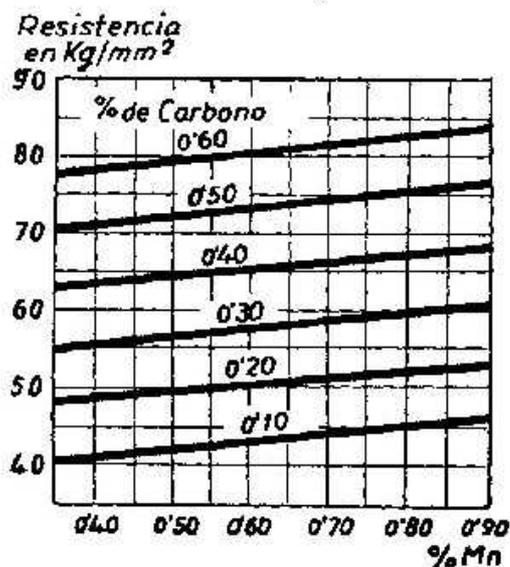


Figura 21 Influencia del manganeso en la resistencia

Fuente: (Nacional, Fundicion , 2012)

Generalmente se puede considerar, en los hierros al carbono normalizados, que cada 10 puntos de manganeso (0.10 % Mn) aumentan la resistencia a la tracción 1.55 kg/mm².

El manganeso eleva el límite elástico, presenta una mayor influencia en el factor de templabilidad, ya que al aumentar el contenido de manganeso, se disminuye la velocidad crítica de temple.

El contenido de manganeso varía de acuerdo al tipo de hierro.

Tabla 7 Clasificación según el contenido de manganeso

Tipo de hierro	% Mn
Construcción y gral. (serie10xx)	0.30 a 0.90 %
Alta resistencia serie (15xx)	0.80 a 1.65 %
serie (13xx)	0.80 a 1.90 %
Aceros resulfurados	0.60 a 1.65 %
Indeformables	1.0 a 3.20 %
Austeníticos	12.0 a 14.0 %
Inoxidables	1.0 a 2.0 %

Fuente: (Nacional, Fundicion , 2012)

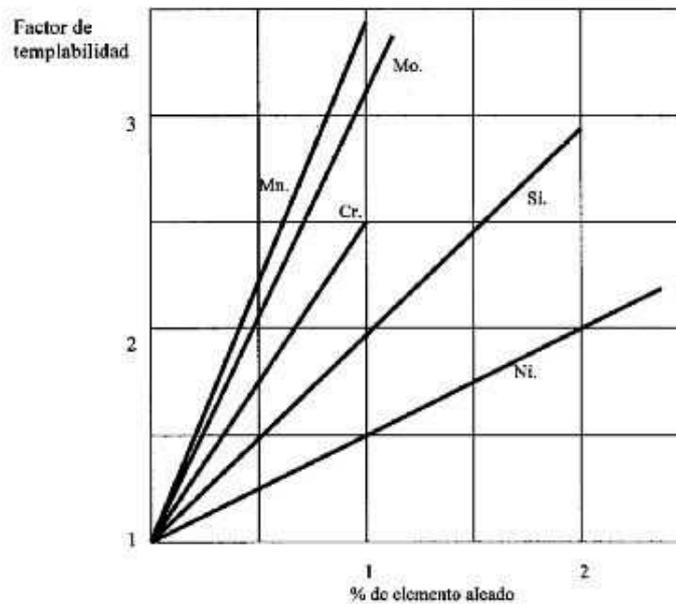


Figura 22 Factores de templabilidad

Fuente: (Nacional, Fundicion , 2012)

Fosforo (P)

El fósforo es un elemento que es soluble en la ferrita y con contenidos superiores a 0.08 % en el hierro, produce fragilidad, por su tendencia a engrosar el grano y a disminuir la plasticidad de la ferrita.

El fósforo ejerce una influencia muy fuerte sobre la resistencia de los hierros, aunque prácticamente se observa poco debido a los porcentajes bajos de fósforo en los aceros.- Sin embargo cuando el contenido de fósforo es alto, su influencia es alta.

El fósforo como elemento de adición se emplea para la fabricación de hierros de alta maquinabilidad, con contenidos de 0.06 a 0.12 %. Como el fósforo disminuye la plasticidad de la ferrita, mejora la maquinabilidad de los aceros de bajo contenido de carbono, ya que la viruta salta y rompe fácilmente.

La soldabilidad de los hierros disminuye en proporción inversa al contenido de fósforo.

Silicio (Si)

El silicio es un elemento que se adiciona al hierro como desoxidante, y es un desoxidante más energético que el manganeso. El producto de la reacción de desoxidación es el óxido de silicio (SiO_2), que es un precipitado que tiene una densidad de 2.4 gr/cc y una temperatura de fusión de 1,710 °C., este precipitado al igual; que el óxido de manganeso o el sulfuro de manganeso, debe viajar a la escoria y quedar retenido en ella bajo condiciones fisicoquímicas adecuadas, ya que de otra forma se incorporara como inclusión en el hierro sólido.

Contenidos de silicio de 1 a 1.5 % proporciona al hierro alta resistencia al desgaste y en proporciones de 1 a 5 % tienen alta resistividad, una buena permeabilidad magnética y una fuerza cohesiva débil, lo que permite que las pérdidas por histéresis sean pequeñas.

Los hierros al silicio tienen alta resistencia a la oxidación en caliente, por la capa superficial que se forma, que presenta una mayor concentración de silicio que en el interior de la pieza, (puede llegar al 50 % mayor) y el mismo efecto se tiene ante el ataque químico de los ácidos.

El contenido de silicio varía de acuerdo al tipo de acero.

Tabla 8 Clasificación según el contenido de manganeso

Tipo de hierro	% Si
Construcción y gral. (serie10xx)	0.03 a 0.35%
Aceros especiales.	0.20 a 0.35 %
Aceros de alta elasticidad	1.0 a 2.0 %
Chapa magnética	1.0 a 5.0 %
Inoxidables	0.5 a 2.0 %

Fuente: (Nacional, Fundicion , 2012)

Aluminio (Al)

El aluminio se emplea principalmente como un elemento desoxidante, y de los desoxidantes por precipitación es el más activo, el producto de la desoxidación es el Al_2O_3 , tiene densidad de 4.0 gr/c.c. y una temperatura de fusión de 2,050 ° C.; Al igual que los anteriores precipitados de la reacción de desoxidación en el proceso de fundición, se deberán crear condiciones químicas y físicas, adecuadas para atrapar estos productos en la escoria.

Generalmente los hierros aleados contienen aluminio en pequeñas cantidades, porque se requiere de un hierro perfectamente desoxidado y la mejor desoxidación por precipitación se obtiene con la adición de aluminio, las partículas de alúmina también actúan como centros de cristalización durante la solidificación del hierro, con lo que se tiene hierros de grano fino.

El aluminio mejora mucho la resistencia a la corrosión del acero al aire ambiente y en el agua de mar; contenido de aluminio para diferentes hierros.

Tabla 9 Clasificación según el contenido de manganeso

Tipo de acero	% Al
Hierros especiales	0.020 % a 0.40 %
Hierros para nitruración.	1.0 a 1.5 %
Hierros para construcción de imanes	hasta 14 %

Fuente: (Nacional, Fundicion , 2012)

Cromo (Cr)

El cromo se considera como elemento de aleación cuando el contenido en un acero es de 0.25 % o mayor, el cromo es uno de los elementos más empleados en la fabricación de hierros aleados y se emplea en aceros de construcción, en los aceros de herramientas, de cementación, de nitruración, de alta elasticidad e indeformables, en inoxidable, de resistencia en caliente y alta templabilidad.

Imparte al acero aumento de la dureza al formar carburos y la resistencia a la tracción aumenta al igual que el límite elástico, la tenacidad, limita el crecimiento de grano, retarda la decarburación superficial, mejora la templabilidad, impide la deformación en el temple, aumenta la resistencia al desgaste y la inoxidable.

Las propiedades que imparte en la templabilidad, dependen de la temperatura de temple y de la duración del calentamiento, ya que si la temperatura no es lo suficientemente elevada o la permanencia es corta, quedarán carburos sin disolver y facilitan la transformación de hierro gamma en alfa, y por lo tanto reduce la templabilidad del acero.

Tabla 10 Contenido de cromo por tipo de acero

Tipo de acero	% Cr.
Aceros de construcción y alta resistencia mecánica. para cementación	0.50 a 1.50 % Cr. y 0.10 a 0.45 % C aleados con Ni y Mo.
Aceros para herramienta	0.30 a 1.5 % C. y 0.70 a 1.50 % C aleados con Ni y Mo.
Aceros indeformables	5.0 a 12 % Cr.
Aceros inoxidable	8 a 25 %

Fuente: (Nacional, Fundición , 2012)

Níquel (Ni)

Para que el níquel sea considerado como un elemento de aleación debe de estar contenido en el hierro en 0.50 %.

El níquel es soluble en la ferrita y la fortalece, es decir mejora notablemente la tenacidad de los hierros, aumenta la resistencia y el límite elástico.

El níquel evita el crecimiento de grano de los aceros en el calentamiento de los tratamientos térmicos, y por eso conservan la tenacidad aunque se sometan a temperaturas demasiado elevadas, aumenta también la resistencia a la fatiga hasta en un 25 %. El níquel es empleado en la fabricación de aceros inoxidable y de resistencia a altas temperaturas, en conjunto con el cromo con porcentajes de 8 a 20 % se obtienen aceros austeníticos a la temperatura ambiente y por lo tanto no se pueden temprar.

Los aceros con 0.10 a 0.60 % de carbono y de 36.0 a 40.0 % de níquel, tienen un coeficiente de dilatación térmica casi nula, entre 0 °C. y 200 °C.

El níquel, se emplea para la producción de aceros de calidad de alta templabilidad y gran dureza al combinarlo con cromo y molibdeno.- Para aceros que se destinan a la cementación, proporciona a la capa cementada, características de un acero de autotemple, que templea con enfriamiento al aire, evitando problemas de grietas y deformaciones.

Contenido de níquel para diferentes aplicaciones de aceros.

Tabla 11 Contenido de níquel por tipo de acero

Tipo de acero	% Ni.
Aceros baja aleación.	0.20 a 3.75 % Ni + Cr. y/o Mo.
Aceros para herramientas.	1.25 a 3.75 % Ni + Cr y /o Mo, V
Aceros inoxidables.	8.0 % a 25.0 % Ni

Fuente: (Nacional, Fundicion , 2012)

Molibdeno (Mo)

Se considera como elemento de aleación, cuando el contenido de Mo es superior a 0.1 %

El molibdeno mejora la resistencia a la tracción, límite elástico y dureza de los aceros, manteniendo los mismos valores a temperaturas relativamente elevadas, esto lo logra porque fortalece a la ferrita con la formación de carburos muy duros.- También presenta resistencia a la corrosión, aunque en menor grado que el cromo.

El molibdeno generalmente se acompaña con cromo, para la fabricación de aceros de alta templabilidad, aceros inoxidable y refractarios, para la construcción de tuberías de refinerías de petróleo que se calientan hasta 300 grados. Para la fabricación de aceros rápidos el molibdeno puede substituir al tungsteno en proporción de 2 de molibdeno por una de tungsteno y para aceros de cementación se adiciona entre 0.15 a 0.40 %, ya que favorece la carburación superficial.

La templabilidad y en aceros cromo níquel, disminuye o elimina la fragilidad krupp, que se presenta cuando los aceros son revenidos en las zonas de 450 a 550 ° C. El molibdeno aumenta la resistencia de los aceros en caliente, se disuelve en la ferrita, pero tiene mayor tendencia a formar carburos, es estabilizador de carburos complejos aun a altas temperaturas.

Contenido de molibdeno para diferentes aplicaciones.

Tabla 12 Contenido de Molibdeno por tipo de acero

Tipos de acero.	% Mo
Aceros Mn- Mo., Cr-Mo, Cr-Ni-Mo	0.15 a 0.40 %
Aceros rápidos.	6 a 10 %
Acero para construcciones de equipo expuesto a temp. de 100 a 300 oc.	0.50 a 6.0 %

Fuente: (Nacional, Fundicion , 2012)

Cobre (Cu)

El cobre mejora la resistencia a la corrosión en aceros al aire (en tierra o en agua, no ofrece protección), eleva la resistencia a la tracción y aumenta el límite elástico, aumenta la templabilidad y la dureza.

Los aceros al cobre, se emplean para la fabricación de construcciones metálicas expuestas a la intemperie, en proporciones de 0.2 a 0.6 % de cobre.

Boro (B)

La adición de pequeñas cantidades de boro (de 0.001 a 0.006 %), mejora notablemente la templabilidad, siendo más efectivo que cualquiera de los elementos de aleación.

Se considera que mejora la templabilidad con una eficiencia 50 veces mayor que la del molibdeno y la del cromo, 100 veces más que la del manganeso y 500 veces mayor que la del níquel.

Para adicionar el boro en el proceso de aceración, se deberá de considerar que es un elemento desoxidante enérgico, por lo que se oxida muy fácilmente y tiene gran avidez por el nitrógeno, por lo que no es conveniente añadirlo al baño con gases en disolución, ya que en ese caso se combinara con el oxígeno y con el nitrógeno, y en esas condiciones al solidificar el acero una parte del boro añadido no tiene influencia sobre la templabilidad, solo la parte que este libre sin combinarse mejorara la templabilidad.

Calcio (Ca)

El calcio es un elemento que se agrega al hierro líquido para mejorar su colabilidad y modificar las inclusiones, prácticamente no tiene una aplicación cuantificable en las propiedades de los hierros, sin embargo los hierros tratados adecuadamente con calcio en el proceso de fundición, presentan una mejor calidad, por su limpieza y grado de desoxidación.

Nitrógeno (N)

El nitrógeno en muy pequeñas cantidades aumenta la dureza y resistencia de los aceros, pero en porcentajes mayores, tiene una influencia muy nociva, dándole al acero fragilidad y reduce su ductilidad.

El nitrógeno se emplea en el proceso de nitruración, que es un tratamiento superficial para formar nitruros que dan una gran dureza superficial al acero.

El contenido de nitrógeno en la soldabilidad de los aceros, influye inversamente proporcional a su contenido.

Estaño (Sn)

El estaño aumenta la fragilidad del hierro y el acero.

Arsénico (As)

Con contenidos hasta de 1.0 %, aumenta la resistencia y el límite elástico, disminuyendo la estricción y la resiliencia, con contenidos mayores de 0.8 %, aumenta el envejecimiento del acero y a partir de 0.25 % disminuye la soldabilidad.

Antimonio (Sb)

El antimonio produce un aumento en la fragilidad del acero a partir de 0.50 %.

Tungsteno o wolframio (W)

Se considera como elemento de aleación en un acero cuando se presenta con 0.30 % o más, tiene una influencia en el temple, de hecho con porcentajes pequeños aumenta la templabilidad, pero conforme aumenta su contenido forma carburos que disminuyen la templabilidad, si no se calienta a altas temperaturas.

Los carburos que forma el wolframio son muy estables y de gran dureza que se mantiene a elevadas temperatura (hasta 600 ° C)

Generalmente:

- a) Aceros rápidos - 15 al 20 %
- b) Resistentes a altas temperaturas (válvulas de automóvil). del 2 al 16 %
- c) Herramientas, aleado con otros elementos e imanes – 6 %
- d) También para aceros inoxidables Cr-Ni, mantiene las propiedades mecánicas a elevadas temperaturas.

Vanadio (V)

El vanadio forma carburos y estos disminuyen la templabilidad del acero, si la temperatura es suficientemente elevada, los carburos se diluyen y la templabilidad es por lo menos igual a los aceros al carbono.

El vanadio tiene gran influencia en el crecimiento del límite de grano, es un afinador de grano ya que influye retardando el crecimiento de grano, produce una mejora en la tenacidad.

Generalmente:

Para muelles, indeformables para troqueles y matrices etc. - 0.15 – 0.25 %

Aceros rápidos- 0.5 a 1.0 %

Titanio (Ti)

El titanio para considerarlo como elemento de aleación, debe de tener un contenido mínimo de 0.30 %, el titanio disminuye la templabilidad del acero por formar carburos que disminuyen el porcentaje de carbono de la austenita, si el porcentaje de titanio llega a 4.0 % o es superior, este acero no llega a templarse totalmente.

Con contenidos de 0.1 a 0.2 %, afina el grano de los aceros y la temperatura a la que empiezan a crecer los granos es más elevada que los elementos calmados al aluminio. Con pequeñas cantidades de titanio se eleva el límite elástico de los aceros,

tiene gran afinidad por el oxígeno y por el nitrógeno, por lo que muchas veces es empleado como desnitruante.

El titanio estabiliza el carbono, introduciendo una cantidad de 4 veces el contenido de este.- Esta propiedad es la que se utiliza en la fabricación de aceros inoxidable para evitar la corrosión intergranular, y para aceros insensibles al envejecimiento después del laminado en frío.

Plomo (Pb)

El plomo es prácticamente insoluble en el acero, de tal forma que cuando se adiciona queda formando bolsas que hacen al acero quebradizo, por la falta de continuidad de la masa de acero.- Cuando los porcentajes son menores de 0.20 %, puede quedar perfectamente distribuido en la masa del acero, es importante hacer notar que el plomo no solo facilita la maquinabilidad por la falta de continuidad de la masa, sino que también sirve como lubricante de la herramienta.

El contenido de plomo está entre 0.10 a 0.25 % y en conjunto con el azufre y fósforo, forman el acero de fácil maquinado, que permite utilizar altas velocidades de corte

Niobio (Nb)

El niobio eleva la temperatura de resistencia en caliente, con aleaciones de 2 % se consigue elevar la resistencia a 500 grados de un acero de 0.13 % c. a 50 kg/mm².

3.1.2 LINGOTE DE HIERRO FUNDIDO

El lingote de hierro es un producto metálico obtenido de la fundición de minerales de hierro en un horno a altas temperaturas. El término lingote deriva de la forma característica en que es vaciado para su enfriamiento. Por lo general en nuestro país, se utiliza todavía, el vaciado del metal procedente de los altos horno en moldes de arena. Los moldes que están llenos, son enfriados por medio de un roció de agua.

Una vez que la pieza está completamente enfriada y ha tomado la forma del molde, se procede a volcar el molde y la pieza solida cae.

3.2 FUNCIONAMIENTO DEL CUBILOTE

El cubilote, es básicamente una torre de acero, por dentro está recubierta de ladrillo refractario. En la parte de abajo, el horno está formado por el crisol o solera por el cual se sangra el hierro fundido y la escoria. Por encima de la solera se encuentra el etalaje. Es en el etalaje, el cual posee un diámetro mayor, la zona donde combustión y por ende la zona más caliente del horno.

El etalaje es enfriado con agua para evitar el desgaste del revestimiento. Por lo general las toberas se encuentran espaciadas regularmente alrededor de la circunferencia de la parte baja del etalaje y estas conducen al aire soplado hacia el interior del horno bajo la zona de combustión, partiendo del ducto revestido que circunda el exterior del horno.

Comúnmente, la salida de la escoria se encuentra localizada entre 76 y 102 cm. bajo las toberas, y el orificio de la sangría se encuentra colocado ligeramente arriba del fondo del crisol.

En la parte superior del horno se encuentra la tolva de carga y las campanas de carga. La carga que se fundirá, se transporta desde el nivel del piso y elevada por medio de una banda transportadora y volcada a la tolva. Dicha carga cae al interior del horno.

El aire que es inyectado al interior del horno y es utilizado en el proceso pasa a través de un ducto alimentador y de las toberas bajo una presión de 1 a 2 kg/cm², por medio de maquinas sopladoras. De esto es que deriva el nombre de horno de soplado.

El horno básicamente está equipado de 3 o más estufas, cada una de estas tiene una cámara de combustión y un panal de ladrillo refractario. Los gases de combustión que son utilizados en fundición, poseen un poder calórico que oscila entre las 640 a 715 calorías por metro cubico y son tomadas de la parte alta del tragante y pasan por medio del ducto descendente del equipo de limpieza, donde se elimina el polvo. Los gases que están calientes suben a la parte alta de la cámara de la estufa, luego pasan hacia abajo por los ductos correspondientes.

Este aire soplado absorbe el calor de los ladrillos refractarios, y entra el aire caliente. Entretanto el aire de soplado está siendo calentado, los ladrillos refractarios se calientan por la combustión de los gases en el horno.

La carga promedio que ingresa en el alto horno es de aproximadamente 2 toneladas de hierro para fundir, mas una tonelada de carbón de coque y media tonelada de piedra caliza. Para esta carga es necesario contar con, por lo menos, cuatro toneladas y media de aire para la producción de una tonelada de arrabio. Esta cantidad de carga dada pasa por el horno en aproximadamente 9 horas continuas. El hierro fundición es sangrado y vertido cada 4 horas aproximadamente. La escoria que se obtiene, que es una mezcla de silicato de aluminio y calcio, es sangrada entre cuatro y cinco veces por cada carga.

3.2.1 CONTROL QUIMICO DENTRO DEL CUBILOTE

El hierro es el elemento fundamental de toda fundición, llega a estar presente hasta el 90% en cada carga, a su vez contiene fosforo, manganeso, silicio, azufre y carbono.

A continuación se detallara cada uno de estos elementos:

Fosforo (P)

Probablemente, todos los fosfatos metálicos, son disueltos en la fundición a fosforo en el metal liquido. Es por esto que el contenido de fosforo del arrabio esté determinado por el contenido de fosforo de los minerales. Las piezas de fundición varían su contenido de fosforo hasta en un 0.9%. A pesar que el contenido de fosforo en una carga no se puede reducir en el alto horno, se le puede adicionar fosfatos en forma de piedra para elevar su contenido de fosforo.

Manganeso (Mn)

El contenido de manganeso presente en las piezas de fundición está relacionado directamente con el material cargado en el cubilote. La mayoría de minerales de

hierro contienen una cantidad considerable de manganeso, pudiendo ser de hasta 1,25% en las piezas estándar y 2,00% en piezas de hierro plateado.

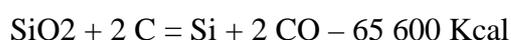
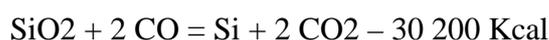
Azufre (S)

El azufre es considerado como una contaminación en el arrabio, que tiene origen en el coque quemado en el cubilote. El contenido permisible en la pieza de fundición es de 0,05%. Para mantener una cantidad baja del nivel de azufre es aconsejable seleccionar el coque apropiado, volúmenes elevados de escoria, escorias básicas y temperaturas elevadas de operación del cubilote.

Silicio (Si)

Este elemento encontrado en las piezas de fundición resulta de la reducción del sílice que se encuentra presente en los minerales de hierro y en las cenizas del coque. La reducción de sílice por silicio se consume por el carbono, y el contenido de silicio reducido es directamente proporcional con el calor disponible para conducir la ecuación a su fin, esto quiere decir, cuanto mayor temperatura mayor será el contenido de silicio reducido.

A continuación se presenta las ecuaciones químicas para este proceso:



En las tres ecuaciones se puede notar que el silicio puede ser reducido por el monóxido de carbono para formar silicio metálico y bióxido de carbono.

Carbono (C)

El carbono junto con el hierro es el elemento más importante que se encuentra en el arrabio. Bajo condiciones óptimas de operación del cubilote, donde se dispone de suficiente coque y a temperaturas adecuadas, prácticamente todo el arrabio se encontrara equilibrado en su composición.

Adicional a esto, muchos de los factores de operación tales como volumen y temperatura del aire de soplado, la relación existente entre el coque y el aire, las diversas materias primas, el volumen y composición de la escoria, deben ser cuidadosamente regulados, con el fin de obtener el control del silicio que se requiere, el cual es en primera instancia, el objetivo principal de la combinación de estas materias primas.

3.3 CLASIFICACIÓN DEL LINGOTE DE ARRABIO

La especificación de la ASTM (Especificación, designación A43-49T) enlista ocho grados estándar para lingote de arrabio, diferenciándose todos excepto el grado plateado o silvery, en su contenido de fósforo. Teniendo así la siguiente tabla:

Tabla 13 Lingotes de arabio

CLAVE	DESIGNACION	CONTENIDO DE FOSFORO %
LP	Bajo fósforo	0.035 máx.
LPi	Bajo fósforo intermedio	0.036 a 0.075
Bes	Bessemer	0.076 a 0.100
M	Maleable	0.101 a 0.300
Fl	Fundición – Norte, bajo fósforo	0.301 a 0.500
Fh	Fundición – Norte, alto fósforo	0.501 a 0.700
Fs	Fundición – Sur	0.701 a 0.900
S	Plateado (Silvery)	0.300 máx.

Fuente: (Nacional, Fundicion , 2012)

Todos estos grados de contenido de fósforo representan en el arrabio diferentes usos en la industria, aunque la mayoría de él es absorbido en la industria del hierro gris, cuando se desean contenidos de fósforo menores a 0.3%.

3.3.1 GRADOS ESPECIALES

Al igual que los grados estándar son estudiados en el lingote de arrabio, los grados especiales también. Estos son determinados generalmente a un sobreprecio. En la adición, la mayoría de hierros especiales representan solamente un pequeño porcentaje del volumen ofrecido en los grados estándar. Se necesitarán propiedades específicas en la pieza, lo más recomendable es llegar a un mutuo acuerdo entre el vendedor y el comprador.

3.4 ALEACIONES EMPLEADAS EN LA FUSION EN EL CUBILOTE

Las ferroaleaciones son empleadas frecuentemente en clases de hierro colado consideradas como hierros aleados; su uso ha aumentado de forma permanente durante los últimos años. Las aleaciones se emplean en todos los grados de metal que se desea obtener como puede ser el hierro gris simple, el hierro maleable y hierro nodular.

Los hierros colados son por lo general hierro que contienen suficiente cantidad de elementos con los que puede poseer diferentes propiedades, así, los hierros colados níquel – cromo poseen un efecto de dureza y resistencia superior; los hierros colados que poseen cantidades suficientes de silicio y manganeso poseen propiedades corrientes.

3.4.1 ALEACIONES PARA FUSIÓN EN EL CUBILOTE

Las ferroaleaciones son usadas como parte de la carga del cubilote, donde se puede agregar además elementos tales como níquel, cromo, molibdeno, cobre, entre otros, los cuales son utilizados para modificar las propiedades del hierro.

- **Concentración**

En las ferroaleaciones los elementos empleados para adición en la carga pueden variar, tales como los hierros plateados que contienen de 6 a 17% de silicio o los hierros spiegel con manganeso que va desde 16 a 30%, y los materiales altamente concentrados con níquel electrolítico y pedacería de cobre.

Es necesario que la planta de fundición se provea de básculas precisas de baja capacidad para tales materiales, que sean lo suficientemente sensibles para pesar con precisión pequeñas cantidades de elementos.

- **Forma física**

Las piezas de ferroaleaciones que se obtiene de las fundiciones pueden ser de diversas formas, tamaños y pesos, de acuerdo con los requerimientos del cliente y la capacidad que posea la planta.

- **Secuencia de carga**

Es aconsejable que la localización de cualquiera de los elementos que se utilizaran para integrar las ferroaleaciones es sobre la capa de coque, aproximadamente a 30 cm o más lejos de las paredes.

3.4.2 ALEACIONES PARA ADICION EN LA CUCHARA

Para cumplir con los requerimientos de los clientes, es necesario que las adiciones de aleaciones en la cuchara se hagan en el hierro, dependiendo del trabajo en el que se los vaya a emplear. Las adiciones en la cuchara se pueden emplear para suavizar o endurecer el metal, facilitando así un mejor control. También, la adición de inoculantes en el proceso es una parte fundamental. El uso de las aleaciones grafitizantes tiene el objetivo de controlar la profundidad de endurecimiento y evitar las dificultades en el mecanizado.

Se pueden emplear aleaciones correctivas, una vez que se ha aplicado pruebas de laboratorio donde se indique que el metal fundido no sea precisamente el deseado.

Las adiciones en la cuchara pueden emplearse para endurecer o para suavizar el metal, facilitando así el control. En el proceso es común que se le adicione inoculantes en la cuchara. Se emplea aleaciones grafitizantes con el objetivo de controlar la profundidad de endurecimiento de la cuña y prevenir las dificultades en el mecanizado de las piezas de fundición.

- **Tipos de aleaciones empleadas para adición en la cuchara.**

Para mejorar las propiedades físicas y químicas de las piezas de fundición se emplea una gran variedad de ferroaleaciones para adición en la cuchara, en donde se incluye ferrosilicio, ferromanganeso, ferrocromo, ferromolibdeno, ferrovanadio, sílicotitanio, sílicozirconio, níquel, cobre y muchos más elementos. Por lo general las ferroaleaciones tienden a ser quebradizas y se la puede triturar rápidamente para adicionar a la cuchara. Por otro lado, los metales dúctiles, como el níquel y el cromo, pueden ser añadidos en pedazos pequeños.

Por cuanto el hierro colado posee grandes cantidades de carbono, no es aconsejable emplear grados relativamente más costosos de ferroaleaciones de bajo carbono.

- **Clasificación del tamaño para adición en la cuchara**

El tamaño adecuado para adición en la cuchara variará dependiendo de la aleación añadida. Estas aleaciones como el molibdeno y el cromo se las añade por lo general en tamaños finos de 8 a 20 mallas. Por otra parte, las aleaciones que están sujetas a oxidación pueden ser preferidas en tamaños más gruesos entre 13 mm o menos. Estas aleaciones poseen ferrosilicios y ciertos inoculante.

- **Silicio**

El silicio es un elemento que está presente en todos los hierros colados. Este elemento contribuye con las propiedades de enfriamiento del hierro. Aparte del contenido de carbono, el contenido de silicio es muy importante para controlar las propiedades. Los hierros grises que son bajos en silicio por lo general son más duros y resistentes, por el contrario también, los hierros que vayan aumentando su contenido de silicio, serán a su vez, más suaves, débiles, y más gráficos en

naturaleza. La presencia de silicio también tiene un efecto trascendental en el mecanizado de las piezas y su resistencia.

3.4.3 ALEACIONES EN EL CUBILOTE

- **Aleaciones disponibles**

El silicio se encuentra disponible para las aleaciones en diferentes formas, las aleaciones más apropiadas son de hierro y silicio, para esta aplicación incluyen hierros plateados procedentes del alto horno, que contienen de 6 a 12% de contenido de silicio.

Las piezas que se obtienen de hierros eléctricos incluyen hierros plateados al 16%, ferrosilicios al 25%, ferrosilicio al 50%.

El hierro plateado o silvery de alto horno es un producto que se obtiene de un proceso especializado, con este se obtiene arrabio con alto contenido de silicio entre 6 y 12%. Y el contenido de carbono es inversamente proporcional con el contenido de silicio.

- **Recuperación**

El silicio en el proceso se oxida en la fusión del cubilote convencional, tiene lugar algunas pérdidas durante la misma. Es por esto que se anticipa una recuperación normal del 90% del silicio contenido en la carga del cubilote, para la operación de soplado en frío. Las pérdidas de silicio se podrán evitar aplicando una relación liberal de coque y un soplado prudente. Por otra parte, el empleo de menos coque o un volumen de soplado más alto dará como resultado pérdidas de silicio más bajas.

3.4.4 AGREGADO DE ALEACIONES EN LA CUCHARA

Los ferrosilicios son empleados como adiciones en la cuchara, este, es añadido y tiene un efecto inoculante, además puede utilizarse para alterar el contenido de

silicio de hierro, haciendo práctico producir un metal de mayor contenido de silicio, partiendo de una carga estándar.

A continuación se presenta una tabla donde se muestran los grados normalmente usados en hierros colados como adiciones en la cuchara:

Tabla 14 Grados del Ferrosilicio

Ferrosilicio al 50%, grado fundición, 47% a 51% de silicio.

Ferrosilicio al 75%, grado fundición, 73% a 78% de silicio.

Ferrosilicio al 85%, grado fundición, 83% a 88% de silicio.

Ferrosilicio al 90%, grado fundición, 92% a 95% de silicio.

Fuente: (Nacional, Fundicion , 2012)

- **Tamaño**

Las aleaciones de silicio que son suministradas en todos los tamaños, desde polvos finos hasta piedras de mayo tamaño. Mientras que otros operadores prefieren el tamaño fino para adiciones en la cuchara, los tamaños comúnmente empleados son de 10 mm que pasan por una malla de 12 hilos por pulgada.

- **Recuperación**

La recuperación del silicio en adiciones a la cuchara depende en mucho del cuidado con que se introduce el ferrosilicio. Cuando este se le añade cuidadosamente al metal a altas temperaturas, las recuperaciones estarán alrededor del 90%.

- **Manganeso**

La función del manganeso en las cantidades generalmente presentes en el hierro fundido es de neutralizar los efectos del azufre, donde se suministra cantidades 5 veces mayores a este, pues el manganeso ejerce un verdadero efecto de aleación.

3.5 PRINCIPIOS DE FLUIDIFICACIÓN Y CONTROL DE LA ESCORIA

Como ya se menciona, la escoria procede principalmente de la ceniza del coque, además de los productos de oxidación, del revestimiento refractario, tierra y arena en el material de carga. Esta escoria es viscosa en las temperaturas del cubilote; la necesidad de la adición de fundentes básicos proviene del propósito de bajar el punto de fusión de la escoria, aumentar la fluidez, facilidad de eliminación del cubilote y mantener el cubilote limpio para que pueda operar de manera eficiente; por el contrario, una escoria espesa e insuficientemente fluida cerrara de a poco la bóveda del cubilote, permitiendo así reducir el área efectiva, la permeabilidad de la chimenea y la superficie efectiva del coque. Lo que obtendrá como resultado de estos síntomas en contra será una temperatura de hierro mas baja, régimen de fusión retardado, menor contenido de carbono y mayor oxidación.

La escoria posee un efecto limpiador en el cubilote porque al bajar, una capa de escoria en el crisol protege al metal reunido contra los gases oxidantes de las zonas de las toberas, además aísla entra perdida de temperatura y recoge los productos de oxidación suspendidos en la paredes del cubilote que se encuentran en forma de gotas.

Los fundentes necesarios para el proceso de fundición son los siguientes:

- a) Piedra caliza CaCO_3
- b) Dolomita CaCO_3 y MgCO_3
- c) Mineral trona
- d) Estapo flúor CaF_2
- e) Carburo CaC_2
- f) Combinaciones comerciales

3.5.1 COMPOSICIÓN DE LA ESCORIA

Los componentes de la escoria son:

- **Sílice (SiO₂)**

Es un elemento ácido en su composición, la cantidad varía entre un 40 y 50% en una escoria ácida. La sílice proviene de la ceniza de la quema del coque, también del revestimiento del ladrillo refractario, oxidación del silicio y tierras extrañas.

- **Alúmina (Al₂O₃)**

Es un constituyente neutro en la escoria ácida y un constituyente ácido en una escoria básica. Este elemento proviene especialmente de la ceniza del coque y de los refractarios de arcilla, la cantidad en varía entre 10 y 20%.

- **Cal (CaO)**

Este elemento es añadido en forma de piedra caliza y es el principal constituyente básico de las escorias en estos procesos. Varía entre 25 y 35%.

- **Magnesia (MgO)**

Similar en el comportamiento de la cal en la escoria, la magnesia puede sustituirla. Si en el proceso se emplea caliza dolomítica, el contenido de MgO puede ser alto, entre un 5 a 20%. Si en el proceso se utiliza únicamente caliza, el contenido de magnesia puede ser menor al 5%.

- **Oxido de Hierro (FeO)**

Presente por lo general en cantidad de 1 a 8%. La presencia de óxido de hierro depende directamente del equilibrio neto entre las influencias oxidantes y reductoras dentro del cubilote. Si la escoria presenta altas cantidades de este elemento se puede deducir algunas opciones: un soplado excesivo, bajas cantidades de coque o mala calidad de coque, grandes cantidades de acero, acero oxidado, entre otras.

Sin embargo, con materiales de buena calidad y un proceso adecuado del manejo del cubilote, el contenido del óxido de hierro se encontrará generalmente entre 1 y 4%.

- **Oxido de manganeso (MnO)**

Este elemento proviene del manganeso oxidado contenido en el metal que se utiliza en el proceso. Por lo general la cantidad que se encuentra es menor del 5%.

- **Oxido de sodio (Na₂O)**

Contenido en la escoria hasta en un 5%, el oxido de sodio es más fuertemente básico y tiene más efecto sobre la fluidez. No se encuentra en grandes cantidades porque el exceso de sodio se volatiliza y escapa por la chimenea.

Estos diversos óxidos son los componentes de la escoria en soluciones de silicatos de calcio, magnesio, manganeso y hierro.

3.5.2 DISTINCIÓN DE LA ESCORIA - ACIDA Y BÁSICA

Si efectivamente el contenido de cal junto con magnesia y constituyentes básicos puede ser aumentado hasta el punto de suficiencia sobre la sílice acida, se obtiene una escoria con propiedades completamente diferentes a la escoria que se obtiene comúnmente. Las escorias básicas tienen una capacidad refinante además de los beneficios físicos usuales de la escoria.

Bajo ciertas condiciones reductoras, las escorias básicas son capaces de quitar cierta cantidad de azufre del metal y con esto evitar su absorción del coque, así como el alto contenido de azufre de algunas materias primas. Por otra parte, las escorias básicas oxidantes, con un alto contenido de oxido de hierro, pueden quitar algo de fosforo. Por lo tanto, la efectividad de la desulfuración disminuye con escorias altas en oxido de hierro.

En cuanto a las escorias acidas, la diferencia radica en el contenido de azufre; las escorias acidas normales, en virtud de su composición, contienen desde 0.05 hasta 0.4% de azufre, cantidad que no suficiente para considerarla como desulfurante de metal.

Sea la escoria acida o básica en el proceso de fundición, las dos cumplirán con un proceso similar donde la escoria y el metal tratarán de llegar a un equilibrio según van bajando las gotas, se van juntando y permanecen en contacto una con la otra durante un corto período de tiempo en el crisol del cubilote.

3.6 CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS DISPONIBLES

Para realizar el trabajo de investigación empeñado en la obtención de una pieza mecánica, tambor de freno.

Es necesario obtener el material gracias a un molde de *bloque* quilla en arena antes de obtener la pieza (tambor) por cuanto se realizará los correspondientes análisis hasta conseguir dicho material. El material de carga se funde en el horno de inducción y se realiza a éste un tratamiento de desulfuración, posteriormente la nodulización e inoculación. Tratado el material se cola en los moldes del bloque quilla. Luego se desmoldan los bloques quilla y se los máquina para obtener las probetas para los respectivos ensayos metalográficos y mecánicos.

3.6.1 CUBILOTE

El horno que se utiliza en el presente trabajo es el cubilote que pertenece a la empresa Fundiciones Bonilla. Este horno tiene una capacidad de 150 Kg de fundición ferrosa. La tabla 3.9 que se muestra a continuación indica las características del cubilote utilizado.



Figura 23 Cubilote Fundiciones Bonilla

Fuente: (Proaño, Cubilote Fundiciones Bonilla, 2012)

Tabla 15 Características del Cubilote Fundiciones Bonilla

<u>CARACTERISTICAS</u>	
<u>CUBILOTE</u>	
CAPACIDAD	150 KG DE FUNDICIÓN FERROSA (APROX)
CRISOL	DIÁMETRO 50 CM, ALTURA 300 CM (APROX) REFRACTARIO NEUTRO
TEMPERATURA MÁXIMA	1650 °C

Fuente: (Proaño, Cubilote Fundiciones Bonilla, 2012)

3.6.2 MATERIAL DE CARGA

El material de carga seleccionado para realizar la fundición corresponde a bloques de motor, los cuales generalmente tienen la composición del metal de carga que es: 3.56%C, 1.1%Si, 0.42%S, el % de Si es un valor bajo pero en todo caso ayudará en la inoculación; el % de S que tenemos que llegar es de 0.02 %S y en el material de carga tenemos 0.8 %S; esto obliga a realizar un tratamiento de desulfuración en el metal.

3.6.3 MATERIALES Y EQUIPO EN EL MOLDEO

- a) Modelo del bloque “quilla” (en madera según ASTM A-842-85).
- b) Caja de herramientas para moldeo manual.
- c) Arena de moldeo (aproximadamente; sílice 70-85%, bentonita 5-15%, agua 7-10%).
- d) Arena de moldeo para contacto (aproximadamente; sílice 78%, bentonita 12%, agua 10%).
- e) Cajas para moldeo.

3.6.4 MATERIALES Y EQUIPO PARA LA FUSION

- a) Horno Cubilote (capacidad 150 Kg de fundición ferrosa)
- b) Herramientas para manipulación del cubilote (pinzas, escoriadores, etc.).
- c) Pirómetro óptico (Karl Kolb; temperatura mínima 1100°C, temperatura máxima 2000°C)
- d) Equipo de seguridad.

3.6.5 MATERIALES Y EQUIPO PARA TRATAMIENTOS QUIMICOS Y COLADO

- a) Cuchara de tratamiento y colado (capacidad aprox 50 Kg de fundición ferrosa).
- b) Mineral para la cuchara.
- c) Lanzas para tratamiento de desulfuración, para nodulizar, y para inoculación.
- d) Cantidades determinadas de desulfurante (CaC_2), nodulizante e inoculante.
- e) Herramientas para manipulación del hierro líquido (pinzas, escoriadores, etc.).
- f) Equipo de seguridad.

3.6.6 MATERIALES Y EQUIPOS PARA DESMOLDEO Y MAQUINADO DE PROBETAS

- a) Herramientas para manipulación de arenas.
- b) Cepillos de acero.
- c) Amoladora manual.
- d) Sierra mecánica alternativa.
- e) Torno y sus respectivas herramientas.
- f) Calibrador pie de rey.
- g) Herramientas para pulido de probetas metalográficas.

3.6.7 EQUIPOS PARA ENSAYOS

- a) Banco Metalográfico.
- b) Máquina Universal de Ensayos.

3.7 PROCESO DE OBTENCION DE LA FUNDICION NODULAR

3.7.1 FUSION

El hierro nodular se lo obtiene al tratar el hierro líquido con magnesio o cerio. Por lo tanto la temperatura necesaria es de 1200 -1450 °C para fundir el hierro.

El tiempo que se requiere para ésta fase depende de algunos factores tales como:

- Tipo de chatarra empleado.
- Tipo de horno.
- Tipo de revestimiento del horno.

La chatarra utilizada o la materia prima para fundir dependen del grado de pureza del hierro líquido que se necesita para el posterior tratamiento y a su vez de la calidad de hierro nodular que se quiere obtener.

En el presente trabajo se utilizó un cubilote, cuyas características se mencionó anteriormente, el revestimiento refractario del horno es neutro, el cual facilita el trabajo para la obtención del hierro nodular por cuanto no reacciona el revestimiento con el material fundido.

3.7.2 NODULIZACIÓN E INOCULACIÓN

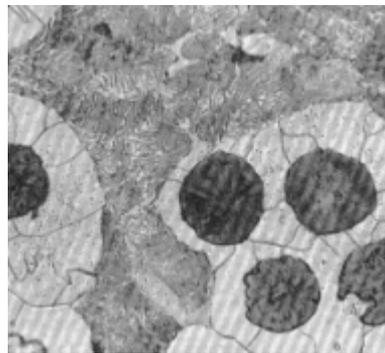


Figura 24 Micro estructura de fundición nodular

Fuente: (Arrejin, 2012)

La fundición nodular se desarrollo con el fin de solucionar los problemas como la fragilidad de las fundiciones de grafito laminar con su baja resistencia al impacto; en la fundición nodular el grafito se presenta bajo la forma de grafito esférico o nodular, de tipo perlítico y con un tratamiento térmico adecuado se puede descomponer la perlita, obteniendo con esto la fundición nodular ferrítica. Este tipo de fundición tiene múltiples usos estructurales para elementos que requieran altas propiedades mecánicas con una buena maquinabilidad y bajos costos.

Para obtener piezas de fundición nodular con alta resistencia, tenacidad y ductibilidad es necesario que la materia prima a utilizar contenga un mínimo de impurezas y se debe evitar elementos que provoque una reacción perlítica.

- **Nodulización**

La nodulización se refiere a la formación del grafito esferoidal que se forma con la adición de elementos nodulizantes, los cuales es recomendable que posean gran afinidad con el azufre y el oxígeno para poder reducirlos y formar compuestos más estables, además de baja solubilidad en el hierro fundido y afinidad con el carbono.

- **Inoculación**

Es un proceso fundamental para la fundición nodular por cuanto consiste en la adición de componentes inoculantes ricos en silicio antes del colado, con el objetivo de provocar la creación de grafito durante la solidificación. El sobreuso de elementos inoculantes provocaría porosidad, reduciendo su calidad.

Las variables que afectan al proceso de inoculación son las siguientes:

- La *composición del material base*, que se refiere a la cantidad de carbono que contiene la mezcla y su porcentaje de impurezas.
- La *temperatura de inoculación*, que debe ser equilibrada para poder obtener una colada estable.
- La *cantidad de componentes inoculantes*, para obtener una exacta composición química final.
- El *estado de la superficie de la colada*, donde se debe retirar la escoria para continuar con la inoculación.
- El *tiempo que transcurre dentro de la inoculación y la solidificación*, donde el inoculante disminuye y el enfriamiento aumenta a su vez con la solidificación.
- La *granulometría de las partículas introducidas*, donde las partículas del inoculante deben poseer equilibrio de tamaño para que pueden disolverse y cumplir con su objetivo en el tiempo idóneo.
- Los tipos de inoculantes.

- La técnica de inoculación que se realizará.

Una vez analizadas las variables pertinentes para los procesos de nodulización e inoculación, se realizó la fundición donde se obtuvieron los mejores resultados en cuanto se refieren a las propiedades mecánicas del material necesario para la cruceta, para lo cual se utilizó la liga número uno cuya composición es:

Si = 45% aprox.

Mg = 9%

Ca = 1.5 %

Ce = 0.55 %

Al = 1.1%

Tierras raras = 1%

El tratamiento de nodulización e inoculación se inicia con una temperatura aproximada de 1400°C, durante 2 minutos, se sumerge la carga de 550 gr. de liga número 1 en el metal líquido utilizando una cápsula de tratamiento, con una granulometría de 0.2 – 0.6 mm, en una cuchara de capacidad de 50 Kg, con 30 Kg de metal fundido.

3.7.3 COLADO



Figura 25 Colado de fundición

Fuente: (Proaño, Cubilote Fundiciones Bonilla, 2012)

- **Colado de metal fundido**

Esta etapa del proceso de fundición, básicamente se desea dar la forma definitiva al metal fundido y tratado. Una vez que se tienen listos los moldes que son cavidades preformadas, en este caso de un tambor de freno, se introduce la colada que se encuentra en forma líquida. Después que el material rellena el molde, este se endurece o fragua, tomando así la forma deseada; después, se abre o rompe el molde y se saca la pieza.

Este tipo de colado utiliza la gravedad para llenar el molde. Es un método relativamente sencillo en cuanto lo que necesita es fuerza física y experiencia por parte de los moldeadores para rellenar toda la cavidad con el fin de formar una pieza uniforme sin cavidades.



Figura 26 Molde de arena para fundición

Fuente: (Proaño, Cubilote Fundiciones Bonilla, 2012)



Figura 27 Fusión y carga de metal líquido

Fuente: (Proaño, Cubilote Fundiciones Bonilla, 2012)



Figura 28 Nodulización del metal líquido

Fuente: (Proaño, Cubilote Fundiciones Bonilla, 2012)

CAPÍTULO IV - FABRICACIÓN DEL TAMBOR DE FRENO EN FUNDICIÓN NODULAR

4.1 REACCIONES QUIMICAS

En el cubilote se realiza una reacción química entre el carbón (coque) y el oxígeno (aire) con la finalidad de alcanzar la más alta temperatura para fundir los metales (hierro); para lograr esto el coque necesita tener un bajo grado de azufre y el aire debe tener la más baja humedad posible, y también se utilizan algunos productos auxiliares como el carburo de calcio para sobrecalentar el cubilote hasta los 1450°C.

4.1.1 REACCIONES QUIMICAS DURANTE LA COMBUSTION

Las siguientes reacciones químicas se presentan entre el combustible y los constituyentes reactivos presentes en la atmósfera gaseosa del interior del cubilote.



Desprendimiento de calor a 25°C = +9700 Kcal/kg mol – Encendido del cubilote



Desprendimiento de calor a 25°C = -40500 Kcal/kg mol – Desarrollo de la combustión

En las reacciones I y II son las productoras de calor del proceso de fundición, aun a las mismas temperaturas que ocurren dentro del cubilote. El proceso debe enfocarse hacia la generación CO_2 , ya que se trata de una reacción exotérmica que libera calor hacia el ambiente.

4.2 ZONAS DEL CUBILOTE

Se trata de las zonas de combustión, zona de oxidación de la carga, zona de reducción, zona de precalentamiento como se observa en el siguiente gráfico.

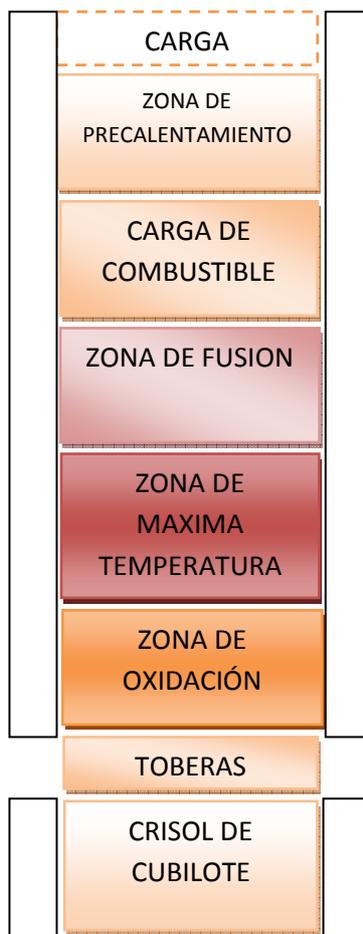


Figura 29 Zonas del Cubilote

Fuente: (Proaño, Zona del Cubilote, 2012)

- **Zona de oxidación o de combustión**

Es la zona de reacción del oxígeno con el combustible (coque), a la vez que es la región de máxima temperatura normalmente entre 1500 – 1800 °C.

- **Zona de reducción de la carga**

Aquí el carbón se quema y reduce de tamaño, es la zona donde el material se funde, la temperatura alcanza los 1450°C.

- **Zona de fusión**

Es aquí donde se produce el cambio de fase del metal de sólido a líquido, la tasa de absorción promedio para el hierro gris es de 23 Kcal/kg y de 160 Kcal/kg para la chatarra de acero.

- **Zona de precalentamiento**

En esta sección del cubilote los gases calientes que suben a través de la zona de fusión calentando el metal y la caliza, donde se tiene una temperatura que varía entre 650 – 870°C.

Además ocurren otras reacciones como la absorción del azufre por parte del metal que luego es limpiado mediante el carbonato de calcio (caliza) para formar la escoria.

4.3 FACTORES FISICOS QUE INFLUENCIAN EN LAS ZONAS DEL CUBILOTE

- **Soplado del aire**

El aire ingresa tangencialmente por las toberas que están localizadas en la periferia del cubilote.

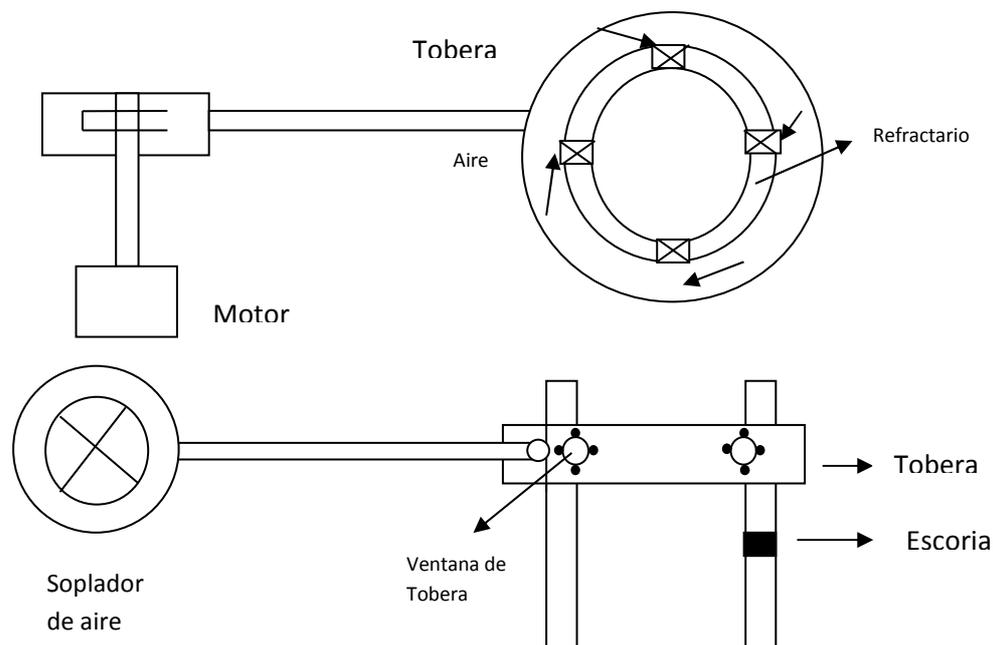


Figura 30 Esquema del soplado del aire en el cubilote

Fuente: (Proaño, Esquema del soplado del aire en el cubilote, 2012)

El aire que ingresa contiene oxígeno que inmediatamente entra en reacción con el combustible (coque) produciendo en esta zona la máxima temperatura.

- **Pre calentamiento del aire soplado**

El pre calentamiento del aire soplado aumenta la temperatura de la zona de oxidación en proporción directa al calor sensible abastecido por el aire. El aire que ingresa a las toberas y circula alrededor hasta ingresar al cubilote, al contacto con la pared del cubilote hace que este aire se pre caliente hasta los 400°C.

El aire pre calentado mejora la combustión, ahorra combustible y evita el empastamiento del hierro.

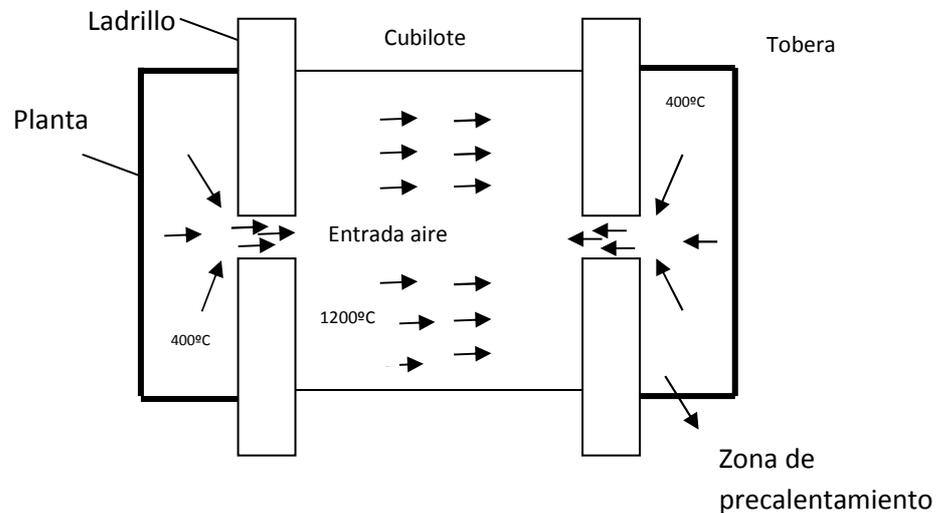


Figura 31 Esquema del ingreso del aire soplado a través de las toberas en el cubilote

Fuente: (Proaño, Investigación propia, 2012)

4.4 INFLUENCIA DE LAS ZONAS SOBRE EL METAL FUNDIDO

Se tiene que considerar los factores físicos y químicos que van a controlar la producción, la temperatura y la atmosfera dentro del cubilote. Es posible controlar los efectos sobre el metal en el proceso de fusión para la obtención del hierro nodular.

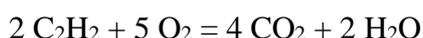
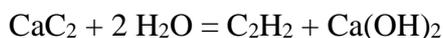
4.4.1 SOBRECALENTAMIENTO

Las zonas del cubilote comprendida entre la zona de fusión y la zona de oxidación, donde el metal fundido alcanza una mayor temperatura que la del combustible, en la práctica es el nivel de las toberas, el sobrecalentamiento es función directa de las temperaturas a la que esta expuesto y el tiempo de residencia a esas temperaturas.

Para alcanzar el máximo valor en el cubilote, utilizamos carburo de calcio el cual al oxidarse con el aire (O_2) reacciona desprendiendo una formidable cantidad de calor

que nos permitirá alcanzar temperatura en el metal líquido de aproximadamente 1482°C.

- Reacciones químicas durante el sobrecalentamiento



$$\Delta H = - 2598.8 \text{ KJ}$$

4.4.2 PERDIDAS DE METAL

Las pérdidas del metal se deben a las características oxidantes del aire donde se expone el material fundido. Además el anhídrido carbónico (CO₂), monóxido de carbono (CO) y el agua (H₂O) también constituyen agentes oxidantes débiles que actúan principalmente en la zona de oxidación del cubilote ocasionando pérdidas en el material fundido de alrededor del 5 al 10%

4.5 PROCESO DE FUSION EN EL CUBILOTE

Para la operación del cubilote se cargan metales y combustibles en proporciones predeterminadas; a continuación se describen los pasos que se efectúan:

- Pre calentamiento del material con los gases ascendentes de las reacciones de oxidación.
- En la zona de fusión ocurre el cambio de fase de sólido a líquido del metal que al pasar por la zona de oxidación alcanza la mínima temperatura y el hierro fundido gotea sobre combustible incandescente.
- En la zona de pre calentamiento además ocurre otro cambio de fase del fundente carbonato de calcio o la caliza que pasa de sólido a líquido dando origen a la formación de la escoria.



Escoria

4.6 GRAFICO DE OPERACIÓN DEL CUBILOTE

- DATOS :

- Diámetro del cubilote: 500 cm
- Relación hierro carbono: 6 a 1
- Temperatura de fusión: 1480°C
- Volumen de aire soplado: 160 m³/min
- Perdidas de aire: 15%
- Cual será la producción de hierro fundido por hora?

- CALCULO:

Para utilizar el grafico de régimen de fundición se necesita cambiar los siguientes datos.

- Volumen de aire ft³/min

$$160 \text{ m}^3/\text{min} \times \frac{35.33 \text{ ft}^3}{1 \text{ m}^3} = 4805 \text{ m}^3/\text{min}$$

- Temperatura del hierro fundido en °F

$$^{\circ}\text{F} = 1.8 (C + 40) - 40 = 2696^{\circ}\text{F}$$

- CALCULO DEL CAUDAL DE ALIMENTACION DEL AIRE

Velocidad del soplado del aire: 20 m/s

Diámetro trasversal de alimentación del ventilador: 3 plg = 7.62 cm

Area transversal

$$A = \frac{7.62^2 \cdot \pi}{10^4 \cdot 4}$$

$$A = 0.0046m^2$$

Caudal de alimentación aire

$$Q = 20 \frac{m}{s} \cdot 0.0046m^2 \cdot \frac{60s}{1min}$$

$$Q = 5.4 \frac{m^3}{min} \cdot \frac{35.30ft^3}{1m^3}$$

$$Q_{aire} = 193 \frac{ft^3}{min}$$

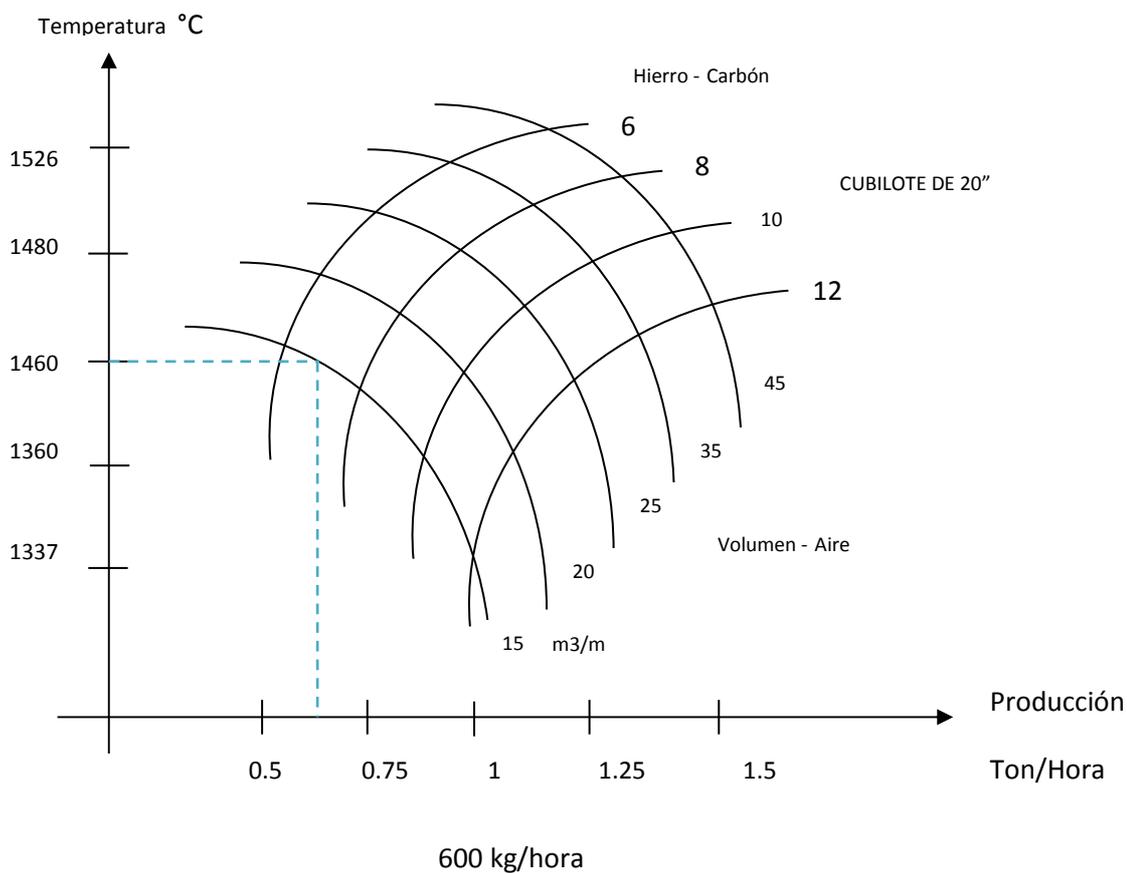


Figura 32 Grafico ilustrativo de las condiciones físicas optimas de operación del cubilote

Fuente: (Proaño, Investigaciones propia, 2012)

De la figura 4.4 se puede deducir que la producción de nuestro cubilote sería de 600 kg/h, si se considera una pérdida del aire del 40% solo ingresara al cubilote de 20 plg. y con una relación hierro carbono de 6 a 1; en la temperatura de 1480°C se tiene una producción por hora de 600 kg/h de hierro fundido.

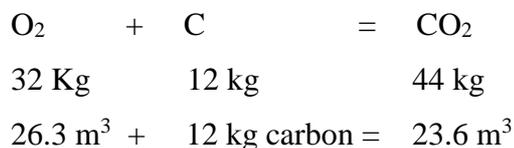
4.7 CALCULO DEL REQUERIMIENTO DEL AIRE

El peso del aire suministrado al cubilote debe ser igual al peso del metal cargado, proporcional a las cargas de combustible, fundente y metal.

Para una combustión perfecta en condiciones normales de presión y temperatura, las relaciones estequiométricas son:

Presión atmosférica = 760 mmHg

Temperatura ambiental = 15.6°C



Aire contiene 21% oxígeno, así que se necesitan:

$$\frac{26.3}{0.21} = 125.23 \text{ m}^3$$

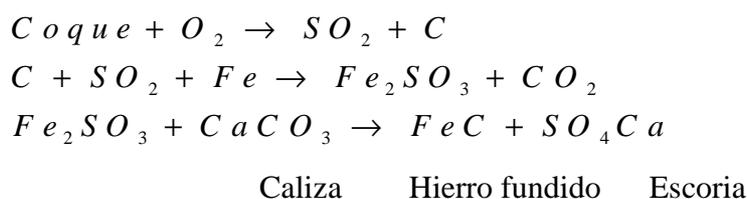
En la práctica se debe calcular un 20% más de aire debido a las pérdidas de operación.

$$\text{Requerimiento Aire} = \frac{125.23 \text{ m}^3 \text{ Aire}}{12 \text{ Kg Carbon}} = 10.43 \cdot 120\%$$

$$\text{Requerimiento Aire} = 12.52 \frac{\text{m}^3 \text{ Aire}}{\text{Kg Carbon}}$$

4.8 INFLUENCIA DEL AZUFRE DURANTE LA FUSION DEL METAL

La absorción del azufre es esencialmente un fenómeno de superficie que se origina principalmente en la zona de precalentamiento, esta favorecido por las bajas temperaturas, este pierde azufre en la medida que desciende la carga hacia la zona de fundición y reacciona con el fundente de la siguiente manera:



Es importante la eliminación máxima del azufre durante la fusión debido a que la combinación del azufre con el hierro fundido le perjudica en las propiedades mecánicas (fragilidad) y su soldabilidad.

4.9 FORMULA DE CALCULO DEL REQUIRIMIENTO DE AIRE EN CONDICIONES NORMALES

$$\text{Aire} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{min}} \right) = \frac{\text{m}^3 \text{Aire}}{\text{KgCarbon}} \cdot \frac{\text{KgCarbon}}{\text{Ton.Hierro}} \cdot \frac{\text{Ton.Hierro}}{\text{min}}$$

$$\text{Aire} = 12.5 \cdot 0.23 \cdot 13 = 37.37$$

$$\text{Aire} = 37.37 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{min}} \right)$$

4.10 CONTROL DE LA COMBUSTION

El calor requerido para precalentar, fundir y sobrecalentar el metal es suministrado por la combustión del coque, parte de este calor se pierde como

resultado de la reducción del dióxido del carbono (CO_2) a monóxido de carbono (CO) en la zona de reducción, cuanto mas bajo sea el porcentaje de dióxido de carbono convertido, mayor será la calidad del calor disponibles por consiguiente, una combustión eficiente se traduce en mas hierro fundido por kilogramo de combustible.

$$1\text{KgCarbonQuemado} = 5.77\text{KgAire} = 2417\text{Kcal} = 29\% \text{EficienciaCombustion}$$

$$1\text{KgCarbon} = 5.77\text{KgHierroFundido}$$

La relación de 6 a 1 hierro carbono se cumple para esta formulación. Y no hay que olvidar que 1 Kg de Aire equivale a 13.34 m^3 en peso de volumen.

4.11 DESULFURACION

El azufre ocasiona el crecimiento del grafito en forma de hojuelas en vez de forma esférica, para obtener un hierro con bajo contenido de azufre es necesario utilizar una materia prima de alta calidad como es el arrabio, o mezclando el hierro líquido obtenido con un agente desulfurante, como:

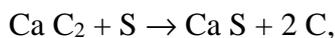
- Carburo de calcio (CaC_2)
- Sosa (Na_2CO_3)
- Carbonato de Calcio (CaCO_3)
- Cal viva (CaO)
- Sosa cáustica (NaOH)

El desulfurante utilizado es el CaC_2 (carburo de calcio) ya que es el más adecuado para nuestro medio. En teoría para remover 0.1% de azufre se necesita 0.2% de carburo de calcio (CaC_2), sin embargo parte de la reacción del CaC_2 formará CaO en vez de CaS y otra parte se pierde por la reacción en sí. Por lo que se debería utilizar de 5 a 10 veces la cantidad teórica.

Se realiza el cálculo para 100 Kg de hierro a tratar con un contenido de 0.42% de S para asegurar una efectiva desulfuración.

Al asumir inicialmente un contenido de 0.42 % de azufre en la chatarra, en los 100 Kg de metal líquido se tienen 0.42 Kg de azufre.

Cantidad de Desulfurante se tiene la reacción:



Es decir que 0.42 Kg de CaC_2 removerán 0.42 Kg de azufre. Debido a que parte del CaC_2 puede formar CaO (que pasa constituir escoria) en vez de CaS , se necesita por lo menos el doble de la cantidad teórica de CaC_2 .

Por lo tanto, la cantidad teórica necesaria para realizar la desulfuración de 100 Kg de metal líquido con un contenido de 0.42% de azufre es 0.84 Kg de CaC_2 .

El carburo de calcio disponible comercialmente ya ha reaccionado con el vapor de agua del ambiente, por esta razón se utiliza 1 Kg con lo cual se espera que entre en reacción por lo menos 0.84 Kg de CaC_2 . El hierro desulfurado pasa a tener como máximo 0.02% de S.

Tabla 16 Composición química del desulfurante

Carburo de calcio (CaC₂)	% Aluminio	% Silicio	% Azufre	% Calcio	% Carbono
	0.02	1.01	0.43	48.13	50.41

Fuente: (Proaño, Investigación propia, 2012)

4.12 NODULIZACION

En la práctica para obtener el grafito esferoidal, es necesario, además, de añadir magnesio en la forma y la cantidad conveniente adicionar también un elemento inoculante a la fundición. El magnesio, que en este proceso se considera como el agente que promueve la esferoidización, en realidad si fuera el único elemento que se adicionara al baño daría lugar a la formación de una fundición blanca. Siendo el magnesio un elemento que blanquea la fundición, se comprende que la acción combinada con la de un inoculante es la que produce la esferoidización.

No conviene añadir el magnesio en forma metálica, al baño de fundición, porque da lugar a una reacción violenta con desprendimiento de humos, proyecciones de

metal y pérdida importante de magnesio. Normalmente el magnesio se añade en forma de aleaciones níquel-magnesio con 15% de magnesio aproximadamente, y a veces cobre-magnesio con 15 a 25% de magnesio. En ocasiones, también se emplean aleaciones cuaternarias hierro-silicio-cobre-magnesio, o hierro-silicio-níquel-magnesio. Empleando estas dos últimas aleaciones no suele ser necesario la adición posterior de ferrosilicio u otro inoculante.

La cantidad requerida de Mg en un tratamiento de nodulización es la suma del Mg consumido por el azufre más la cantidad de Mg residual en el metal base luego del tratamiento.

La composición química de la aleación (Fe-Mg) que se utilizó para la nodulización es:

$$\text{Mg} = 13-16\%$$

$$\text{Si} = 26-33\%$$

$$\text{Fe} = 5\% \text{ max}$$

Ejemplo: para tratar 30 Kg de metal:

- ***Cantidad de Mg consumida por el azufre***

$$(C_1): C_1 = \frac{3}{4}(S_{\text{metal}})$$

S_{metal} es la cantidad del azufre en el metal, 0.02%

$$C_1 = \frac{3}{4} \left(\frac{0.02}{100} \times 30 \right) = 0.0045 \text{ Kg} = 4.5 \text{ gr.}$$

- ***Cantidad de Mg en el metal a tratar (C₂):***

El Mg residual en el metal base puede ser 0.03%

$$C_2 = \frac{0.03}{100} \times 30 = 0.009 \text{Kg} = 9 \text{ gr}$$

- **Cantidad requerida de Mg (C_{req})**

$$C_{req} = C_1 + C_2 = 4.5 + 9 = 13.5 \text{ gr}$$

Esta cantidad de Mg es la suficiente y necesaria para el tratamiento de nodulización. Dependiendo de la técnica y de la temperatura de tratamiento se tiene una recuperación de Mg (Rec) en el tratamiento. Supongamos que se tiene una recuperación del 40%. La cantidad de Mg a introducir en el baño (C_{real}), lógicamente, será mayor a la cantidad requerida de Mg (C_{req}).

Supongamos que Rec = 40%

$$C_{real} = \left(\frac{C_{req}}{\frac{\% Rec}{100}} \right)$$

$$C_{real} = \left(\frac{13.5}{\frac{40}{100}} \right) = 33.75 \text{ gr}$$

La cantidad de aleación ($C_{aleación}$) a añadir depende de la composición con respecto al Mg.

$$C_{aleación} = C_{real} \times \left(\frac{100}{\% Mg_{aleación}} \right)$$

Supóngase ahora que el % Mg en la aleación ($\% Mg_{aleación}$) es 10%

$$C_{aleación} = 33.75 \times \left(\frac{100}{10} \right) = 337.5 \text{ gr}$$

4.13 INOCULACION

Es preciso realizar el tratamiento de inoculación para conseguir sitios de nucleación del hierro, y se lo realiza por medio de aleaciones de ferrosilicio que contienen entre 50 y 85% de silicio. Debido a que la nodulización provoca la formación de hierro blanco durante la solidificación, por la presencia del magnesio que es un estabilizador muy eficaz de carburo.

La cantidad de Si a añadir es la diferencia entre el contenido de Si en el metal antes del tratamiento y el contenido de Si luego del tratamiento:

Se tiene que:

Hierro antes de inoculación: %Si = 1.13%

Hierro luego de inoculación: %Si = 1.95%

Cantidad de hierro a inocular: 30Kg.

Contenido de Si en aleación inoculante: 75%

$$Si \text{ en el hierro antes de la inoculación} = 30 \text{ kg} \times \left(\frac{1.13}{100} \right) = 0.339 \text{ Kg}$$

$$Si \text{ en el hierro luego de la inoculación} = 30 \text{ kg} \times \left(\frac{1.95}{100} \right) = 0.585 \text{ Kg}$$

Cantidad de Si a añadir = 0.585 - 0.339 = 0.246 Kg

$$Cantidad \text{ de aleación inoculante a añadir} = 0.246 \text{ kg}_{\text{silicio}} \times \left(\frac{100 \text{ kg}_{\text{aleación}}}{75 \text{ Kg}_{\text{Si}}} \right) = 0.328 \text{ Kg}$$

Nota: se supone una recuperación del 100% en el tratamiento de inoculación.

4.13.1 COMPOSICION DE LAS ALEACIONES INOCULANTES (Fe-Si)

- *Composición 1 Ferrosilicio 75% estándar*

Si = 74 a 79 %

Al = 1.25% max.

Ca = 0.5 % max.

P = 0.035% max.

S = 0.025% max.

C = 0.1 % max.

- *Composición 2 de aleación Liga #1:*

Si = 43 - 48 %

Mg = 7.5 - 8.5 %

Ce = 3 - 3.5 %

Al = 1.2 % max. (moldes en verde)

Tierras raras = 1 %

4.14 COLADO

El colado se lo realiza luego de la inoculación y se debe procurar que el tiempo transcurrido entre la inoculación y el colado sea el mínimo posible, para el colado en los moldes de la quilla que esta hecha de arena, se debe realizar previamente un secado de la arena con el fin de eliminar la humedad, la cual puede afectar y producir una pieza defectuosa.



Figura 33 Colado a molde

Fuente: (Proaño, Investigación propia, Cali - Colombia, 2012)



Figura 34 Temperatura del metal fundido medido con pirómetro

Fuente: (Proaño, Investigación propia, Cali - Colombia,2012)

CAPÍTULO V - PRUEBAS DE CALIDAD EN LA FUNDICION NODULAR

5.1 MAQUINADO DEL TAMBOR DE FRENO

Las dimensiones que tiene el tambor de freno original sirven de referencia para la fabricación del molde para la fundición nodular. Se tomo en cuenta la infraestructura existente en el país para la fabricación del tambor de freno.

Una vez que se obtiene la pieza por fundición en el cubilote esta pasa al respectivo maquinado, primero se cortan todos los canales de llenado que quedan en el moldeado de la pieza en arena verde, luego se limpia la pieza de toda la arena que se adhiere del molde mediante un cepillo, posteriormente se eliminan las rebabas de material con el disco de pulido en la moladora, luego se lo lleva al taller de torneado donde al tambor se lo fija en el torno para su maquinado, sin perder la centricidad del tambor; en el torno se maquina el exceso de material para que quede a las dimensiones requeridas.



Figura 35 Torno para maquinado del tambor de freno

Fuente: (Madrid, Torneado)

5.2 PREPARACION DE LAS PROBETAS

La norma sugiere la siguiente práctica para la preparación de las probetas, se procede a modelar un molde en forma de bloque “Y” en arena verde donde se vertirá una muestra de la fundición nodular de la colada a verificación; el bloque tendrá las siguientes dimensiones:

Bloque “Y” para probetas de ensayo:

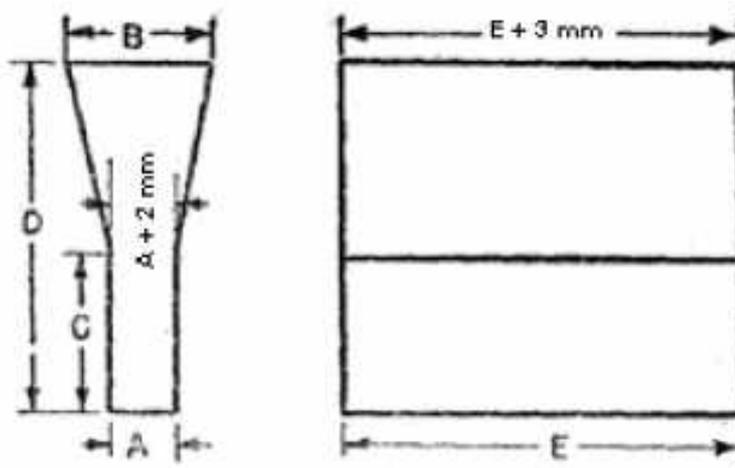


Figura 36 Vistas para el bloque Y

Fuente: (INEN, 2009)

En la siguiente tabla se indican las medidas recomendadas según los espesores de la pieza a fundir:

Tabla 17 Dimensiones recomendadas según el espesor de la pieza

DIMENSIÓN	PARA ESPESORES DE PIEZAS FUNDIDAS MENORES A 13 mm	PARA ESPESORES DE PIEZAS FUNDIDAS ENTRE 13 mm Y 38 mm	PARA ESPESORES DE PIEZAS FUNDIDAS MAYORES A 38 mm
A	13	25	75
B	40	54	125
C	50	75	100
D	100	150	200
E	175	175	175

Fuente: (INEN, 2009)

Para nuestro proyecto seleccionamos la primera recomendación para el dimensionamiento del bloque “Y”.

Para probetas de ensayo:

De las muestras fundidas separadamente se extrae las piezas en brutas que son maquinadas para obtener las probetas para los ensayos de tracción. Además, las probetas para ensayos fueron fundidas en moldes abiertos con arena apropiada.

Las probetas de ensayo deben permanecer en el molde hasta que se hayan enfriado y presenten un color negro (482 °C o menos).

Por otra parte, cuando se realicen piezas fundidas con especificaciones mas estrictas, el fabricante utilizara probetas de ensayo de fundición incorporadas en el molde con la pieza de fundición, o fundir separadamente utilizando el mismo tipo de molde y las mismas condiciones de temperatura que se utilizo para la producción de las piezas de fundición.

El fabricante podrá utilizar probetas de ensayo fundidas separadamente o probetas de ensayo cortadas de la pieza fundida, cuando las piezas fundidas hechas según esta norma sean inoculadas en el molde.

Siempre se tomara en cuenta que las probetas de ensayos fundidos separadamente tendrán una composición química, que sea representativa de las piezas fundidas, producidas de la cuchara de colado y con una velocidad de enfriamiento equivalente a la obtenida con los moldes de ensayo ilustrados anteriormente.

Las probetas de ensayo fueron coladas de la misma cuchara o colada de las piezas de fundición.

Se indica el diseño para la muestra normalizada maquinada, para el ensayo de traccion, con una longitud de referencia de 50 mm

Radio mínimo recomendado 9 mm
pero no menor en 3 mm que el
permitido

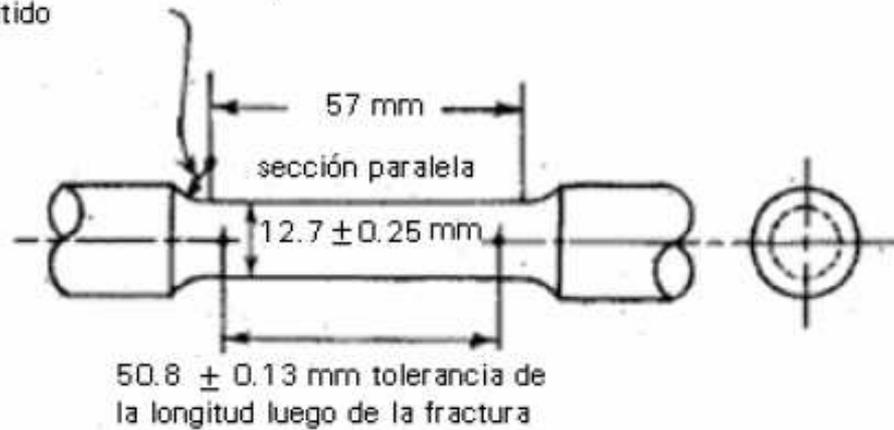


Figura 37 Dimensionamiento de la probeta para ensayo de tracción

Fuente: (INEN, 2009)

También se indican unos ejemplos de muestras pequeñas proporcionales a la muestra normalizada.

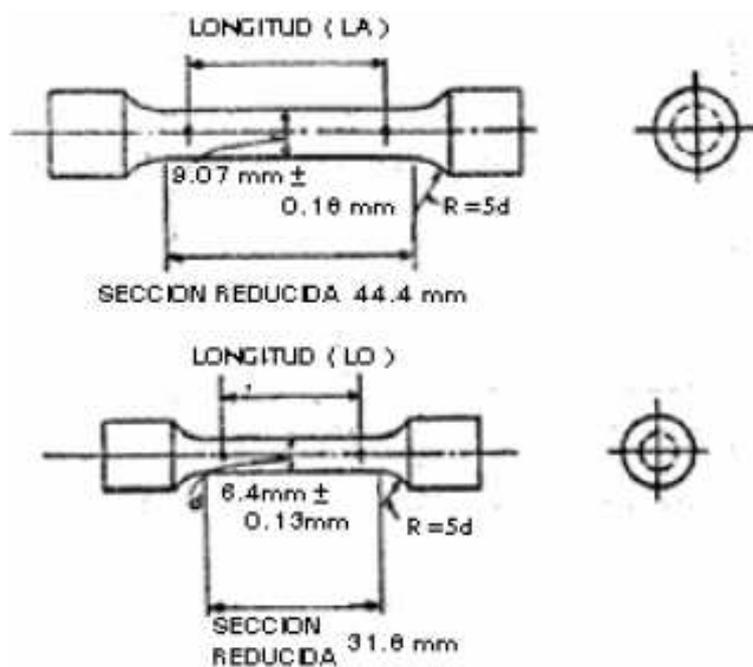


Figura 38 Dimensionamiento de probetas proporcionales para ensayo de tracción

Fuente: (INEN, 2009)

Las propiedades mecánicas que deben presentar las fundiciones son las siguientes:

Las propiedades mecánicas de las fundiciones de hierro están influenciadas por la velocidad de enfriamiento durante y después de la solidificación, por la composición química, por tratamientos térmicos, por el diseño y clase del molde, por localización y eficacia de las entradas y vaciaderos, y por otros factores.

La velocidad de enfriamiento y, por tanto, las propiedades que se desarrollan en una sección en particular están influenciadas por la presencia de machos, enfriadores, insertos y retardadores, por cambios en el espesor de la sección, y la presencia de protuberancias, proyecciones e intersecciones, tales como juntas de nervaduras y protuberancias.

El siguiente cuadro muestra una guía para la composición química de cada tipo de hierro gris, dependiendo de su espesor.

Tabla 18 Composición química recomendada según norma

Composición (%)	GRADO				
	42-10	45-12	55-06	70-03	90-02
Carbono (C)	2,7 – 3,6	2,7 – 3,6	2,7 – 3,6	2,7 – 3,6	3,4
Silicio (Si)	1,3 – 2,4	1,3 – 2,4	1,3 – 2,4	1,1 – 2,2	1,1 – 2,2
Manganeso (Mn)	0,2 – 0,4	0,3 – 0,6	0,5 – 0,7	0,6 – 0,8	0,6 – 0,8
Magnesio (Mg)	0,02 – 0,08	0,02 – 0,08	0,02 – 0,08	0,02 – 0,08	0,02 – 0,08

Fuente: (INEN, 2009)

5.3 ENSAYOS DE TRACCION EN EL LABORATORIO

Una vez realizado el maquinado de las probetas se realizaron los ensayos de tracción en las instalaciones del Laboratorio de Resistencia de Materiales del Departamento de Ciencias de Energía y Mecánica de la Escuela Politécnica del Ejército. Primero se procedió a la medición de las diferentes probetas para verificar sus dimensiones según norma ecuatoriana para fundición nodular, en donde se marcaron dos puntos fijos para la posterior medición de la deformación plástica de la probeta.



Figura 39 Verificación de dimensiones según norma ecuatoriana

Fuente: (Proaño, Investigación propia, 2012)

Posteriormente se ubicaron las diferentes probetas en la máquina de ensayos universales para la realización de la prueba.



Figura 40 Realización del ensayo de tracción

Fuente: (Proaño, Investigación propia, 2012)

Posteriormente realizada la prueba se procedió a medir juntando los restos de las probetas la distancia de las marcas con el objeto de medir la deformación que se produjo durante la tracción.

También se observaron los valores dibujados por la máquina de ensayos universales en papel milimetrado de donde se dedujo que los parámetros obtenidos cumplían los requerimientos de tracción exigidos en la norma NTE INEN 2499:2009; para lo cual se emitió un certificado por parte del personal del laboratorio.



Figura 41 Medición de la deformación en las probetas posterior al ensayo de tracción

Fuente: (Proaño, Investigación propia, 2012)

Cabe mencionar que la medición de las señas para la distancia longitudinal en las probetas resulto alentadora para el rango de deformación por alargamiento porcentual requerido el cual es del 12%; lo cual afirma la hipótesis de una mayor ductilidad del material en fundición nodular como se perseguía en los objetivos del presente proyecto.

La favorable respuesta de los parámetros obtenidos durante este tipo de ensayos fue un avance significativo debido a que los rangos exigidos por la norma ecuatoriana en cuestión de fundición nodular fue la dificultad mas critica a superar debido a que como se describió en el capítulo 3, el control metalúrgico empleado en el cubilote es complicado debido a la interacción directa entre el combustible (carbón de coque) y el metal fundido liquido, lo que provoca una acumulación de azufre y fosforo en proporciones altas, la cual disminuye las propiedades de adherencia del grano de la ferrita al ubicarse en los límites del grano, y con lo cual provocar una disminución en las propiedades beneficiosas del hierro nodular, objeto que no ocurre durante la fusión en horno eléctrico donde tenemos mayor limpieza y por ende control del proceso.

5.4 METALOGRAFIA

La metalografía es, fundamentalmente, el estudio macroscópico y microscópico de todas las características estructurales y de constitución de un metal o a su vez de una aleación, y tiene por objetivo analizar las propiedades físicas y mecánicas.

En el momento en que el metal o aleación está pasando por del estado liquido al estado sólido es cuando los componentes de su microestructura se forman. Las propiedades de los metales o aleaciones están directamente relacionadas con su estructura; por tanto los cambios en su microestructura conllevan a cambios en sus propiedades y a su vez en el desempeño cuando este en servicio.

Por ende, el examen metalográfico tiene por objetivo establecer el estado de integridad y estructura de un metal en un momento determinado. Por una parte, la integridad de un metal se refiere a la continuidad y discontinuidad de la masa metálica; por continuo se entiende que el metal no posee discontinuidades físicas macroscópicas, y por discontinuo las estructuras más frecuentes son fisuras, sopladuras, micro cavidades de contracción e inclusiones metálicas.

El examen macroscópico de un metal se lo puede realizar con una observación visual simple de los detalles estructurales más llamativa. El examen microscópico de un metal se lo realiza con la herramienta utilizada por excelencia para este tipo de trabajos, el microscopio óptico, que permite determinar con mayor precisión las características estructurales como son el tamaño del grano, su forma de fas, segregaciones, heterogeneidades, entre otras propiedades, además, se puede establecer el comportamiento del metal una vez que está en servicio.

El análisis microscópico refleja la historia de todos los tratamientos mecánicos y térmicos por los que ha pasado el metal o aleación, para poder analizar todos estos aspectos del material al que se le va a someter los exámenes de metalografía es necesario la preparación de una probeta del material, que posea una forma adecuada y bajo normas estandarizadas, con el fin de obtener las características del metal.



Figura 42 Equipo microscopio óptico y computadora en Laboratorio de Metalografía – DECEM ESPE

Fuente: (Proaño, Investigación propia, 2012)

5.4.1 DESBASTE GRUESO

Es una operación establecida para remover las rebabas y todas las ralladuras debidas al corte. Esto puede lograrse presionando uniformemente la probeta sobre una debastadora provista de lija número. 60, 80, 100 y 120 (granos por pulgada lineal) dependiendo de la necesidad. Durante esta operación debe mantenerse la probeta fría mediante el flujo de agua.



Figura 43 Equipo para realizar operaciones de desbaste – DECEM ESPE

Fuente: (Proaño, Investigación propia, ESPE, 2012)

5.4.2 DEBASTE FINO

El propósito de esta etapa es remover la zona deformada causada por el proceso anterior. Esto se logra bajo una selección adecuada y secuencial de abrasivos (lijas números: 240-320-400-600-1000-1200 granos/pulg). Sin embargo, cuando una zona de deformación está siendo removida, se formará una nueva zona de menor deformación, no tan severa ni profunda como la inicial, ocasionada por la acción de los granos abrasivos utilizados en esta etapa. La muestra se desliza sobre las lijas en

dirección opuesta al operador de manera que se formen rayas en una sola dirección, para eliminar éstas girar la probeta 90° y realizar la misma operación.



Figura 44 Equipo para realizar operaciones de desbaste – DECEM ESPE

Fuente: (Proaño, Investigación propia, ESPE, 2012)

5.4.3 PULIDO GRUESO

Es una operación de desbaste leve, además es la etapa más importante y crítica de toda la operación de pulido. Se emplea la pulidora de paño utilizando como abrasivo alúmina de 1 micrón en suspensión en agua.



Figura 45 Equipo para realizar pulido – DECEM ESPE

Fuente: (Proaño, Investigación propia, ESPE, 2012)

5.4.4 PULIDO FINO

Luego de concluido el pulido grueso, la superficie de la muestra se encuentra con huellas de las deformaciones que son mucho más pequeñas, las mismas que serán eliminadas luego de este proceso para posteriormente relevar la microestructura real que tiene la probeta, esta operación se ejecuta utilizando un abrasivo como la alúmina de 0,3 micrón de tamaño promedio en suspensión en agua.



Figura 46 Operación de pulido – DECEM ESPE

Fuente: (Proaño, Investigación propia, ESPE, 2012)

5.4.5 ATAQUE QUIMICO

El propósito del ataque químico es hacer visible al microscopio metalográfico las características estructurales del metal o aleación, mediante la aplicación de un reactivo apropiado (Nital 3%) sobre la superficie de la probeta, que somete a ésta a una acción química selectiva reaccionando exclusivamente con uno de los elementos químicos presentes en el material. La selección del reactivo de ataque se la realiza de acuerdo al tipo o clase de metal y por la estructura específica que se desea observar.

Las operaciones de ataque más comunes son;

- Por inmersión de la probeta en el reactivo.
- Mediante algodón empapado con reactivo, el cual se frota sobre la superficie pulida con la ayuda de una pinza.



Figura 47 Inmersión en el reactivo con Nital al 3%

Fuente: (Proaño, Investigación propia, 2012)

5.4.6 MICROSCOPIO

Luego de realizado el ataque químico se investiga el tipo de fundición por medio del microscopio óptico del Laboratorio de Metalografía, al finalizar dicho análisis se determina la clase de microestructura (Ver Figura 5.11.) en la cual se puede establecer que se trata de una estructura nodular ferrítica perlítica y se la compara con las micro estructuras conocidas.



Figura 48 Observación micro estructura mediante microscopio

Fuente: (Proaño, Investigación propia, ESPE, 2012)

De estas observaciones se recogieron varias fotografías en varios aumentos por medio del microscopio (100X – 200X – 400X), y se observó claramente la formación del nódulo de grafito en la microestructura del hierro fundido en el cubilote, la

presencia mayoritaria de ferrita, presencia de perlita y las zonas límite del tamaño del grano de la microestructura.

Cabe recalcar que se sumergió la probeta en nital al 3% por varios minutos para definir con mayor claridad el límite de grano de la fundición obtenida.

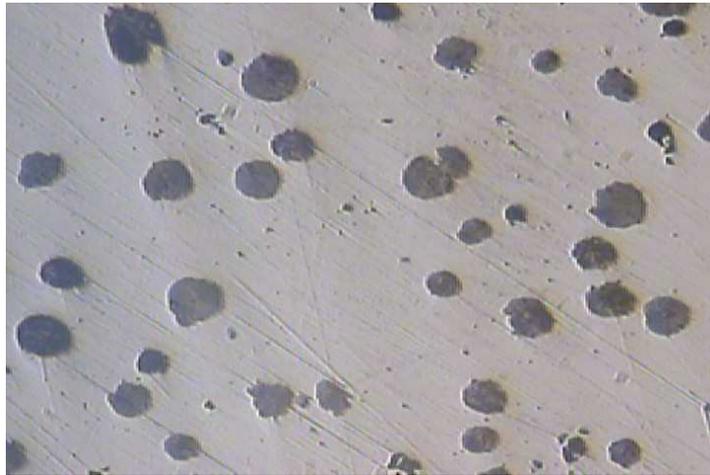


Figura 49 Microestructura de la fundición observada mediante microscopio

Fuente: (Proaño, Investigación propia, 2012)

5.5 ANALISIS DE RESULTADOS

5.5.1 ANALISIS DE LA FUNDICION NODULAR OBTENIDA MEDIANTE CUBILOTE

Los resultados obtenidos en la fundición provienen básicamente al control metalúrgico, variaciones de la cantidad de aleación nodulizante, la cantidad de inoculante y la temperatura de tratamiento. Las variaciones de estos factores permiten lograr el objetivo de este trabajo que es el de obtener hierro nodular normalizado según NTE INEN 2499:2009 que sirve como materia prima para la fabricación del tambor de freno. Los resultados obtenidos se refieren a una observación metalografía, ensayos de tracción y de dureza sobre cada una de las pruebas realizadas.

Con los ensayos de tracción y de dureza se observan los diferentes comportamientos que presentan los hierros logrados en cada prueba. La curva Esfuerzo-Deformación se la realiza midiendo los distintos valores de deformación para cada carga. En la observación metalográfica se determinan las variaciones que tiene la forma de grafito y se cuantifican las mismas. Para determinar la cantidad y forma aproximada del tipo de hierro, se realizan observaciones metalográficas a 100X sobre la probeta de cada prueba, después se cuenta la cantidad existente de grafito en forma de flóculos y esferoides. Esto permite tener un porcentaje aproximado de la forma de grafito que predomina, se determina también el tipo de matriz; los resultados que se obtienen se presentan en la tabla 19.

Tabla 19 Resultados de probetas que cumplieron requerimientos

Prueba	Resistencia a la Tensión PSI	Rango Nodularidad %	Rango Perlita %	Rango Ferrita %	Rango Carbono %	Conteo Nódulos u/mm ²	Observaciones
1	75993,1	90	27	63	4	25	Matriz ferrítica-perlítica
2	69705,0	90	27	63	4	25	Matriz ferrítica-perlítica

Fuente: (Proaño, Investigación propia, 2012)

Las probetas de las fundiciones 1 y 2 demostraron sobrepasar el límite mínimo establecido por la norma NTE INEN 2499:2009, el cual solicita sea un mínimo de 40000 PSI de esfuerzo a la tracción y un alargamiento promedio del 12% aproximadamente.

Además el grado de nodularidad que se obtuvo según la tabla de rango de microestructura de hierros dúctiles AFS, otorga el 90% de nodularidad al notar la carencia de hojuelas de grafito bajo el microscopio.

El alargamiento medido después del ensayo de tracción dio como resultado un valor de 11.9% en relación a las medidas originales de la probeta.

5.6 REQUERIMIENTOS GENERALES Y ESPECÍFICOS SEGÚN NORMA NTE INEN 2 499:2009.

La Norma NTE INEN 2 499:2009 Fundición Nodular (Hierro Dúctil) tiene por objeto establecer los requisitos para los elementos fundidos en fundición nodular, esferoidal o hierro dúctil. Este tipo de fundición se describe como una fundición de hierro con grafito exclusivamente en forma esferoidal.

La fundición de grafito esferoidal se define como hierro fundido cuyos elementos básicos son hierro y carbono, presentándose el carbono en forma de partículas esferoidales de grafito, esta forma se obtiene por la adición de una sustancia a la fundición en estado de fusión durante la solidificación.

Las partes y piezas que se realizan bajo esta norma generalmente son para esfuerzos de tracción como pueden ser piezas artísticas, válvulas, hidrantes, uniones universales, tapas de alcantarillado, y en este caso repuesto automotrices.

Las fundiciones de hierro dúctil se clasifican de acuerdo al grado de resistencia mecánica. A continuación se presentan los requerimientos de tensión necesarios:

Tabla 20 Tipos de Fundición Nodular

	GRADO HIERRO NODULAR				
	60-40-18	65-45-12	80-55-06	100-70-03	120-90-02
Resistencia a la tracción mínimo (MPa)	414	448	552	689	827
Limite de fluencia mínimo (MPa)	276	310	379	483	621
Elongación en 50mm mínimo %	18	12	6	3	2

Fuente: (INEN, Norma Ecuatoriana NTE INEN 2499:2009, 2009)

Además la norma presenta los requerimientos de tensión para aplicaciones especiales necesarios:

Tabla 21 Tipos de Fundición Nodular

GRADO HIERRO NODULAR			
	60-42-10	70-50-05	80-60-03
Resistencia a la tracción mínimo (MPa)	415	485	555
Limite de fluencia mínimo (MPa)	290	345	415
Elongación en 50mm mínimo %	10	5	3

Fuente: (INEN, Norma Ecuatoriana NTE INEN 2499:2009, 2009)

Los requisitos que deberá cumplir la fundición bajo la Norma NTE INEN 2499:2009 serán los siguientes:

- **Mecánicos:**

El hierro representado por la prueba de las muestras será de conformidad a los requerimientos según las propiedades de tensión presentadas en las tablas anteriores. Los hierros listados en la primera tabla cubren los de uso general, mientras que los listados en la segunda tabla son utilizados para aplicaciones especiales como tuberías y accesorios, etc.

Por otro lado, el límite de fluencia deberá ser determinado con una desviación del 0,2% de acuerdo al método de desviación de norma ASTM E8. Otros métodos pueden ser utilizados por mutuo acuerdo entre el fabricante y el comprador.

- **Químicos:**

Esta norma presenta la composición química estricta de las propiedades mecánicas. El siguiente cuadro muestra una guía para la composición química de cada tipo de hierro gris, dependiendo de su espesor.

Composición química de los tipos de hierros grises dependiendo de su espesor.

Tabla 22 Composición química recomendada según norma NTE INEN 2499:2009

GRADO					
Composición (%)	42-10	45-12	55-06	70-03	90-02
Carbono (C)	2,7 – 3,6	2,7 – 3,6	2,7 – 3,6	2,7 – 3,6	3,4
Silicio (Si)	1,3 – 2,4	1,3 – 2,4	1,3 – 2,4	1,1 – 2,2	1,1 – 2,2
Manganeso (Mn)	0,2 – 0,4	0,3 – 0,6	0,5 – 0,7	0,6 – 0,8	0,6 – 0,8
Magnesio (Mg)	0,02 – 0,08	0,02 – 0,08	0,02 – 0,08	0,02 – 0,08	0,02 – 0,08

Fuente: (INEN, Norma Ecuatoriana NTE INEN 2499:2009, 2009)

- **Tratamiento térmico.**

El grado 60-40-18 generalmente requerirá revenido para una total ferritización.

Los grados 120-90-02 y 100-70-03 normalmente requieren templado por inmersión y revenido o un normalizado y revenido, o un tratamiento isotérmico.

Los otros dos grados pueden ser obtenidos tal cual salen de la fundición o con tratamiento térmico.

El hierro nodular que ha sido tratado al calor por inmersión para obtener martensita y temperado puede tener una resistencia a la fatiga sustancialmente menor en relación al material que sale tal cual de la fundición con una misma dureza.

- **Dimensionales.**

Las piezas deben ajustarse a las dimensiones entregadas en los planos por el comprador, o si no hay planos, a las dimensiones estipuladas por el equipo representante del comprador.

- **Requerimientos complementarios.**

Cuando especifique el comprador que las piezas de fundición cumplan con requerimientos especiales tales como dureza, composición química, micro estructura, resistencia a la presión, pruebas radiográficas, inspección por partículas magnéticas y acabado superficial.

- **Acabado.**

Las piezas fundidas tendrán un buen acabado, libre de defectos peligrosos y estarán en concordancia con las dimensiones del diseño o modelo pedido por el comprador. Y no deberán presentar esquinas o centros endurecidos en las áreas a ser mecanizadas.

- **Rotulado.**

Siempre que el tamaño de las piezas lo permita, deberán tener una marca de identificación del fabricante, y el número de parte o modelo y matriz, realizados en alto relieve, ubicado en el lugar donde lo indiquen los planos.

- **Almacenaje y entrega.**

Si el comprador no lo especificare, la limpieza, secado, preservación y empaquetamiento deberá ir de acuerdo con la práctica comercial del fabricante, de una manera segura conforme al modo de transporte que sea empleado.

5.7 COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON LA NORMA NTE INEN 2 499:2009.

Teniendo la relación de 1 MPa = 145.0377 PSI, se deduce mediante cálculo que las probetas según los resultados en los ensayos de tracción dieron los siguientes resultados:

Tabla 23 Resultados obtenidos en los ensayos de tracción

A	Re	Rm	Re	Rm	A
Probeta	(PSI)	(PSI)	(MPa)	(MPa)	(%)
1	75993,10	86664,80	523,95	597,53	11,9
2	69705,00	81257,10	480,60	560,25	10,5

Fuente: (Proaño, Investigación propia, 2012)

- De donde:

Re = Esfuerzo en la fluencia

Rm= Esfuerzo en la rotura

A = Alargamiento porcentual en 50 mm

El esfuerzo Re que representa según la tabla 5.4 tipos de fundición nodular, sitúa a nuestra mejor fundición (probeta 1) con un valor de 523.95 Mpa entre los grados 80-55-06 y 100-70-03. Además el esfuerzo Rm que no es otra cosa que la resistencia mínima a la tracción igualmente para la mejor fundición (probeta 1) nos otorga un valor 597.53 MPa igualmente situándola entre los tipos 80-55-06 y 100-70-03; teniendo en cuenta que el grado de nodularidad según la tabla AFS otorga el grado de nodularidad de 90%.

Cabe tomar en cuenta que el alargamiento porcentual fue de 11.9% lo que mejora aun más las características del metal obtenido durante este proyecto.

Para ubicar a nuestro producto tomando en cuenta las aseveraciones enunciadas ubicamos a nuestro material en el grado 100-70-03, pero con la excepción del alargamiento porcentual que no es del 3% sino cercano al 12% lo que demuestra tener una fundición de alta resistencia y ductilidad.

El maquinado según se realizó para el tambor de freno como para la elaboración de las probetas demostró ser fácil y de dureza moderada, eso si tuvo una mayor dureza comparada con las piezas de fundiciones grises.

Si analiza con las diferentes tablas se podrá aseverar que nuestra fundición podría reemplazar a piezas que son fabricadas en acero suave que no supere su límite de fluencia en 500 MPa.

5.8 ANALISIS METALOGRAFICO

De la metalografía que se observa en la siguiente grafica se puede deducir lo siguiente:

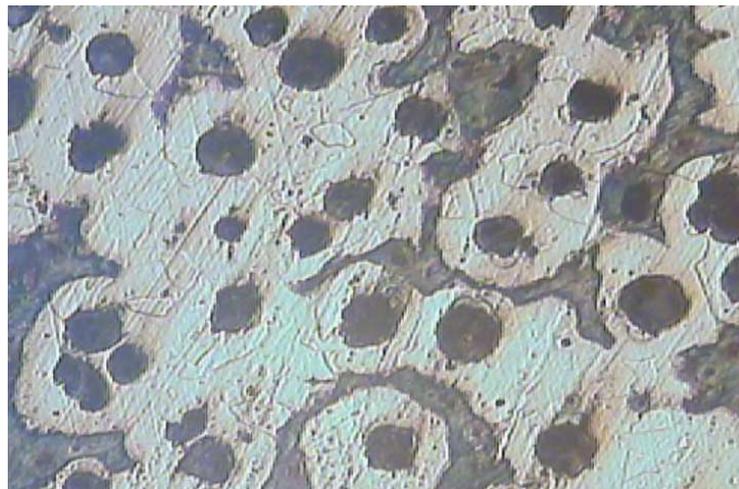


Figura 50 Microestructura de la fundición observada mediante microscopio ataca químicamente 100x

Fuente: (Proaño, Investigación propia, 2012)

La presencia mayoritaria de ferrita alrededor del nódulo de grafito lo que evidencia una buena calidad en la fundición, además la presencia de perlita en baja cantidades separando los granos de la matriz ferrítica perlítica.

Se observa un tamaño uniforme de nódulo de grafito lo que evidencia una homogeneidad en la composición del material. Además en los límites de grano se

divisa una baja presencia o casi nula en algunos granos de elementos nocivos a la resistencia y ductilidad del material como son la presencia de sulfuros y fosfatos.



Figura 51 Microestructura de la fundición observada mediante microscopio 400x

Fuente: (Proaño, Investigación propia, 2012)

La ferrita presente mayoritariamente y sin la presencia de poros o cámaras de aire entre el material garantizan las buenas cualidades que presento el material durante los diferentes ensayos.



Figura 52 Microscopio para verificación de metalografía

Fuente: (Proaño, Foto captada en laboratorios ESPE, 2012)

CAPÍTULO VI – ANALISIS ECONOMICO FINANCIERO

Dentro de este capítulo se determinarán los costos que se presentan para la producción de 12.000 kilogramos de fundición, proyectados para un mes de trabajo y se obtendrá en valor por kilogramo producido.

6.1 INVERSION TOTAL.

La inversión total que se debe realizar para poder producir la cantidad proyectada de fundición nodular se detalla en el siguiente cuadro:

Tabla 23 Inversión para elaborar el proyecto

INVERSION TOTAL	
DESCRIPCION	VALOR
ACTIVOS FIJOS	12.922,38
CAPITAL DE TRABAJO	21.823,59
TOTAL:	34.745,97

Fuente: (Proaño, Investigacion propia, 2013)

6.2 ACTIVOS FIJOS Y CAPITAL DE TRABAJO

6.2.1 ACTIVOS FIJOS

Los activos fijos son derechos que posee la empresa, es decir son bienes que están presentes para prestar su servicio en la producción, poseen una vida útil relativamente larga.

Tabla 24 Inversión fija tangible

RESUMEN DE INVERSION FIJA TANGIBLE	
DESCRIPCION	VALOR TOTAL
Maquinaria y Equipos	10.577,40
Otros activos	2.344,98
TOTAL:	12.922,38

Fuente: (Proaño, Investigacion propia, 2013)

6.2.1.1 MAQUINARIA Y EQUIPOS

En el presente estudio se ha considerado todos los elementos móviles y fijos cuyo funcionamiento facilitará es proceso productivo que se desea realizar.

Tabla25 Descripción de maquinaria y equipos

MAQUINARIA Y EQUIPOS				
DESCRIPCION	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Cubilote	500 Kg	1	2.500,00	2.500,00
Motor Eléctrico	7 Hp	1	900,00	900,00
Ventilador	5 Hp	1	350,00	350,00
Refractario	5 m2	1	1.200,00	1.200,00
Cucharas	Unidad	10	50,00	500,00
Puntas	Unidad	10	20,00	200,00
Cayanas	100 Kg.	4	200,00	800,00
Sopletes	Unidad	2	25,00	50,00
Tanque de gas	Unidad	4	50,00	200,00
Equipo oxicorte	Unidad	1	250,00	250,00
Tanque de CO2	Unidad	1	250,00	250,00
Compresor aire	3 Hp	1	600,00	600,00
Cajones - moldes	Unidad	50	25,00	1.250,00
Amoladora	Unidad	2	250,00	500,00
Martillos - combos	Unidad	4	20,00	80,00
Sierra	Unidad	2	10,00	20,00
Tenazas	Unidad	2	20,00	40,00
Palas	Unidad	4	15,00	60,00
Carretilla	Unidad	2	60,00	120,00
Medidor de temperatura	Unidad	1	500,00	500,00
Pirómetro				
Subtotal:				10.370,00
Imprevisto 2%				207,40
TOTAL:				10.577,40

Fuente: (Proaño, Investigacion propia, 2013)

6.2.1.2 OTROS ACTIVOS

En otros activos se reflejan todos los elementos de seguridad industria personal y de la planta, necesarios para poder realizar las operaciones de fundición, así como también los elementos de limpieza.

Tabla 26 Descripción de otros activos

OTROS ACTIVOS				
DESCRIPCION	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Casco	Unidad	9	5,00	45,00
Guantes	Unidad	9	16,00	144,00
Mandiles	Unidad	9	32,00	288,00
Gafas oscuras	Unidad	9	15,00	135,00
Delantales de cuero	Unidad	9	60,00	540,00
Mascarillas	Unidad	9	3,00	27,00
Botas punta de acero	Unidad	9	70,00	630,00
Extintores	Unidad	2	120,00	240,00
Equipo de limpieza	Unidad	5	50,00	250,00
Subtotal:				2.299,00
Imprevisto 2%				45,98
TOTAL:				2.344,98

Fuente: (Proaño, Investigación propia, 2013)

6.2.2 CAPITAL DE TRABAJO

Se define como capital de trabajo a la capacidad que debe poseer la empresa para poder realizar su actividad con normalidad en un plazo corto de tiempo, es una herramienta fundamental a la hora de emprender una actividad económica. En este caso específico, se detallará el capital de trabajo necesario para un mes y para la cantidad determinada de 12.000 kilogramos de fundición.

Tabla 27 Descripción del capital de trabajo

CAPITAL DE TRABAJO	
DESCRIPCION	VALOR MENSUAL
Materia Prima	8.302,80
Materiales Directos	239,70
Mano de Obra Directa	4.868,92
Mano de Obra Indirecta	439,58
Costos Administrativos	1.758,68
Suministros	6.139,99
Mantenimiento y Reparaciones	28,97
Seguros	44,95
TOTAL:	21.823,59

Fuente: (Proaño, Investigación propia, 2013)

6.2.2.1 MATERIA PRIMA

Se entiende por materia prima a todos los elementos que pasarán por un proceso específico bajo ciertas condiciones para transformarse en un bien de consumo.

A continuación se detalla la materia prima necesaria para realizar este proyecto:

Tabla 28 Descripción de la materia prima

MATERIA PRIMA				
DESCRIPCION	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Arena de viento	m3	10	50,00	500,00
Cuarzo	qq	20	10,00	200,00
Caliza	ton	1	100,00	100,00
Greda (Silicato)	qq	5	20,00	100,00
Colosil	l	5	10,00	50,00
Liga N°1	kg	20	14,00	280,00
Ferrosilicato	kg	100	3,00	300,00
Ferromanganeso	kg	100	5,00	500,00
Grafito (Polvo)	kg	100	4,00	400,00
Ladrillo refractario	Unidad	100	4,00	400,00
Cemento refractario	qq	2	80,00	160,00
Carburo calcio	kg	50	3,00	150,00
Chatarra colron	ton	2	400,00	800,00
Chatarra hierro fundido	ton	10	320,00	3.200,00
Chatarra cobre	kg	100	5,00	500,00
Chatarra acero	ton	1	500,00	500,00
Subtotal:				8.140,00
Imprevisto				162,80
TOTAL:				8.302,80

Fuente: (Proaño, Investigacion propia, 2013)

6.2.2.2 MATERIALES DIRECTOS

Los materiales directos son componentes que entran necesariamente en el proceso productivo. A continuación se detallan los siguientes:

Tabla 29 Descripción de los materiales directos

MATERIALES DIRECTOS				
DESCRIPCION	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Discos abrasivos	Unidad	20	3,00	60,00
Electrodos	kg	5	5,00	25,00
Pintura anticorrosiva	gl	10	15,00	150,00
Subtotal:				235,00
Imprevisto				4,70
TOTAL:				239,70

Fuente: (Proaño, Investigación propia, 2013)

6.2.2.3 MANO DE OBRA DIRECTA

Se conoce como mano de obra directa al personal que labora en la planta directamente en el área de producción, como pueden ser profesionales capacitados y obreros de planta.

Tabla 30 Costo mano de obra directa para la operación del proyecto

MANO DE OBRA DIRECTA													
DESCRIPCION	CANTI DAD	SUELDO	13ro.	14to.	VACACI ONES	APORT E EMPLE ADO 9,35%	APORT E PATRO NAL 11,15%	APOR TE IESS MENS UAL	FONDO DE RESERV A	VALOR A PERCIBIR TRABAJADO R/MES	VALOR MENSU AL+ BENEFI CIOS DE LEY	VALOR SUELDO S MES/MO D	VALOR ANUAL
Ingeniero Mecánico - Jefe de Planta	1	1.200,00	1.200,00	318,00	600,00	112,20	133,80	246,00	1.200,00	1.087,80	1.585,30	1.585,30	19.023,60
Hornero	1	318,00	318,00	318,00	159,00	29,73	35,46	65,19	318,00	288,27	439,58	439,58	5.274,98
Moldeadores	2	318,00	318,00	318,00	159,00	29,73	35,46	65,19	318,00	288,27	439,58	879,16	10.549,97
Picador	1	477,00	477,00	318,00	238,50	44,60	53,19	97,79	477,00	432,40	646,12	646,12	7.753,48
Auxiliar de calderas	2	318,00	318,00	318,00	159,00	29,73	35,46	65,19	318,00	288,27	439,58	879,16	10.549,97
Pulidor - pintor	1	318,00	318,00	318,00	159,00	29,73	35,46	65,19	318,00	288,27	439,58	439,58	5.274,98
TOTAL:	8											4.868,92	58.426,98

Fuente: (Proaño, Investigación propia, 2013)

6.2.2.4 MANO DE OBRA INDIRECTA

Por otra parte, la mano de obra indirecta es aquella que sirve de soporte para la realización de procesos relacionados con la administración y el manejo de los demás aspectos de la empresa.

Tabla 31 Costo mano de obra indirecta para la operación del proyecto

MANO DE OBRA INDIRECTA													
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	SUELDO	13ro.	14to.	VACACIONES	APORTE EMPLEADO 9,35%	APORTE PATRONAL 11,15%	APORTE IESS MENSUAL	FONDO DE RESERVA	VALOR A PERCIBIR TRABAJADOR/MES	VALOR MENSUAL + BENEFICIOS DE LEY	VALOR SUELDOS MES/MOI	VALOR ANUAL
Bodega	1	318,00	318,00	318,00	159,00	29,73	35,46	65,19	318,00	288,27	439,58	439,58	5.274,98
TOTAL:	1											439,58	5.274,98

Fuente: (Proaño, Investigación propia, 2013)

6.2.2.5 COSTOS ADMINISTRATIVOS

Es el personal que trabaja directamente en la parte ejecutiva de la empresa.

Tabla 32 Costo del personal administrativo para la operación del proyecto

PERSONAL ADMINISTRATIVO													
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	SUELDO	13ro.	14to.	VACACIONES	APORTE EMPLEADO 9,35%	APORTE PATRONAL 11,15%	APORTE IESS MENSUAL	FONDO DE RESERVA	VALOR A PERCIBIR TRABAJADOR/MES	VALOR MENSUAL+ BENEFICIOS DE LEY	VALOR SUELDOS MES/MOD	VALOR ANUAL
Gerente	1	1.000,00	1.000,00	264,00	500,00	93,50	111,50	205,00	1.000,00	906,50	1.321,00	1.321,00	15.852,00
Secretaria	1	320,00	320,00	264,00	160,00	29,92	35,68	65,60	320,00	290,08	437,68	437,68	5.252,16
TOTAL :	2											1.758,68	21.104,16

Fuente: (Proaño, Investigación propia, 2013)

6.2.2.6 SUMINISTROS

Por suministros se entiende todos los rubros consumibles necesarios en la etapa de producción.

Tabla 33 Costo del personal administrativo para la operación del proyecto

SUMINISTROS				
DESCRIPCION	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Carbón coke	ton	10	600,00	6.000,00
Agua potable	m ³	15	1,20	18,00
Energía eléctrica	kW	20	0,08	1,60
Subtotal:				6.019,60
Imprevisto				120,39
TOTAL:				6.139,99

Fuente: (Proaño, Investigación propia, 2013)

6.2.2.7 MANTENIMIENTO Y REPARACIONES

Mientras los activos fijos estén en operación, es necesario brindarles periódicamente labores de mantenimiento y reparaciones como engrasado, pintura, ajustes, etc. con el fin de que operen de forma óptima y preservar su vida útil.

A continuación se reflejan los valores para este rubro:

Tabla 34 Costo del personal administrativo para la operación del proyecto

DEPRECIACIONES				
DESCRIPCION	VIDA UTIL	INVERSI ON	VALOR MENSUAL	VALOR ANUAL
Maquinaria y equipos	10	10.577,40	88,15	1.057,74
Otros activos	10	2.344,98	19,54	234,50
TOTAL:			107,69	1.292,24

Fuente: (Proaño, Investigación propia, 2013)

Tabla 35 Costo del mantenimiento

MANTENIMIENTO Y REPARACIONES				
DESCRIPCION	PORCENT AJE	INVERSI ON	VALOR MENSUAL	VALOR ANUAL
Maquinaria y equipos	3%	10.577,40	26,44	317,32
Otros activos	1%	2.344,98	1,95	23,45
Subtotal:			28,40	340,77
Imprevisto			0,57	6,82
TOTAL:			28,97	347,59

Fuente: (Proaño, Investigación propia, 2013)

6.2.2.8 SEGUROS

Este rubro está destinado asegurar riesgos que pueden sufrir la maquinaria y equipos a través de la suscripción de un contrato de seguro. Con la finalidad de dar la máxima garantía por si se presentara una eventualidad.

Tabla 36 Costo de los seguros

SEGUROS				
DESCRIPCION	PORCENTA JE	INVERSION	VALOR MENSUAL	VALOR ANUAL
Maquinaria y equipos	5%	10.577,40	44,07	528,87
Subtotal:			44,07	528,87
Imprevisto			0,88	10,58
TOTAL:			44,95	539,45

Fuente: (Proaño, Investigacion propia, 2013)

6.3 FLUJO DE CAJA

Esta herramienta económica permite anticipar los saldos de dinero que se obtendrán por la actividad productiva que se va a realizar. Normalmente se calculan los ingresos y salidas de dinero para obtener la utilidad neta al final de un periodo determinado, en este caso para la producción y venta de las piezas obtenidas de fundición en un mes de trabajo.

Tabla 37 Costo de producción

COSTOS DE PRODUCCION	
DESCRIPCION	VALOR
COSTOS DIRECTOS	
Materia Prima	8.302,80
Materiales Directos	239,70
Mano de Obra Directa	4.868,92
COSTOS INDIRECTOS	
Mano de Obra Indirecta	439,58
Personal Administrativo	1.758,68
Suministros	6.139,99
Depreciación	107,69
Mantenimiento y Reparaciones	28,97
Seguros	44,95
TOTAL:	21.931,28

Fuente: (Proaño, Investigacion propia, 2013)

Tabla 38 Proyección de ingresos por ventas

PROYECCION DE INGRESOS POR VENTAS	
DETALLE	AÑO 1
Producción mensual en kg:	12.000
COSTO DE PRODUCCION	21.931,28
(+) Utilidad 300%	65.793,83
SUMATORIA:	87.725,10
COSTO POR KG DE FUNDICION:	7,31
INGRESO POR VENTAS MENSUAL:	87.725,10

Fuente: (Proaño, Investigación propia, 2013)

Tabla 39 Flujo de caja neto

FLUJO NETO DE CAJA	
DETALLE	MES 1
Ventas	87.725,10
(-) Costos de Producción	21.931,28
UTILIDAD BRUTA	65.793,83
(-) Costos Administrativos	1.758,68
UTILIDAD DE OPERACIÓN	64.035,15
(-) Costos Financieros	0,00
UTILIDAD ANTES DEL REPARTO	64.035,15
(-) 15% Repartición Trabajadores	9.605,27
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO	54.429,87
(-) 25% Impuesto a la Renta	13.607,47
UTILIDAD NETA	40.822,41

Fuente: (Proaño, Investigación propia, 2013)

6.4 RENTABILIDAD

La rentabilidad económica se refiere específicamente al beneficio económico que se va a obtener por realizar una actividad productiva. Ampliando este concepto, desde el punto de vista cualitativo e intangible, podemos agregar que rentabilidad además es el conocimiento adquirido y la experiencia que se obtiene.

La fórmula para obtener la rentabilidad económica es la siguiente:

$$R = 1 - (C / P)$$

Donde:

R = es la rentabilidad económica expresada en porcentaje.

C = es el costo de producción en el que se incurrirá.

P = es el presupuesto estimando de ventas.

Aplicando la formula obtenemos el siguiente resultado:

$$R = 1 - (21,931,28 / 87,725,1)$$

$$R = 0,75$$

$$R = 75\%$$

CAPÍTULO VII – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

En el presente proyecto se cumplió el objetivo de obtener una fundición nodular resistente y dúctil, además con un alto grado de modelización utilizando como medio para fusión del metal hierro y chatarra el horno de cubilote, el cual presenta varias características peculiares que hicieron de este proyecto un verdadero reto, que fue cumplido y del cual se desprenden las siguientes conclusiones:

- Para la obtención de un adecuado metal fundido que sirva de base para la nodulización se debe hacer un riguroso análisis de las condiciones físicas de operación del cubilote como son las dimensiones de acuerdo a la capacidad esperada de producción, la alimentación de aire soplado mediante un análisis de rendimientos, la calidad del coque requerido, el manejo adecuado de las cargas para la operación del cubilote según un balance de masa, conocer en que consisten las diferentes zonas de trabajo y como operan dentro del cubilote, la temperatura de operación y el adecuado uso de los fundentes.
- Se debe controlar la formación de escoria ya que una buena fluidez de las mismas será señal de un buen metal fundido, esto se debe a que hay que eliminar la mayor cantidad de azufre posible debido a que este elemento en combinación con el hierro resulta en sulfuro de hierro el cual al no ser muy adherente se ubica en los límites de grano y limita la resistencia a la tracción del material.
- Para eliminar la mayor cantidad de azufre se debe verificar la alimentación de aire soplado dentro del cubilote según las tablas de rendimiento del cubilote.
- Realizar un balance de carga y trabajar en una relación de hierro – coque ayuda siempre a tener un material limpio de azufre y una escoria fluida que ayuda a tener un metal en excelentes condiciones.
- Utilizar el carburo de calcio además de ser un excelente fundente al igual que la caliza, proporcional un aumento a la temperatura de fusión en la zona de

oxidación considerable, el cual permite levantar el hierro fundido hasta temperaturas cercanas a los 1450°C.

- Debido a que en nuestro medio no tenemos las herramientas adecuadas para realizar un excelente control metalúrgico base para cualquier buena fundición, nos obligamos a realizar un cálculo promedio de los elementos que forman la materia prima y los combustibles para el proceso de fusión en el cubilote, los que resultaron positivos y ayudaron de manejar de mejor manera la obtención de un buen hierro fundido.
- La inoculación se la realizo antes de la nodulizacion al cargar directamente la rocas de ferrosilicio al cubilote, acción que no afecto en nada la obtención del grafito nodular.
- Al obtener un material optimo, se procedió a realizar la nodulizacion en la cuchara de carga según los valores calculados para cantidad de nodulizante, este paso fue controlado y desarrollado con todas las seguridades para proceder luego al colado del metal liquido en el molde.
- El tambor obtenido mediante fundición nodular no presenta porosidades grades sino permisibles lo que demuestran un producto de buena calidad.
- La buena resistencia a la tracción del material se acerca a la resistencia del acero de baja aleación por lo que podría ser un buen reemplazante para ciertas piezas de la industria automotriz nacional.
- Se observo en la metalografía un grado de nodularidad del 90% con la presencia de ferrita 63% y perlita 27%, sin presencia de hojuelas de grafito laminar, con lo que se cumplió el objetivo planteado en el proyecto.
- Se cumplieron los requerimientos del hierro nodular bajo los requerimientos de la norma ecuatoriana NTE INEN 2499:2009 otorgándole el grado a nuestra fundición de 100-70-03 pero con la diferencia de una deformación cercana al 12%.
- Con el análisis económico financiero se determino que el costo por kilogramo de fundición nodular tiene un precio de 7.31 USD con una utilidad del 300%, con lo que su precio puede competir con los precios de las piezas hechas en acero (8 usd por kilogramo), que serian equivalentes en resistencia, pero con

la diferencia que el hierro nodular no se oxida y deteriora como el acero con el transcurso del tiempo.

- El control metalúrgico es esencial para la obtención de una fundición de características que cumplan con las normas requeridas.

7.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar esta clase de material en la elaboración de piezas que estén sometidas al desgaste debido a que el hierro nodular al poseer características de resistencia y ductilidad altas permite un mejor desempeño para piezas sometidas a fricción.
- Se recomienda para el manejo de la fusión en el cubilote hacer un análisis de las condiciones y parámetros que están gobernando el proceso, para realizar los ajustes necesarios en caso de tener bajos rendimientos de metal fundido.
- Siempre trabajar con un coque seco y limpio para evitar formar escorias muy duras que impidan la normal fusión dentro del cubilote.
- Manejar el ingreso de cargas de acuerdo a un plan, no hacerlo solo por experiencia porque se perjudicara el proceso en su rendimiento.
- Entender que el ingreso del aire y un adecuado manejo de las cargas permitirá desulfurar al metal líquido dentro del cubilote para así obtener un metal de buenas características.
- Se recomienda siempre trabajar bajo estándares de calidad, porque esto permitirá incrementar el precio de nuestro producto al igual que la confiabilidad de nuestros clientes.
- Se recomienda no detener la investigación de estos procesos dentro de nuestro país porque la industria de la metalurgia es base para la economía de varios países en el extranjero y nuestro objetivo como ecuatorianos es crear proyectos que impulsen y saquen adelante al Ecuador.

BIBLIOGRAFÍA

- Arrejin, D. (2012). *Metalografía*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos67/metalografia/metalografia2.shtml>
- Capello, E. (1966). *Tecnología de la fundicion*. Mexico: Ed. Gustavo Gili S.A.
- Edad de los Metales*. (s.f.). Obtenido de Wikipedia:
http://es.wikipedia.org/wiki/Edad_de_los_Metales
- Fundiciones*. (s.f.). Obtenido de <http://www.fuelleseltemplario.mex>
- INEN. (2009). Norma Ecuatoriana NTE INEN 2499:2009. Quito, Ecuador.
- INEN. (2009). *NORMA NTE INEN 2 499:2009*. Quito.
- Jimenez, J. (2003). *Propiedad de los Materiales*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos14/propiedadmateriales/propiedadmateriales.shtml>
- Linebarger, F. (s.f.). *THE DUCTILE IRON*. Obtenido de <http://www.ductile.org/>
- Madrid, U. P. (2012). *Torneado*. Obtenido de Torno para maquinado del tambor de freno:
http://www.gig.etsii.upm.es/fabricacion/torneado_archivos/image004.jpg
- Madrid, U. P. (s.f.). *Torneado*. Obtenido de Torno para maquinado del tambor de freno:
http://www.gig.etsii.upm.es/fabricacion/torneado_archivos/image004.jpg
- Nacional, E. P. (1979). Seminario de Fundicion Nodular. Quito - Ecuador.
- Nacional, E. P. (1979). Seminario de Fundicion Nodular. *Fundicion Nodular*. Quito - Ecuador.
- Nacional, E. P. (2012). Fundicion . *Seminario de Fundicion* . Quito - Ecuador.
- Normalización, I. E. (2009). *NORMA NTE INEN 2 499:2009*. Quito.
- Proaño, M. (2012). Cubilote Fundiciones Bonilla. Ibarra, Imbabura, Ecuador.
- Proaño, M. (2012). Equipo para realizar operaciones de desbaste. DECEM ESPE.
- Proaño, M. (2012). Esquema del soplado del aire en el cubilote. *Investigacion propia*. Quito, Ecaudor.
- Proaño, M. (2012). Investigacion Directa. *Cubilote*. Ibarra, Imbabura, Ecuador.

- Proaño, M. (2012). Investigacion directa foto tomada en "Fundiciones Palmira". Palmira, Colombia.
- Proaño, M. (2012). Investigacion directa. *Nodulizante ferrosilicio*. Quito, Ecuador.
- Proaño, M. (2012). Investigacion propia. *Esquema del ingreso del aire soplado a través de las toberas en el cubilote*. Quito, Ecuador.
- Proaño, M. (2012). Investigacion propia. *Composición química del desulfurante*. Quito, Ecuador.
- Proaño, M. (2012). Investigacion propia. *Composición química del desulfurante*. Quito, Ecuador.
- Proaño, M. (2012). Investigacion propia. *Colado a molde* . Quito, Ecuador.
- Proaño, M. (2012). Investigacion propia. *Temperatura del metal fundido medido con pirómetro*. Quito, Ecuador.
- Proaño, M. (2012). Investigacion propia. *Verificación de dimensiones segun norma INEN*. Quito, Ecuador.
- Proaño, M. (2012). Investigacion propia. *Inmersión en el reactivo con Nital* . Quito, Ecuador.
- Proaño, M. (2012). Investigaciones propia. *Grafico ilustrativo de las condiciones físicas optimas de operación del cubilote*. Quito, Ecuador.
- Proaño, M. (2012). Zona del Cubilote. Quito, Ecuador.
- Proaño, M. (2013). Investigacion propia. *Analisis economico financiero*. Quito, Ecuador.

GLOSARIO

Cubilote: Un cubilote es un horno vertical para refundir los lingotes de hierro que se obtienen en los altos hornos, chatarra reutilizada, alimentadores y bebederos de piezas fundidas anteriormente, principalmente se usa para fundir fundición gris y con la ayuda de metales añadidos

Fusión: Reacción que se produce cuando dos núcleos poco densos sometidos a elevadas temperaturas se fusionan y forman un núcleo más pesado

Hierro: Elemento químico de número atómico 26, masa atómica 55,84 y símbolo *Fe*; es un metal del grupo de los elementos de transición, de color blanco plateado, blando, dúctil, maleable, magnético y oxidable, que es muy abundante en la naturaleza formando compuestos y se extrae principalmente de la hematites; puede recibir diferentes tratamientos que le confieren propiedades distintas y usos diversos; principalmente se usa para fabricar herramientas, estructuras y objetos.

Nodulización: La nodulización es un tratamiento bastante sencillo que se hace en hornos cilíndricos rotatorios horizontales parecidos a los de cemento. En ellos, por efecto de la rodadura y la cocción a alta temperatura, se obtiene un producto de forma nodular del tamaño de una nuez.

ANEXOS