

T
669.14
CAN



Escuela Superior Politécnica del Litoral

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

Fabricación de Hierro Gris SAE G 3500 Para Guías de Valvulas

TESIS DE GRADO

**Previa a la Obtención del Título de:
INGENIERO MECANICO**

**Presentada por:
Edinson Antonio Cangá Corozo**

Guayaquil - Ecuador

Año - 2002

AGRADECIMIENTO

A Dios, a mi Madre, a todas las personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de la Tesis, a la Fábrica de guías ROMOS, a la Empresa Andec-Funasa, a los Ing. José Pacheco Director de la Tesis, al Ing. Ignacio Wiesner y al Ing. Omar Serrano por su ayuda y sus invaluable consejos.

DEDICATORIA



A MIS PADRES,
A MIS HERMANOS,
A MIS ABUELOS,
TIOS Y PRIMOS.

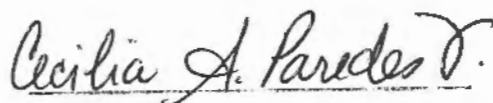
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Eduardo Fivadeneira F.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



Ing. José Pacheco M.
DIRECTOR DE TESIS



Dr. Cecilia Paredes V.
VOCAL

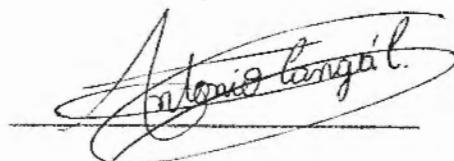


Ing. Omar Serrano V.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

A handwritten signature in black ink, reading "Antonio Cangá Corozo", written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

Antonio Cangá Corozo

RESUMEN

En los últimos años la demanda de fundiciones de hierro para repuestos automotrices ha crecido debido a los altos costos de los accesorios y repuestos de marca, y el mercado, especialmente el Guayaquileño, se ha visto invadido de productos de hierro gris de dudosa procedencia, que entran al mercado por la negativa aceptación o incredulidad de la eficiencia del producto nacional.

El presente trabajo tienen la finalidad de obtener un material que cumpla con las normas de la American Society for Testing Materials (A.S.T.M.), realizando todas las pruebas que estén a nuestro alcance , para que sirva como materia prima para la elaboración de guías de válvulas para motores de combustión interna.

Sabiendo que muy pocas fundiciones cuentan con un laboratorio para el control de propiedades mecánicas y composición química, usaremos métodos prácticos que nos ayuden a predecir la composición química.

En el primer capítulo se hace una pequeña descripción sobre las guías de válvulas, tipos de materiales, formas y dimensiones, temperaturas de trabajo, y la clasificación según el tipo de combustible a utilizar.

En el capítulo dos se hace una descripción general del horno del cubilote de revestimiento ácido, similar al utilizado en este trabajo, se tratará de los materiales adicionales que se utilizaron para mejorar el material fundido.

En el capítulo tres se lo dedicará al hierro gris, propiedades principales y la influencia de ciertos elementos sobre ellos, los controles que vamos a seguir y las especificaciones para dicho control.

En el capítulo cuatro, detallaremos todos los pasos que hemos seguido, desde la obtención del hierro gris hasta las pruebas de laboratorios realizadas. Al final, con los resultados obtenidos, podremos evaluar si los procedimientos seguidos son apropiados para la obtención de este material, comparándolas con valores referenciales.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	II
ÍNDICE GENERAL	IV
ABREVIATURAS	VIII
SIMBOLOGÍA	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE PLANOS	XII
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	
1. CARACTERÍSTICAS DE LAS GUÍAS DE VÁLVULAS	3
1.1 Clasificación	6
1.2 Temperaturas de trabajo	9
1.3 Formas mas comunes	9
CAPÍTULO 2	
2. FUNDICIÓN DEL HIERRO GRIS	11
2.1 Descripción del cubilote	12
2.2 Materiales adicionales en la carga	15
2.2.1 Ferroaleaciones	16

2.2.2 Desulfuración	16
2.2.2.1 Desulfuración con carburo de calcio	18
2.2.3 Carburación	20

CAPÍTULO 3

3. CARACTERÍSTICAS DEL HIERRO GRIS	23
3.1 Principales propiedades de la fundición gris	28
3.1.1 Resistencia a la tracción	28
3.2.2 Resistencia a la corrosión	29
3.3.3 Resistencia al desgaste	29
3.2 Factores que influyen en las características mecánicas del hierro gris 30	30
3.2.1 Influencia de la composición química	30
3.2.2 Tamaño y distribución de las hojuelas de grafito	33
3.2.3 Influencia de la velocidad de enfriamiento	37
3.3 Control en la fundición	38
3.3.1 Métodos standard de pruebas de temple para el hierro gris	38
3.3.1.1 Cuña de temple	39
3.3.2 Carbono equivalente	41
3.3.3 Especificaciones standard para el control del hierro gris	41

CAPÍTULO 4

4. TRABAJO EXPERIMENTAL	43
4.1 Obtención del hierro gris	43
4.1.1 Materias primas usadas	43
4.1.2 Estabilidad del horno	47
4.1.3 Cálculo de carga del cubilote	48
4.1.4 Carburación y desulfuración	50
4.2 Cufia de temple	52
4.2.1 Medida del espesor de temple	52
4.2.2 Determinación de la cufia optima	52
4.3 Pruebas de laboratorio	53
4.3.1 Ensayos de tensión	53
4.3.2 Análisis químico	56
4.3.3 Ensayos de dureza	57
4.3.4 Análisis metalográfico	58
4.3.4.1 Metalografía sin ataque	59
4.3.4.2 Metalografía con ataque	59
4.4 Resultados obtenidos	65

CAPÍTULO 5

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	74
5.1 Composición química	75

5.2	Propiedades mecánicas	79
5.3	Resultados Metalográficos	84
5.3.1	Metalografía sin ataque	84
5.3.2	Metalografía con ataque	84

CAPÍTULO 6

6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	85
6.1	Conclusiones	85
6.2	Recomendaciones	86

APÉNDICES.

BIBLIOGRAFÍA.

ABREVIATURAS

AFS	American Foundrymen's Society
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ASTM	American Society for Testing Materials
C	Carbono
Ce	Carbono equivalente
cc	centímetros cúbicos
cal	calorías
cm ²	centímetros cuadrados
Ce	carbono equivalente
FeS	Sulfuro de hierro
Fe ₃ C	Carburo de hierro o cementita
FeSi ₃	Siliciuro de hierro
G	Gris
GLP	Gas Licuado de Petróleo
° C	Grados Celsius
° F	Grados Fahrenheit
HB	Dureza Brinell
Kcal.	Kilo calorías
Kg.	Kilogramos
Lb.	Libras
mm.	milímetros
mm ²	milímetros cuadrados
Mn	Manganeso
MnS	Sulfuro de manganeso
N ^o	Número
oz	Onzas
P ₃ S	Fosfuro de hierro
pulg.	pulgada
S	Azufre
SAE	Society of Automotive Engineers
UNS	Unified Numbering System
W	wedge (cuña)

SIMBOLOGÍA

γ	Austenita
α	Ferrita
P	Perlita

ÍNDICE DE FIGURAS.

	Página
Figura 1.1 Partes típicas de un motor Diesel básico	4
Figura 1.2 Partes de una las tres culata de un motor	5
Figura 1.3 Formas más comunes de las válvulas	10
Figura 2.1 Partes principales de un cubilote	14
Figura 2.2 Temperatura del metal versus el azufre removido	19
Figura 2.3 Métodos usados para el mezclado de carbono	21
Figura 3.1 Resumen de las microestructuras y fases del hierro	25
Figura 3.2 Microestructura de un hierro gris fundido	26
Figura 3.3 Esquema de las hojuelas de grafito	27
Figura 3.4 Relación de la resistencia tensil al contenido de carbono y silicio	31
Figura 3.5 Longitudes de las hojuelas de grafito	35
Figura 3.6 Tipos de hojuelas de grafito	36
Figura 3.7 Típica probeta de cuña	37
Figura 3.8 Dimensiones para las cuñas de prueba	40
Figura 3.9 Muestras para la prueba de tensión	42
Figura 4.1 Máquina para pruebas de tensión	55
Figura 4.2 Espectrómetro para análisis de muestras sólidas	56
Figura 4.3 Metalografía de la muestra # 2	60
Figura 4.4 Metalografía de la muestra # 4	61
Figura 4.5 Metalografía de la muestra # 14	62
Figura 4.6 Metalografía de la muestra # 18	63
Figura 4.7 Metalografía de la muestra # 24	64
Figura 5.1 Porcentaje de Silicio vs Medición de temple cuña W 3 1/2	78
Figura 5.2 Carbono Equivalente vs Medición de temple cuña W 3 1/2	80
Figura 5.3 Resistencia a la tracción vs Dureza Brinell	83

ÍNDICE DE PLANOS.

	Páginas.
Plano 1 Guía de válvula para motores a Diesel	88
Plano 2 Guía de válvula para motores a Diesel	89
Plano 3 Probetas para ensayos de tracción	90

INTRODUCCIÓN

La industria de la fundición es muy importante para el desarrollo de un país, ya que suministra maquinaria y piezas para el agrícola, textil y el sector automotriz. Debido a la mala calidad o poca garantía de las piezas fundidas locales gran parte de los suministros y repuestos requeridos en el país son importados, ya sea como materia prima o como producto terminado.

Este es el caso de la mayoría de los repuestos automotrices utilizados en el medio, la mayoría de dudosa procedencia, se abren paso en el mercado por la desconfianza que hay hacia el producto nacional, y en muchos casos también por precios mas baratos, la demanda de guías de válvulas en la ciudad de Guayaquil es de alrededor de 15000 a 18000 unidades al mes, las cuales mas de la mitad son importadas.

El propósito de este trabajo es de producir hierro gris de buena calidad, utilizando un horno de cubilote pequeño, mediante el uso de ferroaleaciones y fungibles que ayuden a la fundición, mejorando el producto final. Para esto usaremos técnicas, que si bien son nuevas para la mayoría de los fundidores, han sido empleadas desde algún tiempo atrás en algunos países vecinos de igual o mayor desarrollo al nuestro en este campo, y que pueden ser

introducidas sin mayores innovaciones, una de estas será el uso apropiado de cuñas de temple para un mejor control en la fundición.

Se pondrá mayor énfasis en el trabajo experimental que cubrió desde la selección y pesado de los materiales de carga, hasta el control posterior en el laboratorio por medio de pruebas mecánicas, ensayos químicos y metalográficos de cada una de las muestras obtenidas en molde de arena y molde metálico.

CAPÍTULO 1

1. CARACTERÍSTICAS DE LAS GUÍAS DE VÁLVULAS.

La guía es básicamente un cilindro hueco fabricado de hierro gris o aleaciones de bronce, completamente concéntricas y su función es la de guiar el desplazamiento longitudinal de la válvula, que es a su vez la encargada de permitir la entrada de la mezcla de aire - combustible al cilindro, sellar herméticamente el cilindro en los procesos de compresión y posterior explosión de la mezcla dentro del cilindro, para después por medio de la válvula de escape dejar salir los gases remanentes de la combustión; por esto tanto guías como válvulas están expuestas a los mas fuertes y cambiantes procesos que ocurren en un motor de combustión interna, figura 1.1, y esto es la causa de que se fabriquen con tan celosos procesos y tolerancias para garantizar su desempeño. Van colocadas con ajuste forzado y la holgura entre el vástago y la guía generalmente suele estar comprendida entre 0.004 y 0.007 mm para la admisión, la de escape

es un poco mayor , de 0.007 a 0.01 mm, debido a la mayor dilatación que experimenta. (1,2).

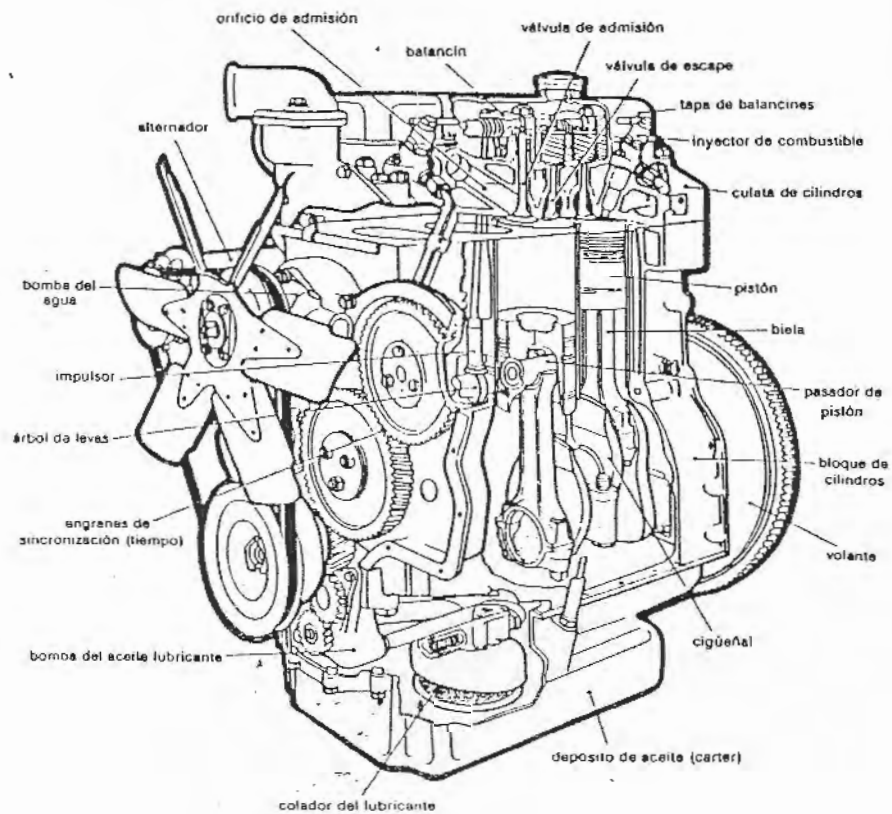


Figura 1.1 Partes típicas de un motor Diesel básico. Se han cortado secciones para mostrar las piezas internas.(1)

Las guías de válvulas van insertadas a presión en una culata de cilindros como se muestra en la figura 1.2 junto con el resorte de la válvula para mantenerlas cerradas, la guía va en el vástago de la válvula manteniéndola centrada en su orificio y hace que la cara en la cabeza de la válvula haga contacto correcto con el asiento de válvula en la culata.

(2,3)

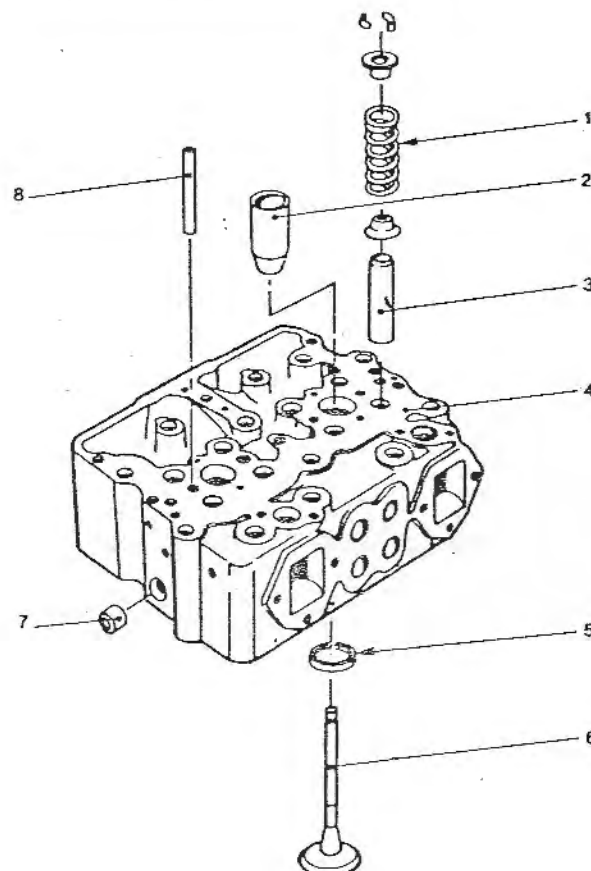


Figura 1.2 Partes de una de las tres culata de un motor de seis cilindros: cada culata cubre dos cilindros: 1 resorte de válvula, 2 manguito (camisa) de inyector, 3 guía de válvula, 4 culata, 5 inserto de asiento de válvula, 6 válvula, 7 tapón, 8 guía de la cruceta.(2)

1.1 Clasificación.

Las guías de válvulas en su mayoría son de Hierro Gris, de la clasificación SAE G 3500, también hay guías de válvulas de Bronce al Manganese, Bronce fosfórico y Bronce al Aluminio/Silicio que se usan en motores de competición por su condición especial de conductividad del calor y resistencia al desgaste por fricción, pero estas no serán consideradas en este trabajo. Las guías de aleaciones de bronce generalmente son mas costosas que las de hierro gris, con gasolina con plomo, las guías de aleaciones de bronce duran de 3 a 5 veces más que las de hierro gris, pero con gasolina sin plomo la diferencia de longevidad no es significativa. (1,3).

El desgaste de las guías, especialmente la de escape, se debe a la demasiada economía del combustible a que se someten algunos motores. La combustión pobre en gasolina y rica en oxígeno forma una flama oxidante, la cual origina una temperatura muy alta con un exceso de oxígeno que produce a los materiales una oxidación acelerada; esto genera en la guía de escape un desgaste prematuro por oxidación y cavitación, perdiéndose las tolerancias de lubricación y dando origen al paso de aceite. Las guías para motores a gasolina y a gas licuado de petróleo son similares en forma y en dimensiones, pero estas trabajan a temperaturas mas altas debido a la mezcla

Algunas recomendaciones en la selección de hierro gris como material para piezas automotrices se muestran en la tabla 2.

Tabla 2

Efectos de la estructura bajo propiedades esenciales. (4)

Efectos en la:	Lo aceptable	Lo mejor	Forma
Costo de fundición	Mezcla de A/B-D	Tipo A	Forma del Grafito
	Fósforo medio	Bajo Fósforo	Compuestos
	Perlita no controlada	Perlita	Matriz
Costo de maquinado	Mezcla de A/B-D	Tipo A	Forma del Grafito
	Fósforo medio	Bajo Fósforo	Compuestos
	Perlita no controlada	Perlita	Matriz
La abrasión.	Mezcla de A/B-D	Tipo A	Forma del Grafito
	Fósforo medio/alto	Bajo Fósforo	Compuestos
	Perlita bainita	Perlita	Matriz
El desgaste	Tipo A	Mezcla A/B-D	Forma del Grafito
	carburos de fósforo	Fósforo medio	Compuestos
	Perlita no controlada	Perlita	Matriz
Resistencia a fatiga	Nódulos de grafito	Mezcla A/B-D	Forma del Grafito
	Fósforo bajo	Fósforo medio	Compuestos
	Perlita no controlada	Perlita	Matriz



homogénea, controlada y bien distribuida con el aire comburente en los cilindros , facilitando una combustión más completa, y además el GLP posee un alto poder calorífico, lo cual permite almacenar una gran cantidad de energía en un pequeño volumen. Tabla 1.(1,3)

Las guías de válvulas para motores a Diesel en su mayoría son más grandes y de mayor espesor que las guías para motores a gasolina ya que todos los motores a Diesel se construyen con componentes más fuertes que los motores a gasolina debido a las fuerzas centrífugas y de inercia que son mayores en un motor a Diesel.

Tabla 1

Temperaturas de trabajo de las guías de válvulas en relación al combustible utilizado.(3)

Guías de válvulas para motores a:	Poder calorífico (Kcal/Kg.)	Temperaturas máximas de trabajo ($^{\circ}$ C)
Diesel.	10759	169
Gasolina para auto.	11220	216
Gasolina para aviación.	11290	245
Gas Licuado de Petróleo	11750	250

1.2 Temperatura de trabajo.

Las temperaturas que se alcanzan en la combustión son muy altas, por ello, las válvulas se ven directamente afectadas por esta condición ya que constantemente están expuestas a la brusquedad térmica en cada ciclo de trabajo. El calor acumulado en la válvula se disipa, sobre todo, por el asiento de válvula y una pequeña parte pasa por el vástago hacia la guía de válvula, (el 76% del calor se marcha por el asiento de válvula y el 24% restante lo hace por el vástago de válvula).(1)

1.3 Formas mas comunes.

Para facilitar la identificación, las formas mas comunes de las guías han sido esquematizadas y se les ha dado una letra para identificarlas en la figura 1.3. Las guías A, B y C son utilizadas en motores a Diesel y las otras en motores a gasolina. Las medidas de una guía para motor a Diesel y a gasolina son mostradas en el plano 1 y 2, las características particulares han sido resumidas en una sola guía y están simbolizadas por cifras de 1 al 6 como sigue:

1. Canal externo para asiento del anillo de fijación.
2. Extremidad más estrecha.
3. Extremidad cónica.
4. Cámara cilíndrica en el interior de la guía.

5. Agujeros para lubricación.

6. Taladrado al final de la guía.

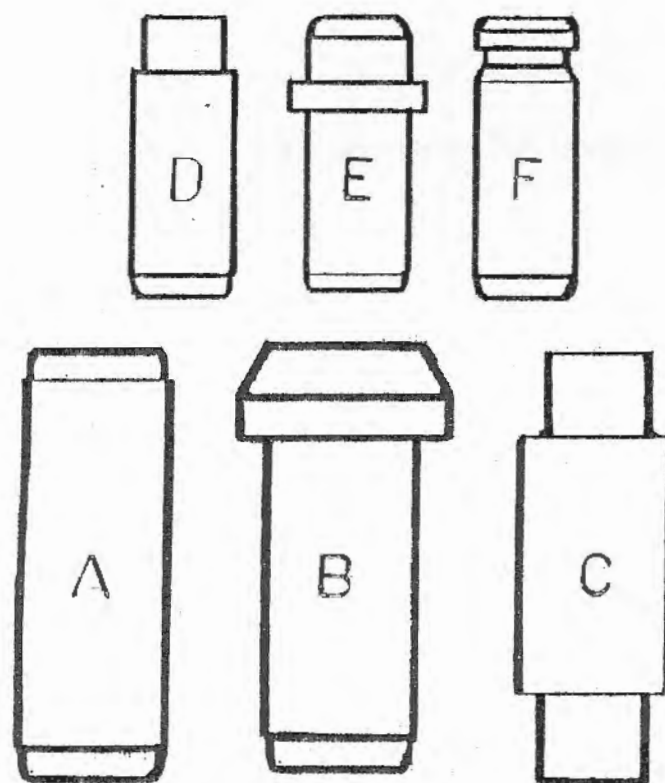
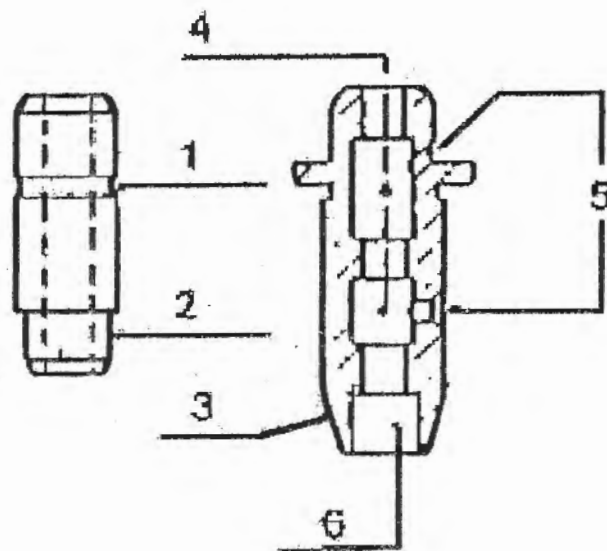


Figura 1.3 Formas más comunes de las válvulas.(5).

El horno de crisol, tiene la ventaja de que se elimina el contacto del hierro con los combustibles; sin embargo su servicio es muy costoso y se le emplea únicamente para fundiciones de alta calidad.

El horno eléctrico, posee ventajas indiscutibles sobre el de cualquier otro sistema; mencionemos sólo la sencillez y rapidez de las operaciones, la ausencia de ventiladores, combustibles, cenizas y escorias y, por fin, la fácil regulación de la temperatura requerida. (4)

Aquí utilizaremos sólo el primero de los mencionados, es decir, el horno de cubilote.

2.1 Descripción del cubilote.

Los hornos de cubilotes son utilizados en la mayoría de las fundiciones de hierro, la figura 2.1 representa la construcción del horno propiamente dicho. En líneas generales, consisten simplemente de un tubo de acero, casi siempre cilíndrico y con un espesor de 6 a 12 mm, el cual se encuentra revestido en su parte interior con ladrillos o bloques refractarios y está sostenido por cuatro columnas.

El diámetro interior de estos hornos varía normalmente entre 400 y 1600 mm., pero el usado en este trabajo tiene apenas 370 mm. En la parte superior del horno se encuentra una abertura, el *fragante o cargadero*, por el cual se alimenta el horno. A una altura, que varía

según el tamaño del horno, se encuentra colocado un anillo forjado que corre todo el alrededor del horno y sobre el cual está fijada una tubería de aire. Un ventilador, accionado eléctricamente, insufla el aire en esta caja de viento, con una presión manométrica que oscila entre 200 a 1000 mm de agua (0,25 y 0,13 psi); la presión depende del diámetro del horno y debe ser tan alta que el viento llegue al centro de la carga venciendo las resistencias del rozamiento y de los remolinos.

El aire indispensable para la combustión forzada del carbón penetra, pues, por dos *toberas* en la parte interior del cubilote. Hay varios *registros* los cuales permiten cerrar estas toberas desde afuera para obtener la regulación de la cantidad de aire inyectada. El horno está cerrado en su parte inferior por una *plancha base*; de hierro colado o chapa fuerte. En su centro hay una abertura del diámetro de la solera que puede cerrarse con un portillo de descarga de dos batientes, que se abren hacia abajo por medio de un cerrojo, de una palanca o quitando un puntal.

La *solera* es el fondo del cubilote, la cual se la forma con arena de fundición, generalmente para su mayor consistencia, mezclada con arcilla, con el fin de protegerla del calor y del hierro líquido, la solera va siempre inclinada hacia la piquera.

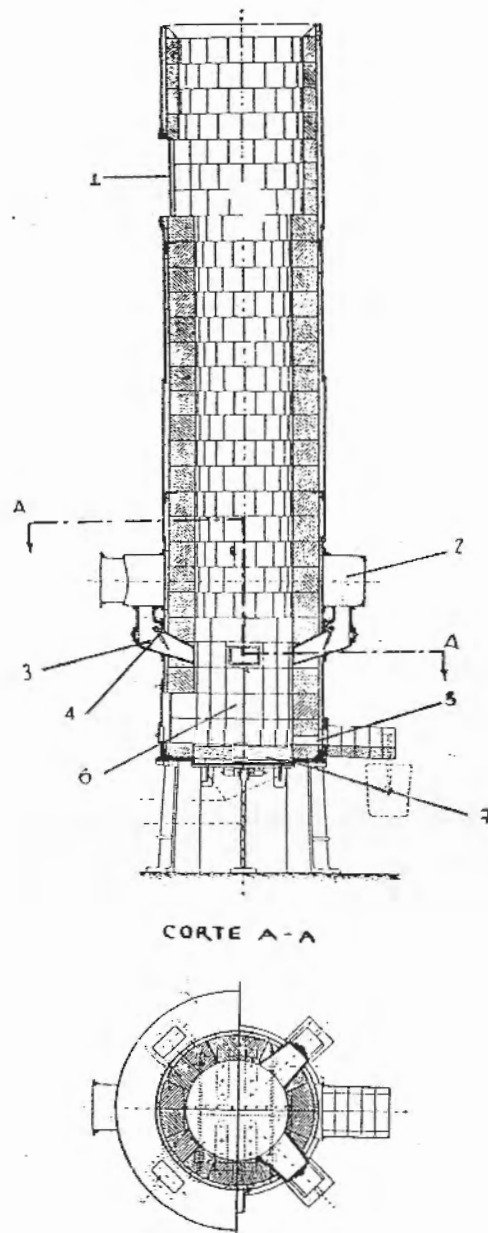


Figura 2.1 Partes principales de un cubilote: 1 tragante, 2 caja de viento, 3 toberas de aire, 4 registro, 5 piquera, 6 crisol, 7 solera.(4)

Al mismo nivel del piso de arena hay un agujero, *la piquera*, destinada a la extracción del hierro, y la cual, entre sangrada y sangrada, se mantiene cerrada con un tapón de arcilla o de lodo.

La parte desde el nivel de las toberas, que inyectan el aire a través de la carga, hasta el fondo del horno, se llama *crisol*; en el crisol se reúnen el hierro fundido y las escorias; éstas por su menor peso específico, flotan en la superficie del hierro líquido y salen por un agujero, el *escoriador*, que se encuentra en un nivel entre la piquera y el umbral de las toberas de aire. (4,5)

2.2 Materiales adicionales en la carga.

En el horno de cubilote ocurren, en efecto, fenómenos de oxidación y cambios complejos que cambian la composición química de la carga, se forma escoria de la ceniza del coque, refractario fundido, barro, etc. Para compensar esto se añaden Ferroaleaciones y fundentes como la caliza, que evitan que se produzcan puentes, limpia los trozos de coque, y favorecen el aumento de la temperatura.

Las adiciones de los componentes de aleación pueden ser hechas, durante el proceso de fusión o en el crisol, los elementos que más se adicionan son el Silicio y el Manganeso en forma de ferroaleaciones.

Los procesos de carburación y desulfuración facilitan un rápido ajuste en la composición química para ser hecha cuando esta es necesaria y también ofrece la posibilidad de producir diferentes grados de hierro desde un horno convencional con cargas diversas.

2.2.1 Ferroaleaciones.

Las ferroaleaciones sirven para añadir el porcentaje de elementos faltantes o escasos, tales como el manganeso silicio, fósforo, cromo, etc., en el Apéndice I se presenta una tabla donde figuran las ferroaleaciones más usadas junto con su eficiencia. Las ferroaleaciones como su nombre lo indica consisten en la aleación del hierro con uno o varios elementos, con la finalidad de introducirlos al metal fundido, unas veces en la cuchara ó como una parte de la carga del cubilote, para la regulación de los niveles de Silicio y manganeso contenidos en el producto, o para introducir elementos con la finalidad de modificar las propiedades del hierro. (7)

2.2.2 Desulfuración.

Cuando se requiere producir fundiciones de buena calidad, a menudo es necesario recurrir a la desulfuración. El exceso de azufre en el hierro normalmente ocurre por la utilización de un

coque de baja calidad el cual es común en este medio. Algunos de los beneficios derivados de la desulfuración son:

- Mejora la fluidez y pureza del hierro, resultado de la remoción de silicatos incorporados y gases disueltos.
- Necesidad de menos manganeso en el hierro, como resultado de mantener el contenido de azufre a un nivel más bajo.
- Disminución del porcentaje de coque en las cargas de alrededor de un 3 a 5%.
- Aumento de la temperatura de colado de 1200 - 1250 a 1400 - 1450 °C.
- La reducción de chatarra de primera calidad, con ello el uso de más chatarra de retorno de colada en las cargas del cubilote.

La elección del agente desulfurante usado es determinado según el proceso a ser adoptado, los dos agentes más comunes son, el carburo de calcio y el carbonato de sodio. El carbonato de sodio es apropiado solo para usar en operaciones que requieren una adición directa en la cuchara, las características de ambos se muestran en la tabla 3. El proceso que se va a usar en este trabajo es la adición del agente

desulfurante como parte de la carga, por lo tanto usaremos el carburo de calcio. (7,8)

Tabla 3
Características del Carbonato de sodio y el carburo de calcio como desulfurantes.(8)

Factor	Carbonato de sodio	Carburo de calcio
Escoria producida	muy fluida, mucha dificultad para remover	granular, fácil de remover
Humo	esencial, extracción apreciable	no molesta
Perdida de silicio	arriba de 0,3%	muy pequeña
Perdida de temperatura	grande	ninguna, ayuda a aumentarla
Refractarios	preferiblemente básicos	sin importancia.

2.2.2.1 Desulfuración con carburo de calcio.

En teoría se necesita 10 Lb. de carburo de calcio para eliminar 1 ½ a 2 ½ Lb. de azufre. La composición que se necesita para las guías de válvulas permite un porcentaje máximo de 0,15 % de Azufre, y el carburo de calcio será añadido como parte de la carga en forma de piedra.

El % de carburo de calcio a incorporar va a ser entre 0,5 y 1% del peso total de la carga, con esto se puede reducir de desde 0.10 - 0.15 % hasta 0.07 - 0.08 %, en la figura 2.2 se muestra el efecto que produce un 1.0% de carburo de calcio en la carga. (8)

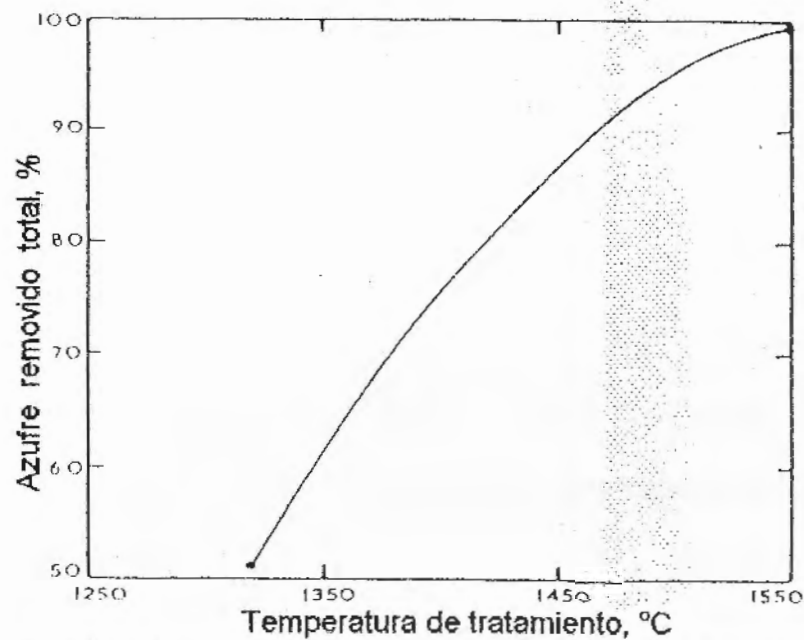


Figura 2.2 Temperatura del metal versus el azufre removido.

Resultado obtenidos de un adición de 1 % de carburo de calcio. (8)

2.2.3 Carburación.

La utilización de chatarra diversa en la carga, el uso de acero y carbón coque de baja calidad hacen que el contenido de carbono en el hierro en ocasiones disminuya. De los agentes carburizantes eficaces, solo el carbonato de alta pureza es apropiado para usar como una adición directa en la cuchara.

Los demás tipos de carburizantes, tales como el cisco de coque seco o sobras de electrodo de grafito, son usados con técnicas como la de doble cuchara, cuchara temblante, agitación por inducción eléctrica, inyección de gas, agitación por gas, como lo muestra la figura 2.3. Una comparación de carbón cedido por adición directa en la cuchara cuando se usan varios tipos de carburizantes comerciales se muestra en la tabla 4.(8)

El efecto de la temperatura del metal en la cantidad de carbono mejorado es muy importante, la alta eficiencia de la carburización es obtenida con metal caliente. Bajo condiciones normales de experimento usando polvo de grafito, la adición de un 1% da un 0,35 % de carbón incrementado con una temperatura de 1500 °C, pero menos del 0,25 % a 1300 °C.

El agente carburizante a utilizar es la antracita porque fue el que se pudo conseguir, y la técnica será la doble cuchara que consiste en vaciar por completo el contenido de una cuchara a otra en dos ocasiones, con el fin de que se mezcle el metal fundido con el agente.

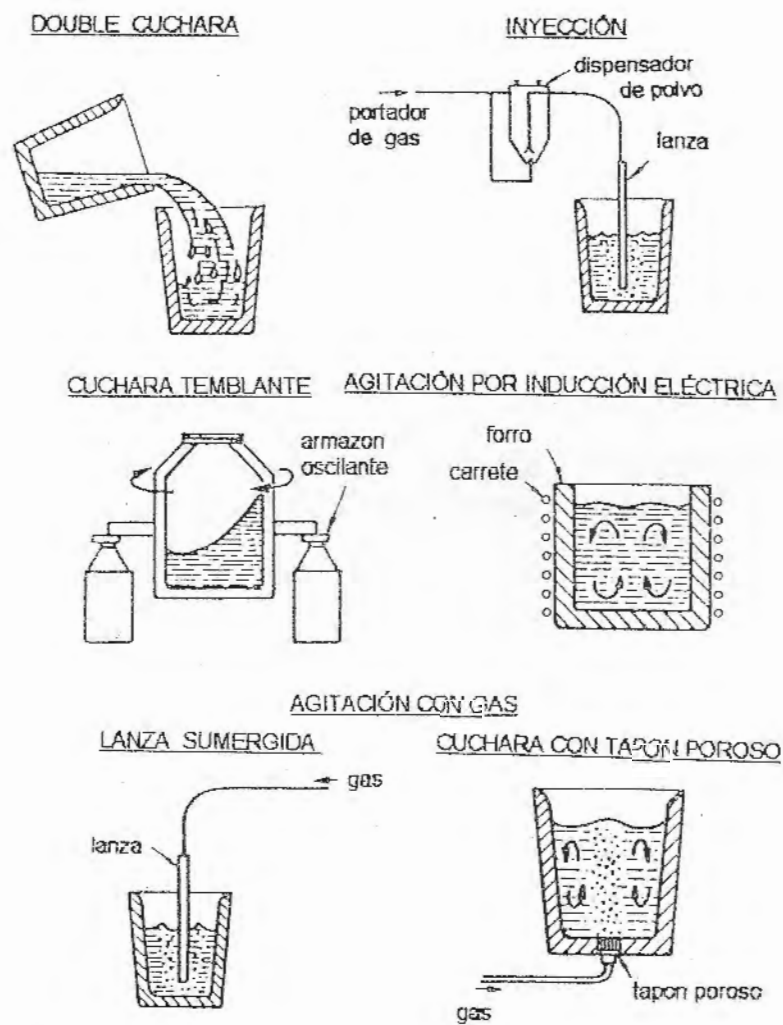


Figura 2.3 Métodos usados para el mezclado de carbono.(8)

Tabla 4

Tipos de carburizantes versus el carbón elevado.(8)

Tipo de carburizante, tamaño menor a 0.25 mm en malla de red	Cantidad de carbono mejorado.	Carbono cedido, %
Grafito de alta pureza	0.37	74
Carburizante grado 2	0.24	48
Sobras de electrodo grado A	0.24	48
Antracita	0.22	44
Polvo de coque seco	0.19	38
Grafito de baja pureza	0.19	38
Polvos de carbón de piedra	0.12	24

Resultados obtenidos de un hierro con un 2,7 % de Carbono,
con una adición de 0,5 % a una temperatura de 1400 °C.

CAPÍTULO 3

3. CARACTERÍSTICAS DEL HIERRO GRIS.

Este grupo constituye una de las aleaciones de hierro más ampliamente utilizadas, en la fabricación del hierro gris, la tendencia de la cementita a separarse en grafito y perlita o ferrita es favorecida controlando la composición del metal líquido y la rapidez de enfriamiento. La mayoría de los hierros grises son aleaciones hipoeutécticas que contienen entre 2.5 y 4 % de carbono, figura 3.1(9)

Pueden distinguirse diferentes micro-constituyentes del hierro gris los cuales analizaremos a continuación:

La **cementita** es un compuesto de hierro y carbono conocido químicamente como carburo de hierro (Fe_3C), contiene 6.67% de carbono por peso. Es un componente duro y de baja resistencia, 3.5 Kg/mm^2 , y una dureza Brinell de 550.

La **austenita** es el nombre dado a la solución sólida γ , es una solución sólida de carbono disuelto en hierro γ , su máxima solubilidad es de 2% de carbono. Su resistencia tensil es de 95 Kg/mm² y su dureza aproximadamente 300 Brinell.

La **ferrita**, casi hierro puro, es el nombre dado a la solución sólida α , es una solución sólida de una pequeña cantidad de carbono disuelto en hierro α . Es una estructura suave, cuya dureza es de alrededor de 90 Brinell y resistencia tensil de 25 kg/mm².

La **perlita** es la estructura de la mayoría de los hierros grises comerciales, es una mezcla muy fina, tipo placa o laminar de ferrita y cementita. Tiene una dureza Brinell de aproximadamente 200 y resistencia de 80 kg/mm².

El **grafito** también llamado carbono libre, se forma como resultado de la separación de cementita en ferrita y carbono. El proceso de grafitización es ayudado por el alto contenido de carbono, la alta temperatura, la velocidad de enfriamiento y la adecuada cantidad de elementos de grafitización, sobre todo el silicio.(4,9)

El grafito aparece como muchas placas irregulares, generalmente alargadas y curvas, las cuales dan al hierro gris su característica fractura de color grisáceo o negruzco, figura 3.2. Se debe destacar que mientras la microestructura representa su apariencia sobre una superficie plana, las hojuelas son partículas tridimensionales; en efecto, son placas curvas

algunas veces enlazadas y pueden representarse por los modelos espaciales mostrados en la figura 3.3.(9)

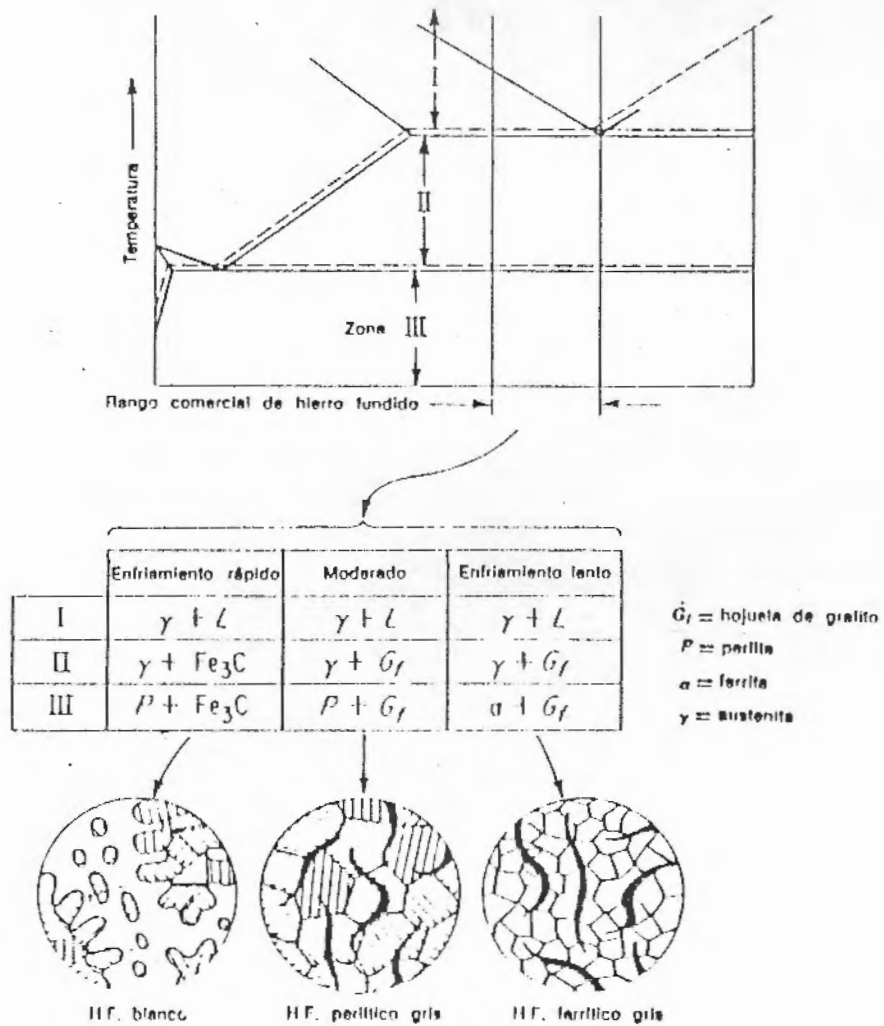


Figura 3.1 Resumen de las microestructuras y fases de hierro fundido que coexisten a varias temperaturas, en el sistema estable Hierro - Carburo de hierro.(9)

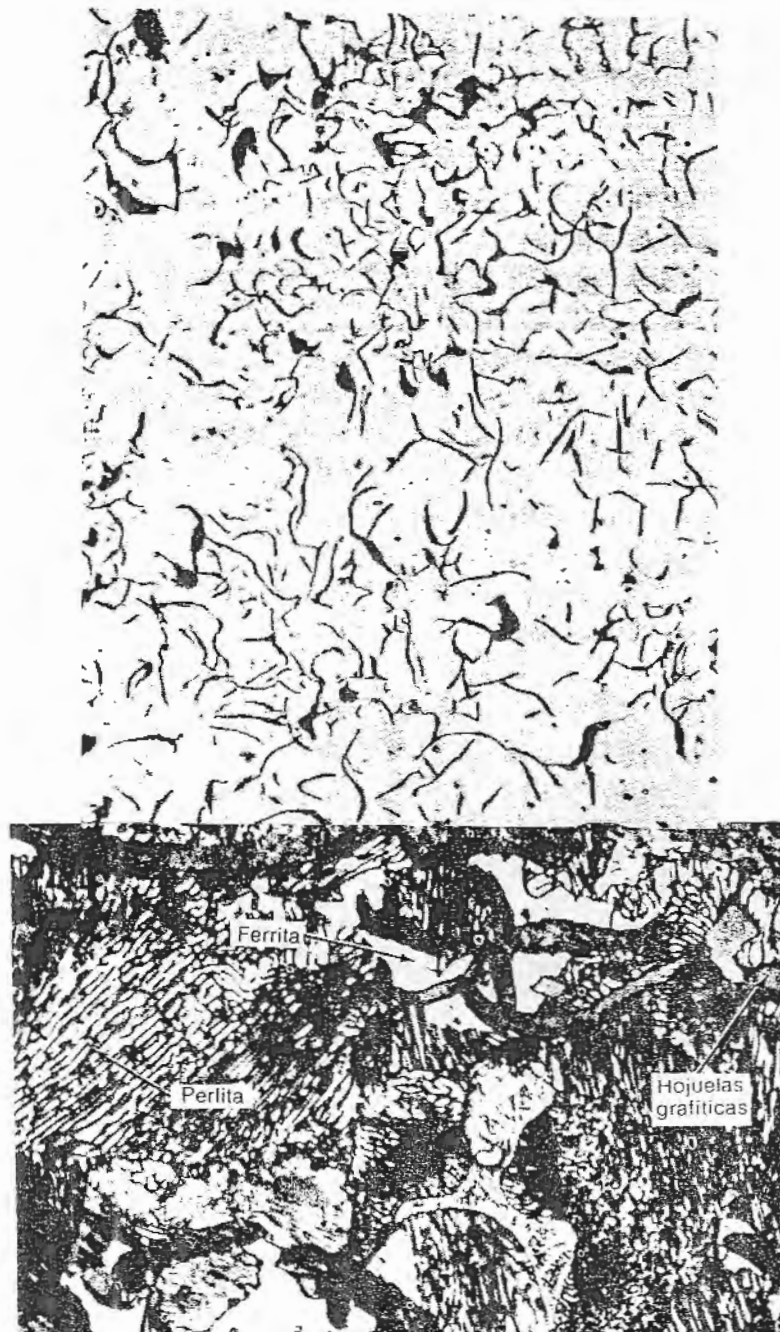


Figura 3.2 Microestructura de un hierro gris fundido. Arriba hojuelas de grafito en un hierro gris, sin estar atacado químicamente, 100X. Abajo hojuelas de grafito en una matriz perlítica con una pequeña cantidad de ferrita (áreas blancas), atacada químicamente en nital al 2 %, 500 X.(9)

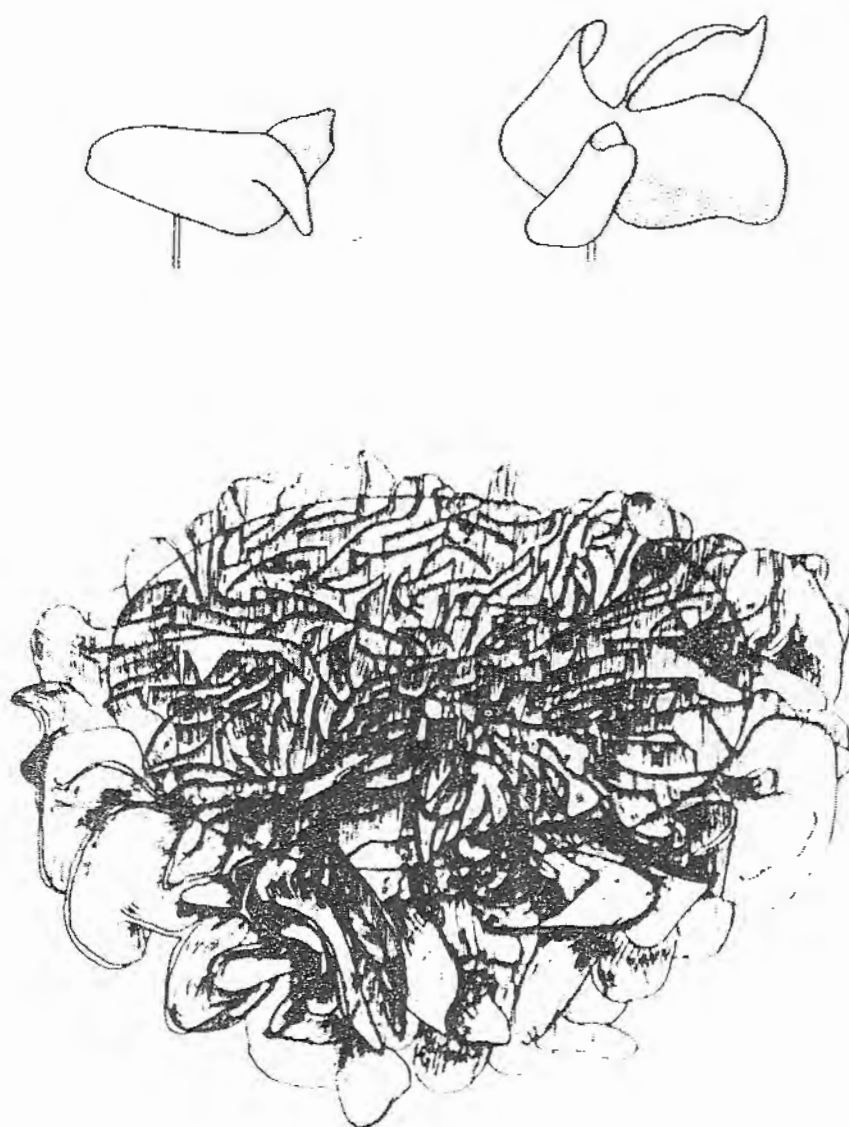


Figura 3.3 Esquema de las hojuelas de grafito: arriba están los modelos espaciales de hojuelas de grafito, abajo la configuración del grafito en una celda eutéctica, el círculo muestra el aspecto con que el grafito en las micrografías.(9)

3.1 Principales propiedades del hierro gris.

Señalaremos algunas características de la fundición gris que la distinguen de otras aleaciones en el uso de materia prima para la fabricación de las guías, esto sirve para orientar a los profesionales en el área de la metalurgia sobre su calidad.

3.1.1 Resistencia a la tracción.

La resistencia del hierro gris depende casi por completo de la matriz en que esta incrustado el grafito, la matriz puede variar desde perlita, pasando por mezclas de perlita y ferrita en diferentes proporciones, hasta la ferrita prácticamente pura, esto se puede apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 5

Relación entre la resistencia y la matriz del hierro gris. (9)

Matriz	Grafito	Resistencia a la tracción
Ferrítica	laminar	menos de 15 Kg/mm ²
Ferrítica ¹¹	revenido	de 65 a 70 Kg/mm ²
Ferrítica ^A	nodular	de 65 a 80 Kg/mm ²
Perlítica	laminar	de 20 a 30 Kg/mm ²
Perlítica ¹¹	revenido	de 80 a 95 Kg/mm ²
Perlítica ^A	nodular	de 90 a 95 Kg/mm ²

^A Aleadas / ¹¹ Tratamiento térmico

3.1.2 Resistencia a la corrosión.

Las fundiciones ordinarias tienen en general una resistencia a la corrosión al agua, a los ambientes de ciudades industriales y a otros medios ligeramente corrosivos bastantes superior a la de los aceros comunes. Por eso, las fundiciones son muy empleadas para la fabricación de piezas de maquinaria o instalaciones que queden a la intemperie o en contacto con el agua como canales, bombas, radiadores, calderas, etc. También tiene una discreta resistencia a la corrosión por agentes químicos, es decir, resistencia a los ácidos.(4,9)

3.1.3 Resistencia al desgaste.

Las fundiciones grises y en especial las de matriz perlítica, dan excelentes resultados cuando se emplean para la fabricación de piezas de motores y máquinas que deben resistir al desgaste. Un factor importante es el tamaño de las láminas de grafito y para obtener los mejores resultados no conviene que el grafito sea demasiado fino.

En los casos de rozamiento metal con metal, la fundición gris da resultados muy buenos, aún con mala lubricación debido a la presencia del grafito, que actúa en cierto modo como lubricante. (4,9)

3.2 Factores que influyen en las características mecánicas.

3.2.1 Influencia de la composición química.

Uno de los efectos principales de los elementos químicos que constituyen una fundición de hierro es la de favorecer o dificultar el proceso de grafitización.

El **Carbono** en las fundiciones de hierro se manifiesta principalmente en el sentido de favorecer, a igualdad de otras condiciones, la formación de grafito en todas las etapas de enfriamiento y, por ello es considerado como elemento grafitizante. Cuando el carbono aparece en forma de grafito, su contribución a la resistencia mecánica de las piezas es prácticamente nula, pudiéndose considerar en ese sentido a los espacios ocupados por el grafito, como espacios vacíos.

Esto hace que la resistencia mecánica de las fundiciones grises, en comparación con la de un acero del mismo tipo de matriz, sea muy inferior, no sólo por la disminución del área de las secciones resistentes sino por el efecto de concentración de tensiones que provoca el grafito, sobre todo cuando aparece en forma laminar. (9,10)

El Azufre tiene el efecto contrario sobre la forma del carbono que la del silicio, a mayor contenido de azufre, mayor será la cantidad de carbono combinado, o sea Fe_3C . Aparte de producir carbón combinado, el azufre tiende a reaccionar con el hierro para formar sulfuro de hierro (FeS). Este compuesto de baja fusión aumenta la posibilidad de que haya fisuras a altas temperaturas, fragilidad al rojo. El azufre en grandes cantidades tiende a reducir la fluidez y suele causar cavidades (aire atrapado) en las piezas fundidas.

El manganeso afortunadamente, tiene mayor afinidad para el azufre que el hierro, formando sulfuro de manganeso (MnS), las partículas de sulfuro de manganeso aparecen como pequeñas inclusiones ampliamente dispersadas, las cuales no perjudican las propiedades del hierro, por este motivo, el manganeso cumple una acción desoxidante y desulfurante que permite mejorar las propiedades de las fundiciones de hierro.(9,10)

El Fósforo generalmente está entre 0,10 y 0,90% en los hierro grises, originario del mineral de hierro. Se agrega muchas veces al metal líquido, a pesar de aumentar la

fragilidad, por favorecer otras propiedades tales como la colabilidad y la resistencia al desgaste. La colabilidad se mejora porque el fósforo permite mantener el material líquido hasta temperaturas más bajas. La resistencia al desgaste se aumenta por la formación del fosfuro de hierro (Fe_3P) llamado también esteadita el cual posee una elevada dureza.

El Níquel actúa como grafitizante, disminuyendo los carburos y afinando la hojuela de grafito. **El Cobre** aumenta la resistencia a la corrosión, la máxima cantidad admitida no pasa del 7%. Ambos elementos promueven la formación de perlita reduciendo la influencia de la velocidad de enfriamiento.

3.2.2 Tamaño y distribución de las hojuelas de grafito.

Las grandes hojuelas de grafito interrumpen seriamente la continuidad de la matriz perlítica, reduciendo de esta manera la resistencia del hierro gris. Los tamaños de las hojuelas de grafito generalmente se determinan por comparación de los tamaños estándar preparados conjuntamente por la AFS (American Foundrymen's Society) y la ASTM (American Society for Testing Materials). El procedimiento para preparar las muestras y medir el tamaño de las hojuelas está dado en

el designación ASTM A247 - 67, parte 11. En la tabla 5 aparece la asignación de los números. En la figura 3.5 se muestra las longitudes de las hojuelas mediante campos típicos lo más cercanamente posible a los diversos tamaños. La forma en que las hojuelas de grafito están ordenadas en la microestructura del hierro se indica como uno o más tipos preparados conjuntamente por la AFS y la ASTM, la figura 3.6 muestra los cinco tipos de hojuela. El tipo de hojuela más deseable en hierro gris se representa por la distribución uniforme y orientación al azar del tipo A.

Tabla 5
Tamaño de las Hojuelas de grafito.(9)

Número del tamaño de la hojuela AFS - ASTM	Longitud de las Hojuelas más largas a 100 X	
	pulg	mm
1	4 o más	128
2	2 - 4	64
3	1 - 2	32
4	½ - 1	16
5	1/4 - ½	8
6	1/8 - 1/4	4
7	1/16 - 1/8	2
8	1/16 o menos	1

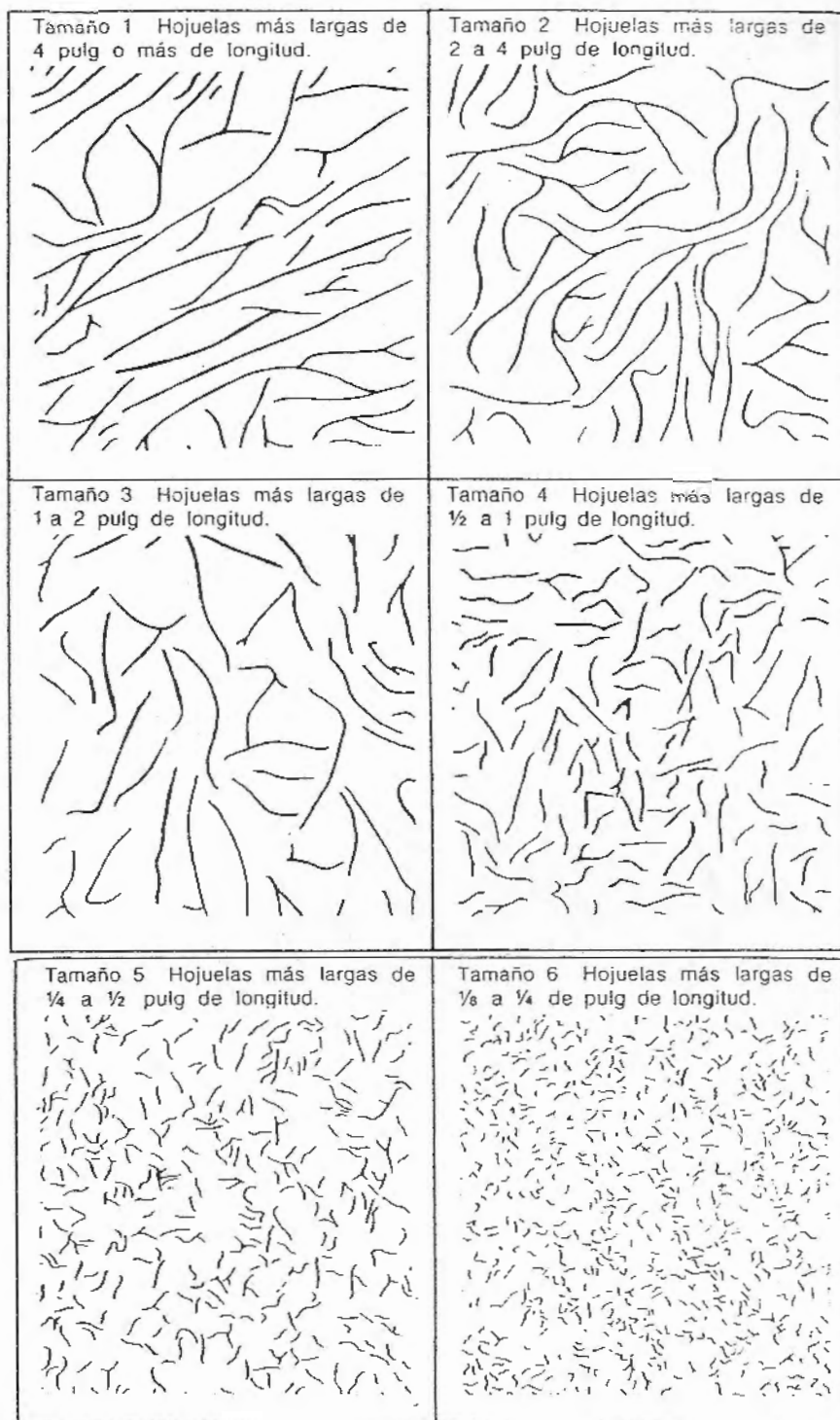


Figura 3.5 Longitudes de las hojuelas de grafito mediante campos típicos lo más cercanamente posible a los diversos tamaños.(9)

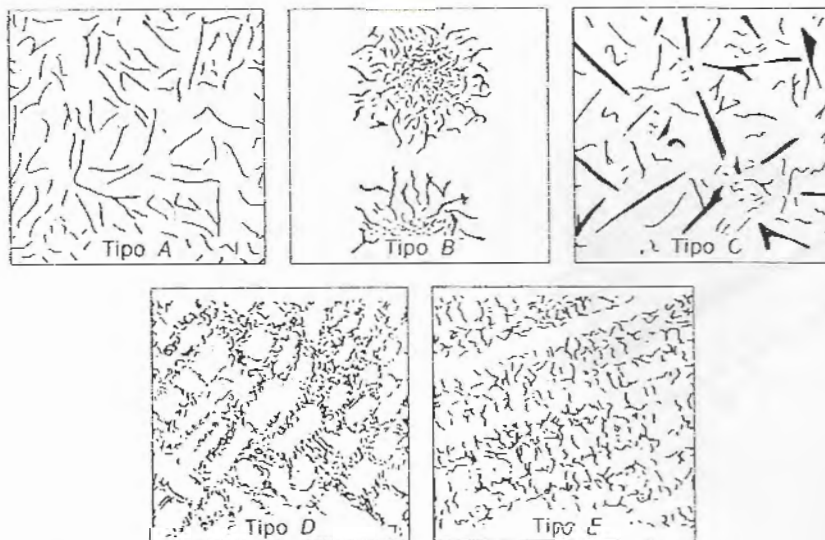
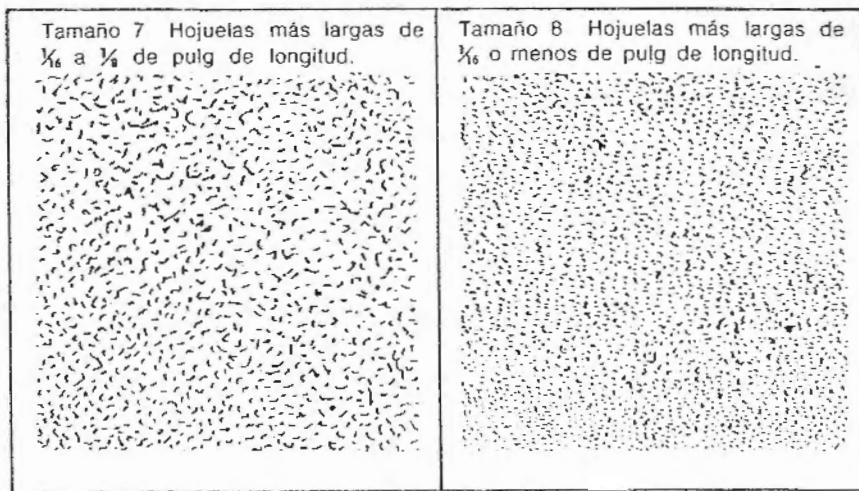


Figura 3.5 Tipos de hojuelas de grafito. Tipo A: distribución uniforme, orientación al azar; tipo B: agrupamiento en rosetas, orientación al azar; tipo C: tamaños sobrepuestos de hojuela, orientación al azar; tipo D: segregación interdendrítica, orientación al azar; tipo E: segregación interdendrítica, orientación preferida. (9)

3.2.3 Influencia de la velocidad de enfriamiento.

La velocidad con que se produce el enfriamiento de las piezas de hierro en los moldes, influye en la estructura a obtener con las mismas. Dicha velocidad depende de las dimensiones de las piezas, de la temperatura de colada, y de la composición química. La figura 3.7 muestra el aspecto estructural de las distintas zonas de una probeta llamada cuña, enfriada en arena: en ella puede verse la posición, en relación con la velocidad de enfriamiento, de las distintas zonas que se forman para una misma composición química.(10)

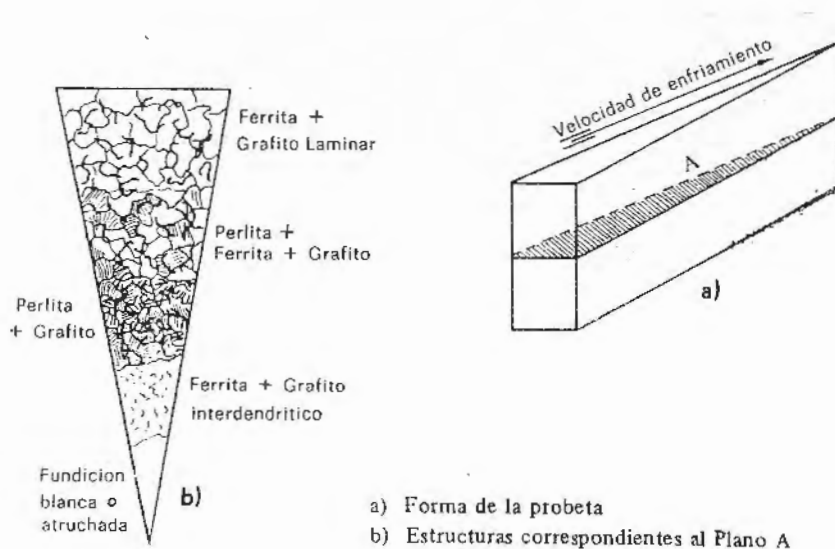


Figura 3.7 Típica probeta de cuña, a) forma de la probeta, b) estructuras correspondientes al plano A.(10)

Con velocidades de enfriamiento inferiores a las correspondientes a la obtención de fundiciones blancas, las estructuras de colada estarán formadas, en orden decreciente de velocidad de enfriamiento, por: ferrita más grafito (hierro manchado); perlita más grafito (hierro gris perlítico); perlita más ferrita libre más grafito (hierro gris de matriz mixta) o ferrita más grafito laminar (hierro gris ferrítico).

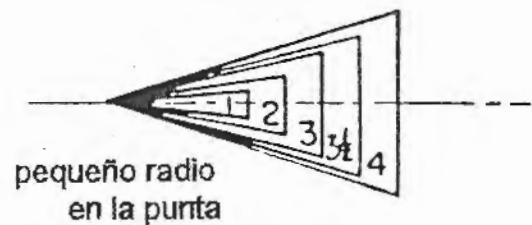
3.3 Control en las fundiciones.

Estos controles sirven para poder apreciar rápidamente algunas características del metal en estado líquido y para evaluar ciertas cualidades para su uso.

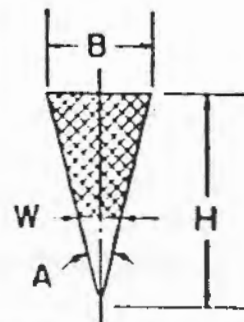
3.3.1 Métodos standard de prueba de temple para hierro gris.

Existen dos métodos para determinar las tendencias al enfriamiento del hierro gris y son la cufia de prueba y el temple de prueba. Ambos métodos tendrán resultados satisfactorios si se los emplean para porcentajes recomendados y si las piezas de prueba son seleccionadas con las dimensiones apropiadas. La cufia de prueba es generalmente usada en los hierros grises de grandes

es designada como la zona manchada. Si la cuña es medida en la unión de la fractura gris con la primera aparición de hierro templado, la medición sería designada como temple total.



Sección cruzada de la cuña



W no debe exceder a $B/2$

Dimensiones de la cuña

Cuna N°	B		H		A, deg	Largo	
	in.	mm	in.	mm		in.	mm
W1	0.20	5.1	1.00	25.4	11.5	4	101.6
W2	0.40	10.2	1.25	31.8	18	4	101.6
W3	0.75	19.1	1.50	38.1	28	4	101.6
W3 1/2	1.00	25.4	1.75	44.4	32	5	127.0
w4	1.25	31.8	2.00	50.8	34.5	6	152.4

Figura 3.8 Dimensiones para las cuñas de prueba.(11)



3.3.2 Carbono Equivalente.

El carbono equivalente (Ce) es un método que muchas veces es usado para simplificar la evaluación de los efectos de la composición química en un hierro fundido sin alear.

$$Ce = C + 1/3 (Si + P); \quad \text{donde:}$$

C = es el contenido de carbono,

Si = es el contenido de silicio, y

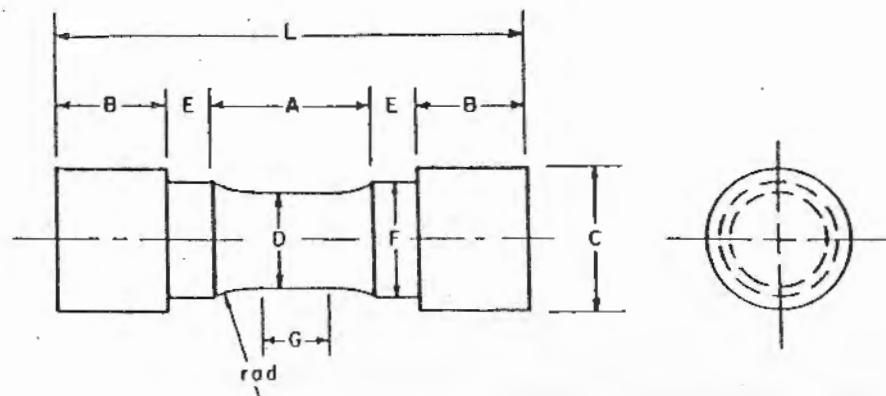
P = es el contenido de fósforo.

La comparación de Ce con la composición eutéctica en el sistema hierro-carbono (4.3% C) indicaría sea que un hierro gris será hipoeutectoide o hipereutectoide durante la solidificación. Cuando el Ce esta cercano a un valor eutéctico, el estado líquido persiste para bajas temperaturas lo cual favorece la formación de perlita y grafito.

3.3.3 Especificaciones standard para el control del hierro gris.

Estas especificaciones cubren los hierros grises donde el esfuerzo de tensión es una consideración mayor. Las barras de prueba son fundidas por coladas separado, del mismo hierro de la fundición a la cual representan, y tendrán las dimensiones como se muestra en la figura 3.9. Para las pruebas de tensión, la barra para los ensayos de tensión será

la barra de prueba A, se cogerá al menos dos barras de prueba por cada experiencia. El transcurso de tiempo desde el comienzo de la carga hasta el instante de fractura no deberá ser menos de 15 segundos para las muestras de prueba A y no menos de 20 segundos para las muestras B o C.(11)



Dimensiones, (mm)	Muestras pruebas de tensión		
	A	B	C
G.- Longitud de paralelo, mm	13	19	32
D.- Diámetro	12.7 ± 0.25	19.1 ± 0.4	31.7 ± 0.05
R.- Radio del filete, min	25	25	50
A.- Largo de la sección, min	32	38	57
L.- Toda la longitud, min	95	100	160
C.- Diámetro de los extremos,	22.2	31.8	47
E.- Largo del soporte, min	6	6	8
F.- Diámetro del soporte	16 ± 0.5	25 ± 0.5	36 ± 0.5
B.- Largo de los extremos	a	a	a

a: es opcional, de acuerdo a las mordazas de la maquina de tensión.

Figura 3.9 Muestras de la prueba de tensión.(11)

hierro blanco al inicio y al final del proceso de fundición, luego de haber utilizado como materia prima solo chatarra automotriz y luego haber introducido varios tipos de carga, esto es en las primeras y en las últimas sangradas; lo cual se muestra en los datos de la Tabla 7 y de lo cual se puede resumir que:

- El Carbono en ocasiones se reduce en un 0,93%
- El Silicio disminuye porque una parte se oxida y pasa a la escoria, la merma de silicio aproximadamente es de 9,6%.
- El manganeso disminuye igualmente un 13,42%.
- El fósforo casi permanece invariable en este tipo de hornos.
- El azufre aumenta siempre con daño para la calidad de la fundición, el aumento es mayor si el coque tiene un gran porcentaje de azufre como es nuestro caso, es nuestro caso el aumento es de un 34,14%.

Estos valores mostrados anteriormente fueron obtenidos al realizar un análisis de composición química en las 4 cuñas de temple recomendadas por la norma, esto nos sirvió para poder escoger las cuñas para el desarrollo de la parte experimental. El análisis químico con mejores resultados se obtuvieron al realizarlo en la cuña W2, ya que casi en toda la cuña se forma hierro blanco, así el contenido de carbono podía ser determinado.

Tabla 7
Composición inicial del hierro.

Al inicio :					
	Carbono %	Silicio %	Manganeso %	Azufre %	Fósforo %
1	3.19	1.98	0.77	0.074	0.141
2	3.13	1.79	0.59	0.097	0.152
3	3.22	1.93	0.73	0.095	0.137
4	3.17	1.89	0.61	0.167	0.140
5	3.21	1.85	0.57	0.077	0.151
6	3.20	1.79	0.65	0.163	0.146
7	3.19	1.86	0.69	0.101	0.138
	3.187	1.87	0.658	0.110	0.1435
Al final :					
	Carbono %	Silicio %	Manganeso %	Azufre %	Fósforo %
1	3.03	1.79	0.66	0.083	0.131
2	2.87	1.73	0.54	0.112	0.152
3	3.08	1.82	0.64	0.113	0.135
4	2.86	1.44	0.61	0.173	0.137
5	3.02	1.75	0.61	0.088	0.149
6	3.04	1.69	0.58	0.175	0.147
7	2.97	1.84	0.69	0.114	0.140
	2.98	1.72	0.618	0.122	0.1415

Tabla 8

Medida inicial del espesor de temple en mm. para diferentes cuñas de prueba.

Experiencia Nº	w 2	w 3	w 3 1/2	W 4
1	9.0	10.0	10.0	9.0
2	*	12.0	13.5	8.5
3	9.0	10.5	11.0	7.0
4	*	11.0	12.0	8.0
5	9.5	12.5	13.5	8.0
6	*	13.5	14.0	9.0
7	8.5	11.0	13.0	6.5

* Toda blanca.

4.1.3 Cálculo de carga del cubilote.

Para el cálculo de las cargas en el cubilote, tendremos presente que el coque cede azufre, elemento no deseado, por lo que el cálculo es un aproximado del material resultante. Trataremos de remediar esto con la utilización de carburo de calcio.

Pesada de las materias primas.- La pesada de las cargas que ingresan al horno, debe ser precisa, sobre todo en cuanto a los materiales que entren en pequeños porcentajes, tal como

Tabla 8

Medida inicial del espesor de temple en mm. para diferentes cuñas de prueba.

Experiencia N°	w 2	w 3	w 3 1/2	W 4
1	9.0	10.0	10.0	9.0
2	*	12.0	13.5	8.5
3	9.0	10.5	11.0	7.0
4	*	11.0	12.0	8.0
5	9.5	12.5	13.5	8.0
6	*	13.5	14.0	9.0
7	8.5	11.0	13.0	6.5

* Toda blanca.

4.1.3 Cálculo de carga del cubilote.

Para el cálculo de las cargas en el cubilote, tendremos presente que el coque cede azufre, elemento no deseado, por lo que el cálculo es un aproximado del material resultante. Trataremos de remediar esto con la utilización de carburo de calcio.

Pesada de las materias primas.- La pesada de las cargas que ingresan al horno, debe ser precisa, sobre todo en cuanto a los materiales que entran en pequeños porcentajes, tal como

ocurre con las ferroaleaciones, que son los elementos que servirán para ajustar la composición química. La balanza empleada para el pesaje del acero, los retornos de hierro gris y la chatarra automotriz tenía una precisión de 1/4 de libra (4 onzas), mientras que la empleada para el pesaje del ferrosilicio lo era de dos onzas.

Teniendo en cuenta que el cubilote empleado es de 370 mm de diámetro interior, que en cada fundida se obtiene 700 kg. (1540 lb.) para la elaboración de las guías, y que la aleación que se necesita es la SAE G 3500 con la siguiente composición química:

Tabla 9

Composición química típica del Hierro Gris SAE G 3500

Carbono	Silicio	Manganeso	Fósforo	Azufre
3.00 - 3.30	2.20 - 1.80	0.60 - 0.90	0.15 máx.	0.12 máx.

se elabora la siguiente composición de carga mostrada en la tabla 10. Algunos ejemplos del cálculo de carga se muestran en el Apéndice II. Cabe mencionar que a las últimas 7 cargas se le añadió cobre en diferentes proporciones, luego analizaremos el efecto de esto en las propiedades del material.

Distribución de las cargas.- Como digimos anteriormente el porcentaje de cada uno de los elementos será :

de 20 a 100 % de chatarra automotriz,

de 20 a 60 % de chatarra diversa de hierro gris,

de 10 a 30 % de retornos de fundición,

de 0 a 20 % de chatarra de acero.

4.1.4 Desulfuración y carburación del hierro.

En base a la prueba anterior nos damos cuenta que en la mayoría de las veces hay un faltante de 0.93% de carbono ya que el carbono va de 3.13 a 3.21% en vez de 3.22 %, y el silicio esta por el orden de un 1.87 % en vez de 2.07 %. Para corregir el exceso de azufre usaremos carburo de calcio, este elemento se introducirá como carga en un peso aproximado de 4 onzas a 8 onzas (1/4 a 1/2 de lb.) por cada 100 lb. de carga.

El carbono será elevado con la utilización de antracita la cual como se vio en el capítulo 3 rinde un 44 % y elevara el carbono en 0.22.



Tabla 10 Distribución de carga.

Exp.	Chatarra Auto- matriz (%)	Chatarra Diversa de Hierro (%)	Retornos de fun- dición (%)	Chatarra de Acero (%)	Carburi- zante	Ferro- silicio	Ferroman- ganeso	Carburo de Calcio	Cobre
1	100					3 oz	2 oz		
2	90	10			9	6 oz	1 oz	4 oz	
3	80	10	10		9	7 oz	2 oz	4 oz	
4	80	20			1 lb 4 oz	10 oz	2 oz	4 oz	
5	70		20	10	10 oz	8 oz	2 oz	4 oz	
6	70		10	20	1 lb 4 Oz	10 oz	2 oz	4 oz	
7	60		20	20	1 lb 5 Oz	11 oz	2 oz	4 oz	
8	60		30	10	12 oz	8 oz	3 oz	6 oz	
9	60	30	10			4 oz	2 oz	6 oz	
10	60	20	10	10	9 oz	8 oz	2 oz	6 oz	
11	50		40	10	13 oz	9 oz	3 oz	6 oz	
12	50		30	20	1 lb 6 Oz	12 oz	3 oz	6 oz	
13	50	20	20	10	10 oz	8 oz	3 oz	6 oz	
14	50	20	10	20	1 lb 3 Oz	11 oz	2 oz	6 oz	
15	40	40	10	10	7 oz	8 oz	2 oz	6 oz	
16	40	30	20	10	9 oz	9 oz	3 oz	6 oz	
17	40	30	10	20	1 lb 3 Oz	12 oz	2 oz	6 oz	
18	40	20	20	20	1 lb 4 oz	12 oz	2 oz	6 oz	
19	30	50	10	10	7 oz	9 oz	2 oz	6 oz	
20	30	40	20	10	8 oz	9 oz	3 oz	6 oz	½ lb
21	30	30	30	10	10 oz	9 oz	3 oz	6 oz	½ lb
22	30	20	30	20	4 oz	13 oz	3 oz	6 oz	½ lb
23	20	60	10	10	6 oz	9 oz	2 oz	6 oz	½ lb
24	20	50	20	10	8 oz	9 oz	3 oz	6 oz	1 lb
25	20	40	20	20	1 lb 3 oz	13 oz	2 oz	6 oz	1 lb
26	20	30	30	20	1 lb 4 Oz	13 oz	1 oz	6 oz	1 lb

4.2 Cuña de temple.

Luego de las 26 coladas realizadas en esta tesis, los resultados para el calibrado definitivo de la cuña de prueba, la cual fue fundida en molde metálico, se dan resumidos en la tabla 11.

4.2.1 Medida del espesor de temple.

Las normas ASTM nos recomienda cinco tipos de cuñas que ya fueron explicadas en el capítulo 3, de las cuales escogeremos 1 o dos para realizar nuestra propia tabla de equivalencia. El espesor o profundidad de temple, es decir, el espesor que tiene la cuña en la divisoria entre zona gris y la parte blanqueante, se mide con un regla transparente.

4.2.2 Determinación de la cuña óptima.

Para la selección de una cuña óptima para el proceso y el material utilizado se coge como referencia que el temple se produzca en no menos de la mitad de su altura, se descarto la cuña W1 por su dificultad de colado. Si analizamos los valores obtenidos con las cuñas W 3 y W 3½ se tiene que no existe mucha variación en algunos de los resultados de una u otra experiencia, pero la cuña W 3 no varía en ocasiones para similares porcentaje de silicio. La falta de sensibilidad al temple

Siguiendo con las especificaciones standard para el control del hierro gris debemos escoger una probeta que se acerque mas o menos a las dimensiones de las guías de válvulas, por esta razón se escogió la muestra A para pruebas de tensión. Considerando todas las tolerancias dimensionales explicadas en el capítulo 3 y de acuerdo al tipo de máquina de tensión utilizada se mecanizaron las probetas a las dimensiones mostradas en el plano 3 .

Los ensayos mecánicos se efectuaron en una máquina de pruebas de tensión Alemana marca WOLPERT modelo Tuz 500 que se muestra en la figura 4.1. Los resultados de los ensayos de tensión se encuentran tabulados en la tabla 13, siendo estos valores de resistencia a la tracción, valores promedio de dos probetas por cada experiencia.

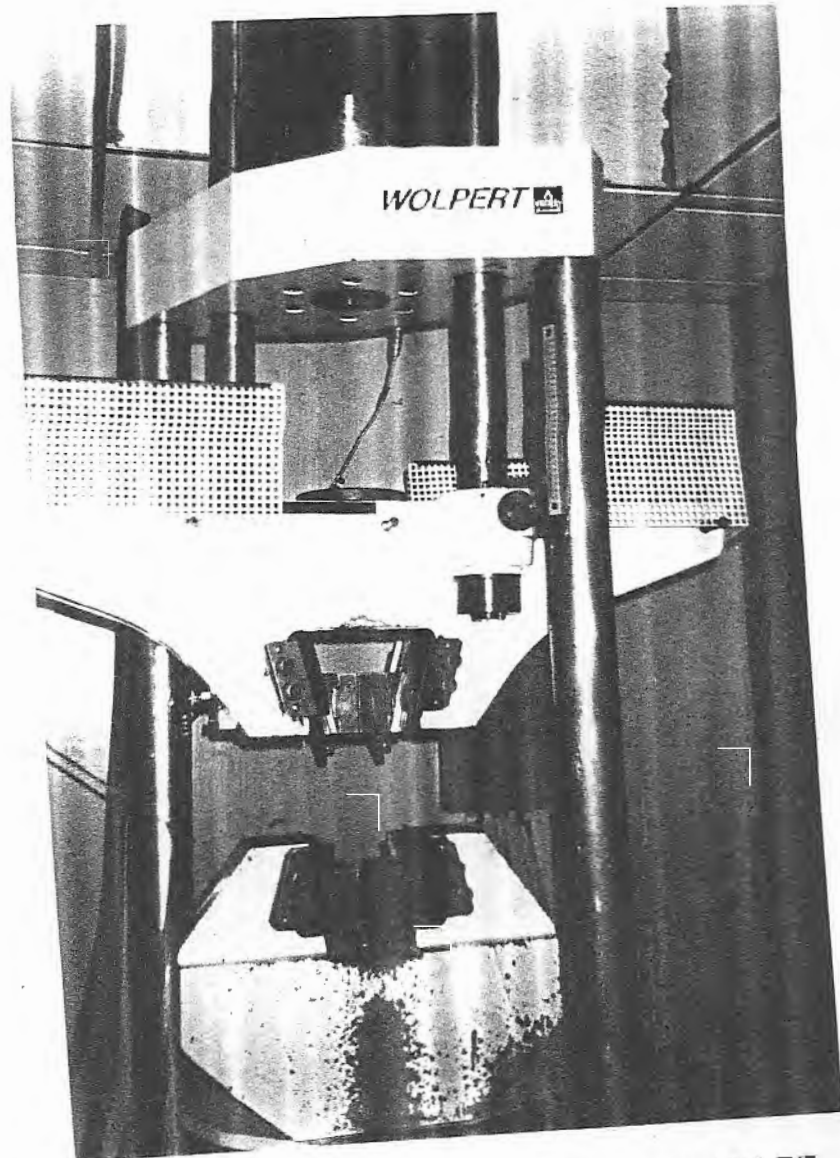


Figura 4.1 Máquina de tensión WOLPERT
modelo Tuz 500

4.3.2 Análisis químico.

Para determinar la composición química de las muestras se utilizó la cufia de prueba W 2, justo en la parte inferior que es en la que se forma hierro blanco, se esmerilo y pulió con lija hasta la # 320, y se utilizó esta parte para ser analizada por un espectrómetro de emisión. El espectrómetro para análisis de muestras sólidas es de marca Alemana SPECTROVAS 2000 modelo DV - 6, de propiedad de la Empresa Andec - Funasa. Los resultados de las 26 experiencias se encuentran en la tabla 12, y serán analizados en el capítulo 5.

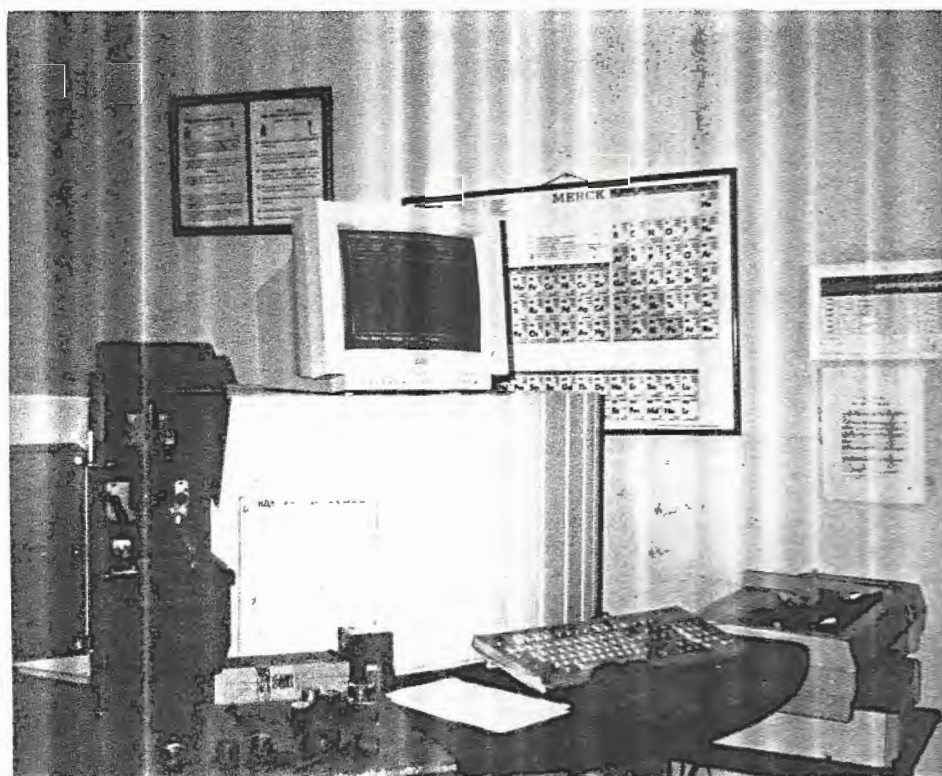


Figura 4.2 Espectrómetro de emisión muestras sólidas,
SPECTROVAC 200 modelo DV - 6

4.3.3 Ensayos de dureza.

En un ensayo de dureza, lo que se mide es la dureza a la penetración que se puede definir como la resistencia de un material a la indentación. Debe tenerse en cuenta que un número o valor de dureza no puede utilizarse directamente en trabajos de diseño, como se puede hacer con un valor de resistencia a la tensión, ya que los números de dureza no tienen significado intrínseco.

El valor de dureza obtenido en una prueba determinada sirve sólo como comparación entre materiales o tratamientos térmicos y los resultados pueden utilizarse para estimar otras propiedades mecánicas. Se utilizó el ensayo de dureza Brinell que consiste en determinar la dureza del hierro, midiendo el diámetro de la huella dejada por el indentador que es una esfera de acero templado de 10 mm de diámetro al aplicar una carga de 3000 Kg. durante 10 seg. De 1 barra ya mecanizada se obtuvo 1 disco del extremo de la barra, de 22.2 mm de diámetro por 20 mm de espesor, es decir que se realizaron 2 indentaciones por cada experimento, con el objeto de determinar un valor promedio de dureza de la probeta. Se tomaron de cada una de ellas dos medidas del diámetro a 90° la una de la

otra, por lo tanto el valor representado en la tabla 14 del diámetro de la huella, es un valor promedio de la dureza. Para realizar un ensayo Brinell, se debe tener en cuenta las técnicas explicadas en la bibliografía (13). Los diferentes ensayos dieron los siguientes resultados que constan en la tabla 14.

4.3.4 Análisis metalográfico.

Como se explicó en el capítulo 3, el examen microscópico permite determinar las dimensiones, cantidad y distribución de los componentes estructurales y provee al ingeniero los datos indispensables para la selección del material que será utilizado para la fabricación de las guías de válvulas. Para poder realizar el control metalográfico, fue indispensable efectuar pasos preliminares para preparar las probetas que se analizaron en el microscopio; en esta tesis se ha seguido la práctica que esta técnica aconseja.(13)

Hemos realizado este control con y sin ataque químico a todas las muestras de prueba, determinando su matriz así como el tipo de grafito, su tamaño, su forma, y su distribución según las normas ASTM A 247 - 47.

otra, por lo tanto el valor representado en la tabla 14 del diámetro de la huella, es un valor promedio de la dureza. Para realizar un ensayo Brinell, se debe tener en cuenta las técnicas explicadas en la bibliografía (13). Los diferentes ensayos dieron los siguientes resultados que constan en la tabla 14.

4.3.4 Análisis metalográfico.

Como se explicó en el capítulo 3, el examen microscópico permite determinar las dimensiones, cantidad y distribución de los componentes estructurales y provee al ingeniero los datos indispensables para la selección del material que será utilizado para la fabricación de las guías de válvulas. Para poder realizar el control metalográfico, fue indispensable efectuar pasos preliminares para preparar las probetas que se analizaron en el microscopio; en esta tesis se ha seguido la práctica que esta técnica aconseja.(13)

Hemos realizado este control con y sin ataque químico a todas las muestras de prueba, determinando su matriz así como el tipo de grafito, su tamaño, su forma, y su distribución según las normas ASTM A 247 - 47.

4.3.4.1 Metalografía sin ataque.

El hierro gris presenta al microscopio y sin aplicaciones de ningún reactivo parte de su estructura, específicamente las hojuelas de grafito, las cuales determinaremos en cada una de las 26 experiencias. Utilizamos las probetas que fueron rotas en los ensayos de tensión para los análisis metalográficos.

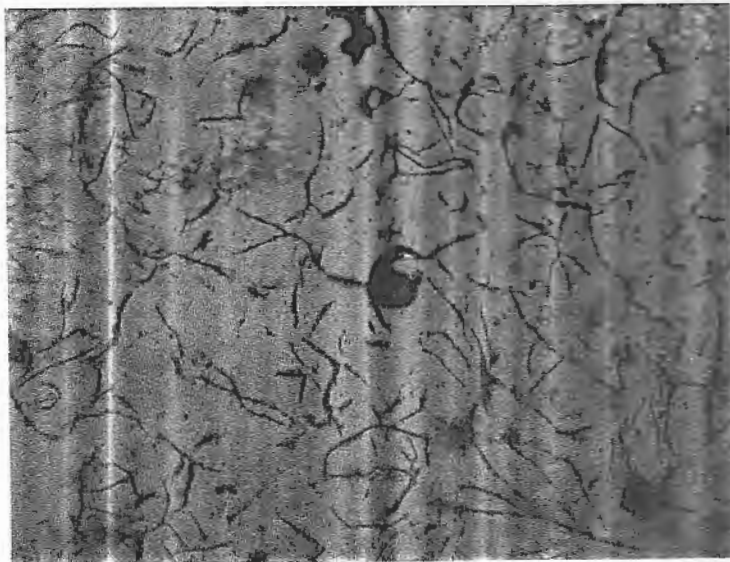
4.3.4.2 Metalografía con ataque.

Mediante el ataque químico, se pone de manifiesto la morfología, la proporción y la coloración de cada uno de los constituyentes de las muestras. Para observar la matriz del hierro gris se usó como reactivo de ataque, una solución de Nital al 2 % durante 4 segundos, 100 cc. de alcohol metílico con 2 cc. de ácido nítrico concentrado. Debido a el número de experimentos solo algunos han sido fotografiados y se muestran desde la figura 4.3 a la figura 4.8 con ataque y sin ataque. Sabiendo que todas las muestras tienen una matriz predominantemente perlítica, en la tabla 15 se detalla el tipo, tamaño y distribución del grafito.



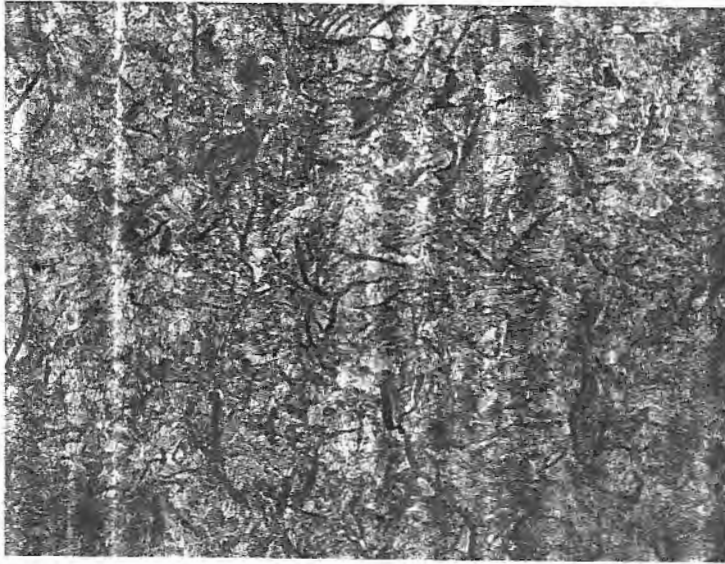
Nital al 2%

100 X



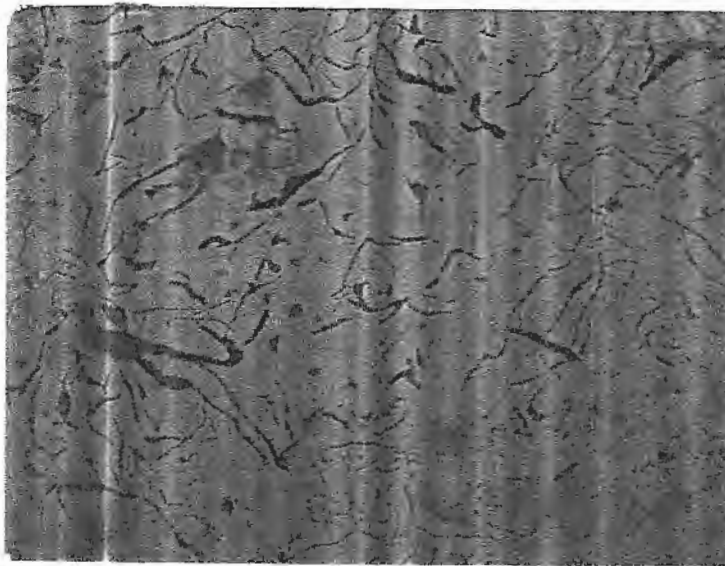
100 X

Figura 4 3 Metalografía de la muestra # 2



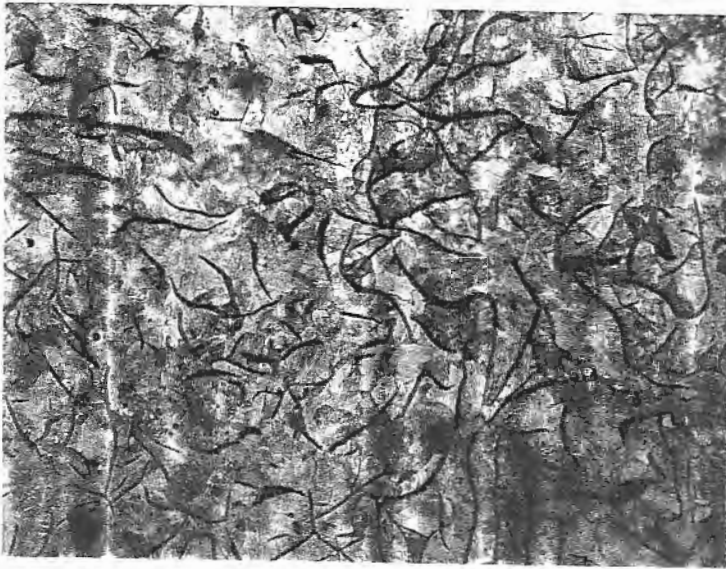
Nital al 2%

100 X



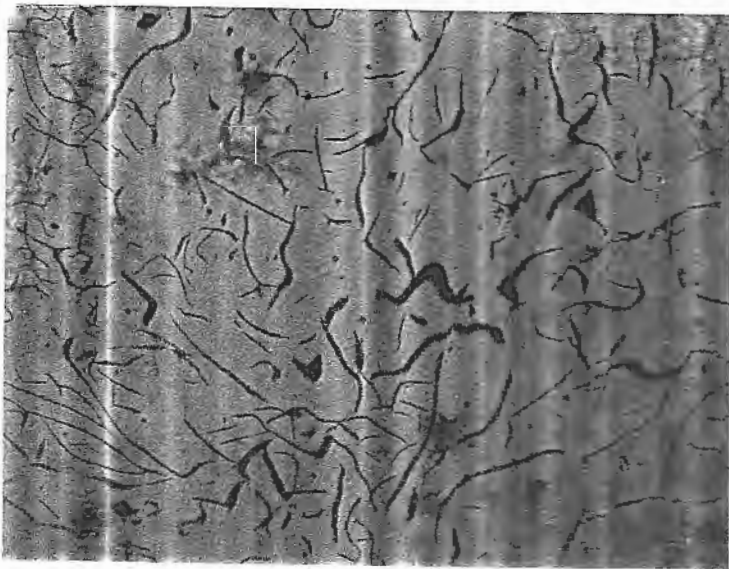
100 X

Figura 4.4 Metalografía de la muestra # 4



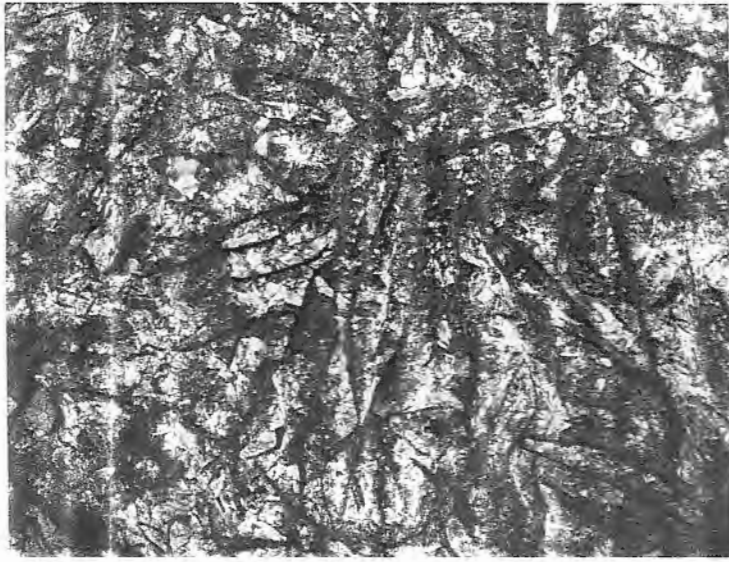
Nital al 2%

100 X



100 X

Figura 4.5 Metalografía de la muestra # 14



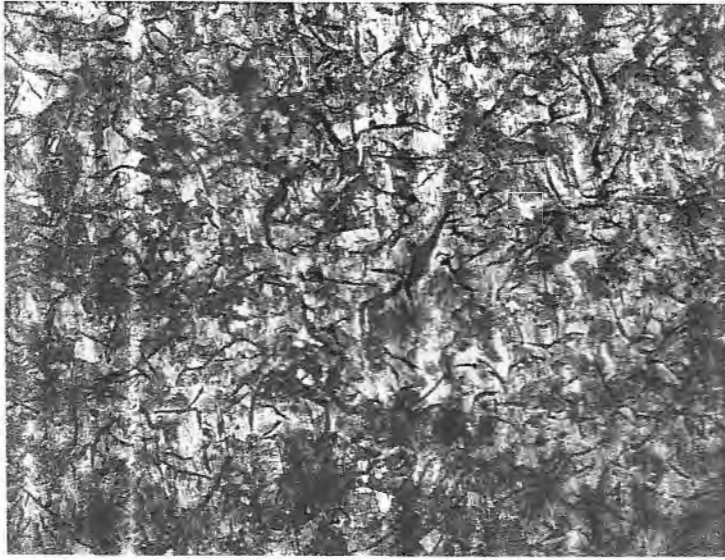
Nital al 2%

100 X



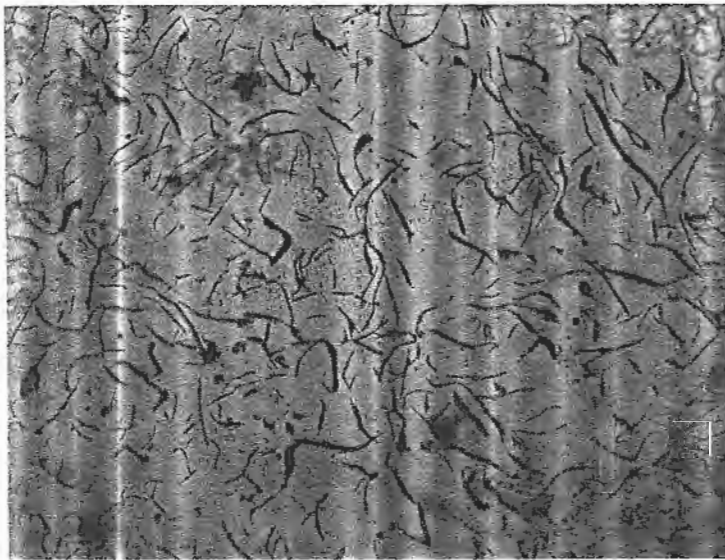
100 X

Figura 4.6 Metalografía de la muestra # 18



Nital al 2%

100 X



100 X

Figura 4.7 Metalografía de la muestra # 24

4.4 Resultados obtenidos.

Los resultados de los 26 experimentos realizados serán mostrados en tablas independientes unos de otros, luego hallaremos la relación entre ellos mediante tablas y gráficos con la finalidad de poder predecir resultados futuros.

La cuña ASTM W 3 ½, por la sensibilidad que presenta, es la más recomendable para los trabajos de fundición en esta tesis, y de la cual se tomarán los resultados para realizar los diferentes gráficos y obtener las relaciones que se establecerán en el Capítulo 5.

Tabla 11

Medida del espesor de las cuñas de temple en mm.

Exp. #	W 3	W 3 ½
1	9.0	10.0
2	8.5	9.0
3	8.5	9.5
4	10.5	10.0
5	9.5	10.5
6	10.5	10.5
7	9.5	11.0
8	9.0	10.5
9	10.0	11.0
10	9.0	9.5
11	9.5	10.0

12	10.5	10.5
13	10.0	11.5
14	9.5	10.0
15	9.5	10.5
16	9.5	10.5
17	9.0	10.0
18	9.5	10.0
19	9.5	9.5
20	9.0	10.0
21	10.0	10.5
22	9.5	9.5
23	9.0	10.5
24	9.5	11.5
25	9.5	10.5
26	9.0	11.0

En lo que respecta a la composición química la mayoría de los resultados se encuentran en el rango permitido y se muestran a continuación:

Tabla 12

Resultados obtenidos del análisis de la composición química.

#	Carbono %	Silicio %	Manganeso %	Azufre %	Fósforo %
1	3.21	2.07	0.74	0.13	0.14
2	3.11	2.12	0.61	0.10	0.12
3	3.12	2.09	0.64	0.11	0.12
4	2.86	1.91	0.66	0.09	0.11

5	3.16	2.02	0.62	0.10	0.12
6	2.87	1.98	0.64	0.11	0.11
7	2.84	1.99	0.66	0.11	0.12
8	3.16	1.99	0.61	0.09	0.13
9	3.25	1.98	0.63	0.09	0.13
10	3.14	2.02	0.61	0.09	0.12
11	3.12	2.00	0.69	0.10	0.11
12	3.10	2.00	0.69	0.09	0.10
13	3.22	1.99	0.66	0.08	0.11
14	3.11	1.99	0.65	0.10	0.11
15	3.17	1.98	0.64	0.10	0.12
16	3.29	2.02	0.66	0.07	0.10
17	3.22	2.02	0.64	0.06	0.11
18	3.21	2.01	0.63	0.07	0.11
19	3.31	2.02	0.63	0.06	0.13
20	3.29	2.00	0.66	0.06	0.11
21	3.31	1.98	0.65	0.07	0.12
22	3.26	2.02	0.66	0.06	0.10
23	3.26	2.00	0.62	0.06	0.13
24	3.31	1.98	0.65	0.06	0.12
25	3.26	2.02	0.62	0.07	0.11
26	3.27	2.00	0.60	0.08	0.11

Tabla 13

Resultados de los ensayos de tensión.

Probeta	Fuerza (N)	Diámetro (mm)	Resistencia (Kg./mm. ²)	
				Promedio
1	30160	12.64	24.53	24.58
	30340	12.65	24.63	
2	31300	12.76	24.98	25.16
	31770	12.76	25.35	
3	35360	13.15	26.57	26.06
	32220	12.80	25.55	
4	37590	13.00	28.90	28.47
	37040	13.10	28.04	
5	32910	12.66	26.68	26.59
	33420	12.80	26.50	
6	36760	13.01	28.22	28.96
	38210	12.93	29.69	
7	34590	12.64	28.13	26.96
	32580	12.81	25.80	
8	32920	12.79	26.15	26.52
	35790	13.15	26.89	
9	29720	12.60	24.32	24.37
	29270	12.48	24.42	
10	31510	12.78	25.07	25.33
	31720	12.69	25.59	
11	33870	12.91	26.40	26.46
	33640	12.84	26.51	
12	34940	13.35	25.47	27.49



	38380	13.00	29.51	
13	30580	12.71	24.59	24.68
	30700	12.69	24.77	
14	36250	13.06	27.61	27.79
	36370	13.00	27.96	
15	34340	12.70	27.66	27.49
	34620	12.83	27.32	
16	30420	12.66	24.66	24.55
	29780	12.58	24.45	
17	32050	12.76	25.57	25.71
	33250	12.93	25.84	
18	35070	12.90	27.38	29.21
	39460	12.85	31.05	
19	33500	12.97	25.87	25.93
	32670	12.78	25.99	
20	37990	12.99	29.25	29.43
	37040	12.75	29.60	
21	37930	12.90	29.61	29.87
	38780	12.93	30.14	
22	38850	13.05	29.64	30.17
	40240	13.05	30.70	
23	39170	12.75	31.31	30.57
	38380	12.93	29.83	
24	40730	12.85	32.05	30.59
	37890	13.00	29.13	
25	41710	12.93	32.41	31.22
	38700	12.94	30.03	
26	41200	12.73	33.03	32.16
	37920	12.55	31.28	

Tabla 14

Resultados de los ensayos de Dureza Brinell.

Probeta	Diámetro de la huella en (mm)		N° de dureza Brinell (carga de 3000 Kg.)		Promedio
	vertical	horizontal	vertical	horizontal	
1	4.15	4.15	212	212	212
	4.10	4.15	217	212	214
2	4.2	4.15	207	212	209
	4.15	4.15	212	212	212
3	3.8	3.5	255	255	255
	3.75	3.8	262	255	260
4	4.15	4.1	212	217	214
	4.1	4.1	217	217	217
5	4.0	4.0	229	229	229
	4.05	3.95	223	235	229
6	3.95	3.9	235	241	238
	4.1	4.05	217	223	220
7	4.0	4.0	229	229	229
	4.0	4.1	229	217	223
8	3.9	4.0	241	229	235
	3.9	3.95	241	235	238
9	4.2	4.15	207	212	209
	4.25	4.25	201	201	201
10	3.9	4.0	241	229	235
	3.9	4.0	241	229	235
11	3.9	4.0	241	229	235
	3.95	4.0	235	229	232
12	3.9	4.0	241	229	235

	3.95	4.0	235	235	235
13	3.9	3.85	241	248	244
	3.9	3.9	241	241	241
14	3.85	3.8	248	255	251
	3.9	3.95	241	235	238
15	3.9	3.95	241	235	238
	3.9	3.9	241	241	241
16	4.10	4.15	217	212	214
	4.10	4.10	217	217	217
17	4.0	4.0	229	229	229
	4.0	4.05	229	223	226
18	3.95	4.0	235	229	232
	3.95	4.0	235	229	232
19	4.1	4.2	217	207	212
	4.2	4.15	207	212	209
20	4.2	4.15	207	212	209
	4.2	4.2	207	207	207
21	3.95	3.95	235	235	235
	3.9	3.85	241	248	244
22	4.0	4.0	229	229	229
	3.9	3.95	241	235	238
23	3.9	3.9	241	241	241
	3.85	3.95	248	235	241
24	3.8	3.7	255	269	262
	3.8	3.8	255	269	241
25	3.9	3.95	241	235	238
	3.9	3.9	241	241	241
26	3.95	4.0	235	229	232
	4.0	3.95	229	235	232

Tabla 15
Resultados del análisis metalográficos.

Muestra	Tipo de grafito	Tamaño	Distribución
1	laminar	5	Tipo A
2	laminar	5	Tipo A
3	laminar	6	Tipo A
4	laminar	5	Tipo C
5	laminar	5	Tipo A
6	laminar	6	Tipo A / Tipo B
7	laminar	5	Tipo A / Tipo B
8	laminar	5	Tipo C
9	laminar	5	Tipo A
10	laminar	5	Tipo A
11	laminar	5	Tipo A
12	laminar	5	Tipo A
13	laminar	5	Tipo A / Tipo C
14	laminar	4	Tipo A
15	laminar	4	Tipo A
16	laminar	4	Tipo A
17	laminar	5	Tipo A / Tipo C
18	laminar	4	Tipo A / Tipo C

19	laminar	4	Tipo A
20	laminar	5	Tipo A
21	laminar	5	Tipo A
22	laminar	5	Tipo A
23	laminar	5	Tipo A
24	laminar	5	Tipo A
25	laminar	5	Tipo A
26	laminar	5	Tipo A

La mayoría de los resultados que se encuentran desde la tabla 12 hasta la tabla 14 están dentro de los rangos que nos permite la norma, no queriendo decir con esto que fueron los esperados, esto debido a la precisión de los equipos empleados. La interpretación y discusión de estos resultados, nos permitirá obtener gráficos y establecer funciones por medio de regresión lineal, en los casos que así lo permitan, y que analizados en detalle van a constituir los elementos de trabajo para el siguiente capítulo.

CAPÍTULO 5

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Antes de proceder al análisis de los resultados obtenidos en estas 26 experiencias, hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- El número de experiencias efectuadas puede no ser suficientes para garantizar la fiabilidad de los resultados y conclusiones que se deriven de ellos.
- Cuando se trata de pruebas de control de calidad de fabricación, nunca debe confiarse y aceptar sin más los resultados obtenidos por otras personas en condiciones de trabajo diferentes y bajo otras normas. Por ello los resultados que se presentan en esta tesis deben tomarse en cuenta solo si se utiliza un método similar de fusión y el control se lo hace bajo las mismas normas.

De los diferentes pasos seguidos en el trabajo experimental, y de los resultados presentados es posible llegar a un conocimiento cuantitativo de

los resultados que se establecen entre la composición química, profundidad de temple y propiedades mecánicas. Para que éstas relaciones sean fiables y puedan utilizarse en trabajos futuros, habrá que determinar en base a las tablas 12 a tabla 14 del Capítulo 4, gráficos y de ser posibles fórmulas matemáticas que expresen las funciones que gobiernan estas relaciones.

5.1 Composición química.

El cálculo de carga llevado a cabo en cada una de las 26 experiencias brinda gran seguridad al fundidor sobre la composición final del hierro, a pesar de que los cálculos realizados están basados en la composición química promedio de los materiales que intervienen.

En lo que respecta a los materiales adicionales en la carga, algunas veces la composición final que arroja el cálculo analítico no concuerda con el del hierro acabado de fundir, sobre todo el porcentaje de carbono, lo que influye directamente en la matriz obtenida. Es por eso que se observó en el control metalográfico la presencia en pequeños porcentajes de otras estructuras no esperadas.

El efecto del carburo de calcio en piedra introducido como parte de la carga provoca un descenso promedio de 40 a 50% de azufre en la mayoría de los casos. La disminución aumenta a medida que aumenta la cantidad de carburo de calcio, y con esto aumenta también la temperatura de sangrado.

El efecto de la antracita en el carbono mejorado es mejor a medida que aumenta la temperatura, la eficiencia de la antracita se mantuvo dentro de lo esperado, aproximadamente un 44% y un carbono mejorado de 0.18 a 0.20, pero si la cantidad de antracita es poca y la de carburo es mas de $\frac{1}{2}$ lb., el carburizante puede dar mejores resultados.

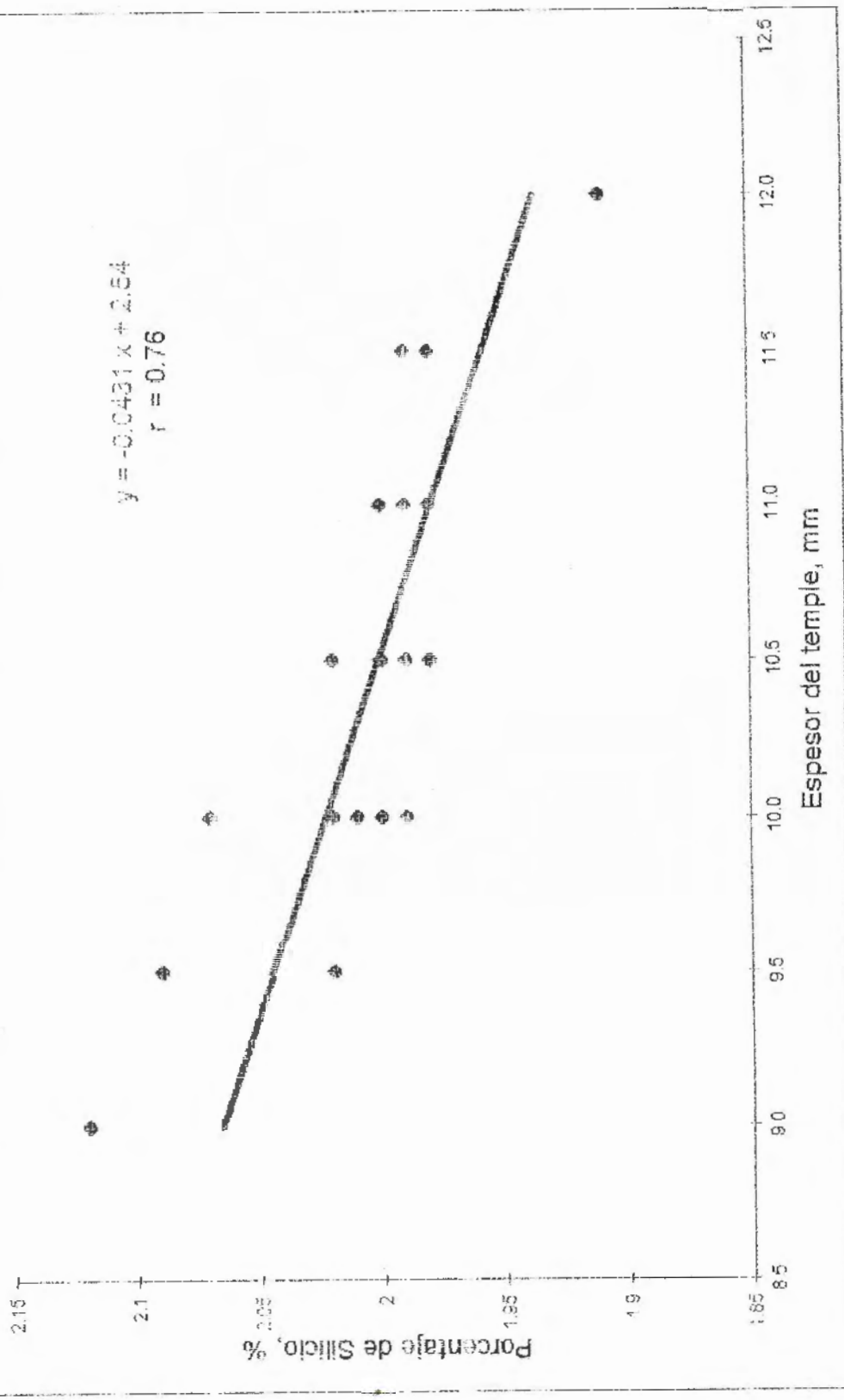
Analizando la tabla 12 se observa que el elemento que mas variaciones tiene es el manganeso, el comportamiento del silicio es bueno pero se puede mejorar si lo relacionamos con la profundidad de temple. Con las tablas 11 y la tabla 12 podemos determinar la equivalencia entre la profundidad de temple y el porcentaje de silicio, y podemos decir que a medida que aumenta el ancho de la zona templada disminuye el porcentaje de silicio, esto es apreciable en la tabla 16 y en la figura 5.1.

Tabla 16

Equivalencias entre el % Silicio y el Espesor de temple

Porcentaje de Silicio	Espesor de temple (mm)
2.15	9.0
2.10	9.5
2.05	10.0
2.00	10.5
1.95	11.0
1.90	11.5
1.85	12.0
1.80	12.5
1.75	13.0
1.70	13.5
1.65	14.0
1.60	14.5
1.55	15.0
1.45	15.5

Figura 6.1 Porcentaje de silicio vs Espesor de temple en cuña W 3 1/2



La figura 5.2 muestra la relación entre el Carbono equivalente versus la medición del temple, la ecuación de la recta de regresión entre ambas magnitudes resulta ser:

$$C_{eq} = -0.053 T + 4.42$$

con una correlación de 0.27, la sustitución de valores de profundidad de temple en la ecuación anterior, dara valores aproximados de carbono equivalente que por su cercanía a los valores reales demuestran la utilidad de la ecuación. Los resultados indican que el temple se ve muy influido por el valor del Carbono equivalente, o lo que es lo mismo, por la acción combinada de carbono y silicio.

5.2 Propiedades mecánicas.

En general, los resultados de los ensayos de dureza como los de resistencia a la tensión en su mayoría están por encima del límite permitido y son mostrados en la tabla 13 y en la tabla 14, en la figura 5.2 se observa una proporcionalidad directa entre ambas magnitudes. La ecuación de la recta de regresión es:

$$R = 0.1629 Hb - 9.94$$



Figura 5.2 Carbono equivalente vs Espesor del temple en cuña W 3 1/2

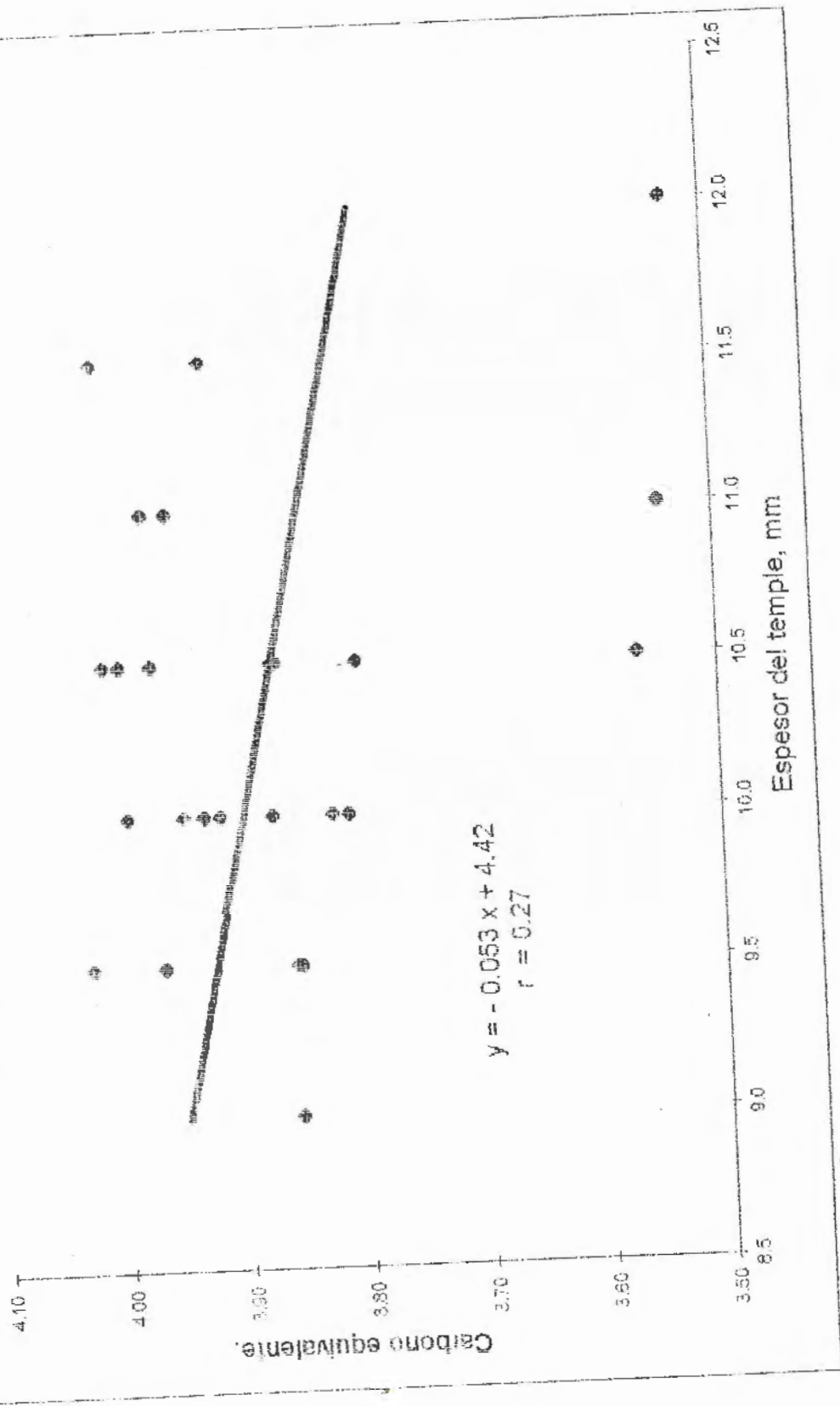


Tabla 17

Comparación entre el carbono equivalente y la medición del temple.

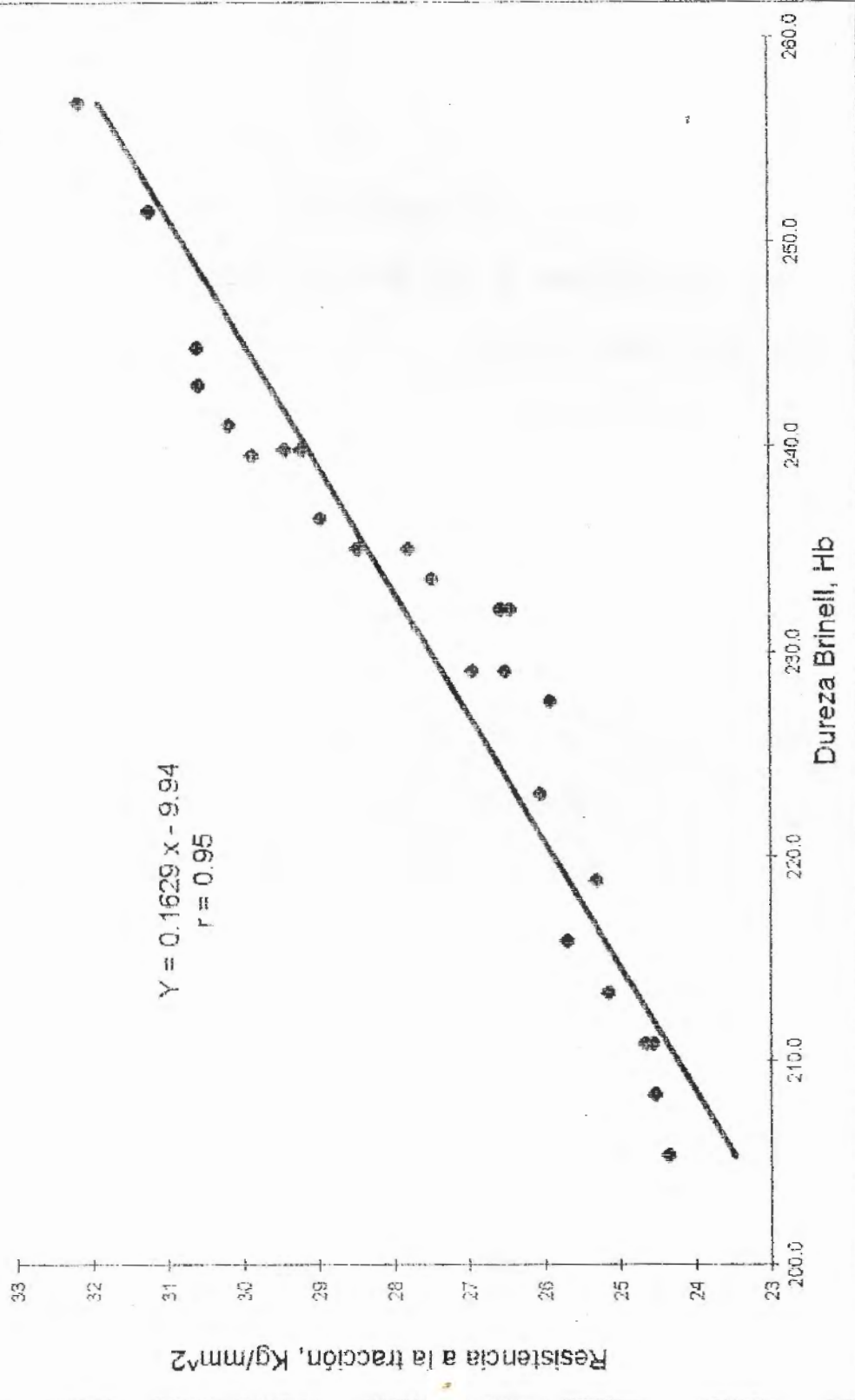
#	Carbono %	Silicio %	Fósforo %	Carbono equivalente	Temple mm
1	3.21	2.07	0.14	3.95	10.0
2	3.11	2.12	0.12	3.86	9.0
3	3.12	2.09	0.12	3.86	9.5
4	2.86	1.91	0.11	3.53	12.0
5	3.16	2.02	0.12	3.87	10.0
6	2.87	1.98	0.11	3.57	10.5
7	2.84	1.99	0.12	3.54	11.0
8	3.16	1.99	0.13	3.87	10.5
9	3.25	1.98	0.13	3.95	11.0
10	3.14	2.02	0.12	3.85	9.5
11	3.12	2.00	0.11	3.82	10.0
12	3.10	2.00	0.10	3.80	10.5
13	3.22	1.99	0.11	3.92	11.5
14	3.11	1.99	0.11	3.81	10.0
15	3.17	1.98	0.12	3.87	10.5
16	3.29	2.02	0.10	4.00	10.5
17	3.22	2.02	0.11	3.93	10.0

18	3.21	2.01	0.11	3.92	10.0
19	3.31	2.02	0.13	4.03	9.5
20	3.29	2.00	0.11	3.99	10.0
21	3.31	1.98	0.12	4.01	10.5
22	3.26	2.02	0.10	3.97	9.5
23	3.26	2.00	0.13	3.97	10.5
24	3.31	1.98	0.12	4.01	11.5
25	3.26	2.02	0.11	3.97	10.5
26	3.27	2.00	0.11	3.97	11.0

con un factor de correlación de 0.95. Esta ecuación es correcta como se puede comprobar sustituyendo la dureza Brinell (Hb) por el valor de 205,3 ó 233,5, los resultados obtenidos son de 24,14 y 28,82 Kg./mm² respectivamente y no difieren en más de un 5 % del verdadero valor obtenido en el ensayo (24,37 kg./mm² y 27,49 kg./mm²).

Es de hacer notar que la fundición anterior trabaja siempre y cuando la microestructura esté constituida por una matriz perlítica ya que otros constituyentes pueden hacer variar la función, como por ejemplo la cementita que aumenta la dureza del material bajando su resistencia.

Figura 6.3 Resistencia vs Dureza



5.3 Resultados metalográficos.

5.3.1 Metalografía sin ataque.

En la tabla 15 se observa que la mayoría de las muestras tienen hojuelas de grafito Tipo A, distribución uniforme, y en ocasiones mezcladas con un Tipo B y Tipo C, orientación al azar agrupadas en rozetas y grandes hojuelas sobrepuestas. En teoría la hojuela de grafito Tipo A es la que siempre se debe obtener si se desea tener la mayor resistencia mecánica. El tamaño de grafito en su mayoría es 5, con una longitud de 6 a 12 mm. Los mejores valores de resistencia se obtuvieron en aquellas muestras que contenían grafito de menor tamaño, lo cual ocurrió en las experiencias 24, 25 y 26 en las cuales se adicionó 1 lb. de cobre en las cargas.

5.3.2 Metalografía con ataque.

La tabla 15 nos muestra que el tipo de matriz obtenida en su mayoría es perlítica, que es la que presenta las mayores características para un gran número de aplicaciones. Es dentro de este campo, que se encuentran los resultados de dureza y resistencia mostrados en la figura 5.3, y que depende la eficiencia de la fórmula establecida.

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1 Conclusiones.

1. La metodología del cálculo de carga garantiza buenos resultados siempre y cuando se utilice chatarra seleccionada de composición química conocida.
2. Con la adición de cobre en las últimas cargas, se obtuvo mayor resistencia a la tracción, esto se debe a que las láminas de granito son pequeñas y bien distribuidas, lo cual se logra siempre y cuando el material posea una matriz perlítica.
3. Se logró establecer una relación entre la medición del temple y el porcentaje de Silicio, esto será de gran ayuda para procesos de fundición que sigan las mismas normas utilizadas en esta tesis.
4. Por las limitaciones dadas por el uso de un cubilote de fabricación artesanal de un diámetro pequeño y con materiales no certificados

se debe realizar los procesos de desulfuración y carburación para garantizar la producción de hierro gris que cumpla con las normas de internacionales.

5. La carburización tiene mejores resultados al realizarse a temperaturas lo mas altas posibles, esto se obtiene con la adición del carburo de calcio que a su vez permite utilizar mas chatarra de acero, hasta 30% mas, disminuyendo los costos de fabricación.

6.2 Recomendaciones.

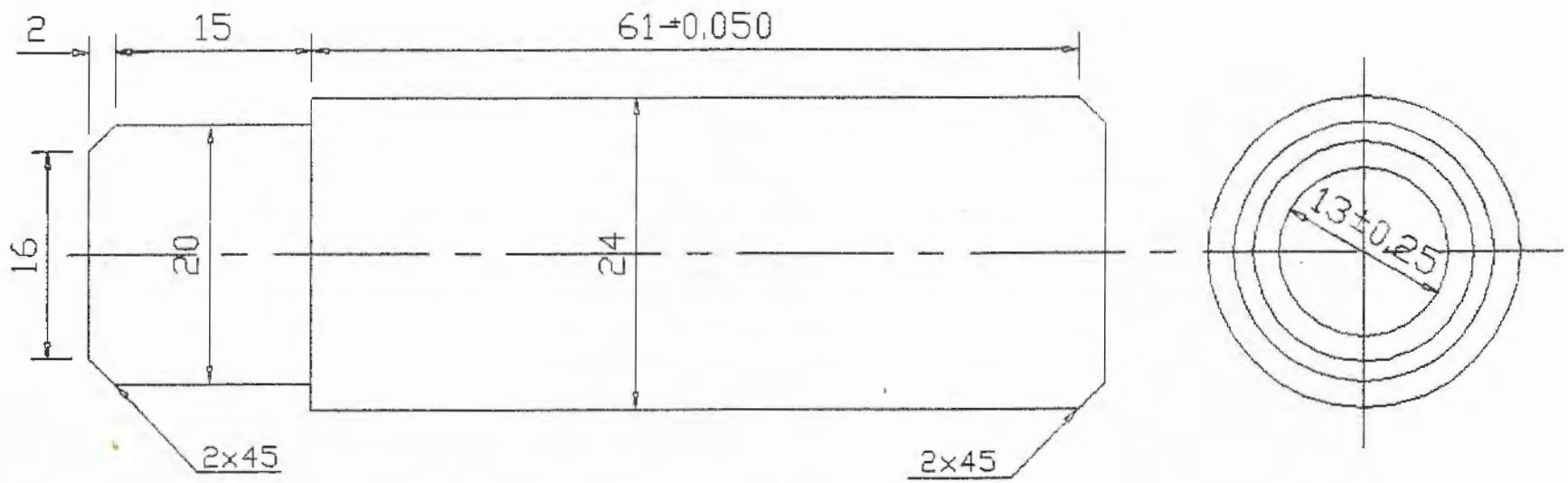
- Si se va a utilizar carburo de calcio en cantidades mayores a 1/2 lb. se recomienda cambiar los refractarios del horno con mas frecuencia o cambiarlos por unos de mejor calidad en la zona del crisol.
- Utilizar ferroaleaciones con mayor porcentaje de elemento aleante.
- Si se desea producir hierros con rangos de composición química mas pequeños se recomienda utilizar uno o dos tipos de chatarra y carburizantes mas eficaces.
- Se recomienda el uso de la cuña ASTM W 3 ½ por ser, la mas indicada para los trabajos de fundición que se realiza en el medio.

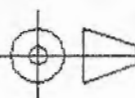
BIBLIOGRAFÍA.

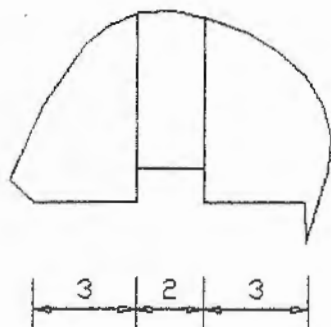
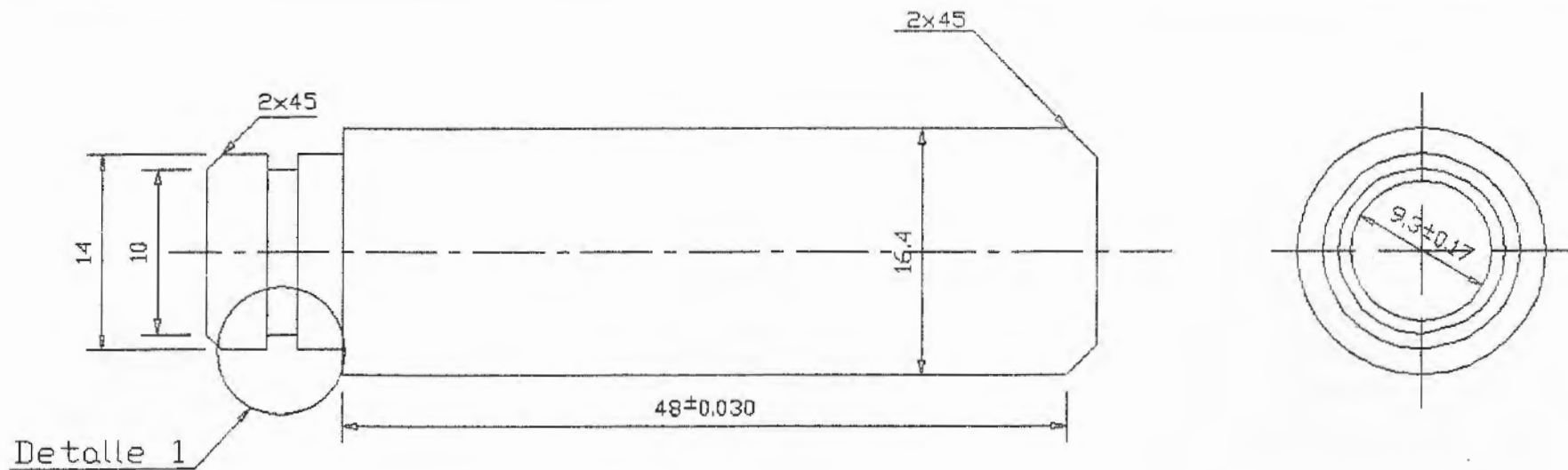
- 1) www.guiaslagz.com/Spanish/manual.html
- 2) ED MAY, Mecánica para motores, Primera Edición, 1988, Tomo 1, Editorial Mc Graw Hill.
- 3) www.auvasa.es/glp.htm
- 4) BIEDERMAN y HASSERIEFF, Fundición del Hierro y del Acero, Segunda Edición, 1957, Editor José Montesó.
- 5) www.comercialdelmotor.com/valvulas.htm
- 6) DIESEL ENGINE, Referencia book, Edited by L. R. C. Lilly, 1985.
- 7) EDUARDO CAPELLO, Tecnología de la fundición, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1974.
- 8) THE BRITISH CAST IRON RESEARCH ASSOCIATION, Cupola operation and control, 1978.

- 9) SYDNEY H. AVNER, Introducción a la metalurgia física, Segunda Edición, 1979, Editorial Mc Graw Hill.
- 10) EDUARDO R. ABRIL, Metalurgia, procesos y transformaciones estructurales, Primera Edición, 1974, Ediciones Marymar.
- 11) Annual Book of Standards, Tomo 2 y Tomo 11, 1973, Printed in Easton, Mdo, U.S.A., Edited for The A.S.T.M.
- 12) PROPERTIES AND SELECTION: IRON AND STEELS, Metal Handbook, Ninth Edition, Volumen 1, Edited for American Society for Metals.
- 13) VITERI - CEVALLOS - SERRANO, Guía de Laboratorio de Materiales de Ingeniería, 1977, Espol.



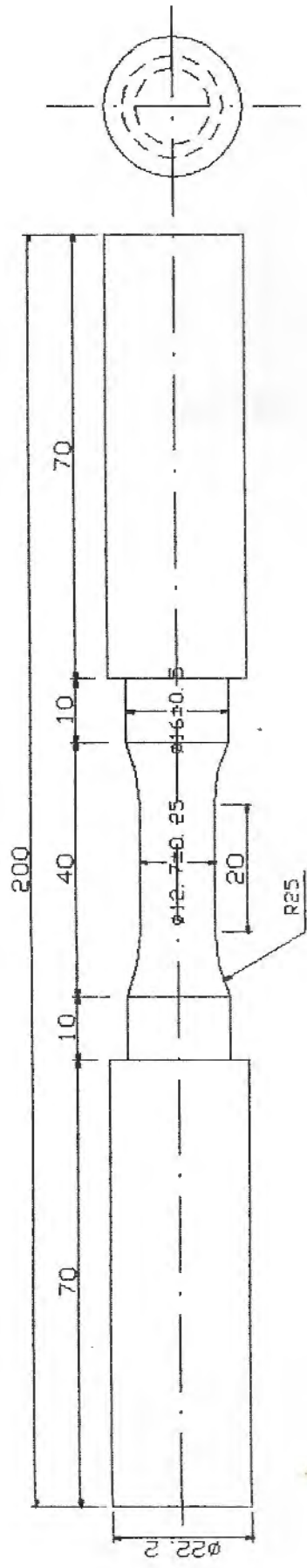



FIMCP-ESPOL		FECHA	NOMBRE
		Dibujó:	20/12/01 A. Canga
PROYECTO:		Revisó:	20/12/01 Ing Pacheco
Guia de valvula		PLANO No:	
		ESCALA:	1
2:1		CONTIENE:	
MATERIAL:		HIERRO GRIS	MASA (Kg):
			0.2424



Detalle 1
Escala 4:1

FIMCP-ESPOL		FECHA	NOMBRE
		Dibujó:	20/12/01 A. Campa
PROYECTO: Guia de valvula		Revisó:	20/12/01 Ing Pacheco
	ESCALA:	CONTIENE:	
	2:1	Guia para motor a gasolina	
MATERIAL: HIERRO GRIS		PLANO No:	2
		MASA (Kg):	0.084



FIMCP-ESPOL Guia de valvula		FECHA: 01/08/00 DIBUJO: 01/08/00 REVISOR: 01/08/00 ING. PATRICIA
PROYECTO:	ESCALA: 1:1	PLANO No: 3
	CONTIENE: Probeta	MASA (kg): 0.455
	MATERIAL: Hierro gris fundido	

APÉNDICE I

**COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS
COMPONENTES DE CARGA**

Aplicaciones Típicas de Hierro Fundido Gris.(12)

Aplicaciones	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Cu %	Mo %	Ni %
Yunques	3.20	1.80	0.85	0.15	0.10	0.20	0.15	---
Tambor de freno:	3.65	2.00	---	---	---	0.25	1.00	0.40	0.50
automobiles (pasajeros)	3.50	2.25	---	---	---	---	---	0.20	---
buses	3.00	2.08	0.58	---	---	0.08	---	0.65	1.00
trenes	3.70	1.10	0.80	0.03	0.03	---	---	0.50	---
camiones	3.30	1.80	0.70	---	---	---	0.20	0.10	---
camiones y buses	3.30	1.80	0.70	---	---	0.20	0.45	0.30	---
trailes	3.40	2.10	0.60	0.20	0.13	---	0.50	0.50	---
Arbol de levas:	3.20	2.20	0.60	---	---	1.00	---	0.35	0.30
automoviles a gasolina:	3.25	2.20	0.65	0.20	0.10	0.90	---	0.25	0.20
	3.30	2.30	0.75	0.18	0.15	0.85	---	0.25	0.20
automoviles a diesel	3.25	2.25	0.65	0.25	0.10	0.80	---	0.45	0.35
maquina estacionaria	3.00	2.10	1.00	0.15	0.15	0.40	---	1.00	2.70
Platos de embrague	3.35	2.00	0.75	---	---	0.35	0.90	0.35	---
	3.73	1.82	---	---	---	0.80	---	0.30	---
automoviles	3.09	2.15	0.65	0.80	0.09	0.20	---	0.40	---
Compresores:	3.20	2.30	---	---	---	0.35	---	0.35	---
Cigüeñales:	3.00	2.00	0.90	0.12	---	0.25	---	0.35	---
	2.75	1.59	0.88	0.08	0.07	---	---	0.29	---
	3.23	2.19	0.95	0.17	0.09	0.42	---	0.95	---
	3.25	1.80	0.70	0.10	0.10	0.40	---	1.20	---
maq. a diesel:	3.00	2.40	0.90	---	---	0.50	---	0.80	1.50
maq. marina de 8 cilindros	2.65	2.48	1.18	---	---	0.17	---	1.15	1.21
compresor y máquina	2.85	2.10	0.65	0.17	0.06	0.17	0.50	0.50	0.85
gasolina	2.95	2.10	0.70	0.17	0.07	0.17	0.15	0.80	1.75
gasolina (1 y 2 cilindros)	3.25	2.00	0.60	0.17	0.08	---	---	0.25	---
maq. arranque para diesel	3.16	2.15	0.90	0.09	0.08	---	---	0.85	1.65
Rines:	3.20	1.60	0.90	0.45	0.10	0.35	---	0.35	---
Pistones:	3.15	2.50	0.75	---	---	0.80	---	0.35	---
automoviles	3.39	2.40	0.60	0.19	0.07	0.15	---	0.50	0.50
a diesel	2.93	1.58	0.70	0.19	0.08	0.20	---	0.40	0.60
	3.50	2.40	0.70	0.20	0.10	0.40	---	0.40	---
Piñones:	3.40	2.30	0.36	0.35	---	---	---	0.40	---
	3.30	2.00	0.75	0.37	---	---	---	0.55	---
piñones cónicos	3.00	2.35	0.60	0.17	0.07	0.20	---	0.90	1.95
trans. de poder y freno	3.00	2.00	0.70	0.15	0.07	---	---	0.70	---
bomba de inj. de aceite	2.95	2.25	---	---	---	0.20	0.75	0.40	---
maq. a diesel	3.25	2.25	0.65	0.20	0.07	0.80	---	0.50	0.30
maq. en general	2.85	2.55	0.60	0.20	0.07	0.40	---	0.50	1.50
cortadora de cesped	3.30	1.98	---	---	---	0.30	---	0.30	---
camión	3.00	2.00	---	0.15	0.07	---	---	0.70	---
Caja de velocidades	3.40	2.25	---	---	---	0.25	---	0.50	---
Rueda de volantes:	3.40	1.60	0.85	---	---	0.35	---	0.25	---
automoviles	3.45	1.60	1.10	0.20	0.07	---	---	0.60	---

camiones y tractores	3.40	2.35	0.60	0.17	0.07	0.55	---	0.55	---
Camisas de cilindros	3.30	2.10	0.60	0.10	0.10	0.50	---	0.25	0.50
camiones a gasolina	3.14	2.30	0.80	0.14	0.10	0.40	---	0.40	0.40
a diesel	3.25	2.25	0.70	0.17	0.07	0.60	---	0.45	0.30
automoviles a gasolina	3.34	2.15	0.70	0.20	0.07	0.40	---	0.40	0.40
a diesel	3.30	1.90	0.90	0.09	0.09	0.35	---	0.30	---
	3.25	1.60	0.80	0.17	0.07	0.20	---	0.50	---
	3.30	1.70	0.75	0.18	0.07	0.45	---	0.65	---
	3.29	2.10	0.75	0.18	0.09	0.35	---	0.45	---
marinos	3.20	1.55	0.80	0.18	0.11	0.35	---	0.35	1.00
	3.20	1.90	0.85	0.12	0.06	0.20	---	0.40	0.35
maq. a die. y gas usan aire	3.20	1.60	0.88	0.12	0.08	---	---	0.45	0.05
a diesel y camiones	3.24	2.20	0.80	0.18	0.12	---	---	0.70	0.70
cajas de bombas de aceite	2.60	2.60	0.60	---	---	0.50	---	0.25	---
Cabeza (culata) de cilindros	3.20	1.55	---	---	---	0.20	---	0.15	1.00
marinos a diesel	3.10	1.50	0.80	---	---	0.40	---	0.70	1.25
	3.16	2.00	---	---	---	0.50	---	0.40	0.75
camiones a diesel	3.20	2.10	0.85	0.17	0.09	0.30	---	0.70	0.30
coches a gasolina	3.10	2.10	0.70	0.13	0.06	0.30	0.20	0.55	0.60
medianos y grandes	3.10	2.30	0.80	0.13	0.05	0.25	---	0.70	0.25
medianos y pequeños	3.29	2.15	0.65	0.17	0.07	0.30	---	0.40	0.45
Bloques de cilindros	3.28	2.25	0.70	0.13	0.05	0.40	---	0.45	---
automoviles	3.34	1.90	0.80	0.18	0.14	0.18	---	0.18	---
a diesel	3.20	1.80	0.80	0.09	0.09	0.20	0.70	0.30	---
camiones a gasolina	3.25	2.35	0.70	0.17	0.07	0.80	---	0.30	0.20
medianos y pequeños	3.20	2.30	0.75	0.06	0.05	0.40	---	0.40	0.20
camiones a diesel	3.29	2.10	0.70	0.18	0.10	0.80	1.10	1.05	0.15
camiones grandes	3.30	2.10	0.85	0.17	0.10	0.40	---	0.35	---
maquina estacionaria	3.30	2.10	0.85	0.17	0.09	---	---	0.25	---
Cigüeñales	3.25	1.45	1.50	0.17	0.08	---	0.50	0.55	---
maquina estacionaria	3.30	2.10	1.00	0.13	0.13	0.40	---	1.00	2.75
camiones	2.24	2.35	0.95	0.05	0.05	0.13	---	1.00	0.85
Rines y pistones	3.65	1.80	0.67	0.37	0.08	0.30	---	0.30	1.00
a diesel	3.70	2.29	0.70	0.35	0.08	0.20	---	0.20	---
compresores	3.68	1.55	0.65	0.40	0.08	0.40	---	0.40	1.00
tractores	3.25	2.25	0.70	---	---	0.06	---	0.95	1.30
Carcaza de bombas	3.25	2.50	0.70	0.15	0.10	---	---	0.35	---
	3.25	2.25	0.70	0.15	0.10	0.25	---	0.50	---
	3.25	2.25	0.70	0.10	0.08	0.50	---	0.50	---
	3.22	1.36	0.55	0.06	0.08	0.41	---	0.73	1.03
de alta presión	2.90	0.95	0.75	---	---	---	---	0.27	1.80
	3.00	1.70	0.83	---	---	---	---	0.75	1.25
centrifuga	3.35	1.90	0.90	---	---	---	---	0.67	0.97
para perforación	3.05	1.80	0.90	0.05	0.10	0.50	---	0.70	0.95
aceite	2.86	1.69	1.05	0.12	0.10	0.42	---	0.38	1.58
Tubos grandes	3.40	2.22	0.58	0.75	0.13	---	---	---	---

Chatarra de Acero de uso común en las Fundiciones. (12)

Clasificación	C	Mn	P máx	S máx	Si
SAE 1020	0.22 - 0.25	0.75 - 0.90	0.04	0.05	0.15 - 0.25
SAE 1030	0.26 - 0.33	0.55 - 0.90	0.04	0.05	0.18 - 0.30
SAE 1040	0.37 - 0.44	0.75 - 1.00	0.04	0.05	0.20 - 0.35

Ferroaleaciones correctivas de uso común en las fundiciones. (7)

Denominaciones	Si %	Mn %	Cr %	P %
Ferrosilicio	75 .. 80			
Ferromanganeso		70 .. 75		
Fundición rica en Si - Mn	10	20		
Fundición rica en Si - Mn	15	5		
Silicio - Manganeso	40 .. 50	20 .. 25		
Ferro - cromo			60 .. 65	
Silicio de calcio	60 .. 65	0.5		
Ferro - silicio - aluminio	40 .. 50	20 .. 25		18 .. 22
Ferro - silicio - manganeso	16 .. 32	30 .. 55		

APÉNDICE II

CÁLCULOS DE CARGA

Cálculo de carga # 1

Componentes de la carga	%	C		Si		Mn		S		P	
		Contenido %	en lb	Contenido %	en lb	Contenido %	en lb	Contenido %	en lb	Contenido %	en lb
Chatarra Automotriz	100	3.22	3.22	2.07	2.07	0.76	0.76	0.08	0.082	0.15	0.145
Chatarra Industrial		3.40	-	1.90		0.75	-	0.07		0.17	
Retornos de Fundición		2.98	-	1.72		0.62	-	0.12		0.14	
Chatarra de Acero		0.29	-	0.22		0.85	-	0.04		0.03	
Contenido total			3.22		2.07		0.76		0.082		0.145
Variaciones en		-0.93%	-0.03	-9.6%	-0.20	-13.4%	-0.102	34.1%	0.028		
			3.19		1.87		0.66		0.110		
Es necesario introducir					0.13		0.09				
Contenido resultante para cada 100 lb.			3.19		2.00		0.75		0.11		0.145

Para el Carbono

Para el Silicio

Para el Manganeso

Para el azufre

colocar 3 onzas de ferrosilicio ($0.13 \cdot 100 / 75 = 0.173 \text{ lb}$)

colocar 2 onzas de ferromanganeso ($0.09 \cdot 100 / 70 = 0.128 \text{ lb}$)

Cálculo de carga # 2

Componentes de la carga	%	C		Si		Mn		S		P	
		Contenido %	en lb	Contenido %	en lb	Contenido %	en lb	Contenido %	en lb	Contenido %	en lb
Chatarra Automotriz	90	3.22	2.90	2.07	1.863	0.76	0.68	0.08	0.074	0.15	0.1305
Chatarra Industrial		3.40	-	1.90		0.75	-	0.07		0.17	
Retornos de Fundición		2.98	-	1.72		0.62	-	0.12		0.14	
Chatarra de Acero	10	0.29	0.03	0.22	2E-02	0.85	0.09	0.04	0.004	0.03	0.003
Contenido total			2.93		1.885		0.769		0.078		0.1335
Variaciones en		-0.93%	-0.027	-9.6%	-0.181	-13.4%	-0.103	34.1%	0.027		
			2.90		1.704		0.666		0.104		
Es necesario introducir			0.25		0.30		0.084				
Contenido resultante para cada 100 lb.			3.15		2.00		0.75		0.10		0.13

Para el Carbono

colocar 9 onzas de antracita ($0.25 \cdot 100 / 44 = 0.568 \text{ lb}$)

Para el Silicio

colocar 6 onzas de ferrosilicio ($0.30 \cdot 100 / 75 = 0.4 \text{ lb}$)

Para el Manganeso

colocar 1 onzas de ferromanganeso ($0.084 \cdot 100 / 70 = 0.12 \text{ lb}$)

Para el azufre

colocar 4 onzas de carburo de calcio.



Cálculo de carga # 3

Componentes de la carga	%	C		Si		Mn		S		P	
		Contenido %	en lb	Contenido %	en lb	Contenido %	en lb	Contenido %	en lb	Contenido %	en lb
Chatarra Automotriz	80	3.22	2.58	2.07	1.658	0.78	0.61	0.08	0.0658	0.15	0.118
Chatarra Industrial		3.40	-	1.90		0.75	-	0.07		0.17	
Retornos de Fundición ..	10	2.98	0.30	1.72	0.172	0.62	0.06	0.12	0.0122	0.14	0.014
Chatarra de Acero	10	0.29	0.03	0.22	0.022	0.85	0.09	0.04	0.004	0.03	0.003
Contenido total			2.90		1.85		0.755		0.0818		0.133
Variaciones en		-0.93%	-0.027	-9.6%	-0.178	-13.4%	-0.101	34.1%	0.028		
			2.88		1.67		0.654		0.110		
Es necesario introducir			0.27		0.33		0.096				
Contenido resultante para cada 100 lb.			3.15		2.00		0.76		0.11		0.13

Para el Carbono

colocar 9 onzas de antracita ($0.27 \cdot 100 / 44 = 0.613$ lb)

Para el Silicio

colocar 7 onzas de ferrosilicio ($0.33 \cdot 100 / 75 = 0.44$ lb)

Para el Manganeso

colocar 2 onzas de ferromanganeso ($0.096 \cdot 100 / 70 = 0.137$ lb)

Para el azufre

colocar 4 onzas de carburo de calcio.

- 9) SYDNEY H. AVNER, Introducción a la metalurgia física, Segunda Edición, 1979, Editorial Mc Graw Hill.

- 10) EDUARDO R. ABRIL, Metalurgia, procesos y transformaciones estructurales, Primera Edición, 1974, Ediciones Marymar.

- 11) Anual Book of Standards, Tomo 2 y Tomo 11, 1973, Printed in Easton, Mdo, U.S.A., Edited for The A.S.T.M.

- 12) PROPERTIES AND SELECTION: IRON AND STEELS, Metal Handbook, Ninth Edition, Volumen 1, Edited for American Society for Metals.

- 13) VITERI - CEVALLOS - SERRANO, Guía de Laboratorio de Materiales de Ingeniería, 1977, Espol.