

2. E. No. 3



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

Facultad de Química

TECNICA DE LA INOCULACION EN EL MOLDE USANDO
INOCULANTES CONVENCIONALES Y MATERIALES NUEVOS

TESIS MANCOMUNADA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO METALURGICO

P R E S E N T A N :

Juan Reyes Gómez

Rogaciano Brito Baz



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 esta 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.

S I N O P S I S

La fundición usada es una aleación de hierro-carbono combinada con otros elementos aleantes (Silicio, Manganeso, Fósforo y Azufre), la cuál se clasifica principalmente en cuatro: Blanco, Gris, Nodular y Maleable. No obstante para nuestros fines solamente utilizamos hierro blanco y gris de composición hipoeutéctica.

La aleación hipoeutéctica por contener la menor cantidad de carbono en relación a las demás fundiciones (eutécticas y hipereutécticas), requiere ser sometida al proceso de inoculación, para así promover la formación del grafito y consecuentemente dar origen a una estructura deseada en la pieza fundida. Con tal fin se emplearon una serie de inoculantes convencionales y materiales nuevos usando la técnica de la inoculación en el molde.

La técnica de la inoculación en el molde consiste en colocar el material inoculante en cualquier parte del sistema de alimentación del mismo, solo que para éste caso en particular, se utilizó el material fino (-30 mallas) colocándolo a lo largo de los corredores horizontales: - Los materiales convencionales primeramente utilizados son Inoculoy 63, Inoculín A77-M3, Funco, SMZ, Vulcano 2, Vulcano 3, Inoculín C-78 y Vulcano 4.

Y después apoyados en los resultados de éstos últimos se utilizaron los siguientes materiales nuevos: NaCl, Ca, CaO, CaCO₃, CaF₂, CaCl₂, Al, C_(vegetal), C_(grafito), S, Te, Fe₂O₃, Ni₂(NO₃)₃, Co₂(NO₃)₃, Harina, Fundición gris Yeso y Dextrina.

La evaluación de éstos materiales empleados se realizó sistemáticamente con el estudio de la profundidad de blanqueo, metalografías(Tipo de grafito y Matriz) y conteo de celdas eutécticas, para posteriormente comparar sus efectos inoculantes.

Los materiales que mostraron efectos de inoculación son: Para los convencionales; Inoculoy 63, Inoculín A77-M3, Funco, SMZ, Vulcano 3, Vulcano 2 y Inoculín C-78. Y para los materiales nuevos; Grafito, Fundición gris y Zirconio.

C O N T E N I D O

I. INTRODUCCION

II. FUNDAMENTOS TEORICOS

2.1 Generalidades.

2.2 Diagramas ternarios.

2.3 Breve estudio de la solidificación del hierro gris.

2.3.1 Crecimiento eutéctico.

2.3.2 Crecimiento de la cementita.

2.3.3 Formación de hierro blanco.

2.3.4 Efecto cinético.

2.4 Inoculación.

2.4.1 Teorías de inoculación.

2.4.2 Tipos de inoculación.

2.4.3 Materiales inoculantes.

2.5 Inoculación en el molde.

2.5.1 Factores dependientes en la eficiencia de la inoculación.

2.6 Técnica de la inoculación en el molde.

2.7 Control metalúrgico.

III. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

3.1 Selección de variables.

3.2 Carga.

3.3 Modelo.

3.4 Preparación de moldes de arena en verde

- 3.5 Hornos de inducción.
- 3.6 Inoculantes.
- 3.6.1 Adición de inoculantes.
- 3.7 Materiales nuevos.
- 3.8 Procedimiento de fusión.
- 3.9 Ensayo de templabilidad.
- 3.10 Técnica metalográfica para los hierros grises.
- 3.10.1 Conteo de celdas eutécticas.

IV RESULTADOS.

- 4.1 Introducción.
- 4.2 Medición de la profundidad de blanqueo de inoculantes convencionales.
- 4.3 Microestructuras de las fundiciones.
- 4.4 Conteo de celdas eutécticas.
- 4.5 Introducción al uso de materiales nuevos.
- 4.5.1 Medición de la profundidad de blanqueo.

V. DISCUSION

- 5.1. Selección de variables.
- 5.2 Carga.
- 5.3 Modelo.
- 5.4 Inoculantes convencionales.
- 5.5 Materiales nuevos.

VI. CONCLUSIONES.

BIBLIOGRAFIA.

I. INTRODUCCION

INTRODUCCION

La necesidad de utilizar piezas con buenas propiedades mecánicas en la industria, requieren del uso de inoculantes efectivos, así como de un buen control de las variables de operación, sin las cuales no es posible obtener resultados satisfactorios.

El modelo empleado presenta la ventaja de usar un mismo líquido metálico, para distintos % de inoculantes , bajo las mismas condiciones experimentales.

La finalidad de éste trabajo es el de hacer una evaluación de los inoculantes convencionales, trabajando en un rango específico de composición, utilizando para ello el método de inoculación en el molde. Además se estudia el efecto de la temperatura de colada y el porcentaje en peso del inoculante empleado. Cada una de las fundiciones, se realizó bajo las mismas condiciones experimentales.

La evaluación consiste en hacer un estudio comparativo de la profundidad de blanqueo, microestructura (tipo de grafito y matriz) y conteo de celdas eutécticas, entre los distintos inoculantes convencionales, para posteriormente determinar la efectividad de ellos.

En base a los resultados obtenidos, son fijadas las condiciones en las cuales son hechas las fundiciones de los nuevos materiales, para poder observar su efecto inoculante.

II. FUNDAMENTOS TEORICOS

2.1 GENERALIDADES.

Una fundición es una aleación hierro-carbono que puede contener aproximadamente de 2 a 6 % de carbono. Sin embargo los contenidos de carbono más usuales son de 3 a 4 %, de hierro 92% y el resto de otros elementos aleantes (silicio, manganeso, fósforo y azufre).

La fundición se obtiene al vertir la aleación líquida dentro de la cavidad del molde con buenas propiedades estables, de tal manera que se obtenga el molde de di mensiones precisas, al solidificar la aleación.

Los hierros se clasifican principalmente en cuatro: blanco, gris, nodular y maleable. No obstante para nuestros fines sólo utilizaremos hierro blanco y gris.

Los hierros blancos se caracterizan por el aspecto de su fractura color blanco, debido a que su enfriamiento sigue el diagrama hierro-carbono metaestable. Los constituyentes de ésta fundición son:

HIPOEUTECTICOS:

ledeburita + perlita + cementita proeutectoide

HIPEREUTECTICOS:

ledeburita + cementita primaria

Los hierros grises contienen la mayoría de su carbono bajo la forma de hojuelas de grafito, lo que da origen a una fractura color gris. La solidificación de ésta se lleva a cabo según el diagrama hierro-carbono estable. Por lo que sus constituyentes son básicamente tres:

grafito + perlita + cementita ó ferrita

2.2 DIAGRAMAS TERNARIOS.

Es fundamental conocer los diagramas ternarios⁽¹⁾ para explicar la solidificación de los hierros, los cuales dan información de las fases presentes a distintas temperaturas y composiciones. La representación de un diagrama ternario puede hacerse en dos dimensiones, si fijamos la presión y temperatura, quedando como variable la composición. En este caso se utiliza el método triangular fig. 1. En el que cada vértice representa el 100 % de un componente mientras que la base opuesta al vértice es el 0 % de él. Las líneas paralelas a la base indican porcentajes variables. Las posibles composiciones de los tres componentes, es cualquier punto en el interior del triángulo.

En el caso de tener también a la temperatura como variable nos lleva al uso de diagramas ternarios fig. 2. El cuál consiste de un conjunto de superficies curvas, cuyos puntos corresponden a los diversos equilibrios durante el enfriamiento, estos puntos están contenidos en el interior de un prisma recto triangular cuyas caras contienen los tres diagramas de equilibrio binarios. Debido a lo complejo y dificultoso de visualizar los diagramas ternarios, es más usual presentar pseudodiagramas de fases ⁽²⁾, como muestra la fig. 3.

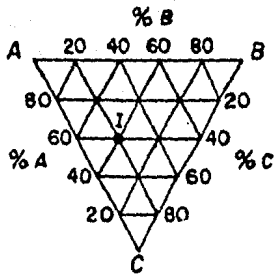


FIG. 1 METODO TRIANGULAR

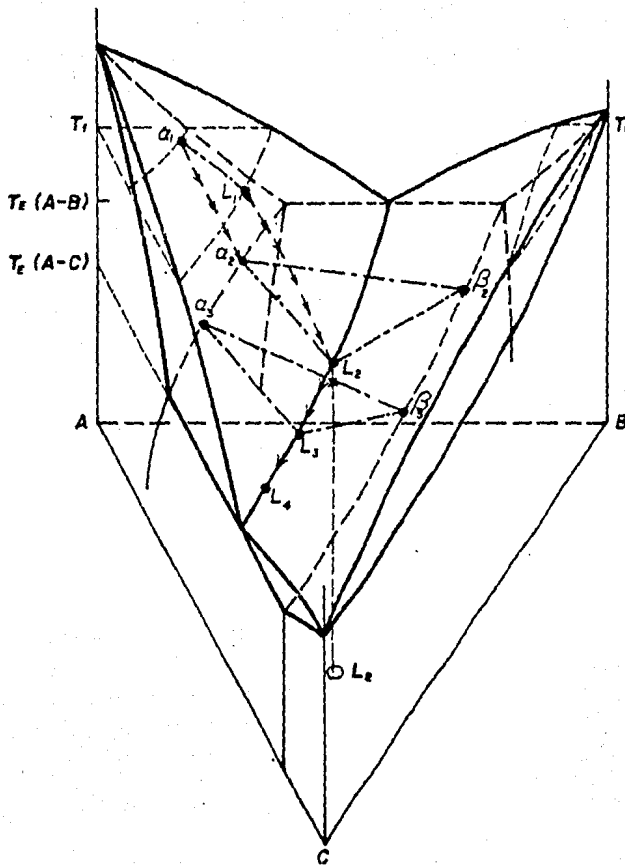


FIG. 2 DIAGRAMA DE FASES TERNARIOS

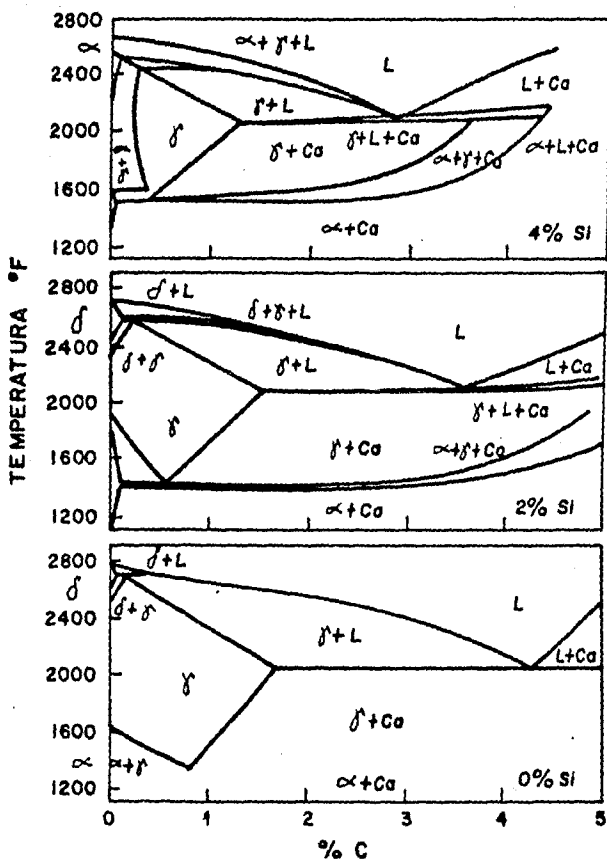


FIG. 3 DIFERENTES SECCIONES DE UN DIAGRAMA TERNARIO Fe-C-Si. REPRESENTANDO UN SEUDODIAGRAMA DE FASES.

2.3 BREVE ESTUDIO DE LA SOLIDIFICACION DE HIERROS GRISES

El mecanismo de solidificación⁽³⁾, se inicia con la formación de embriones, aquellos que alcanzan un radio mayor al crítico se convierten en núcleos y siguen su crecimiento hasta la temperatura final de solidificación.

Con ayuda de la gráfica de temperatura contra velocidad de enfriamiento (fig. 4), tenemos que a una R_3 existirá pocos núcleos creciendo lentamente, mientras que para una R_4 , hay mayor cantidad de núcleos creciendo rápidamente. Ahora bien sí para el caso anterior aumentamos el tiempo de permanencia, el número de núcleos disminuirá en ambos casos. Así la temperatura de R_4 disminuirá a R_1 antes de la solidificación final, de lo que podemos concluir que la nucleación es incrementada al aumentar la velocidad de enfriamiento.

Es importante mencionar que un cambio en la composición del hierro causará cambios en el subenfriamiento modificando la velocidad de enfriamiento.

Una vez establecido el mecanismo de solidificación de los hierros grises, es necesario estudiar la solidificación de los constituyentes por separado como se enuncia a continuación.

En el trabajo realizado por Hultgren et al.⁽⁴⁾ argumentan la formación de hojuelas y estructuras de grafito a partir de la aleación líquida, en base a la cinética de reacción de solidificación.

A través de un estudio comparativo de las curvas de

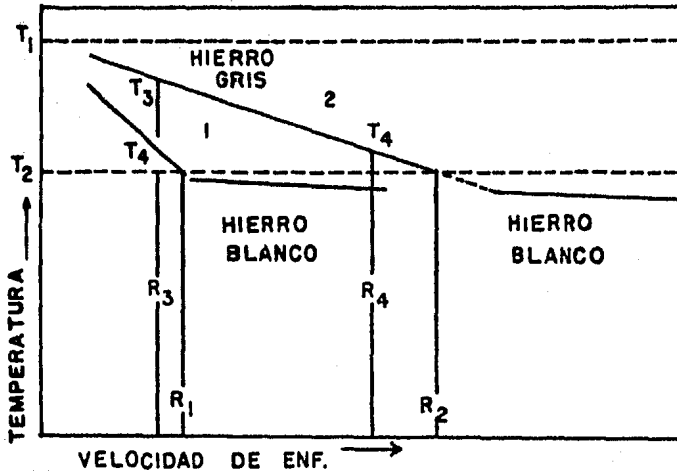


FIG.4 INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD ENFRIAMIENTO EN LA SOLIDIFICACION DE HIERROS GRISES

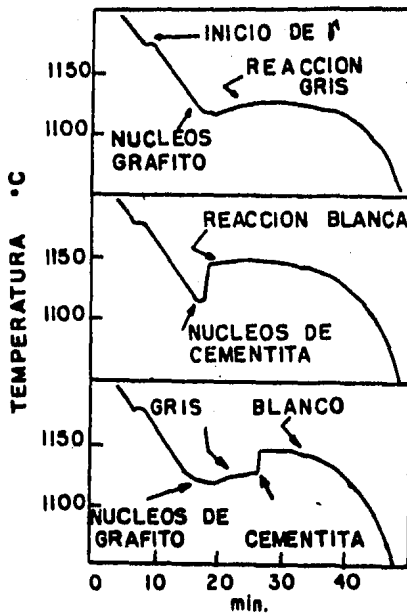


FIG.5 CURVAS DE ENFRIAMIENTO DE HIERRO GRIS, BLANCO Y MOTEADO

enfriamiento de los hierros: gris, blanco y moteado(fig. 5) se muestra que los diferentes comportamientos cinéticos son motivo de la marcada diferencia en la pendiente(línea de líquidus).

Se concluye que cada hierro tiene una velocidad crítica abajo de la cuál solidifica completamente gris y en el caso contrario será blanco, mientras que entre estas dos velocidades encontramos la zona moteada.

2.3.1 CRECIMIENTO EUTECTICO.

Una característica de la solidificación de los hierros en el crecimiento eutéctico, es la formación de sólidos eutécticos, a partir del líquido interdendrítico⁽⁴⁾. Mientras que otras investigaciones ⁽⁵⁾ afirman que la nucleación de grafito no ocurre en los brazos de la dendrita austenita, sino que se lleva a cabo de una manera indefinida.

Los nucleos eutécticos de grafito formados, presentan un crecimiento frontal facetado-no facetado, dando origen a estructuras irregulares. Por ejemplo, el crecimiento de una celda eutéctica gris(fig. 6), bajo condiciones de enfriamiento lento es demostrada por un temple rápido.

Cada hojuela de grafito puede desarrollarse dentro de una celda eutéctica, de una forma multidireccional en una estructura de dos fases interconectadas, no importan

do la orientación cristalina del grafito. Su estructura eutéctica es semejante a la estructura eutéctica normal llevada a cabo por un proceso altamente cooperativo, - logrando un incremento en el grosor del grafito durante el subenfriamiento. Por lo que el grafito no es capaz - de cooperar con la austenita en el transcurso de la solidificación eutéctica, motivo por el cuál no involucra un proceso totalmente de difusión, como establece la - teoría de Zener ⁽⁴⁾.

2.3.2 CRECIMIENTO DE LA CEMENTITA.

Este crecimiento se lleva a cabo por medio de - placas, las cuales son originadas por una velocidad de enfriamiento rápida, presentando una forma alternada de austenita-cementita ⁽⁴⁾, con una orientación preferen - cial.

Es importante mencionar que las características físicas de la cementita, no tienen efecto directo a lo largo del crecimiento de sus placas.

En la fig. 7, se muestra la estructura de dos - fases donde las placas de cementita presentan un creci miento a lo largo, más rápido que el lateral para la - cementita-austenita, debido a que se efectua en la di - rección del gradiente de temperatura.

2.3.3 FORMACION DE HIERRO BLANCO.

La formación de hierro blanco ⁽⁴⁾ durante la soli

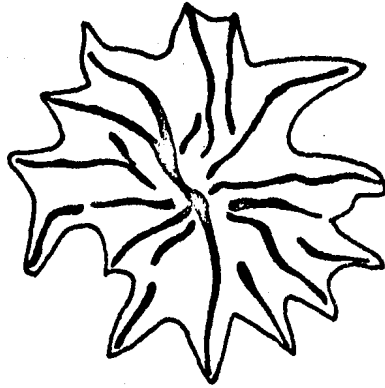


FIG. 6 CELDA EUTECTICA DURANTE LA SOLIDIFICACION DE UN HIERRO GRIS.

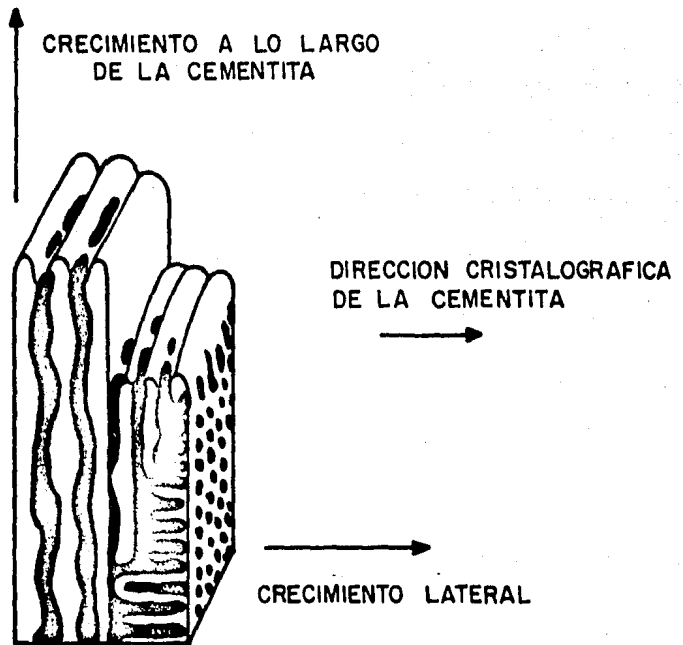


FIG. 7 FORMACION DE LA ESTRUCTURA EUTECTICA, DONDE LA FASE NEGRA ES AUSTENITA Y LA FASE BLANCA CEMENTITA.

dificación de una aleación líquida de hierro, la cuál se altera por los siguientes factores:

I.- La susceptibilidad del hierro a subenfriarse abajo de la temperatura de equilibrio eutéctico Fe-C.

II.- Modificando la composición química.

Si el hierro es sobrecalentado o el tiempo de permanencia es grande antes de colar causará subenfriamiento con tendencia a solidificar blanco.

2.3.4. EFECTO CINETICO.

En el estudio realizado por Bunin et al.^(4,5) a partir de curvas de enfriamiento, se realizaron diagramas de transformación, graficando temperatura contra velocidad de crecimiento ($1/v$) fig. 8, observando la existencia de una interacción al obtener una estructura gris-blancá (moteada) aproximadamente a una velocidad de crecimiento igual a 10^{-4} cm/seg. y una estructura gris a bajas velocidades de crecimiento.

Sin embargo en hierros grises en presencia de silicio y níquel se obtiene la estructura moteada a una velocidad de crecimiento igual a $1/40$ cm/seg.

En el diagrama de transformación de la fig. 9 se puede explicar un cambio en la estructura, al aumentar la velocidad de crecimiento. Mientras la formación de austenita es realizado a bajas temperaturas con velocidades de crecimiento mayores a la formación de hojuelas de grafito.

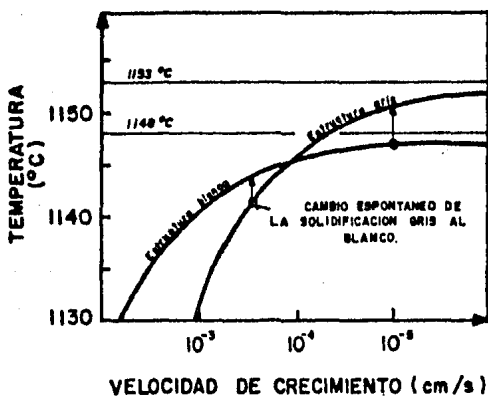


FIG. 8. DIAGRAMA DE TEMPERATURA CONTRA VELOCIDAD DE CRECIMIENTO

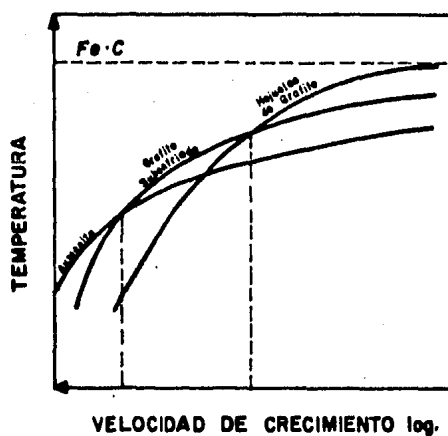


FIG. 9 DIAGRAMA DE VELOCIDAD DE CRECIMIENTO CONTRA TEMPERATURA PARA UN HIERRO GRIS.

2.4 INOCULACIÓN

La inoculación^(6,7), es la adición de pequeñas cantidades de materiales sólidos en la aleación líquida con el objeto de mejorar sus propiedades físicas y mecánicas.

Por lo consiguiente el inoculante debe ser una substancia casi insoluble, de baja densidad, provocando en el hierro un aumento en el potencial de germinación grafítica minimizando el subenfriamiento y modificando la estructura. Estos cambios son bien conocidos, no así su comportamiento en la aleación líquida, provocando que la inoculación no --- pueda ser explicada en base a un cambio de composición.

Es importante hacer notar que la germinación grafítica de la aleación líquida no inoculada, para una velocidad de enfriamiento dependerá de la composición química disminuyendo a elevadas temperaturas.

Ahora bien los principales efectos inoculantes son - (6,7,8):

- 1.- La solidificación se lleva a cabo en el sistema estable hierro - carbono.
- 2.- La conservación de un bajo carbono equivalente.
- 3.- Buen grafitizante, aumenta el número de celdas eutécticas, mejorando así sus propiedades mecánicas.
- 4.- Evitan la zona moteada y blanca.
- 5.- No presentan grafito subenfriado en piezas de gran es-

pesor.

6.- Hay homogeneidad de la estructura del grafito en las celdas eutécticas.

7.- No alteran la composición química.

8.- Reduce la sensibilidad al blanqueo, en distintos espesores de la pieza moldeada.

2.4.1 TEORIAS DE INOCULACION.

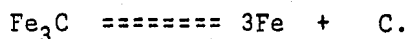
Las teorías que rigen la inoculación son básicamente las que se enlistan a continuación.

Teoría de origen del grafito⁽⁹⁾: El origen del grafito en los hierros grises, involucra cambios en un gran número de variables, motivo por el cuál no existe una teoría general que la pueda explicar.

Sin embargo hay dos mecanismos, que tratan de demostrar esta teoría.

1.- Mecanismo directo, asume que el grafito es formado durante la solidificación, por el proceso de nucleación y crecimiento a partir del estado líquido.

2.- El segundo mecanismo propuesto, considera que la ledeburita formada durante la solidificación eutéctica sufre una descomposición, en el cuál el Fe_3C de la ledeburita se descompone en Fe y C, de acuerdo a la velocidad de reacción de la siguiente ecuación:



Teoría de núcleos de grafito: Inicialmente propuesta por Piowasky⁽¹⁰⁾ para explicar la nucleación del grafito-austenita, la cuál establece que el grafito actuará como núcleo en la aleación líquida al inicio de la grafitización. Siendo función principal de la temperatura de permanencia y sobrecalentamiento.

Teoría de la desgasificación⁽¹¹⁾: Se basa en las reacciones que ocurren entre los inoculantes y gases disueltos y/o combinados químicamente (oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, etc.), teniendo dos casos:

I.- Eliminación de los gases que promueven la formación del hierro blanco.

II.- Formación de inclusiones que actúan como núcleos.

Teoría de silicatos: Von Keil⁽¹²⁾ y sus colaboradores establecen la formación de inclusiones submicroscópicas de silicatos ferrosos, los cuales actúan como núcleos grafitizantes.

Debido a la presencia del silicato ferroso en el arrabio, Boyles⁽¹¹⁾ discute las teorías de piowasky, desgasificación y von keil, concluyendo que la acción de los inoculantes sobre la estructura es debido a factores físicos y químicos.

Massery⁽¹³⁾ y Eash⁽¹⁴⁾, postulan que el efecto de FeSi en altas concentraciones, reduce la solubilidad del carbono, moviendo la composición eutéctica a la derecha ---

(diagrama estable Fe-C), dando como resultado núcleos de grafito en la aleación líquida.

Netes⁽¹⁵⁾ e Izmailov⁽¹⁶⁾ asumen que el grafito no se disuelve átomo por átomo sino en partículas, las cuales actúan como núcleos temporales durante la solidificación del hierro.

Norbury y Morgan⁽¹⁷⁾ explican los efectos de Ti y CO₂ en base a la naturaleza química de las inclusiones sólidas en la aleación líquida, provocando así núcleos para grafito.

Lakeland⁽¹⁸⁾ propuso a la austenita como nucleante en la grafitización, basándose en un experimento de 100 - muestras, en el cual es controlado el crecimiento de hojuelas de grafito, observando que la presencia de austenita es precedida por el crecimiento de austenita-grafito en hierros hipoeutécticos.

Lux⁽¹⁹⁾ discute en base a la naturaleza de la nucleación homogénea y heterogénea de los elementos del grupo I, II, III A de la tabla periódica, los cuales forman carburos alcalinos del tipo CaC₂, presentando un enlace iónico en la aleación líquida, concluyendo que éstos carburos alcalinos pueden actuar como núcleos heterogéneos efectivos, para la formación de grafito.

Muzumdar y Wallace^(11,20) establecen que los sulfuros actúan como sustratos en la nucleación del grafito,

en presencia de manganeso, dando origen a sulfuros de bario, estroncio, cerio y calcio.

2.4.2 TIPOS DE INOCULACION.

INOCULACION EN LA OLLA: Este método consiste en adicionar el inoculante en la olla de colada, a una temperatura entre $1450-1550^{\circ}\text{C}$. La adición del inoculante presenta dificultades en la manipulación de la olla, provocando un lapso de tiempo antes de llevar a cabo la inoculación, con riesgo a producir blanqueo en algunas piezas⁽²¹⁾.

INOCULACION TARDIA: La mayoría de los problemas que presenta la inoculación en la olla son reducidos por la inoculación tardía⁽²¹⁾, donde el tiempo de decaimiento y las estructuras de blanqueo disminuyen. Por lo cual podemos decir, que éste tipo de inoculación es un complemento al método anterior, haciéndolo más efectivo.

El avance potencial de la inoculación posterior hace posible fabricar secciones grises delgadas libres de blanqueo.

La inoculación tardía se divide en dos:

1^o **INOCULACION EN EL FLUJO:** Esta técnica de inoculación involucra la adición del inoculante en el flujo de colada, donde las turbulencias son adecuadas para mezclarlo uniformemente en toda la aleación líquida. Este método a su vez se subdivide en dos:

a).- INOCULACION DE CALIDAD CONTROLADA⁽²²⁾: Consiste en adicionar un alambre de manera continua, en el flujo de colada. Dicho alambre en su parte interior contiene el inoculante y es pasado a través de un tubo guía hacia la copa de colada.

b).- INOCULACION EN EL FLUJO CON POLVO BCIRA^(21, 22): Este método fué desarrollado por BCIRA, en el cuál el inoculante es un polvo grueso de 1.5 mm, el cuál se inyecta con aire en un tiempo de 0.1 segundos directamente en el flujo de colada.

2º INOCULACION EN EL MOLDE^(6,7,21): Es la adición del inoculante en la cavidad del molde, usualmente en el sistema de corredores, donde el peso seleccionado debe encontrarse de 0.05 a 0.8 % en peso.

Otras características importantes que debe cumplir el inoculante son la granulometría y forma, para promover una distribución uniforme durante la colada.

2.4.3 MATERIALES INOCULANTES.

Varios inoculantes convencionales se basan en carbono o aleaciones ricas en silicio(generalmente Fe-Si de 75 a 45 %). En algunos casos, las tierras alcalinas y raras - funcionan como buenos inoculantes, sin embargo no es práctico usar estos materiales en forma elemental.

ELEMENTOS CARBONOSOS⁽²³⁾: El carbono para producir efectos

inoculantes debe de consistir de grafito altamente cristalino, en la práctica, los materiales adecuados consisten de grafito natural o alternadamente combinados con chatarra, electrodos de grafito, coques de petroleo ó metalúrgicos, etc.

Carbones de buenas propiedades inoculantes son mezclados con Fe-Si de alta pureza, para propósitos especiales son agregadas pequeñas cantidades de titanio y siliciuro de circonio.

INOCULANTES DE ALTO SILICIO⁽²⁰⁾: Estos materiales contienen elementos tales como aluminio, calcio, circonio, bario, titanio, magnesio, cesio u otros elementos de tierras raras, dependiendo su poder inoculante de la presencia de elementos residuales, presentando propiedades adecuadas a excepción del siliciuro de calcio y Fe-Si altamente puro.

2.5 INOCULACION EN EL MOLDE.

Una vez tratada la inoculación de una manera general podemos introducirnos al estudio de la inoculación en el molde de una manera más amplia^(24,25).

2.5.1 FACTORES DEPENDIENTES SOBRE LA EFICIENCIA DE LA INOCULACION.

TRATAMIENTO DE INOCULACION: Los conocimientos de los tratamientos de inoculación son basicamente empíricos y depen---

den del tipo de inoculante, aleación líquida y el método aplicado.

Ahora bien para obtener resultados satisfactorios es conveniente seleccionar el material de carga, tratamiento metalúrgico, control de temperatura y proceso.

INFLUENCIA DE LA FUSION: Este factor depende de la composición global de la carga, tipo de fusión y temperatura de sobrecalentamiento.

El objetivo principal de la fusión en la carga es compensar, las variaciones de composición sobre la estructura y propiedades de la fundición.

Las ventajas de usar hornos de inducción son controlar la contaminación del aire, obtener altas temperaturas de fusión, grandes tiempos de permanencias, mientras que sus desventajas son la disminución de la nucleación e incrementar la tendencia al blanqueo. (26)

INFLUENCIA DE LOS INOCULANTES: En ellos intervienen distintos factores, los cuales se discutirán a continuación.

1^o COMPOSICION (23).

SILICIO: Incrementa la fluidez y tienen efectos sobre la fundición, moviendo la composición eutéctica hacia la derecha aproximadamente 0.3% C por cada 1 % Si. Esto se observa debido a la disminución del subenfriamiento que ocasiona el silicio, como se muestra en la fig. 10 y 11, donde ΔT es la diferencia de temperaturas de formación de grafito.

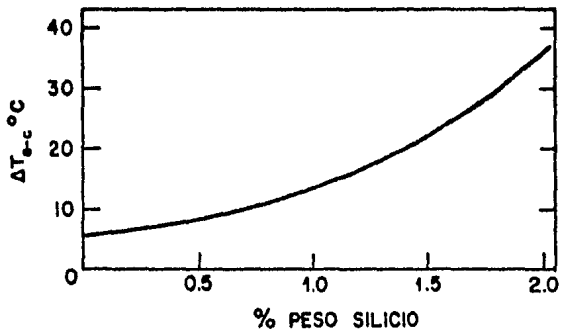


FIG. 10 GRAFICA DEMOSTRANDO EL EFECTO DEL SUBENFRIAMIENTO CON RESPECTO A LA VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO.

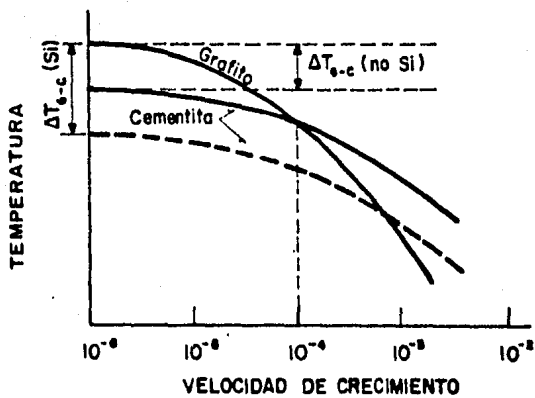


FIG. 11 EFECTO DEL SILICIO SOBRE EL SUBENFRIAMIENTO CON RESPECTO A LA VELOCIDAD DE CRECIMIENTO

AZUFRE: Favorece la tendencia al hierro blanco, reacciona con el fierro, obteniendo un compuesto de bajo punto de fusión(FeS), presentando capas interdendríticas disminuyendo la fluidez y suele causar cavidades en ciertos rangos de composición. Proporciona un mejor sustrato sobre el cuál el grafito nucleará, produciendo hojuelas de grafito más gruesas e incrementando la densidad de las celdas.

MANGANESO: Tiene mayor afinidad por el asufre que por el fierro, en el rango de 0.3 a 0.2 % de asufre proporciona mayor sustrato al grafito provocando así baja profundidad de blanqueo y mayor número de celdas eutécticas.

FOSFORO: En contenidos mayores de 0.2 %, produce esteadita y microporosidad, haciendo la estructura frágil.

CARBUROS: Los carburos de los grupos metálicos I,II, III y IV , incrementan la fluidez y el número de nucleos insolubles en la aleación líquida, facilitando la nucleación heterogénea del grafito.

CALCIO: En proporciones pequeñas mejora la profundidad de blanqueo, afinando el grano y aumentando la resistencia a la tracción.

ELEMENTOS RESIDUALES(27): Su importancia radica en determinar los defectos que pueden ocasionar a la fundición gris. Por ejemplo, pequeñas trazas de plomo de 0.003 % causan una baja en las propiedades mecánicas, debido al

incremento de grafito en las placas widmanstatten, el mecanismo de formación de ésta estructura no es bien conocido y difícil de realizar en secciones delgadas. Así también, las trazas de telurio de 0.005 %, forman mallas de grafito, fragilizando las piezas.

2ª CANTIDAD⁽²³⁾.

Para tener buena eficiencia del inoculante se recomienda utilizar pequeñas cantidades, dependiendo del tipo y método de aplicación variando de 0.05 a 0.8 % en peso.

La adición alcanza máxima eficiencia a una temperatura arriba de la reducción del silicio.

3ª DECAIMIENTO⁽²⁸⁾

Dado que el decaimiento consiste en la disminución del potencial de germinación del grafito con respecto al tiempo, los fundidores tienden a contrarrestar éste efecto con una adición mayor de inoculante ó por medio de inoculantes que inhiban la velocidad de decaimiento.

La disminución del decaimiento ocurre dentro de -- cualquier cambio en la composición de la aleación líquida y velocidad de decaimiento, siguiendo el comportamiento -- de una curva exponencial, donde la máxima velocidad de decaimiento se efectúa inmediatamente después del contacto del inoculante con la aleación líquida.

Los efectos del decaimiento pueden resumirse como sigue:

a.- A menor decaimiento el número de celdas eutécticas au

mentará.

b.- Obtener celdas eutécticas grandes y decaer rápidamente en los primeros minutos de permanencia.

42 FORMA⁽²³⁾.

La forma del inoculante es importante para lograr una distribución rápida y uniforme en la aleación líquida.

Las distintas formas utilizadas son: pelets, briquetas, tabletas, gránulos, trozos finos o inserciones compactas, no porosas y de grano redondos.

2.6 TECNICA DE LA INOCULACION EN EL MOLDE.

I.- Colocación del inoculante en la copa de colada.

II.- Colocación del inoculante en los corredores del molde.

III.- Colocación del inoculante en los sistemas de alimentación denominados de paso, por ejemplo, machos.

La diferencia que existe entre ellos es el lugar donde es colocado el inoculante; por su parte el inoculante debe cumplir la condición de no desprender gases en el momento de entrar en contacto con la aleación líquida.

EFFECTO DE LA INOCULACION EN LA ESTRUCTURA.⁽¹¹⁾

El efecto producido por el inoculante en la estructura puede ser considerado en gráficas de T vs t , tomando en cuenta un modelo patrón de hierros no inoculados, a distintas velocidades de enfriamiento con distintos rangos

de temperatura fig. 24, a partir de la temperatura de colada.

En estas mismas gráficas se puede hacer la representación de la zona de formación de grafito ó hierro blanco. Por el hecho de que la formación de hojuelas de grafito no ocurre de una manera instantanea, sino que requiere de un tiempo finito llamado tiempo de incubación, siendo función de la velocidad de enfriamiento y del tiempo de transformación.

Es importante hacer notar que ésta zona de formación es un comportamiento aproximado de la realidad y no debe tomarse de una manera precisa.

Ahora bién, si para las mismas condiciones anteriores, variamos la composición, podemos observar que para el hierro de bajo carbono se tendrá una zona de formación muy pequeña(fig. 13 A) y en piezas inoculadas se observa que la zona de formación aumenta, a medida que se incrementa el carbono y silicio, por lo tanto el efecto de inoculación será menos requerido como se ve en las figs. 13 B y C.

2.7 CONTROL METALURGICO.

Para poder hacer una evaluación de los efectos inoculantes, es necesario comparar una pieza antes y otra después del tratamiento de inoculación, relacionando el

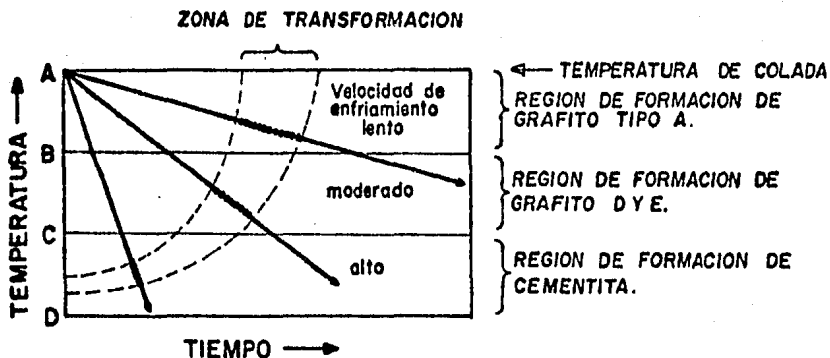


FIG. 12 REPRESENTACION DE LA ZONA DE TRANSFORMACION DEL GRAFITO A DISTINTAS VELOCIDADES DE ENFRIAMIENTO.

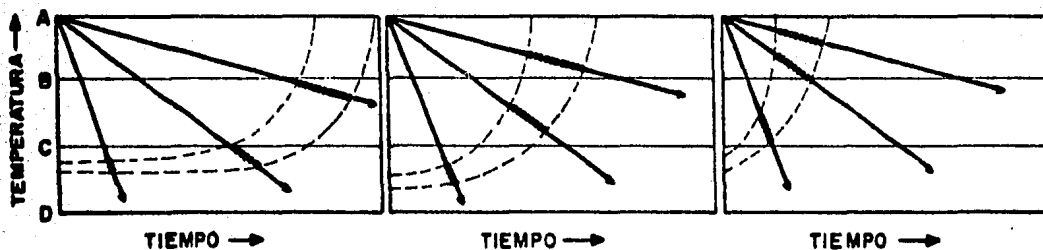


FIG. A. BAJO CARBURO Y SILICIO B. MEDIO CARBURO Y SILICIO C. ALTO CARBURO Y SILICIO

FIG. 13. EFECTO DE LA INOCULACION PARA DISTINTAS COMPOSICIONES DE LOS HIERROS.

espesor y profundidad de blanqueo con ayuda de un control metalúrgico(28), el cuál consiste en la obtención de gráficas de:

- A.- Número de celdas eutécticas contra tamaño de sección.
- B.- Número de celdas eutécticas contra cantidad de inoculante.

Debido a que la velocidad de enfriamiento es distinta para las cuñas se debe descartar una comparación de propiedades mecánicas por ejemplo; tensión, dureza, etc. ya que las propiedades mecánicas van a depender de la estructura grafito-austenita. Por lo tanto es necesario conocer no solo la clasificación de estructuras de grafito por cartas de la ASTM, sino también la clasificación de estructuras dendríticas, las cuales se dividen en tres grupos, en base a la temperatura eutéctica y conteo de celdas eutécticas.

Las secciones delgadas muestran tipo de dendritas I y II, causadas por corto periodo de incubación a muy altas temperaturas. Y a bajas temperaturas dendritas tipo III, debido al grafito asociado con las dendritas a causa de la solubilidad de la austenita.

III. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

3.1 SELECCION DE VARIABLES.

El uso de elementos que promueven la formación de grafito a partir de la aleación líquida, de composición de finida, nos lleva a establecer todas aquellas variables - que influyen en los efectos de la inoculación.

Esto se hace con el fin de que cada una de las fundiciones, se realice bajo las mismas condiciones experimentales. De tal manera que los resultados obtenidos, puedan ser comparados y discutidos, en forma adecuada.

3.2 CARGA.

La materia prima consiste de barras de acero 1018 - de una pulgada de diametro y lingotes de arrabio.

El peso total de la carga, se ajusto de acuerdo a la capacidad del horno que es de 10 Kg. El análisis de los materiales así como el de la fundición se muestran en la tabla I.

Además, se seleccionó un carbón equivalente igual a 2.8 con el propósito de mantener la composición constante en todas las fundiciones, para lo cuál se hizo un balance de la carga, dando como resultado el empleo de 2.85 Kg de acero 1018 y 7.15 Kg de arrabio.

TABLA I. ANALISIS TIPICO DE LA CARGA Y
FUNDICION

MATERIAL	%C	%Si	%Mn	%P	%S
ARRABIO	3.88	1.55	0.69	0.05	0.06
ACERO 1018	0.22	0.85	0.98	0.06	0.019
FUNDICION	2.42	1.37	0.70	0.06	0.070

TABLA II. PORCENTAJES DE MATERIALES UTILIZADOS
EN LA PREPARACION DE LA ARENA.

HUMEDAD	5%
BENTONITA SODICA	5%
BENTONITA CALCICA	3%
CARBON MARINO	2%
ARENA SILICA	85%

3.3 MODELO.

Se trabajó con un modelo metálico de aluminio, para la producción de moldes de arena en verde.

Este modelo de tipo permanente, consiste de cuatro cuñas, cuatro corredores horizontales, un corredor vertical y una copa de colada, mostrado en las figuras 13 y 14 la forma y dimensiones de que consta.

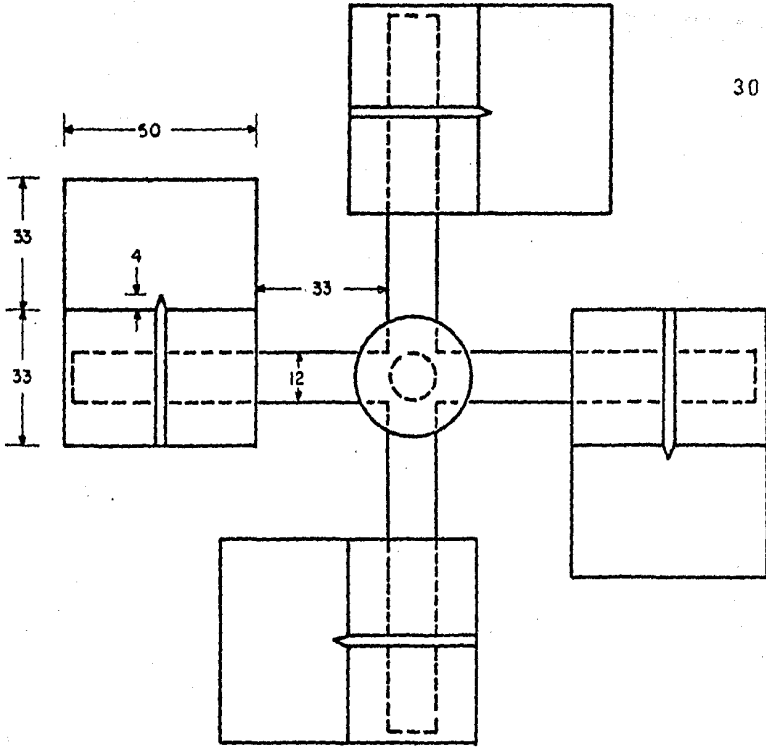
La relación de dimensiones, para el buen funcionamiento del modelo para hierro gris, de corredor vertical--corredor horizontal-copa de colada es respectivamente - 4: 4: 1.

3.4 PREPARACION DE MOLDES DE ARENA EN VERDE.

La arena empleada en la preparación de los moldes es básicamente del tipo sílico, con tamaño de grano grueso (granulometría 30/45) y forma redondeada.

La preparación de la arena se realizó en un molino chileno (capacidad 100 Kg), donde inicialmente es mezclada en seco, junto con aditivos y aglutinantes aproximadamente un tiempo de 10 minutos y posteriormente en estado húmedo por un tiempo de 20 minutos, la tabla II muestra los porcentajes requeridos de cada uno de ellos.

La producción de moldes se realizó en forma manual, en cajas de moldeo de madera, las cuales consisten de las partes superior e inferior. Las etapas básicas de produc-



VISTA SUPERIOR

ESCALA 1:0.75

ACOTACION: mm

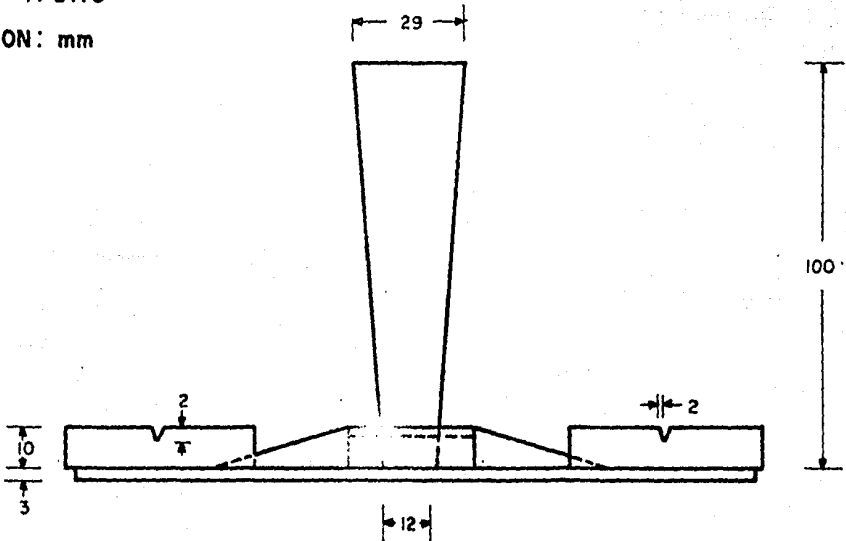


FIG.13 VISTA VERTICAL

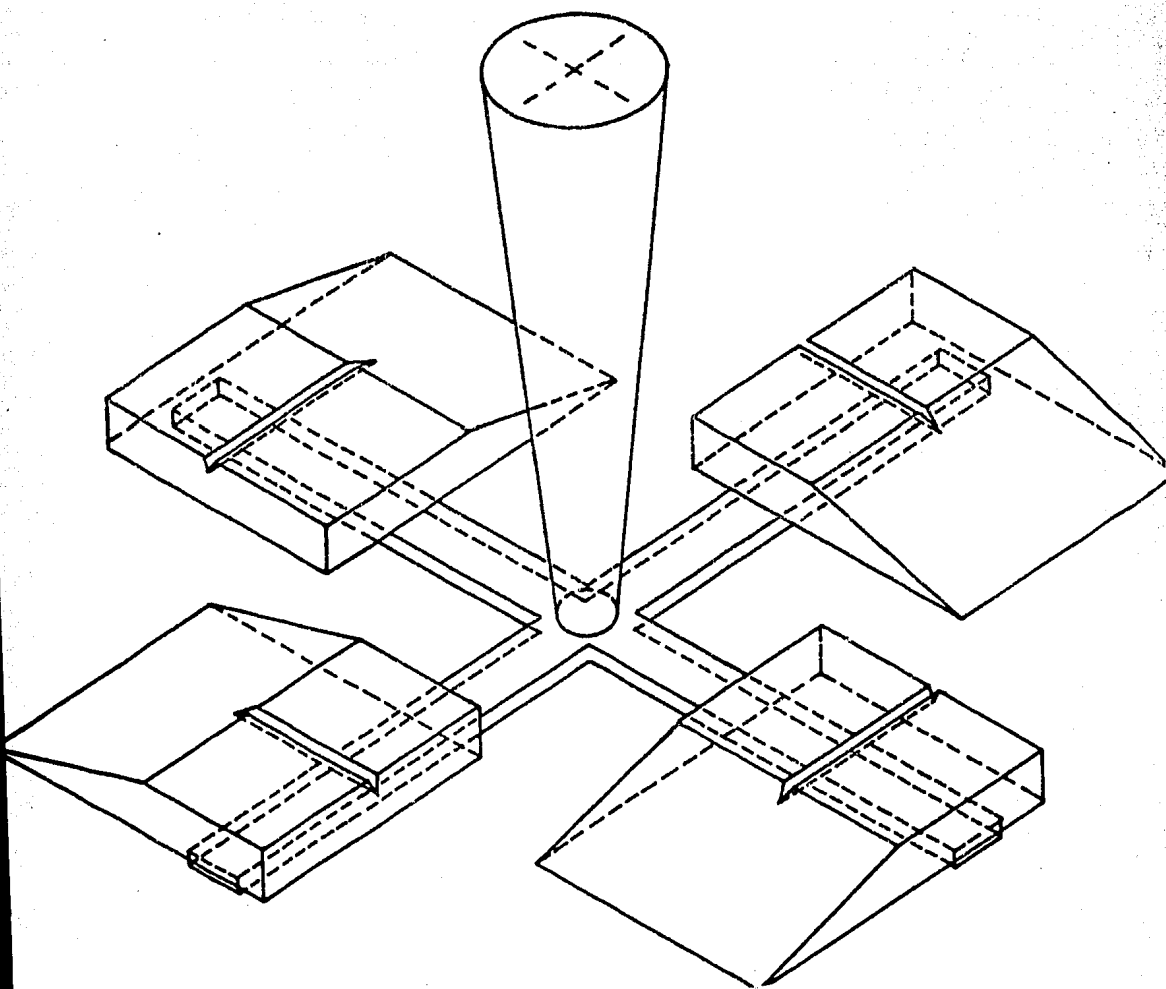


FIG. 14 ISOMETRICO

ción son enlistadas a continuación(30):

1ª Inicialmente el modelo es colocado junto con la caja de moldeo como muestra la figura 15 A.

2ª Inmediatamente después se toma el tamiz y se criba arena hasta tapar completamente el modelo, para dar un mejor acabado a la pieza fundida, como muestra la figura 15 B.

3ª Posteriormente se agrega arena alrededor de todo el modelo y se empieza apisonar primeramente con la punta del pisón en el contorno de la caja y después con la base del pisón el resto de la arena, repitiendo el método hasta llenar la caja de moldeo, ver figura 15 C. Es importante señalar que la arena debe apisonarse firmemente alrededor del modelo, para dar una buena impresión del mismo, así como tener buena permeabilidad a los gases formados durante la colada.

4ª El exceso de arena sobre la caja es eliminada por medio de una barra de madera figura 15 D, presionando la barra con las paredes de la caja de madera.

5ª Finalmente se quitan los tornillos que sujetan la caja de moldeo y el modelo, para posteriormente separar uno de otro.

3.5 HORNOS DE INDUCCION.

Las fundiciones se llevaron a cabo en la Facultad de Ingeniería, en el horno de inducción de alta frecuencia

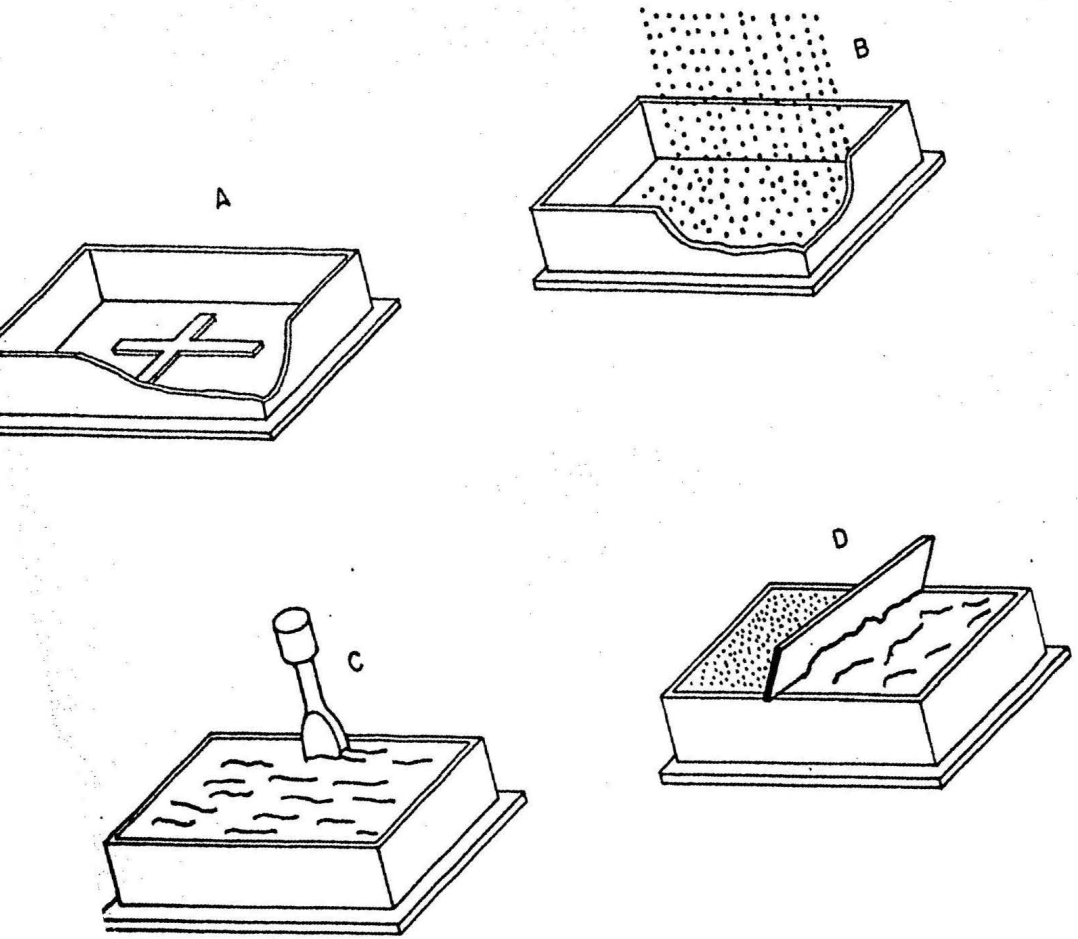


FIG. 15 SECUENCIA DE LA PREPARACION DE LOS MOLDES DE ARENA. A) CAJA DE MOLDEO Y MODELO INFERIOR. B) CRIBADO C) PISON Y D) BARRA NIVELADORA.

(fig. 16). Sus características principales son⁽³¹⁾:

Marca AJAX MAGNETHERMIC CO. de 30 KW, de capacidad de generación nominal, con 400 volts, en las terminales de salida, que proporcionan una frecuencia de 4200 Hz.

El horno en sí consiste de : una unidad motogeneradora de energía eléctrica de alta frecuencia y dos crisoles además del conjunto de elementos de protección y acoplamiento.

Dadas las condiciones de trabajo, fué necesario emplear en el crisol del horno, un refractario inerte(ZIRCON 717-D), para una mayor duración y protección de la bobina.

Las temperaturas fueron medidas con un termopar electrónico de puntas de inmersión(fig. 17), con las características de registrar inmediata y exactamente, la temperatura de la aleación líquida.

El tiempo de operación del horno es de aproximadamente dos horas.

3.6 INOCULANTES.

Se emplearon una serie de inoculantes convencionales, con el fin de establecer las condiciones bajo las cuales son más efectivos. Pruebas preliminares demostraron que el tamaño de partícula adecuado es de - 30 mallas.

Los porcentajes en peso y temperaturas de colada es



FIG. 16 Instalaciones del horno de inducción.



FIG. 17 Medición de la temperatura con termopar de puntas de inmersión.

tudiados son respectivamente 0.15, 0.20 y 0.25 % en peso y 1500, 1450 y 1400°C. La composición y características de los inoculantes usados estan dados en las tablas III y IV.

3.6.1 ADICION DE INOCULANTES.

Ahora bién la forma en la cuál los inoculantes son colocados en el molde, es de la siguiente manera:

En la parte inferior de la caja y a lo largo de los corredores horizontales, como de muestra en la figura 18.

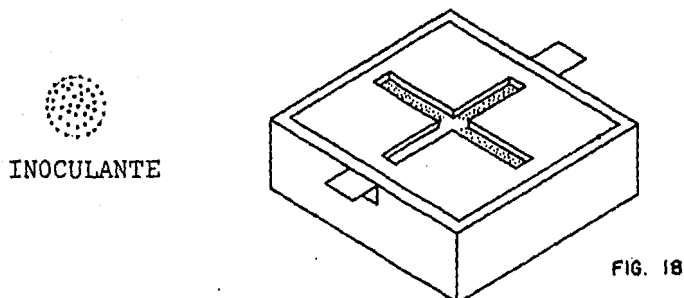


Figura 18: Forma de colocar los inoculantes en el molde.

Es importante señalar que uno de los corredores no lleva inoculante, mientras que en los otros tres, son colocados porcentajes distintos del mismo inoculante. Una vez hecho lo anterior, es puesta la parte superior de la caja de moldeo, la cuál debe de quedar firmemente unida a la parte inferior, mediante está unión se evitara la salida de la aleación líquida con inoculante, obteniendo de está

TABLA III. COMPOSICION DE INOCULANTES CONVENCIONALES

INOCULANTE	%Si	% C	%Mn	%Al	%Ca	%Fe	%Zr	otros %
INOCULOY-63	61.33	-	9.98	1.39	2.08	19.34	-	5.88 Ba
FUNCO	38-40	36	-	0.78 máx	-	resto	-	-
SMZ	60-65	-	5-7	-	-	20.	5-7	-
INOCULIN A77-M3	63-68	-	3 mín	1	4 mín	11	4 mín	5 CO_3^-
INOCULIN C-78	71-75	-	-	1.2 máx	3-4	-	0.3 máx	5 CO_3^-
VULCANO 2	20.85	12.67	0.32	0.80	0.56	64.62	-	0.18 S
VULCANO 3	45.31	7.29	0.37	0.94	2.99	42.94	-	0.16 S
VULCANO 4	30.26	46.64	6.20	0.86	0.72	15.05	-	0.27 S

TABLA IV. DESCRIPCION DE INOCULANTES

INOCULANTE	ELABORADO	COLOR	APARIENCIA
INOCULOY-63	FOOTE MINERAL CO.	GRIS CLARO	GRANULAR
FUNCO	FUNCO	NEGRO	GRANULAR
SMZ	FOSECO	GRIS OSCURO	GRANULAR
INOCULIN A77-M3	FOSECO	GRIS OSCURO	GRANULAR
INOCULIN C-78	FOSECO	NEGRO	GRANULAR
VULCANO 2	VULCANO	NEGRO	GRANULAR
VULCANO 3	VULCANO	NEGRO	GRANULAR
VULCANO 4	VULCANO	NEGRO	GRANULAR

manera resultados satisfactorios de colada en el molde.

3.7 MATERIALES NUEVOS.

Generalmente los materiales que pueden presentar características inoculantes son costosos, por tal motivo no son utilizados muy a menudo. En nuestro caso, se seleccionaron un gran número de materiales, que podran cumplir con los efectos grafitizantes en la fundición, los cuales son enumerados en la tabla V.

3.8 PROCEDIMIENTO DE FUSION.

La carga consta de 10 Kg, la cuál es colocada en el crisol del horno de inducción como se muestra en la figura 19. La temperatura del horno es controlada mediante el voltaje y eficiencia, incrementandose gradualmente.

La carga es llevada durante la fusión a la temperatura de líquidus hasta alcanzar una temperatura de 1550 °C manteniendola constante en un tiempo de 10 minutos (temperatura de permanencia y tiempo de permanencia), posteriormente se le da un sobrecalentamiento a 1580 °C antes de colar.

La olla de colada es previamente calentada, antes de colar, para evitar un enfriamiento rápido de la aleación líquida así como choques térmicos. Una vez que la aleación líquida se encuentra en la olla, se procede a tomar la temperatura antes de colar en cada molde, las temperatu

TABLA V: LISTA DE MATERIALES NUEVOS UTILIZADOS COMO
INOCULANTES

NaCl	Al	Zr 717-D	$\text{CO}_2(\text{NO}_3)_3$
Ca	C(vegetal)	Ti	HARINA
CaO	C(grafito)	W	FUNDICION GRIS
CaCO_3	S	Fe(limadura)	AZUCAR
CaF_2	Te	FeO	YESO
CaCl	Fe_2O_3	Cu	DEXTRINA
	Zr	$\text{Ni}_2(\text{NO}_3)_3$	

ras de colada son 1500, 1450 y 1400°C respectivamente.

Las condiciones de fusión deben mantenerse constantes, a través de todo el trabajo experimental, para evitar variaciones en los resultados, sobre los efectos de inoculación.

3.9 ENSAYO DE TEMPLABILIDAD.

Esta prueba es generalmente utilizada en hierros grises de alta resistencia, en la cuál la velocidad de enfriamiento es acelerada debido a las características de la cuña, provocando una profundidad de blanqueo.

La selección de la muestra de dimensiones apropiadas, proporciona mediciones de la tendencia al blanqueo para composiciones de hierro gris menores de 2.50% de Si y 3.50% de C. (32)

El ensayo de templabilidad utilizado en el experimento es el de fractura, el cuál consiste en romper por la mitad cada una de las cuñas, observando de ésta manera el tipo de fractura obtenido y finalmente medir la profundidad de blanqueo.

3.10 TECNICA METALOGRAFICA PARA LOS HIERROS GRISES.

La naturaleza del grafito y disgregable combinada con la matriz dura, evita el uso de la técnica metalográfica convencional, encaminándonos a utilizar una técnica es-

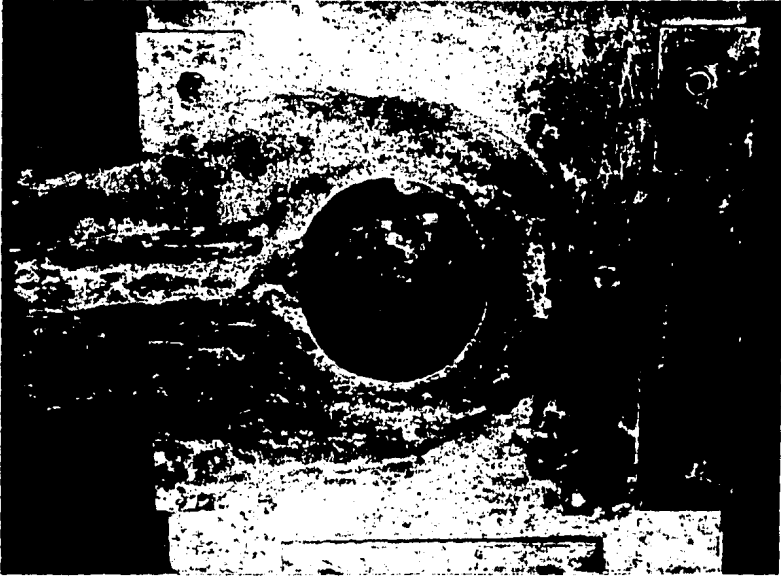


FIG. 19 Colocación de carga en el crisol del horno, para el proceso de fusión.

pecial, la cuál sigue el método que a continuación se menciona⁽³³⁾.

Una vez seleccionada la muestra a pulir, ésta debe ser montada en baquelita, para su mejor manejo.

DESVASTE: El objetivo es eliminar toda la superficie distorsionada, dejando un sólo y único plano, en la cara que es pulida.

ABRASION: Consiste en el paso de la probeta por una serie de cuatro lijas de carburo de silicio(220, 320, 400 y 600) utilizando como lubricante agua.

En las tres primeras se sigue la técnica convencional, que consiste en pasar la probeta de la lija más gruesa a la más delgada, antes de pasar de una lija a otra, la probeta debe tener una rayadura uniforme y sólo en la dirección del movimiento del pulido. Al empezar con una nueva lija, la probeta debe ser rotada 90° con respecto a la lija anterior.

En la última lija, la probeta es atacada por inmersión, con una solución de picral 2% , en un tiempo de 2 a 10 segundos, en el caso de hierros perlíticos y con nital 2% en hierros ferríticos, hecho lo anterior se pule la probeta en la lija 600, repitiendo la operación una vez más.

PULIDO FINO. Es la parte final y más importante de la técnica, en el cuál son utilizados paños con pasta de diamante grado 1 y 6 μ , empleando como lubricante aceite NATADI

FLUID, el cuál en exceso o insuficiencia provoca rayaduras. También son importantes las rpm del disco, así como una excesiva presión, provocando rayaduras o desprendimientos de grafito.

Primeramente la probeta se pasa por el paño de 6 y posteriormente en el de 1μ , siguiendo la técnica de pulido y ataque, por tres veces en cada uno de los paños.

La importancia de obtener un buén pulido, es para poder observar el tipo de grafito obtenido en las fundiciones así como la matriz.

3.10.1 CONTEO DE CELDAS EUTECTICAS.

Existen tres métodos comunmente usados para la evaluación de celdas eutécticas.

- a.- Conteo de Area.
- b.- Conteo Lineal.
- c.- Cartas comparativas.

Sin embargo para nuestros fines se decidió utilizar el método c)., por lo difícil de enumerar las celdas eutécticas individualmente.

Antes de realizar el conteo de las celdas eutécticas la muestra es preparada, hasta el pulido con pasta de diamante de 1μ y atacada aproximadamente una hora ó más con el reactivo de Stead.

El método de evaluación involucra un conteo del número de celdas eutécticas en una área específica usando ba

jos aumentos, el cuál consiste en comparar los patrones de celdas eutécticas establecidas por BCIRA con la estructura observada en el microscopio, realizando una evaluación promedio del número de celdas eutécticas en partes distintas representativas de la muestra.

IV. RESULTADOS

4. RESULTADOS

4.1 INTRODUCCION

El objetivo de éste trabajo nos llevo a utilizar tres moldes por cada proceso de fundición, para observar el efecto de la temperatura de colada con respecto al % en peso de inoculante. Las condiciones bajo las cuales se llevaron los experimentos fueron las mismas para cada unas de las fundiciones tratadas, siendo mostradas en la tabla VI.

4.2 MEDICION DE LA PROFUNDIDAD DE BLANQUEO DE INOCULANTES CONVENCIONALES.

Los inoculantes adicionados a las fundiciones K,L M,N, y P, mostraron una tendencia semejante que consiste en pequeñas variaciones de inoculación en la profundidad de blanqueo(P.B.) con respecto al % de inoculante utilizado así como un mínimo efecto en las temperaturas de colada: las cuñas inoculadas de las fundiciones O y Q mostraron una zona moteada y finalmente la fundición R no mostró efecto alguno de inoculación.

Las cuñas mostradas en las figs.21 a 28, corresponden a cada una de las fundiciones previamente mencionadas, en donde se muestra el % de inoculante usado y la temperatura de colada.

En la que los números 1,2 y 3, que aparecen en la parte inferior de las fotografías, corresponden a las temperaturas de 1500, 1450 y 1400°C respectivamente.

TABLA VI. VARIABLES DE OPERACION

$T_{c1} = 1500 \text{ } ^\circ\text{C}$	$T_s = 1580 \text{ } ^\circ\text{C}$
$T_{c2} = 1450 \text{ } ^\circ\text{C}$	$T_p = 1550 \text{ } ^\circ\text{C}$
$T_{c3} = 1400 \text{ } ^\circ\text{C}$	$t_p = 10 \text{ min.}$
C.E. = 2.8	$t_{op} = 2 \text{ hrs.}$
CARGA = 10 Kg	

T_c = Temperatura de colada

T_s = Temperatura de sobrecalentamiento

T_p = Temperatura de permanencia

t_p = Tiempo de permanencia

t_{op} = Tiempo de operación

C.E. = Carbón equivalente

La fig. 21, muestra el efecto del inoculante Inoculoy -63, teniendo como referencia cuñas de blanqueo, - presentando a mayor temperatura mayor profundidad de -- blanqueo y a menor % de inoculante mayor profundidad de blanqueo.

La fig. 22 presenta el efecto del inoculante Inoculín A77-M3, basicamente en la parte central de la pieza, sin efecto aparente con respecto a la temperatura y % inoculante.

En la fig. 23, utilizando el inoculante Funco , se observa que la P.B. es constante para las temperaturas y % de inoculantes.

En la fig. 24, se observa que la P.B. disminuyó al aumentar el % de inoculante y sin efecto de la temperatura. El inoculante utilizado es SMZ.

La fig. 25, no presentó efectos de inoculación, se utilizó como inoculante Vulcano 2, para las mismas condiciones de trabajo.

La fig. 26, corresponde al inoculante Vulcano 3 observándose que la P.B. fué constante con respecto a la temperatura de colada y % de inoculante.

La fig. 27, presenta cuñas poco inoculadas , dando origen a zonas moteadas. El inoculante empleado es Inoculín C-78.

La fig. 28, muestra el efecto de vulcano 4 cuyo resultado fué zonas moteadas en el centro de la cuña, sin

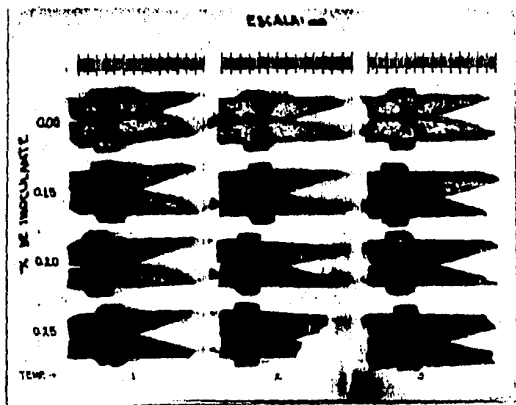


FIG. 21 Fundición K, inoculante utilizado INOCULLOY-63.

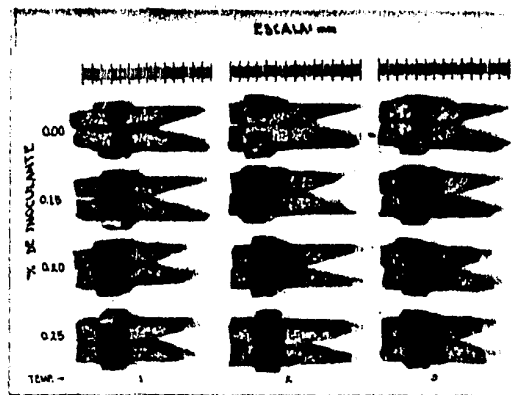


FIG. 22 Fundición L, inoculante utilizado INOCULIN A77-M3.

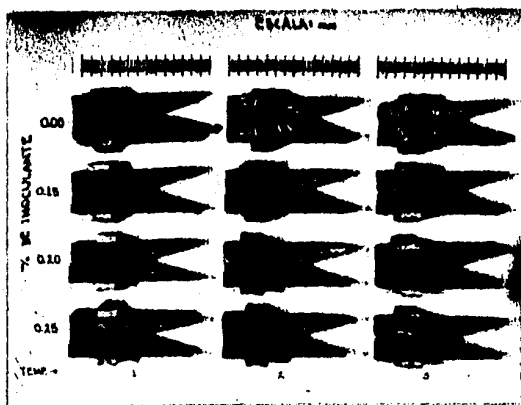


FIG. 23 Fundición M, inoculante utilizado FUNCO.

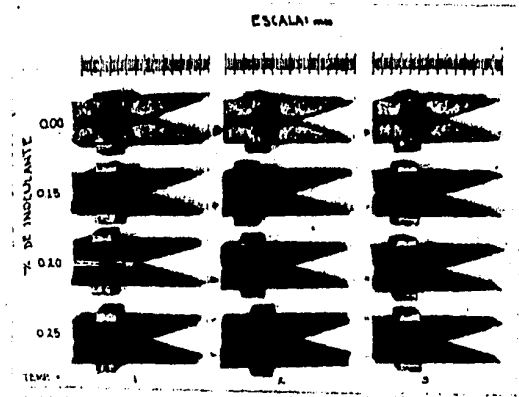


FIG. 24 Fundición N, inoculante utilizado SMZ.

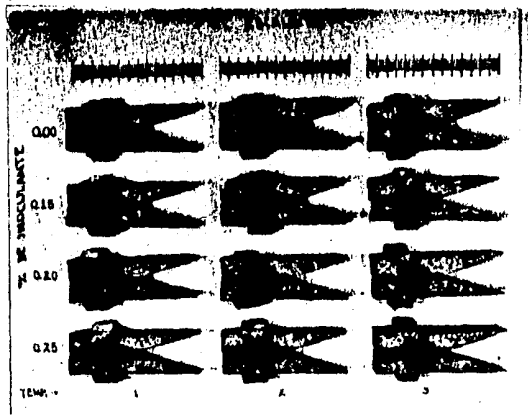


FIG. 25 Fundición 0, inoculante utilizado VULCANO 2.

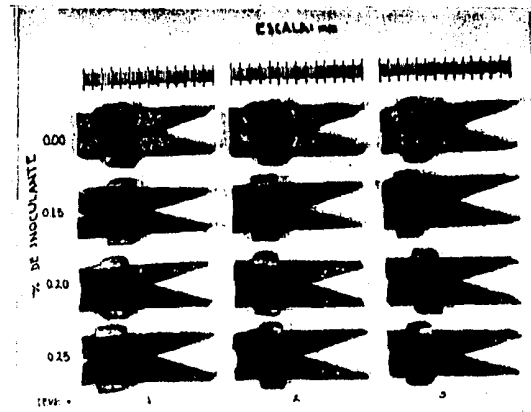


FIG. 26 Fundición P, inoculante utilizado VULCANO 3.

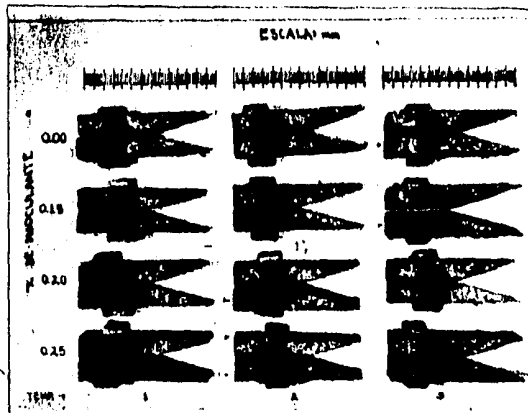


FIG. 27 Fundición Q, inoculante utilizado INOCULIN C-78.

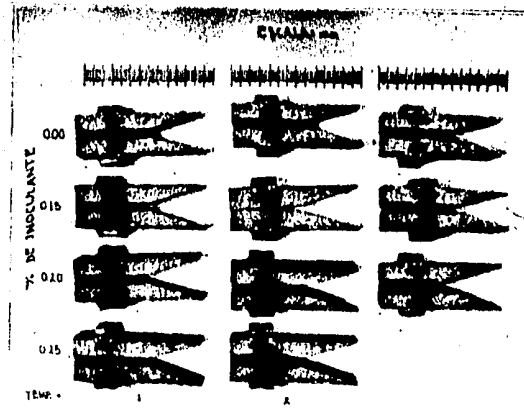
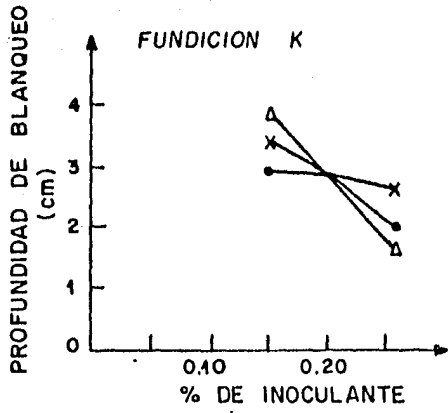


FIG. 28 Fundición R, inoculante utilizado VULCANO 4.



Donde:
 ● Tc = 1500 °C
 X Tc = 1450 °C
 Δ Tc = 1400 °C

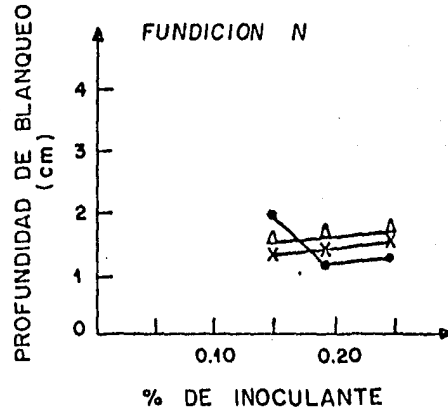
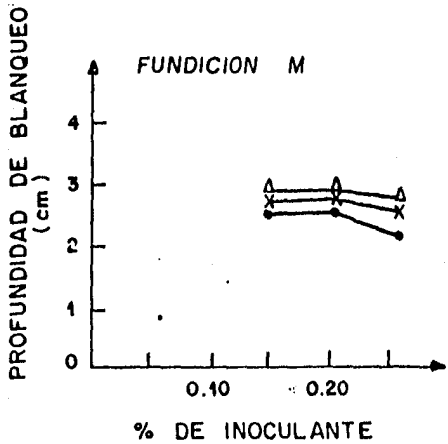
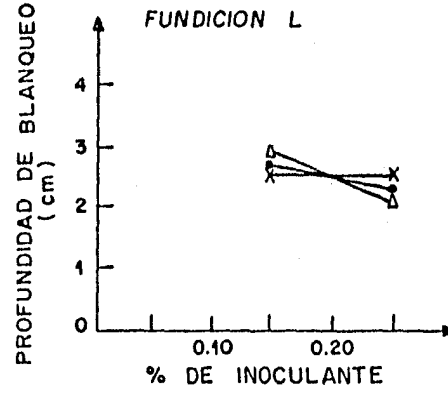


FIG. 29 GRAFICAS DE PROFUNDIDAD DE BLANQUEO (cm) VS. % DE INOCULANTE

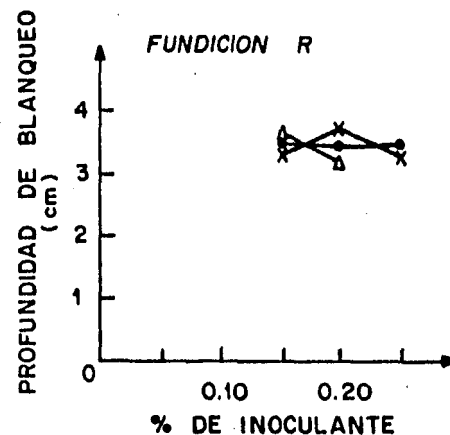
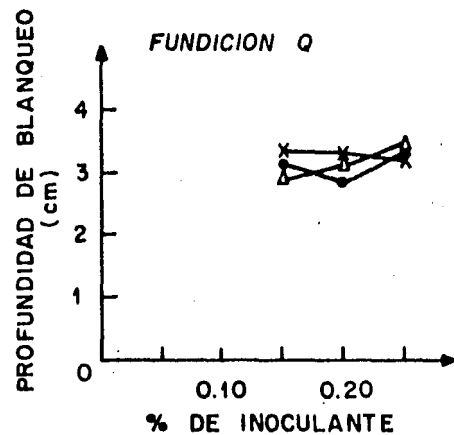
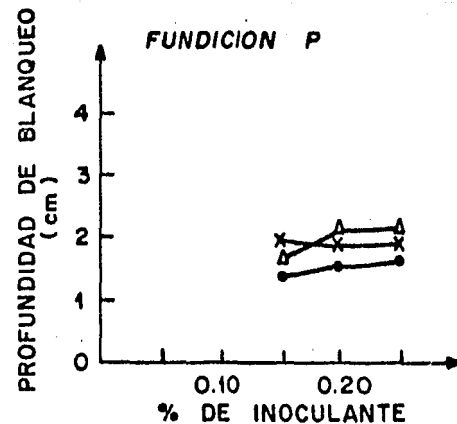
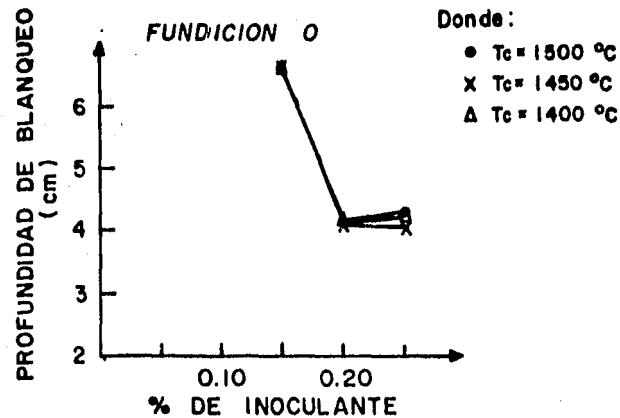


FIG. 30 GRAFICAS DE PROFUNDIDAD DE BLANQUEO (cm) VS % DE INOCULANTE

efecto de temperatura y % de inoculante.

Los resultados de P.B. obtenidos para cada cuña - son mostrados en las tablas VII y VIII. El comportamiento del efecto de la inoculación con respecto a la profundidad de blanqueo se observa en las fig. 29 y 30.

4.3 MICROESTRUCTURAS DE LAS FUNDICIONES.

Las microestructuras de las fundiciones K,L,M y P, muestran grafito subenfriado del tipo D y E en una matriz perlítica, mientras que las fundiciones O y Q presentan - zona aislada de grafito "B"

En el caso de la fundición R se observa una estructura similar a las cuñas de blanqueo, las fig. 31 a 47 -- muestran las microestructuras representativas de cada fundición.

TABLA VII RESULTADOS DE PROFUNDIDAD DE BLANQUEO

FUNDICION	INOCULANTE UTILIZADO	% EN PESO DE INOCU LANTE +/- 0.0001	PROFUNDIDAD DE BLANQUEO EN cm +/- 0.1		
			Tc=1500°C.	Tc=1450°C	Tc=1400°C
K	INOCULIN 63	0.15	2.9	3.2	3.6
		0.20	2.7	2.8	2.7
		0.25	2.1	2.5	1.5
L	INOCULIN A77-M3	0.15	2.7	2.5	2.8
		0.20	2.5	2.4	2.4
		0.25	2.3	2.4	2.2
M	FUNCO	0.15	2.5	2.6	2.8
		0.20	2.4	2.7	2.8
		0.25	2.0	2.5	2.7
N	SMZ	0.15	1.8	1.4	1.5
		0.20	1.3	1.4	1.5
		0.25	1.3	1.5	1.5

TABLA VIII RESULTADOS DE LA PROFUNDIDAD DE BLANQUEO

FUNDICION	INOCULANTE UTILIZADO	% EN PESO DE INOCU LANTE +/- 0.0001	PROFUNDIDAD DE BLANQUEO EN cm +/- 0.1		
			Tc=1500°C	Tc=1450°C	Tc=1400°C
O	VULCANO 2	0.15	6.6	6.6	6.6
		0.20	4.2	4.2	4.2
		0.25	4.0	4.0	4.2
Q	INOCULIN C-78	0.15	3.1	3.3	3.1
		0.20	3.0	3.3	3.1
		0.25	3.5	3.3	3.1
P	VULCANO 3	0.15	1.4	2.0	1.8
		0.20	1.6	1.4	1.8
		0.25	1.7	1.7	2.1
R	VULCANO 4	0.15	3.3	3.3	3.3
		0.20	3.3	3.5	3.3
		0.25	3.4	3.2	-

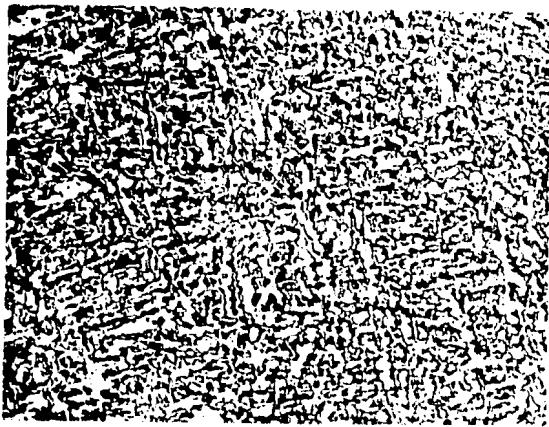


FIG. 31 Cuña de blanqueo, sin ataque a 50x, parte media de la cuña, muestra ledeburita y cementita.



FIG. 32 Cuña de blanqueo, atacada con nital 2%, 500x, parte media de la cuña, muestra ledeburita, cementita y perlita.



FIG. 33 Fundición K, 0.25% de inoculante, sin ataque, 100x, tomada a 3.2 cm de la punta de la cuña, muestra grafito D y E.



FIG. 34 Fundición K, 0.25% de inoculante, sin ataque, 500x, tomada a 3.2 cm de la punta de la cuña, muestra grafito D y E.

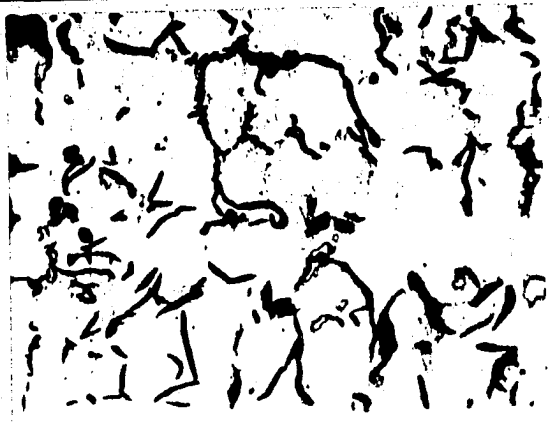


FIG. 35 Fundición L, 0.25% de inoculante, sin ataque, 100x, tomada a 3.2 cm de la punta de la cuña, muestra grafito D y E.

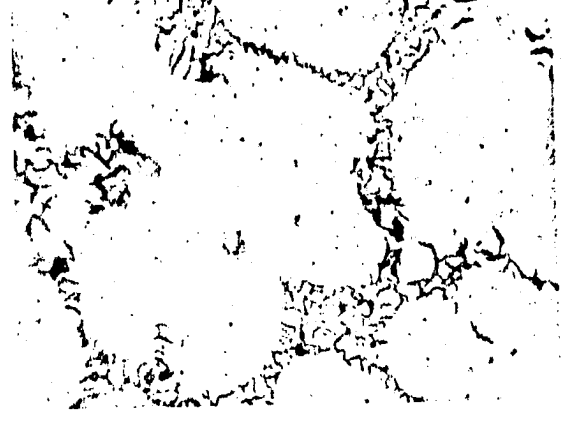


FIG. 36 Fundición L, 0.25% de inoculante, sin ataque, 500x, tomada a 3.2 cm de la punta de la cuña, muestra grafito D y E.

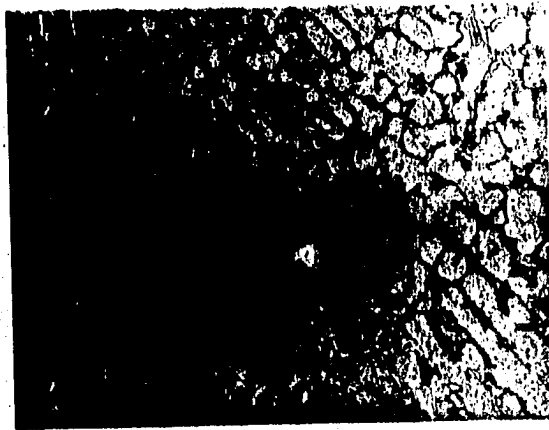


FIG. 37 Fundición M, 0.25% de inoculante, sin ataque, muestra grafito D y E, 100x, tomada a 3.2 cm de la punta de la cuña.



FIG. 38 Fundición M, 0.25% de inoculante, atacada con picral 2%, 500x, tomada a 3.2 cm de la punta de la cuña, muestra grafito D y E.

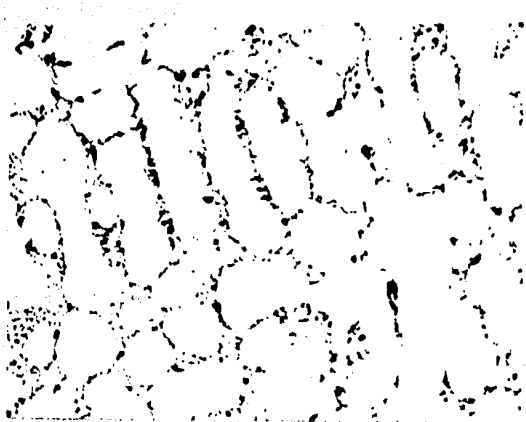


FIG. 39 Fundición N, 0.20% de inoculante, sin ataque 100x, tomada a 3.2 cm de la punta de la cuña, muestra grafito D y E.

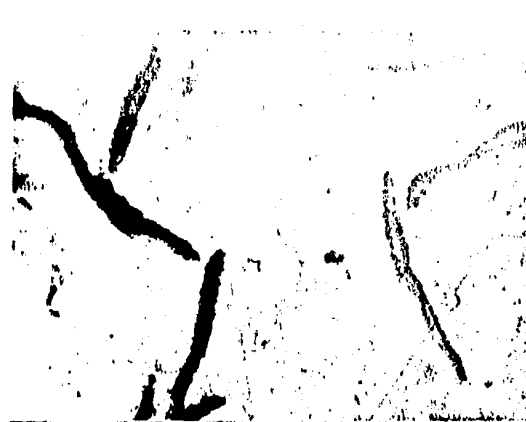


FIG. 40 Fundición N, 0.20% de inoculante, atacada con picral 2%, 500x, tomada a 3.2 cm de la punta de cuña, muestra grafito D y E.



FIG. 41 Fundición O, 0.25% de inoculante, sin ataque, 100x, tomada a 3.2 cm de la punta de la cuña, muestra grafito B.



FIG. 42 Fundición O, 0.25% de inoculante, sin ataque, 500x, tomada a 3.2 cm de la punta de la cuña, muestra grafito B.



FIG. 43 Fundición P, 0.20% de inoculante, sin ataque, 100x, tomada a 3.2 cm de la punta de la cuña, muestra grafito D y E.



FIG. 44 Fundición P, 0.20% de inoculante, atacada con picral 2%, 500x, tomada a 3.2 cm de la punta de la cuña, muestra grafito D y E.

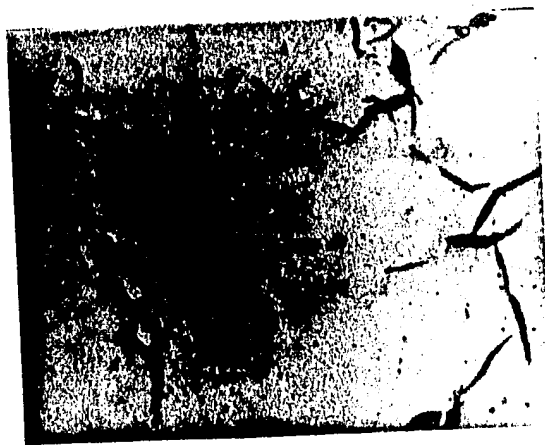


FIG. 45 Fundición Q, 0.20% de inoculante, sin ataque, 500x, tomada a 3.2 cm de la punta de la cuña, muestra grafito B.



FIG. 46 Fundición R, 0.20% de inoculante, atacada con nital 2%, 100x, tomada a 3.2 cm de la punta de la cuña, muestra ledeburita y cementita.



FIG. 47 Fundición R, 0.20% de inoculante, atacada con nital 2%, 500x, tomada a 3.2 cm de la punta de la cuña, muestra ledeburita, cementita y perlita.

4.4 CONTEO DE CELDAS EUTECTICAS.

Las celdas eutécticas observadas en las figs. 48 a 52, son de forma esferoidal-irregular. Y el efecto de la inoculación con respecto al número de celdas eutécticas/ plg^2 , es mostrado en la fig. 53.

4.5 INTRODUCCION AL USO DE MATERIALES NUEVOS.

En base a los resultados obtenidos anteriormente se procedió con el experimento de la siguiente manera

I.- Mantener la misma composición de la carga.

II.- Dado que la temperatura de colada, no fué un factor determinante en la inoculación, no se utilizó como variable, sino como una constante.

III.- Para optimizar más el nuevo experimento se optó - por utilizar un solo porcentaje en peso de materiales - nuevos(0.25%).

IV.- En cada una de las fundiciones llevadas a cabo, se utilizaron tres moldes, con las mismas condiciones de - colada, que el caso anterior y en cada molde se obtuvo una cuña de blanqueo ó patrón de referencia.

4.5.1 MEDICION DE LA PROFUNDIDAD DE BLANQUEO.

Debido a las dificultades presentadas por las formas físicas de los materiales nuevos, no se mostraron - buenos efectos de inoculación. La causa principal se debe a que las sustancias usadas como posibles inoculantes no

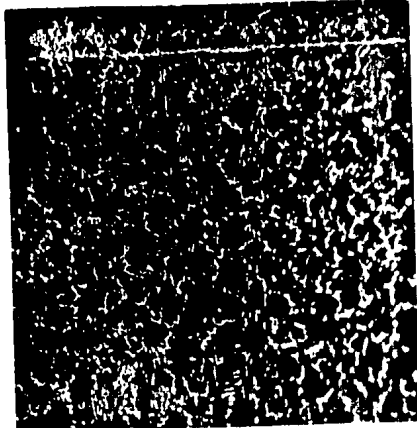


FIG. 48 FUNDICION K, 0.25%
inoculante, atacado con
reactivo de stead, 14x.

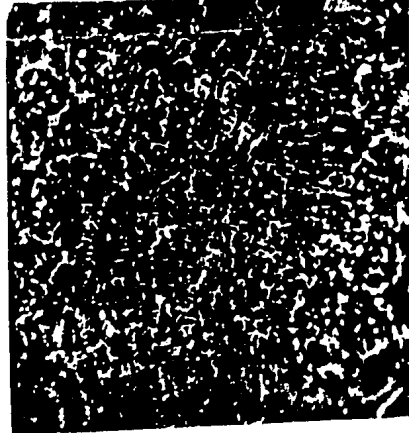


FIG. 49 FUNDICION L, 0.25%
inoculante, atacado con
reactivo de stead, 14x.



FIG. 50 FUNDICION M, 0.25%
inoculante, atacado con
reactivo de stead, 14x.

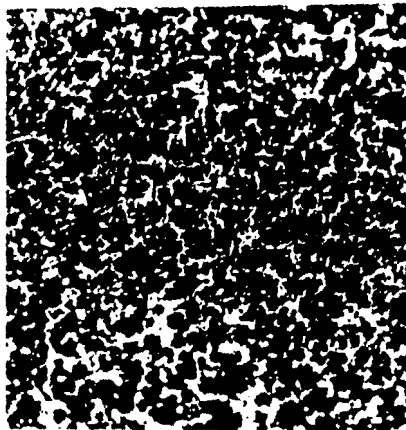


FIG. 51 FUNDICION N, U.20%
inoculante, atacada con
reactivo de stead, 14x.



FIG.52 FUNDICION P, U.20%
de inoculante, atacada
con reactivo de stead, 14x.

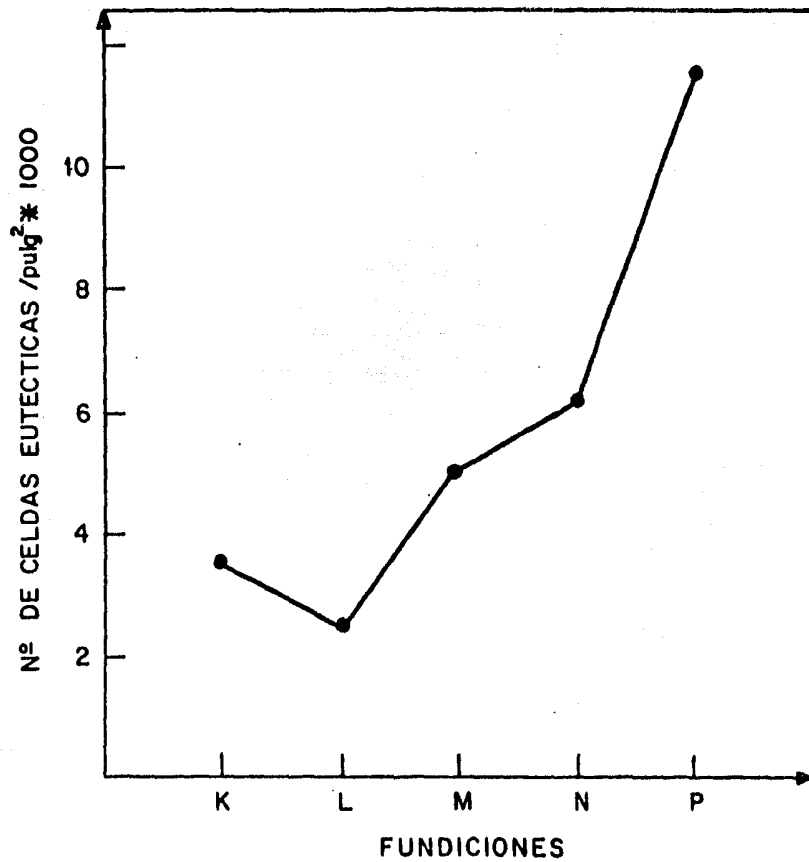


FIG. 53 GRAFICA DE NUMERO DE CELDAS EUTECTICAS / pulg² VS TIPO DE INOCULANTE (VER TABLA VII y VIII).

tenían la granulometría adecuada(finos). La fig. 54, corresponde a la fundición X, mostrando en la segunda columna y tercer renglón el efecto del grafito, presentando una pequeña zona moteada, en su parte central.

La fig. 55 muestra a la fundición Y, la cuál pre--senta en la segunda columna y segundo renglón, una cuña - con una zona moteada por el uso de fundición gris como inoculante. Y en la segunda columna y cuarto renglón el efecto del zirconio, dando igualmente que los casos ante--riores, pequeñas zonas moteadas. Y finalmente la fig. 56 no presentó efecto inoculante.

DE INOCULANTE

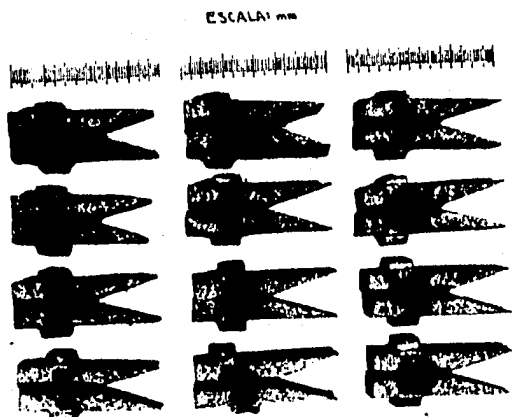


FIG. 54 Fundición X.

DE INOCULANTE

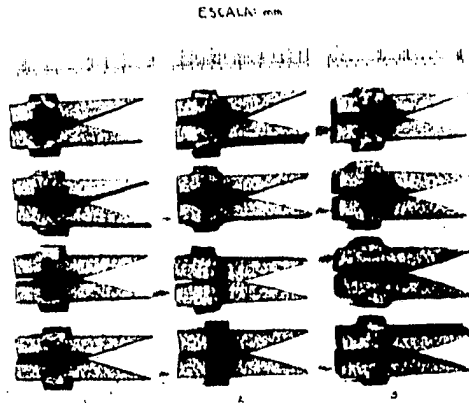


FIG. 55 Fundición Y.

DE INOCULANTE

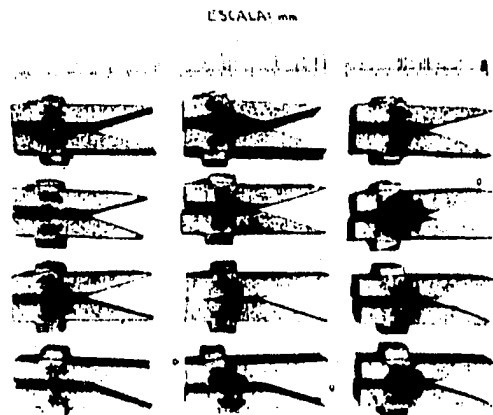


FIG. 56 Fundición Z.

V. DISCUSSION.

5. DISCUSION.

5.1 SELECCION.

COMPOSICION.

Se seleccionó un carbono equivalente total de 2.8 % como punto de partida para el experimento, tomando en consideración 2.4 % de carbono, 1.3 % de silicio y 0.06 % de fósforo, de acuerdo a referencias previas (6,7,21).

Esto ayudo, en la obtención de un patrón de referencia o cuña de blanqueo, con una estructura completamente blanca en la condición no inoculada, lo cuál sirvió de comparación durante el desarrollo de los experimentos.

Es menester mencionar que el uso de la aleación líquida de tal composición, tiene como características baja fluidez y una tendencia a la formación de la estructura blanca.

TEMPERATURA DE COLADA.

Considerando la composición previamente mencionada , se seleccionó la temperatura de colada del horno a la olla de 1550°C, de tal manera de que al medir la temperatura de colada en la olla, antes de vaciar en el molde, se obtuviera una temperatura ligeramente mayor a 1500° C.

Así también cabe mencionar que debido al precalentamiento de la olla, se minimizó el gradiente de temperatura de la misma y de la aleación líquida, evitando de ésta forma el choque térmico de ambas(aleación líquida y olla de colada).

TEMPERATURA DE SOBRECALENTAMIENTO.

Debido a que el número de kilos de la carga metálica usados en la fusión(10 Kg.), era ligeramente menor, que la capacidad de carga del horno(15 Kg. mínimos), fué difícil mantener a la aleación líquida a una temperatura constante, una vez que se apagaba el horno previamente a la colada. Por lo que en los experimentos iniciales esto causó que cuando se colaba el metal líquido del horno a la olla y de ésta al molde, se enfriaba el líquido metálico disminuyendo así la fluidez del mismo y en consecuencia imposibilitaba un buen llenado del molde. La solución a éste problema fué encaminado a aumentar la temperatura de sobrecalentamiento a 1580° C.

De acuerdo a investigaciones previas (26), el alto sobrecalentamiento favorece la formación de cementita en la microestructura de la cuña de blanqueo.

TIEMPO DE PERMANENCIA.

Se seleccionó un tiempo de permanencia adecuado, de tal manera, que ayudara a la obtención de una cuña de referencia completamente blanca, durante el transcurso del experimento. Se observó que los tiempos de permanencias menores a 10 min., provocaban la formación de hierro gris.

5.2 CARGA.

Para la selección de los kilos de carga se considero, más que nada, el número de moldes que se iban a llenar

para evitar de ésta manera el desperdicio de la materia prima, así como de energía eléctrica, acomodando la carga metálica de una manera adecuada, colocando los trozos grandes en la parte inferior del crisol y los trozos pequeños en la parte superior del crisol, para ayudar así a una rápida fusión

5.3 MODELO.

El modelo inicialmente presentó problemas de llenado, por tener restringida el área inferior del corredor vertical. Esto se eliminó, cuando se hizo una modificación al sistema de alimentación de acuerdo a la relación 1:4:4 ⁽³⁵⁾, que se usa para el diseño de las fundiciones ferrosas.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la sección 4.3, el modelo presento buenas características de llenado, tanto como en el acabado de la pieza. El diseño del mismo se hizo tomando en consideración que se tiene un baño metálico, en el cuál se someten a pruebas diferentes inoculantes, manteniendo constantes la composición del baño metálico, la temperatura de colada del mismo y las condiciones del molde, haciendo posible de ésta manera una comparación más efectiva.

5.4 INOCULANTES CONVENCIONALES.

FUNDICION K.

El inoculante utilizado en ésta fundición es inoculoy 63 (fig. 21). La profundidad de blanqueo observada se obtuvo usando 0.25 % de inoculante, con pequeñas va

riaciones con respecto a los demás porcentajes, además se observó que a medida que se incrementa la temperatura de colada se incrementa la profundidad de blanqueo.

El tipo de grafito obtenido fué D y E en una matriz ferrítica(figs. 33,44). Esto se explica debido a los pequeños espesores y las altas velocidades de enfriamiento que se originan en las mismas, al instante del inicio de la solidificación.

El número de celdas eutécticas/pulg.² de 3500(fig. - 48), demuestra el poco efecto de la nucleación, así como de inoculación(en relación a la estructura obtenida grafito tipo D y E).

FUNDICION L.

Esta fundición corresponde al inoculante inoculín - A77-M3(fig. 22), el cuál muestra poco efecto de la inoculación en la parte central de la cuña, observándose también pequeñas variaciones con respecto a las distintas temperaturas de colada y el porcentaje de los inoculantes.

El grafito observado en la fig. 36, corresponde al tipo D y E en una matriz ferrítica y el menor número de celdas eutécticas(fig. 50), indican una disminución de la nucleación(2500 celdas eutécticas/pulg.²).

De acuerdo a reportes previos (27, 29), la composición de éste inoculante provoca, la refinación de las dendritas mostrando resistencias más bajas que las normales.

FUNDICION M.

El inoculante utilizado en ésta fundición es funco(fig. 23), en donde la variación de la profundidad de blanqueo de una temperatura de colada a otra, es mínima.

La estructura de grafito obtenido es del tipo D y E en una matriz perlítica(fig. 38) y el número de celdas eutécticas/ pulg.² es incrementado a 4900(fig. 53).

Podría pensarse que el poco efecto inoculante se debió principalmente al contenido de calcio y silicio, ya que existen evidencias^(21, 28), de que tanto el calcio como silicio son elementos extremadamente importantes en la reducción de la profundidad de blanqueo.

FUNDICION N.

El SMZ (fig. 24), demostró tener efectos inoculantes , ya que presentó una pequeña profundidad de blanqueo al aumentar el porcentaje de inoculante, sin que le afectara la variación en la temperatura de colada.

Los tipos de grafito obtenidos fueron D y E en una matriz perlítica(figs. 39 y 40), con un alto número de celdas eutécticas/pulg.² de 6500(fig. 51), lo cuál indica - que se tuvieron buenos efectos de nucleación. La composición del SMZ es básicamente Si, Mn y Zr y haciendo un análisis de ello, se puede decir que el contenido de silicio⁽²³⁾ podría en éste caso haber favorecido más la nucleación del grafito con respecto a los demás elementos(Mn y Zr).

FUNDICION O.

El inoculante vulcano 2, demostró bastantes desven

tajas, primeramente se observaron ciertas cantidades del inoculante residual en los corredores del molde, dando - como resultado fundiciones con características blancas y moteadas.

La gráfica de la fig. 30, muestra una baja inoculación cuando se utiliza 0.15 % en peso del inoculante, - como se observa en la parte central de la cuña(indicada por la presencia de una zona moteada).

FUNDICION P.

El inoculante vulcano 3(fig. 26), produjo una profundidad de blanqueo constante, con respecto a las distintas temperaturas de colada que se usaron, así como porcentajes de inoculantes.

La microestructura de la fig. 43, muestra grafito tipo D y E en una matriz perlítica y un número de celdas eutécticas/pulg.² de 11500(fig. 52). Este alto número de - celdas eutécticas/pulg.² obtenido, podría ser explicado -- en base a la composición química del inoculante, debido - a la presencia de tales elementos(como C, Si Ca, Al y - S) en el estado líquido, incrementando la formación de - las celdas eutécticas.

En relación con la teoría del grafito y el origen del mismo ^(7,9,11), se puede argumentar que la técnica de la inoculación en el molde, favorece la formación de nu- cleos durante las primeras etapas de la solidificación.

Otra información adicional ⁽²⁷⁾, indica que de a-- cuerdo a la posición del C, Ca y Si en la tabla periódica

éstos elementos son caracterizados como grafitizantes.

FUNDICION Q.

El inoculín C-78, demostró una inoculación no muy efectiva a pesar de contener altas cantidades de silicio. Esto se debió posiblemente a la baja composición de los elementos restantes Ca y Zr, dando como resultado una estructura moteada.

Un inconveniente fundamental del inoculante fué la presencia de ésta substancia en los corredores del molde lo cuál indica cierto grado de dificultad en la disolución del mismo.

No hubo efecto de la temperatura de colada con respecto a los distintos porcentajes de los inoculantes(fig. 27).

FUNDICION R.

En ésta fundición se utilizó como inoculante vulcano 4(fig. 28), observándose un tipo de fractura gris - moteada. Esta deficiencia en la inoculación posiblemente se debió a la presencia de S y bajos contenidos de silicio y calcio. No mostró efecto aparente de la temperatura de colada con respecto al porcentaje en peso del inoculante.

MATERIALES NUEVOS.-

Desde un punto de vista general, los materiales son seleccionados en base a la fácil disponibilidad de los mismos, su costo, así como por su naturaleza química de acuerdo a la clasificación de los mismos en la tabla

periódica de los elementos (por su efecto grafitizante ó promotor de la cementita ó acción dual).

Las principales causas por las cuales las substancias usadas como materiales nuevos, no mostraron tendencias inoculantes fué por su forma y granulometría muy fina.

Otra observación importante es que ciertos materiales como la dextrina, yeso, harina y azúcar de bajos puntos de fusión, además de no producir efectos inoculantes produjeron exceso de gases provocando porosidades en la pieza fundida.

De acuerdo a los resultados obtenidos en ésta primera parte experimental⁽²⁷⁾, usando los materiales comerciales (inoculantes convencionales) y habiendo hecho un estudio de las posibles substancias o elementos potencialmente efectivos para servir como inoculantes y a su vez pensando en su fácil obtención en el laboratorio, se pensó en los siguientes elementos o substancias: Al, fundición gris, Ti, Ta, Zr, TaC, Cu, etc. (ver tabla V).

Sin embargo la falta de control en las propiedades físicas de los materiales (forma de polvos finos) durante el desarrollo de las fundiciones, dió como resultado una poca disolución de los mismos, así como una rápida oxidación limitando su efecto inoculante.

De los materiales nuevos seleccionados por su disponibilidad y por su posible efecto grafitizante solamente el grafito, fundición gris y zirconio produjeron un ligero e--

fecto de inoculación originando una fractura moteada en el centro de la pieza (figs. 54, 55 y 56).

Para comparar la técnica de la inoculación en la olla⁽³⁶⁾, con respecto a la técnica de la inoculación en el molde, se tomó en consideración un inoculante representativo (Vulcano 3) para ambos casos, así como varios resultados tabulados a continuación.

V U L C A N O 3

	TECNICA DE LA INOCULACION EN LA OLLA	TECNICA DE LA INOCULACION EN EL MOLDE
FORMA DE LA PIEZA.	CUÑA	CUÑA
C. E. TOTAL %	3.0	2.8
TAMAÑO DEL ES PESOR MAX. (CM.)	1.5	0.5
GRANULOMETRIA	0.59-4.76	-30 mallas
TIPO DE GRAFITO	A y D	D y E
Nº DE CELDAS EU TECTICAS.	5500	11500

De acuerdo a estos resultados obtenidos cabe mencionar, que aunque el grado de nucleación en el molde fué mucho mayor que en la inoculación en la olla, como se ha visto en otros casos⁽³⁷⁾, ésto no es indicativo de una mejor inoculación, ya que el primer caso mostró una estructura con un tipo de grafito deseable " A ", por lo cuál es necesario considerar factores tales como la composición de los

inoculantes; los porcentajes menores ó iguales de 0.16% S, de 0.37% Mn y de 7.29% C., promueven la formación de las celdas eutécticas, siendo ésto válido solamente para la inoculación en el molde.

Las posibles soluciones a los problemas presentados en éste trabajo, para la obtención de un hierro gris con una estructura deseada, son enlistados a continuación.

1.- Para evitar la formación de la estructura blanca con el tipo de aleación usada, se debe disminuir el tiempo de permanencia (tiempos menores a 10 min.), para favorecer la existencia de núcleos que puedan actuar como grafitizantes cuando no se use ningún tipo de inoculante.

2.- Para mejorar la disolución de los inoculantes en el líquido metálico se deben emplear formas más adecuadas, así como granulometrías más gruesas de los mismos, como por ejemplo: pastillas, briquetas, pelets ó polvos aglomerados, incrustándolos ya sea en la copa de colada ó en la entrada de los corredores del molde, para darles tiempo a que se disuelva el inoculante y así se produzca el efecto que se desea.

3.- Para favorecer la obtención de las estructuras deseadas (grafito tipo "A"), será necesario evitar las bruscas velocidades de enfriamiento que son ocasionadas por el desmoldeo rápido.

4.- El hecho de que no se obtuviera el tipo de estructura deseada (grafito tipo "A" y matriz perlítica), en las mayorías de las cuñas coladas, se debió principalmente a que se presentaron dificultades en la disolución de -

los inoculantes, como se explicó en el inciso 2).

5.- Ha sido realmente difícil encuadrar los inoculantes usados dentro de cualquiera de las teorías existentes (mencionados previamente en la sección 2.4.1), acerca de la nucleación del grafito, por el problema mencionado previamente (falta de disolución del inoculante), ya que éste delimitó su efectividad y a su vez su posible evaluación realista.

En la aportación de éste trabajo en el área de la inoculación se puede decir que el comportamiento de los inoculantes en las fundiciones K, L, M, N y P, mostraron tendencias semejantes que consisten en pequeñas variaciones de los inoculantes en las profundidades de blanqueo, con respecto a los porcentajes de inoculantes utilizados, así como un mínimo efecto en la variación de la temperatura de colada. También se demostró que la técnica de la inoculación en el molde promueve la formación de las celdas eutécticas, pero que no es condición necesaria para obtener en la fundición final la estructura deseada (grafito tipo "A").

Finalmente es necesario señalar la importancia de éste estudio sistemático, para la industria de la fundición, ya que a nivel nacional, la técnica de la inoculación en el molde es poco conocida y por lo tanto ofrece al fundidor otra alternativa más para resolver sus problemas cotidianos a través de éste método de inoculación efectivo en comparación a otros tratamientos utilizados, una vez que se implemente una forma física adecuada del material inoculante.

VI. CONCLUSIONES

C O N C L U S I O N E S

1.- Se obtuvo un patrón de referencia o cuña de blanqueo con una estructura completamente blanca, en la condición no inoculada para una aleación con un carbono equivalente total de 2.8%, teniendo como condiciones las variables de operación establecidas anteriormente(Sección 4.1 tabla VI).

2.- El modelo utilizado mostró buenas características de llenado de acuerdo a la relación 1:4:4, específicamente usada para el diseño de las fundiciones grises y blancas.

3.- Se recomiendan tiempos de permanencias de la aleación líquida mayores a 10 minutos, para favorecer la obtención de una cuña de referencia apropiada(blanca).

4.- El uso de una granulometría de forma adecuada(pastillas, briquetas, pelets y polvos aglomerados), ha sido aconsejado para favorecer la disolución de los inoculantes dentro del molde y a su vez dar como resultados buenas propiedades finales en la pieza colada.

5.- Para obtener como resultado fundiciones libres de blanqueo en la estructura final de colada(grafito "A" y matriz perlítica), se deberán evitar las bruscas velocidades de enfriamiento ocasionadas por el desmoldeo rápido de las piezas fundidas.

6.- Se pudo demostrar que el comportamiento de las fundiciones K, L, M, N y P, mostraron tendencias semejantes que consisten en las variaciones de la profundidad de blanqueo con respecto a los distintos porcentajes y tempera-

turas de colada usadas.

7.- El empleo de ésta técnica de inoculación en el molde promovió la formación de las celdas eutécticas aunque es to no traía implícitamente la formación de una estructura final deseada(Grafito tipo "A" y matriz perlítica).

8.- El poder nucleante de los inoculantes utilizados son mostrados en las siguientes fundiciones de manera decreciente, en relación a su número de celdas eutécticas/pulg.² obtenidas.

P N M K L

9.- Ha sido casi imposible relacionar los resultados de los inoculantes utilizados, en base a las teorías existentes, debido al poco efecto inoculante, provocado por la falta de la disolución del inoculante, evitando de tal manera una verdadera evaluación de los mismos.

10.- La técnica de la inoculación en el molde es un método efectivo poco conocido en nuestro país a nivel industrial que representa otra alternativa más para resolver los problemas cotidianos , a los que se enfrentan los fundidores en la producción de piezas de fundición de hierro.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- J. VERHOEVEN; FUNDAMENTALS OF PHYSICAL METALLURGY: WILEY 1975.
- 2.- A. BOYLES, "THE STRUCTURE OF CAST IRON", AMERICAN SOCIETY OF METALS, CLEVELAND, OHIO(1947).
- 3.- HENTON MORROGH, "PROGRESS AND PROBLEMS IN THE UNDERSTANDING OF CAST IRON", Transactions of the American Foundrymen's society, vol 70, (1962).
- 4.- M. HILLERT AND SUBBA RAO V.V., "GREY AND WHITE SOLIDIFICATION OF CAST IRON", Proceeding in the conference in the solidification of cast iron, Publication 110 (Dec 1964).
- 5.- K. P. BUNIN et. al. LIT. PRO. 12V., 1953.
- 6.- R. CHAVEZ Y H GUAJARDO, "INOCULACION", Moldeo y Fundición, vol. 5, (Abril 1979).
- 7.- "INOCULACION DE FUNDICIONES GRISES DE GRAFITO LAMINAR" Colada, vol 9, Número 3, (1976).
- 8.- V.H. PATTERSON, M.J. LALICH, "FIFTY YEARS OF PROGRESS IN CAST IRON INOCULATION", TAF Society, vol 86, (1978).
- 9.- J.E. HARRIS AND KANDIC, "ORIGEN OF GRAPHITE IN CAST IRON", Foundry trade Journal, vol 1, 28 (1957).
- 10.- PIWOWASKY, E., T.A.F. Association, (1926).
- 11.- H.W. LOWNIE, "THEORIES OF GRAY CAST IRON INOCULATION" T.A.F. Society, vol 54, (1946).
- 12.- VON KEIL, O., Archiv. fur das Eisenhüttenwesen, vol 7, (1933).
- 13.- MASSARY, S.C. AND LINDSAY, R.W., T.A.F. Association, vol 49, (1941).

- 14.- Eash, J.T., T.A.F. Association , vol 49, (1941).
- 15.- Netes, L., Russian Castings Production, (1970).
- 16.- Izmailov, V.A. and Vertman, A.A., Russian Castings Production, (1971).
- 17.- Norbury, A.L. and Morgan, E., Journal of the Iron and Steel Institute, (1964).
- 18.- Lake-land, K.D., The British Foundryman, (1976), vol 69.
- 19.- Lux, B., Modern Castings, 1964, 45, 222.
- 20.- Muzumdar, K.M. and Wallace, J.F., "INOCULATION-SULFUR RELATIONSHIP IN CAST IRON", A.F.S. Transaction (72-74) p 317-
- 21.- BCIRA, J.V. DAWSON, "THE FUTURE ROLE OF INOCULATION TECHNOLOGY", Foundry Technology for 80's University of Warwick, Seccion 1, 1979.
- 22.- Rondman, K.B. et.al., "INOCULATION OF GREY IRON BY CONTROLLED ADDITIONS OF A WIRE CONTAINING INOCULANT CORE", T.A.F. Society, vol 85, 1977.
- 23.- Ruff, G.F. et.al., "CONTROL OF GRAPHITE STRUCTURE AND ITS EFFECT ON MECHANICAL PROPERTIES OF GRAY IRON", A.F.S. Transaction, (1978).
- 24.- Hillner, G.Fr., "MOLD INOCULATION OF GRAY AND DUCTIL CAST IRON-NEW SOLUTIONS TO OLD PROBLEMS", Inoculation of the American Foundrymen's Society, vol. 83, (1975).
- 25.- Hillner, G.Fr., "MOLD INOCULATION OF GRAY AND DUCTIL CAST IRON-THE ECONOMIC ANSWER", Foundry Transaction Journal (agost 1976).

- 26.- Bryant, M. D., " CHANGES IN THE IRON FOUNDRY INDUSTRY AND THEIR EFFECT". AFS, Transactions, 1977.
- 27.- Naro, R. L., " TRACE ELEMENTS IN CAST IRON ", AFS, Transactions, col., 77, 1964.
- 28.- Dawson, J.V., " THE FUTURE ROLE OF INOCULATION TECHNOLOGY". , Foundry technology for 80's, April 5.
- 29.- Basultkar, R.L., "EFFECT OF CERTAIN ADDITIONS TO THE MELT ON THE AS CAST DENDRITIC".,AFS, Transactions, 77.
- 30.- Boyd, G. T., " METALWORKING ", The goodheart-Willcox co. Inc. 1968.
- 31.- Olvera, P., Et. Al., " PUESTA EN MARCHA DEL HORNO DE INDUCCION ", Tesis profesional, IME.,1978.
- 32.- " STANDARD METHODS OF CHILL TESTING OF CAST IRON ", ASTM, A 307, 1972.
- 33.- Moore, J.C., " METALLOGRAPHICS TECHNIQUE FOR CAST IRON" Metal handbook, ASTM, 1975.
- 34.- BCIRA, " COMPARATION CHARTS FOR COUNTING EUTECTIC CELLS" British Cast Iron Research Association, B 48 7QB, 1974.
- 35.- Stephen, K., " GATING AND RISERING GRAY ", sept. 1972.
- 36.- A. Mireles, G., " CARACTERIZACION DE INOCULANTES CONVENCIONALES (NACIONALES) PARA HIERRO GRIS ", Tesis profesional, FACULTAD DE QUIMICA, UNAM. (1983).
- 37.- Oldfield, W. , " J.R.D. " , BCIRA,1960, April 31.