

4A



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**"ELIMINACION DE MOLIBDENO EN HIERRO
GRIS"**

TESIS MANCOMUNADA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO METALURGICO

P R E S E N T A N :

DAVID RAZHIEL CERES RUIZ

JOSE JUAN ALVAREZ SERES

MEXICO, D. F.

1994

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO SEGUN EL TEMA

Presidente : IQM María Eugenia Noguez Amaya *Ma Eugenia Noguez Amaya*

Vocal : IQM Eusebio Cándido Atlatenco Tiapanco

Secretario : IQM José Alejandro García Hinojosa

1er Suplente : IQM Gerardo Aramburo Pérez

2do Suplente : IQM Sergio García Galan

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA
ARBOMEX S.A. C.V. CELAYA, GUANAJUATO

Asesor del tema :

[Signature]
M.C. Alejandro García Hinojosa

Supervisor Técnico :

[Signature]
Ing. Eusebio Cándido Atlatenco T.

Sustentantes :

[Signature]
David Reñier Ceres Ruiz

[Signature]
Jose Juan Alvarez Seres



EXAMENES PROFESIONALES
P.A. DE QUIMICA

A mis papas

Dr. David Ceres

Generalmente no comprendemos el afan y el sacrificio que realizan los padres para sacar a los hijos adelante pero no necesito tener 40 años para saber que tuviste razon es por eso que te agradezco infinitamente el haberme permitido ser lo que ahora soy.

Dra. Cristina Lozano

Recordando ahora todas las veces que estuviste a mi lado encaminandome de alguna u otra manera hacia la superacion y demostrandome con hechos de que pese a los problemas las metas se pueden lograr, te admiro por el ejemplo que me diste y tambien te agradezco haberme ayudado a lograr lo que tanto queria.

LOS QUIERO

A mis hermanos:

Jacobo C.

Gabriel C.

Cesar C.

Abraham C.

¡HECHENLE GANAS!

A todos mis maestros que sin ningun
interes participaron en mi formacion y en
especial al los ingenieros:

Candido Atlatenco T.

Alejandro Hinojosa

Ma. Eugenia Noguez

quienes por medio de su supervision se
logro finalizar este trabajo.

GRACIAS

A mis compañeros y amigos:

Erick Oseguera

Alejandro Sobrevilla

Alejandro Zuñiga

Adrian Amaro

etc. etc. etc. etc.

A mi mejor Amiga:

Rosa Icela Ramirez V.

Gracias por tu ayuda y comprension

*Universidad Nacional Autónoma de México
especialmente a la Facultad de química y
al departamento de Metalurgia.*

*Gracias por hacerme sentir orgulloso y
por proporcionarme los medios durante
todo este tiempo.*

AL SIEMPRE APOYO
Y EMPUJE PERMANENTE,
MORAL, INVALUABLE,
UNICO : MAMA, PAPA.

A MI FAMILIA :

ROSALINO

DAVID ('GRACIAS MANITO')

ISMAEL

RAQUEL

GRACIELA

SOFIA

ALETHIA

DAVID

CRISTINA

A MIS MAESTROS DE
HOY Y SIEMPRE .

A MI ESCUELA :

UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTONOMA DE
MEXICO .

A TODOS QUIENES
CONTRIBUYERON QUE
LOGRARA TERMINAR
MIS ESTUDIOS UNIVERSITARIOS.

¡ G R A C I A S !

INDICE

| | | |
|--------------|--|-----|
| Capitulo 1.- | Introducción | 1-2 |
| Capitulo 2.- | Antecedentes | 3-5 |
| Capitulo 3.- | Fundamentos teóricos. | 6 |
| 3.3.1 | Propiedades mecánicas de los hierros grises. | 7 |
| 3.3.2 | Dureza. | 7 |
| 3.3.3 | Propiedades tensiles. | 7 |
| 3.4 | Propiedades mecánicas del hierro gris. | 8 |
| 3.4.1 | Maquinabilidad. | 8 |
| 3.4.2 | Flexión. | 9 |
| 3.4.3 | Antifriccionante. | 9 |
| 3.5 | Determinación de la resistencia a la tensión. | 10 |
| 3.6 | Factores que afectan a la resistencia. | 15 |
| 3.6.1 | Composición base. | 15 |
| 3.6.2 | Adiciones de aleantes. | 17 |
| 3.6.3 | Inoculación. | 19 |
| 3.7 | Estructura de la solidificación. | 20 |
| 3.8 | Secuencia de la solidificación. | 21 |
| 3.9 | Influencia de los elementos aleantes en el enfriamiento. | 22 |

INDICE

| | | |
|--------------|-----------------------------------|-------|
| Capítulo 4.- | Diseño experimental | 27 |
| 4.1 | Materiales de carga | 28 |
| 4.2 | Equipo, Maquinaria, y Capacidades | 29 |
| 4.3 | Parámetros a variar | 34 |
| 4.4 | Resultados obtenidos | 35 |
| Capítulo 5 | Análisis de resultados | 45 |
| Capítulo 6 | Conclusiones | 48 |
| Capítulo 7 | Apéndices | 49-71 |
| Capítulo 8 | Bibliografía | 72 |

CAPITULO I INTRODUCCION

Tomando en cuenta las ventajas técnicas y económicas que presenta un hierro gris y sobre todo por el reto de la industria de la fundición de obtener cada día productos con un menor costo y mejorando el nivel de calidad para estar en competitividad internacional, surge la necesidad de contar con un estudio de costo beneficio basado en un cambio de composición química propuesto al cliente de la compañía donde se realizó dicho estudio, este especificó que para la fabricación de hierro gris, la adición de Molibdeno es opcional siempre y cuando las siguientes propiedades permanezcan dentro de la especificación que se muestra (*):

- Dureza Brinell : 228 - 285 (10/300/10)
- Resistencia a la Tensión : 40 ksi
- Microestructura :
 - Tamaño de Grafito : 5 a 8
 - Tipo de Grafito : VII - A : 80 - 100 %
VII - C : 0 - 15 %
VII - D, E : 0 - 10 %
- Carburos (Fe₃C) : 3 - 15 %

(*) : Norma particular del Cliente

Por tanto , el *objeto principal* del presente trabajo es tratar de fabricar el hierro gris sin adicionar Molibdeno compensándolo con el incremento o decremento de los otros aleantes , con el fin de mantener las propiedades anteriormente indicadas , para lo cual , se corrieron pruebas dónde únicamente se realizaron variaciones en la composición química ya que la arena de moldeo , los moldes , el tiempo de desmoldeo , etc. , que de una u otra forma representan parte importante en el proceso de solidificación , no serían cambiados y por tanto se hizo necesario el conocimiento de los factores que contribuyen a la obtención de dichas propiedades , es por eso que , mediante la revisión bibliográfica y la experimentación se encuentra que la influencia de cada uno de los elementos de aleación que lo constituyen , son un factor determinante en el logro de dichas propiedades mecánicas.

CAPITULO II

ANTECEDENTES

El hierro gris es uno de los productos de fundición mas antiguos y de acuerdo a la historia , la primera fundición fue hecha por los chinos en el siglo XI durante la dinastía Han- A través de los años los procesos de fabricación de éste metal fueron elementos vitales en el arte y sobre todo en la industria militar . Por los 1300 después de Cristo las fundiciones aparecieron en otra forma , es decir , comenzaron los primeros adelantos en los procesos de obtención , lo cuál hizo grandes contribuciones a la civilización.

El hierro gris pertenece a la familia de las fundiciones alcaidas y es el mas popular , con una producción anual comparativamente más alta contra todas las otras fundiciones de metales . El nombre fué derivado por las características de la fractura gris del metal el cual es debido al contenido de hojuelas de grafito . Este grafito también proveé a algunos metales otras propiedades características como es : una excelente maquinabilidad , buena resistencia al desgaste y alta absorción de vibraciones.

Los diferentes tipos de hierro gris son comúnmente designados por el número de clase el cual indica la mínima resistencia a la tensión en miles de libras por pulgada cuadrada : un hierro gris clase 30 tiene un valor mínimo de 30 ksi de resistencia a la tensión.

El análisis químico no sólo es adecuado para designar a un hierro con una propiedad mecánica en particular, porque un amplio rango en propiedades pueden ser obtenidas con un análisis dado. Sin embargo, algunas limitaciones en el análisis químico pueden ser encontradas para cuando el uso de la pieza necesite de características tales como resistencia al calor, a la corrosión u otras propiedades físicas como la resistencia eléctrica.

Aunque la resistencia a la tensión es raramente el único requerimiento, más propiedades mecánicas pueden ser necesarias para la designación de la resistencia a la tensión. Estas son sin embargo algunas propiedades que no son cubiertas por especificaciones estándar.

La selección de la clase de hierro se puede hacer obteniendo las mejores combinaciones de propiedades diseñadas para cada aplicación.

A continuación se presentan las clases y características del hierro gris según normas ASTM (A 159-70) y SAE (J431b)

| Clase | R. T. (psi) | HBN | Carga (lbs) | Flexión (plg) | Microestructura |
|-------|-------------|-----|-------------|---------------|--------------------------------|
| 20 | 20 000 | | 2 000 | 0.14 | Ferrita y grafito * |
| 30 | 30 000 | 175 | 2 200 | 0.17 | Ferrita perlita y grafito * |
| 35 | 35 000 | 185 | 2 450 | 0.20 | |
| 40 | 40 000 | 241 | 2 600 | 0.24 | Perlita y grafito controlado * |
| 50 | 50 000 | 260 | 2 850 | 0.27 | |
| 60 | 60 000 | 280 | 3 000 | 0.32 | Bainita y grafito + |

Tabla No 1

* ..obtenido de colada

+ ..obtenido de temple

Annual Book of ASTM Standards .

Standar specification for gray iron castlg.

Vol. 1 A 48-70 1983

CAPITULO III

FUNDAMENTOS TEORICOS

El obtener las propiedades mecánicas óptimas de una fundición que en nuestro caso se trata de un hierro gris, no son el resultado exclusivo de su composición química, también intervienen : el tipo de solidificación , velocidad de enfriamiento , técnicas propias de cada fundición , etc.

Las propiedades mecánicas de un hierro gris siendo las más significativas debido a que en base a éstas se clasifican son : resistencia a la tensión y punto de fluencia que son función de la forma , tamaño y distribución del grafito , también la resistencia es producto de la microestructura de la matriz y de la dureza del material . Si obtenemos grandes contenidos de grafito libre y ferrita producirá bajos resultados en la resistencia a la tensión . Hojuelas de gran tamaño reducen la resistencia . Los hierros de alta resistencia son favorecidos por adiciones de aleantes que reduzcan el espaciado interlaminar y contengan condiciones que minimicen la longitud de las hojuelas.

3.3.1 .- PROPIEDADES MECANICAS DE LOS HIERROS GRISES

Aunque la clasificación básica de los hierros grises es por la resistencia a la tensión y muchas de las características de su uso están basadas en ésta , la dureza Brinell es la propiedad más comunmente medida en estos hierros.

3.3.2 .- DUREZA

Los valores de dureza para un hierro gris no son directamente comparables con los otros metales por la influencia del grafito en su estructura . Por ejemplo, un hierro gris alto carbono puede estar lleno de martensita y tener durezas de Rockwell C de hasta 45 ; pero es extremadamente resistente y virtualmente inmaquinable .

3.3.3.- PROPIEDADES TENSILES

Propiedades tensiles tales como : resistencia a la tensión, punto de fluencia, ductilidad y modulos de elasticidad, pueden ser determinados por pruebas de tensión convencional. De éstos , solamente la resistencia a la tensión es rutinariamente determinada en un hierro gris.

El punto de fluencia no es especificado y generalmente no es determinado en pruebas de hierros grises porque este punto de fluencia no es realmente evidente.

La resistencia a la tensión y sus propiedades no son importantes en muchas aplicaciones para piezas de hierro gris. En estos casos es usualmente por ventajas económicas donde no se especifica un requerimiento de resistencia a la tensión, pero se designan otras características que son necesarias, por ejemplo : dureza , resistencia al desgaste microestructuras, etc.

3.4 .- PROPIEDADES UNICAS DEL HIERRO GRIS

En adición a las propiedades predichas , las cuales pueden ser comparadas realmente con otros metales , el hierro gris tiene características valiables que son únicas , porque el metal contiene una dispersión de hojuelas finas de grafito y éstas son :

3.4.1 .- MAQUINABILIDAD

Dentro del grupo de las fundiciones ferrosas el hierro gris presenta una ventaja comparativamente mas alta de maquinabilidad y terminacio final posterior al maquinado con respecto a las demás sobre todo de las clases 30 a 40 donde ésta última es ya considerada como de de alta resistencia.

3.5 .- DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA TENSION

La Sociedad Americana de pruebas y Materiales (ASTM) ha especificado en su parte A- 48 los tres tipos de dimensiones para barras de pruebas de tensión en hierros . Esto se ha realizado porque la resistencia y calidad de un hierro está determinado por el proceso de solidificación , y la estructura final obtenida dependerá de la velocidad de enfriamiento . Los factores que contribuyen a la resistencia incluyen :

- 1.- Un alto volumen de dentritas de austenita primaria.
- 2.- Un alto conteo de celdas eutécticas.
- 3.- Una estructura fina de grafito tipo VII -A ,
- 4.- Una matriz completamente perlítica.
- 5.- Una estructura de perlita fina.

Los primeros 3 son estabilizados durante la solidificación y los dos restantes son el resultado de la transformación en el estado sólido durante los subsecuentes enfriamientos Todos estos son directamente influenciados por la composición química , proceso de fusión y tamaño de sección de la pieza.

La siguiente tabla muestra secciones de barra de resistencia a la tracción y su relación con las piezas fundidas según ASTM A - 48.

| Tipo de barra para prueba | Sección de la pieza (mm) | Longitud de la barra fundida min max (mm) | Diámetro de la barra fundida (mm) | Diámetro de la barra maquinada (mm) |
|---------------------------|--------------------------|---|-----------------------------------|-------------------------------------|
| A | 6.35-12.70 | 125 - 152 | 22.35 | 12.70 |
| B | 12.95-25.40 | 152 - 228 | 30.48 | 19.05 |
| C | 25.40-50.80 | 177 - 254 | 50.80 | 31.75 |

TABLA No. 3 (*)

(*) .- The Properties of Gray Iron . Edited by Charles F. Walton . 1988 .

La relación entre la sección de la pieza y el diámetro apropiado de la barra de pruebas se establece en base a la relación volumen - área superficial, ya que éste es el factor primario que determina la velocidad de enfriamiento, desafortunadamente las piezas de fundición no son idénticas en su transferencia de calor por lo cual, normalmente se establece un tipo de prueba que representará el comportamiento de las piezas. Existen otros métodos para determinar la resistencia a la tracción de éstos hierros los cuales están basados en el uso de fórmulas por ejemplo, la siguiente ecuación fué desarrollada por R. Schneldewind y Mc Elwee (*1), y es comunmente usada para predecir la resistencia a la tracción en hierros grises

$$T = 10\ 000 (b - 2 \text{ C.E.}) (f1) (f2) (f3) \dots$$

donde T es la resistencia a la tracción (psi), b es una constante de acuerdo al tamaño de la sección, C.E. es el carbon equivalente dado por : $(\% C + \%Si/3 + \%P/3)$; y las f son los factores de los elementos aleantes. Estos factores pueden afectar la resistencia a la tracción de los hierros dado que cada elemento actúa en forma específica sobre alguna propiedad, es decir, la aumenta o la disminuye.

* 1.- Ref. "Composition and Properties of Gray Iron, Parts. I and II"

Transactions, American Foundrymen's Society, Volumen 58, 1950
pp. 312 - 332.

Por lo tanto , podemos notar que esta ecuación está en función de tres factores que son :

- a).- Carbono Equivalente (balance C - Si)
- b).- Tamaño de la pieza (velocidad de enfriamiento)
- c).- Elementos aleantes

Con la disminución del carbono equivalente , la tendencia al enfriamiento y contracción incrementan y la producción es reducida . Esta es probablemente la base en la que la ASTM se refiere acerca de la dificultad para producir hierros grises de alta resistencia.

Otro método más para determinar la resistencia a la tracción es haciendo uso de los nomogramas los cuales , fueron desarrollados para obtener de una manera más rápida y fácil la resistencia de dichos hierros . El problema que presentan estos nomogramas para su uso es que se limitan a hierros sin alear , razón por la cual actualmente su uso ha sido eliminado.

En la figura No. 1 se muestra un nomograma que relaciona el diámetro equivalente con el carbono equivalente para poder obtener la resistencia a la tensión en lb/in^2 y que para nuestro caso en particular donde tenemos una pieza con un diámetro equivalente de 0.75 pulgadas y un carbono equivalente de 4.3 ; relacionando estos dos factores , obtenemos una resistencia a a. tensión de $32\ 000\ \text{lb/in}^2$ la cual representa la resistencia que soportará nuestra pieza previo a la ruptura , sin embargo visto de esta forma estaría por debajo de los requerimientos del cliente que son : $40\ 000\ \text{lb/in}^2$ mínimo.

Esta diferencia es debida a que los nomogramas no consideran el efecto que tienen los diferentes elementos de aleación que constituyen al hierro , sin embargo , para aquellos casos en los que no se tengan los medios adecuados para poder obtener una resistencia a la tensión con una mayor exactitud dichos nomogramas pueden resultar de gran apoyo.

La siguiente figura muestra los nomogramas mencionados (*)

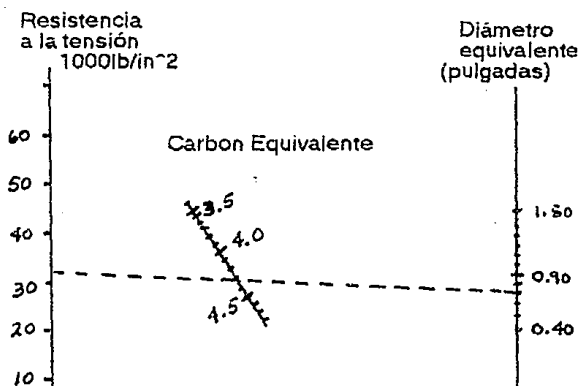


Figura No. 1.- Nomogramas de Resistencia a la Tensión ,
Carbon Equivalente , y Diámetro Equivalente

(*) - De Foote Foundry Facts . Published by Foote Mineral
Company . Exton Pena 19341 . No. 7 1987 pp. 7-2

3.6 .- FACTORES QUE AFECTAN LA RESISTENCIA

3.6.1 .- COMPOSICION BASE

El análisis químico de un hierro gris normalmente no especifica su uso excepto cuando las piezas son para aplicaciones especiales como aquellas involucradas en altas temperaturas o condiciones corrosivas donde la dureza y la resistencia a la tensión no proporcionan unas especificaciones suficientes para la pieza en cuestión.

De los elementos químicos que contienen los hierros grises los más importantes , ya que estos influyen en la resistencia a la tensión son el Carbono , el Silicio y el Fósforo , los cuales son relacionados por medio del carbono equivalente descrito anteriormente.

Existen métodos que pretenden dar una aproximación rápida y fácil para determinar las relaciones de resistencia a la tensión y el carbono equivalente , dentro de los cuales destacan los métodos gráficos , donde uno de ellos es mostrado en la figura No. 2 .

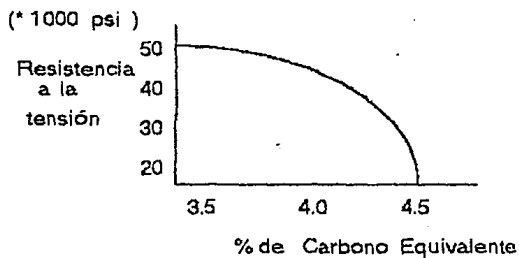


FIGURA No. 2 (*)

(*) - Gray and Ductile Iron Founders Society Inc.
Cleveland 1971.

3.6.2. - ADICIONES DE ALEANTES

Los elementos comunmente presentes en un hierro gris y aquellos que son adicionados , pueden ser clasificados en dos grandes grupos de acuerdo a su efecto durante la solidificación . Carbono , Silicio ; Aluminio ; Titanio , Níquel y Cobre son llamados grafitizantes porque ellos promueven la tendencia de formación de grafito en el hierro durante la solidificación . Manganeso , Molibdeno , Cromo y Vanadio son clasificados como estabilizadores de carburos ya que ellos retardan la precipitación de grafito e incrementan la tendencia a formar carburos . Así , el uso de las clases de aleantes es especialmente limitada en piezas de hierro gris con secciones delgadas dónde el rápido enfriamiento también incrementa la tendencia a formar carburos . La tendencia de todas las adiciones en cantidades moderadas (excepto para un incremento en contenidos de Silicio y Carbón) es para incrementar la dureza y la resistencia del hierro gris. Incrementando las cantidades de los elementos grafitizantes se produce solamente un ligero a moderado incremento en la resistencia , y adiciones de elementos estabilizadores de carburos pueden sacrificar la maquinabilidad.

El Manganeso debe estar presente en cantidades mayores o iguales a 1.7 % S + 0.1 para prevenir la formación de sulfuro de hierro.

El Manganeso en exceso de esta cantidad es un moderado estabilizador de carburos , refina la perlita e incrementa la resistencia a la tensión , pero este elemento reduce la maquinabilidad . Por esta razón se debe mantener en niveles bajos, excepto para hierros con propósitos especiales.

Contenidos de Azufre de 0.04 % tienen pequeña influencia en la resistencia , pero este elemento es también considerado como indeseable al formar inclusiones de sulfuros y por lo tanto es también considerado como indeseable y debe mantenerse prácticamente en un mínimo.

El Cromo y el Vanadio en cantidades moderadas son muy útiles para mantener la dureza y resistencia en piezas con secciones gruesas.

El Molibdeno es particularmente efectivo en el incremento de la resistencia a la tensión , la adición de 1.5 % de Molibdeno usualmente provee un incremento de cinco a siete mil libras por pulgada cuadrada en la resistencia a la tensión , además de ser muy efectivo para dar resistencia a elevadas temperaturas.

Adiciones de Cromo o Molibdeno por arriba de 1.0 % y de Vanadio arriba del 0.3 % no son empleadas frecuentemente porque aumentan fuertemente la tendencia a formar carburos . Sin embargo , balanceando los elementos aleantes y / o haciendo las combinaciones correctas de grafitizantes y estabilizadores de carburos se podrá , proveer al hierro con la resistencia deseada .

Pequeñas cantidades de Magnesio o Cerio en el orden de 0.01 % refinan la estructura del grafito en el hierro gris , y en cantidades mayores (junto con un contenido de azufre menor al 0.02 %) causan la precipitación del grafito en forma de esfera en los hierros , llamándose entonces hierros dúctiles o hierros nodulares.

3.6.3. - INOCULACION

Ciertos elementos en pequeñas cantidades tienen un efecto importante sobre la nucleación en la formación del grafito durante la solidificación y así , influyen la estructura resultante y la resistencia del hierro . Calcio , Aluminio , Bario y Estroncio son muchas veces usados como elementos inoculantes activos . Estos son usados para incrementar la resistencia a la tensión y también para reducir la tendencia del hierro a solidificar como hierro blanco , sobre todo en secciones de rápido enfriamiento .

El hecho de adicionar elementos aleantes en el hierro, es que además de aprovechar las formas en que cada uno actúa de cierta manera sobre las propiedades mecánicas, se hace también para controlar la transformación austenítica, para lograr una estructura perlítica fina. Desgraciadamente, algunos elementos tienen efectos perjudiciales en el proceso de solidificación, siendo este también parte importante en la obtención de las propiedades mecánicas óptimas de los hierros.

3.7.-ESTRUCTURA FORMADA DURANTE LA SOLIDIFICACION

La solidificación del hierro gris hipoeutéctico comienza con precipitación y crecimiento de dendritas de austenita desde el líquido, donde la iniciación de la reacción eutéctica está confinada sobre la nucleación de grafito el cual, usualmente requiere pequeños subenfriamientos abajo de la temperatura eutéctica. La resistencia se incrementa con el volumen de austenita proeutectóide. El crecimiento de estas formas es una función de la composición del hierro; por ejemplo, un hierro de bajo carbono equivalente llega a ser más hipoeutéctico debido al crecimiento y/o incremento de la austenita proeutectóide.

El carbono es el principal elemento quien determinará que que porción de la " fundición " solidificará como dentritas de austenita basado sobre la diferencia entre el contenido de carbono en el hierro y el el contenido de carbon eutéctico. Mayores adiciones de aleantes aiferan el contenido de carbon eutéctico , causando un cambio en la cantidad de austenita proeutectóide formada.

3.8 .- SECUENCIA DE SOLIDIFICACION DE UN HIERRO GRIS

La curva de solidificación para un hierro gris de alta resistencia es mostrada en la figura 3 . La formación de austenita proeutectóide se detiene después del enfriamiento por abajo de la línea de temperatura del grafito eutéctico y a un subenfriamiento tal para permitir la nucleación del grafito.

La evolucion del calor de solidificación de la reacción eutéctica causa que la temperatura se eleve . Eventualmente como el volumen del metal líquido remanente disminuye , la temperatura del sistema baja por pérdidas continuas de calor a través del molde . Idealmente , la solidificación termina arriba de la temperatura del carbon eutéctico y el resultado es una estructura de grafito tipo "A" y sin carburos.

Sin embargo , para nuestro caso nos interesa obtener una estructura de grafito tipo "A" en su mayoría , pero con precipitación de carburos (Fe : C) por tanto , el final de la solidificación deberá estar por debajo de la temperatura eutéctica (hierro - cementita) entonces, así precipitarán en la estructura pequeñas "partículas" de carburos dispersos y que serán en mayor cantidad en la medida en que el fin de la solidificación esté más alejada de la temperatura eutéctica como es mostrado en la figura No. 4 . Estas temperaturas pueden moverse hacia arriba o hacia abajo de acuerdo a los elementos aleantes y por tanto la cantidad de celdas eutécticas o de carburos podrá variar como se explicará más adelante.

3.9 .- INFLUENCIA DE LOS ELEMENTOS ALEANTES EN EL ENFRIAMIENTO

Los elementos aleantes pueden tener efectos significativos durante el enfriamiento y en la formación de carburos. Primero la mayor parte de los elementos aleantes alteran el contenido de carbono eutéctico y esto causa un cambio en el carbono equivalente.

En adición , los elementos aleantes alteran el equilibrio de las temperaturas eutécticas , para los eutécticos : Austenita - Grafito y Austenita - Carburo .

En general ,grafitizantes como el Silicio y Niquel simultáneamente aumentan la temperatura del eutéctico estable y reducen la temperatura del eutéctico inestable Oldfield y otros (*1) han estudiado el efecto y medido la influencia del Silicio sobre la temperatura eutéctica.

Los estabilizadores de carburos reducen simultáneamente la temperatura eutéctica estable y aumentan la temperatura eutéctica inestable como es el caso del Cromo y Vanadio Entonces , promotores del Grafito , inhiben el enfriamiento por el incremento del intervalo de temperatura , mientras que los formadores de carburos promueven el enfriamiento por reducción del intervalo de temperaturas .

Algunos elementos como el Manganeso y Molibdeno simplemente bajan ambas temperaturas eutécticas.

El Manganeso reduce moderadamente el Carbón equivalente pero es de gran importancia porque influencia el estado de nucleación del metal fundido . El estado de nucleación (número de celdas eutécticas) disminuye conforme se incrementa el Manganeso porque la Interacción del Manganeso con el Azufre forma Sulfuro de Manganeso (MnS)

Ref : * 1 .-W: Oldfield . " Chill Reducing Mechanism of Silicon in Cast Iron BCIRA Journal 10 No.1 pp 17-27 (Jan . 1962)

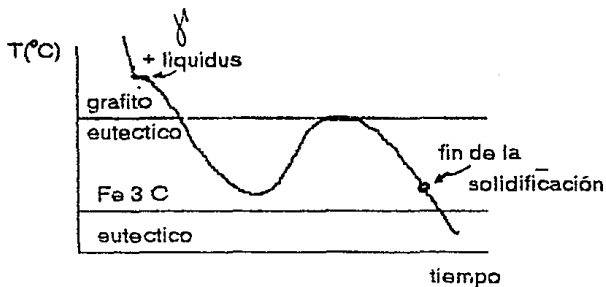


Figura 3.- Curva de solidificación para un
 hierro gris libre de carburos (*)

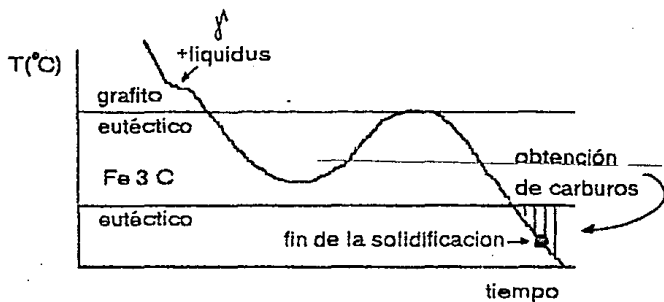


Figura 4.- Curva de solidificación para un hierro gris
 con carburos (*)

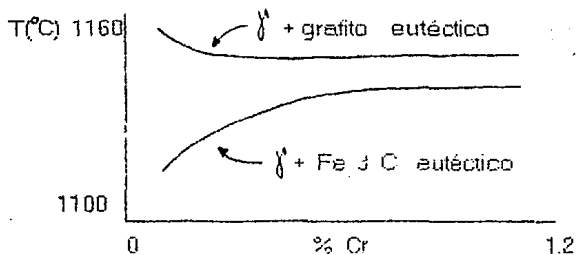


Figura 5 .- Influencia del Cromo sobre la temperatura de equilibrio eutéctica . (1)

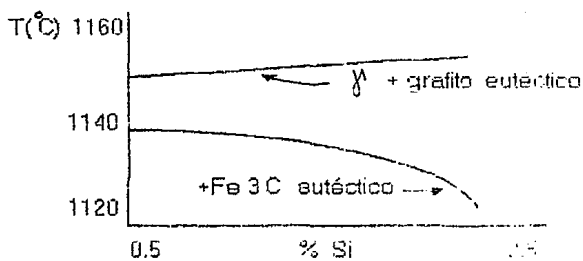


Figura 6 .- Influencia del Silicio sobre las temperaturas de equilibrio eutécticas (1)

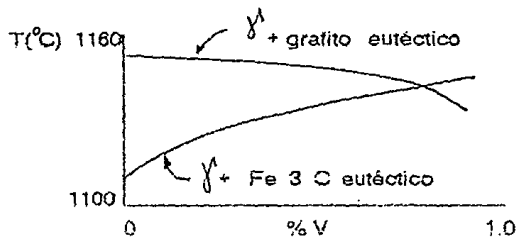


Figura 7 .- influencia del Vanadio sobre las temperaturas de equilibrio eutécticas. (*)

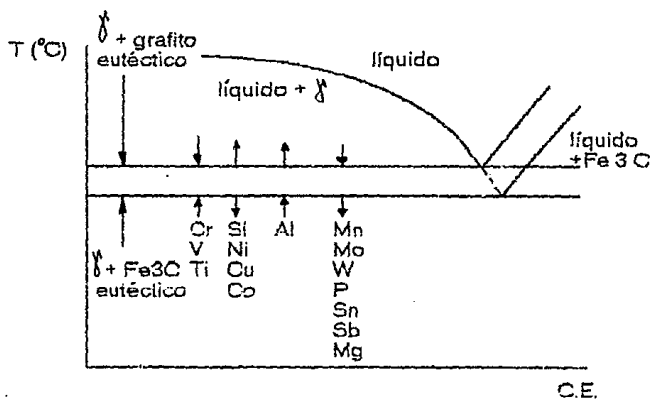


Figura 8 .- influencia de los elementos aleantes sobre las temperaturas de equilibrio eutécticas (*)

(*) .- "A Modern Approach to Alloying Gray Iron". J:F: Janowak . Climax Molybdenim Company , Elemental Effects on GRAY IRON Conference Papers . Septiembre 19-20 , 1989 , Chicago , IL . AFS.

CAPITULO IV

DISEÑO EXPERIMENTAL

En base al fundamento teórico descrito anteriormente nos podemos dar cuenta de que el logro para obtener un hierro gris con ciertas propiedades mecánicas tales como : dureza, elongación , resistencia a la tensión y características microestructurales como : tipo de grafito y cantidad de carburos se centra en dos variables principales que son composición química y tipo de solidificación, que como se mencionó en la parte introductoria los moldes y tiempos de desmoldeo que representan de alguna forma parte importante en el proceso de solidificación, no serían cambiados. Por lo tanto , las pruebas que se realizaron se centran únicamente en los efectos que tienen sobre las propiedades predichas ciertos elementos de aleación del hierro, como es el caso del Cr y Mn , que son formadores y estabilizadores de carburos , entonces , sólo se harán variaciones en composición química , recordando que el objetivo fundamental es cumplir con los parámetros fijados de composición química, microestructura , dureza y resistencia a la tensión basadas en el cambio U No. MS - 8B1 de Chrysler , donde se menciona que la adición de Molibdeno en la fabricación de hierro gris es opcional .

Para tratar de cumplir con lo anterior se realizarón pruebas donde se indican las condiciones de equipo , metodología y trabajo con el fin de hacer los resultados lo más reproducibles y dejar definidas las condiciones de las pruebas.

4.1 .- MATERIALES DE CARGA

- Chatarra de acero de bajo carbon en pacas , de 35 cm por cada arista , dónde la composición química esperada es :

| C | Si | Mn | Cr | Mo | |
|------|------|------|----|----|-------|
| 0.10 | 0.05 | 0.40 | — | — | { % } |

- Grafito natural en escamas en tamaños aproximados de 0.635 cm y con una composición química de 75 % de carbón fijo.

- Ferrosilicio al 45 % de Silicio en tamaños de 0.635 a 10.16 cm. , éste se utilizará para ajuste del Silicio.

- Ferrocromo (alto carbón) al 63 % de Cromo en tamaños de 0.635 a 10.795 cm.

-Ferromolibdeno al 80 % de Mollbdeno en tamaños de 0.635 a 7.62 cm (utilizado antes de proponer dicho cambio).

-Ferromanganeso (alto carbon) al 74 % de Manganeso en tamaños de 0.635 a 10.795 cm .

-- Retornos de fundición que consisten en mazarotas , corredores y lo referido a sistemas de alimentación además , el desperdicio que se genera por piezas con defectos no permisibles tanto dentro de la planta de fundición como rechazos de los clientes inmediatos (planta de maquinado) con cargo a la fundición.

4.2.- EQUIPO , MAQUINARIA Y CAPACIDADES

La fusión del metal se realizó en un horno de inducción marca inductotherm , modelo Vip-Power Trak 1250-5 , que equivale a 1250 Kw/500Hz , con una capacidad de 2270 kg por cada hornada .

El procedimiento de carga del horno para la realización de todas las pruebas fué el siguiente : Se adicionan al horno las materias primas básicas : paca de acero , retornos de fundición , además de las ferroaleaciones mencionadas , pesando previamente cada uno de los materiales para obtener los porcentajes especificados de acuerdo con el balance de carga realizado , una vez efectuado lo anterior , se hace la adición en el siguiente orden : a) Ferroaleaciones , b) grafito c) paca de acero y d) retornos de fundición .

El procedimiento que se siguió para el control y toma de temperaturas fué de la siguiente manera :

Se utiliza una lanza en la cual está instalado un termopar en la punta y se sumerge en el centro del baño líquido del horno , pero antes de la inmersión , el baño se debe encontrar limpio de escoria . La determinación de temperaturas se realiza previo a la obtención de la muestra para el análisis químico en el laboratorio y previamente al vaciado del horno y hasta estar el baño líquido dentro del rango de análisis químico especificado ; la determinación de la temperatura en estas condiciones deberá ser 1450 C mínimo . Normalmente la temperatura de toma de muestras es de 1450--1495 C, además se cuenta en el laboratorio de aseguramiento de calidad un pirómetro óptico con el cual se toma la temperatura al colar el primer molde .

Procedimiento para el desescoriado .:

El material que se utiliza es un escoriador para hierro gris y nodular en forma granulada . Este se utilizará con el objeto de aglutinar la escoria que se forma en la superficie del metal líquido . Se agrega principalmente en hornos y en ollas de colado a moldes . Realizandolo de la sig. forma :

- Las herramientas de desescoriado deberán calentarse previamente cerca del metal fundido en el horno sin tocarlo (tridentes , barretas , palas)
- Separar previamente mediante el uso del tridente o de la barreta la escoria adherida a las paredes del horno .

- Agregar el escoriador para formar una monocapa evitando aglomerar capas sucesivas .
 - Esperar de medio minuto a un minuto a que actúe el escoriador .
 - Mediante el tridente y la pala sacar la escoria aglutinada reuniéndola en el centro del baño líquido . y evitando hacer movimientos envolventes hacia adentro del baño líquido , para evitar que la escoria se sumerga .
 - De ser posible no agregar más fundente y tratar de sacar las impurezas restantes con el tridente o la pala
- Procedimiento para desescoriado de ollas :
- Se agrega el fundente para formar una monocapa.
 - Esperar de 15 a 20 segundos para que actúe el escoriador
 - Jalar la escoria aglomerada con el tridente evitando hacer movimientos hacia adentro del metal fundido .
 - Antes de colar el primer metal al primer molde , tirar un poco de metal para evitar introducir al molde escoria remanente de la colada anterior .
 - Revisar el pico de la olla , en caso de tener escoria adherida , extraerla con la barreta antes de colar el primer molde .
 - Una vez realizado lo anterior , proceder al colado de moldes.

— Por último al final del colado de cada olla , se limpia el pico de la misma para evitar aglomeración de escoria en esa zona .

CAPACIDADES :

Actualmente se sangran dos ollas de cada hornada , de 550 kg cada una , o sea 1100 kg , esto se realiza cada hora , y se procede entonces a recargar el horno .

Cada olla de 550 kg llena 14 moldes de flechas auxiliares y cada molde contiene un peso de metal fundido de 36 kg cada uno . De los 36 , 27 kg serán ocupados por 18 cavidades , con un peso de 1.5 kg por cada pieza.

Los moldes estan manufacturados con moldeo autofraguante usando resina fenólica , catalizador toluen-sulfónico y arena sílica y tienen un peso aproximado de 105 kg cada uno entre cope y drag.

ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

Una vez que el horno alcanza la temperatura mínima de 1450 grados centígrados , con la carga totalmente fundida y sin faltar ningún elemento de aleación , se toma una muestra para hacer el análisis químico del Carbón y Azufre y otra para los demás elementos , vía espectro de emisión.

Una vez que se han aprobado los elementos químicos y condiciones de proceso y los moldes y las piezas se han colado y enfriado ; se toma una pieza , se corta y

se procede a hacer el análisis microestructural , para lo cual se hace un corte transversal en la zona media del engrane y posteriormente se desbasta con un disco de grano grueso , marca Norton , modelo Adalox G 221 de óxido de aluminio , enseguida se pule en paño fino con alúmina del número 0.5 y posteriormente 0.03 micras de grosor y finalmente se ataca después de analizar el tipo y tamaño del grafito con nital concentrado al 15 % . Entonces basándose en patrones proporcionados por el cliente , se hace la determinación del tipo y tamaños de las hojuelas de grafito , así como la clase y porcentaje de carburos . También en una de las piezas fundidas (una por cada olla) se realiza un ensayo de dureza Brinell , la cual se realiza a nivel superficial y sobre la zona del engrane , esmerilando la pieza hasta dejar un plano aproximadamente de 2 cm de ancho , entonces , se coloca en el durómetro Brinell , y se soporta o descansa en un dispositivo para superficies redondas y colocando por la parte superior el penetrador con un balón de 10 mm de diámetro directamente sobre el plano esmerilado y aplicando una carga de 3000 kg durante diez segundos .

4.3.- Parámetros a variar :

Los únicos parámetros a variar en las pruebas que se realizaron fueron el análisis químico y la cantidad de inoculante de la siguiente manera :

(Nota : Los motivos de variar el porcentaje de ciertos elementos químicos será explicado en el cap. V .)

Prueba número uno :

% de Si se disminuyó en 0.07 % , el % de Mn se incrementó en 0.01 % ; el % de Cr se incrementó en 0.12 % (Basados en balance de carga propuesto) Kg de inoculante = 2.1.kg.

Prueba número dos :

Únicamente se disminuyó el % de Cr en 0.05 % (con respecto a la prueba No 1) kilogramos de inoculante = 2.3 kg.

Prueba número tres :

Sólo se disminuyó el % Cr en 0.05 % (Con respecto a la prueba No. 2) kilogramos de inoculante = 2.3 kg.

Prueba número cuatro :

Ahora se disminuyó el % de Si en 0.05 % (Con respecto a la prueba No. 3) kilogramos de inoculante = 2.4 kg .

Cabe mencionar que aunque la temperatura no estaba contemplada como parámetro a variar , existieron algunas diferencias entre prueba y prueba debido a las condiciones de operación del horno dadas en el momento de correr las pruebas.

4.4 .- Resultados obtenidos :

Es necesario recordar que en todas las pruebas se siguieron las mismas condiciones de operación , preparación y análisis descritas anteriormente .

PRUEBA NUMERO UNO .-

ANALISIS QUIMICO

| % Cr | % Si | % Mn | % Cr | % Mo |
|------|------|------|------|--------|
| 3.57 | 2.20 | 0.91 | 1.11 | 0.02 * |

* .- La presencia de este valor es debido a la imposibilidad de limpiar el horno por completo .

DUREZA (HBN / 30 / 10 / 10)

262 -- 267

MICROESTRUCTURA

| Tipo de grafito | Tamaño de Hojuelas | % de carburos |
|-----------------|--------------------|---------------|
| 90 % A | 6 - 7 | 15 |
| 5 % C | | |
| 5 % D,E | | |

Resistencia a la Tensión : 43 000 psi

Elongación : 0.28 %

PRUEBA NUMERO DOS :

ANALISIS QUIMICO

| % C | %Si | %Mn | %Cr | %Mo |
|------|------|------|------|--------|
| 3.54 | 2.21 | 0.89 | 1.06 | 0.01 * |

* .- Nuevamente aparece un % pequeño de Mo por la razón descrita anteriormente.

DUREZA (HBN 30 / 10 / 10)

255 - 277

MICROESTRUCTURA

| Tipo de grafito | Tamaño de hojuelas | % de carburos |
|-------------------------------------|--------------------|---------------|
| 90 % de A 5 % de C 5 % de D,E | 6 | 10 - 15 |

Resistencia a la tensión = 42 720 psi

Elongación = 0.31 %

PRUEBA NUMERO TRES :

ANALISIS QUIMICO

| | | | | |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| % C | % Si | % Mn | % Cr | % Mo |
| 3.55 | 2.23 | 0.91 | 1.01 | 0.00 |

DUREZA (HBN 30 / 10 / 10)

MICROESTRUCTURA

| Tipo de grafito | Tamaño de hojuelas | %de carburos |
|---|---------------------------|---------------------|
| 95 % de A 5 % de C 5 % D.E | 6 | 10 |

Resistencia a la Tensión = 41 500 psi

Elongación = 0.37 %

PRUEBA NUMERO CUATRO :

ANALISIS QUIMICO

| | | | | |
|------|------|------|------|------|
| % C | % Si | % Mn | % Cr | % Mo |
| 3.56 | 2.30 | 0.89 | 0.89 | 0.00 |

DUREZA (HBN 30 / 10 / 10)

262 -- 248

MICROESTRUCTURA

| Tipo de grafito | Tamaño de hojuelas | % carburos |
|-----------------------------------|--------------------|------------|
| 90 % de A 10 % de C 0 % D.E | 6 | 5-10 |

Resistencia a la Tensión = 41 000 psi

Elongación = 0.39 %

Nota : Todos los análisis presentados en las cuatro pruebas estan referidos al encontrado en la pieza.

4.5 .- Resultados de las ventajas económicas .

Para el caso del balance de carga en condiciones normales, el costo de adiciones de las ferroaleaciones perfitizantes representan un costo de 140.550 nuevos pesos (para 2200 kg) y por kilogramo de metal en el horno resulta de 0.06388 nuevos pesos .

Si consideramos que para 2200 kg sólo se usa el 65 % en piezas , se tiene un desperdicio del 13.3 % y que cada pieza pesa 1.5 kg entonces , producir cada pieza bajo estas condiciones cuesta : 0.1701 nuevos pesos .

Por otra parte , para el caso del balance de carga propuesto con 0 % de Molibdeno el costo de las mismas adiciones excluyendo al ferromolibdeno representan un costo de 54.888 nuevos pesos (para 2200 kg) y por kilogramo de metal en el horno resulta de 0.025 nuevos pesos y si hacemos la misma consideración de que para 2200 kg sólo se usa el 65 % en piezas , un desperdicio del 13.3 % y que cada pieza pesa 1.5 kg , entonces , producir cada pieza bajo estas condiciones cuesta 0.06656 nuevos pesos de aleantes . Este gasto ya considera que nos hemos visto en la necesidad de adicionar mayor cantidad de Silicio, por tanto , el beneficio económico resulta en :

COSTO AL AGREGAR

| | FeCr FeMn FeMo | FeCr FeMn |
|----------------------------|----------------|----------------|
| 1 pieza en cond. normales | N\$ 0.1701 (A) | |
| 1 pieza en cond. 0 % de Mo | | N\$ 0.0665 (B) |

Ahorro por pieza A-B = N\$ 0.1036 nuevos pesos

Si actualmente la compañía produce un promedio de 600 000 piezas al año , entonces , el cambio propuesto nos genera un ahorro de 62 mil 160 nuevos pesos al año . Todo esto sin invertir un sólo peso en maquinaria , equipo , etc.

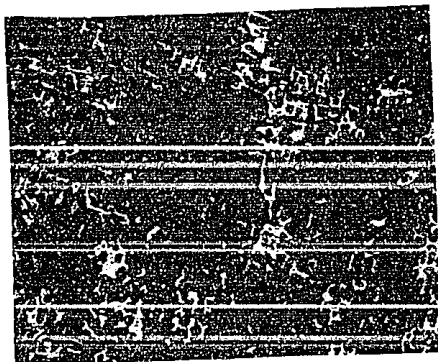
MICROESTRUCTURA

PRUEBA No. UNO :



50 X Atacada con Nital

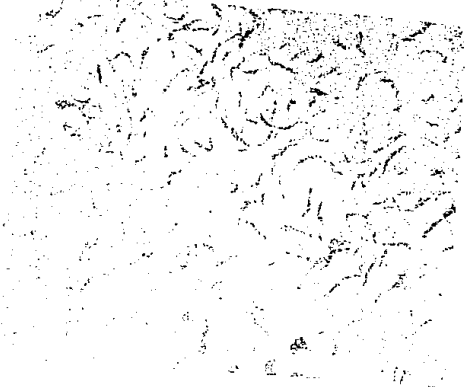
Se puede observar que existe gran cantidad de grafito tipo A
y una distribución pequeña de grafito tipo C y E



50 X Atacada con Nital

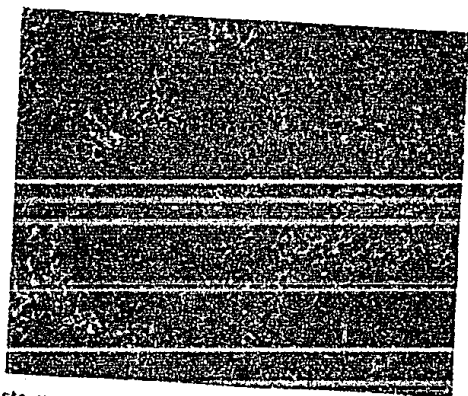
Las zonas blancas muestran los carburos y como puede observarse
esta en un alto porcentaje del orden del 25 %

PRUEBA No. DOS :



50 X Atacada con Nital .

Se puede observar que sigue presente aproximadamente la misma cantidad de grafito tipo A , C y E .



50 X Atacada con Nital

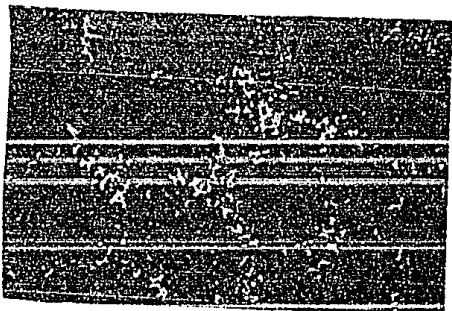
Podemos observar que existe una pequeña disminución en el % de carburos (zonas blancas)

PRUEBA No. TRES :



50 X Atacada con Nital

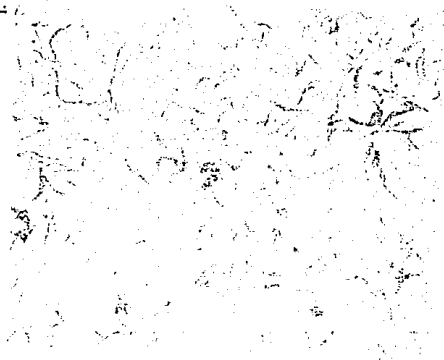
Podemos notar ahora mayor cantidad de grafito tipo A y sólo una pequeña parte de grafito tipo C (ya no hay presencia de grafito tipo D y E)



50 X Atacada con Nital.

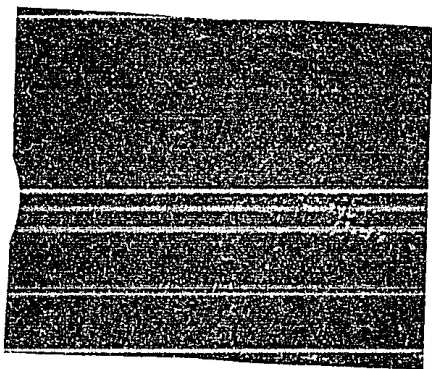
Podemos observar ahora una gran disminución del % de carburos (zonas blancas)

PRUEBA No. CUATRO :



50 X Atacada con Nital

Podemos observar una ligera disminución de grafito tipo A y la presencia de grafito tipo C.



50 X Atacada con Nital

Observamos una ligera disminución del % de carburos (zonas blancas)

CAPITULO V

ANALISIS DE RESULTADOS

-Prueba Número uno

Como se observa en los resultados de la prueba número uno, existe un incremento considerable del % de carburos que afectaría el ritmo de maquinabilidad normal debido a la dureza que se obtiene por el nivel de carburos presentes observados en la metalografía. Por otra parte, la resistencia a la tensión podemos notar que el valor es demasiado alto por lo que estaría fuera de especificación es por eso que, considerando que entre los factores que pudieron haber influido serían el % de Cromo y el inoculante (2.1 kg de Fe Si al 75 % de Si, agregados a 550 kg de metal fundido). Entonces se propuso para la prueba número dos disminuir el % de Cr y aumentar la cantidad del inoculante a 2.3 kg.

-Prueba Número dos

A pesar de que existe una ligera disminución en la dureza, aún el % de carburos sigue dando en algunas áreas un valor de 15 %, lo cual requerimos evitar, notando también que la resistencia a la tensión todavía presenta un valor

fuera de especificación .

En este punto debemos enfatizar que nuestro cliente maquina una gran cantidad de piezas y a ritmos cerradamente estandarizados y cualquier molestia o disminución de productividad afecta considerablemente sus resultados y compromisos de entrega a la industria automotriz es por esto que y en base a lo anterior decidimos disminuir el % de Cr únicamente .

- Prueba Número Tres

En esta prueba podemos observar que a pesar de estar cerca de las condiciones esperadas de dureza , microestructura en general y resistencia a la tensión , aún existe una lectura de dureza que está fuera de especificación. La resistencia a la tensión ya está dentro de el valor permitido que se establece para esta clase de hierro , el % de carburos también está dentro de lo obtenido en las condiciones normales es decir , cuando se le adicionaba Molibdeno pero sería preferente tener un % de carburos del orden de 5 % . Por lo tanto se decidió Incrementar el Silicio preliminar es decir , en el metal base , e Incrementar el inoculante a 2.4 kg de FeSi al 75 % de Si.

- Prueba Número Cuatro :

En esta prueba podemos observar que se obtienen las condiciones esperadas es decir , la dureza , el tipo de grafito , el % de carburos y la resistencia a la tensión estando así dentro de la especificación requerida por el cliente evitando de esta forma atrasos en el proceso de maquinado e igualando las mismas propiedades mecánicas que se obtenían antes de proponer dicho cambio .-

CONCLUSIONES

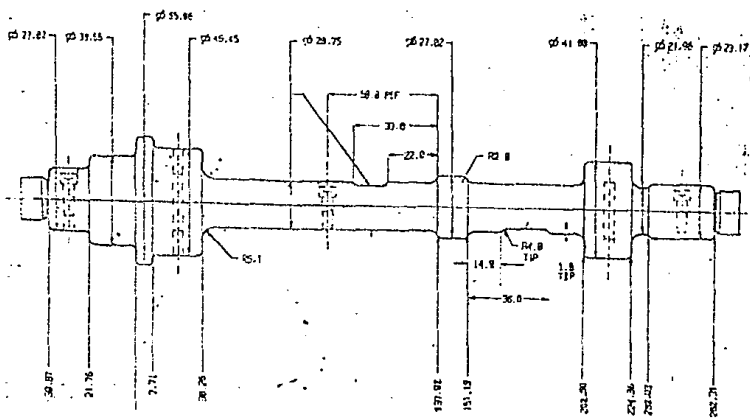
En base a los resultados obtenidos podemos notar que a pesar de que el logro de las propiedades mecánicas óptimas no sólo depende de los elementos de aleación que constituyen al hierro gris , sino también del proceso de solidificación , se pudo demostrar que manteniendo fija una variable { la velocidad de solidificación } se logró cumplir con las mismas normas de calidad y de propiedades mecánicas establecidas por el cliente antes de proponer dicho cambio de la eliminación de Molibdeno durante la fabricación del hierro .

De los efectos específicos de cada uno de los elementos de aleación , se pudo observar la relevancia de uno con respecto a otro es decir , sería poco factible obtener dichas propiedades mecánicas si elimináramos al Cromo por ejemplo , que representa un elemento vital para la formación de carburos .

Siempre que se conozcan los aspectos fundamentales que componen a un proceso dado , sería posible la optimización del mismo sin una gran inversión de recursos es decir , sólo es necesario adecuarnos a lo existente en el momento y aplicar los conocimientos teórico - prácticos para entonces cumplir con las necesidades que requiera la industria en general.

APENDICE 1

DIMENSIONES DE LA PIEZA (en mm)



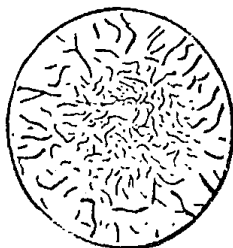
APENDICE II

PATRONES DEL TIPO DE GRAFITO

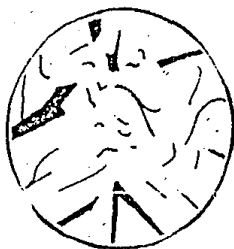
Utilizados para hacer la comparación (*)



A



B



C



D



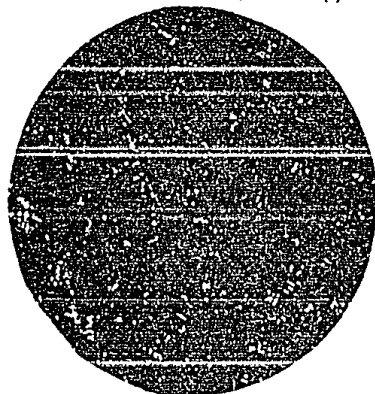
E

APENDICE III

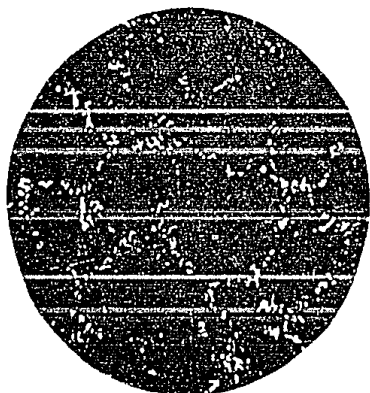
PATRONES DEL % DE CARBUROS

(También comunmente conocida como Ledeburita transformada)

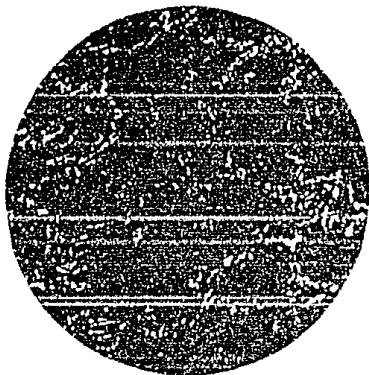
Utilizados para hacer la comparación (*)



3%



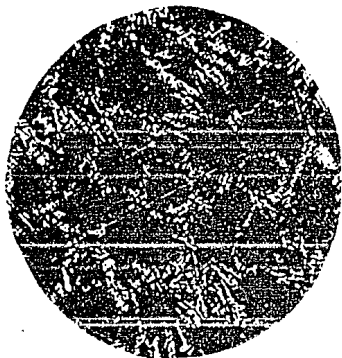
5%



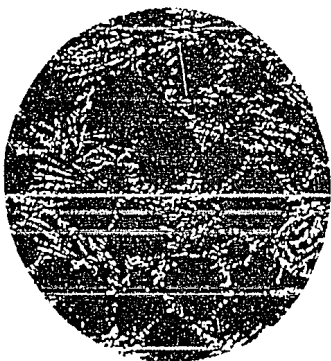
10%



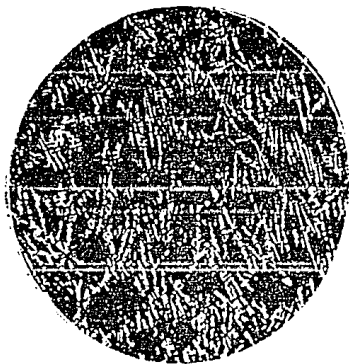
15%



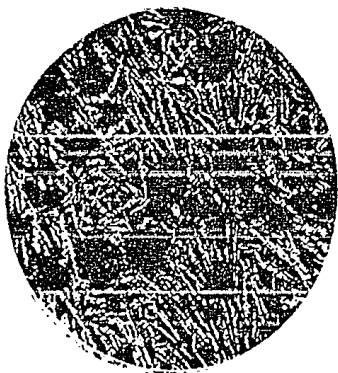
25%



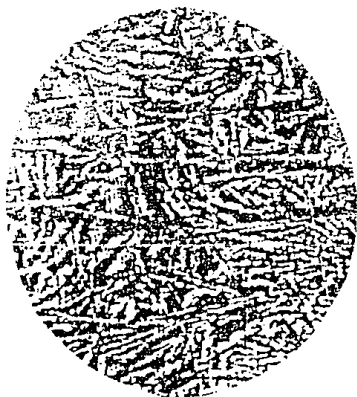
30%



50%



60%



80%

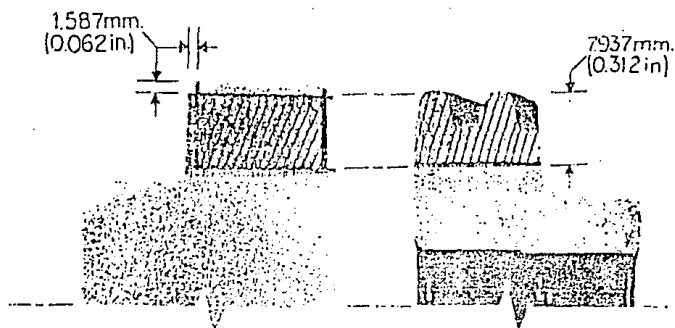
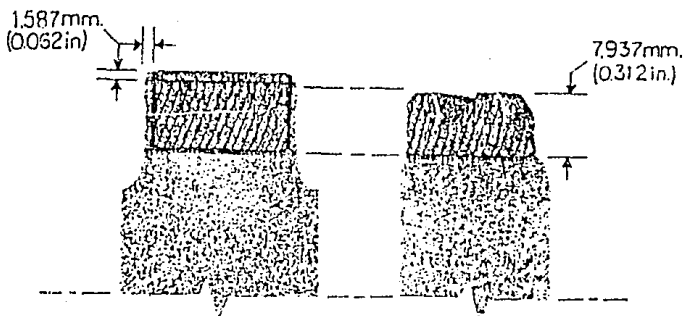


90%

(*)Proporcionados per Chrysler Inc.

APENDICE IV
ZONAS PARA EL ANALISIS METALOGRAFICO
EN UNA PIEZA DE FUNDICION Y EN OTRA MAQUINADA

(El corte se efectuará en la parte del engrane)



APENDICE VII

METODO DE ANALISIS QUIMICO

Cuando el horno alcanza la temperatura mínima de 1450 grados centígrados con la carga totalmente fundida y sin falta de ningún elemento de la carga , se toma una muestra para el análisis químico del Carbón y Azufre y otra para los demás elementos vía espectro de emisión.

a) Análisis del Carbón y Azufre

Del horno se introduce un cucharón el cuál , es un cilindro revestido de refractario de alúmina (neutra) y se toma una muestra metálica de aproximadamente 315 cm ³ es decir 2.5 kg directamente del centro del horno y después que este fué descoriado y se supone está limpio . En el cucharón se introducen dos tubos de vidrio marca Minco de 3 ó 4 mm de diámetro y aproximadamente 15 cm de largo con lo cuál se obtendrán dos muestras para dicho análisis .

Estos se envían al laboratorio químico dónde se trituran para obtener dos pesadas en crisol de 0.25 gr cada una , posteriormente , se les agrega una parte de acelerador "Iron Chip " en una cantidad aproximada de 0.652 gr y después se agrega un fundente en aproximadamente 1.342 gr , finalmente , se introduce a un equipo marca Leco Modelo CS - 244 año 1981 , dónde se obtendrán dos resultados para Carbón y Azufre .

En el caso de que exista una diferencia mayor a 0.04 % de Carbón entre una muestra y la otra , se considera que la muestra es heterogénea y entonces se procederá a sacar una segunda muestra del horno . En caso de presentar los resultados Individuales de las dos muestras un % de Carbón entre una y otra de 0.04 o menos , entonces se obtiene un promedio y se emite el resultado el cuál deberá caer dentro del rango especificado en las hojas de manufactura .

b) Análisis Químico via Espectro de Emisión .

Para este análisis se toma una muestra del cucharón y se vacía en un molde metálico de Cobre electrolítico el cuál nos dará un pequeño disco de dimensiones 3.150 cm de diámetro y 0.9 cm de espesor éste se enfriará en agua ,se separarán las rebabas y se pule posteriormente , se pasa a un espectrómetro de emisión marca Espectrolab Modelo LAB - 5 , obteniéndose así directamente el porcentaje de cada elemento que se compara contra la especificación definida en las hojas de proceso y se procede a vaciar el horno si todos los elementos están dentro del rango o de lo contrario , se ajustará la composición química si algún o algunos elementos están fuera de rango .

APENDICE VIII

A continuación se presentan dos cálculos de carga en los cuáles se podrá observar : -El cálculo de carga en las condiciones actuales de manufactura de la compañía con las que logra proporcionar a la pieza para la Industria automotriz , la dureza (medida en escala Brinell), el porcentaje de perlita en la matriz y el porcentaje de carburos los cuales , son un requerimiento fundamental del cliente para soportar el grado de desgaste a que la pieza va a estar sometida durante su funcionamiento . Y el cálculo de carga considerando una situación hipotética que contempla la eliminación del Molibdeno de las piezas y con el supuesto que los materiales de retorno que sirven para el recargue del horno en las subsecuentes hornadas ya no contienen dicho elemento químico .

OTRAS CONSIDERACIONES

A pesar de que tal vez en algún parámetro se considere un valor diferente al normal de la Industria en cuanto a factores de oxidación y eficiencias de absorción , este valor será en relación a las condiciones específicas de la manufactura actual particular de la compañía donde se realiza el presente estudio .

CALCULO DE CARGA EN CONDICIONES NORMALES

| Materiales | Kg En ó al horno (A) | A/Tot. horno (B) | A. Químico de los materiales | | | | |
|---------------|-------------------------------|------------------------|------------------------------|--------------|---------------|-------------|--------------|
| | | | % C (D1) | % Si (D2) | % Mn (D3) | %Cr (D4) | % Mo (D5) |
| Acero | 715 | 0.325 | 0.10 | 0.05 | 0.40 | — | — |
| Retorno | 385 | 0.175 | 3.56 | 2.21 | 0.79 | 0.90 | 0.38 |
| Sobrante | 1100 | 0.500 | 3.60 | 1.95 | 0.81 | 0.90 | 0.38 |
| Total= | 2200 | 1.000 | | | | | |

| % C B#D1 | %Si B#D2 | %Mn B#D3 | %Cr B#D4 | %Mo B#D5 |
|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 0.032 | 0.0162 | 0.1300 | — | — |
| 0.416 | 0.2585 | 0.0920 | 0-1050 | 0.0440 |
| 1.800 | 0.9750 | 0.4050 | 0.4500 | 0.1900 |
| 2.248 | 1.2497 | 0.6270 | 0.5555 | 0.2340 |
| % de Oxidación | | | | |
| 10 | 3 | 2 | — | — |
| 2.340 | 1.2122 | 0.6140 | 0.5555 | 0.2340 |

ADICIONES

$$\text{GRAFITO} = \frac{2200 (0.0360 - 0.0234)}{(0.750) (0.850)} = 43.51 \text{ Kg (A)}$$

$$\text{FeSi} = \frac{2200 (0.0195 - 0.0121)}{(0.450) (0.970)} = 37.195 \text{ Kg (B)}$$

$$\text{Fe Mn} = \frac{2200 (0.0081 - 0.0061)}{(0.740) (0.950)} = 6.133 \text{ Kg (C)}$$

$$\text{FeCr} = \frac{2200 (0.0080 - 0.0055)}{(0.6300) (0.980)} = 12.29 \text{ Kg (D)}$$

$$\text{Fe Mo} = \frac{2200 (0.0038 - 0.0023)}{(0.600) (0.980)} = 5.46 \text{ Kg (E)}$$

(A) aporta 1.26 % de C

(B) aporta 0.7378 % de Si

(C) aporta 0.1960 % de Mn

(D) aporta 0.3450 % de Cr

(E) aporta 0.1460 % de Mo

Fórmula General de adiciones

$$\text{Adiciones} = \frac{E (F - G)}{H \cdot J}$$

Donde :

E= capacidad del horno

F= composición deseada en %

G= composición en horno antes de la adición

H= composición de la ferroaleación

J= rendimiento del elemento .

Entonces tenemos los siguientes porcentajes en hierro base :

| %C | %Si | %Mn | %Cr | %Mo |
|------|------|------|------|------|
| 3.60 | 1.95 | 0.81 | 0.90 | 0.38 |

El costo por adición del FeSi es de N\$ 70 . 462 nuevos pesos
y por adición de perlitizantes y carburigenos :

| | | | |
|-------|------|-----|--------|
| son : | FeMn | N\$ | 10 169 |
| | FeCr | N\$ | 38 305 |
| | FeMo | N\$ | 92 076 |

Por tanto , el costo total de lo anterior es de N\$ 140. 550 nuevos pesos y por kilogramo de metal en el horno resulta de N\$ 0.06388 nuevos pesos

Si consideramos que para 2200 kg sólo se usa el 65 % en piezas y que tenemos un 13.35 % de rechazo tendremos :

kg reales - 13.35 % de rechazo :
1430 - 190.65 = 1 239.4 kg

Entonces :

$$\begin{array}{r} \text{N\$ } 140.550 \\ \hline 1239.4 \end{array} = \text{N\$ } 0.1134 \text{ kg (de pieza aprobada)}$$

Y si cada pieza pesa 1.5 kg tenemos el costo de perlitizantes :

$$\begin{array}{r} 0.1701 \text{ N\$} \\ \hline \text{pieza} \end{array}$$

CALCULO DE CARGA EN CONDICIONES CON 0% DE Mo

| Materiales | Kg En ó al horno (A) | A/Tot. horno (B) | A. Químico de los materiales | | | | |
|---------------|-------------------------------|------------------------|------------------------------|--------------|---------------|-------------|--------------|
| | | | % C (D1) | % Si (D2) | % Mn (D3) | %Cr (D4) | % Mo (D5) |
| Acero | 715 | 0.325 | 0.10 | 0.05 | 0.40 | --- | --- |
| Retorno | 385 | 0.175 | 3.68 | 2.25 | 0.87 | 0.98 | -- |
| Sobrante | 1100 | 0.500 | 3.60 | 2.02 | 0.89 | 0.98 | -- |
| Total= | 2200 | 1.000 | | | | | |

| % C B*D1 | %Si B*D2 | %Mn B*D3 | %Cr B*D4 | %Mo B*D5 |
|----------------|---------------|---------------|---------------|-------------|
| 0.032 | 0.0162 | 0.1300 | --- | --- |
| 0.623 | 0.3937 | 0.1522 | 0.1715 | -- |
| 1.800 | 1.0100 | 0.4450 | 0.4900 | -- |
| 2.455 | 1.4190 | 0.7272 | 0.6615 | --- |
| % de Oxidación | | | | |
| 10 | 3 | 2 | -- | -- |
| 2.209 | 1.3764 | 0.7126 | 0.6615 | --- |

ADICIONES

$$\text{GRAFITO} = \frac{2200 (0.0360 - 0.0220)}{(0.750) (0.850)} = 48.31 \text{ Kg (A)}$$

$$\text{FeSi} = \frac{2200 (0.0202 - 0.0137)}{(0.450) (0.970)} = 32.4 \text{ Kg (B)}$$

$$\text{Fe Mn} = \frac{2200 (0.0089 - 0.00712)}{(0.740) (0.950)} = 5.5 \text{ Kg (C)}$$

(Al 74% Mn)

$$\text{FeCr} = \frac{2200 (0.0098 - 0.0066)}{(0.6300) (0.980)} = 11.3 \text{ Kg (D)}$$

(Al 63% Cr)

(A) aporta 1.391 % de C

Fórmula General de adiciones

(B) aporta 0.644 % de Si

$$\text{Adiciones} = \frac{E (F - G)}{H \cdot J}$$

(C) aporta 0.1780 % de Mn

Donde :

(D) aporta 0.3190 % de Cr

E= capacidad del horno

F= composición deseada en %

G= composición en horno antes de la adición

H= composición de la ferroaleación

J= rendimiento del elemento .

Entonces tenemos los siguientes porcentajes en hierro base :

| %C | %Si | %Mn | %Cr | %Mo |
|------|------|------|------|------|
| 3.60 | 2.02 | 0.89 | 0.98 | 0.00 |

Ahora el costo por adición del FeSi es de NS\$ 72 . 009 nuevos pesos y por adición de perlitizantes y carburígenos es de :

FeMn NS 11 . 935

FeCr NS 41 . 516

Por tanto el costo de adición es de NS 53.451 nuevos pesos , pero sumando el costo por agregar más % Si contra lo normal , tenemos : NS 53.451 + NS 1.547 = NS 54.998 nuevos pesos y por kilogramo de metal en el horno resulta de NS 0.025 nuevos pesos .

Si hacemos la misma consideración de que para 2200 kg sólo se usa el 65 % en piezas y tenemos un 13.35 % de rechazo tendremos :

$$\begin{array}{rcl} \text{kg reales} - 13.35 \% \text{ rechazo} & & \\ 1430 & - & 190.65 = 1239.4 \text{ kg} \end{array}$$

Entonces :

$$\frac{54.998}{1239.4} = 0.04437 \frac{\text{NS}}{\text{kg (de pieza aprobada)}}$$

y si cada pieza pesa 1.5 kg tenemos :

$$\text{NS } 0.06656 \text{ nuevos pesos / pieza}$$

APENDICE IX

RESULTADOS DETALLADOS DE LAS PRUEBAS

Prueba Número Uno :

ANALISIS QUIMICO

| Elemento | Esperado | | Encontrado | |
|----------|----------|-------|------------|----------|
| | Horno | Pieza | Horno | Pieza |
| % C | 3.60 | 3.56 | 3.62 | 3.57 |
| % Si | 1.95 | 2.20 | 1.86 | 2.20 |
| % Mn | 0.90 | 0.80 | 0.92 | 0.91 |
| % Cr | 1.10 | 1.10 | 1.11 | 1.11 |
| %Mo | 0 | 0 | 0.02 | 0.02 (*) |

(*) Presencia Indicada por las razones expuestas en pag 36

Prueba Número Dos :

ANALISIS QUIMICO

| Elemento | Esperado | | Encontrado | |
|----------|----------|-------|------------|----------|
| | Horno | Pieza | Horno | Pieza |
| % C | 3.60 | 3.56 | 3.60 | 3.54 |
| % Si | 1.95 | 2.23 | 1.95 | 2.21 |
| % Mn | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.89 |
| % Cr | 1.05 | 1.05 | 1.06 | 1.06 |
| %Mo | 0 | 0 | 0.01 | 0.01 (*) |

(*) Presencia Indicada por las razones expuestas en pag 36

Prueba Número Tres :

ANALISIS QUIMICO

| Elemento | Esperado | | Encontrado | |
|----------|----------|-------|------------|-------|
| | Horno | Pieza | Horno | Pieza |
| % C | 3.60 | 3.56 | 3.61 | 3.55 |
| % Si | 1.95 | 2.23 | 1.97 | 2.23 |
| % Mn | 0.80 | 0.80 | 0.91 | 0.91 |
| % Cr | 1.00 | 1.00 | 1.01 | 1.01 |
| %Mo | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 |

Prueba Número Cuatro :

ANALISIS QUIMICO

| Elemento | Esperado | | Encontrado | |
|----------|----------|-------|------------|-------|
| | Horno | Pieza | Horno | Pieza |
| % C | 3.80 | 3.56 | 3.61 | 3.56 |
| % Si | 2.00 | 2.28 | 2.00 | 2.30 |
| % Mn | 0.80 | 0.80 | 0.89 | 0.88 |
| % Cr | 1.00 | 1.00 | 0.99 | 0.99 |
| %Mo | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 |

Prueba Número Uno :

MICROESTRUCTURA

| Grafito | Esperado | Encontrado |
|---------------|-----------------|------------|
| Tipo | A : 80 - 100 % | 90 |
| | C : 0 - 15 % | 5 |
| | D, E : 0 - 10 % | 5 |
| Tamaño | 5 - 8 | 6 - 7 |
| % Carburos | 5 - 10 | 15 |

Prueba Número Dos :

MICROESTRUCTURA

| Grafito | Esperado | Encontrado |
|---------------|-----------------|------------|
| Tipo | A : 80 - 100 % | 90 |
| | C : 0 - 15 % | 5 |
| | D, E : 0 - 10 % | 5 |
| Tamaño | 5 - 8 | 6 |
| % Carburos | 5 - 10 | 10 - 15 |

Prueba Número Tres :

MICROESTRUCTURA

| Grafito | Esperado | Encontrado |
|---------------|-----------------|------------|
| Tipo | A : 80 - 100 % | 85 |
| | C : 0 - 15 % | 5 |
| | D, E : 0 - 10 % | 0 |
| Tamaño | 5 - 8 | 6 |
| % Carburos | 5 - 10 | 10 |

Prueba Número Cuatro :

MICROESTRUCTURA

| Grafito | Esperado | Encontrado |
|---------------|-----------------|------------|
| Tipo | A : 80 - 100 % | 90 |
| | C : 0 - 15 % | 10 |
| | D, E : 0 - 10 % | 0 |
| Tamaño | 5 - 8 | 6 |
| % Carburos | 5 - 10 | 5 - 10 |

Prueba Número Uno :

DUREZA

| | Esperada | Encontrada |
|-----|-----------|------------|
| HBN | 241 - 282 | 262 - 277 |

Prueba Número Dos :

DUREZA

| | Esperada | Encontrada |
|-----|-----------|------------|
| HBN | 241 - 282 | 255 - 277 |

Prueba Número Tres :

DUREZA

| | Esperada | Encontrada |
|-----|-----------|------------|
| HBN | 241 - 262 | 269 - 255 |

Prueba Número Cuatro :

DUREZA

| | Esperada | Encontrada |
|-----|-----------|------------|
| HBN | 241 - 282 | 262-248 |

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Gray and Ductile Iron Founders
Society Inc. Cleveland 1971 pp. 185 - 200
- 2.- Transaction American Foundrymens Society
Vol. 58 , 1950 . pp. 312 - 332
- 3.- Metalcasters Reference and Guide
American Foundrymens Society
Compiled and Edited by Erza L. Kotzin
First edition 1972 pp. 230 - 245
- 4.- Anual Book of ASTM Standars
Standard specification for Gray Iron casting
Vol. 1 A 48 -70 1983 pp. 48 - 70
- 5.- BCIRA Journal Vol 5 A. Fuller 1982 pp. 157-170
- 6.- American Society for Metals
Bower, T.F. ; Granger , D. A. in "Solidification"
Metals Park Ohio . 1971 pp. 385- 370
- 7.- The Propertles of Gray Iron
Edited by Charles F. Walton . 1986 pp. 317 - 323
- 8.- Foote Foundry Facts
Published by Foote Mineral Company
Exton Pena 19341 No. 7 1987 pp. 7 ' 2
- 9.- BCIRA Journal 10 No. 1 W. Oldfield 1962
pp. 17 - 27 . " Chill Reducing Mechanism of Silicon in
Cast Iron "
- 10.- AFS . Elemental Effects on Gray Iron Conference Papers
septiembre 19-20 , 1988 , Chicago, IL. " A Modern Approach
to Alloying Gray Iron " . J.F. Janowak. Climax Molybdenum
Company.