

P A G I N A 1

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

PRODUCCION Y CONTROL QUIMICO METALURGICO DE PARTES AUTOMOTRICES DE HIERRO NODULAR

HORACIO PORTILLO GOMEZ

QUIMICO METALURGICO

11 9.6 8



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

P A G I N A 2

TEMURADO ASIGNADO
ORIGINALMENTE
SEGUN EL TEMA

PRESIDENTE _____

VOCAL _____

SECRETARIO _____

1ER. SUPLENTE _____

2OO. SUPLENTE _____

SITIO DONDE SE
DESARROLLO
EL TEMA:

GENERAL MOTORS DE MEXICO, S.A. DE C.V.

NOMBRE COMPLETO Y FIRMA
DEL SUSTENTANTE:

HORACIO PORTILLO GOMEZ

NOMBRE COMPLETO Y FIRMA
DEL ASESOR DEL TEMA:

FERNANDO GONZALEZ VARGAS

NOMBRE COMPLETO Y FIRMA
DEL SUPERVISOR TECNICO
(SI LO HAY)

INTRODUCCION

EL HIERRO NODULAR FUÉ DADO A CONOCER POR PRIMERA VEZ EN 1948, DURANTE LA CONVENCION DE LA AMERICAN FOUNDRY MEN SOCIETY EN FILADELFA E.U.A., POR H. MORROUGH DE LA BRITISH CAST IRON RESEARCH ASSOCIATION. EL SR. MORROUGH EXPLICÓ, - QUE MEDIANTE ADICIONES DE CERIO A HIERRO FUNDIDO DE BAJO - CONTENIDO DE AZUFRE, SE PUEDE PRECIPITAR GRAFITO DEL TIPO ESFEROIDAL; DESPUÉS LA INTERNATIONAL NICKEL Co., ANUNCIÓ - QUE ERA POSIBLE PRODUCIR EL MISMO TIPO DE GRAFITO ESFEROIDAL MEDIANTE LAS ADICIONES DE MAGNESIO. EN LOS AÑOS SUBSIGUIENTES MUCHAS INVESTIGACIONES FUÉRON ENCAMINADAS HACIA - ÉSTE NUEVO TIPO DE MATERIAL, QUE PRESENTABA UNOS HORIZONTES TAN PROMETEDORES DENTRO DE LA INDUSTRIA DE LA FUNDICIÓN Y RÁPIDAMENTE, FUÉ DESARROLLÁNDOSE LA PRODUCCIÓN DE - HIERRO DE GRAFITO ESFEROIDAL, MEDIANTE ADICIONES DE MAGNESIO, ELEMENTO QUE POR SUS FAVORABLES CONDICIONES ECONÓMICAS SE IMPUSO SOBRE EL CERIO, HASTA QUE FUÉ ADOPTADO MUNDIALMENTE, PARA LA PRODUCCIÓN DE HIERRO DE GRAFITO ESFEROIDAL.

NO OBSTANTE EL CAUDAL DE LAS INVESTIGACIONES, - AÚN NO ES POSIBLE DETERMINAR CUÁLES SON LAS CAUSAS MEDIANTE LAS QUE EL GRAFITO ES PRECIPITADO EN FORMA ESFEROIDAL - POR EL MAGNESIO. EN LOS ÚLTIMOS 10 AÑOS SE HAN PRODUCIDO - UN TOTAL DE UN MILLÓN DE TONELADAS, Y SE PRESUME QUE PARA 1970, SE HABRÁN PRODUCIDO DE 2 A 4 MILLONES DE TONELADAS.

LA PRIMERA PATENTE QUE CUBRE EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE HIERRO NODULAR, MEDIANTE ADICIONES DE MAGNESIO, FUÉ PRESENTADA EN EL AÑO DE 1947 Y APROBADA EN 1949, BAJO EL NÚMERO US2485760 Y PERTENECE A LA MILLIS, GAGNEBIN & PILLING, E INTERNATIONAL NICKEL Co., AL MISMO TIEMPO SE PRESENTÓ OTRA PATENTE QUE CUBRÍA LOS MEJORAMIENTOS EN LAS PROPIEDADES DEL HIERRO DE GRAFITO ESFEROIDAL, CON ADICIONES DE 0.02 A 0.04% DE MAGNESIO, DICHA PATENTE FUÉ REGISTRADA CON EL NÚMERO US2485761, QUE YA CADUCÓ.

EXISTE OTRA SERIE DE PATENTES TALES COMO LA QUE CUBRE EL EMPLEO DE LA ALEACIÓN NMA # 1 Y QUE FUÉ REGISTRADA EN EL AÑO DE 1950 CON EL NÚMERO US2529246. LA US2563859 Y QUE CUBRE LA ALEACIÓN NMSA # 2 Y QUE FUÉ REGISTRADA EN EL AÑO DE 1951 Y LA US2841490, CUBRIENDO EL BENEFICIO DE TIERRAS RARAS Y PARTICULARMENTE EL CERIO Y SU FACULTAD DE AMORTIGUAR LOS EFECTOS DE ELEMENTOS NOCIVOS.

LA INTERNATIONAL NICKEL CO., CONCEDERÍA LAS PATENTES, MEDIANTE LAS REGALÍAS SIGUIENTES: DE \$1,000.00 A \$3,000.00 DLLS. ANUALES, SEGÚN LAS CONDICIONES DEL COMPRADOR, \$6.00 DLLS. POR CADA UNA DE LAS PRIMERAS 5,500 TONELADAS QUE SE PRODUZCAN, \$1.50 DLLS. POR CADA UNA DE LAS RESTANTES, ADEMÁS DE \$1.20 DLLS. POR CADA UNA DE LAS DESTINADAS A LINGOTES O TUBOS. ADEMÁS PARA OBTENER LA PATENTE, SE EXIGE CONTAR, CON LA ASESORÍA DE UN INGENIERO DE PREFERENCIA METALÚRGICO, POSEER UN PROGRAMA DE CONTROL DE CALIDAD, UNA MÁQUINA DE DUREZA BRINELL, UNA MÁQUINA UNIVERSAL DE PRUEBAS FÍSICAS, UN MICROSCOPIO METALOGRAFICO Y EQUIPO DE PULIDO DE MUESTRAS, UN LABORATORIO QUÍMICO QUE CUENTE CON LOS APARATOS NECESARIOS PARA DETERMINAR CARBONO Y AZUFRE, Y FINALMENTE QUE SEAN EXAMINADAS MICROSCÓPICAMENTE CADA COLADA.

TODO ESTO ES CON EL FIN DE QUE SE LOGRE UN MEJOR CONTROL TANTO METALOGRAFICO COMO QUÍMICO DENTRO DE LA PRODUCCIÓN DEL HIERRO NODULAR, YA QUE COMO VEREMOS NO SE AD EL AN T E, MIENTRAS MÁS RIGUROSOS, ESTRECHOS Y CONOCIDOS SEAN LOS LÍMITES DE TOLERANCIA MEJOR Y MÁS UNIFORME SERÁ LA CALIDAD DEL HIERRO PRODUCIDO, SOBRE TODO CUANDO SE UTILIZARÁ PARA COLAR CIGÜEÑALES, PARTE QUE ES DE MUCHA IMPORTANCIA EN LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.

ADEMÁS DE EL PROCESO INCO PARA PRODUCIR EL GRAFITO ESFEROIDAL EXISTEN OTROS MÉTODOS UNO DE ELLOS ES EL DESARROLLADO POR LA MMC, DICHO PROCESO CONSISTE EN DOS ADICIONES DE ALEACIONES, TIENEN EL NOMBRE COMERCIAL DE PROCOLY # 1 QUE ES UNA MEZCLA DE 90% DE SILICATO DE CALCIO, 8% DE ALGÚN FUNDENTE Y 2% DE MOZANITE QUE ES UN FOSFATO DE TIERRAS RARAS Y CERIO Y EL PROCOLY # 2 QUE CONTIENE 20% DE SILICATO DE CALCIO, 2.5% DE SILICATO DE CALCIO Y MAGNESIO, Y 50% FERRO - SILICIO Y MAGNESIO, LA PRIMERA ALEACIÓN ES PARA PRECIPITAR GRAFITO ESFEROIDAL, LA SEGUNDA ES PARA INOCULAR Y PRECIPITAR.

EL PROCESO DE HIERRO NODULAR A BASE DE ITRIO PROCESO QUE PERTENECE A MAGOS & MEINHART, PROCESO QUE NO PUEDE COMPETIR ECONÓMICAMENTE CON LOS OTROS Y QUE SOLAMENTE TIENEN IMPORTANCIA DESDE EL PUNTO DE VISTA ACADÉMICO.

EL PROCESO JAMES TOWN MODIFIED, NO ES MÁS QUE UNA VARIACIÓN DE EL MÉTODO TRADICIONAL DE MAGNESIO CON UNA ADAPTACIÓN A EL PROCESO DE HIERRO MALEABLE LA CONCENTRACIÓN DE CARBONO ES ALTA CON RELACIÓN A LA DEL SILICIO Y CONSECUENTEMENTE SE PRODUCE HIERRO BLANCO, IMPONIÉNDOSE DE ÉSTA MANERA UN TRATAMIENTO POSTERIOR, EL MAGNESIO ES AGREGADO EN EL HIERRO EN FORMA DE PELLETS POR MEDIO DE UN INYECTOR A BASE DE NITRÓGENO.

EL PROCESO ALLIS - CHALMERS EMPLEA CLORURO DE SODIO, MAGNESIO Y SILICATO DE CALCIO ESTE PROCESO FUÉ DADO A CONOCER POR EL DR. H. K. THRIG EN LA CONVENCIÓN DE 1956 DE LA A.S.M. EN LA CIUDAD DE CLEVELAND,

LA CANTIDAD DE ALEACIÓN AGREGADA A LA CARGA ES DE UN 3% DE EL PESO TOTAL Y SE ADICIONAN EN 2 ETAPAS, LA PRIMERA 20 LBS./TON. QUE ES UNA MEZCLA MECÁNICA DE 60% DE SILICATO DE CALCIO Y 40% DE CLORURO DE SODIO LA SEGUNDA ETAPA 40 LBS./TON. CONSISTE EN UNA ADICIÓN DE OTRA MEZCLA DE 60% DE SILICATO DE CALCIO Y 40% DE CLORURO DE MAGNESIO

CUANDO EL HIERRO SE ENCUENTRA YA EN LA CUCHARA, - LAS MEZCLAS QUE YA HAN SIDO CUIDADOSAMENTE PESADAS Y EN LAS PROPORCIONES CORRECTAS, SON INTRODUCIDAS DENTRO DE EL METAL POR MEDIO DE UN TUBO PRINCIPAL QUE LAS DESCARGA EN EL SEÑO DE EL LÍQUIDO.

UNA DE LAS DESVENTAJAS DE ESTE PROCESO ES QUE NO UTILIZA EL RETORNO DE COLADAS SINO QUE SOLAMENTE SE CARGA EN EL HORNO $1/4$ DE ACERO ESCOGIDO Y $3/4$ ARRABIO, EL METAL ES PREVIAMENTE ACONDICIONADO CON 2% DE BRIQUETAS DE CARBURO DE SILICIO.

ADEMÁS DE LOS PROCESOS ANTERIORMENTE DESCRITOS - EXISTEN OTROS QUE NO SON ENUNCIADOS POR SER SOLO VARIABLES DE LOS MISMOS.

SE HA HABLADO MUCHO DE COMO ES LA FORMA MÁS PROPIA DE NOMBRAR A ÉSTE TIPO DE HIERRO, ¿HIERRO DÚCTIL Ó - HIERRO NODULAR?.

A PESAR DE QUE EN INGLATERRA PREFIERON LLAMARLO HIERRO DE GRAFITO ESFEROIDAL ESTE NO HA SIDO ADOPTADO POR LO LARGO DE EL CALIFICATIVO, PERO VOLVIENDO A LOS DOS PRIMEROS ES MÁS PROPIO LLAMARLO HIERRO NODULAR, DADO QUE SI HABLAMOS DE DUCTIBILIDAD NO NOS PROMUEVEN UNA IDEA CLARA PORQUE LOS GRADOS EN ESTA ESCALA SON MUY VARIABLES EN ESTE TIPO DE HIERRO COMO VEREMOS POSTERIORMENTE, POR LO TANTO A LO LARGO DE ESTE TRABAJO AL HIERRO DE GRAFITO ESFEROIDAL LO NOMBRARÉ HIERRO NODULAR.

FINALMENTE EXPONDRÉ EN QUÉ % SE ENCUENTRA REPARTIDA LA PRODUCCIÓN DE HIERRO NODULAR DENTRO DE LA INDUSTRIA MUNDIAL, EL 55% ES UTILIZADO EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRÍZ, LA PRODUCCIÓN INDUSTRIAL ACAPARA EL 11%, LA TUBERÍA A PRESIÓN CONSUME EL 9.5%, PARA FABRICACIÓN DE ENGRANES 6%, LOS MOLINOS Y PLANTAS DE COQUE 4%, LA INGENIERÍA 4%, LA INDUSTRIA DE EL PAPEL 2.5%, EL EQUIPO DE CONSTRUCCIÓN 2.5%, EL EQUIPO ELÉCTRICO 1.5% Y UN 4% DE DIVERSOS USOS.

PRODUCCION

A) PRÁCTICAS DE FUNDICIÓN.- PARA PRODUCIR EL HIERRO NODULAR FUÉ NECESARIO QUE SE MEJORARÁN LOS HORNOS YA EXISTENTES, EN EL CASO ESPECIAL DE LOS HORNOS DE CUBILOTE ESTAS MODIFICACIONES FUÉRON DE EL TIPO DE: REFRIGERAR LOS HORNOS CON AGUA, MOTIVO POR EL CUAL EL RECUBRIMIENTO DE REFRACTARIO FUÉ MENOS GRUESO, USO DE VIENTOS CALIENTES, PRODUCCIÓN DE ESCORIAS BÁSICAS O NEUTRAS, TAMBIÉN SE DESARROLLÓ LA OPERACIÓN TÉCNICA DE VARIOS TIPOS DE HORNOS ELÉCTRICOS Y DE REVERBERO, SIN EMBARGO EL 65% DE LA PRODUCCIÓN DE HIERRO NODULAR SE EFECTÚA EN HORNOS DE CUBILOTE, ENSEGUIDA PASARÉ A DESCRIBIR BREVEMENTE CUÁLES SON LAS PRÁCTICAS DE FUSIÓN MÁS COMUNES EN CADA TIPO DE HORNO.

I.- FUNDICIÓN EN CUBILOTE: EL CUBILOTE ES UN PROCESO BASTANTE CÓMODO, POR SER UN PROCESO MUY OXIDANTE Y OXIDAR LAS SUBSTANCIAS QUE DETERMINARÁN LAS PROPIEDADES DE EL HIERRO, SUBSTANCIAS TALES COMO EL CROMO, BORO, MANGANESO, ANTIMONIO, ETC. UNA GRAN DESVENTAJA ES LA INTRODUCCIÓN DE AZUFRE CON EL COMBUSTIBLE PORQUE REQUIERE UNA GRAN ADICIÓN DE MAGNESIO PARA ELIMINAR AQUEL, PERO SE PUEDE DESULFURAR ANTES DE AGREGAR EL MO., Y ASI PODER PRECIPITAR EL GRAFITO ESFEROIDAL, SIN EMBARGO ES MUY CÓMODO SU OPERACIÓN PARA -- CUANDO LA PRODUCCIÓN NO ES MUY ELEVADA, Ó PARA CUANDO SE -- PRODUCE HIERRO GRIS Y HIERRO NODULAR ALTERNADAMENTE, ADEMÁS LOS REFRACTARIOS DURAN DE 4 A 5 VECES MÁS QUE LOS REFRACTARIOS BÁSICOS, NO OBSTANTE, LA INTRODUCCIÓN DE AZUFRE EL CUBILOTE ACIDO SE SEGUIRÁ USANDO MUCHO TIEMPO DADO LA COMODIDAD QUE SE TIENE PARA OPERARLO Y POR LO BAJO DE SU COSTO DE OPERACIÓN.

II.- FUNDICIÓN EN CUBILOTE BÁSICO: EL FUTURO QUE TIENE EL CUBILOTE BÁSICO DENTRO DE LA PRODUCCIÓN DEL HIERRO NODULAR NO ES POSIBLE DETERMINARLO DADO QUE ESTE PROCESO -- ES RELATIVAMENTE NUEVO, Y RADICALMENTE DISTINTO AL CUBILOTE ÁCIDO, EL RECUBRIMIENTO EN ESTOS HORNOS ES BÁSICO Y EN

LA ZONA DEL FUSIÓN SE ENCUENTRA REFRACTARIO BÁSICO O INERTE; EN LA ZONA DE EL CRISOL, EL REFRACTARIO MÁS EMPLEADO ES EL INERTE Y EL TIPO MÁS COMÚN DE ÉSTE SON LAS BRIQUETAS DE CARBÓN, UNA CARACTERÍSTICA DE ÉSTE TIPO DE HORNO ES SU ENFRIAMIENTO CON AGUA, ÉSTE ENFRIAMIENTO SE ENCUENTRA GENERALMENTE EN LA ZONA DE FUSIÓN Y SE EFECTÚA POR MEDIO DE UNOS TUBOS DE ACERO EMPOTRADOS EN EL REFRACTARIO, POR DOBLE PARED O CHAQUETA, O POR POCIADO EXTERIOR, ES MUY IMPORTANTE CONTROLAR PERFECTAMENTE EL ESPESOR DE EL REFRACTARIO Y EL FUNCIONAMIENTO DE LAS CHAQUETAS DE REFRIGERACIÓN PARA PREVENIR EXPLOSIONES. EL USO DE REFRIGERACIÓN CON AGUA EN CUBILOTES DE DIÁMETRO MENOR A 1-1/2 MTS. (64") NO ES RECOMENDABLE DADO QUE NO ES POSIBLE MANTENER CONSTANTEMENTE UNA TEMPERATURA ADECUADA.

LA DIFERENCIA PRINCIPAL EN LA COMPOSICIÓN DE LAS ESCORIAS ES SU NATURALEZA ÁCIDA O BÁSICA., PARA PODER TENER UN CONTROL SOBRE LAS ESCORIAS CONTAMOS CON EL ÍNDICE DE BASICIDAD, QUE ES EL RESULTADO DE DIVIDIR LOS PORCENTAJES DE LOS ÓXIDOS BÁSICOS ENTRE LOS PORCENTAJES DE LOS ÓXIDOS ÁCIDOS, UN ÍNDICE DE 0.00 NOS HABLA DE UNA ESCORIA ÁCIDA DE 0.80 Ó 1.2 DE ESCORIAS NEUTRAS Y DE 1.2 A 3. DE ESCORIAS BÁSICAS, LOS MATERIALES QUE APORTAN CONSTITUYENTES ÁCIDOS A LA ESCORIA SON: LAS CENIZAS Y EL AZUFRE DEL COQUE, LA OXIDACIÓN DEL SILICIO Y OTROS METALES, LA ARENA SÍLICE ADHERIDA A LAS COLADAS DE RETORNO, ÉSTOS SE PUEDEN CONTRARRESTAR CON EL USO DE PIEDRA CALIZA, PERO ANTES ES NECESARIO HACER UN ANÁLISIS QUÍMICO DE LA ESCORIA PARA PODER CALCULAR LAS ADICIONES DE PIEDRA CALIZA A LA CARGA.

A CONTINUACIÓN SE ILUSTRA UNA TABLA DE LAS ESCORIAS MÁS CARACTERÍSTICAS Y SUS PORCENTAJES DE ÓXIDOS MÁS COMUNES, ASI COMO SUS ÍNDICES DE BASICIDAD.

NÓTESE QUE LA OXIDACIÓN Y EL PODER DESULFURANTE DE LA ESCORIA DESCIENDE CON EL ÍNDICE DE BASICIDAD. LOS

TIPO Y CARACTERISTICAS	OXIDOS ACIDOS			OXIDOS BASICOS			INDICE DE BASICIDAD	% S EN LA ESCORIA
	% Al ₂ O ₃	% FeO	% SiO ₂	% CaO	% MgO	% MnO		
BASICA Y REDUCTORA SE DESINTIGRA, COLOR BLANCA, PUNA FULVULENTA. (0,003% S EN EL BAÑO)	3,45	0,28	16,1	62,4	8,1	TRASAS	3,6	0,9
BASICA Y REDUCTORA SE DESINTIGRA, COLOR GRIS (0,003% S EN EL BAÑO)	3,2	0,27	19,7	61,4	,71	,06	3,0	1,02
BASICA Y OXIDANTE POLVO AGRISO (0,021% S EN EL BAÑO)	3,9	0,33	26,0	63,4	2,2	,30	2,3	,9
BASICA Y OXIDANTE I.- OPACA II.- BRILLANTE (0,05% S EN EL BAÑO)	3,9 6,0	1,44 1,73	31,5 23,7	46,9 47,5	14,3 12,7	,36 ,35	1,8 1,7	48
BASICA Y OXIDANTE POLVOSA Y OPACA (0,40% S EN EL BAÑO)	9,5	,32	29,5	55,1	2,2	1,38	1,5	
NEUTRA: (0,05/0,07% S EN EL BAÑO)	13,1	1,5	33,6	34,6	12,4	2,7	1,0	1,00
TIPICA ACIDA 0,09/0,1% S VIDRIOSA	11,0	1,1	46,2	57,2	1,4	1,4	,7	
ACIDA Y OXIDANTE VISCOSA Y NEGRA 0,09/0,12% S EN BAÑO	12,1	6,9	47,1	22,0	1,6	4,6	,6	

CONTENIDOS DE CARBONO SE PUEDEN TENER BASTANTE ALTOS CUANDO SE TRABAJA CON ESCORIAS BÁSICAS Y REDUCTORAS. SE HA DEMOSTRADO QUE LAS ESCORIAS CON ALTOS ÍNDICES DE BASICIDAD DISMINUYEN EL CONTENIDO DE GASES EN EL METAL, LA FLÚIDEZ DE LAS ESCORIAS ES CONTROLADA CON EL USO DE ESPATOFLÚOR, PERO SE DEBE TENER CUIDADO, PORQUE UN EXCESO PUEDE HACER QUE LA ESCORIA SE ESPUME, GENERALMENTE SE EMPLEA DE 0.5 A 1.5% DE ESPATO FLÚOR.

CUANDO SE TRABAJA CON UNA ESCORIA BÁSICA Y REDUCTORA ES POSIBLE CONSERVAR UN PORCENTAJE DE CARBONO ALTO - DESPUÉS DE QUE SE HA AGREGADO COQUE Y ACERO AL BAÑO.

ES POSIBLE ELIMINAR MÁS AZUFRE CUANDO SE TRABAJA CON ÍNDICE DE BASICIDAD ALTOS Y CON BAJOS NIVELES DE OXIDACIÓN Y ÉSTE SE REFLEJA EN EL BAJO CONTENIDO DE MNO. CON LAS ESCORIAS BÁSICAS, SE PUEDE ELEVAR FÁCILMENTE EL CONTENIDO DE CARBONO SOBRE 4.00% AÚN DESPUÉS DE AGREGAR ACERO.

EN LA PRÁCTICA, EL CARBURO DE CALCIO SE USA EN ALGUNOS CUBILOTES BÁSICOS PORQUE ES MUY EFECTIVO COMO DESULFURANTE DADA SU ALTA BASICIDAD Y YA QUE POR SER EXOTÉRMICO INCREMENTA LA TEMPERATURA ASI COMO ELIMINA AZUFRE.

EN GENERAL SE PUEDE DECIR QUE EN LOS CUBILETES BÁSICOS SE PUEDE PRODUCIR HIERRO CON ALTO CARBÓNO, BAJO AZUFRE, Y BAJOS CONTENIDOS DE OXÍGENO, POR LO CONSIGUIENTE ESTE HIERRO PUEDE SER NODULARIZADO CON MUY Poca ADICIÓN - DE ALEACIÓN DE MAGNESIO.

FUNDICION EN HORNOS DE ARCO

HIERRO NODULAR DE ALTA CALIDAD PUEDE SER PRODUCIDO EN HORNOS ELÉCTRICOS DE ARCO DADO QUE ESTE MÉTODO ES - MUY LIMPIO Y ES DIFÍCIL QUE EL METAL SE PUEDA CONTAMINAR. PERO SIEMPRE ES NECESARIO TENER PRECAUCIONES PARA EVITAR ELEMENTOS NOCIVOS DENTRO DE EL METAL.

LOS HORNOS ELÉCTRICOS SON MÁS PROPENSOS A ESTABILIZAR LOS CARBURUS QUE LOS CUBILOTES, DADO QUE EN SU INTERIOR LA ATMÓSFERA NO ES TAN OXIDANTE COMO EN LOS CUBILETES. NOSOTROS PODEMOS APRECIAR COMO PRINCIPALES DIFERENCIAS DE LOS HORNOS ELÉCTRICOS DE ARCO Y LOS CUBILOTES QUE: EN EL CUBILOTE EXISTE MÁS OXIDACIÓN QUE EN EL HORNO ELÉCTRICO DE ARCO, SE PUEDE INTRODUCIR EN EL BAÑO HIDRÓGENO QUE PROVIENE DE LA DESCOMPOSICIÓN DEL VAPOR DE AGUA; EL TAMAÑO DE LAS CELDAS EUTEÓTICAS ES MODERADAMENTE INCREMENTADO POR UN LARGO TIEMPO DE CALENTAMIENTO O BIÉN POR UN SOBRECALENTAMIENTO.

SE UTILIZAN EN ALGUNOS CASOS LAS ADICIONES DE MINERAL DE HIERRO QUE SIRVEN PARA HERVIR Y DESGASIFICAR EL METAL DEL HIDRÓGENO Y NITRÓGENO QUE TENGAN, TAMBIÉN EL BAÑO ES PREACONDICIONADO CON SILICOCÁLCICO QUE AYUDA EN LA DESULFURACIÓN, EL CARBURO DE SILICIO ES IDEAL PARA DAR UN DE SOXIDADO FINAL.

CON HORNOS ELÉCTRICOS DE ARCO ES POSIBLE OBTENER HIERRO CON UN CONTENIDO DE AZUFRE DE 0.02% A 0.03% Y EN ÉSTOS NIVELES RÁPIDAMENTE RESPONDE EL TRATAMIENTO NODULARIZANTE.

"LA FUSION EN HORNOS DE INDUCCION"

ACTUALMENTE SE HA DESARROLLADO MUCHO EL MÉTODO DE LA FUSIÓN EN HORNOS DE INDUCCIÓN, SE TIENEN DOS TIPOS CARACTERÍSTICOS DE HORNOS DE INDUCCIÓN, LOS DE BAJA Y LOS DE ALTA FRECUENCIA, SUBDIVIDIÉNDOSE ÉSTOS EN LOS DE CON NÚCLEO Y LOS DE SIN NÚCLEO, LOS DE ALTA FRECUENCIA SE FABRICAN SIEMPRE SIN NÚCLEO, VARIAS COMPAÑÍAS GRANDES SE DEDICAN PRINCIPALMENTE A LA FABRICACIÓN DE ÉSTE TIPO DE HORNOS LA BROWN - BOVERI CORPORATION, LA JUNKER QUE FUÉ LA QUE POR PRIMERA VEZ LOS CONSTRUYÓ, TAGLIAFERRI, AJAX MAGNETHERMIC COMPANIES, LA DEMAG, LA RUAS Y OTRAS VARIAS.

LA VENTAJA QUE SE TIENE EN ESTE TIPO DE HORNO ES LA GRAN COMODIDAD PARA EL CONTROL DEL PROCESO, TANTO QUÍMICO COMO TÉRMICAMENTE, EN ÉSTE TIPO DE HORNOS EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA FUNDIR Y CALENTAR UNA TONELADA DE HIERRO A 1550°C ES DE 500 KWH A 700 KWH.

OTRA VENTAJA DE ÉSTE TIPO DE HORNOS ES LO LIMPIO QUE SE EFECTÚA EL TRABAJO, DADO QUE SE PUEDE CONTAR CON ATMÓSFERA CASI CONTROLADA DENTRO DEL HORNO Y ASÍ PODER EVITAR AL MÁXIMO LA OCLUSIÓN DE GASES NOCIVOS DENTRO DEL BAÑO METÁLICO, EL CONTROL QUÍMICO PUEDE, POR ÉSTO MISMO SER ESTRICTO EN GRADO SUMO, DADO QUE DENTRO DE EL HORNO LAS REACCIONES DE OXIDACIÓN Y DE REDUCCIÓN SON CASI NULAS, ADEMÁS DE QUE SE PUEDE CONTAR CON ESTRICTO CONTROL DE MATERIALES CARGADOS AL HORNO, LA COMPAÑÍA GENERAL MOTORS DE MÉXICO, S. A. DE C. V., EN SU PLANTA DE FUNDICIÓN DE MOTORES EN LA CIUDAD DE TOLUCA (QUE ES EL LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ LA TESIS) - CUENTA CON TRES HORNOS DE INDUCCIÓN DE BAJA FRECUENCIA CON NÚCLEO, DE 12 TONELADAS CADA UNO, ÉSTOS HORNOS DE LA MARCA TAGLIAFERRI TIENEN UNA CAPACIDAD DE FUSIÓN DE 1400 KILOS/HORA.

EN ÉSTA COMPAÑÍA SE INSTALARON ESTE TIPO DE HORNOS DADO LAS ESTRICTAS NORMAS DE CALIDAD QUE SE HAN IMPUESTO.

LA PRÁCTICA DE FUSIÓN ES LA SIGUIENTE:

EL DÍA ANTERIOR A LA PRODUCCIÓN DE HIERRO NODULAR SE DEJAN LOS HORNOS CON LA MENOR CANTIDAD DE HIERRO POSIBLE ESTE HIERRO ES DEL QUE SE CONOCE CON EL TIPO DE HIERRO SUAVE, EL PROGRAMA DE PRODUCCIÓN DE LA COMPAÑÍA PREVEE QUE LA PRODUCCIÓN DE HIERRO NODULAR, SEA DESPUÉS DE LA DE HIERRO - SUAVE DADO QUE SE TIENE UN ALTO CONTENIDO DE CARBONO Y UN MÍNIMO CONTENIDO DE CROMO, ELEMENTO NOCIVO EN LA PRODUCCIÓN DE HIERRO NODULAR.

EL LABORATORIO METÁLURGICO ES EL ENCARGADO DE PREPARAR UN CÁLCULO DE CARGA COMO EL QUE POSTERIORMENTE SE ILUSTRARÁ, EN LOS CUALES SE CARGAN COMO MATERIA PRIMA; RETORNO DE HIERRO NODULAR, ACERO Y ARRABIO SOREL.

ESTE ÚLTIMO LINGOTE DE HIERRO ES UN TIPO ESPECIAL MUY PURO QUE SE IMPORTA, EN ÉL SE TIENE UN CONTENIDO DE CARBONO DE 4.20% Y CASI SE ESTÁ EXENTO DE OTROS MATERIALES, LA PRODUCCIÓN DE HIERRO SOREL LA DESCRIBE AL TERMINAR ÉSTE SUBCAPÍTULO.

EL LABORATORIO METÁLURGICO EXTIENDE UN BLOCK DE BOLETAS DE CARGAS CALCULADO PARA 6 Ó 7 TONELADAS, ESTOS MATERIALES SE CARGAN AL HORNO UNA VEZ QUE HA SIDO DESCORRIADO EL HORNO, EL TIPO DE ACERO QUE SE CARGA AL HORNO ES ESCOGIDO METICULOSAMENTE, DEBE SER DE BAJO CARBONO Y EXENTO DE CROMO, EN LA MAÑANA, APROXIMADAMENTE 1/2 HORA ANTES DE EMPEZAR LA PRODUCCIÓN EL BAÑO METÁLICO DEBE TENER LA TEMPERATURA DE 1500°C QUE ES LA TEMPERATURA ESTIPULADA PARA LA PRODUCCIÓN DE CIGÜEÑALES QUE SE HACEN DE HIERRO NODULAR Y EL ANÁLISIS QUÍMICO DEBE ESTAR DENTRO DE LOS LÍMITES ESTABLECIDOS, SE CUENTA CON UN INYECTOR, EL CUAL POR MEDIO DE UNA LANZA DE GRAFITO Y UN FLUJO DE NITRÓGENO PUEDE INYECTAR GRAFITO O FERROALEACIONES PARA DEJAR DENTRO DE ESPECIFICACIÓN QUÍMICA EL METAL, EN LOS HORNOS QUE NO TIENEN NÚCLEO ESTE EQUIPO NO ES NECESARIO PUES EL BAÑO ESTÁ AGITADO

VIOLENTAMENTE, PERO EN LOS HORNOS CON QUE CUENTA LA COMPAÑÍA POR ESTAR LA BOBINAS FUERA DEL CRISOL LA AGITACIÓN ES MUY POCA.

A LAS 08:00 A.M. LLEGAN AL PISO DE VACIADO LOS PRIMEROS MOLDES DE CIGÜEÑALES, ESTOS MOLDES SON DE ARENA, TIENEN UNA DUREZA DE 90 A 100 UNIDADES DE LA ESCALA QUE SE USA PARA MEDIR LA DUREZA DE MOLDE, EL MOLDE ESTÁ COMPUESTO DE 2 COMPOSICIONES DE ARENA, UNA QUE SE CONOCE CON EL NOMBRE DE ARENA DE RELLENO Y OTRA DE CARA, ÉSTA ÚLTIMA SE USA PARA DAR UN ACABADO MÁS TERSO A LA PIEZA, LAS ARENAS DE MOLDE ESTÁN MEZCLADAS CON BENTONITAS DEL TIPO SÓDICO Y CÁLCICO, LA FUNCIÓN DE LAS BENTONITAS ES LA DE AGLUTINAR LA ARENA, TAMBIÉN LA ARENA TIENE UNA HUMEDAD DE 2.7% ÉSTE ES UN PUNTO MUY IMPORTANTE Y QUE HAY QUE CONTROLAR ESTRICTAMENTE PUES EL CONTENIDO DE AGUA DETERMINA LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LA ARENA TALES COMO: RESISTENCIA EN CALIENTE, EN VERDE, AL CORTE Y AL IMPACTO, PERMEABILIDAD ETC.

LA ARENA DE MOLDEO TAMBIÉN VA MEZCLADA CON CARBÓN MARINO, O SEA CARBÓN MINERAL DE HUÉLLA MOLIDO, MATERIAL QUE TIENE COMO FUNCIÓN PRINCIPAL FORMAR UN COLCHÓN DE GASES ENTRE EL METAL Y LA SUPERFICIE DE EL MOLDE Y ASÍ PROMOVER UN ACABADO MEJOR Y AMORTIGUAR EL MOVIMIENTO DE LA PARED, LA CANTIDAD DE CARBÓN MARINO SE DETERMINA EN EL LABORATORIO DE ARENAS COMO EL PORCENTAJE DE MATERIA COMBUSTIBLE Y ÉSTE ESTÁ ENTRE 5 Y 7%.

ULTIMAMENTE SE ESTA UTILIZANDO CON RESULTADOS MUY SATISFACTORIOS EL USO DE UN 2% DE ÓXIDO DE HIERRO, QUE TIENE LA PROPIEDAD DE IMPEDIR LA PENETRACIÓN Y ASÍ EVITAR EL DEFECTO CONOCIDO COMO ENVENAMIENTO.

LAS MÁQUINAS QUE SE USAN PARA HACER EL MOLDE SON DE LAS CONOCIDAS CON EL NOMBRE DE MÁQUINAS DE SACUDIDAS, ÉSTAS MÁQUINAS TRABAJAN POR PAREJAS, ES DECIR EN UNA SE HACE LA PARTE INFERIOR DEL MOLDE Y SE DEPOSITA EN UN TRANS-

PORTADOR EN FORMA ELÍPTICA, METROS MÁS ADELANTE LA MÁQUINA QUE HA HECHO EL MOLDE SUPERIOR LO ACERCA HASTA LA LÍNEA DE MOLDEO DONDE LA CAJA ES CERRADA CUIDADOSAMENTE, CABE HACER NOTAR QUE ESTE TRABAJO DEBE SER HECHO POR ESPECIALISTAS POR SER UN TRABAJO ESPECIALIZADO PUES SI LO HICIERA PERSONAL - NO COMPETENTE SE CORRE EL PELIGRO DE QUE SE DESPRENDA ARENA DE LA COPA DE COLADO Y APAREZCA DESPUÉS EN LA PIEZA EN FOR MA DE INCLUSIONES AFECTANDO LA CALIDAD DE EL PRODUCTO, LAS MÁQUINAS DE MOLDEO ESTAN DOTADAS DE MODELOS METÁLICOS QUE ES LA NEGATIVA DE LA PIEZA QUE SE DESEA HACER, UN MODELO CONSTA PRINCIPALMENTE DE: LA PIEZA EN SÍ QUE SE DESEA HACER, LOS CANALES DE ALIMENTACIÓN, LOS ALIMENTADORES QUE EN LOS CIGÜEÑALES SON MÁS GRANDES DE LOS COMUNES DADO EL ALTO GRADO DE CONTRACCIÓN QUE TIENE EL HIERRO NODULAR Y LA COPA DE COLADO, TODOS ESTOS ELEMENTOS SON CALCULADOS CUIDADOSAMENTE POR EL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE FUNDICIÓN, Y ES UNA SATISFACCIÓN HACER NOTAR QUE EN LOS CIGÜEÑALES TODO EL MODELO FUÉ CALCULADO Y HECHO EN MÉXICO, UNA VEZ LISTO EL - MOLDE ES TRANSPORTADO POR LA LÍNEA A EL PISO DE VACIADO, - DONDE YA SE ENCUENTRA LA OLLA DE COLADO LISTA PARA LLENAR EL MOLDE, LA OPERACIÓN DE COLADO TAMBIÉN ES ESPECIALIZADA, DADO QUE ES NECESARIO EN EL MOMENTO DE VACIAR MANTENER LA COLADA LLENA DE METAL PARA ASÍ HACER QUE LA ESCORIA Y LA IMPUREZA FLOTEN Y EVITAR QUE ENTREN EN LA PIEZA, LA TEMPERATURA A QUE SE DEBEN DE VACIAR LAS PIEZAS ESTÁ ENTRE - 1490°C Y 1450°C PORQUE EN ESOS LÍMITES DE TEMPERATURA SE TIENE LA MEJOR NODULARIZACIÓN DEL HIERRO SI ESTE HÁ SIDO BIÉN TRATADO, UNA VEZ LLENADO EL MOLDE DEBE DE DURAR UNA HORA, POR QUE EN ESE TIEMPO LA PRÁCTICA HÁ DEMOSTRADO QUE SE TIENEN LAS MEJORES CUALIDADES FÍSICAS QUE NOSOTROS REQUERIMOS PARA LAS PIEZAS, AL LLEGAR AL DESMOLDEADOR LOS MOLDES SON DESECHOS Y LAS PIEZAS COLGADAS EN UN TRANSPORTADOR AÉREO QUE LAS LLEVA AL DEPARTAMENTO DE LIMPIEZA.

COMO DIJE ANTERIORMENTE EL CONTROL DE LA TEMPERATURA EN LOS HORNOS ES SUMAMENTE ESTRICTO, Y LA PRÁCTICA QUE SE SIGUE PARA QUE TODAS LAS CUCHARAS SEAN VACIADAS A

LA MISMA TEMPERATURA ES LA SIGUIENTE: LA CANTIDAD DE CORRIENTE QUE ENTRA A LOS HORNOS SE CONTROLA CON NUEVE "TAPS" Ó ESCALONES DE VOLTAJE, DIFERENTES EN LOS CUALES VA EN AUMENTO PROGRESIVO LA CANTIDAD DE CORRIENTE. SE CALCULA LA VELOCIDAD DE LA LÍNEA DE MOLDEO Y LA DEMANDA DE METAL. CON LA CANTIDAD DE METAL QUE TENEMOS FUNDIDO Y LA CAPACIDAD DE FUSIÓN DE LOS HORNOS, SE CALCULA LA CARGA DE MATERIAL SÓLIDO QUE METEREMOS AL HORNO ENTRE CUBIETA Y CUCHARA Y HACIENDO UN CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE CORRIENTE NECESARIA PARA FUNDIR Y CALENTAR ESE METAL A LA TEMPERATURA DESEADA SE ELEGIRÁ EL TAP QUE MEJOR NOS CONVENGA.

"MATERIALES CARGADOS A EL HORNO". - COMO CITE ANTERIORMENTE LOS MATERIALES QUE SE CARGAN A EL HORNO SON - ACERO, METAL SOREL Y RETORNO DE NODULAR.

LA PRODUCCIÓN DE METAL SOREL SE HACE EN CANADÁ, A RAÍZ DE LA PRODUCCIÓN DE HIERRO NODULAR, Y LA NECESIDAD DE TENER MATERIALES LO MÁS Puros POSIBLES PARA SU PRODUCCIÓN.

EL METAL SOREL ES UN ARRABIO HECHO EN HORNO ELECTROREDUCTOR EN EL CUAL ESTAN ALTAMENTE DILUIDOS LOS MATERIALES NOCIVOS PARA EL HIERRO NODULAR Y PARA EXPLICAR EL ALTO GRADO DE PUREZA ES NECESARIO DESCRIBIR TODA SU OBTENCIÓN.

LA MINA PRODUCTORA SE ENCUENTRA EN QUEBEC, CANADÁ, EN LA REGIÓN DE ALLARD LAKE. LA MATERIA PRIMA ES ILMENITA PRIMARIA CON HEMETITA FINAMENTE DISPERSA EN CONTENIDO DE DOS A UNO, LA MENA ES TRANSPORTADA POR BARCO HASTA LA CIUDAD SOREL.

LA MENA ES MOLIDA, CONCENTRADA Y CALCINADA. PARA CALCINAR SE UTILIZAN UNOS HORNOS ELÉCTRICOS REDUCTORES DE / MTS. DE LARGO, 6.5 MTS. DE ANCHO Y 6.3 MTS. DE ALTO Y RECUBIERTOS CON REFRACTARIO BÁSICO, CUENTA CON 6 ELECTRÓDOS EN EL CENTRO DE 60 CMS. QUE ACTÚAN EN LA MISMA FORMA DE LOS HORNOS ELÉCTRICOS DE ARCO, ÉSTOS SON TRIFÁSICOS Y CON

UN TRANSFORMADOR DE 6,500 KVH CADA UNO, EL HORNO OPERA A MENOR PRESIÓN QUE EL ATMOSFÉRICA Y EL GAS QUE SE PRODUCE DE LA REACCIÓN DE PRODUCCIÓN ES ALTAMENTE COMBUSTIBLE, LA REDUCCIÓN NO ES COMPLETA Y POR ESO ALGUNOS ÓXIDOS FUNGEN COMO FUNDENTES EN LA ESCORIA, COMO LA REDUCCIÓN ES INCOMPLETA EL SILICIO, EL MANGANESO EL FÓSFORO Y OTROS ELEMENTOS NOCIVOS SON ABSORBIDOS POR LA ESCORIA DEJANDO EN ESTA FORMA EL HIERRO LIBRE DE IMPUREZAS.

ESTOS HORNOS SON CONTÍNUOS Y LA ESCORIA QUE ES UN SUBPRODUCTO SE USA EN LA INDUSTRIA DE LOS PIGMENTOS. EL HIERRO ES REFINADO NUEVAMENTE EN HORNOS ELÉCTRICOS, DONDE SE SE SULFURAN Y DESOXIDAN, UNA VEZ HECHA ESTA OPLRACIÓN EL HIERRO SE VACÍA EN LINGOTES.

EXISTEN 2 GRADOS DE METAL SOREL EL D-1 CONTIENIENDO 2.5% DE CARBONO Y EL F-1 CONTIENIENDO 4.25% DE CARBONO.

EL SOREL F-1 ES CARBURADO POR UN MÉTODO DE INYECCIÓN SIMILAR A EL QUE TIENE LA COMPAÑÍA, ÉSTE TIPO DE HIERRO ES RECOMENDADO PARA PRODUCCIÓN DE HIERRO NODULAR EN CUBILOTES ÁCIDOS Y EL D-1 PARA CUBILOTES BÁSICOS, LOS BAJOS CONTENIDOS DE SILICIO PERMITEN EL EMPLEO DE UNA CANTIDAD FUERTE DE RETORNO DE HIERRO NODULAR DADO QUE EL HIERRO BASE PARA EL HIERRO NODULAR DEBE TENER 1.65% DE SÍ, Y SE DEBE TRATAR E INOCULAR HASTA UN 2.30 - 2.40%.

Y EL BAJO CONTENIDO DE MANGANESO PERMITE LA OBTENCIÓN DE UN BUEN HIERRO NODULAR DE MATRÍZ FERRÍTICA, EL CONTENIDO DE MANGANESO ES $\pm 0.15\%$.

LOS BAJOS CONTENIDOS DE MANGANESO PERMITEN UN BUEN TRATAMIENTO TÉRMICO ASÍ COMO UN RECOCIDO SATISFACTORIO Y EVITAN LA PERLITIZACIÓN; DE LOS OTROS DOS TIPOS DE MATERIALES QUE SE CARGAN, EL SEGUNDO EN IMPORTANCIA ES EL RETORNO DE HIERRO DE NODULAR QUE SE ENCUENTRA APROXIMADAMENTE DENTRO DE LA ESPECIFICACIÓN DE HIERRO BASE QUE SE DESEA SÓ

LO ESTÁ ALTO DE SILICIO Y BAJO DE CARBONO PERO ESTÓ SE PUE DE CONTRARRESTAR CARGANDO JUNTO CON EL RETORNO, HIERRO SOREL.

LA CARGA DE ACERO SE REDUCE A UN MÍNIMO DADO QUE UN ANÁLISIS PROMEDIO DEL TIPO DE ACERO ES: CROMO .10 A .05% - MANGANESO 0.50 - 0.75%, COBRE 0.10%, SIENDO EL COBRE Y CROMO ELEMENTOS NOCIVOS AL HIERRO NODULAR QUE NOSOTROS FABRICAMOS.

CONTROL TÉCNICO DEL PISO DE VACIADO.

TODO FUNDIDOR DE HIERRO NODULAR SABE LA IMPORTANCIA QUE TIENE UN BUEN CONTROL DEL PISO DE VACIADO EN LA CALIDAD Y EL GRADO DE EFICIENCIA DE UNA PRODUCCIÓN. POR LO QUE SE DEBE TENER MUCHO CUIDADO EN LA TEMPERATURA DE COLADO, EL DISEÑO DE MOLDES Y ALIMENTADORES, EL CUIDADO DE UN BUEN TRATAMIENTO CON MAGNESIO ETC.

A) PRÁCTICA DE COLADO Y ALIMENTACIÓN DE MOLDES.- DE LOS MÉTODOS QUE SE UTILIZAN PARA LLENAR LOS MOLDES UNO QUE HA DADO BUENOS RESULTADOS ES EL QUE SE CONOCE CON EL NOMBRE DE PRESIÓN POSITIVA. OBSERVACIONES PRÁCTICAS REALIZADAS POR LA INTERNATIONAL NICKEL COMPANY HA DADO LUGAR A UNAS CONSTANTES EN EL DISEÑO DEL TUBO DE COLADA, CANALES Y ENTRADAS A LA PIEZA QUE RESPONDE A LA CLAVE 4:8:3 Y QUE FAVORECEN EL BUEN LLENADO DEL MOLDE, EVITAN LA TURBULENCIA Y LA INTRODUCCIÓN DE ESCORIA E INCLUSIONES DENTRO DE LA PIEZA.

LOS TIEMPOS DE COLADO PARA EL SISTEMA DE 4:8:3 ASÍ COMO EL ÁREA DEL TUBO DE VACIADO EN RELACIÓN CON LA CANTIDAD DE HIERRO QUE SE QUIERA VACIAR SE ILUSTRAN EN LA TABLA SIGUIENTE:

PARA COLAR LA SECCIÓN DE LA COLADA SERA EN UN TIEMPO

5 KGS.	2.6	CM ²	4	SEG.
10 "	3.2	"	5	"
25 "	4.5	"	7	"
50 "	5.2	"	8	"
100 "	6.7	"	12	"
250 "	12.9	"	20	"
500 "	16.1	"	25	"
750 "	19.4	"	30	"
1000 "	22.5	"	35	"
2500 "	38.5	"	60	"
5000 "	52.0	"	80	"

POR MEDIO DE LA TABLA ANTERIOR LA SECCIÓN DEL TUBO DE COLADO PUEDE SER SELECCIONADA Y CALCULAR LOS CANALES Y LAS ENTRADAS.

EL NÚMERO DE ENTRADAS Y LA FORMA DE ESTAS SE ENCUENTRAN ESTABLECIDAS EN ALGUNOS CASOS PERO DADO EL HECHO DE QUE CADA FUNDIDOR TIENE SUS MÉTODOS, ÉSTA PARTE DE LA FUNDICIÓN ES MUY EXTENSA, SOLO ES NECESARIO RECORDAR QUE ES RECOMENDABLE HACER UNA MUESCA EN LOS SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN PARA QUE ASI PUEDAN ESTOS SER SEPARADOS FACILMENTE DE LA PIEZA, ES RECOMENDABLE HACER ESTA MUESCA DE UN 10% DE LA SECCIÓN DE LA PARTE EN QUE SE HACE POR QUE ESTA SIMPLIFICA LA FUERZA DE CORTE APROXIMADAMENTE A LA DÉCIMA PARTE.

HARVEY HENDERSON DE LA LYNCHBURG FOUNDRY COMPANY DA LAS SIGUIENTES FÓRMULAS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN:

$$1).- \text{TIEMPO COLADO} = K_1 \sqrt{\text{PESO DE LA PIEZA}} = \text{SEG.}$$

DONDE:

$$\text{PARA 10 MM. } K_1 = 1.4$$

$$\text{PARA 10 A 25 MM. } K_1 = 1.8$$

$$\text{PARA CUALQUIER SECCIÓN } K_1 = 2.0$$

$$2).- \text{ALTURA DEL TUBO VACIADO} = \frac{H - P^2}{2C}$$

DONDE:

H = ALTURA DEL METAL DESDE LAS ENTRADAS

C = ALTURA DE LA PIEZA

P = ALTURA DE LA PIEZA DESDE LAS ENTRADAS

3).- \dot{A} REA DE LAS ENTRADAS = $K_2 \times \text{PESO VACIADO}$
 $\frac{\text{TIEMPO DE VACIADO} \times \text{VALT. DEL TUBO COL.}}$

4).- CÁLCULO DEL TAMAÑO DE LOS CANALES:

A) VELOCIDAD DE VACIADO = $\frac{\dot{A}$ REA DE LAS ENTRADAS \times ALT. DEL TUB. COL.
 K_2

K_2 PARA HIERRO NODULAR = 0.21

B) \dot{A} REA DEL CANAL = $\frac{\text{VELOCIDAD DE VACIADO}}{245 \times \text{VELOCIDAD (30 CMS. POR SEGUNDO)}}$
 245 ES EL PESO EN LIBRAS POR PIE CÚBICO DE HIERRO NODULAR FUNDIDO

5).- \dot{A} REA DEL TUBO DE VACIADO = $\frac{2 \times \text{AREA DE LAS ENTRADAS}}{\text{NUMERO DE ENTRADAS}}$

6).- DIÁMETRO DE ALIMENTADORES = $\frac{\text{VOLÚMEN DE LA SECCIÓN A ALIMENTARSE}}{\text{AREA DE LA SECCIÓN DE ALIMENTARSE}}$

CONEXIÓN DE ALIMENTADOR (DIÁMETRO) = $\frac{\text{DIÁMETRO DEL ALIM.} + 1\frac{1}{2} \text{ CM.}}{4}$

B).- ALIMENTADORES PARA EVITAR RECHUPES:

MUCHO SE HA HABLADO Y ESTUDIADO ACERCA DE LOS ALIMENTADORES Y DE LOS RECHUPES, PERO COMO EN ESTE FENÓMENO INTERVIENEN TANTAS VARIABLES NO HA SIDO POSIBLE PRODUCIR UNA FÓRMULA GENERAL A PRUEBA DE ERRORES, PARA EL CÁLCULO DE ALIMENTADORES; GENERALMENTE CADA PIEZA TIENE UN TIPO O TIPOS DE ALIMENTADORES ESPECIALES, Y EN LA SELECCIÓN DE ESTOS, EL CONOCIMIENTO, LA INMAGINACIÓN Y LA EXPERIENCIA ES EL MEJOR MÉTODO QUE PODEMOS SEGUIR PARA OBTENER UN BUEN RENDIMIENTO.

LAS ÁREAS PROPENSAS AL RECHUPE SON GENERALMENTE PREDECIBLES, DADO EL VOLÚMEN DE ESA SECCIÓN, LA LOCALIZACIÓN DE UN PUNTO CALIENTE, ETC.

PARA EVITAR ESTO SE RECURRE A VARIOS TIPOS DE MÉTODOS Y HERRAMIENTAS COMO: CORREGIR SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN, EL USO DE TEMPLADERAS O HACER MODIFICACIONES EN LA PIEZA, ETC.

MIENTRAS EL CONTROL QUÍMICO Y DE LA TEMPERATURA ES DE GRAN IMPORTANCIA, EL CONTROL DE LOS MATERIALES DEL MOLDE, LA DUREZA DE ÉSTE, EL TIPO DE CAJA USADA, ETC., TIENEN UNA IMPORTANCIA CRÍTICA.

UN ALIMENTADOR DEBE CONTENER LA SUFICIENTE CANTIDAD DE METAL CALIENTE PARA CONTRARRESTAR LA CONTRACCIÓN DEL METAL, LA LOCALIZACIÓN Y EL TIPO DE ALIMENTADOR DEPENDE EXCLUSIVAMENTE DE EL TIPO DE PIEZA Y DE LA CONTRACCIÓN QUE SU FRIRÁ ESTA:

LOS ALIMENTADORES TIENEN GENERALMENTE UN RADIO DE ACCIÓN DE 4.5 VECES SU DIÁMETRO, SE PUEDE TOMAR COMO CIERTO QUE LA CONTRACCIÓN SERÁ EN UN LÍMITE DE 2% POR CADA 100°C - MÁS QUE SE CALIENTE EL METAL DESDE PUNTO DE FUSIÓN, CUANDO - SE TIENEN ALIMENTADORES DESCUBIERTOS ES POSIBLE CUBRIR CON POLVOS EXOTÉMICOS, ÉSTA PRÁCTICA HA DADO RESULTADOS SATISFAC TORIOS. PARA QUE SEA FÁCIL SEPARAR LOS ALIMENTADORES DE LA PIEZA SE USA LA TÉCNICA DE REDUCIR EL ÁREA DE CONECCIÓN EN 1/16%, ESTO SE PUEDE HACER BIEN CON ARENA VERDE O USANDO - "GALLETAS" DEL MISMO MATERIAL QUE LOS CORAZONES SI SE TIENE MANERA DE FABRICAR ÉSTOS.

GENERALMENTE LA PRODUCCIÓN DE HIERRO NODULAR NO - REQUIERE EL USO DE ALIMENTADORES Y ES NECESARIO CON SÓLO SEGUIR LA PRÁCTICA DE SECAR LA ARENA DADO QUE EN LA MAYOR PARTE DE LOS CASOS LOS CANALES DE ALIMENTACIÓN HACEN LAS VECES DE ÉSTOS.

CUANDO SE TIENE QUE FUNDIR UNA PIEZA LARGA ENTONCES SÍ ES NECESARIO EL USO DE LOS ALIMENTADORES CADA Hacer NOTAR QUE LAS PIEZAS MUY LARGAS TIENEN TENDENCIA EN SU MAYORÍA A DEFORMARSE DENTRO DEL MOLDE.

CUANDO SE USAN CANALES DE SALIDA, ÉSTOS PUEDEN CON TENER SUFICIENTE HIERRO CALIENTE PARA ALIMENTAR A LA PIEZA Y PERMITEN PRECINDIR DE LOS ALIMENTADORES.

EL USO DE TEMPLADERAS PERMITE IGUALAR EL ENFRIAMIENTO DENTRO DEL MOLDE Y AMINORAR EL USO DE ALIMENTACIÓN SECUNDARIA.

C).- FORMA DE MOLDEO PARA EVITAR RECHUPE.

LA PRECIPITACIÓN DEL GRAFITO CONTRIBUYE EN SÍ A CONTRARRESTAR LA CONTRACCIÓN DE METAL.

SE DEBE PROCURAR EVITAR AL MÁXIMO EL MOVIMIENTO DE LA PARED DEL MOLDE, PERO CUANDO ÉSTO SUCEDA ES NECESARIO - APORTAR METAL DE SOBREALIMENTACIÓN PARA EVITAR EL RECHUPE.

CUANDO SE PRACTICA EL MOLDEO EN ARENA VERDE EL MOVIMIENTO DE LA PARED DEL MOLDE ES MUY COMÚN Y POR ÉSO ES NECESARIO CALCULARLO PARA PREVEER LA CONTRACCIÓN. EL MOVIMIENTO DE LA PARED DEL MOLDE ES PROMOVIDO POR LA TEMPERATURA, EVAPORACIÓN DE LA HUMEDAD Y LA PRESIÓN DEL HIERRO POR LO QUE ES NECESARIO ACATAR CIERTAS NORMAS PARA AMORTIGUAR AL MÍNIMO ÉSTE FENÓMENO.

EL MOLDE DEBE SER FUERTEMENTE APISONADO; PARA LOGRAR UNA DUREZA DE 85 - 95 UNIDADES DE LA ESCALA QUE SE USA PARA ESE EFECTO, LA DUREZA DE MOLDE MÍNIMO QUE SE PUEDE TOLERAR ES DE 80 UNIDADES TODAS LAS PRÁCTICAS PRECAUTORIAS QUE SE USAN EN LA PRODUCCIÓN DE HIERRO GRIS PARA EVITAR EL MOVIMIENTO DE PARED SON ÚTILES PARA LA PRODUCCIÓN DEL HIERRO NODULAR PERO SI EL CONTROL DE CALIDAD ES MUY EXTRICTO ES NECESARIO EXTREMARLOS.

UNA PRÁCTICA MUY ACEPTABLE COMO CITÉ ANTERIORMENTE ES LA DE SECAR LA ARENA Y NO ES RARO VER CUANDO SE SIGUE ESTA UN RENDIMIENTO DE 80%.

PARA TERMINAR DIRÉ QUE CADA FUNDIDOR DEBE PROCURAR TENER MAQUINARIA DE PRIMERA PARA APISONAR LA ARENA, MOLDES LO MÁS RÍGIDOS POSIBLES, Y CHAQUETAS PARA MOLDES QUE SUJETEN ESTOS FUERTEMENTE A LA VEZ DE PROVEERSE DE UNA ARENA CON ADECUADA FLÚIDES.

D).- MATERIALES DE MOLDEO:

LA PRÁCTICA DE MOLDEO EN ARENA VERDE PRODUCE CONSIDERABLES PROBLEMAS DENTRO DE LA PRODUCCIÓN DEL HIERRO NODULAR, EN ESTE SUBCAPÍTULO VOLVERÉ HACER HINCAPIÉ EN EL SECADO

SUPERFICIAL DEL MOLDE, PUES ESTA PRÁCTICA PERMITE REDUCIR BASTANTE LA PRODUCCIÓN DE DEFECTOS SUPERFICIALES, DEFECTO QUE SE CONOCE EN LA TERMINOLOGÍA INGLESA COMO "PINHOLE-POROSITY", SE PUEDE UTILIZAR UNA RELATIVA FINURA DE GRANO EN LA ARENA PARA OBTENER MEJOR SUPERFICIE DE ACABADO, ESTA PUEDE ESTAR ENTRE - LAS 65 Y 75 UNIDADES QUE PARA TAL EFECTO TIENE ESTABLECIDO - LA A.F.S.

TALES LÍMITES DEPENDEN DEL TAMAÑO Y PESO DE LAS - PIEZAS.

ES RECOMENDABLE UNA DISTRIBUCIÓN DE LA ARENA EN POR LO MENOS CUATRO MALLAS PORQUE ESTE PERMITE UNA BUENA FLUIDEZ DE ÉSTA Y EVITA AL MÍNIMO LA DEFORMACIÓN DEL MOLDE, EN MÉXICO LA ARENA DE SAN LUIS POTOSI, SE ACERCA BASTANTE A ESTAS CONDICIONES Y SE PUEDE LOGRAR LA DUREZA DE MOLDE DESEADA, LOS CONTENIDOS DE HUMEDAD DEBEN ENCONTRARSE ENTRE 2% Y 2.4% PERO SI ES POSIBLE MANTENERLOS MÁS ABAJO MEJOR, EL TOTAL DE MATERIAS COMBUSTIBLES EN LA ARENA PREPARADA SE ENCUENTRA PARA ESTE TIPO DE MOLDE EN LOS LÍMITES DE 6 A 7% CON UN CONTENIDO DE CARBONO FIJO DE 3% ESTO PROCURA UNA ATMÓSFERA REDUCTORA DENTRO DEL MOLDE Y AMINORA LOS DEFECTOS SUBSUPERFICIALES.

E).- PRÁCTICA DE COLADO:

ALGUNAS VECES UNA BUENA OPERACIÓN DE MOLDE, UN BUEN MOLDEO Y UNOS BUENOS MATERIALES NO DAN RESULTADOS PARA LA OBTENCIÓN DE UNA PIEZA COLADA Y ESTO SE DEBE A UNA MALA PRÁCTICA DE COLADO, LA MAYORÍA DE LAS VECES ESTO SE DEBE A UN MAL SECADO DE LAS CUCHARAS DE COLADO, UN INDICIO DE QUE UNA CUCHARA HA SIDO MAL SECADA ES CUANDO EN LA PUNTA DE ESTA SE PRODUCEN CHISPAS DE DURACIÓN MÁS O MENOS LARGA, Ó HIERVE EL METAL. UN MAL SECADO DE LA CUCHARA PUEDE CONducIR A LA FORMACIÓN DE CARBUROS O A LA PRODUCCIÓN DE DEFECTOS SUBSUPERFICIALES, LAS CUCHARAS CONOCIDAS COMO "TETERAS" SON MUY RECOMENDABLES PARA PRODUCCIÓN DE HIERRO NODULAR PERO NO SON MUY NECESARIAS, ASÍ COMO EL USO DE UN ESPESANTE PARA LA ESCORIA, EN ALGUNOS CASOS SE RECOMIENDA EL USO DE REFRACTARIOS BÁSICOS EN LAS CUCHARAS PERO DADO EL ALTO COSTO DE ÉSTAS NO SE

UTILIZAN MUCHO.

PRINCIPALMENTE EN LO QUE SE DEBE HACER HINGAPIÉ ES EL USO DE UNA BUENA PRÁCTICA DE SECADO DE LAS CUCHARAS DE COLADA.

F).- EFECTOS DEL TIEMPO DE DESMOLDEO:

ESTA ES UNA FASE DE LA FUNDICIÓN EN LA QUE EL FUNDIDOR Y EL METALURGISTA DEBEN DE TRABAJAR LO MÁS DE ACUERDO POSIBLE.

DADO QUE LOS EFECTOS DEL TIEMPO DE DESMOLDEO TIENEN UNA IMPORTANCIA GRANDE EN LA ESTRUCTURA METALOGRÁFICA, EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL HIERRO NODULAR.

MODIFICACIONES EN LAS TEMPERATURAS DE VACIADO, EN LOS TIPOS DE MATERIALES USADOS PARA LA FABRICACIÓN DEL MOLDE, MODIFICACIONES EN LOS TIEMPOS DE DESMOLDEO, ETC., PUEDEN PRODUCIR UN ENDURECIMIENTO O REBLANDECIMIENTO DEL HIERRO NODULAR QUE SE DESEA OBTENER.

CUANDO UNA PIEZA SE DESMOLDEA ANTES DEL TIEMPO ESTIPULADO PRODUCE UNA DUREZA MAYOR QUE LA QUE SE DESEA OBTENER, ASI COMO SI LA PIEZA SE DESMOLDEA DESPUÉS DE TIEMPO, - EL EFECTO DE LOS ALIMENTADORES Y LA MISMA TEMPERATURA DE LA ARENA RECUECEN ZONAS DEL MATERIAL DANDO LUGAR A DUREZAS DIFERENTES EN LA PIEZA; ACERCA DE LOS EFECTOS QUE PRODUCE LA TEMPERATURA EN LA ESTRUCTURA DEL MATERIAL, HABLARÉ CUANDO TOQUE EL ASPECTO QUÍMICO METALÚRGICO, AHORA SÓLO QUISE HACER NOTAR ESTE CONTROL DADO QUE EL TIEMPO DE DESMOLDEO GENERALMENTE ES CONTROLADO POR LA PERSONA ENCARGADA DEL PISO DE COLADO.

MÉTODOS DE TRATAMIENTO CON MAGNESIO:

EXISTEN MUCHOS MÉTODOS PARA LA INTRODUCCIÓN DE MAGNESIO EN LA PRODUCCIÓN DE HIERRO NODULAR. PERO EN ESTE TRABAJO SOLAMENTE VEREMOS LOS DOS MÁS IMPORTANTES, UNO QUE ES EL QUE SE USA MUCHO EN EUROPA Y QUE SE CONOCE COMO EL MÉTODO DE INMERSIÓN, Y EL OTRO QUE FUÉ DESARROLLADO POR LA COMPAÑÍA -- FORD MOTOR CO., Y QUE SE UTILIZA PRINCIPALMENTE EN AMÉRICA, ÉSTE MÉTODO SE CONOCE COMO EL PROCESO "SANDWICH".

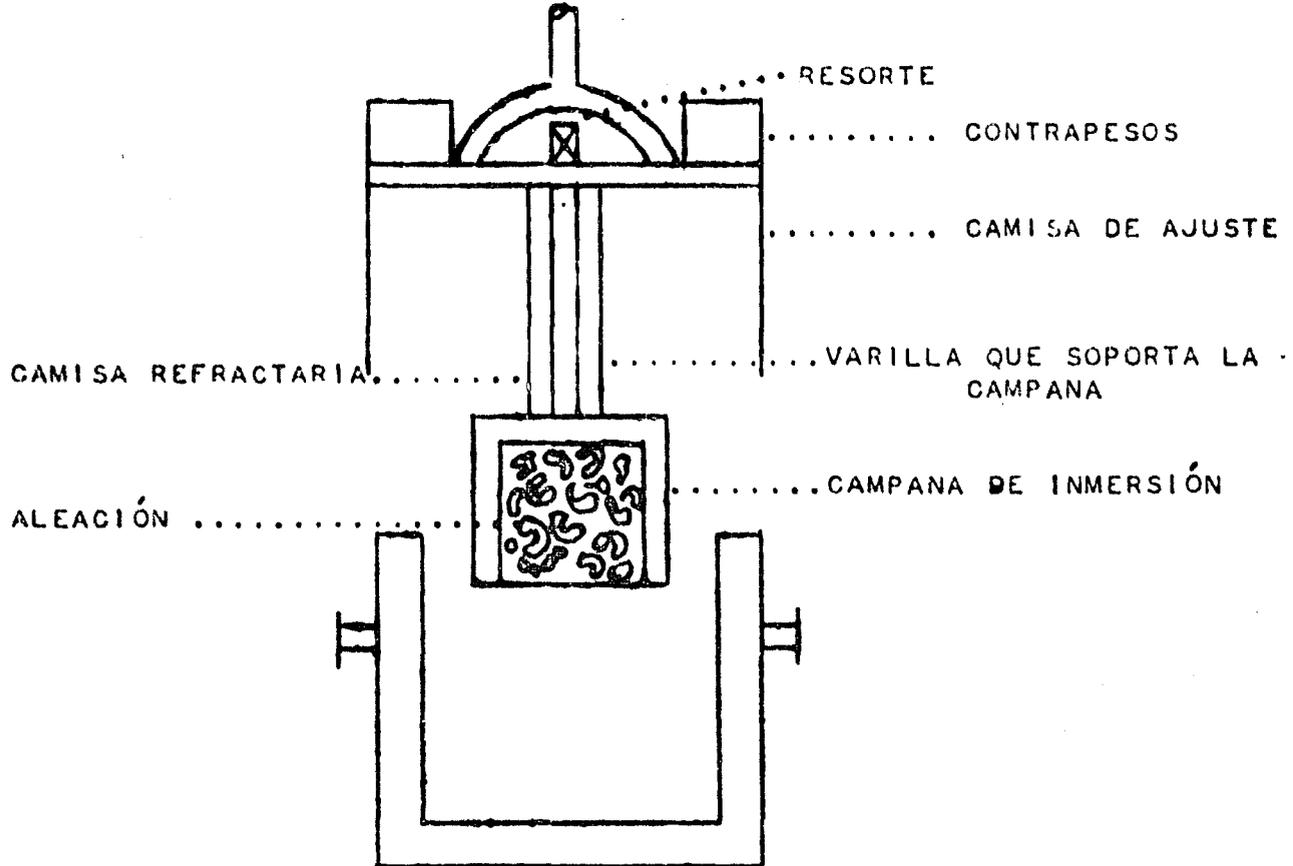
MÉTODO DE INMERSIÓN:

LOS FUNDAMENTOS DE ESTE MÉTODO CONSISTEN PRINCIPALMENTE EN SUMERGIR DENTRO DEL METAL UNA CANASTA DE MATERIAL REFRACTARIO QUE CONTENGA ALEACIÓN DE MAGNESIO, EN ALEMANIA UTILIZAN UNA ALEACIÓN CONOCIDA CON EL NOMBRE COMERCIAL DE ALEACIÓN VL 55 LA CUAL CONTIENE APROXIMADAMENTE 30-32% DE MAGNESIO, 51-55% DE SILICIO, 1% DE TIERRAS RARAS, 4-5% DE CALCIO Y EL RESTO DE FIERRO.

EL USO PRINCIPAL DE CALCIO ES QUE TIENE LA PROPIEDAD DE AMORTIGUAR LA REACCIÓN DEL MAGNESIO ÉSTO ERA UNO DE LOS PROBLEMAS MÁS GRANDES QUE SE TENÍAN, ANTES DE DESCUBRIR ESTA PROPIEDAD DEL CALCIO.

PARA LA PRODUCCIÓN DE HIERRO NODULAR NO SOLO ES NECESARIO LA INTRODUCCIÓN DE MAGNESIO DENTRO DEL METAL, SINO QUE TAMBIÉN ES NECESARIO QUE EXISTA AGITACIÓN EN EL MOMENTO DEL TRATAMIENTO, CON LA REACCIÓN DEL MAGNESIO SE LOGRA ESTO Y A LA VEZ LA CORRIENTE DE VAPOR DE MAGNESIO QUE SE PRODUCE PERMITE UNA SEPARACIÓN MECÁNICA DE LAS IMPUREZAS OCLUIDAS EN EL METAL.

EL EQUIPO NECESARIO PARA LA PRODUCCIÓN DE HIERRO NODULAR POR EL PROCESO DE INMERSIÓN ES COMO EL QUE A CONTINUACIÓN SE ILUSTRAS:



COMO SE PUEDE VER EN EL ESQUEMA EL EQUIPO NECESARIO ES BASTANTE SENCILLO SOLO ES NECESARIO TENER EN CUENTA CIERTOS DETALLES PARA OBTENER UNA BUENA RECUPERACIÓN DE MAGNESIO Y POR CONSIGUIENTE UNA BUENA NODULARIZACIÓN.

PARA LA OPERACIÓN ES NECESARIO SELECCIONAR CUIDADAMENTE EL TAMAÑO DE LA ALEACIÓN PARA TENER UNA BUENA RECUPERACIÓN, ÉSTE TAMAÑO VA EN FUNCIÓN DIRECTA DEL PESO DEL HIERRO QUE SE QUIERA TRATAR.

EL TIEMPO EN QUE SE DEBA TENER LA CANASTA SUMERGIDA DENTRO DEL METAL, ES ENTRE 5 Y 10 MINUTOS. CONTROLAR PERFECTAMENTE EL PESO DE METAL Y DE ALEACIÓN. LA CUCHARA DE TRATAMIENTO DEBE SER BASTANTE ALTA PARA QUE LOS GASES DE LA REACCIÓN ESTEN LO MÁS EN CONTACTO POSIBLE CON EL METAL.

LA CUCHARA DE TRATAMIENTO NO DEBE LLENARSE COMPLETAMENTE SINO QUE A DOS TERCERAS PARTES O A LA MITAD. UN DATO PRÁCTICO DE LA ALTURA DE LA CUCHARA ES QUE TENGA DE 1.8 A 2 VECES EL DIÁMETRO DE LA CUCHARA, PROCURAR QUE LA CAMISA DE

AJUSTE SEA LO MAS AJUSTADA POSIBLE PARA EVITAR QUE EL METAL SE DERRAME Y PUEDA QUEMAR A LOS OPERADORES, PUES ÉSTO VA EN DETRIMENTO DEL PROCESO AL DESCUIDARSE.

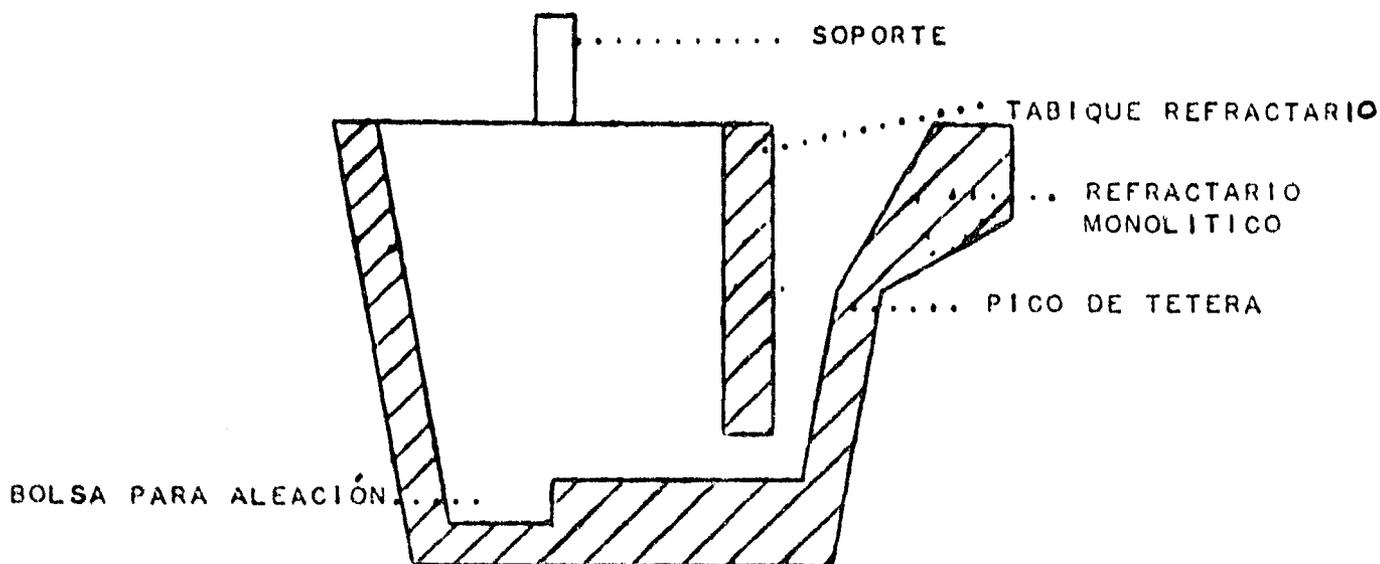
LA EXPERIENCIA EUROPEA EN LA PRODUCCIÓN DE HIERRO - NODULAR NOS DICE QUE POR ÉSTE MÉTODO SE PUEDEN LOGRAR RECUPERACIONES HASTA DE 45%.

PROCESO "SANDWICH"

ESTE PROCESO QUE ES A MI PARECER EL MÁS SENCILLO - DE TODOS LOS QUE SE CONOCEN, Y QUE ADEMÁS ES DE LOS MÁS RÁPIDOS, Y CUYA OPERACIÓN ES SENCILLA SE BASA AL IGUAL QUE TODOS LOS ANTERIORES EN TRATAR EL HIERRO CON UNA ALEACIÓN DE MAGNESIO PARA PRODUCIR EL GRAFITO ESFEROIDAL. ESTE MÉTODO CONSISTE EN TRATAR DENTRO DE LA MISMA CUCHARA DE VACIADO EL HIERRO CON LA ALEACIÓN DE MAGNESIO.

LA COMPAÑÍA GENERAL MOTORS DE MÉXICO, S. A., DE C. V., USA ÉSTE MÉTODO DESDE EL AÑO DE 1965 CUANDO FUÉ INAGURADA SU PLANTA DE FUNDICIÓN DE MOTORES EN LA CIUDAD DE TOLUCA.

LA CARACTERÍSTICA PRINCIPAL DE ESTE MÉTODO CONSISTE EN TENER DENTRO DE LA MISMA OLLA DE VACIADO UNA CAVIDAD EN LA QUE SE INTRODUCE LA ALEACIÓN DE MAGNESIO, CUBIERTA CON LÁMINA DE ACERO O CHATA DELGADA, ASÍ AL CAER EL HIERRO DE LOS HORNOS A LAS CUCHARAS LA ALEACIÓN NO QUEDA EN CONTACTO CON EL METAL INMEDIATAMENTE, EL SIGUIENTE ESQUEMA NOS PUEDE DAR UNA IDEA MÁS CLARA DE ESTE TIPO DE CUCHARA.



LA OPERACIÓN PRÁCTICA DE ÉSTE MÉTODO CONSISTE EN LO SIGUIENTE: PONER EN LA BOLSA DE LA CUCHARA LA ALEACIÓN NECESARIA PARA EL TRATAMIENTO. ACTO SEGUIDO SE CUBRE ÉSTA CON ACERO RECORTADO, ÉSTO ES CON EL FIN DE RETARDAR LA REACCIÓN - LO MÁS POSIBLE, PORQUE EN ÉSTE MÉTODO LA RECUPERACIÓN ESTÁ EN FUNCIÓN DIRECTA DE LA CANTIDAD DE METAL FUNDIDO QUE SE ENCUENTRA SOBRE LA ALEACIÓN, NOSOTROS HEMOS HECHO UNA VARIANTE A ÉSTE ASPECTO Y ES LA DE SUBSTITUIR LA CHATARRA DE ACERO - POR REBABA DE HIERRO NODULAR, ÉSTO ADEMÁS DE QUE NOS REPRESENTA UN AHORRO ECONÓMICO NOS AUMENTA LA RECUPERACIÓN EN UN 5%, TAMBIÉN PARA FINES DE ALCANZAR MAYOR RECUPERACIÓN EN LA ÚLTIMA PRODUCCIÓN DE HIERRO NODULAR SE HIZO UNA VARIANTE A LA CUCHARA DE TRATAMIENTO, ÉSTA CONSISTIÓ EN INCLINAR EN 10° EL PISO DE LA CUCHARA, EL DECLIVE ESTÁ HACIA LA BOLSA, ESTO NOS PERMITIÓ TENER MAS CANTIDAD DE HIERRO SOBRE LA ALEACIÓN EN EL MOMENTO EN QUE SE COMIENZA LA REACCIÓN, PARECE SER QUE LOS RESULTADOS FUÉRON MUY SATISFACTORIOS Y SE PRESUME QUE - LA RECUPERACIÓN AUMENTÓ EN 10%.

PERO VOLVIENDO A LA OPERACIÓN PRÁCTICA UNA VEZ PUESTA LA ALEACIÓN Y CUBIERTA CON REBABA SE PONE EN GIMA DE TODO ESTO UNA SUBSTANCIA ESCORIFICANTE, ESTO NO ES NECESARIO PERO SI MUY RECOMENDABLE PARA TENER UN METAL MAS LIMPIO.

LA CUCHARA ^{*} ESTÁ COLGADA DE UNA BÁSCULA PARA CONTROLAR LA CANTIDAD DE METAL QUE SE VIERTE EN LA OLLA. ES NECESARIO TENER MUCHO CONTROL EN EL MOMENTO DE VACIAR EL METAL EN LA OLLA PORQUE UN EXCESO DE METAL NOS DISMINUIRÍA MUCHO EL PORCENTAJE DE MAGNESIO Y NUESTROS LÍMITES DE OPERACIÓN SON MUY CORTOS, COMO LA COMPAÑÍA NO TIENE CUCHARAS DE TRATAMIENTO DE PICO DE TETERA, ES NECESARIO ESPERAR DE 30 A 40 SEGUNDOS A QUE TERMINE LA REACCIÓN PARA QUE EL METAL SE PASE A UNA CUCHARA DE VACIADO EN ÉSTE TRASLADO ES DONDE SE INOCULA EL METAL.

CREO NECESARIO HACER NOTAR QUE CUANDO SE TRASLADA EL METAL DE LA CUCHARA DE TRATAMIENTO A LA CUCHARA DE VACIADO SE HAGA ÉSTA OPERACIÓN LO MÁS RÁPIDO POSIBLE PARA EVITAR - QUE EL MAGNESIO QUE SE TIENE SUFRA UNA OXIDACIÓN AL CONTACTO CON EL AIRE, LA PRÁCTICA HA DETERMINADO QUE LA DURACIÓN DE UN BUEN TRATAMIENTO ES DE 10 A 15 MINUTOS POR LO QUE DESPUÉS DE ESTE TIEMPO EL METAL QUE QUEDA EN LAS OLLAS DE VACIADO ES DEVUELTO AL HORNO.

DE LA MISMA FORMA HEMOS DETERMINADO QUE LA DURACIÓN DE LAS CUCHARAS ES \pm DE 70 OPERACIONES DADO QUE HEMOS ENCONTRADO QUE DESPUÉS DE ESTE NÚMERO DE TRATAMIENTOS EMPIEZA A APARECER GRAFITO VERDICAL EN LAS PIEZAS, SE HA DETERMINADO QUE ÉSTO SE DEBE A QUE EL TAMAÑO DE LA BOLSA PARA LA ALEACIÓN SE HACE MÁS GRANDE Y LA OLLA NO SE RETARDA LO SUFICIENTE BAJÁNDOSE LA RECUPERACIÓN EN UN 15%, TAMBIÉN ES NECESARIO LIMPIAR PERFECTAMENTE LA OLLA DESPUÉS DE CADA OPERACIÓN - ASÍ COMO ELIMINAR TODO EL RESIDUO DE HIERRO FUNDIDO EN LAS PAREDES PARA EVITAR UNA REACCIÓN ANTES DE TIEMPO.

EL RECUBRIMIENTO DE LAS CUCHARAS DE TRATAMIENTO ES UN RECUBRIMIENTO SILICATO-MAGNÉSICO (APISONADO) EL SECADO DE LAS OLLAS SE HACE CON GAS Y DEBE DURAR DE 12 A 18 HORAS, ÉSTO SE HACE CON EL FIN DE ELIMINAR LA HUMEDAD QUE PROVOCARÍA DEFECTOS SUB-SUPERFICIALES EN LAS PIEZAS.

LOS TIPOS DE ALEACIONES PARA EL TRATAMIENTO Y LA INOCULACIÓN QUE SE UTILIZAN EN LA COMPAÑÍA SON LOS QUE SE CONOCEN CON EL NOMBRE COMERCIAL DE NMSA # 2, SMB Ó INOCULLOY 63, NODULLOY 8 NODULLOY 8C. Y FERROSILICIO DE 85/90%.

CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE ALEACIÓN PARA EL TRATAMIENTO Y LA INOCULACIÓN.

EL HIERRO BASE DEL QUE PARTIMOS PARA LA PRODUCCIÓN DE HIERRO NODULAR TIENE LA SIGUIENTE COMPOSICIÓN QUÍMICA.

C	=	4.10 / 4.15	%
SI	=	1.50 / 1.65	%
MN	=	0.70 / 0.75	%
S	=	0.03	% MÁX.
P	=	0.040	% MÁX.
CR.	=	0.06	% MÁX.

EL ANÁLISIS QUE DESEMOS OBTENER EN EL HIERRO FINAL ES EL SIGUIENTE:

C	=	3.90 / 3.95	
SI	=	2.40 / 2.50	
MN	=	0.70 / 0.75	
S	=	0.009	MÁX.
P	=	0.04	MÁX.
Mg	=	0.04	
CR	=	0.05	MÁX.
C.E.	=	4.70 / 4.75	

LA COMPOSICIÓN DE LAS ALEACIONES ES LA SIGUIENTE:

NMSA # 2

Mg	=	10/10%
SI	=	35/48%
FE	=	5% MÁX.
NI	=	RESTO

NODULLOY 8

Mg	=	8.5/10%
SI	=	44/48%
FE	=	RESTO

NODULLOY 8C

Mg	=	8.5/10%
SI	=	44/48%
CE	=	0.5/0.75%
FE	=	BALANCE

INOCULLOY 63

SI	=	60/75%
MN	=	9/12%
BA	=	4/6%
CA	=	1.5/3%
AL	=	1.0/1.5%

EL CÁLCULO PARA LA CANTIDAD DE ALEACIÓN ES EL SIGUIENTE Y HA SIDO DETERMINADO PRINCIPALMENTE EN LA OPERACIÓN PRÁCTICA.

	% EN PESO	% EN CARGA	
		Si	Mg
NMSA # 2	0.5	0.175	0.070
NODULLOY 8	0.5	0.225	0.047
INOCULLOY 63	.1	0.06	
FE SI 85/90 %	.04	0.36	
% TOTAL		0.82	.117

EL PORCENTAJE DE SILICIO SUMADO AL QUE TENEMOS EN EL HIERRO BASE NOS DA LOS PORCENTAJES DESEADOS.

EL PORCENTAJE DE MAGNESIO ES MUCHO MAYOR QUE EL QUE DESEMOS OBTENER, PERO COMO NUESTRA RECUPERACIÓN ESTÁ ENTRE 40% OBTENEMOS EL RESULTADO DESEADO, EL CÁLCULO DE MAGNESIO DESEADO ESTÁ EXCEDIDO EN .017% PARA EL CASO EN QUE LA RECUPERACIÓN NO SEA LA QUE SE ESPERA. PERO UNA VEZ ANALIZADAS LAS PRIMERAS OLLAS SE AJUSTAN LAS CANTIDADES DE ALEACIÓN.

EL NODULLOY 80 GENERALMENTE NO SE UTILIZA, PERO CUANDO SE SUSPECHA QUE EL METAL ESTÁ CONTAMINADO CON ALGÚN ELEMENTO NOCIVO PARA LA NODULARIZACIÓN SE CARGA ÉSTE, DADO QUE EL CERIO TIENE LA CAPACIDAD DE AMORTIGUAR LOS EFECTOS NOCIVOS DE ÉSOS ELEMENTOS.

LOS ELEMENTOS RESIDUALES TALES COMO EL BARIO, CALCIO, NÍQUEL, ETC. SIRVEN PARA AYUDAR EN LA NODULARIZACIÓN Y DAR MEJORES PROPIEDADES FÍSICAS AL METAL.

EL DIAGRAMA HIERRO CARBÓNO Y EL HIERRO NODULAR.

SEGÚN EL DIAGRAMA HIERRO CARBONO LOS HIERROS VAN DESDE 2% DE CARBONO EN ADELANTE, EL HIERRO NODULAR SE ENCUENTRA ENTRE 3 Y 4 POR CIENTO DE CARBONO, EL SILICIO ES UN

ELEMENTO QUE TIENE INFLUENCIA DECISIVA EN EL DIAGRAMA, LOS EFECTOS DEL SILICIO SON SIMILARES A LOS DEL CARBONO, ÉSTO ES REFLEJADO EN LA FÓRMULA DEL CARBONO EQUIVALENTE, DICHA FÓRMULA NOS DICE QUE: $CE = \% \text{ CARBONO} + 1/3\% \text{ SILICIO} + 1/3P$.

COMO PODEMOS VER EN EL DIAGRAMA HIERRO CARBONO LA COMPOSICIÓN EUTÉCTICA ES A 4.3% DE CARBONO O DE CARBONO EQUIVALENTE, ENTONCES SI TENEMOS VALORES DE CARBONO EQUIVALENTES ABAJO DE 4.3% EL HIERRO ES HIPOEUTÉCTICO, Y ARRIBA DE ÉSE NIVEL EL HIERRO HIPEREUTÉCTICO.

CUANDO UN HIERRO HIPEREUTÉCTICO ES TRATADO CON MAGNESIO, EL GRAFITO QUE SE TIENE EN EXCESO DE 4.3% ES PRECIPITADO EN FORMA ESFEROIDAL, ÉSTE GRAFITO ESFEROIDAL EN EXCESO PRODUCE QUE EN CADA CELDA EUTÉCTICA SE TENGAN MÁS DE UN NÓDULO DE GRAFITO, Y SE CONSIDERE COMO UNA FLOTACIÓN DE GRAFITO.

NO SIENDO ASÍ CUANDO SE TRATA UN HIERRO HIPOEUTÉCTICO PUES EN ÉSTE CASO NO HAY FLOTACIÓN DE CARBONO Y EN ÉSTE CASO SE TIENE UN NÓDULO EN CADA CELDA EUTÉCTICA.

EL HECHO DE TRATAR CON MAGNESIO UN HIERRO NO SIGNIFICA QUE SUFRA UN CAMBIO EN SU FORMA DE SOLIDIFICAR, SINO QUE MODELA LA FORMA DEL GRAFITO PRECIPITADO, ÉSTO ES Ó QUE LA TEMPERATURA DE SOLIDIFICACIÓN SERÁ DADA COMO UN HIERRO GRIS DE LA MISMA COMPOSICIÓN POR LA LÍNEA SOLIDOS Y EL PORCENTAJE DE CARBONO EQUIVALENTE.

UN MANTO AUSTENITICO PUEDE RESTRINGIR EL FLUJO DE ÁTOMOS DE CARBONO DEL NÓDULO Y ÉSTO EXPLICA LA TENDENCIA DEL HIERRO NODULAR DE SOLIDIFICAR A MÁS BAJA TEMPERATURA DE LOS HIERRO GRISES, PERO NO SIEMPRE ASÍ EN TODOS LOS CASOS.

LA AUSTENITA SE TRANSFORMA A LA TEMPERATURA CRÍTICA PARA ÉSTA, EN PERLITA Y GRAFITO SIEMPRE Y CUANDO LA COMPOSICIÓN SEA LA CORRECTA. POR OTRA PARTE LA PERLITA O UNA MEZCLA DE PERLITA Y FERRITA SE ENCUENTRA ENVOLVIENDO LOS NÓ

DULOS DE GRAFITO. LA PERLITA CONSISTE EN LAMINAS ALTERNADAS DE FERRITA Y CEMENTITA Y PUEDEN SER AFECTADOS POR CALENTAMIENTOS O ENFRIAMIENTOS. EL CARBONO QUE PROVIENE DE LOS CARBUROS, EMIGRA A LOS NÓDULOS YA FORMADOS Y LOS HACE CRECER; ESTOS NÓDULOS PUEDEN SER FORMADOS POR UNA UNOCULACIÓN O POR UN EXCESO DE CARBONO EQUIVALENTE.

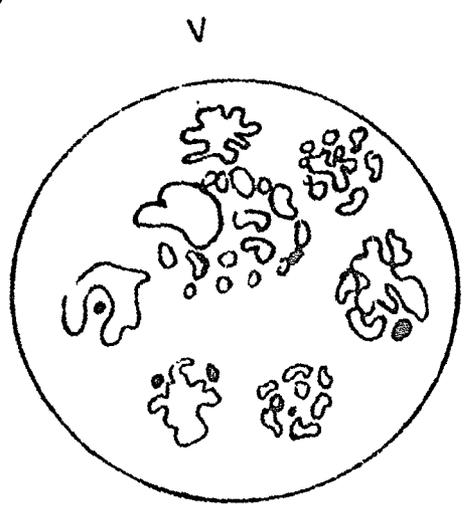
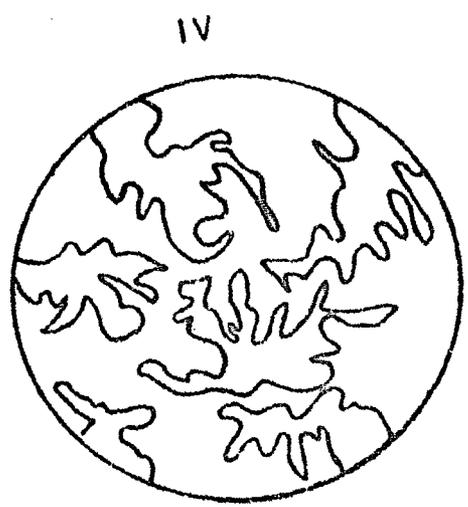
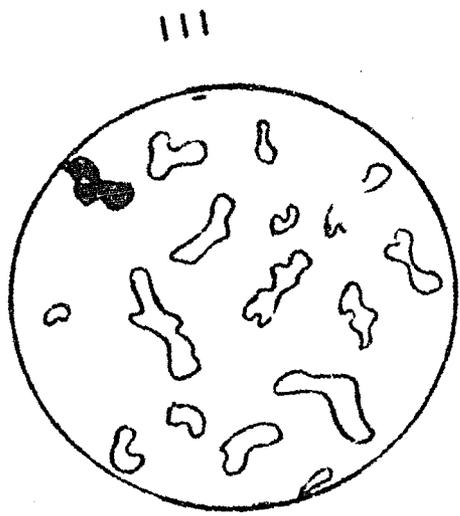
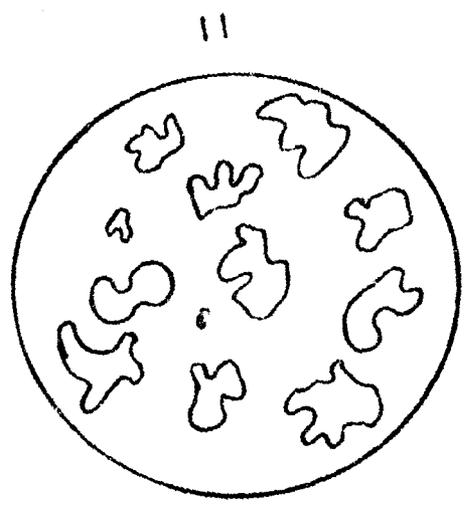
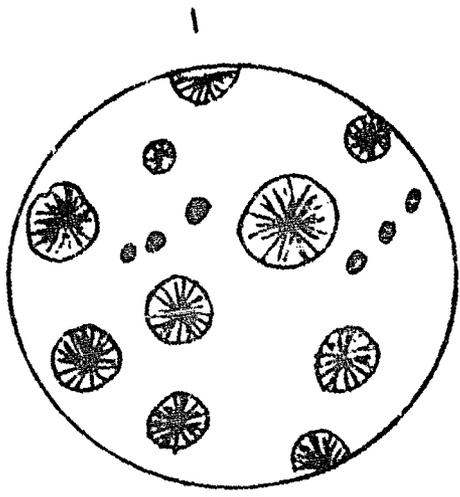
TODOS ESTOS CAMBIOS DE FASE PUEDEN SER OBSERVADOS EN UNA CURVA DE CALENTAMIENTO O ENFRIAMIENTO Y SE NOTAN POR QUE LA CURVA SUFRE UNA DETENCIÓN, DADO QUE LOS CAMBIOS DE FASE ABSORBEN O DESPRENDEN CALOR.

DE LO ANTERIOR SE DEDUCE QUE SE PUEDE PRODUCIR HIERRO NODULAR YA SEA DE MATRIZ AUSTENÍTICA, MARTENSÍTICA O BAINÍTICA, POR MEDIO DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS.

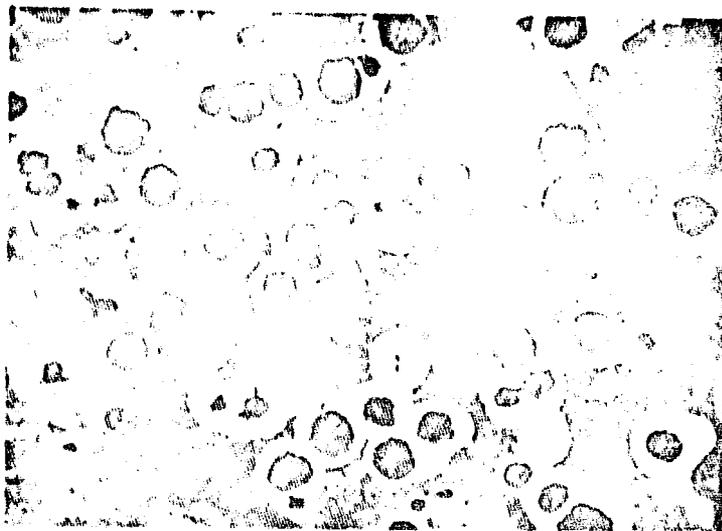
MICROESTRUCTURA DEL HIERRO NODULAR:

TIPOS DE NÓDULOS:

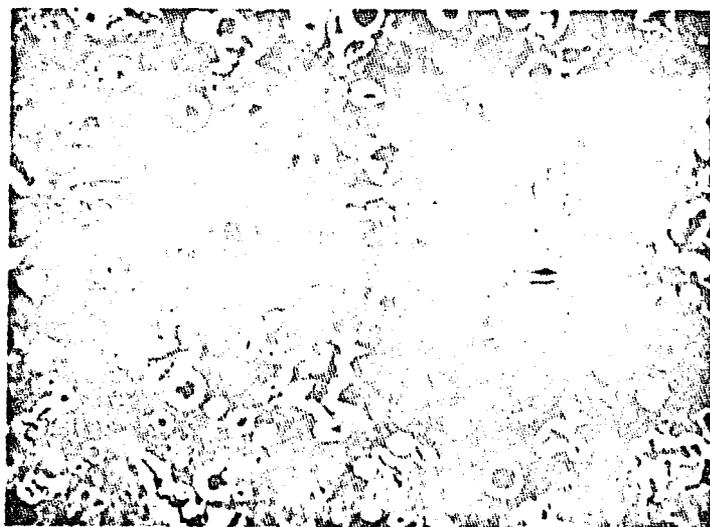
EXISTE UNA CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE GRAFITO NODULAR, DICHA CLASIFICACIÓN FUÉ PROPUESTA POR LA UNIÓN DE FUNDIDORES ALEMANES Y ADOPTADA POR C. K. DONOHO Y LOS CLASIFICA EN CINCO TIPOS CARACTERÍSTICOS QUE SON LOS QUE A CONTINUACIÓN SE ILUSTRAN:



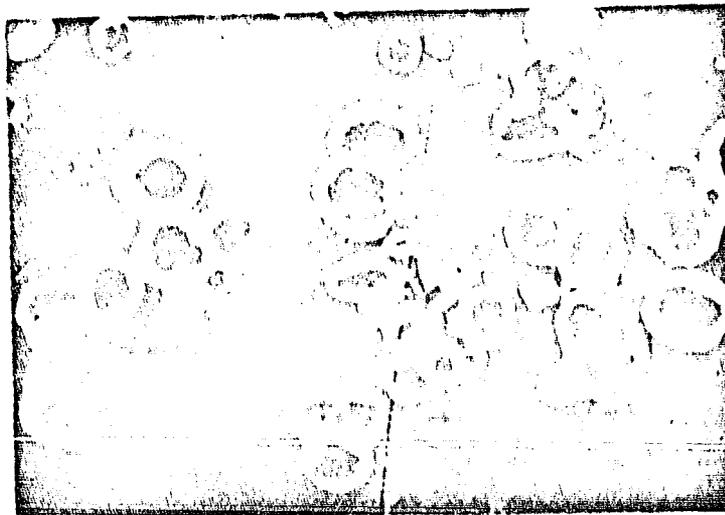
FOTOMICROGRAFIAS DE ALGUNOS DE LOS TIPOS DE GRAFITO
ESFEROIDAL.



TIPO I



TIPOS
I, IV, V



TIPO V

INFLUENCIA DE LOS ELEMENTOS MÁS COMUNES EN EL HIERRO NODULAR.

CARBONO:

A PESAR DE QUE LOS POR CIENTOS DE CARBONO COMERCIALMENTE NOS DICEN QUE VA DE 3.0 A 4.0%, METALÚRGICAMENTE SE RECOMIENDAN DE 3.55% A 3.70% CLARO ESTÁ QUE PARA COLAR SECCIONES DE 1.5 CMS. ES RECOMENDABLE AUMENTAR EL CONTENIDO DE CARBONO.

EN LOS GRADOS COMERCIALES EL CARBONO OCUPA APROXIMADAMENTE EL 9% COMO GRAFITO ESFEROIDAL, PERO INCREMENTANDO EL EL CONTENIDO DE CARBONO SE PROMUEVEN NÓDULOS MÁS GRANDES, ESPECIALMENTE CUANDO NOS ENCONTRAMOS EN CONCENTRACIONES HIPEREUTÉCTICAS, CON UN AUMENTO DE CARBONO SE BENEFICIA LA FLUIDEZ DEL METAL Y SE DISMINUYE EL RECHUPE.

EN ALGUNAS OCAIONES CUANDO SE NECESITA UN GRANO FINO EN SECCIONES GRANDES, SE RECURRE A LA CONCENTRACIÓN HIPEREUTÉCTICA, SI LA ZONA DE FLOTACIÓN QUE SE PRODUCIRÁ QUEDA DENTRO DE LA ZONA QUE SE VA A MAQUINAR, O ZONAS NO CRÍTICAS DE LA PIEZA COLADA, CUANDO SE UTILIZA FUNDICIÓN CENTRÍFUGA, ES RECOMENDABLE QUE LA CONCENTRACIÓN DE CARBONO SE ENCUENTRE ENTRE $\pm 3.5\%$ PARA EVITAR QUE SE PRODUZCA EL DEFECTO CONOCIDO COMO "ARRUGA".

EL CONTENIDO DE CARBONO INFLUYE MUY POCO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL HIERRO NODULAR, POR CADA VARIACIÓN DE 0.10% DE CARBONO SE TIENE UNA VARIACIÓN APROXIMADA DE 25 KG/CM² EN EL VALOR DEL ÚLTIMO ESFUERZO, LA DUREZA BRINELL DE CRECE EN 5 UNIDADES POR CADA AUMENTO DE 0.15%, INCREMENTOS EN EL % DE ALARGAMIENTO, SE ENCUENTRA CON EL AUMENTO DEL PORCENTAJE DE CARBONO.

ES RECOMENDABLE CONTROLAR EL CARBONO EQUIVALENTE; PARA SECCIONES LIGERAS DE 1.5 CM; UN PORCIENTO DE 4.55 ES RECOMENDABLE, PARA SECCIONES DE 1.5 A 4 CM. UN CARBONO EQUIVALENTE A 4.3% ES LO MEJOR Y PARA SECCIONES MAYORES UNA COMPO-

SICIÓN HIPE EUTÉCTICA CON CARBONO EQUIVALENTE MÁXIMO IGUAL A 4.3% ES LO MEJOR.

SILICIO:

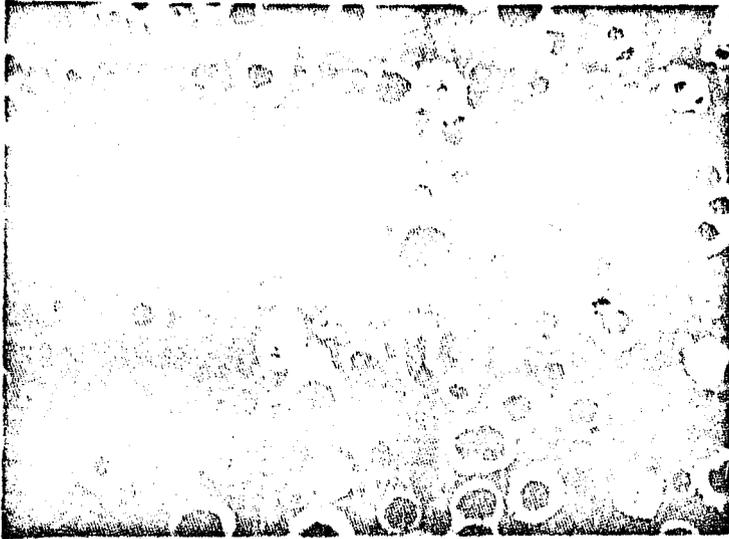
EL SILICIO TIENE UNA INFLUENCIA PRIMARIA EN EL HIERRO NODULAR DADO QUE ES UN PODEROSO GRAFITIZANTE E INCREMENTA EL NÚMERO DE NÓDULOS DE GRAFITO ASÍ COMO REDUCE LOS CARBUROS PRIMARIOS, INCREMENTA LA FERRITA Y A LA VEZ REDUCE LA PERLITA, EL SILICIO QUE SE ENCUENTRA EN EL HIERRO BASE NO TIENE INFLUENCIA GRAFITIZANTE.

ESTE ELEMENTO TIENE UNA GRAN INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL HIERRO NODULAR, COMO EJEMPLO CON UN MANGANESO DE 0.18% CADA ADICIÓN DE 0.25% DE SILICIO AUMENTA LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN EN 210 KG/CM².

LOS INOCULANTES QUE GENERALMENTE SE USAN SON FERRO-SILICIO DE 85-90% Y SE RECOMIENDA QUE LAS ADICIONES SEAN DE 0.50 A 1.50% ESTO AYUDA A ELIMINAR LOS CARBUROS PRIMARIOS, - COMO ANTERIORMENTE DIJE.

EL SILICIO EN LÍMITES ARRIBA DE LO NORMAL DA UNA NOTABLE RESISTENCIA EN CALIENTE AL MATERIAL E INCREMENTA LA RESISTENCIA AL IMPACTO POR ESTA RAZÓN MUCHAS ESPECIFICACIONES LIMITAN LOS CONTENIDOS DEL SILICIO A 2.50%. PARA CONTROL DE LA DUREZA EN HIERROS QUE SERÁN NORMALIZADOS SE RECOMIENDA TENER EL SILICIO EN UN NIVEL DE 2%.

LAS FOTOGRAFÍAS SIGUIENTES ILUSTRAN EL CONTENIDO DE FERRITA A DISTINTOS PORCENTAJES DE SILICIO.



2.40% DE SI



2.30% DE SI

EFFECTOS DEL SILICIO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS.

TIPO	WJA3A	WJA4A	WJA5A	WJA37	WJA52	WJA42
CARBONO	3.44	3.37	3.38	3.42	3.65	3.65
SILICIO	1.90	2.45	2.50	2.89	1.87	2.72
MANGANESO	0.01	0.01	0.01	0.39	0.18	.18
NIQUEL	0.01	0.01	0.01	0.06	0.01	.01
CROMO	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.028
MAGNESIO	0.050	0.059	0.059	0.048	0.033	0.044
COBRE	0.012	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
FOSFORO	0.030	0.028	0.020	0.033	0.030	0.030
AZUFRE	0.015	0.017	0.015	0.015	0.017	0.015
CARBONO EQUIVALENTE	4.01	4.11	4.16	4.29	4.21	4.40

SIN TRATAMIENTO TÉRMICO.

% FERRITA	95	95	95	80	60	60
% PERLITA	5	5	5	20	40	40
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN KG/CM ²	4521	4471	4739	5366	5299	5054
LÍMITE ELÁSTICO A 0.02% KG/CM ²	2661	2992	3295	3633	3549	3598
% ALARGAMIENTO	22.6	23.9	18.5	18.5	12.1	24.2
DUREZA BRINELL	152	152	156	179	163	170

CON RECOCIDO

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN KG/CM ²	3750	4126	4450	4774	3908	4521
LÍMITE ELÁSTICO A 0.02% KG/CM ²	2661	2992	3295	3633	2556	3288
ALARGAMIENTO	25.9	25.1	25.3	22.1	25.4	20.2
DUREZA BRINELL	121	143	149	149	128	152

AZUFRE:

TENER UN AZUFRE RESIDUAL LO MÁS BAJO POSIBLE ES UNA DE LAS PRINCIPALES CONDICIONES DEL PROCESO NODULARIZANTE. LA REACCIÓN DEL AZUFRE CON EL MAGNESIO FORMA EL SULFURO DE MAGNESIO, COMPUESTO QUE ES BASTANTE ESTABLE; LA ECONOMÍA Y EL CONTROL DE CALIDAD INDICAN QUE ES NECESARIO PROCURAR MATERIALES LO MAS EXCENTOS DEL AZUFRE QUE SEA POSIBLE.

EL SULFURO DE MAGNESIO OCLUÍDO EN EL METAL ES UN SIGNO DE BAJA CALIDAD Y DE UN AZUFRE EXCESIVO EN EL HIERRO BASE.

EL AZUFRE EN EL HIERRO BASE AFECTA SIGNIFICATIVAMENTE A LA CANTIDAD DE MAGNESIO LIBRE NECESARIO PARA PROMOVER LA NODULARIZACIÓN, ESTE FENÓMENO ES INDEPENDIENTE DEL AZUFRE FINAL OBTENIDO Y SE EXPLICA DE LA SIGUIENTE MANERA CUANDO SE DETERMINA ESPECTROMÉTRICAMENTE LA CANTIDAD DE MAGNESIO RESIDUAL, EL ESPECTÓMETRO NOS DA LA CANTIDAD DE MAGNESIO QUE SE TIENE EN LA MUESTRA; PERO NO NOS INDICA SI SE ENCUENTRA COMO SULFURO DE MAGNESIO, Y LA FORMACIÓN DE ESTE COMPUESTO PUEDE AFECTAR SENSIBLEMENTE LA CANTIDAD DE MAGNESIO NECESARIA PARA NODULARIZAR COMPLETAMENTE EL BAÑO METÁLICO.

SE HA OBSERVADO PRÁCTICAMENTE QUE CON UN PORCENTAJE DE MAGNESIO DE 0.018% SE OBTIENE UNA EXCELENTE NODULARIDAD SIEMPRE Y CUANDO EL CONTENIDO DE AZUFRE EN EL HIERRO BASE SEA DE 0.008 A 0.010%, ÉSTOS NIVELES ES POSIBLE OBTENERLOS CUANDO LA FUSIÓN SE EFECTÚA EN CUBILOTES ALTAMENTE BÁSICOS Y CUANDO SE EFECTÚA EN HORNOS ELÉCTRICOS; EN CUBILOTES NO BÁSICOS EL NIVEL DEL PORCENTAJE DEL AZUFRE SE PUEDE ENCONTRAR ENTRE 0.025 Y 0.035% Y EN ÉSTE CASO LA NODULARIZACIÓN SE ALCANZA CON EL MAGNESIO LIBRE DE 0.04%, EN EL CASO DE QUE LA FUSIÓN SE EFECTÚE EN CUBILOTE ÁCIDO Y EL NIVEL DE AZUFRE SE LOCALICE EN 0.085% SE NECESITA UN MAGNESIO RESIDUAL DE APROXIMADAMENTE 0.055% PARA OBTENER UNA BUENA NODULARIZACIÓN.

FÓSFURO:

AL IGUAL QUE EN LOS HIERROS GRISES FORMA FÓSFUROS

QUE FORMAN UNA MALLA MUY QUEBRADIZA EN EL HIERRO NODULAR, EL FÓSFORO PRODUCE EFECTOS ADVERSOS EN LA DUCTIBILIDAD, LA TENACIDAD Y REDUCE SERTIAMENTE LA RESISTENCIA AL IMPACTO EN LAS PIEZAS FUNDIDAS, LOS NIVELES DEL FÓSFORO DEBEN MANTENERSE LO MAS BAJOS POSIBLE SOBRE TODO SI LA PIEZA HA DE SER USADA TAL Y COMO SE COLÓ, PORQUE AUMENTA LA DUREZA, ESTABILIZA Y ORIGINA LA PERLITA Y ESTEADITA

EL FÓSFORO EN NIVELES SUPERIORES A .08% AUMENTA LA FRAGILIDAD A LA TEMPERATURA DE TRANSICIÓN, EL FÓSFORO TAMBIÉN INCREMENTA LOS VALORES DEL LÍMITE ELÁSTICO LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y LA RESISTENCIA EN CALIENTE. LA SIGUIENTE TABLA NOS MUESTRA LOS VALORES DE LAS PRUEBAS FÍSICAS PARA 3 TIPOS DE HIERRO NODULAR CON FÓSFORO.

FÓSFORO

TIPO DE HIERRO	ICP-1	ICP-2	ICP-3
CARBONO	3.60	3.60	3.60
SILICIO	2.22	2.29	2.32
MANGANESO	0.08	0.09	0.11
FÓSFORO	0.03	0.06	0.225
AZUFRE	0.01	0.01	0.01
NÍQUEL	0.03	0.07	0.035
MAGNESIO	0.023	0.051	0.058

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

Kg/cm ²	5014	5063	5492
LÍMITE ELÁSTICO Kg/cm ²	3338	3345	4338
% DE ALARGAMIENTO	20.2	11.5	3.0
DUREZA BRINELL	159	167	229

POR LA TABLA ANTERIOR ES FÁCIL NOTAR CÓMO AFECTA EN LOS PORCENTAJES DE ELASTICIDAD LAS CONCENTRACIONES DEL FÓSFORO, LOS VALORES DE LA DUREZA AUMENTA PROPORCIONALMENTE TAMBIÉN, PARTICULARMENTE CUANDO LA PIEZA NO TENDRÁ TRATAMIENTO TÉRMICO ADECUADO, LA INFLUENCIA DE ESTE ELEMENTO SE AMORTIGUA, Y EN ALGUNOS, ESTO PRODUCE RESULTADOS BENÉFICOS.

MANGANESO:

EN AUSENCIA DEL AZUFRE EL MANGANESO FUNCIONA COMO UN ELEMENTO QUE ESTABILIZA Y REFINA LA PERLITA Y DISMINUYE LA -

LA FERRITA, LA CARACTERÍSTICA DE PROMOVER LA PERLITA, ES SEMEJANTE A LA QUE TIENE EL SILICIO EN LA PROMOCIÓN DE LA FERRITA, POR LO QUE ES NECESARIO QUE LOS PORCENTAJES DE ESTOS 2 ELEMENTOS SEAN BALANCEADOS PARA OBTENER LOS TIPOS DE MATRIZ DESEADOS.

CUANDO LOS PORCENTAJES DE MANGANESO REBANAN EL 0.07 % SERÁN ENCONTRADOS CARBUROS INTERCELULARES EN LAS PIEZAS. - EL MANGANESO ES APROXIMADAMENTE 5 VECES MÁS POTENTE QUE NÍQUEL TRATÁNDOSE DE FORMAR PERLITA, CON INCREMENTOS DE LOS PORCENTAJES DE MANGANESO VAN INCREMENTADOS DIRECTAMENTE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y EL LÍMITE ELÁSTICO Y ESTOS EFECTOS SON LIGERAMENTE AMORTIGUADOS POR MEDIO DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS.

LA ADICIÓN DE MANGANESO ES LA FORMA MÁS BARATA DE AUMENTAR LA DUREZA CUANDO LAS PIEZAS SUFRIRÁN UN NORMALIZADO; CUANDO SE CUELAN PIEZAS EN 1% DE MANGANESO Y 1% DE NÍQUEL Y SE NORMALIZA LA PIEZA, NO ES RARO ENCONTRAR DUREZAS DE 300 UNIDADES BRINELL.

SIEMPRE QUE SE USE MANGANESO ARRIBA DE 0.70% SE ENCONTRARÁ UNA MALLA FINA INTERCELULAR DE CARBUROS. EL MANGANESO TAMBIÉN TIENE UNA INFLUENCIA PRIMORDIAL EN LA PRODUCCIÓN DE MATRICES FERRÍTICAS POR MEDIO DE UN RECOCIDO.

COMPARACIÓN DE LOS EFECTOS DEL MANGANESO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS.

TIPO DE HIERRO

CARBONO	3.44	3.65	3.48	3.50	3.50	3.50
SILICIO	1.90	1.87	1.98	2.50	2.50	2.50
MANGANESO	0.01	0.18	0.38	0.27	0.76	1.28
NÍQUEL	0.01	0.01	0.04	1.03	1.03	1.03
CROMO	0.25	0.22	0.021	--	--	--
MAGNESIO	0.59	0.033	0.04	0.053	0.053	0.053
COBRE	0.01	0.01	0.01	0.01	--	--
FÓSFORO	0.028	0.30	0.033	0.034	0.034	0.034
ÁZUFRE	0.017	0.15	0.011	0.012	0.012	0.012

SIN TRATAMIENTO TÉRMICO.

% FERRITA	95	60	20	--	--	--
% PERLITA	5	40	80	--	--	--
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN KG/CM ²	4521	5239	6338	6580	7485	7591
LÍMITE ELÁSTICO KG/CM ²	2915	3549	3732	4147	4695	5436
% DE ALARGAMIENTO	22.6	12.1	13.3	10.5	5.0	2.0
DUREZA BRINELL	152	163	197	196	241	186

CON UN RECOCIDO

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN KG/CM ²	3750	3908	4147	--	5549	6222
LÍMITE ELÁSTICO KG/CM ²	2661	2535	2800	--	4078	4852
% DE ALARGAMIENTO	25.9	25.4	26.1	--	3.0	2.0
DUREZA BRINELL	121	128	138	--	269	269

MAGNESIO. - EL PROCEDIMIENTO DE PRECIPITAR GRAFITO ESFEROIDAL CON MAGNESIO ÉSTA PERFECTAMENTE CONTROLADO Y ÉSTE PROCESO HA VENIDO A DESALZAR A LOS PROCESOS USADOS ANTERIORMENTE, LOS PROCESOS PARA ADICIONAR EL MAGNESIO AL METAL YA FUERON DESCRITOS ANTERIORMENTE POR ^{LO} QUE NO ES NECESARIO QUE SE VUELVAN A REPETIR, SOLO CREO NECESARIO REPETIR QUE ADEMÁS DEL MAGNESIO HAY OTROS ELEMENTOS QUE PRECIPITAN EL GRAFITO EN FORMA DE NÓDULOS Y SON: EL CERIO, LANTÁNO, - ITRIO, CALCIO, LITIO, BARIO, TURIO, ESTRÓNCIO, SODIO, ETC., MISMOS QUE PUEDEN SER USADOS PARA REFORZAR EL PODER NODULIZANTE DEL MAGNESIO.

EL MAGNESIO ES UN MAGNÍFICO DESOXIDANTE, CUANDO SE TIENE UN HIERRO SIN TRATAR CON 0.0135% DE OXÍGENO DESPUÉS - DEL TRATAMIENTO DEL PORCENTAJE DE OXÍGENO DESCENDERÁ ± A - 0.003%, CABE HACER NOTAR, QUE LA DESOXIDACIÓN DEL METAL ES UNA PARTE MUY IMPORTANTE DEL PROCESO, CUANDO SE TRATA CON - MAGNESIO, EN EL MOMENTO DE LA REACCIÓN SE DESPRENDE UN POLVO BLANCO QUE ES ÓXIDO DE MAGNESIO, ESTE POLVO FLOTA Y TIENE Poca SOLUBILIDAD EN EL METAL; EL ÓXIDO DE MAGNESIO PUEDE Y DEBE SER ELIMINADO DE LA SUPERFICIE DEL METAL.

LA COMBINACIÓN DEL AZUFRE CON EL MAGNESIO, FORMA EL SULFURO DE MAGNESIO, COMO EXPLIQUÉ ANTERIORMENTE, SOLO CREO PERTINENTE DECIR QUE UNA PARTE DE MAGNESIO REMUEVE 1-1/3 DE PARTES DE AZUFRE, LA NECESIDAD DE TENER EL AZUFRE EN LOS LÍMITES MÁS BAJOS POSIBLES ES IMPORTANTÍSIMO EN EL PROCESO, - EL SULFURO DE MAGNESIO TAMBIÉN FLOTA Y DEBE SER ELIMINADO DEL BAÑO METÁLICO AUNQUE EL SULFURO DE MAGNESIO NO ES TAN INSOLUBLE COMO EL ÓXIDO DE MAGNESIO EN EL METAL.

LA FUNCIÓN NODULIZANTE DEL MAGNESIO PUEDE SER AMINORADA POR ALGUNOS ELEMENTOS CON LOS CUALES EL MAGNESIO FORMA COMPUESTOS, O BIÉN PUEDE SER DESTRUÍDA POR OTROS ELEMENTOS QUE TIENDEN A FORMAR LÁMINAS DE GRAFITO, PARA EVITAR ESTE ÚLTIMO EFECTO SE PUEDE REFORZAR EL MAGNESIO CON ALGÚN - OTRO ELEMENTO NODULIZANTE COMO EL Ce.

EL MAGNESIO ES UN POTENTE ESTABILIZADOR DE LOS CARBUROS, ÉSTA TAMBIÉN PUEDE SER UNA DE LAS VENTAJAS QUE EL MAGNESIO OFRECE AL PROCESO SI ES QUE SE DESHA TENER UNA ESTRUCTURA CON CARBUROS, PERO SI SON INDESEABLES, LOS CARBUROS PUEDEN SER ELIMINADOS POR MEDIO DE LA INOCULACIÓN, O POR UN TRATAMIENTO TÉRMICO; POR LO DESCRITO ANTERIORMENTE, SE DEDUCE QUE UN ALTO MAGNESIO RESIDUAL PUEDE DAR LUGAR A UN MEJOR PROCESO NODULARIZANTE, O PRODUCIR PROBLEMAS EN LAS PARTES DELGADAS DE LA PIEZA POR PRODUCIR HIERRO BLANCO. EL PODER DE FORMAR CARBUROS QUE TIENE EL MAGNESIO ES REFORZADO CUANDO SE UTILIZA CALCIO O CERIO.

LOS CONTENIDOS DE MAGNESIO RESIDUAL SON INVERSAMENTE PROPORCIONALES A LAS TEMPERATURAS DEL METAL O A LOS TIEMPOS DE CALENTAMIENTO, POR LO QUE LAS CANTIDADES DE MAGNESIO ADICIONALES DEBEN SER AUMENTADAS CUANDO SE TIENEN ESTAS CONDICIONES.

NIQUEL Y COBALTO:

SE CREE QUE EL COBALTO TIENE LA MISMA INFLUENCIA EN EL HIERRO NODULAR QUE EL NIQUEL. EL NIQUEL ES ADICIONADO EN EL BAÑO GENERALMENTE JUNTO CON EL MAGNESIO, LAS ALEACIONES QUE SE USAN EN LA COMPAÑÍA GENERAL MOTORS, PARA LA PRODUCCIÓN DE HIERRO NODULAR LO TIENEN, EL NOMBRE DE ESTA ALEACIÓN ES LA NMSA (ALEACIÓN DE NIQUEL, MAGNESIO, SILICIO) EN ESTA EL NIQUEL TIENE LA FUNCIÓN PRINCIPAL DE ACTUAR COMO VEHÍCULO PARA EL MAGNESIO.

EL NIQUEL FORTALECE LA FERRITA Y SIRVE PARA REDUCIR CARBUROS Y ES UN GRAFITILIZANTE APROXIMADAMENTE 50% MÁS POTENTE QUE EL SILICIO, COMO EL NIQUEL TAMBIÉN PROMUEVE LA PERLITA NO ES MUY RECOMENDADO PARA CUANDO LAS PIEZAS SERAN USADAS SIN TRATAMIENTO TÉRMICO Y SE DESHA OBTENER UNA ESTRUCTURA FERRÍTICA, UNA ADICIÓN DE 1% DE NIQUEL INCREMENTARÁ EL LÍMITE ELÁSTICO Y LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN EN 350 KG/CM² Y SÓLO REDUCE EL PORCENTAJE DE ALARGAMIENTO EN UNA O DOS UNIDADES, CON ADICIONES DE 3% DE NIQUEL LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN NOS DARÁ 98000 KG/CM² PODREMOS TENER UN

3% DE ALARGAMIENTO.

LA PERLITA OCASIONADA POR LAS ADICIONES DE NÍQUEL ES MENOS ESTABLE A ELEVADAS TEMPERATURAS QUE LA OCASIONADA POR EL MANGANESO, Y RESPONDE MÁS RAPIDAMENTE A UN RECOCIDO, SE PUEDE OBTENER CON ADICIONES DE NÍQUEL AL IGUAL QUE EN LOS ACEROS MATRICES PERLÍTICAS, ACICULARES, MARTENSÍTICAS Ó AUSTENÍTICAS CON OTROS ELEMENTOS DE ALEACIÓN Y UN APROPIADO TRATAMIENTO TÉRMICO.

LAS TABLAS SIGUIENTES NOS ILUSTRAN LOS EFECTOS DEL NÍQUEL EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS CON DISTINTAS COMPOSICIONES.

CARBONO	3.55	3.62	3.70	3.58	3.37	3.37
SILICIO	2.46	2.02	2.45	2.37	2.40	2.40
MANGANESO	0.01	0.01	0.22	0.44	0.24	0.24
NÍQUEL	0.08	0.63	0.64	1.70	1.00	2.34
CROMO	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05
MAGNESIO	0.062	0.062	0.06	0.055	0.096	0.095
COBRE	0.08	0.03		0.05	0.08	0.08
FOSFORO	0.020	0.018	0.029	0.034	0.038	0.038
AZUFRE	0.006	0.006	0.006	0.007	0.011	0.011
CERIO	0.003	0.003				

SIN TRATAMIENTO

% FERRITA	98	95	90	70	80	--
% PERLITA	2	5	10	30	20	--
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Kg/CM ²	4485	4295	4707	7042	6591	6760
LÍMITE ELÁSTICO Kg/CM ²	2936	2605	3260	4485	4183	4591
% ALARGAMIENTO	27.5	17.0	20	10	10	8.5
DUREZA BRINELL	141	140	170	241	107	228

CON RECOCIDO

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Kg/CM ²	4394	4172				5901
LÍMITE ELÁSTICO	2943	2654				4323
% ALARGAMIENTO	29.0	18.5				4.0
DUREZA BRINELL	143	132				228

MOLIBDENO:

ESTE ELEMENTO GENERALMENTE SE USA EN PRESENCIA DEL NÍQUEL, TIENE LA PROPIEDAD DE AUMENTAR LA TEMPLABILIDAD, PROMOVER LA ESTRUCTURA ACICULAR PARA OBTENER UNA ALTA RESISTENCIA A LA TENSIÓN, INCREMENTAR LA TENACIDAD Y LA RESISTENCIA A LA FATIGA.

EL MOLIBDENO ES GENERALMENTE ADICIONADO COMO FE. MO. (60% DE MO.) Y SE ADICIONA GENERALMENTE DESPUÉS DEL TRATAMIENTO CON MAGNESIO PARA MORTIGUAR LOS CARBUROS, EL MOLIBDENO RETARDA EL RECOCIDO Y ES UN FORMADOR DE PERLITA.

LA RESISTENCIA A LA TENSIÓN ES INCREMENTADA EN 350 KGS. /CM² POR CADA 1% DE MOLIBDENO Y ES PRINCIPALMENTE ADICIONADO PARA INCREMENTAR LA DUREZA.

EFFECTOS DEL MOLIBDENO Y NIQUEL EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS.

CARBONO	3.59	3.59	3.59	3.69	3.50
SILICIO	1.69	2.69	2.59	2.44	2.49
FOSFORO	0.036	0.036	0.036	0.037	0.035
AZUFRE	0.011	0.011	0.011	0.008	0.009
MANGANESØ	0.26	0.26	0.26	0.42	---
MAGNESIO	0.088	0.088	0.088	0.054	0.060
NIQUEL	1.11	1.11	1.11	1.97	4.02
MOLIBDENO:	TRAZAS	0.64	0.90	0.51	0.55

SIN RECOGER

RESISTENCIA A TENSIÓN KG/CM ²	6401	7137	7278	6697	9570
LÍMITE ELÁSTICO	4218	4951	5380	4676	5795
% ALARGAMIENTO	9.0	5.5	3.0	6.0	4.0
DUREZA BRINELL	207	228	269	235.;	363

COBRE:

EL COBRE FUÉ USADO EN UN PRINCIPIO EN LA PRODUCCIÓN DEL HIERRO NODULAR COMO UN VEHÍCULO PARA LA ALEACIÓN DE MAGNESIO, - PERO DADO EL AVANCE QUE SE HA LOGRADO EN ESTE CAPÍTULO SOLO SE LE UTILIZA COMO TAL PARA LA PRODUCCIÓN DE CIERTAS PARTES AUTOMOTRICES DE MATRÍZ PERLÍTICA, DADO EL ALTO PODER QUE TIENE ESTE METAL PARA LA FORMACIÓN DE PERLITA. EL COBRE ES GRAFITIZANTE - PARTICULARMENTE CUANDO SE TIENEN BAJOS CONTENIDOS DE SILICIO, CON LAS ADICIONES DE COBRE DECRECE LA RESISTENCIA AL IMPACTO PERO SE INCREMENTA LA TRANSMISIÓN DEL CALOR, PORCENTAJES ARRIBA DE 2% DE COBRE NO SON SOLUBLES EN EL HIERRO Y PRECIPITA ENTRE LA ESTRUCTURA CRISTALINA, EL COBRE NO CONTRIBUYE A LA FORMACIÓN DE CARBUROS PRIMARIOS.

FRECUENTEMENTE OBSERVAMOS QUE EL COBRE TIENE LA PROPIEDAD DE AMORTIGUAR LOS EFECTOS NOCIVOS DE SUBSTANCIAS SUBERSIVAS PARA EL HIERRO NODULAR, PERO NO ES POSIBLE ADICIONAR ÉSTE METAL PARA CAPITALIZAR ESTA PROPIEDAD YA QUE ES TE METAL A VECES VA UNIDO CON ARSÉNICO, TELURO, ESTAÑO E HIDRÓGENO, TODOS ESTOS ELEMENTOS NOCIVOS AL HIERRO NODULAR, TAMPOCO, SE PUEDE UTILIZAR COBRE CÁTODICO DADO QUE ÉSTE CON TIENE HIDRÓGENO, PERO PUEDE USARSE COMO LINGOTE, ALAMBRE O BARRAS.

CERIO:

ESTE ELEMENTO FUÉ USADO EN UN PRINCIPIO EN LA PRODUCCIÓN DE HIERRO CUANDO NO SE PODÍA CONTAR CON UN HIERRO - BASE TAN PURO COMO SE UTILIZA EN LA ACTUALIDAD, HOY EN DÍA GENERALMENTE SE USA PARA AMORTIGUAR LOS EFECTOS DE LOS ELEMENTOS NOCIVOS TALES COMO EL PLOMO, ALUMINIO, TITANIO, ETC.

EL CERIO CUANDO SE ENCUENTRA EN PRESENCIA DEL CALCIO Y EL MAGNESIO ES UN POTENTE ESTABILIZADOR DE LOS CARBURROS, ES NECESARIO TENER UN CUIDADO EXCESIVO EN EL USO DE ÉSTE ELEMENTO DADO QUE UN SOBRE TRATAMIENTO CON CERIO Y Ó MAGNESIO PUEDE OCACIONAR QUE EL NÓDULO DE GRAFITO SE LE FORMEN "COLAS", Ó SI EL TRATAMIENTO ES MAS FUERTE SE PUEDE PRODUCIR LA EXPLOSIÓN DE LOS NÓDULOS, ESTO TAMBIÉN PUEDE OCURRIR CUANDO SE TIENE UN METAL BASE DE UNA ALTA PUREZA, ÉSTE DEFECTO TAMBIÉN OCURRE CUANDO SE PRODUCE HIERRO HIPERUTÉCTICO EN HORNO DE CUBILOTE BÁSICO, EN ALGUNOS PROCESOS SE RECOMIENDA EL USO DEL CERIO CUANDO SE SUSPECHA QUE EN EL HIERRO BASE SE PUEDA ENCONTRAR ALGÚN ELEMENTO NOCIVO.

EN LO PERSONAL CREO QUE EL USO DEL CERIO ASÍ COMO DE LAS TIERRAS RARAS SE ESTÁ EXAGERANDO DADO QUE CON UN BUEN CUIDADO EN LA SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA SE PUEDE EVITAR EN LA MAYORÍA DE LOS CASOS LA INTRODUCCIÓN DE ELEMENTOS NOCIVOS, ADEMÁS EL USO DEL CERIO AUMENTA EL COSTO DEL PROCESO EN \pm UN 15% TODO ÉSTO EN DETRIMENTO DEL COSTO DEL PROCESO.

CALCIO:

CASI TODAS LAS ALEACIONES QUE EN LA ACTUALIDAD SE USAN PARA EL TRATAMIENTO DEL HIERRO NODULAR CONTIENEN CALCIO DADO QUE TIENE LA PARTICULARIDAD DE AMORTIGUAR LA REACCIÓN DEL MAGNESIO, Y DE ÉSTA FORMA OBTENER UNA MAYOR RECUPERACIÓN DE MAGNESIO, PERO HAY QUE TENER CUIDADO CON EL PORCENTAJE DE CALCIO ADICIONADO PORQUE, EN NIVELES SUPERIORES A 0.025 PUEDE PROMOVER LA FORMACIÓN DE CARBUROS, ESPECIALMENTE CUANDO SE ENCUENTRA EN PRESENCIA DEL MAGNESIO, DADO QUE EL CALCIO ES VIRTUALMENTE INSOLUBLE EN EL HIERRO NO SE PUEDE CONSIDERAR COMO UN ELEMENTO DE ALEACIÓN EN LOS HIERROS NODULARES.

ADÉMÁS DE LO MENCIONADO EL CALCIO AUMENTA EL NÚMERO DE CELDAS E INCREMENTA EL NÚMERO DE NÓDULOS. EL MECANISMO POR EL CUAL EL CALCIO PRODUCE ESE EFECTO ES HASTA LA FECHA DESCONOCIDO.

TELURO:

AUNQUE ÉSTE ES UN ELEMENTO QUE PROMUEVE LA FORMACIÓN DE GRAFITO VERMICULAR, EN ALGUNAS CLASES DE HIERRO NODULAR SE UTILIZA PORQUE TIENE LA PROPIEDAD DE IMPEDIR LA FORMACIÓN DE DEFECTOS SUBSUPERFICIALES; CUANDO ES NECESARIO. EL USO DE ESTE ELEMENTO SE RECURRE A HACER ADICIONES DE CERIO QUE INHIBE EL PODER SUBERSIVO DE EL TELURO.

CONTROL DE LOS ELEMENTOS PROMOTORES DE GRAFITO VERMICULAR.

PLOMO.- CUANDO UN HIERRO BASE SE CONTAMINA CON PLOMO, ESTE CONTRARRESTA EL PODER NODULARIZANTE DEL MAGNESIO Y PERMITE QUE EL GRAFITO SE PRECIPITE COMO LÁMINAS; EL PLOMO ES UNO DE LOS MAS POTENTES PRECIPITANTES DEL GRAFITO VERMICULAR POR LO QUE SU CONCENTRACIÓN DENTRO DEL METAL DEBE DE ESTAR PERFECTAMENTE CONTROLADA, CUANDO SE TIENE UN NIVEL DE PLOMO SUPERIOR AL ACEPTABLE SE RECURRE A REFORZAR EL MAGNESIO CON ADICIONES DE CERIO, COMO TODOS LOS ELEMENTOS PROMOTORES DE GRAFITO VERMICULAR ES MÁS DAÑINO EN SECCIONES DELGADAS.

TITANIO.- AL IGUAL QUE EL PLOMO DOMINA AL MAGNESIO, CUANDO SE ENCUENTRA EN MÁS DE LA SEGUNDA DECIMAL PRECIPITA - EL GRAFITO EN FORMA DE PEQUEÑAS LAMINILLAS, CUANDO SE TIENE PLOMO EN EL HIERRO BASE LOS PORCENTAJES PERMITIDOS DE LOS - ELEMENTOS DE ÉSTE GRUPO DEBEN DISMINUIR, PUÉS EL PORCENTAJE ES ACUMULATIVO.

ALUMINIO.- EL ALUMINIO AL IGUAL QUE EL TITANIO TIENDE A PRODUCIR NÓDULOS CON COLAS, EL ALUMINIO NO ES TAN POTENTE EN SU PODER SUERSIVO COMO LO ES EL TITANIO, PERO TIENE LA DESVENTAJA DE PRODUCIR DEFECTOS SUBSUPERFICIALES; JUNTO CON EL FEPROSILICIO SE AGREGA $\pm 1.25\%$ DE ALUMINIO, ÉSTO ES CON EL FIN DE DISMINUIR EL HIERRO BLANCO EN LAS ZONAS DELGADAS PORQUE CUANDO EL ALUMINIO SE AGREGA DESPUÉS DEL TRATAMIENTO NODULARIZANTE PIERDE GRAN PARTE DE SU PODER DESTRUCTIVO.

ANTIMONIO.- SU PODER DESTRUCTIVO CONSISTE EN QUE - FORMA UN COMPUESTO ESTABLE CON EL MAGNESIO POR LO QUE DISMINUYE LA RECUPERACIÓN.

BISMUTO Y ZIRCONIO.- EL BISMUTO Y EL ZIRCONIO DEFORMAN LOS NÓDULOS Y PUEDEN PRODUCIR GRAFITO VERMICULAR.

ELEMENTOS PROMOTORES DE PERLITA Y DE CARBUROS.

CROMO.- EL CROMO ES UN CARBURÍGENO Y UN ESTABILIZADOR DE LA PERLITA Y ESTO VA EN DETRIMENTO DE LAS PIEZAS QUE SERÁN USADAS SIN UN TRATAMIENTO TÉRMICO.

POR OTRO LADO EL CROMO ES USADO PARA AUMENTAR LA - DUREZA Y LA RESISTENCIA EN SECCIONES DELGADAS. EL CROMO RETARDA LA FERRITIZACIÓN POR RECOCIDO, PERO CUANDO SE TIENE UN CONTENIDO MAYOR DE 0.10% DE CROMO EN EL HIERRO NODULAR ÉSTE NO RESPONDE AL RECOCIDO.

EL CROMO GENERALMENTE ES INTRODUCIDO EN EL HIERRO BASE POR LA CHATARRA DE ACERO, EL CROMO INCREMENTA LA RESISTENCIA A LA CORROSIÓN EN EL HIERRO NODULAR AUSTENÍTICO.

BORO. - EL BORO ES DEMASIADO DAÑINO Y PUEDE INFLUIR AÚN EN MUY PEQUEÑAS CONCENTRACIONES, LA FORMA EN QUE SE PRESENTA EN EL HIERRO NODULAR ES COMO CARBURO DE BORO.

CUANDO SE TIENE UN HIERRO BASE MUY PURO SU INFLUENCIA EMPLEZA A NOTARSE CUANDO ÉSTE SE ENCUENTRA EN UN 0.005% Y COMO TODOS LOS ELEMENTOS DE ÉSTE GRUPO SU CONCENTRACIÓN ES ACUMULATIVA.

ESTAÑO. - EL ESTAÑO ES UN FUERTE PROMOTOR DE PERLITA, PERO NO DE CARBUROS, ÉSTE TIENE UN PODER APROXIMADAMENTE 10 VECES MAYOR QUE EL CROMO, LOS INGLESES CONSIDERAN EL ESTAÑO MÁS QUE UN ELEMENTO NOCIVO, UN ELEMENTO DE ALEACIÓN; LA PRESENCIA DE 0.005% DE CERIO INHIBE LA ACCIÓN DESTRUCTORA DE NÓDULOS QUE TIENE EL ESTAÑO.

UN 0.03% PRODUCIRÁ UNA MATRIZ ESENCIALMENTE PERLÍTICA LA CUAL NO PUEDE SER FERRITIZADA POR RECOCIDO, ALTOS CONTENIDOS DE ESTAÑO AUMENTAN EL LÍMITE ELÁSTICO Y EL ÚLTIMO ESFUERZO, PERO DECRECEN LA RESISTENCIA AL IMPACTO.

EL USO DEL ESTAÑO COMO ALEACIÓN REQUIERE UN CONTROL MUY EXTRICTO.

EL ARSÉNICO TIENE LAS MISMAS PROPIEDADES QUE EL ESTAÑO SOLO QUE EN UN 50% MENOS DE POTENCIA.

CONTROL DE LOS ELEMENTOS GASEOSOS.

Oxígeno. - LAS CONCENTRACIONES DE OXÍGENO EN EL HIERRO NODULAR SON MUY BAJAS DADO EL GRAN PODER DESOXIDANTE QUE TIENE EL MAGNESIO, UNA EFECTIVA DESOXIDACIÓN, OBVIAMENTE ES UNA DE LAS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS QUE DEBE TENER EL PROCESO, Y ÉSTO POR SUPUESTO CONSUME UNA CONSIDERABLE CANTIDAD DE MAGNESIO, SE ESPECULA QUE PEQUEÑAS CANTIDADES DE ÓXIDO DE MAGNESIO BENEFICIAN TANTO LA NODULARIZACIÓN COMO LA INOCULACIÓN.

LAS CANTIDADES DE OXÍGENO EN EL HIERRO BASE VAN DE ACUERDO CON EL TIPO DE FUSIÓN QUE SE HAGA, SE HA DETERMINADO QUE EL OXÍGENO CONTENIDO EN EL HIERRO BASE FUNDIDO EN CUBILOTE BÁSICO ES $\pm 0.009\%$ MIENTRAS QUE EN EL CUBILOTE ÁCIDO EL PORCENTAJE ES DE 0.0135% , CUANDO SE TRATA CON BASTANTE ALEACIÓN EL HIERRO BASE DEL CUBILOTE BÁSICO EL CONTENIDO DESCENDE A 0.0015% Y EN EL ÁCIDO 0.0033% , CUANDO SE FUNDE UNA ALTA CANTIDAD DE ARRABIO EN CUBILOTE BÁSICO EL CONTENIDO PUEDE ESTAR EN 0.006% . PERO CUANDO SE USA EL SISTEMA DUPLEX CON HORNO DE ARCO ELÉCTRICO Y SE TRATA EFICIENTEMENTE CON MAGNESIO EL CONTENIDO PUEDE DESCENDER A 0.004% , CUANDO FUNDIMOS EN HORNO ELÉCTRICO A NO MUY ALTA TEMPERATURA Y SE CARGA BASTANTE CANTIDAD DE ARRABIO SE PUEDE LOGRAR UN HIERRO TRATADO CON 0.0039% DE OXÍGENO. POR LO DESCRITO ANTERIORMENTE SE PUEDE CONCLUIR QUE EL CONTENIDO DE OXÍGENO ESTÁ EN FUNCIÓN DE LA PRÁCTICA DE FUNDICIÓN Y DE LA TEMPERATURA.

HIDRÓGENO.- MUCHO SE HA ESCRITO ACERCA DE LA INFLUENCIA QUE TIENE EL HIDRÓGENO EN HIERRO NODULAR, SE LE RECONOCE COMO UN POTENTE ESTABILIZADOR DE LOS CARBUROS POR LO QUE DEBE DE MANTENERSE EN LOS NIVELES MÁS BAJOS POSIBLES, TAMBIÉN SE HA DETERMINADO QUE EL HIDRÓGENO INCREMENTA EL GRADO DE SUBENFRÍAMIENTO DE LOS HIERROS.

LA PRÁCTICA PARA OBTENER LAS MUESTRAS PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HIDRÓGENO ES MUY COMPLEJA, YA QUE ESTOS ELEMENTOS SON FACILMENTE VOLÁTILES AÚN A LA TEMPERATURA AMBIENTE, DADO QUE EL HIDRÓGENO SE ENCUENTRA EN EL METAL CUANDO ESTÁ FUNDIDO Y ES DESALOJADO MOMENTOS ANTES DE SOLIDIFICAR ÉSTE, PERO LO QUE ES NECESARIO ENFRIAR LAS MUESTRAS EN NITRÓGENO LÍQUIDO.

EL HIDRÓGENO ES CONOCIDO COMO UNO DE LOS PRINCIPALES ELEMENTOS PRODUCTORES DE DEFECTOS SUBSUPERFICIALES ESTA PROPENSIÓN A PRODUCIR DEFECTOS ES AGRAVADA POR LA PRESENCIA DEL ALUMINIO Y ES INTENSIFICADA POR EL MAGNESIO Y EL TITANIO.

EL HIDRÓGENO ES INTRODUCIDO AL METAL POR LOS MATERIALES DE CARGA, ASÍ COMO POR LA HUMEDAD DE LA ARENA DE LOS MOLDES. LOS ÓXIDOS DE FE, ASÍ COMO CIERTOS TIPOS DE CARBÓN SON LOS MEJORES MATERIALES CON QUE SE CUENTA PARA REMOVER EL HIDRÓGENO.

SE HA OBSERVADO FRECUENTEMENTE LA ASOCIACIÓN DE LOS DEFECTOS SUBSUPERFICIALES CON CARBUROS, LO QUE INDICA QUE EL ÚLTIMO METAL EN ENFRIARSE ESTA MÁS SATURADO DE EL GAS, CAUSA QUE ES DRÁSTICA EN LA FUNDICIÓN.

NITRÓGENO.- EL NITRÓGENO GASEOSO SECO ES EMPLEADO PARA LA INYECCIÓN DENTRO DEL HORNO, COMO REMOVEDOR DE GASES O TAMBIÉN PARA INYECTAR EL MAGNESIO Y EN ESTOS CASOS EL PORCENTAJE DE NITRÓGENO NO AUMENTA SINO MUY POCO, DADO QUE SOLO ES ABSORBIDO EL POCO GAS QUE SE DISOCIA.

EL NITRÓGENO ES CONOCIDO COMO ESTABILIZADOR DE LOS CARBUROS Y CONCENTRACIONES DE 0.008 A 0.0175% PRODUCEN EFECTOS DRÁSTICOS, AFORTUNADAMENTE EN LA PRODUCCIÓN DE HIERRO NO DULAR DE MATRÍZ FERRÍTICA EL NITRÓGENO ES ELIMINADO DURANTE EL TRATAMIENTO CON MAGNESIO AUNQUE SU SOLUBILIDAD EN EL METAL SEA MUY Poca SI TENEMOS 0.0150% DE NITRÓGENO ANTES DEL TRATAMIENTO DESPUÉS DEL TRATAMIENTO TENDREMOS \pm 0.001%.

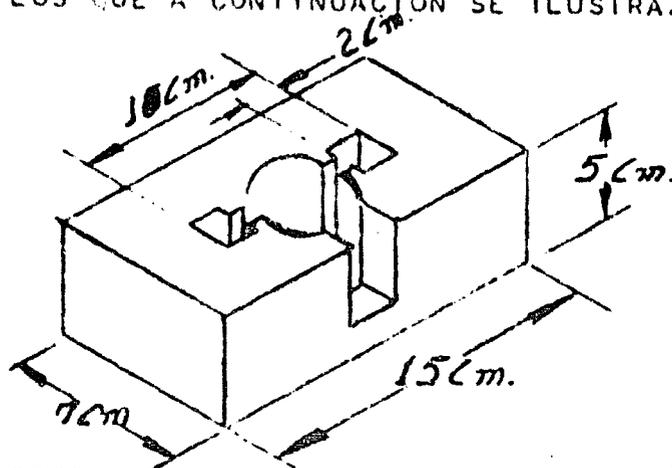
EL CARBONO Y EL SILICIO REDUCEN LA SOLUBILIDAD DEL NITRÓGENO Y EL NITRÓGENO RESIDUAL ES EXPULSADO DEL METAL POCO ANTES DE LA SOLIDIFICACIÓN.

EL NITRÓGENO PARECE SER UN PROMOTOR DE LA PERLITA Y AUMENTAR RESISTENCIA, REPORTES RUSOS INDICAN QUE 0.001% DE NITRÓGENO AUMENTA LA RESISTENCIA EN 840 Kg/cm².

CONTROL QUÍMICO - METALÚRGICO

PARA LLEVAR A CABO EL CONTROL QUÍMICO METALÚRGICO LA COMPAÑÍA GENERAL MOTORS, CUENTA CON UN LABORATORIO QUÍMICO Y FÍSICO DE LO MÁS COMPLETO.

EL CONTROL METALOGRAFICO SE EFECTUA A CADA CUCHARA QUE SALE DEL HIERRO; SE TOMA UNA MUESTRA METALOGRAFICA EN UN MOLDE DE ARENA AGLUTINADO CON RESINA; LA FORMA Y DIMENSIONES DEL MOLDE SON LOS QUE A CONTINUACION SE ILUSTRA.



ESTA PROBETA SE DEJA ENFRIAR DURANTE 15 MINUTOS, Y LUEGO SE DESHACE EL MOLDE, SE ENFRÍA LA PROBETA EN AGUA Y SE CORTA UNA OREJA DE ÉSTA, EL CORTE SE HACE POR ABRASIÓN CON UN DISCO DE CARBORUNDUM Y ADEMÁS LLEVA UN EFRIAMIBETO CON AGUA, HECHA ESTA OPERACIÓN SE PULE EN LIJAS HASTA LLEGAR A LA LIJA 600 DESPUÉS SE LE DA UN PULIDO ELECTROLÍTICO O BIÉN EN UN DISCO IMPREGNADO CON POLVO DE DIAMANTE DE ± 6 MICRAS.

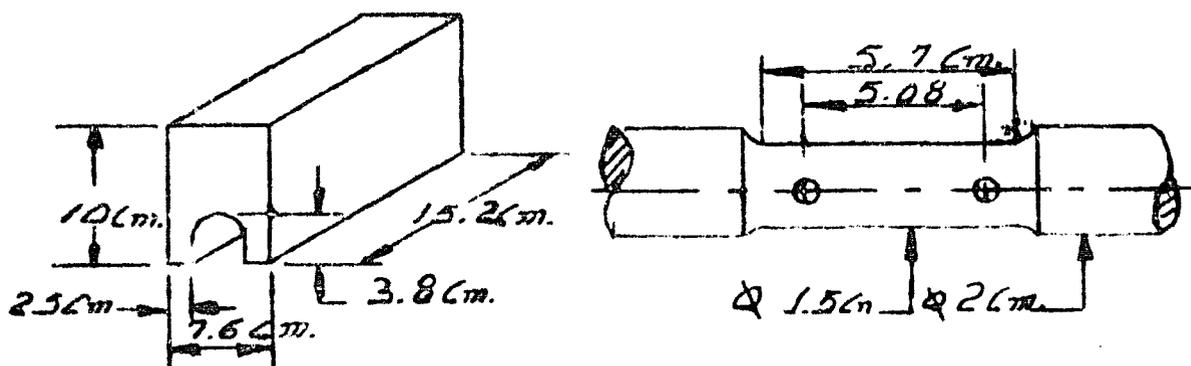
LA DESVENTAJA DEL PULIDO ELECTROLÍTICO ES QUE DEJA LOS NÓDULOS DE GRAFITO EN BAJO RELIEVE; SE HACE LA OBSERVACIÓN METALOGRAFICA Y SE DETERMINA LA MATRÍZ, EL PORCENTAJE DE FERRITA, SI TIENE CARBUROS, Y SI TIENE GRAFITO VERMICULAR Y SE REPORTA EN HOJAS QUE CONSTANTEMENTE SON OBSERVADAS POR LA PERSONA RESPONSABLE DEL PROCESO; CADA 5 CUCHARAS DE CADA HORNO SE CORTA EL CENTRO DE LA PROBETA Y SE DETERMINAN LAS MISMAS CUALIDADES METALOGRAFICAS, ÉSTO SE HACE CON EL FIN DE DETERMINAR EN UN VOLÚMEN MAYOR DE HIERRO Y ASÍ PODER OBSERVAR COMO SE COMPORTÓ EL HIERRO DURANTE LA SOLIDIFICACIÓN.

PARA EL CONTROL QUÍMICO LA COMPAÑÍA CUENTA CON UN ESPECTRÓMETRO DE EMISIÓN DE 10 CANALES EN EL CUAL SE CONTROLAN LOS CONTENIDOS DE SILICIO, MANGANESO, CROMO, NIQUEL, COBRE Y MAGNESIO; EL CARBONO Y EL AZUFRE SE DETERMINAN POR EL MÉTODO DE COMBUSTIÓN EN UN DETERMINADOR DE LA MARCA LECO - QUE HACE LA FUSIÓN POR MEDIO DE INDUCCIÓN. EL ANÁLISIS QUÍ-

MICO SE CONTROLA TAMBIÉN CADA 5 CUCHARAS O CUANDO EN LA MUESTRA METALOGRAFICA SE REVELA UNA ESTRUCTURA INDESEABLE.

LAS MUESTRAS DEL ESPECTRÓMETRO SON SACADAS EN UN MOLDE ESPECIAL DE ACERO, ÉSTO ES CON EL FIN DE QUE EL ENFRIAMIENTO SEA MUY RÁPIDO Y EVITE LA GRAFITIZACIÓN POR QUE DE SUCEDER SE TENDRÍA RESULTADOS ERRÓNEOS.

PARA EL CONTROL DE PRUEBAS FÍSICAS SE SACA OTRA - PROBETA QUE SE CONOCE COMO BLOCK "Y"; ESTA PROBETA SE SACA EN UN MOLDE DEL MISMO MATERIAL QUE LA PROBETA METALOGRAFICA, LA MUESTRA QUE SE OBTIENE SE MANDA MAQUINAR PARA HACER UNAS PROBETAS PARA PRUEBAS DE TRACCIÓN. EL BLOCK "Y" Y LAS PROBETAS DE TRACCIÓN SON COMO A CONTINUACIÓN SE ILUSTRAN.



LAS ESPECIFICACIONES PARA EL CONTROL QUÍMICO - METALOGRAFICO QUE SON REQUERIDAS SON LAS SIGUIENTES:

ESPECIFICACIONES QUÍMICAS:

CARBONO	3.80	3.95	
MANGANESO	0.74	0.78	
SILICIO	2.35	2.45	
CROMO	0.05	0.08	
MAGNESIO	0.035	0.043	
NIQUEL		.30	MÁXIMO
FÓSFORO		.05	MÁXIMO
AZUFRE		.01	MÁXIMO

CUANDO SE TIENEN ALGUNAS CUCHARAS FUERA DE ÉSTAS ESPECIFICACIONES SE ORDENA DETENER TODAS LAS PIEZAS QUE FUERON VACIADAS CON DICHAS CUCHARAS, SE CORTA UNA PIEZA Y SE CHECA SU ESTRUCTURA METALOGRAFICA Y SE CORTA OTRA MUESTRA PARA CHE

CON LAS PROPIEDADES FÍSICAS TALES COMO LÍMITE ELÁSTICO, RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y EL PORCENTAJE DE ALARGAMIENTO

ESPECIFICACIONES METALGRÁFICAS:

AL CORTAR EL CENTRO DE LA PROBETA LA ESTRUCTURA SE DEBE ENCONTRAR ENTRE:

MENOS DE 25% DE CARBUROS

MÁS DE 70% DE PERLITA Y MENOS DE 95%

MENOS DE 20% DE GRAFITO VERMICULAR

QUE EL GRAFITO VERMICULAR NO PENETRE A MÁS DE 1.2M. Y QUE LA FLOTACIÓN DE GRAFITO NO EXCEDA DE 2.7 MM. CUANDO ÉSTOS LÍMITES SON SUPERADOS SE ORDENA QUE SE DETENGAN LAS CUCHARAS A LAS CUALES SE LES OBSERVARÁN ÉSOS DEFECTOS EN LA MUESTRA METALGRÁFICA Y SE CORTA LA ÚLTIMA PIEZA COLADA EN LA ZONA EN LA QUE EL METAL ESTUVO MÁS FRÍO.

SI ÉSTA NUEVA MUESTRA TIENE MAS DE 15% DE CARBUROS, MENOS DE 65% DE PERLITA (35% DE FERRITA), MAS DE 25% DE GRAFITO VERMICULAR SI ESTE PENETRA MAS DE 2.7 MM. Ó TIENE UNA FLOTACIÓN DE GRAFITO DE MAS DE 2.7 MM. TODAS LAS PIEZAS VACIADAS CON ESA CUCHARA SON ENVIADAS A LA CHATARRA.

ESPECIFICACIONES DE PRUEBAS FÍSICAS:

EN LA PROBETA QUE SE SACA DEL BLOCK "Y" SE DETERMINA EN LA MÁQUINA DE PRUEBAS FÍSICAS LAS SIGUIENTES PROPIEDADES Y DEBEN DE ESTAR DENTRO DE LOS LÍMITES QUE A CONTINUACIÓN DE ÉSTAS SE ILUSTRAN.

RESISTENCIA A LA FRACCIÓN MAS DE 56.33 KG/CM²

RESISTENCIA ELÁSTICA A 0.2% DE ALARGAMIENTO MÁS DE 3521 KG/CM²

PORCENTAJE DE ALARGAMIENTO A 5.8 CM. MÁS DE 4%

DUREZA BRINELL DE 187 A 241 UNIDADES.

CUANDO UNA DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS QUE SE DETERMINAN ESTÁ FUERA DE LA ESPECIFICACIÓN, SE CORTA UNA PIEZA DE LA MISMA CUCHARA QUE SU VACIÓ EL BLOCK "Y" Y SE HACE UN ES-

tudio completo de las condiciones en que se trató y fué manipulada dicha cuchara, este estudio abarca: tratamiento, cantidad de inoculantes, peso de la cuchara, análisis químico, análisis metalográfico, Etc. Generalmente en estos estudios se revelan las causas por las que el hierro no tuvo la calidad exigida, dicho estudio se archiva para ser consultado en ocasiones posteriores.

A continuación se ilustra un estudio de éstos, así como una comparación entre microfotografías de hierro nodular y hierro gris, y una estructura nodular con 20 % de carburos.

GENERAL MOTORS DE MEXICO, S.A. DE C.V.

FUNDICION

LABORATORIO METALURGICO.

PLANTA TOLUCA

N.º 5743013 NOMBRE LIGUENAL 230

MUESTRA N.º 5-3

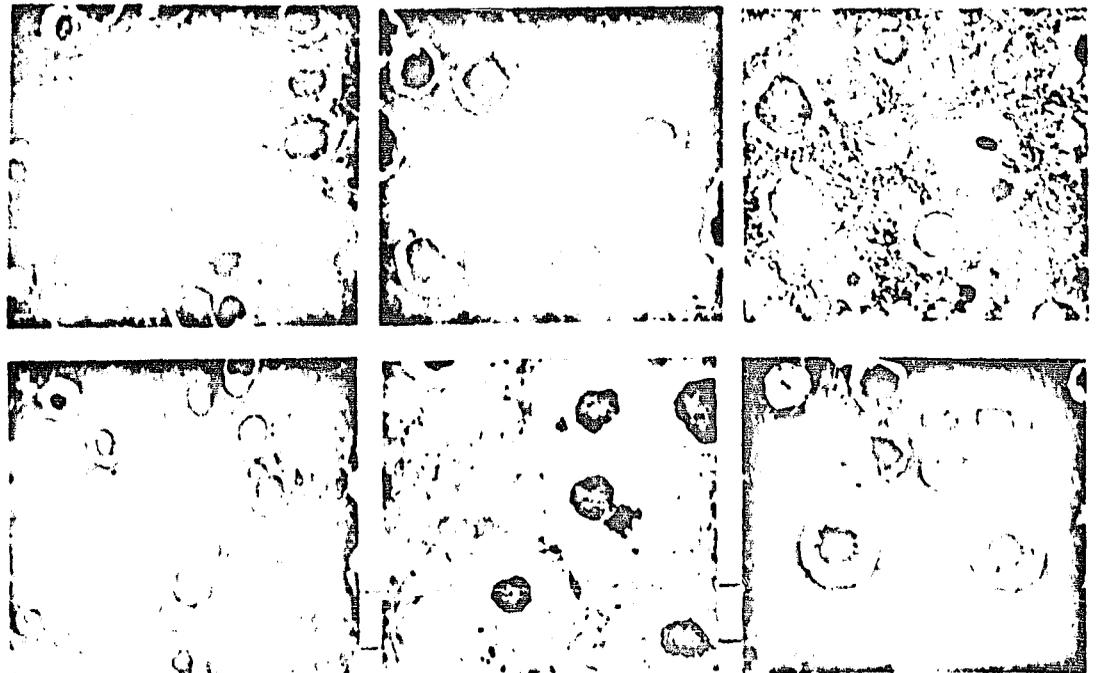
VALEADO
 MP: 2640-2630°F
 SMO: 0.101%
 DC: FeSi: 0.56% KG/TON
 RA: 9 10
Aug-24-65
 ISA 0.56%
 D.B 0.80%

PROBETAS
 CHILL: _____
 B.H.N: _____

ANALISIS
 C 3.97 Pb _____
 Si 2.33 Cr 0.08
 Mn 0.65 Ni 0.35
 S 0.008 Mo _____
 Mg _____ Cu 0.11
 Si BASE: 1.24

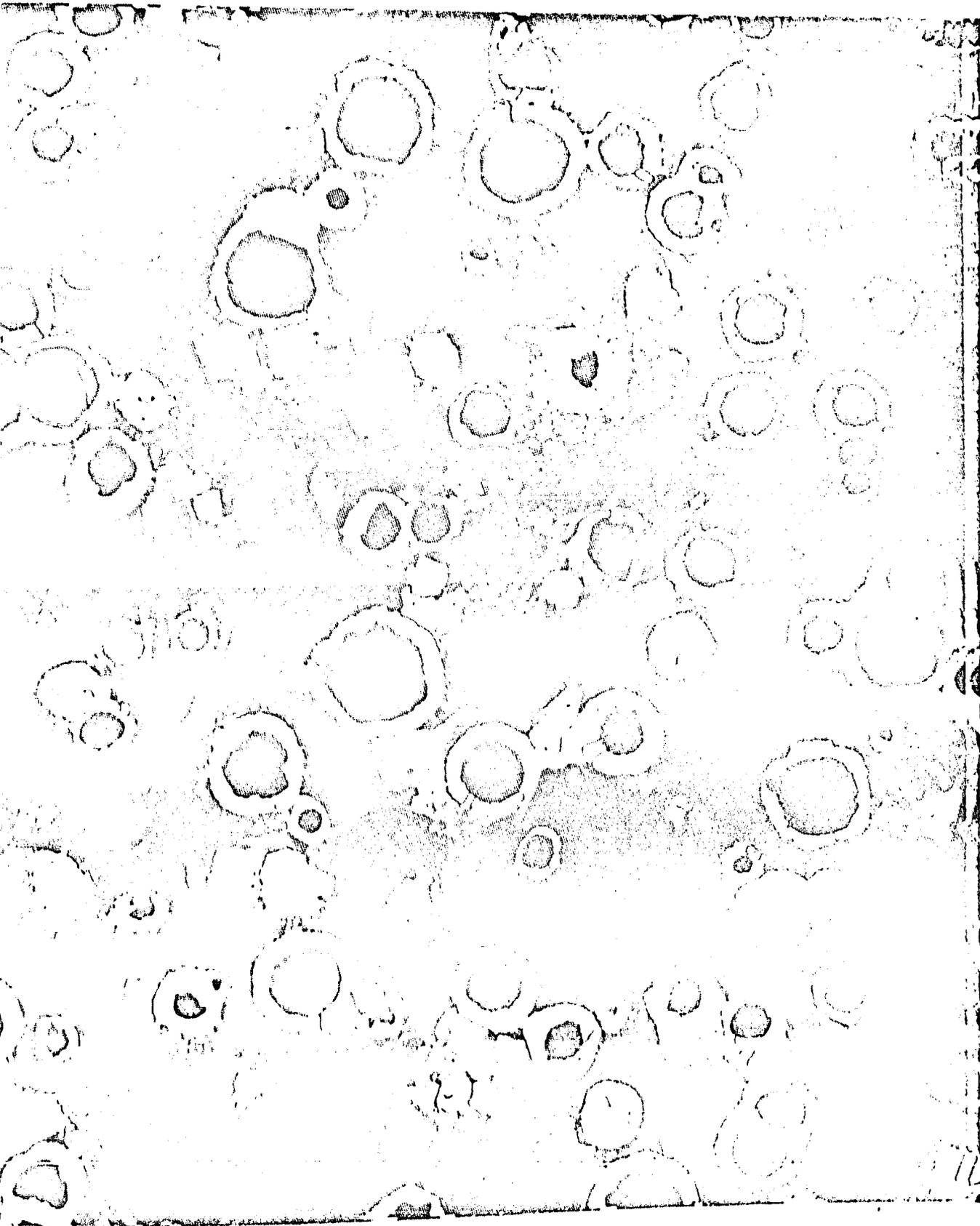
MICROESTRUCTURA

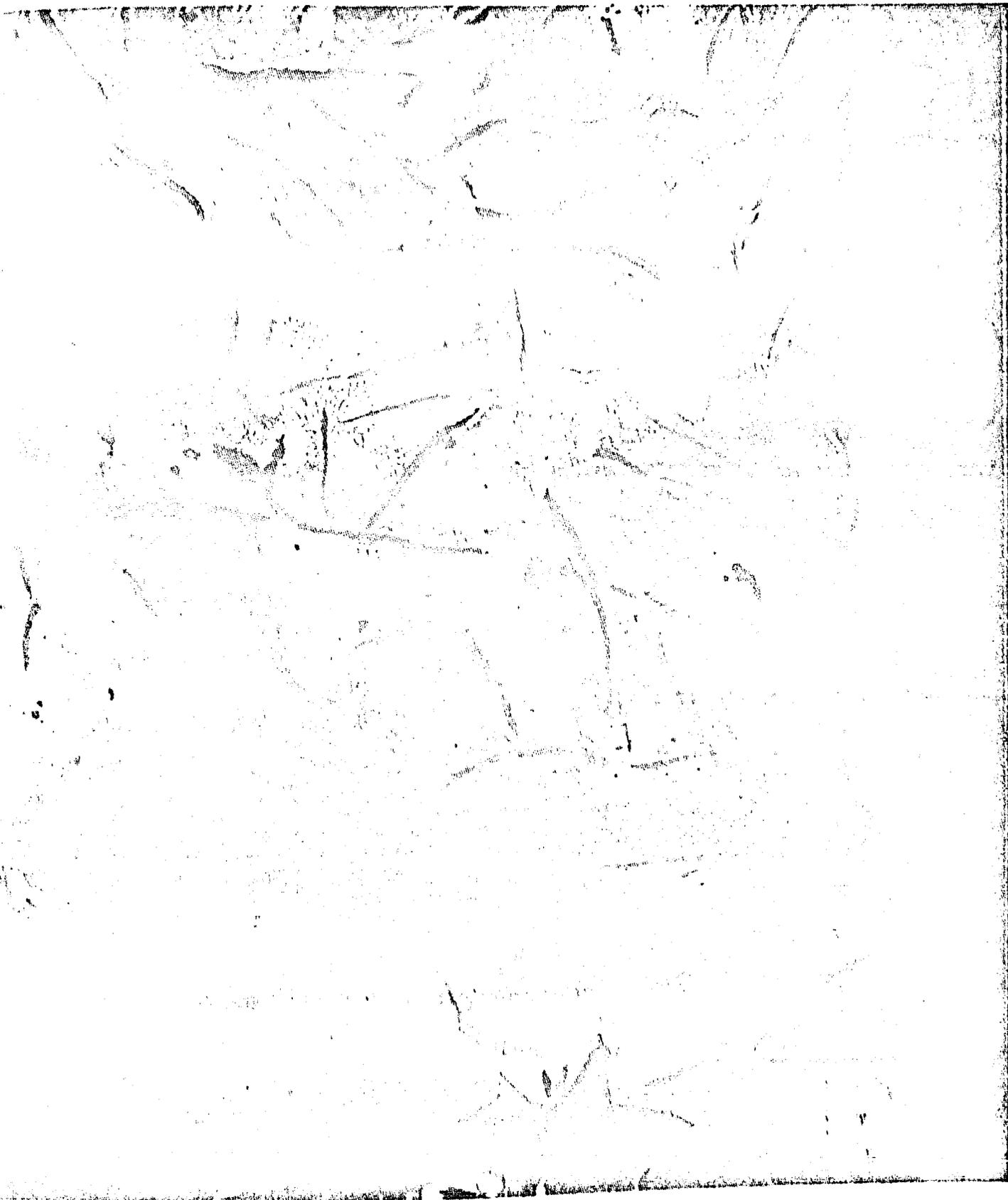
	<u>CUPON 5</u>	<u>APOYO 1</u>	<u>APOYO 4</u>	<u>APOYO 7</u>
POSICION				
RAFINO TIPO NOD	<u>>95 %</u>	<u>>95 %</u>	<u>>95</u>	<u>95</u>
-TAMAÑO				
MATRIZ PERL	<u>90-95%</u>	<u>90 - 85</u>	<u>90</u>	<u>90 (TEMP. AL CORTE)</u>
ARBOL				
BRIN	<u>3.8</u>	<u>3.9-4.0</u>	<u>3.95-3.8</u>	
	<u>C-20</u>	<u>C-21/22</u>	<u>C-25/26</u>	<u>C-23/24</u>



MUESTRA C-20 FUE SOBRECALIENTADA Y TEMPLADA AL CORTE.
 POR: _____

HIERRO NODULAR

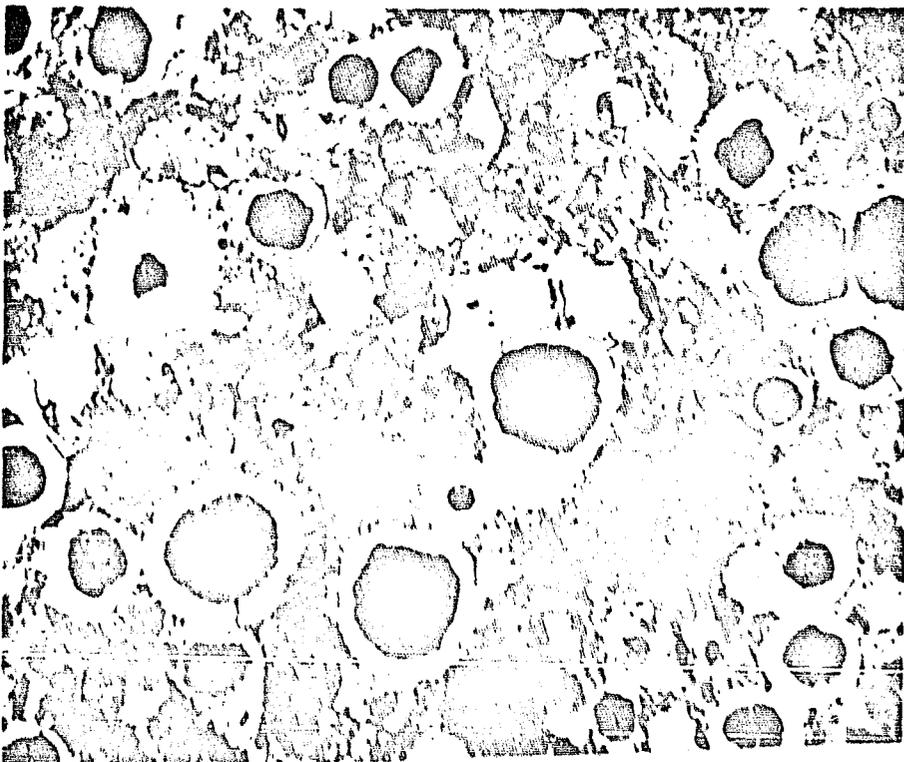




HIJERO NODULAR CON 20% de CARBUROS



HIJERO NODULAR CON 20% de FERRITA



B I B L I O G R A F I A .

- 1.- MORROOM AND WILLIAMS.- JOURNAL OF THE IRON AND STEEL INSTITUTE, 1947, VOL. 155 PAGINAS 321 - 371
- 2.- KEVERIAN AND TAYLOR, TRANSACTIONS OF THE AMERICAN FOUNDRYMEN'S SOCIETY, 1957, VOL. 65 PAGINAS 212 - 221.
- 3.- REHDER, TRANSACTIONS OF THE AMERICAN FOUNDRIMEN'S SOCIETY 1951, VOL. 59 PAGINAS 501 - 508
- 4.- KAVERIAN, ADAMS AND TAYLOR, TRANSACTIONS OF THE AMERICAN FOUNDRYMEN'S SOCIETY, 1952 VOL. 60 PAGINAS 849 - 852.
- 5.- FOLLETOS DE PROVEEDORES DE ALEACIONES DE MAGNESIO TALES COMO, DUCTIL IRON PROCESS DE LA MILLES AND MEINHART Y EL DUCTIL IRON DE LA INTERNATIONAL NICKEL COMPANY.
- 6.- ESTUDIOS Y BOLETINES CONFIDENCIALES DE LA GENERAL MOTORS CORPORATION.