



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE ING. EN MECÁNICA

PRODUCCIÓN DE HIERRO GRIS

EN MOLDE METÁLICO

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del título de:

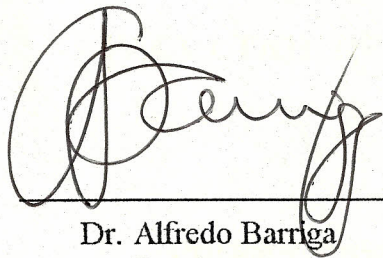
INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

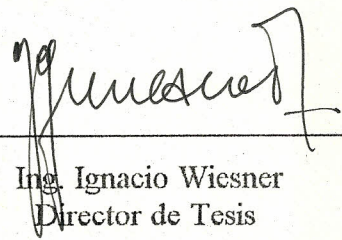
Diego Vinicio Dávila Sigcho.

Guayaquil - Ecuador

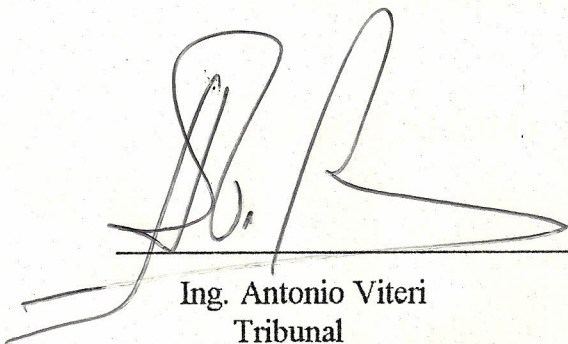
1995



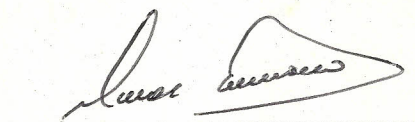
Dr. Alfredo Barriga
Decano



Ing. Ignacio Wiesner
Director de Tesis



Ing. Antonio Viteri
Tribunal



Ing. Omar Serrano
Tribunal

DEDICATORIA

A mis Padres : Blanca Sigcho

Enrique Dávila

por su apoyo incondicional

en mi vida

A mis Tíos : Carola Sigcho

Eduardo Coloma

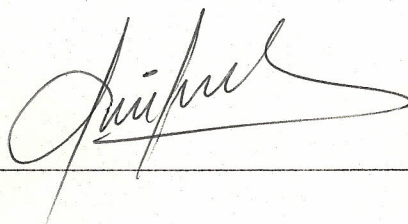
por su cariñoso apoyo en

mis estudios superiores

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente ; y , el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”.

(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL)

A handwritten signature in black ink, written over a horizontal line. The signature is cursive and appears to read 'Diego Vinicio Dávila Sigcho'.

Diego Vinicio Dávila Sigcho

RESUMEN

La realización de éste proyecto de investigación esta orientada a la fabricación de piezas de fundición de hierro en molde metálico a una sola velocidad de enfriamiento, controlando la composición química de la colada, partiendo de la materia prima chatarra automotriz, específicamente block de motor.

Se ha trabajado con composiciones químicas variando el Carbono Equivalente (CE) desde valores de 3.80 hasta 4.62 y realizado procesos de recocido a temperatura de 950 °C y se ha conseguido tiempos de recocido de 20, 30, 40, 50 y 60 minutos, para posteriormente ensayar estas muestras.

INDICE GENERAL

	Pg.
DEDICATORIA.....	I
DECLARACION EXPRESA.....	II
RESUMEN.....	III
INDICE GENERAL.....	IV
LISTA DE FIGURAS.....	V
INTRODUCCION	VI
CAPITULO I	
FUNDAMENTO TEÓRICO	
1.1 Diagrama de equilibrio Fe-C-Si.....	9
1.1.1 Influencia del Carbono y Silicio en las fundiciones.....	13
1.1.2 Carbono Equivalente.....	17
1.2 Estructura de solidificación.....	18
1.2.1 Influencia de la velocidad de enfriamiento en las fundiciones.....	21
1.3 Modificación de estructura en estado sólido.....	24
1.3.1 Recocido de grafitización.....	25
1.3.2 Efecto del contenido de silicio y Carbono con el tiempo a una temperatura.....	28

1.4 Propiedades del hierro colado en molde metálico.....	28
--	----

CAPITULO II

TRABAJO EXPERIMENTAL

2.1 Objetivo	31
2.2 Metodología.....	32
2.2.1 Materia prima.....	32
2.2.2 Equipo de fundición.....	32
2.2.3 Colado de las muestras.....	33
2.2.4 Recocido de las muestras.....	34
2.2.5 Análisis metalográfico.....	34
2.2.6 Ensayos de dureza.....	36
2.3 Equipo	36
2.4 Estimación y análisis de la composición química de las coladas.....	39
2.5 Colado de probetas.....	42
2.6 Recocido de probetas.....	47
2.7 Metalografía.....	52

CAPITULO III

DISCUSION DE RESULTADOS

3.1 Análisis químico.....	60
---------------------------	----

3.2 Colado de las Muestras.....	62
3.3 Recocido y metalografía	64

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones.....	69
Recomendaciones.....	71
ANEXOS.....	72
BIBLIOGRAFÍA.....	74

INDICE DE FIGURAS

Nº		Pg
1	Sistema estable hierro grafito.	10
2	Diagrama de equilibrio ternario Hierro-Carbono-Silicio, con 2% Si	12
3	Sección del sistema de aleación ternaria Fe-C-Si con: 0%, 2% y 4% de Si	14
4	Diagrama de Maurer	16
5	Diagrama de Maurer modificado	16
6	Diagrama de fase Fe-C-Si simplificado a 2% Si	19
7	Influencia general de la sección en estructura y dureza	22
8	Reporte de la dureza en el diámetro de la barra de 30 mm de diámetro para diversas temperaturas de la coquilla	27
9	a) Molde metálico inclinable	37
10	b) Fotografía del molde	38
11	Fotografía de la fractura de las probetas C-1, C-2, C-3	43
12	Fotografía de la fractura de las probetas C-4, C-5, C-6	44
13	Fotografía de la fractura de las probetas C-7, C-8, C-9	45
14	Régimen de recocido de las muestras	52
15	Inicio de maleabilización del hierro blanco	53

16	Microestructura que caracteriza al hierro colado en coquilla	54
17	Microestructura del hierro maleabilizado a 20 min.	55
18	Microestructura del hierro maleabilizado a 30 min.	56
19	a), b) y c) Recocidos a 950°C En ciclos de 60, 30 y 20 min.	59
20	Curvas de composición química por estimación y análisis	61
21	Influencia del CE en el espesor de corona de hierro blanco	63
22	Influencia del CE en la dureza para varios tiempos de recocido	65

INTRODUCCION

La fundición de partes en molde metálico es cosa común para aleaciones de bajo punto de fusión (Pb , Zn , Al) y de medio punto de fusión en base Cu . La producción de partes fundidas en base aleaciones de Fe en molde metálico no es fácil .

Uno de los problemas que se presenta en el colado de hierros grises es el incremento de dureza y fragilidad determinadas por la presencia de cementita libre en la microestructura , no solamente en las partes superficiales y subsuperficiales sino también en gran parte de la sección transversal impulsados por la velocidad de enfriamiento y la composición química con relación al CE ($C_E = \% C_T + 1/3 \% Si$). A fin de ampliar el panorama de fabricación de partes de alta calidad y satisfacer el sector del mercado que exigen piezas libres de defectos internos y elevada resistencia mecánica ,la División de Procesos de Manufactura ha proyectado un programa de investigación en el campo de los hierros grises colados en molde metálicos para fabricar partes automotrices tales como : camisas de motores, asientos de válvulas, anillos de compresión , y otras piezas de gran exigencia en propiedades .

La presente investigación trabaja específicamente en el estudio del proceso de recocido que deben someterse las piezas hechas en molde metálico para encontrar tiempos de tratamiento térmico de coladas de diferente contenido de CE , para sistematizar el proceso a nivel de producción en serie.

CAPITULO I

FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1 DIAGRAMA DE EQUILIBRIO Fe-C-Si

El diagrama hierro-carbono (Fig. 1) que se señala al estudiar los aceros, se denomina diagrama metaestable y corresponde a aleaciones hierro-carbono de muy bajo contenido en silicio.

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

En la figura 1 se ha señalado el diagrama estable correspondiente a 1.5% de silicio, que es un contenido que se puede considerar como medio entre los utilizados en las fundiciones grises de uso corriente.

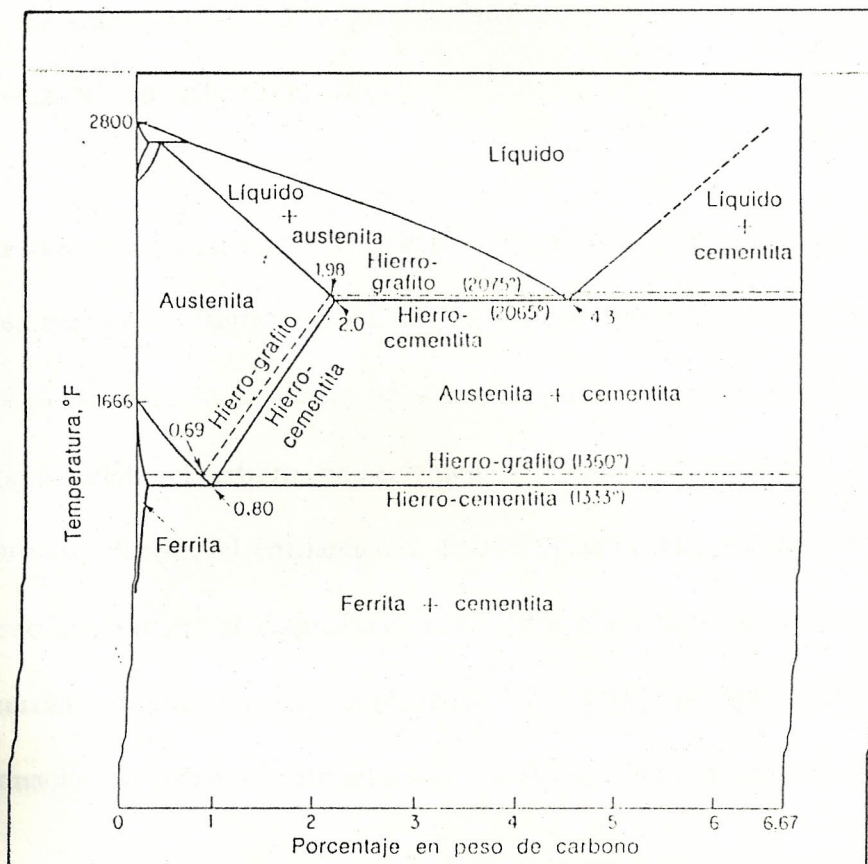


Fig. 1: Sistema estable hierro-grafito (líneas punteadas) sobrepuesto en el sistema metaestable hierro-carburo de hierro. (Aynner).

La fig. 2 se asemeja al diagrama Fe-C (binario), pero el diagrama ternario muestra características importantes. La temperatura eutéctica y eutectoide cambian de un valor simple en el diagrama Fe-C hasta rangos de temperatura en el diagrama Fe-C-Si. Los puntos eutéctico y eutectoide se cambian hasta contenidos de carbono más bajos.

La figura 2 representa el equilibrio metaestable entre un diagrama Hierro-Cementita a un diagrama metaestable, el silicio que esta presente permanece en solución sólida en el hierro, ya sea en ferrita o austenita, y así no afecta la composición del carburo, sino solamente la condición y rapidez de formación de carburos durante el enfriamiento. La designación alfa, gama y Fe₃C, por lo tanto se usan en el diagrama ternario para identificar las mismas fases que ocurran en el diagrama Fe-C (binario). Algo puede precipitarse a lo largo de formación de carburos, pero no puede ser distinguible como una fase diferente.

La solidificación de ciertos componentes no ocurre en un sistema metaestable, excepto un poco en el sistema estable, donde los productos son hierro y grafito en ves de hierro y carburo.

La actividad del silicio se observa claramente en la fig. 3, en donde se puede comparar el desplazamiento que sufren las líneas de transformación y el punto eutéctico hacia la izquierda a medida que se incrementa el porcentaje de silicio.

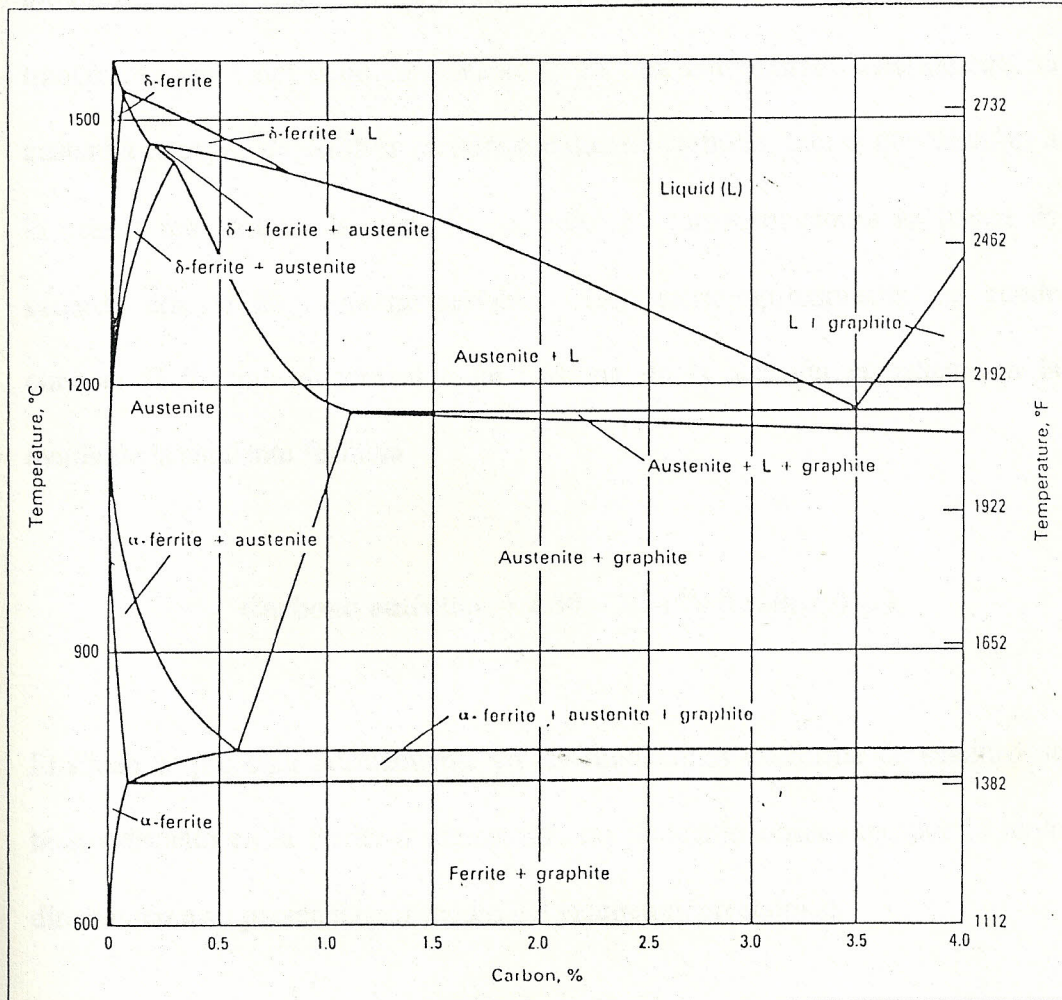


Fig. 2: Diagrama de equilibrio hierro-carbono-silicio, con 2% de Si. (Metals Handbook).

Los contenidos en carbono de las aleaciones eutécticas y eutectoides del diagrama estable, varían con el contenido en silicio de las fundiciones y son inferiores a los que corresponden al diagrama metaestable. En las transformaciones del diagrama estable, para una temperatura determinada, la austenita es capaz de disolver menor cantidad de carbono, que el que disuelve a la misma temperatura la austenita, cuando las transformaciones se hacen de acuerdo con el diagrama metaestable. Con cierta aproximación se puede conocer fácilmente el contenido en carbono de la aleación eutéctica con la ayuda de la siguiente fórmula.

$$\text{Carbono eutéctico} = 4.30 - 1/3 (\% \text{ de silicio}) \quad (1)$$

El silicio se presenta normalmente en las fundiciones en forma de siliciuro de hierro disuelto en la ferrita o hierro alfa, no pudiendo observarse por lo tanto directamente su presencia por medio del examen microscópico.

1.1.1 INFLUENCIA DEL CARBONO Y SILICIO EN LAS FUNDICIONES

Uno de los factores más importantes que afecta la estructura y propiedades de la fundición es la cantidad de carbono y silicio usado y la taza de carbono para el silicio. La taza de carbono para el silicio en la

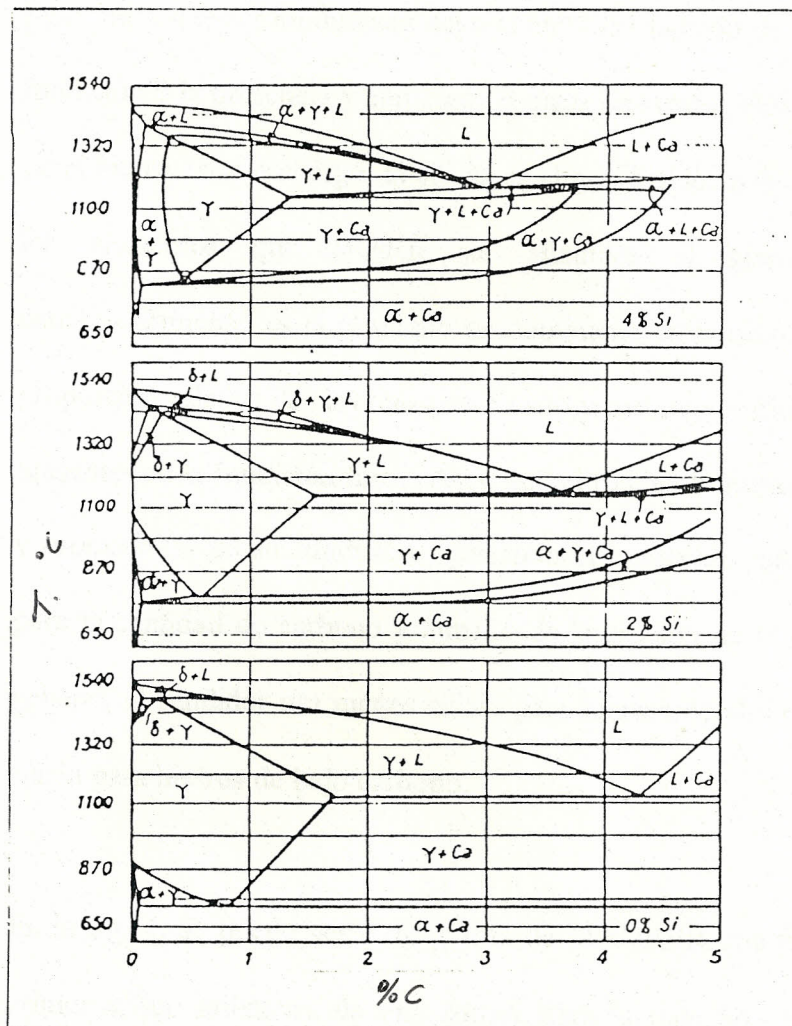


Fig. 3: Sección de sistemas de aleación (Fe-C-Si) en dos dimensiones con: 0%, 2% y 4% de Si.

fig 4. tiene que ser modificada dependiendo del tamaño de la sección de la fundición y la presencia y cantidad de otros elementos aleantes contenidas en el hierro. Sin embargo, el silicio es el grafitizador más fuerte de todos los elementos que pueden ser añadidos al hierro fundido y consecutivamente, es el elemento predominante en la determinación de la proporción relativa de carbono combinado y carbono grafitico que estarán presentes en la fundición final. Así como el fundidor controla la estructura y propiedades de su fundición, ajustando el contenido relativo de silicio, para la cantidad de carbono y tamaño de la sección de la fundición. En general, el fundidor usa menos silicio para hierros de alto carbono y más silicio para hierros de bajo carbono.

En la fig. 4, se puede ver el diagrama de MAURER que fue uno de los primeros que señalaron de una forma clara la relación que hay en los porcentajes de carbono y silicio, y la clase de fundición que se obtiene en cada caso. Este diagrama que es sencillo y claro, ha sido perfeccionado, y modificado por otros investigadores, fig. 5.

Estos dos diagramas se refieren a un determinado espesor y una clase de molde, y no se destaca en ellos la influencia de la velocidad de enfriamiento.

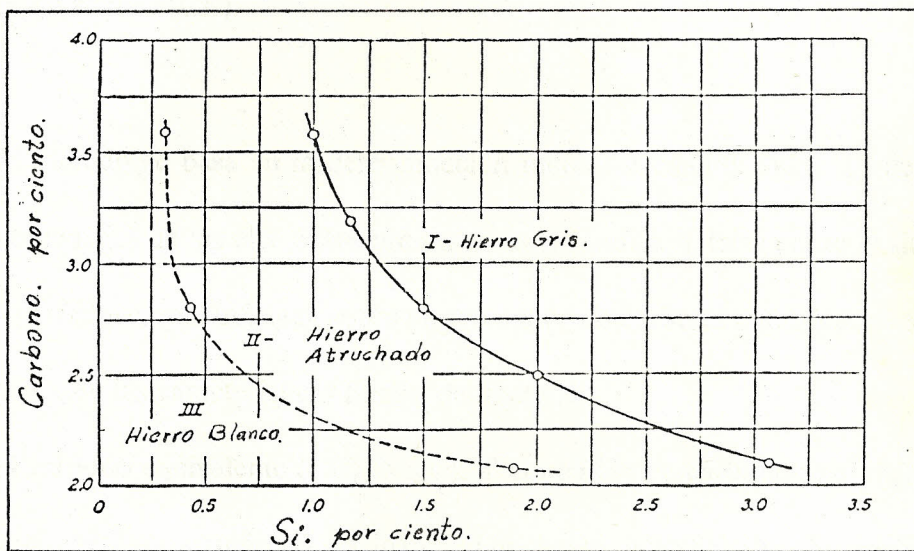
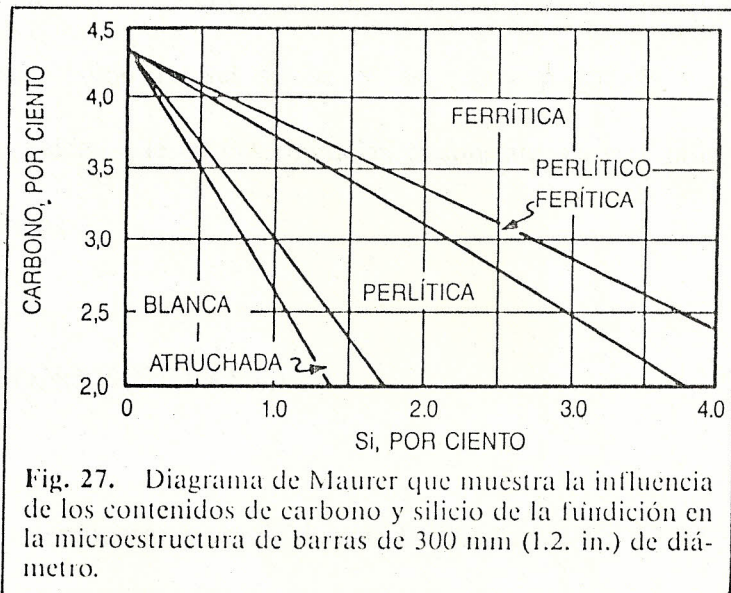


Fig. 4: Diagrama de Maurer que muestra la influencia de los contenidos de carbono y silicio de la fundición en la microestructura de barras de 30 mm. (1.2 in) de diámetro. (Fundición).

Fig. 5: Diagrama de Mourer modificado. Límites de composición gris: ferrítico, perlítico y hierro blanco. (Tanimura).

El carbono, como se desprende de las fig. 4 y 5 tiene una influencia tan importante como la del silicio, y así, muy pequeñas variaciones de carbono, hacen que en determinadas circunstancias, la fundición pase de gris a blanca.

1.1.2 CARBONO EQUIVALENTE

Un método moderno y confiable para la determinación de propiedades del hierro fundido, es el que se conoce con el nombre de " Carbono Equivalente "(CE).

El método se basa en la determinación mediante análisis químico, de los porcentajes de los elementos presentes en la fundición, tales como el silicio y el fósforo, que influyen sobre el porcentaje de carbono eutéctico y por lo tanto, en las características finales del material.

El carbono equivalente (CE) es igual al contenido de carbono total más un tercio del contenido de silicio. Un valor aproximado de carbono equivalente:

$$CE = \% C + 1/3 (\% Si)$$

O más preciso, metiendo el contenido de fósforo dentro del término del silicio en la ecuación anterior:

$$CE = \% C + 1/3 (\% Si + \% P)$$

Y finalmente con el valor así obtenido, mediante el uso de gráficos apropiados se logran determinar las propiedades que tendría la fundición en consideración.

La comparación del CE en la composición eutéctica en un diagrama Fe-C (4.3% C), indica que si el hierro fundido se comporta como una aleación hipoeutectoide o hipereutectoide durante la solidificación cuando el carbono equivalente está cerca del carbono eutéctico el estado líquido persiste a una temperatura relativamente baja, y la solidificación toma lugar en un rango pequeño de temperatura.

1.2 ESTRUCTURA DE SOLIDIFICACIÓN

Muchos de los hierros fundidos son hipoeutectoides en la naturaleza(esto es $CE < 4.3$), los hechos asociados con la solidificación de hierros hipoeutectoides pueden ser estudiados con la versión simplificada Fe-C-Si (fig. 6), a temperatura sobre el punto 1 el hierro está enteramente fundido, como la temperatura decrece y la línea líquidus a sido atravesada, el enfriamiento

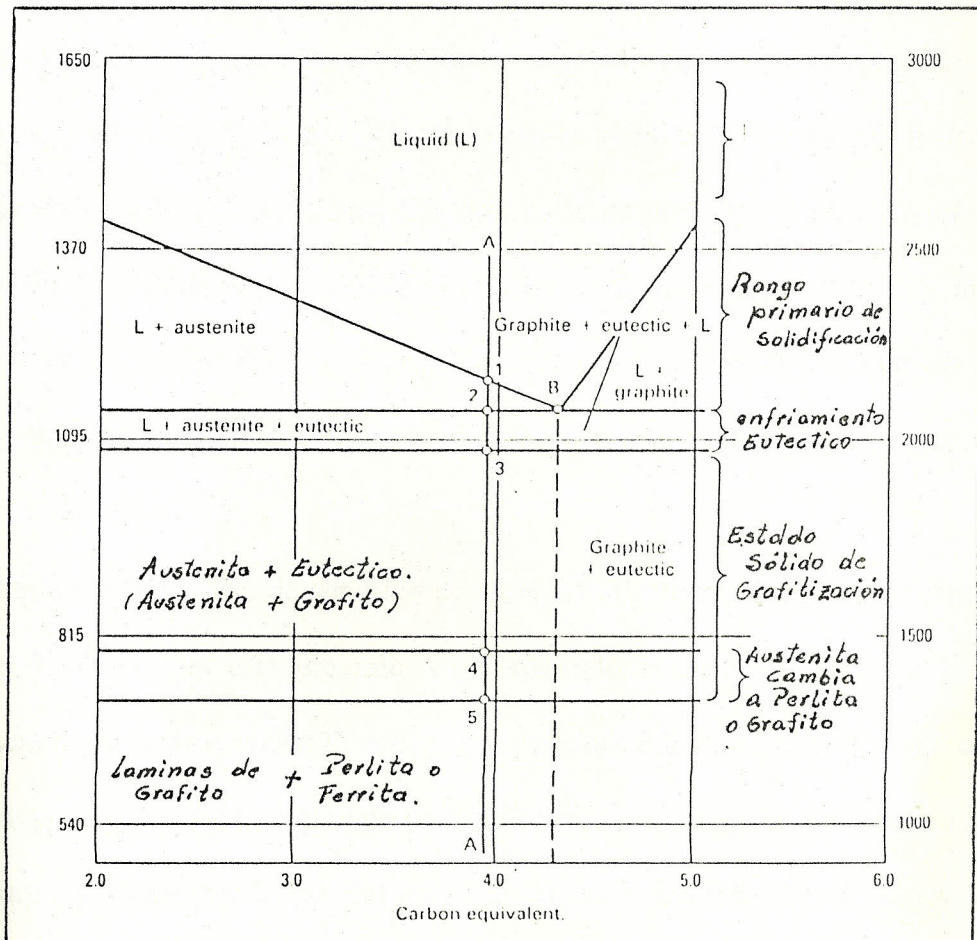


Fig. 6: Diagrama de fase Fe-C-Si simplificado a 2% de silicio. (Metals Handbook).

comienza con la formación de dendritas austeníticas preeutécticas; estas dendritas crecen formándose por una caída de temperatura a través de un rango de enfriamiento primario, por lo que es marcado por los puntos 1 y 2. El tamaño de las dendritas está gobernado por el carbono equivalente del hierro y la tasa de solidificación. Para CE más bajos se producen dendritas grandes porque el intervalo de temperatura entre las líneas líquidas y eutéctica es muy grande para estos hierros que para aquellos con CE más alto. Como era de esperarse un enfriamiento rápido promueve el tamaño de dendritas más finas.

Durante la formación de dendritas de austenita el carbono es rechazado dentro del líquido que está presente. El contenido de carbono del líquido se incrementa hasta alcanzar la composición eutéctica de 4.3%, una vez que esta composición se logra, el líquido se transforma en dos sólidos, esto toma lugar entre los puntos 2 y 3. El tipo de sólido formado depende si la solidificación está siguiendo la reacción metaestable o eutéctica estable. El carburo de hierro más la austenita se forma durante la reacción estable. Cuando la solidificación eutéctica está completa ningún líquido está presente, y cualquier reacción adicional toma lugar en estado sólido. Aunque no se ha mostrado en la fig. 3, el intervalo de temperatura entre las transformaciones eutéctica y eutectoide marcada por los puntos 3 y 4, la austenita de alto carbono libera carbono el cual se difunde a las hojuelas. Esto permite a la austenita adquirir la composición necesitada para la transformación eutectoide, el cual bajo las

condiciones de equilibrio toma lugar en los puntos 4 y 5. Tanto el carbono como el hierro influyen en la naturaleza del hierro fundido. Es por lo tanto necesario desarrollar una aproximación de el impacto de sus propiedades en la solidificación, esto ha sido logrado a través del desarrollo del concepto de carbono equivalente.

Lo cual usando las ecuaciones de CE es posible describir el efecto del carbono, silicio y fósforo para el diagrama binario Fe-C. En hierros con CE de 4.3, están considerados para una composición eutectoide (esto es $CE < 4.3$). Casi todas las propiedades mecánicas y físicas del hierro gris están señaladas para valores de CE muy cercanas a 4.3 .

1.2.1 INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO EN LAS FUNDICIONES

La razón por la cual el metal fundido se enfría desde el comienzo del enfriamiento hasta bajo el rango crítico, determina un grado grande de tipo de estructura desarrollada en la fundición final. Un enfriamiento rápido a través de la zona de enfriamiento y bajo ella para una temperatura relativamente baja resultará la formación de poco contenido de grafito, este hierro en mención será duro y frágil. Un enfriamiento muy lento permitirá la grafitización con bajo contenido de carbono o carbono no

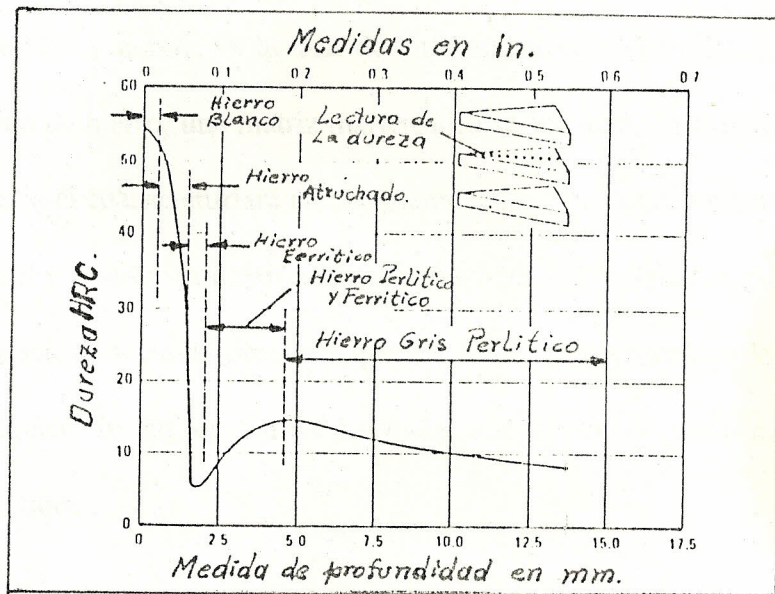
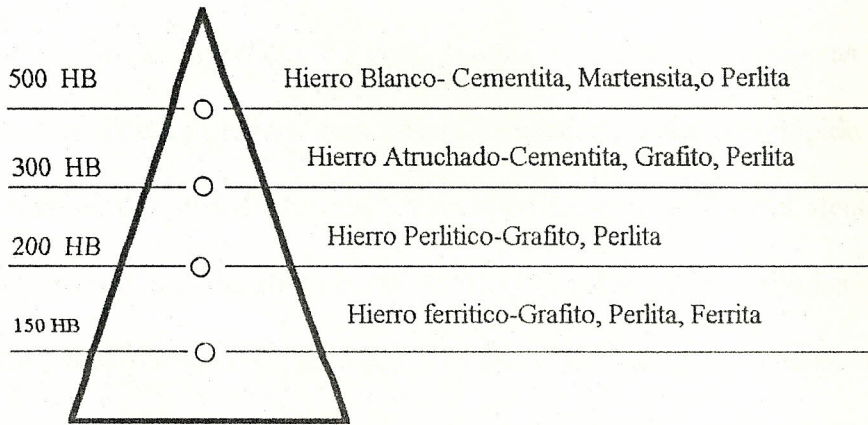


Fig. 7: Influencia general de la sección en estructura y dureza Brinell.

combinado y resultará un hierro blando y débil. No existe un modo fácil de controlar las tasas relativas de enfriamiento de la fundición en moldes de arena ya que la tasa de enfriamiento esta fuertemente gobernada por el volumen y área superficial de cada fundición, las secciones ligeras con áreas superficiales grandes será necesario enfriar mucho más rápido que aquellas de secciones densas con áreas superficiales pequeñas. El efecto de la tasa de enfriamiento sobre la estructura desarrollada en una fundición de hierro puede ser ilustrada en la fig. 7, el punto superior de la cuña se enfría relativamente rápido y esta consistirá estructuralmente de hierro blanco, cementita y perlita. Si la tasa de enfriamiento rápido a través del rango crítico de hierro, una matriz martensitica se formará. El extremo denso de la cuña el cual se enfriará relativamente lento, contendrá una estructura de ferrita y grafito, éste extremo será muy blando y débil. A partir de esta ilustración, debería apreciarse que los cambios marcados en la sección de cualquier diseño de fundición dada puede causar problemas para la fundidora.

El fundidor, puede evitar una diferencia marcada en la estructura y propiedades de la fundición en secciones delgadas y gruesas, empleando varias técnicas de fundición, muchas de las cuales en su mayoría son aquellas con control de composición. Es posible obtener una estructura uniforme en la fundición variando las secciones del grosor; sin embargo, es

mucho mejor diseñar una fundición con secciones tan uniformes como sea posible.

La velocidad de enfriamiento además de depender del espesor de la pieza dependen también de la clase de molde empleado, que es otro factor que también ejerce influencia decisiva en la microestructura de las fundiciones.

Los enfriamientos rápidos tienden a producir fundiciones blancas; Los enfriamientos lentos favorecen la formación de grafito, y por lo tanto, la formación de fundiciones grises.

1.3 MODIFICACIÓN DE ESTRUCTURA EN ESTADO SÓLIDO

Las piezas fundidas de hierro moldeado en frío se hacen vaciando el metal fundido en un molde metálico para nuestro caso, lo cual da como resultado una superficie de hierro fundido blanco, resistente a la abrasión es soportada por un núcleo más suave de hierro gris. Esta estructura externa-interna se obtiene mediante un cuidadoso control de composición aleada y un ajuste de la rapidez de enfriamiento.

La congelación empieza primero y la rapidez de enfriamiento es mayor donde el metal fundido está en contacto con las paredes del molde. la rapidez de

enfriamiento decrece conforme se aproxima al centro de la pieza fundida. Una pieza fundida de hierro con superficie de hierro blanco puede producirse ajustando la composición de hierro de manera que la rapidez normal de enfriamiento en la superficie sea apenas lo suficientemente rápida para producir hierro blanco, mientras que la rapidez de enfriamiento menor por debajo de la superficie producirá hierro manchado o gris. El tratamiento térmico más frecuentemente aplicado a hierros grises es el de alivio de tensiones en que se aplica el recocido. El recocido del hierro consiste en el calentamiento del hierro a altas temperaturas, suficientemente altas para suavizar y para minimizar o eliminar carburos en exceso, así se mejora la resistencia y maquinabilidad. El grado de reducción de las propiedades, depende de la temperatura de recocido, el tiempo a la que se mantiene esta temperatura y la composición de la aleación de hierro.

1.3.1 RECOCIDO DE GRAFITIZACIÓN

El recocido de grafitización puede tener el simple propósito de convertir el carburo en exceso a perlita y grafito, aunque en algunas aplicaciones puede ser deseable llevar a cabo un recocido de ferritización para proporcionar máxima maquinabilidad.

Para romper el exceso de carburo con rapidez apropiada se requieren temperaturas de al menos 870°C (1600°F); Aumentando continuamente 55°C, la razón de descomposición se duplica. Consecuentemente es común aplicar temperaturas de apoyo de 900°C hasta 955°C. El tiempo de permanencia a una temperatura dada puede variar desde pocos minutos hasta varias horas. El enfriamiento (hierro blanco) en algunos hierros de alto silicio y alto carbono puede ser eliminado en tan corto tiempo como 15 minutos a 940°C. La razón de enfriamiento debe ser escogida dependiendo de la finalidad del hierro. Si el objetivo principal del tratamiento es romper el carburo, y se desea conservar máxima resistencia y resistencia al desgaste, la fundición debería ser enfriada en aire desde la temperatura de recocido hasta alrededor 540°C, para fomentar la formación de una estructura perlítica. Si el objetivo es máxima maquinabilidad la fundición debería ser enfriada en el horno hasta 540°C, y un cuidado especial debería ser empleado para asegurar un enfriamiento lento a través del rango de transformación.

En ambos casos, el enfriamiento desde 540°C hasta alrededor de 290°C, es recomendable enfriarlo a una tasa 110°C/hr para minimizar esfuerzos residuales.

1.3.2 EFECTO DEL CONTENIDO DE SILICIO Y CARBONO CON EL TIEMPO A UNA TEMPERATURA DADA

Ciertos elementos tales como el carbono y el silicio , aceleran la descomposición de la perlita y el exceso de carburos a la temperatura de recocido, por lo tanto, cuando estos elementos están presentes en porcentajes suficientes, el tiempo a la temperatura de recocido puede ser reducido.

En una investigación de la descomposición de la perlita a varias temperaturas en hierros que contenían 1.93% y 2,68% Si se determinó que la perlita siempre se rompe más rápidamente en los hierros de alto contenido de silicio .

La experimentación, puede ser necesaria para compensar los efectos de geometría de la fundición y la composición química del hierro.

1.4 PROPIEDADES MECÁNICAS DE HIERROS COLADOS EN MOLDE METÁLICO

En este proyecto las probetas de hierro fundido se hace vaciando metal fundido en un molde metálico, lo cual da como resultado una superficie de hierro fundido blanco que es soportado por un núcleo más suave de hierro gris.

Las probetas con secciones de hierro blanco, gris o atruchada, hacen que estas probetas tengan propiedades superiores a la de un hierro gris ordinario.

Las superficie de hierro blanco extremadamente duro les da resistencia a la abrasión y al desgaste, y a su vez dificultad al maquinarse. Esto se debe al exceso de carburos (cementita) creados por el enfriamiento rápido en las paredes del molde. El espesor de la capa de hierro blanco, dependerá de la composición del hierro y de la rapidez de enfriamiento del mismo. Esta capa por lo general no es maquinada, sólo requieren en algunos tipos de piezas retificación pero comúnmente estas adquieren las tolerancias del molde, y un acabado superficial muy bueno dependiendo de la rugosidad de las paredes de la coquilla. El núcleo de hierro gris o atruchada que es casi en su totalidad, presentará propiedades como alta dureza y buena resistencia.

La fig. 8 muestra como varia la dureza en el interior de la barra de 30 mm de diámetro colada en coquilla, se ha graficado la dureza tomada en distintos puntos para varias temperaturas de la coquilla .

El contenido de la perlita influye en las propiedades del hierro fundido como:

La resistencia del hierro se incrementa con el contenido de perlita.

El tamaño de grano más fino aumenta la resistencia.

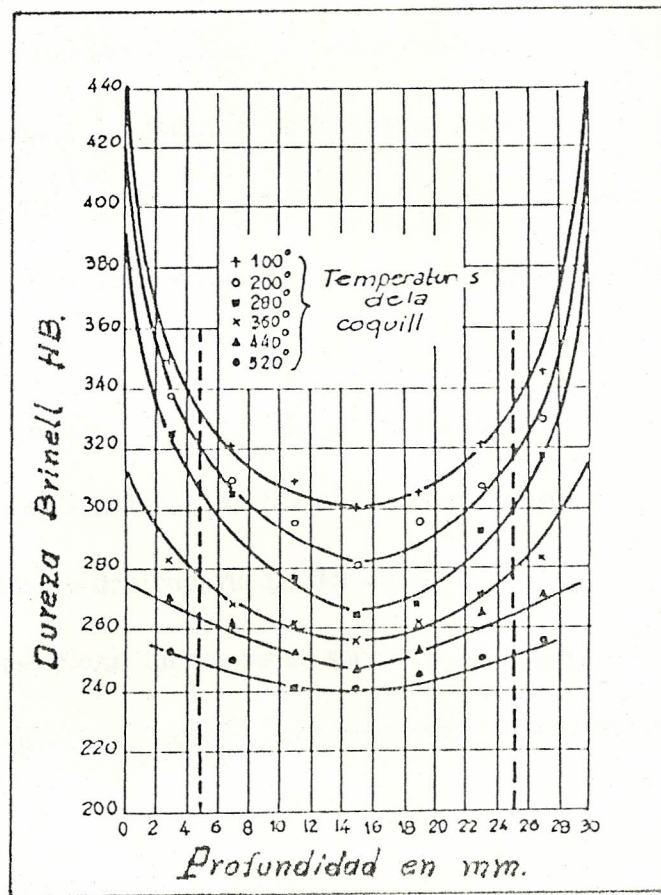


Fig. 8: Reporte de la dureza en el diámetro de la barra de 30 mm. para diversas temperaturas de la coquilla. (Czeikel y Sturm).

La dureza se incrementa con el aumento de grano fino y la cantidad de perlita.

El proceso de recocido mejorara la maquinabilidad de la fundición, pero disminuirá la dureza y resistencia de la misma, entonces solo un control de composición, enfriamiento, y recocido del hierro permitirán al fundidor establecer parámetros para obtener las propiedades mas convenientes.

La utilización principal de estas piezas sin tratamiento es para partes con superficies de rodadura como ruedas de carros de transportadores, rodillos de trituración, tambores de freno, ruedas dentadas, etc.

La aplicación en piezas fabricadas en serie se emplea en piezas de hidráulica, volantes para válvulas, estatores y otros elementos de motores eléctricos.

CAPITULO II

TRABAJO EXPERIMENTAL

2.1 OBJETIVO

En los talleres de fundición de hierro se usan varios tipos de arena para la producción de moldes. En ésta última década se abierto un nuevo camino para la producción de hierro fundido: la colada en moldes metálicos, o sea en coquilla.

El objetivo principal de éste proyecto es iniciar el estudio de las fundiciones en un campo nuevo y que esta dando resultados satisfactorios, esto es la producción industrial de piezas de hierro fundido coladas en molde metálico o coquilla.

En éste estudio experimental, se dará a manera de guía para obtener datos prácticos de CE y tiempos de recocido para una sola velocidad de enfriamiento en la solidificación , que se puede usar para producir piezas en molde metálico.

2.2 METODOLOGÍA

El método a seguir en este estudio es muy simple por la sencillez de su equipo, la forma de fundir y el manejo de los instrumentos y equipos.

2.2.1 Materia prima .

El método empieza por la recolección y selección de la chatarra, que para nuestros ensayos utilizaremos chatarra automotriz. Toda la chatarra seleccionada se romperá hasta un tamaño pequeño lo suficientemente para colocarlo en el crisol del horno.

2.2.2 Equipo de fundición .

El horno de crisol utilizado para éstos ensayos nos permitirán controlar y estimar su composición (carbono y silicio) principalmente mediante dilución de ferrosilicio y acero. Lo que no ocurre con otros hornos como el cubilote.

El objetivo de incluir acero y ferrosilicio (Fe-Si) en diferentes porcentajes, fue con el propósito de obtener variaciones apreciables en los contenidos de carbono y silicio o CE y manejar la composición química de acuerdo a nuestras necesidades.

La pesada de las cargas que ingresan al horno, deben ser lo más precisas, sobre todo los materiales que entran en pequeños porcentajes, tal como ocurre con el ferrosilicio, que es el elemento que servirá para ajustar la composición del hierro.

La balanza empleada para el pesaje de la chatarra automotriz y el acero tenía una precisión de 0.5 de libra, y la empleada para el pesaje del ferrosilicio lo era de una onza. Será indispensable el establecer como norma el pesaje de las materias primas por parte de los fundidores, por cuanto sólo con un control de los porcentajes de cada uno de los elementos introducidos en el horno, se podrá establecer de una manera estimada y aproximada las propiedades mecánicas que presentarán posteriormente las piezas fundidas.

2.2.3 Colado de las muestras .

Una vez puesto a punto el horno, se carga el crisol con chatarra debidamente pesada, dando el tiempo suficiente para que el hierro esté completamente fundido, entonces se tomará una cantidad de esta colada y se vaciará en el molde metálico, quedando como la primera muestra, para ensayos. Posteriormente se diluirá un porcentaje de ferrosilicio para aumentar el contenido de silicio en la colada, y de la misma manera anterior se toma una muestra. La dilución de ferrosilicio se seguirá

aumentando hasta tener un carbono equivalente alto. Luego se irá variando el CE mediante la dilución de porcentajes de acero y de la misma forma se tomará una muestra de cada una de las diluciones, obteniendo una gama de probetas de distinto CE para los ensayos. Hay que anotar que todas las muestras fueron rápidamente desmoldadas y enfriadas al aire.

2.2.4 Recocido de las muestras .

El siguiente paso es el proceso de recocido, por lo que se debió trozar cada una de las probetas en cinco partes para obtener diferentes tiempos de recocido para una misma probeta (mismo CE). Este recocido se lo realizó en el horno a una temperatura promedio de 950 °C , para los tiempo de 20, 30, 40, 50, 60 minutos, enfriando al aire.

2.2.5 Análisis metalográfico .

Esta generalmente admitido, que sólo con el uso del microscopio la metalurgia moderna ha podido surgir al rango de ciencia verdadera y propia. Ella se rige ahora sobre leyes bien definidas, entre las cuales las más importantes es aquella que expresa la correlación directa entre las características estructurales de constitución de un metal o de una aleación y sus propiedades mecánicas.

El examen microscópico permite determinar la naturaleza, morfología, dimensiones, cantidad y distribución de los componentes estructurales, y provee al ingeniero los datos indispensables para la selección de un material que será utilizado posteriormente como elemento mecánico.

Para la realización del control metalográfico, fue indispensable efectuar pasos preliminares para preparar las probetas que se analizaron en el microscopio, en éste trabajo, se ha seguido la práctica que esta técnica aconseja.

Cada muestra para el ensayo metalográfico se trozo por la mitad con el disco abrasivo de corte, luego se paso al banco de pulir, donde se realizó el pulido intermedio con hojas de lijas finas, hasta un papel final N°600.

El pulido fino se lo realizó con la máquina de pulir marca STRUERS en paño húmedo y con una pasta abrasiva de oxido de aluminio tipo N.

Ataque químico .- El propósito del ataque químico es hacer visible las características estructurales del metal. El proceso debe ser tal que queden claramente diferenciadas las partes de la microestructura.

El ataque químico para nuestros ensayos se realizó con picral al 4% diluido en alcohol etílico, éste reactivo nos permitió diferenciar

claramente la cementita, estructura que fue de mayor interés en nuestros análisis metalográficos.

El análisis metalográfico se lo realizó en el microscopio metalúrgico equipo OLIMPUS, que con el mismo se tomo varias fotomicrografías de las muestras.

2.2.6 Ensayos de dureza .

La máquina de medir dureza la realiza directamente, la cual fue medida en diferentes puntos de la sección. Se midió la dureza Brinell usando la bola de 1/4" y una carga de 300 Kg. durante 10 seg.,obteniendo la medida de la huella y luego por tablas tener la dureza.

2.3 EQUIPO

El equipo experimental que se uso para este proyecto se utilizo la mayoría del laboratorio de metalurgia como: máquina de corte con disco abrasivo, banco de lijas para pulido, microscopio metalúrgico, medidor de dureza, reactivos para ataque químico, y algunos otros instrumentos menores. La fundición de las probetas se la realizo en el taller de fundición, en un horno de crisol de capacidad 300 Kg.

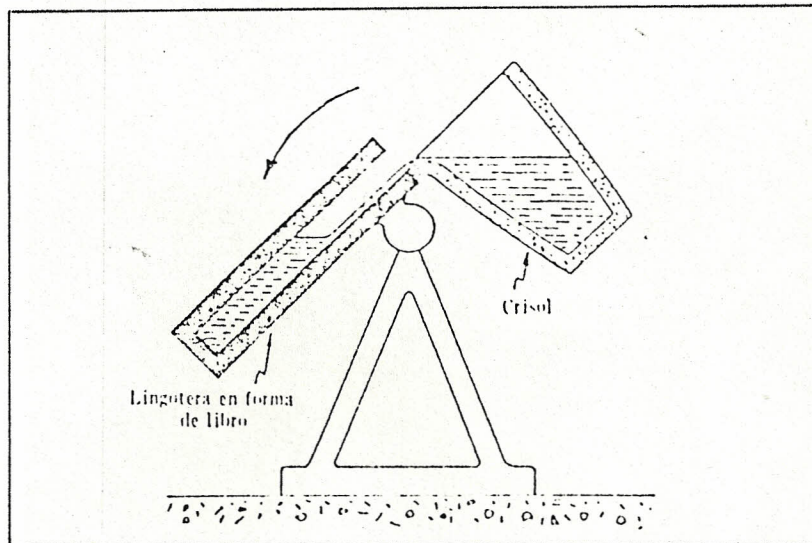


Fig. 9: a) Molde metálico inclinable.

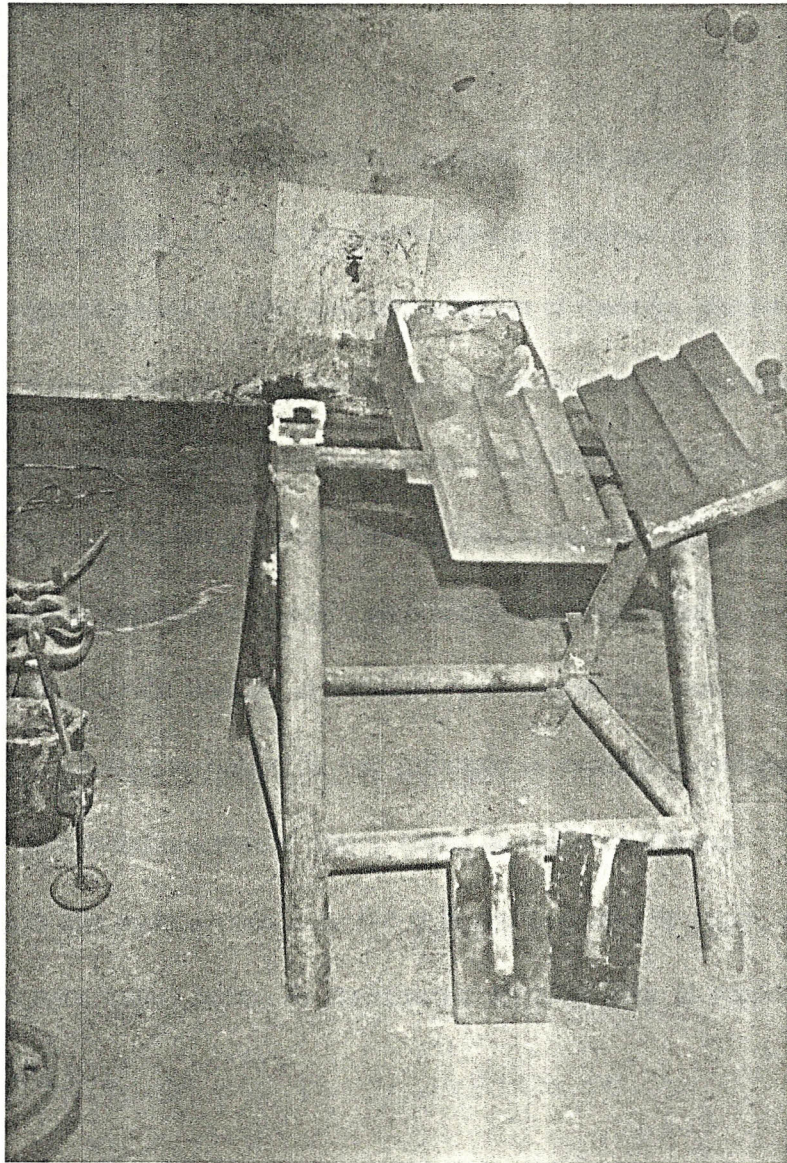


Fig. 9: b) Fotografía del molde metálico inclinable.

El elemento que fue diseñado y construido fue el molde metálico para el procedimiento de lingoteado.

Si la carga se vierte en un molde del tipo usado normalmente para la producción de barras, la capa de escoria que se produce en la superficie se rompe y algunas partes de ellas son atrapadas en el vaciado, produciendo una superficie sucia y rugosa en la barra, con capas de óxido e inclusiones en el interior. Este consiste en un molde de acero de la forma de un libro, montado sobre orejas que pueden girar con una rapidez controlada fig.9. El vertido se inicia cuando el molde se encuentra en posición casi horizontal y, mientras gira el molde a la posición vertical, el metal se vierte lentamente con un mínimo de turbulencia. El objetivo básico de este principio es evitar la turbulencia durante el vertido para evitar incorporar nata y capas de óxido en la barra.

Otro equipo que se lo acondiciono fue el horno pequeño de crisol, de manera que funcionara como horno de tratamiento térmico para el recocido de las muestras, fig.10 .

2.4 ESTIMACION Y ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS COLADAS.

Se dará a conocer la composición química de cada barra de hierro fundido, y una composición estimada a base de cálculos de carga realizados previo a la

determinación en el laboratorio de porcentajes de elementos presentes en cada barra, los valores obtenidos se encuentran en las tablas I y II adjuntas.

Para estimar el porcentaje de carbono y silicio en cada muestra primeramente partiremos de un análisis químico realizado a chatarra automotriz en un proyecto anterior, obteniendo como dato que dicha composición de C y Si para la chatarra automotriz es de :

$$\% \text{ C} = 3,1 \quad \% \text{ Si} = 2,2$$

El peso de la carga inicial, en nuestro caso será 170 lb de chatarra.

Carga inicial en el crisol = 170 lbs.

Se añadirá al caldo Fe-Si al 75% de concentración y se estima que la eficiencia del proceso de dilución de ferrosilicio en el caldo es de 80%, para cada colada se extrae una cierta cantidad de metal para obtener probetas, este peso es de 10 lbs.

El porcentaje de carbono disminuirá en un valor relativamente pequeño debido al aumento en peso de la carga por la dilución de ferrosilicio y por reducción del carbono con el oxígeno debido a la temperatura y tiempo en el crisol .

TABLA 1 : ANÁLISIS DE CARGA EN EL CRISOL

MÉTODO DE DILUCION DE FERROSILICIO

# COLADA	CARGA INIC. CRISOL Lbs	COMPOS. ESTIM. EN EL CRISOL		AGREGADO Fe-Si Lbs - onz	CANTIDAD DE SI Lbs	NUEVA COMP. EN EL CRISOL		CARBONO EQUIVAL. C E
		% C	% Si			% C	% Si	
1	180	3,1	2,2					
2	170	3,07	2,2	1 5	0,788	3,07	2,66	3,96
3	160	3,04	2,66	1 4	0,751	3,04	3,13	4,09
4	150	3,01	3,13	1 3	0,713	3,01	3,605	4,21
5	140	2,97	3,61	1 2	0,675	2,97	4,09	4,33
6	130	2,94	4,09	1 1	0,638	2,94	4,58	4,47

MÉTODO DE DILUCION DE ACERO

# COLADA	CARGA INIC. CRISOL Lbs	COMPOS. ESTIM. EN EL CRISOL		AGREGADO ACERO Lbs	CANTIDAD DE ACERO %	NUEVA COMP. EN EL CRISOL		CARBONO EQUIVAL. CE
		% C	% Si			% C	% Si	
7	120	2,94	4,58	14	10,45	2,68	4,13	4,05
8	124	2,68	4,13	11	9	2,5	3,82	3,76
9	125	2,5	3,76	11	9	2,34	3,48	3,5

**TABLA II: CUADRO COMPARATIVO DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA
POR ESTIMACIÓN Y ANÁLISIS QUÍMICO.**

# COLADA	ANÁLISIS DE ESTIMACIÓN			ANÁLISIS QUÍMICO		
	% C	% Si	CE	% C	% Si	CE
1	3,1	2,2	3,83	3,1	2,32	3,87
2	3,07	2,66	3,96	3,07	2,8	4,03
3	3,04	3,13	4,09	3,04	3,24	4,12
4	3,01	3,61	4,2	3,01	3,9	4,3
5	2,97	4,09	4,33	2,97	4,22	4,38
6	2,94	4,58	4,47	2,94	5,04	4,62
7	2,67	4,13	4,05	2,67	4,67	4,23
8	2,5	3,82	3,76	2,5	4,51	4,01
9	2,39	3,48	3,5	2,39	4,26	3,81

En la dilución de acero la estimación de los porcentajes se lo realizo de una manera semejante. Hay que anotar que el acero para dilución es un acero ANDEC SAE 1040 con una composición de carbono y silicio de :

$$\% \text{ Carbono} = 0.44 \quad \% \text{ Silicio} = 0.3$$

Como datos adicionales se tiene el peso de la carga en el crisol, que se ha calculado en base al peso que se retira de cada colado de probetas. El peso de cada colada es de 10 libras aproximadamente.

Todos estos resultados se tabulan junto con los de los análisis químicos para una mayor observación de resultados.(tablas I y II) Cabe anotar que las pruebas químicas se realizaron en los laboratorios de FUNASA.

2.5 COLADO DE PROBETAS.

El colado de probetas como se menciono antes se realizo en un molde metálico inclinable, para procedimiento de lingoteado. En las figuras 11, 12 y 13 se tiene las fotografías de la fractura de cada una de las muestras , donde se puede notar la diferencias de cada una de ellas . La tabla III presenta datos tomados en la fractura y temperatura del molde en el momento de colar.

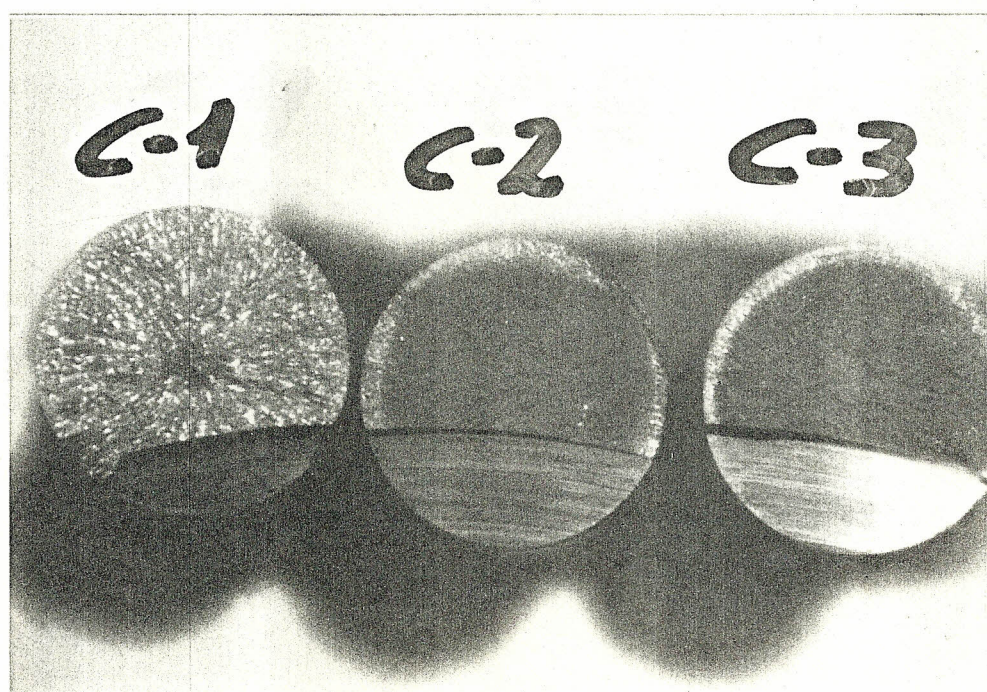


Fig. 11: Fotografía de la fractura de las probetas C-1, C-2 y C-3 con CE de 3.8, 4.03 y 4.12 en dilución de Fe-Si respectivamente.

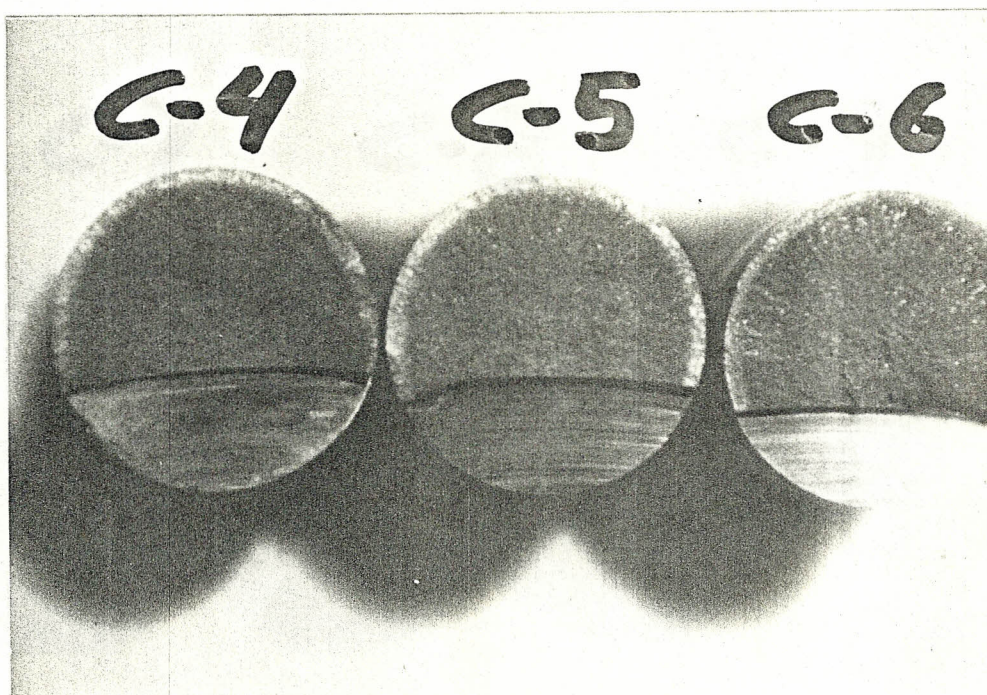


Fig. 12: Fotografía de la fractura de las probetas C-4, C-5 y C-6 con CE de 4.3, 4.38 y 4.62 en dilución de Fe-Si respectivamente.

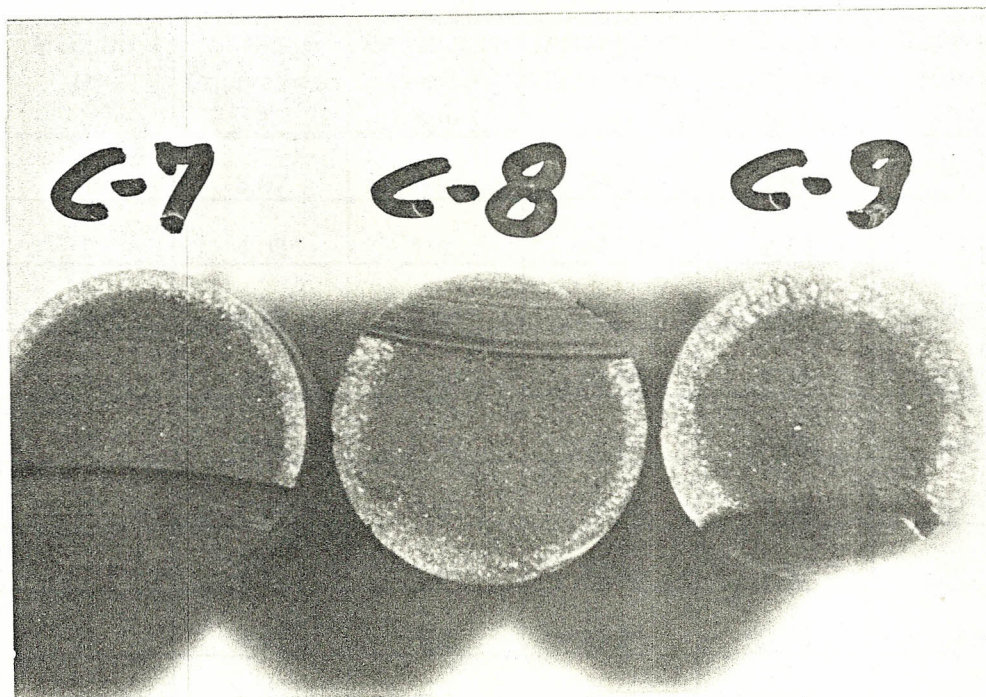


Fig. 13: Fotografía de la fractura de las probetas C7, C-8 y C-9 con CE de 4.23, 4.01 y 3.81 en dilución de Acero respectivamente.

Tabla III : Datos tomados de las probetas de hierro fundido y molde metálico.

Muestra N°	Carbono Equivalente CE	Espesor de corona mm	Diámetro de la muestra mm	Contracción de probeta mm	Temp. del molde °C
1	3,87	todo blanco	28,9	2,85	70
2	4,03	1,85	29,03	2,72	180
3	4,12	1,43	29,21	2,54	257
4	4,3	1,163	29,38	2,35	352
5	4,38	0,88	29,37	2,38	347
6	4,62	0,68	29,48	2,32	375
7	4,23	1,64	29,38	2,37	335
8	4,01	2,6	29,26	2,49	296
9	3,81	3,2	29,2	2,55	244

Este proceso se lo utiliza para evitar que se rompa la capa de escoria de la superficie, y parte de ella se incruste en el lingote . Tambien se evita la turbulencia y el peligro de ingresar natas y óxidos en las probetas.

Una de las mayores ventajas de este colado, es sin duda el acabado superficial, que es de excelente calidad dependiendo del acabado del molde. Se reduce ampliamente el maquinado, y en algunos casos elimina esta etapa.

Para obtener un excelente resultado del molde, a este se da un tratamiento de pre-colado, calentando el molde para eliminar la humedad en el óxido de la superficie , y disminuir la velocidad de enfriamiento para que no exista peligro de fisuras ni excesos de tensiones internas.

2.6 RECOCIDO DE PROBETAS

Para el proceso de recocido se construyo un horno, sencillo y muy practico figura 10, donde la temperatura de recocido se controla por medio de una termocupla, introducida por la parte superior de la tapa . La temperatura se regula por medio de válvulas de paso de gas y de escotilla del soplador de aire.

Para someter las probetas a recocido, primeramente se dividió cada muestra en cinco partes para obtener distintos tiempos de recocido para una muestra.

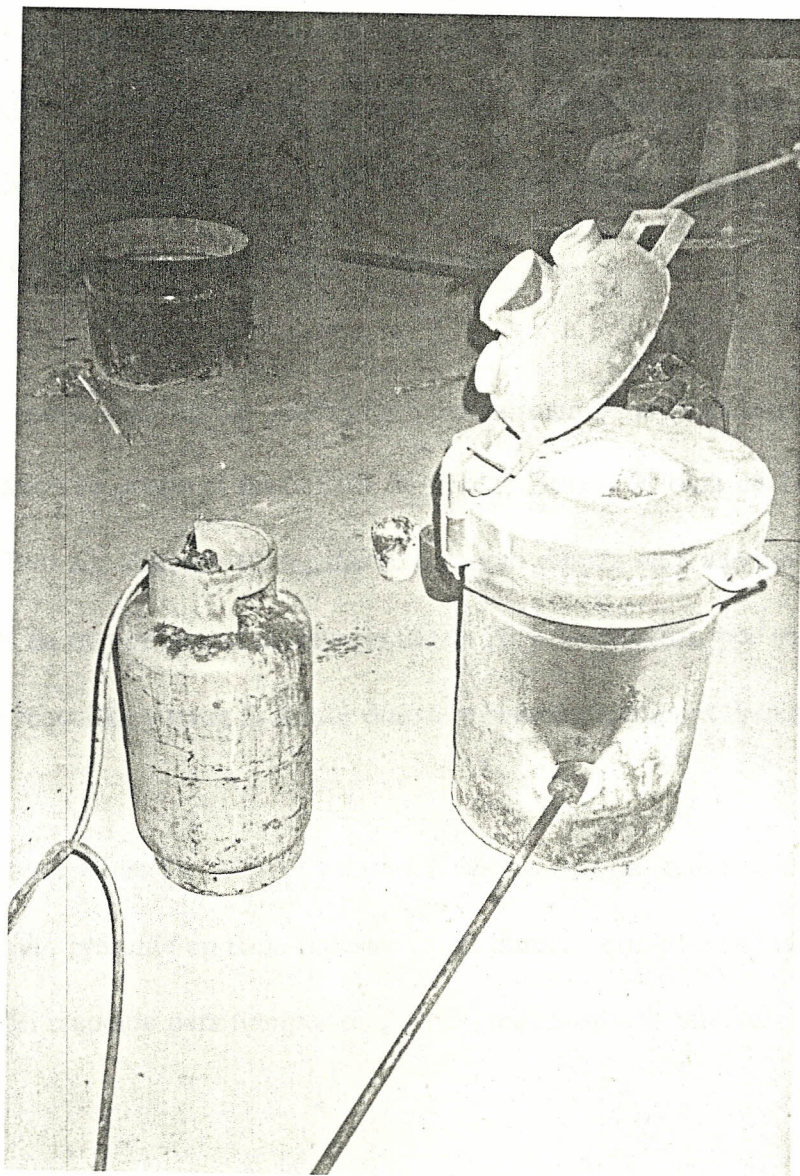


Fig. 10: Horno de tratamiento térmico.

Una vez colocada las probetas en el horno y alcanzado la temperatura de 950°C en el horno se procedió a la toma de tiempo, obteniendo recocidos de 20,30,40,50 minutos para una muestra. El enfriamiento se realizo al aire, bajando la temperatura a unos 800°C y luego enfriamos en agua, para luego proceder a los ensayos de dureza y metalografía.

Para los ensayos de dureza realizados posteriormente al recocido y análisis metalográfico se ocupo el durómetro de dureza Brinell de bola de 1/4" y una carga de 300 Kg. durante 10 segundos. Se tomo dureza para algunos tiempos, siendo los de mayor interés de estudio los de 20 y 30 minutos, por ser tiempos cortos de recocido, y tener la mayor dureza y resistencia que los demás.

Los cuadros (tablas IV, V y VI) muestra valores de una estimación ligera de la cementita presente en cada muestra , y la dureza que poseen las muestras despues del racocido para tiempos de 20 y 30 min. respectivamente.

TABLA IV: CONTROL DE RECOCIDO DELAS MUESTRAS

Muestra N	Carbono Equivalente CE	Tiempo de Recocido min.	% Cementita	
			Radio medio	Corona
1	3.87	0	30	40
		20	30	40
		30	25	30
		40	20	30
2	4.03	0	15	30
		20	10	30
		30	5	20
		40	-	5
		65	-	5
3	4.12	0	15	30
		20	5	20
		30	-	5
		40	-	3
		65	-	-
4	4.30	0	10	30
		20	3	20
		30	-	5
		40	-	-
		60	-	-
5	4.38	0	5	20
		20	-	5
		30	-	-
		40	-	-
		65	-	-
6	4.62	0	2	15
		20	-	1
		30	-	-
		50	-	-
		65	-	-
7	4.23	0	5	15
		30	-	-
		40	-	-
		50	-	-
8	4.01	0	10	20
		30	3	10
		45	5	10
		50	-	5
9	3.81	0	10	20
		30	5	15
		40	5	10
		55	1	5

TABLA V: Datos de recocido para 20 min.

# COLADA	CE	% Cementita		Dureza
		R. medio	Corona	Brinell (HB)
1	3,87	30	40	-
2	4,03	10	30	233
3	4,12	5	20	208
4	4,3	3	20	205
5	4,38	-	5	197
6	4,62	-	1	197
7	4,23	-	5	207
8	4,01	5	15	235
9	3,81	10	15	237

TABLA VI: Datos del recocido para 30 min.

# COLADA	CE	% Cementita		Dureza
		R. medio	Corona	Brinell (HB)
1	3,87	25	30	-
2	4,03	5	20	212
3	4,12	-	5	197
4	4,3	-	5	190
5	4,38	-	-	190
6	4,62	-	-	190
7	4,23	-	-	212
8	4,01	3	10	220
9	3,81	5	10	229

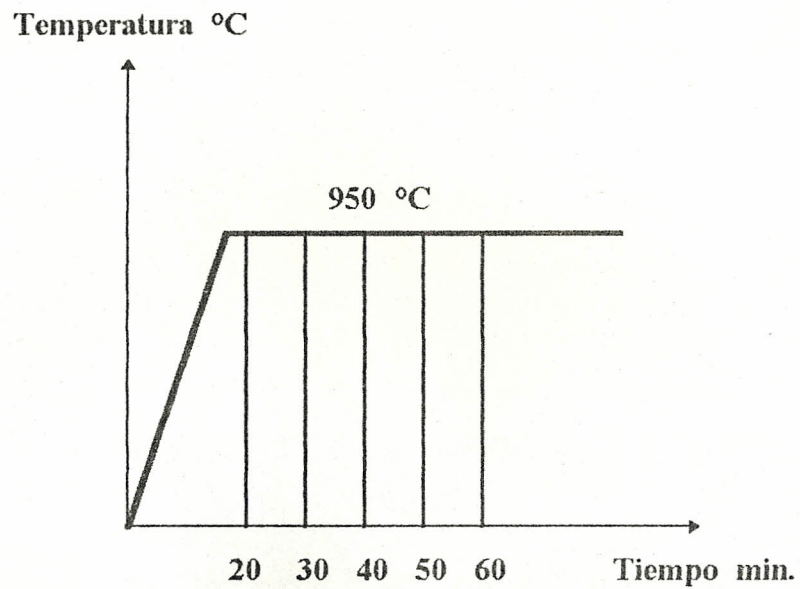
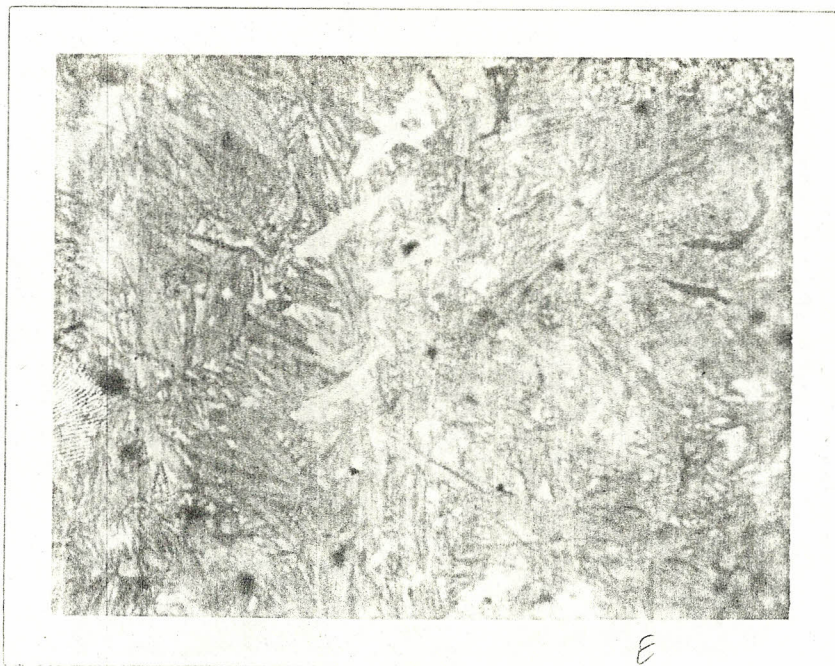


FIGURA 14: Régimen de recocido de las muestras.

2.7 METALOGRAFÍA DE LAS PROBETAS

El análisis metalográfico de la estructura del hierro en estudio respaldará a los resultados que se obtendrán en los ensayos de las probetas. El objetivo es identificar claramente su estructura y los cambios producidos durante el proceso de recocido de las muestras.

A continuación se presenta la micrografía tomada a las probetas con diferentes CE y distintos tiempos de recocido, Figura 19 a), b) y c).



*Fig. 15: Colada 2: Inicio de maleabilización en el hierro blanco, se nota las fases de martensita, Perlita y grafito.
CE = 4.03 Picral 4% 100X.*

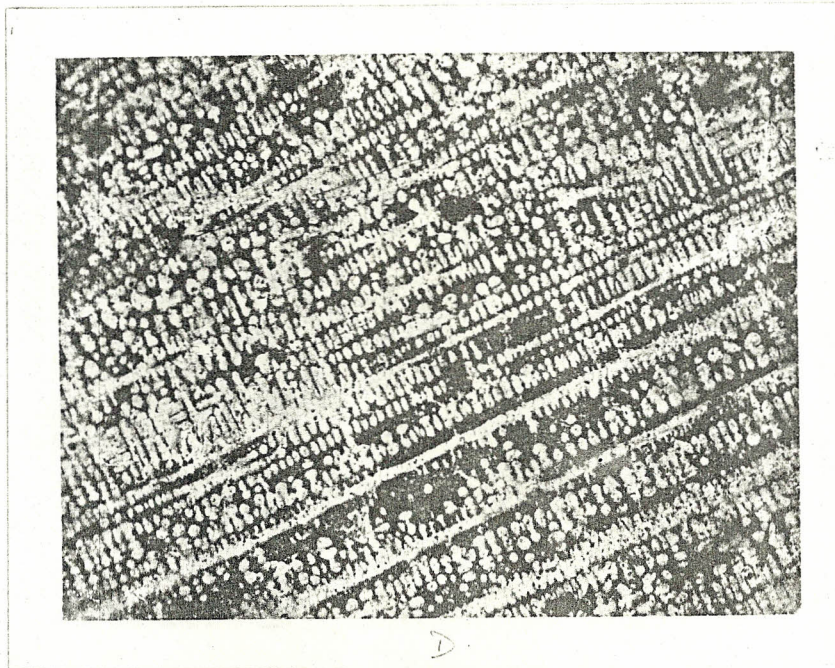


Fig. 16: Colada 3: Microestructura del núcleo que caracteriza a un hierro colado en coquilla. CE = 4.12. Sin maleabilización Estructura dendrítica columnar, grafito tipo E de grano fino. Picral 4% - 75X.

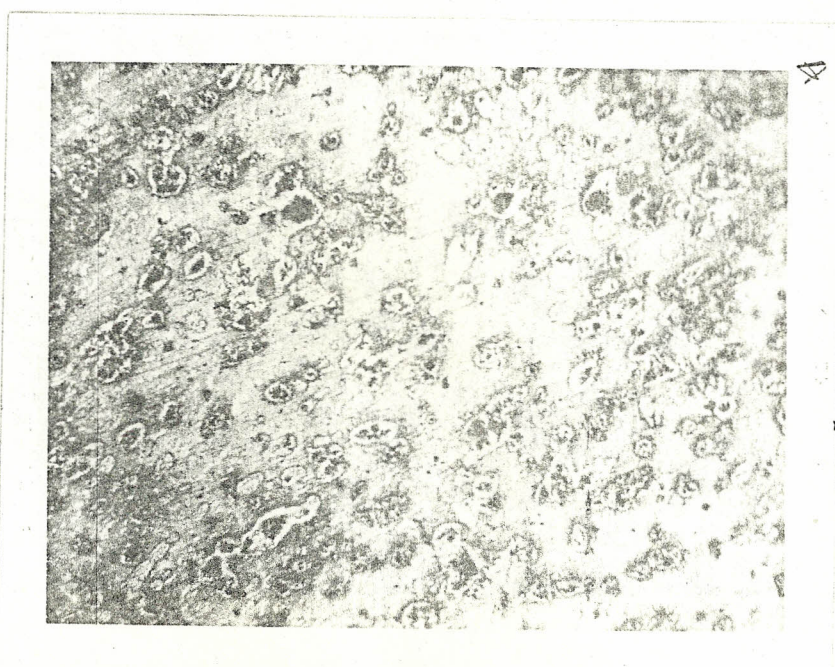


Fig. 17: Colada 3: Maleabilizada a 950°C por 20 min. Se nota la presencia de matriz martensita, grafito rodea de ferrita y lagunas de cementita. CE= 4.12 - Picral 4% - 200X.

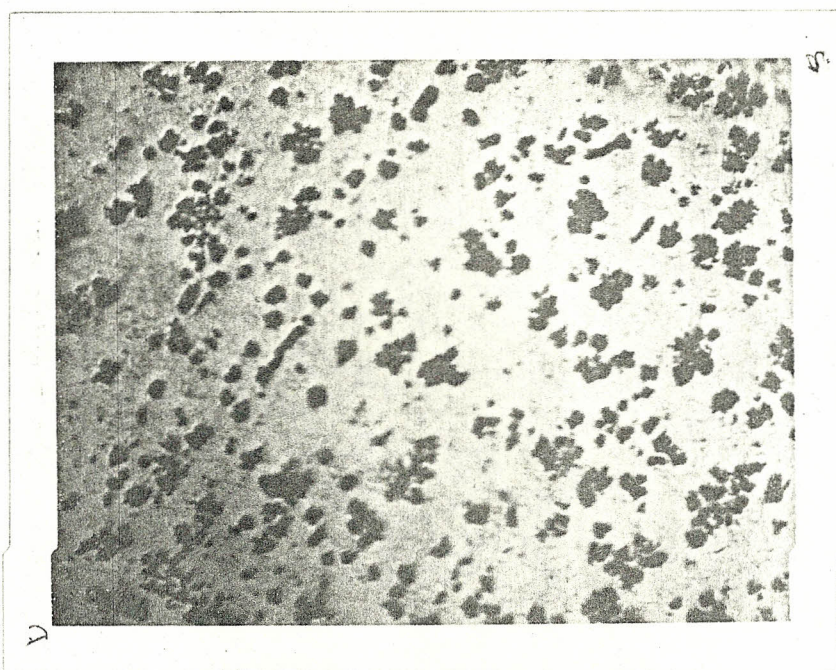


Fig. 18: Colada 3: Maleabilización del h. blanco a 950°C por 30 min. Se nota la presencia masiva de grafito en matriz ferrita o sea, descomposición completa de la cementita y residuos de perlita iniciales.
CE= 4.12 Picral 4% - 200X.

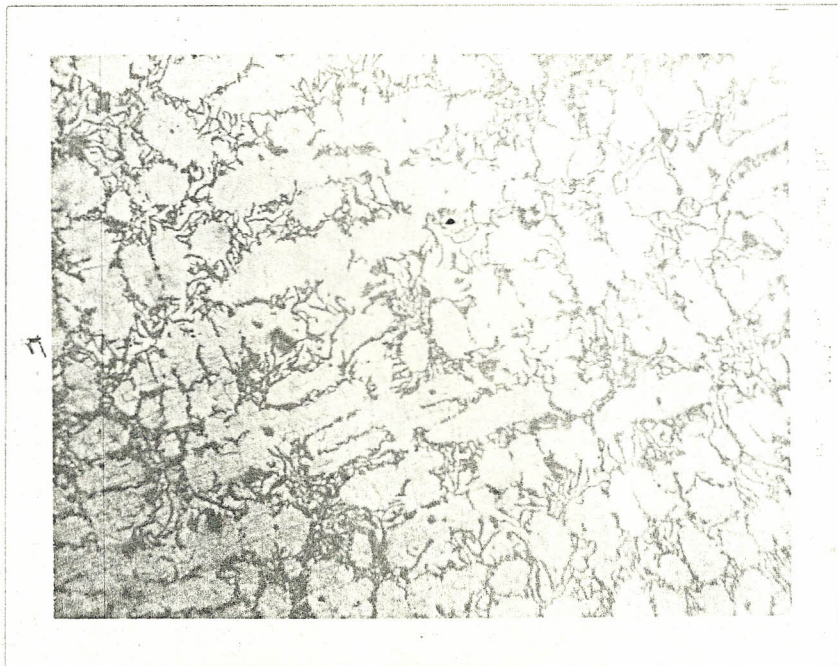


Fig. 19: a) Colada 2 CE = 4.03, Picral 4% - 200X.

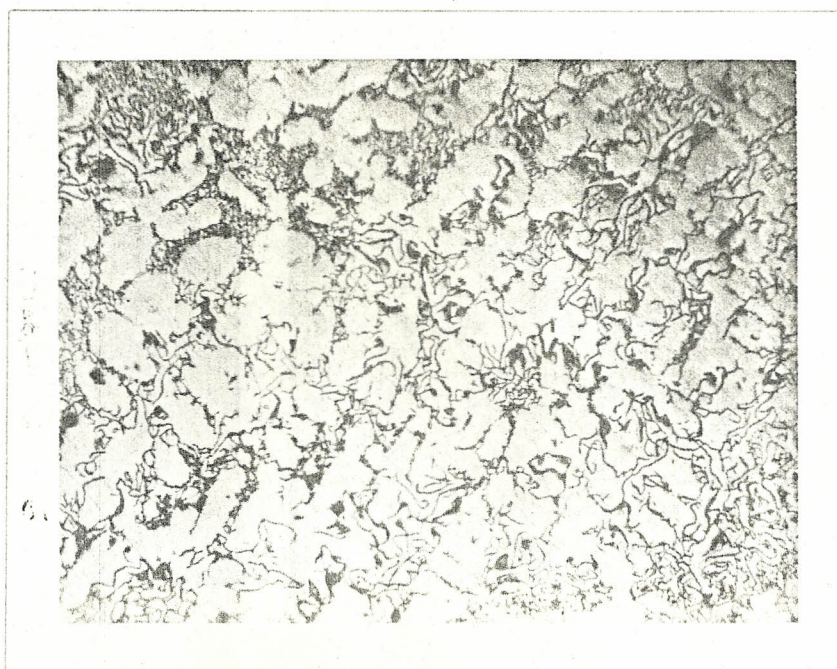


Fig. 19: b) Colada 4 CE = 4.3, Picral 4% - 200X.

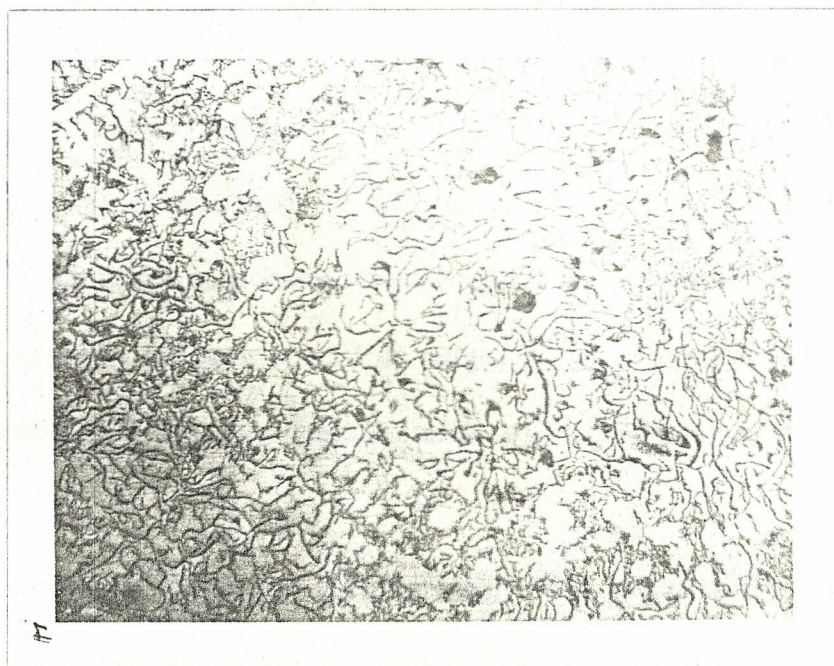


Fig.19: c) Colada 6 CE=4.62 Picral 4% 200X

Fig. 19: Coladas 2, 4 y 6 recocidas a 950°C en un ciclo de 60, 30 y 20 min respectivamente. Se nota la diferencia de solidificación con la influencia del contenido de CE a través del aumento de celdas eutécticas a mayor contenido de CE. La microestructura corresponde al centro de la probeta y es de grafito y ferrita.

CAPITULO III

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 ANÁLISIS QUÍMICO

La composición química en este experimento se ha estimado mediante cálculos de carga (chatarra) y adición de ferrosilicio al caldo, el valor de concentración de silicio y la estimación de la eficiencia del proceso de dilución se lo ha obtenido por dato y experiencia respectivamente. Los resultados aquí tabulados corresponden a un buen control de carga y por esta razón hay una gran aproximación de los valores reales o analizados en el laboratorio (tablas I Y II).

Los valores de CE obtenidos por cálculos de carga están cerca de la realidad, las curvas de la figura 20 acreditan este hecho por lo que el método representa valides para la determinación de los porcentajes de elementos aleantes en la fundición .

Los resultados dados por el Instituto de Química de la ESPOL no concordaron con los calculados, lo que se opto por tener una segunda opción con los laboratorios de la empresa FUNASA. La determinación del carbono también

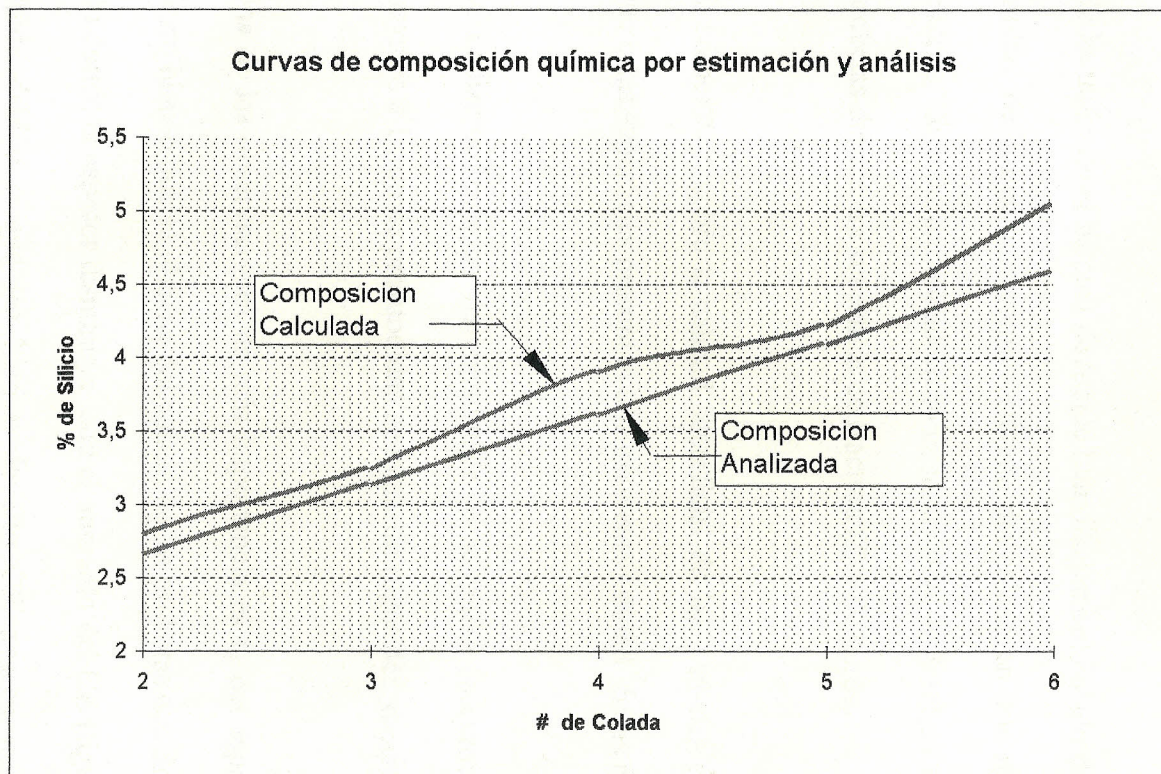


FIGURA 20

hubiera sido de interés en la investigación pero debido a motivos de trabajo en dicha empresa no se pudo realizar.

3.2 COLADO DE LAS MUESTRAS

Se ha utilizado el sistema de molde Durville para el colado de las probetas en el molde de la figura 9, como resultado del colado en este molde se obtuvo un material libre de porosidad en toda su sección, la fractura de cada una de las probetas demuestra superficie de fractura libre de poros:

El comentario sobre la calidad superficial de las probetas es muy positivo ya que estas superficies presentan una excelente calidad de las probetas.

Se realizaron ensayos de maquinado y se pudo comprobar que cortes no mayores a 1 mm de profundidad se lograron rugosidad superficial muy fina.

Una de las observaciones de más importancia es la del espesor de corona de hierro blanco que se obtiene del colado de las probetas con diferente CE (figura 11) donde el espesor disminuye con el aumento del CE (figura 21) de manera rápida debido a que los hierros de alto CE poseen mayores centros de nucleación lo que favorece a la formación de grafito y perlita, que son

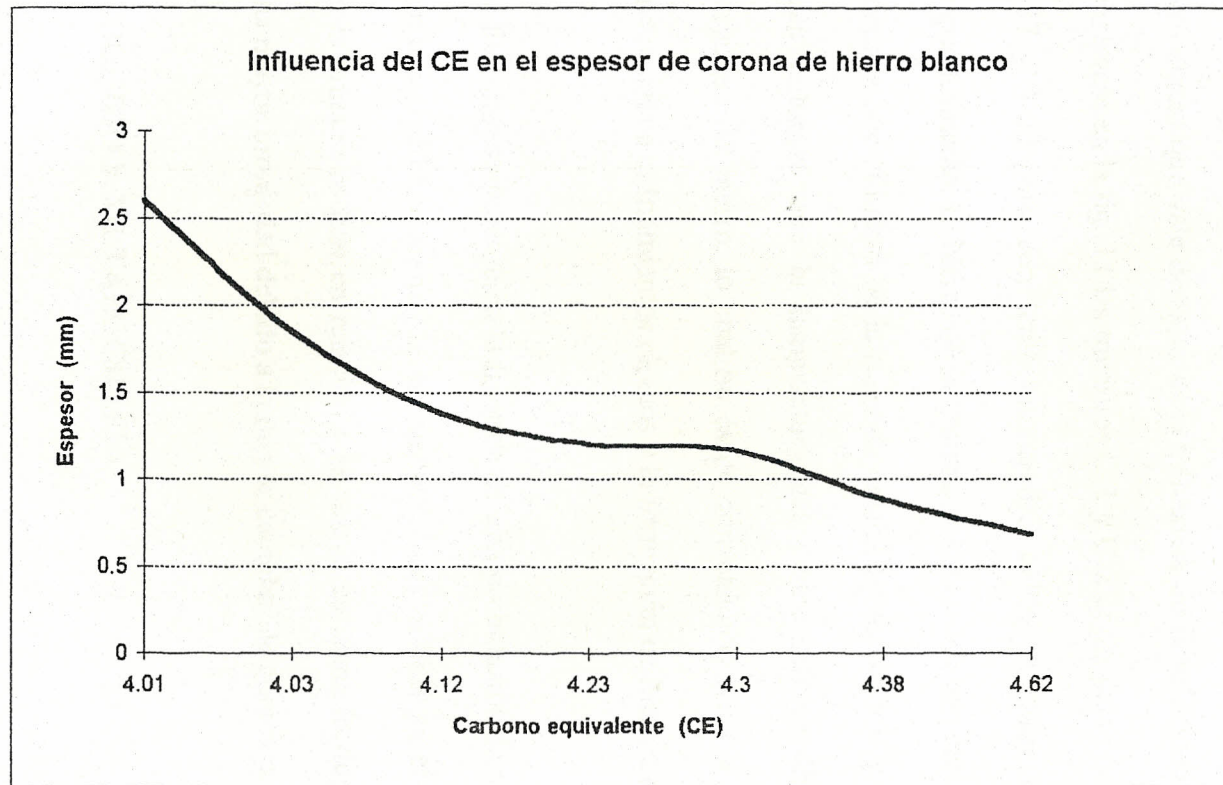


FIGURA 21

elementos característicos del hierro gris, y también disminuye la tendencia al temple (la aparición de hierro blanco).

Otro efecto que vale destacar es la influencia de la velocidad de enfriamiento. Obsérvese en la fig. 11 las muestras C-1 y C-2 con valores de CE cercanos de 3.87 y 4.03 pero con temperaturas del molde al colar de 70° y 180°C respectivamente. El hierro de la primera colada es de una sección toda blanca, mientras que el hierro de la segunda colada presenta un núcleo gris, se puede decir entonces que la temperatura del molde influye directamente en la estructura del hierro, lo cual no es de conveniencia tener el molde muy frío, favorecería a enfriamientos rápidos y la formación de hierros blancos.

Se ha comparado también la fractura de una probeta colada en molde metálico con una colada en arena, la diferencia es muy notoria en el tamaño de grano en la primera es fino en relación a la colada en arena lo que indica que tiene una mayor propiedad debido a la mayor cantidad de granos por volumen.

3.3 RECOCIDO Y METALOGRAFÍA

El proceso de recocido es una de las partes más importantes de este proyecto, mediante este proceso se eliminan los carburos. El estudio trata de obtener tiempos de recocido donde la cementita se rompe completamente dando lugar a

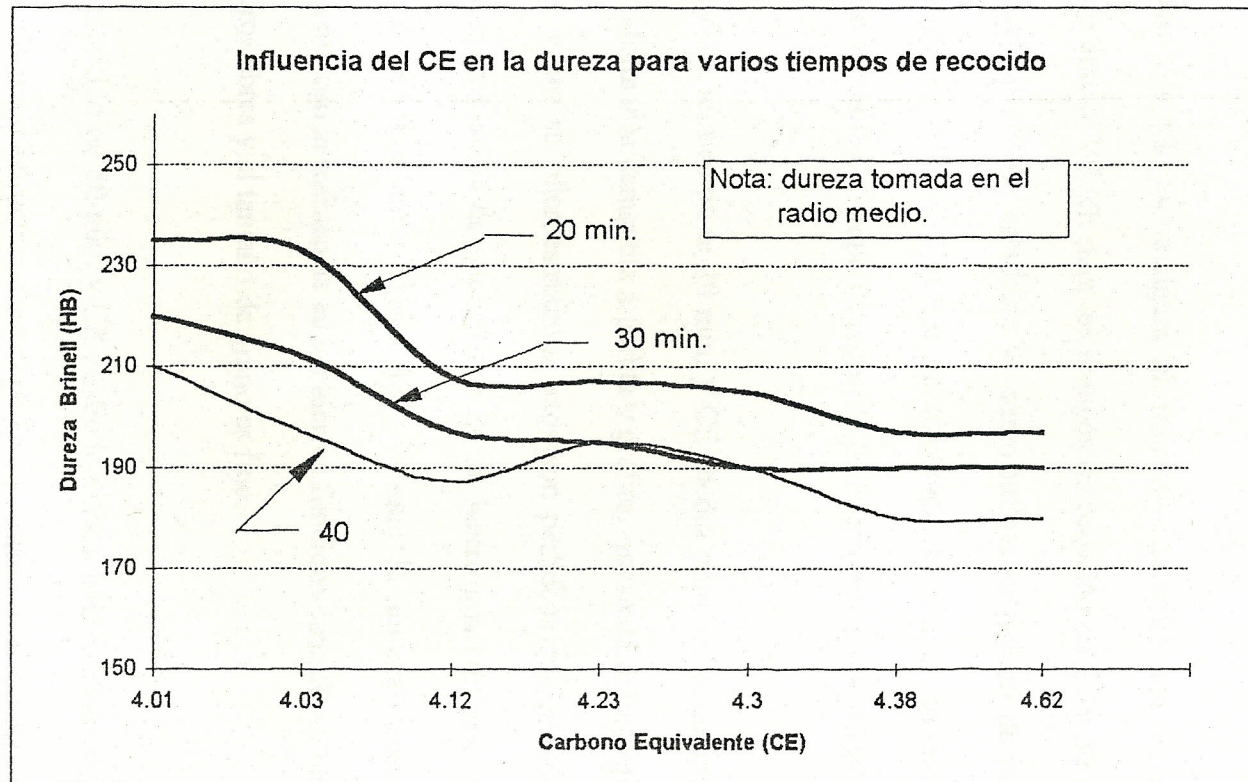


FIGURA 22

perlita y grafito que disminuyen la fragilidad y aumentan la maquinabilidad al hierro.

Las tablas V y VI con su figura 22 respectivo muestra una comparación de curvas de dureza VS CE para los tiempos de recocido de 20 y 30 minutos. Se puede dar un criterio confiable de como influye el tiempo de recocido a la temperatura de 950°C, el rango de diferencia de dureza es muy marcado, conforme aumente el tiempo de recocido la dureza disminuye a valores bajos.

El recocido a un tiempo de 20 min. y CE medio presenta el tiempo apropiado para transformar la cementita a perlita y grafito, presenta durezas promedio de 230 HB, y por su microestructura estos son perlíticos con grano fino en su fractura, lo que indica de que se trata de un hierro gris con una resistencia al rededor de 35 Kg/mm² (figura 13), ya que la dureza esta relacionada directamente con la resistencia en los hierros fundidos cuando no hay presencia de carburos libres y el tamaño de grano es fino.

Para un recocido de 30 min. y CE medio la dureza baja a un promedio de 190 HB, con una microestructura ferrita- perlita y grafito, lo que indica que, si bien se pierde en propiedades su maquinabilidad mejora debido a ferrita presente. Un aumento del CE a este tiempo se tendrá una estructura completamente ferrítica lo que presenta baja dureza y máxima maquinabilidad.

De la misma manera que en la fig. 22, la resistencia del hierro disminuye con el aumento del CE y con el tiempo de recocido, lo que no es recomendable subir demasiado el carbono equivalente .

Los ensayos metalográficos son en realidad los que permiten dar un criterio más fiable de los resultados obtenidos en la investigación. El objetivo es dejar claramente definido el tipo de microestructura que caracteriza estos hierros.

La elaboración del reactivo de ataque químico que muestre claramente la estructura del metal es de mucha importancia para los resultados. Para nuestro caso el reactivo es picral el cual se fue probando la concentración hasta 4% en alcohol etílico en donde la probeta quedo atacada completamente.

La metalografía de los hierros colados en molde metálico están identificados por una estructura dendritica como efecto de el enfriamiento rápido producidos por el molde Fig. 16 , el área cercana a las paredes del molde se caracteriza por su estructura cementita y perlita (hierro blanco) fig.15, producida por el subenfriamiento en la solidificación.

Las fig. 17 y 18 muestran una secuencia del proceso de maleabilizacion en que se observa claramente que para un valor de CE de 4.2 en 30 min. de recocido a 950°C el hierro es completamente maleable lo que indica que la velocidad de

descomposición de la cementita y perlita a esta temperatura es muy elevada, lo que brinda la ventaja de que el tiempo de maleabilización sea corto, aunque con el correspondiente sacrificio en propiedades mecánicas más bajas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. El estudio de la maleabilización de la fundición de hierro gris con un contenido de carbono de 2.5% y un contenido de silicio de 0.5% en un horno de inducción a 1000°C, muestra que el tiempo de maleabilización es de 15 minutos para una muestra de 100 gramos, y de 30 minutos para una muestra de 200 gramos. El tiempo de maleabilización es de 45 minutos para una muestra de 300 gramos, y de 60 minutos para una muestra de 400 gramos.

2. El estudio de la maleabilización de la fundición de hierro gris con un contenido de carbono de 2.5% y un contenido de silicio de 0.5% en un horno de inducción a 1000°C, muestra que el tiempo de maleabilización es de 15 minutos para una muestra de 100 gramos, y de 30 minutos para una muestra de 200 gramos.

3. El estudio de la maleabilización de la fundición de hierro gris con un contenido de carbono de 2.5% y un contenido de silicio de 0.5% en un horno de inducción a 1000°C, muestra que el tiempo de maleabilización es de 45 minutos para una muestra de 300 gramos, y de 60 minutos para una muestra de 400 gramos.

4. El estudio de la maleabilización de la fundición de hierro gris con un contenido de carbono de 2.5% y un contenido de silicio de 0.5% en un horno de inducción a 1000°C, muestra que el tiempo de maleabilización es de 15 minutos para una muestra de 100 gramos, y de 30 minutos para una muestra de 200 gramos.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Se han propuesto varias composiciones químicas para analizar los parámetros que intervienen en la producción de hierro gris en molde metálico. en especial la presencia de carburos de hierro en la microestructura y que debe eliminarse conforme se elimina la corona exterior blanca y disminuye la dureza de la sección transversal de las probetas.

Las conclusiones que se sacaron de la discusión de resultados son las siguientes:

- 1.- El objetivo experimental se cumplió a cabalidad al encontrar parámetros del proceso de fabricación de hierro gris con propiedades determinadas por una microestructura compuesta por perlita y grafito.
- 2.- Se demuestra que es posible fabricar piezas de hierro gris en molde metálico con propiedades de diseño, con la ventaja de contar con un tamaño de grano fino.

3.- En nuestros experimentos se ha encontrado como factor dominante de los demás parámetros al CE , en el que hemos variado el contenido de silicio. La presencia de carburos en el interior de la corona aumenta con CE bajos, en cambio el tiempo de recocido disminuye con CE altos.

4.- La dureza disminuye con la eliminación de la cementita libre en el radio medio, aunque esto no signifique que se disminuyan las propiedades, ya que la cementita libre en la microestructura aporta con el aumento de dureza , más no con la resistencia mecánica.

RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que se derivan del siguiente trabajo son las siguientes:

1.- Seguir en el estudio de la temática por cuanto pasamos a la producción de hierros de alta resistencia mecánica, sin usar equipos de alta tecnología o el uso de elementos de aleación de alto costo.

2.- Mejorar las características de operación de los hornos de crisol, que como aquí se mostró son capaces de producir materiales de alta calidad, en cambio el cubilote no posee versatilidad para pequeñas producciones .

3.-Divulgar esta tecnología en beneficio de las fundiciones y la ingeniería nacional, ya que se puede producir productos de alta calidad, determinados por propiedades ingenieriles normalizadas con las que se pueden satisfacer mercados de fabricación de partes que antes no se han manufacturado.

ANEXOS

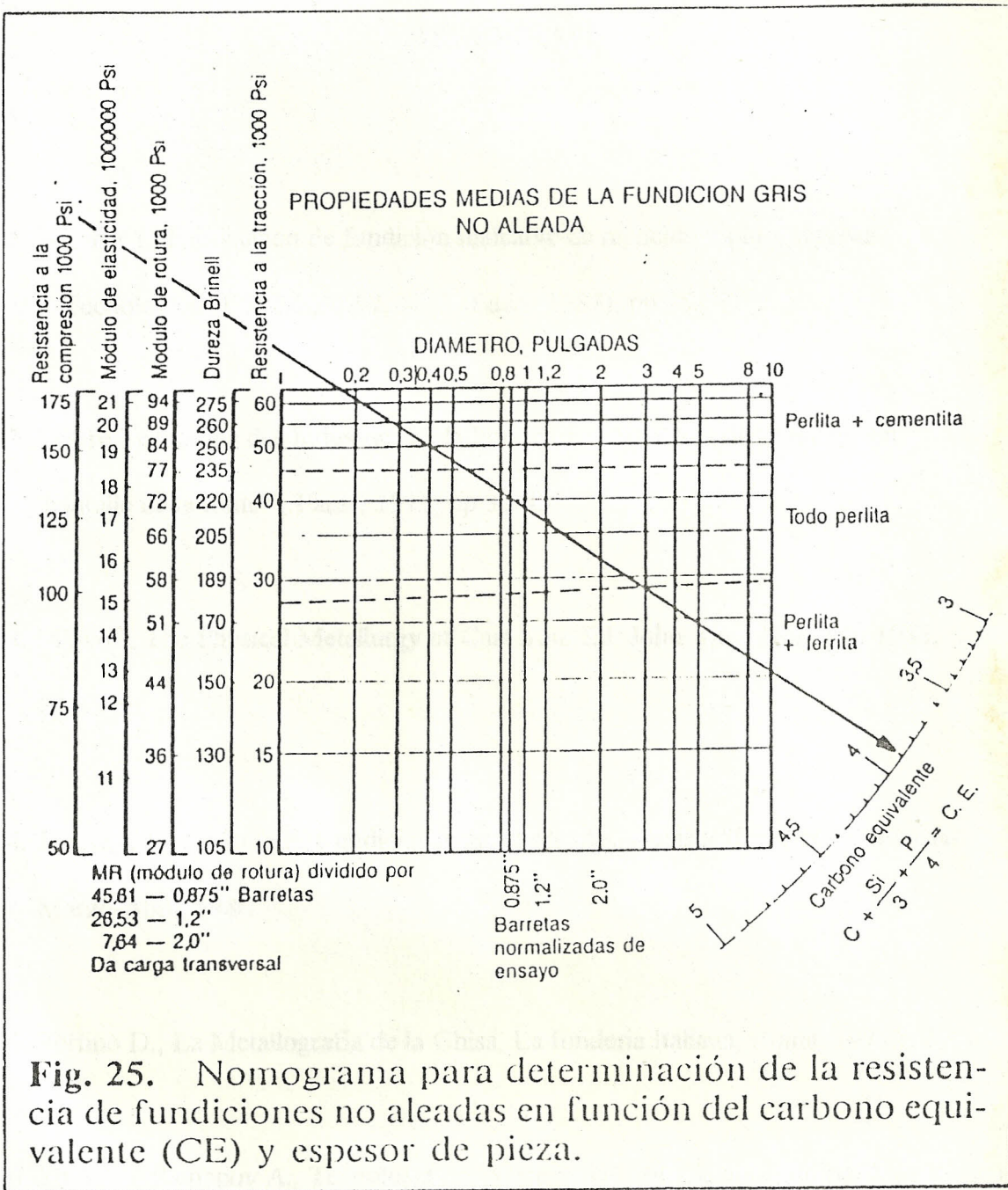


Fig. 25. Nomograma para determinación de la resistencia de fundiciones no aleadas en función del carbono equivalente (CE) y espesor de pieza.

BIBLIOGRAFIA

1. Wiesner I., Fabricación de fundición maleable de recocido rápido, Revista "Tecnológica" ESPOL, Vol 7, N° 1 (Enero 1987), pp 25-37.
2. Centre Technique des Industries de la Fonderie, "État actuel du moulage en coquille de la fonte", Paris, 1971, pp 32-43.
3. Minkof. The Physical Metallurgy of Cast Iron, Ed. John wile, Norwich, 1983, 29-37 pp.
4. Janowak J-Gundlach R, Fundiciones grises aleadas, Revista "Fundición", España, Marzo-Abril, 1986
5. Fortino D., La Metallografía de la Ghisa, La fonderia Italiana, Roma, 1971,p 29.
6. Titov D.- Stepanov A., Tecnología del proceso de la fundición, Editorial Mir, Moscú 1981, 349-355 pp

7. Sustek Alois, Algunas experiencias sobre la producción de piezas de hierro fundido en moldes metálicos, Revista "fundición", España, 1971
8. Capello E., Tecnología de la fundición, De. Gustavo Gili, Barcelona, 1974
9. American Society for Metals, Metals Handbook, Volumen 1, Properties and Selection of Iron and Steel, 1986, 3 pp.
10. American Society for Metals, Metals Handbook, Volumen 15, Casting, 1986, 629pp.
11. Cisneros C., Control rápido de las características de las fundiciones grises, ESPOL, Guayaquil, 1981.
12. Avner., Introducción a la Metalurgia Física, Mc. Graw-Hill, México, 1975