

T
669.1413
TOAc.

ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA

COMPARACION DE PROPIEDADES MECANICAS Y DE
TEMPLABILIDAD ENTRE EL ACERO MOLDEADO DE
MEDIO CONTENIDO DE CARBON Y LA FUNDICION
NODULAR"

TESIS DE GRADO
PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE
INGENIERO MECANICO

PRESENTADO POR:

GEORGE WASHINGTON / TOALA BANCHON

GUAYAQUIL - ECUADOR

1982





*Mi gratitud para la ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL y para mis
profesores.*

*Especial agradecimiento al Ing. Alber
to Torres Valencia, Director de esta
Tesis, y a todo el personal del area
Metal Mecánica que me prestó su de
cidida colaboración para llevar a
efecto la fase experimental del
presente trabajo.*



DEDICATORIA

A MI ESPOSA
A MIS HIJOS
A MIS HERMANOS
A LA MEMORIA
DE MIS PADRES

Alberto Torres Valencia

.....

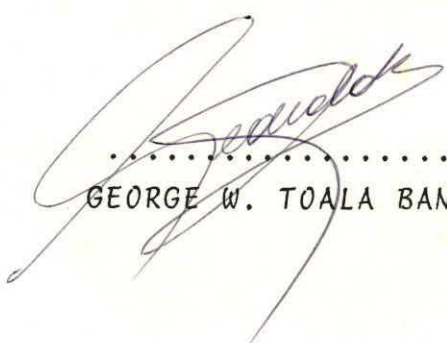
ING. ALBERTO TORRES VALENCIA

Director de Tesis

DECLARACION EXPRESA

DECLARO QUE: La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusiva-
mente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLI-
TECNICA DEL LITORAL.

(Reglamento de Exámenes y Títulos pro-
fesionales de la ESPOL).



.....
GEORGE W. TOALA BANCHON

RESUMEN

En este estudio se habla primeramente de la historia y desarrollo del hierro nodular su clasificación, sus tratamientos térmicos para luego dar una información rápida sobre el Acero Moldeado, sus propiedades y métodos de fabricación.

Describimos una investigación de las propiedades mecánicas del hierro nodular y el Acero Moldeado de Medio Contenido de Carbón ambos producidos en el Ecuador, el primero en una fundición local W y Z y el segundo en forma de palanquilla de Colada - continua producida por FUNASA.

Estos materiales fueron sometidos a tratamientos térmicos de Recocido, Temple y Revenido, al hierro Nodular se le efectuó un ensayo de Jominy y obtuvimos una banda de templabilidad.

Se hacen finalmente cuadros de cada una de las experiencias, haciendo las comparaciones entre los materiales dando además las conclusiones y recomendaciones.

INDICE GENERAL

PAGINA

RESUMEN	V
Indice General	VI
Lista de Figuras	IX
Lista de Tablas	XI
Lista de Fotos	XIV
Introducción	18
CAPITULO I	
Fundamento Teorico	22
1.1 La Fundición Nodular como Materia de Ingeniería.....	22
1.1.1 Historia	22
1.1.2 Calsificación	24
1.1.3 Fabricación	28
1.1.3.1 Métodos de Fusión	28
1.1.3.2 Metodos de Modificación	37
1.1.3.3 Control.....	40
1.2 Tratamientos Térmicos	43
1.2.1 Efectos de los Elementos Primarios..	44
1.2.2 Efectos de los Elementos Aleantes..	52
1.2.3 Templabilidad.....	68
1.2.4 Tratamientos Especificos	76
1.3 El Acero Moldeado	84

PAGINA

1.3.1	Clasificación y Métodos de Fabricación	95
1.3.2	Propiedades Mecánicas del Acero producido en Horno Electrico...	106

CAPITULO II

2.	PARTE EXPERIMENTAL	
2.1	Plan de Trabajo	112
2.2	Estudio Metalográfico de los materiales.	115
2.3	Control de Propiedades Mecánicas	122
2.3.1	Enayo de Tracción	122
2.3.2	Ensayo Charpy	127
2.3.3	Ensayo de Dureza	132
2.4	Mejoramiento de las Propiedades de la Fundición	136
2.4.1	Ensayo de Templabilidad	144
2.4.2	Temple y Revenido	176
2.4.3	Control de Propiedades	183
2.5	Comparación de Propiedades del Acero Moldeado y la Fundición Nodular	184

CAPITULO III

PAGINA

3. Discusión de los Resultados,...	193
Conclusiones y Recomendaciones ...	198
BIBLIOGRAFIA	

LISTA DE FIGURAS

TITULO

<u>No.</u>		<u>PAGINA</u>
1.	Efecto del Contenido de Aleación en la Dureza de un Hierro Dúctil	57
2.	Banda de Templabilidad y valores Obtenido en el ensayo Jominy de un Acero 4140 A	64
3.	Curvas de Templabilidad para algunos Hierros Dúctiles	82
4.	Propiedades Mecánicas del Acero Moldeado de Bajo Contenido de Carbón	107
5.	Propiedades Mecánicas del Acero Moldeado de Medio Contenido de Carbón	109
6.	Propiedades Mecánicas del Acero Moldeado de Alto Contenido de Carbón	111
7.	Ensayo Jominy Probeta 103 F 1	150
8.	Ensayo Jominy Probeta 103 F 2	152
9.	Ensayo Jominy Probeta 103 F 3	154
10.	Ensayo Jominy Probeta 103 F 4	156

TITULO

<u>No.</u>		PAGINA
11	Ensayo Jominy Probeta 103 F 5	158
12.	Ensayo Jominy Probeta 103 F 6	160
13.	Ensayo Jominy Probeta 103 F 7	162
14.	Ensayo Jominy Probeta 103 F 8	164
15.	Ensayo Jominy Probeta 103 F 9	166
16.	Ensayo Jominy Probeta 103 F 0	168
17.	Banda de Templabilidad del Acero Medio Contenido de Carbono	191
18.	Banda de Templabilidad de la Fundición Nodular	192

LISTA DE TABLAS

TITULO

<u>No.</u>		<u>PAGINA</u>
1	Propiedades Mecánicas y Estructuras típicas de grado Comunes	27
2.	Influencia que ejercen algunos elementos en el Hierro Dúctil	65
3.	Clasificación de los Aceros más representativos	97
4.	Ensayos de Tracción del Acero Moldeado de Medio Contenido de Carbón sin Tratamiento Térmico	125
5.	Ensayos de Tracción del Hierro Nodular sin Tratamiento Térmico	126
6.	Ensayos de Impacto del Acero Moldeado de Medio Contenido de Carbón sin Tratamiento Térmico	130
7.	Ensayos de Impacto de la Fundición Nodular sin Tratamiento Térmico	131
8.	Ensayos de Dureza del Acero Moldeado sin Tratamiento Térmico	134
9.	Ensayos de Dureza de la Fundición Nodular sin Tratamiento Térmico	135
10.	Ensayos de Tracción del Acero Moldeado de Medio Contenido de Carbón Recocido	137

TITULO

<u>No.</u>		PAGINA
11.	Ensayos de Tracción de la Fundición Nodular - Recocida	138
12.	Ensayos Charpy del Acero Moldeado Medio Contenido de Carbón- Recocido	139
13.	Ensayos Charpy de la Fundición Nodular - Recocida	140
14.	Ensayos de Dureza del Acero Moldeado de Medio Contenido de Carbón-Recocido	141
15.	Ensayos de Dureza de la Fundición Nodular- Recocida	142
16.	Ensayo Jominy Probeta 103 F 1	149
17.	Ensayo Jominy Probeta 103 F 2	151
18.	Ensayo Jominy Probeta 103 F 3	153
19.	Ensayo Jominy Probeta 103 F 4	155
20.	Ensayo Jominy Probeta 103 F 5	157
21.	Ensayo Jominy Probeta 103 F 6	159
22.	Ensayo Jominy Probeta 103 F 7	161
23.	Ensayo Jominy Probeta 103 F 8	163

TITULO

<u>No.</u>		PAGINA
24.	Ensayo Jominy Probeta 103 F 9	165
25.	Ensayo Jominy Probeta 103 F 0	167
26.	Ensayos de Tracción de Acero Moldeado Medio Contenido de Carbono Templado y Revenido	177
27.	Ensayos de Tracción de la Fun dición Nodular Templado y Revenido	178
28.	Ensayos Charpy del Acero Moldeado de Medio Contenido de Carbono Tem plado y Revenido	179
29.	Ensayos Charpy de la Fundición No dular Templado y Revenido	180
30.	Ensayos de Dureza del Acero Moldeado de Medio Contenido de Carbono Templa do y Revenido	181
31	Ensayos de Dureza de la Fundición Nodular Templado y Revenido	182

LISTA DE FOTOS

TITULO

<u>No.</u>		<u>PAGINA</u>
1.	Realización de Ensayo Jominy	75
2.	Microscopio Olympus PME	117
3.	Mesas para Pulido AB Buehler	118
4.	Máquina Pulidora de Disco Rotatorio	119
5.	Microestructura del Acero Moldeado de Medio Contenido	120
6.	Fundición Nodular Probeta 101 F	121
7.	Horno Experimental de Limberg	143
8.	Fundición Nodular Probeta 103 F	169
9.	Fundición Nodular Probeta 103 F	170
10.	Fundición Nodular Probeta 103 F 1/2 pulgada del Extremo Templado.	171
11.	Fundición Nodular Probeta 103 F 1 pulgada del Extremo Templado	172
12.	Fundición Nodular Probeta 103 F 1 1/2 pulgadas del Extremo Templado	173

TITULO

<u>No.</u>		PAGINA
13.	Fundición Nodular Probeta 103 F 2 pulgadas del Extremo Templado	174
14.	Máquina para Medir Dureza Rockwell	175
15.	Microestructura del Acero Moldeado sin Tratamiento Térmico	185
16.	Microestructura del Acero Moldeado Probeta 101 A. Recocido	186
17.	Microestructura del Acero Moldeado Probeta 102 A. Temple y Revenido	187
18.	Microestructura de la Fundición Nodu lar Probeta 100 F. sin Tratamiento Térmico	188
19.	Microestructura de la Fundición Nodu lar Probeta 101 F Recocido	189
20.	Microestructura de la Fundición Nodu lar Probeta 102 F Temple y Revenido	190

SIMBOLOGIA

AISI	Instituto Americano del Hierro y Acero
Al	Aluminio
ASTM.	Instituto Americano de Ensayo de Materiales
Ba	Bario
BHN	Dureza Brinell
C	Carbono
°C	Grados Centígrados
Ca	Calcio
Ce	Cerio
cm	Centímetro
cm ²	Centímetro Cuadrado
CO	Monóxido de Carbono
Cr	Cromo
Cu	Cobre
°F	Grados Fahrenheit
Fe	Hierro
Hr	Hora
H	Hidrógeno
inch	Pulgadas
Kg	Kilogramo



lbs	Libras
máx	máximo
Mg	Magnesio
mm	Milímetro
Mn	Manganeso
Mo	Molibdeno
N	Nitrogeno
Ni	Níquel
O	Oxígeno
P	Fósforo
pag	Página
psi	libra por pulgada cuadrada
Rc	Dureza Rockwell
S	Azufre
Si	Silicio
T	Temperatura
Ti	Titanio
Tn	Tonelada
V	Vanadio

INTRODUCCION

El Acero es un material que marca los avances de la civilización, la mayoría de los nuevos equipos industriales tienen sus elementos fabricados con el, en diferentes composición y aleados con una gama de componentes químicos y tratamientos térmicos de acuerdo al uso que se lo va a utilizar

En el mundo este material ha tenido un desarrollo tecnológico vertiginoso, es así como día a día mejoran sus métodos de fabricación y sus características.

En nuestro país existe solo una empresa metalúrgica de palanquilla de Colado Continúa y su producción anual es alrededor de 30.000 toneladas anuales para lo cual se utiliza con horno eléctrico básico, pero toda su producción es dada a la Compañía Andec para suplir solo en 1/3 parte su materia "prima" con que cuenta para elaborar Acero laminado.

En lo que respecta a piezas moldeadas de acero - ninguna empresa de fundición todavía logra hacerlas de tal manera que alcancen sus condiciones técnicas y características.

Es así que después del éxito que tienen nuestros fundidores en la elaboración de piezas de maquinarias industriales y para el uso agrícola en ma-

terial de hierro nodular , se ha tomado la iniciativa de como poder reemplazar algunas piezas de Acero Moldeadas que tengan contenido de 40-50% de Carbón y que en cierta forma sean típicos en su composición química y característica.

Presisamente como la palanquilla de colado continua es el unico acero moldeado de medio contenido de carbón que se produce en el Ecuador se lo escogio para las pruebas.

El desarrollo tecnológico que ha tenido en el mundo el hierro nodular es muy bueno y por sus buenas cualidades se lo está utilizando para reemplazar algunas piezas de maquinarias.

Las características y propiedades del hierro dúctil como también se lo llama, que lo hace como material de elección son:

Alta resistencia al desgaste, alta resistencia a la corrosión, alta absorción de vibraciones, buena colabilidad y gran maquinabilidad.

En lo que se refiere a la resistencia al desgaste, el grafito esferoidal que está contenido en el hierro dúctil, actúa como una reserva para almacenar lubricante en los periodos de arranque y para prevenir el engranamiento durante periodos de falla real de la lubricación.

Datos del comportamiento en servicio en camisas de cilindros, cigüeñales, engranajes, rodillos han demostrado que la resistencia al desgaste es igual al de las mejores calidades de hierro gris y superior a la del acero al carbono.

En la resistencia a la corrosión, la resistencia del hierro dúctil a un medio corrosivo ha sido demostrado su equivalente a la de la fundición gris y generalmente a la del acero.

En el hierro nodular, la matriz puede adoptar las formas en el diagrama de equilibrio Hierro Carbono, también las obtenidas en los tratamientos térmicos como son el temple y revenido. Obtenemos entonces una matriz que puede ser ferrítica, perlítica, martensítica.

La fundición dúctil ferrítica puede ser calentada a temperatura de 700°C y bruscamente enfriada en agua fría sin que se produzcan fisuras o rajaduras, lo cual no es factible de realizar con el hierro gris ya que se manifiestan tan fisuras por la severidad de enfriamiento.

La maquinabilidad del hierro dúctil, es superior a la de cualquier fundición gris de dureza equivalente y mejor que la de cualquier acero de similar nivel de resistencia, ya que su estructura celular siendo más homogénea que la del hierro gris presenta una mejor distribución del grafito que es la caracterís

tica de mejor maquinabilidad de los hierros fundido comparada con la de los acero, el carbón - en forma de grafito actúa como lubricante del corte y su forma esferoidal permite dar un acabado superior mejor.

Se demuestra en está tesis que si se puede reemplazar al Acero Moldeado por hierro nodular, por medio de una serie de comparaciones de propiedades mecánicas con y sin tratamiento térmico.

1.- FUNDAMENTO TEORICO

1.1. LA FUNDICIÓN NODULAR COMO MATERIAL DE INGENIERIA

1.1.1. HISTORIA

La fundición Nodular, material relativamente nuevo ha evolucionado considerablemente desde Julio de 1.946 fecha en que fue obtenida por la British- Cast Iron Research Association por investigaciones efectuadas por H. Morrogh y Willians que dieron a conocer sus trabajos sobre la obtención de fundición con grafitos esferoidal. Añadiendo cantidades de cerio cuando se encontraba en estado líquido la fundición, si después del cerio se añade además al baño de fundición una aleación grafitizante como Ferro-Silicio o el Silicio - Calcio, la proporción de Carbono que aparece en forma esferoidal aumenta y se llega incluso a evitar totalmente la aparición de grafito Laminar.

Las investigaciones de Gaquerin, Millis y Pilling condujeron a la fabricación de fundición con grafito esferoidal por medio de una adición de magnesio siendo este proceso patentado por la International Nickel Company en

U. S. A. y por Mond Nickel Company en Europa.

Se señala en este proceso que debe quedar por lo menos 0,40% de magnesio en la fundición para conseguir que todo el grafito sea esferoidal.

El proceso de fabricación descubierto por Morrogh y Willians se ha ido abandonando casí por completo, porque exigía ciertas condiciones de composición química muy precisas que eran difíciles de cumplir.

La Fundición esferoidal es hoy día la aleación aplicada en ingeniería de más rápido crecimiento en el mundo. Su producción ha aumentado desde un millón de toneladas en 1.963 hasta más de 5 millones en 1.973, y representa alrededor del 10% de la producción total de piezas de fundición Férrica.

A grosso modo, la producción de Fundición esferoidal va destinada a la fabricación de tubos centrífugados (40%); piezas de automóvil, principalmente cigueñales (30%), y otras, entre las que pueden incluirse maquinaria agrícola, equipos eléctricos, equipos marinos y lingoteras (30%). Aunque estos porcentajes varían de un país a otro.

1.1.2. CLASIFICACION

Dentro de la clasificación que presentamos a continuación será dada debido a sus propiedades mecánicas, es decir su resistencia a la tracción, su punto de fluencia máximo y su mayor elongación.

Las Fundiciones Nodulares, cuya matriz presenta como máximo un 10% de perlita, se denominan fundiciones ferríticas, Esta estructura es la que proporciona la máxima ductilidad, tenacidad y maquinabilidad.

Estas fundiciones, bien en bruto de fundición o tras haber sufrido un normalizado, pueden presentar también una matriz constituida en gran parte por perlita.

Las fundiciones perlíticas presentan mayor resistencia, pero menos ductilidad que los ferríticos.

De datos obtenidos del manual Miller and Company hacemos la siguiente clasificación:
Grado 60- 40- 18

Es de estructura ferrítica reemplaza fácilmente al maleable ferrítico y al acero de

bajo carbono aplicado en válvulas, acoples, e implementos de la industria automotriz.

Se le hace tratamientos técnicos generalmente aunque también se le puede utilizar sin tratamientos.

Tiene

60.000 psi Resistencia a la Tracción

40.000 psi Resistencia a la Fluencia

18% Elongación.

Grado. 65- 45- 12

Es de estructura esencialmente ferrítica reemplaza al hierro maleable y al acero, es tenaz y maquinable.

Se le utiliza para compresores, cuerpo de válvulas, lingoteras, cuerpo de bombas

65.000 psi Resistencia a la Tracción

40.000 psi Resistencia a la Fluencia

12% Elongación

Grado 80- 55- 06

Estructura perlítica, tiene buena maquinabilidad y tenacidad. Soporta grandes esfuerzos, puede ser templado, puede soldarse, se lo utiliza en piñones, levas, cojinetes, pistones, maquinaria agrícola

80.000 psi Resistencia a la Tracción
 55.000 psi Resistencia a la Fluencia
 6% Elongación
 Grado 100- 70-03

Se le aplica generalmente normalizado y revenido, sin embargo con el exceso de elementos aleantes se alcanzan las mismas propiedades sin tratamiento. Su estructura es perlítica buena resistencia, tenacidad y resistencia al desgaste.

Se lo utiliza en la manufactura de piñones cigueñales, levas, pistones.
 Grado 120- 90- 02

Se lo temple en aceite y luego se lo somete a un recocido, se lo puede normalizar y revenir. Generalmente se le hacen aleaciones de Nickel y Molibdeno para lograr mejor templabilidad en secciones gruesas.

Se lo utiliza en rodillos, cigueñales, piñones, tambores de embrague.

A continuación detallamos el siguiente Cuadro

CUADRO # 1

GRADOS COMUNES DE HIERRO DUCTIL

TIPO	RESISTENCIA A TRACCION (psi)	RESISTENCIA A FLUENCIA (psi)	ELONGACION %	DUREZA BRINELL TERMICO	MICROESTRUCTURA TIPICA
* RT- RF%EL					
60-40-18	60.000	40.000	18	131-170	RECOCIDO FERRITICO
65-45-12	65.000	45.000	12	149-229	----- FERRITICO
80-55-6	80.000	55.000	6	179-255	----- FERRITICO
100-70-3	100.000	70.000	3	229-302	NORMALIZ. PERLITICO
120-90-2	120.000	90.000	2	250-350	TEMPLE Y MARTENSITA
					REVENIDO REVENIDA

* RT= RESISTENCIA A LA TRACCION

RF= RESISTENCIA A LA FLUENCIA

% EL= PORCENTAJE DE ELONGACION

PROPIEDADES MECANICAS Y ESTRUCTURAS TIPICAS DE GRADOS
COMUNES DE HIERRO DUCTIL

1.1.3 FABRICACION DE LA FUNDICION NODULAR

La fundición Nodular, material relativamente nuevo ha evolucionado considerablemente desde Julio de 1.946, fecha en que fue patentada por primera vez.

Durante la última década, el hierro nodular se ha constituido como material de uso creciente, el incremento se debe a la versatilidad del producto, que puede obtenerse con diversos tipos de matriz, tales fabricación como perlítica, totalmente ferrítica o austenítica y aún martensítica de sorbita o bainita, si se recurre a tratamientos térmicos posteriores.

La fabricación se la ha clasificado de la siguiente manera:

Métodos industriales de fusión del hierro - para nodulizar.

Métodos de Nodulización.

Control de Calidad.

1.1.3.1 MÉTODOS DE FUSION

Los factores primordiales que deben observarse en la obtención de un metal base apto para nodulizar son:

- a) Composición química del metal base
- b) Bajo contenido de Azufre.
- c) Temperatura suficientemente elevada.

En lo que se refiere a la composición química del metal en la obtención del grafito esferoidal, es conveniente destacar que la mencionada composición debe ser ajustada, no sólo de acuerdo al tipo de matriz que se refiere a su espesor prevaliente.

La composición del metal base tiene importancia en lo que se refiere a la elección del horno de fusión, ya que como sabemos, el tipo de revestimiento y la temperatura máxima obtenible en el mismo, influyen sobre la mencionada composición. Por ejemplo, en el cubilote ácido con viento frío, el contenido elevado de azufre en el metal saliente limita el contenido obtenible de carbono.

En lo que se refiere al contenido de azufre, el porcentaje final de este elemento debe ser del orden de 0,02%. El metal líquido se desulfura, antes de nodulizar para obtener unos 0,07%, terminándose la operación al agregar el Mg, o única

mente con el agregado del mismo, cuando el contenido de azufre en el metal a tratar no sobrepasa 0,1%. En este último caso, no sólo el consumo de Mg. sería mucho mayor e inaplicables las aleaciones nodulizantes a base de Si, más económicas sino que se corre el peligro de que una parte de sulfuro de Mg. pueda quedar como impureza en el metal solidificado.

Sobre la temperatura del metal base, debe destacarse, aparte de su influencia en la formación del grafito esferoidal que el sobre calentamiento que debe tener el metal líquido a tratar, debe ser suficiente como para cubrir la nodulación posterior inoculación antes de colar.

Lo anteriormente dicho nos permite considerar a continuación los diversos tipos de hornos para la obtención del metal base:

Cubilote con revestimiento ácido

Cubilote con revestimiento básico

Hornos de Crisol

Hornos de arco eléctrico directo

Hornos de Inducción

Hornos giratorios de reverbero

Haremos un ligero análisis de sus aspectos generales, aspectos metalúrgicos, inherentes a la calidad del metal a obtener.

CUBILOTE ACIDO

La clasificación o denominación de cubilote ácido se la realiza de acuerdo al material refractorio empleado.

Los refractarios ácidos son los que predominan la sílice [Si O₂] Es bien sabido que, aún con una buena práctica en fusión ácida, siempre hay aumento en azufre y en la mayor parte de las cosas, a un aumento en carbono total.

De una manera general, los hierros altos en carbono [en práctica ácida] son producidos partiendo de mezclas que contienen porcentajes elevados de lingote de primera fusión.

En nuestro medio, en lo que más trabajamos es en el cubilote ácido, sabemos que para mejorar sus características en lo que se refiere a propiedades mecánicas, se requiere un control completo de la carga que ingresa en el horno, por lo cuál necesitamos laboratorio químico, podemos decir q'

Los materiales que se han obtenido tienen al
rededor de 60.000 a 80.000 psi en el ensa__
yo de tracción para los límites de fluen__
cia y elongación no alcanza valores que se
 encuentran en el manual de la Miller y Com
pany.

Todos estos valores y referencia han sido obte__
nidos del trabajo del Ing. Fulvio Espinoza que
 su tesis experimental obtuvo varias clases
 de hierro nodulares en diez prácticas de fu__
sión distintas, con distintas cargas metáli__
cas, seguido de los procesos de desulfuración,
 proceso de modificación de estructura, inocula__
ción, control de colado metalografico y con__
trol de las propiedades mecánicas.

CUBILOTE BASICO

Cubilote con revestimiento de material refrac__
torio básico, en los cuales predominan el óxi__
do de calcio o de Magnesio.

La operación de Cubilotes con revestimientos
 básico tiene como principal objetivo la produc__
ción de hierros relativamente bajos y/o carbo__
no relativamente alto.

El cubilote básico es capaz de reducir el a__

zufre hasta niveles extremadamente bajos. Es evidente que los hierros altos en carbono pueden ser producidos en cubilotes básicos partiendo de mesclas que contengan altos porcentajes de acero, el que tiene la ventaja de proporcionar hierros bajos en fósforos.

También pueden emplearse porcentajes elevados de chatarra sin el peligro de producir hierros con azufre excesivamente alto, eliminando esto en algunos casos la necesidad de desulfuración después que el metal ha sido fundido.

Una de las desventajas de la operación básica es la pérdida de Silicio que se tiene generalmente que es relativamente elevada.

De lo que se ha expuesto las ventajas principales son:

- 1° Costo de fusión relativamente bajos q' pueden ser menor aún que en los hornos eléctricos
- 2° Bajo contenido S y P y contenido de C regulable en el metal saliente.
- 3° Empleo de carga no seleccionada y barata.

4º Temperatura del metal saliente suficientemen
te elevado.

La calidad del metal base que se obtiene permite
pués el empleo de cualquier tipo de nodulizante
y el método tecnológico de nodulación, lo que
constituye una ventaja adicional.

Sin embargo, estas ventajas se consiguen empleando
hornos de gran capacidad productiva solo pue-
de ser absorbida por plantas de gran envergadura

HORNOS DE CRISOL

Para una mediana producción el horno más adecua-
do sería el cubilote básico, de todas manera y
de la información obtenida de la tesis experimen-
tal realizada por el Ing. J.A. Flor tomamos los
siguientes datos:

a) De todas las demás el horno de crisol es el
de menor capacidad por lo que se lo podría consi-
derar a escala de laboratorio.

b) Su bajo costo en relación con los demás equi-
pos de fusión.

c) Lo económico de su operación comparándolo
con otros hornos que también trabajan con combus-

tible.

d) La fácil operación y el reducido personal que se necesita para llevar a cabo el proceso.

En el trabajo del Ing. J. Flor encontramos 5 prácticas experimentales en un horno de crisol "tipo 100" con materias primas tales como: retornos de hierro nodular, acero de carbón, - hierro gris.

Encontramos también amplia información teórica y resultados de la práctica que es de mucho beneficio para nuestro pequeño fundidores que utilizan este tipo de horno.

HORNOS DE ARCO ELECTRICO DIRECTO

Entre estos, se halla casi exclusivo el tipo - HEROULT, revestido tanto ácido como básicamente.

En este último caso, aún partiendo de una carga con alto azufre, el citado elemento puede - obtenerse por debajo de 0,02% reduciéndose de este modo la cantidad de Mn a utilizar en la nodulación.

Sin, duda la calidad del metal base obtenido - es menor que la del cubilote, ya que puede con

trolarse la composición química dentro de límites más estrechos.

Debido al elevado costo de la instalación estos hornos se usan en forma accidental para obtener hierro nodular, es decir cuando ya han sido previamente instalados para la fusión del otro material.

HORNOS DE INDUCCION

En la actualidad, están en uso dos variedades de este tipo de horno, ambas sin núcleo magnético.

Son los de mediana frecuencia y los de frecuencia industrial. Los primeros, son especialmente aptos para las producciones de menos de 1 Tn por carga.

Los segundos, que funcionan a la frecuencia de la red, tienen capacidades variables entre 1 y 8 Tn por carga, pero el modelo más común es el que suministra 3 Tn por colada.

Las ventajas de estos hornos son varias. Entre ellos podemos mencionar: Permiten una fácil recarburación; Posibilitan el uso de virutas en la carga; es fácil la regulación

de la temperatura.

El tamaño de estos hornos limita sus posibilidades en cuanto a la obtención de metal suficiente para colar piezas grandes, lo cual lo pone en desventaja frente a los hornos de arco y otros en los que se ha obtenido metal suficiente para lograr piezas de hasta 60 Tn.

HORNOS DE REVERBERO GIRATORIO

La introducción de la regulación automática de cantidad de combustible y aire de combustión, ha hecho que estos hornos, usados en la obtención de metal base para nodulizar. La temperatura del metal saliente es de 1.500°C .

Por lo general están revestidos en forma ácida, por lo que no es factible la eliminación de S. Esto los pone por la necesidad de usar carga seleccionada.

1.1.3.2 METODOS DE MODIFICACION

El primer nodulizante empleado fue el Ce, - que todavía se utiliza en escala reducida, aunque ya ha sido virtualmente desplazado - por el Mg, de costo mucho más reducido.

El Mg. puede emplearse en forma de metal puro o aleado con otros metales.

El Mg, al ser introducido en la fundición líquida provoca una violenta ebullición de la misma, desprendiéndose gases molestos para el personal que realiza la operación.

El grado de las molestias depende directamente de la concentración de Mg. en el material nodulizante y de la temperatura a la que se lleva a cabo la operación.

En la elección del nodulizante más adecuado - gravitan varias factores entre los cuales podemos citar los más importantes:

a) Características del metal base. Determinados por los contenidos de C, Si, S y por su temperatura.

b) Características de la fundición nodular a producir en lo que respecta a: Composición química final y sus limitaciones; Microestructura resultante de la matriz, después de la solidificación; costo de la nodulación.

El Mg. metálico como nodulizante, tiene aplicación reducida y casi exclusiva en Europa.

El mayor tonelaje de fundición nodular se produce mediante aleaciones de Mg. y en forma reducida, con aleaciones de Cerio.

Cuando se usan nodulizantes costosos, como lo son aleaciones Ni - Mg. se tiende a economizar las previniendo que el Mg. que ellas contienen se destine solamente para terminar la desulfuración.

Esto se logra sometiendo al metal base a una desulfuración previa cuando el S inicial está por encima de unos 0.08%.

Los nodulizantes a base de Ni. se prefieren para fabricar fundición perlítica, ya que este metal estabiliza la perlita, mejorando también la templabilidad.

Cuando se desea matriz perlítica resulta más económico el uso de dichos nodulizantes que la introducción separada de Ni. con lo que se lograría la misma finalidad.

Cuando se desea obtener matriz ferrítica, deben utilizarse nodulizantes sin Ni.

La nodulización puede llevarse a cabo, como ya se ha dicho con Ce. Mg. o con sus respectivas aleaciones, la técnica de uso del primero la o

mitimos debido a su reducido empleo. En cuanto a la aleación del método más adecuado del uso Mg, podemos decir que depende de la forma en que dicho metal se encuentre en el nodulizante.

Los métodos corrientes de uso son:

Colado del metal base en una cuchara en cuyo fondo está colado el nodulizante.

Introducción del Nodulizante mediante una campana de inmersión.

Introducción de Mg. a una cuchara hermética - en la cual se mantiene una elevada presión.

Insuflación de polvo Mg.

Introducción de Mg. líquido a bajo forma de vapor.

1.1.3.3 CONTROL

Todos los materiales de carga adecuadas para la fabricación de fundición nodular se examinan y se clasifican de acuerdo con su composición química y contenido en elemento traza y gases.

Las coladas se analizan espectrográficamente antes del tratamiento y se controlan con análisis térmico.

En cada caso se determina el contenido en gas.

El tratamiento del caldo se supervisa mediante -
cuñas de enfriamiento. La aparición de fractura
y de rechupe superficiales proporcionan al fundi-
cir experimentado la información adecuada en re-
lación con la forma de grafito previsible.

El ensayo del hierro tratado inmediatamente antes
de la colada es sólo una pequeña parte del proce-
so de inspección completo.

La posibilidad de que no se produzca grafito no
esferoidal es de hecho muy pequeño.

Las muestras tomadas de las mazorotas después -
de colada dan la composición química. Además se
toma de cada cuchara tratada una muestra para mé-
croensayos, a fin de determinar la estructura.

Los métodos metalográficos de análisis solamente
cubren una proporción muy pequeña de área super-
ficial. Por ello se determina la formación de -
grafito en todas las áreas sometidas a altas ten

siones.

El uso de ensayo de ultrasonidos se encuentra entre los métodos aceptados para el ensayo por ejemplo ayuda a determinar las grietas mejor que cualquier otro procedimiento.

Rinde también un importante servicio en la localización de fisuras que se determinan por métodos de inspección no destructiva por medio de rayos X.

Aparte del ensayo de ultrasonidos se aplica también el examen de líquidos penetrantes para detectar defectos tales como sopladuras, grietas o rechupes.

Recientemente se ha dado preferencia a la utilización de un acelerador lineal que detecta defectos en medio de las paredes rápidamente y mejor.

1.2. TRATAMIENTOS TERMICOS

El hierro dúctil es como tener una matriz de acero con grafito esferoidal, parte del carbonato se difundirá revisiblemente de la del esferoide de la matriz por un tratamiento térmico controlado. Ferrítico, Ferrítico -Perlítico, Perlítico y a estructuras aciculares y mantensíticas se producen mientras el grafito esferoidal es retenido.

Los tratamientos térmicos deben ser catalogados - como sigue:

- a) Controlado el enfriamiento continuo
- b) Ajustando la temperatura y mantenimiento a una temperatura dada en un tiempo dado.
- c) Templado.

Las aleaciones en el hierro dúctil se comportan - como en el acero.

En el enfriamiento en el molde el hierro dúctil - solidifica con los pequeños esferoides encajados - por austenita.

Como la fundición enfría a la temperatura eutectoide, la matriz es, esencialmente, de composición eutectoide (0,80% Carbon). Si el subsecuente enfriamiento es bajo, como en una fundición de -

sección masiva, la austenita se transforma a ferrita y a la mayor parte de Carbón que fué disuelto, precipita y se difusa a las esferoides previamente precipitadas, engrandeciéndolos.

En una fundición de sección ligera con un rápido enfriamiento, el Carbón difuso es inhibido, así la matriz se transforma a perlita.

Así la estructura en la fundición en bruto es bien determinado por la relación de enfriamiento de la fundición a través de la temperatura crítica más baja donde la transforma de austenita a perlita o a ferrita más el grafito adicional.

1.2.1. EFECTOS DE LOS ELEMENTOS PRIMARIOS

El estudio de las características mecánicas de las fundiciones es más difícil que las de los aceros.

La composición química de una fundición ordinaria no da como en los aceros al carbono normalizado una idea de su resistencia, ya que otros factores como el método de enfriamiento, la temperatura de fusión y de colada, el espesor de las piezas, la acción de inoculantes, el subenfriamiento, etc. tienen también una influencia

muy importante en sus propiedades.

La fundición de hierro aleada es una fundición en que contiene elementos especiales añadidos con su suficiente cantidad para producir una modificación considerable de las propiedades térmicas o mecánicas del hierro.

El silicio, mangneso, azufre y fósforo como normalmente se obtiene este producto en bruto son considerados como elementos primarios, el magnesio Cerio como elementos nodulizantes, el Nickel, Molibdeno, cobre, cromo como elementos aleantes.

CARBÓN

Mientras el rango para el hierro dúctil comercial está entre 3.0 y 40%, el contenido total de carbón usualmente va de 3.6 a 3.8%, el porcentaje más alto para fundiciones de paredes delgadas debajo de 3/8" de sección transversales sobre 1 1/2".

En grados comerciales regulares de hierro dúctil-carbón en forma de esferas ocupa cerca del 9% del volumen.

Un aumento en el contenido de carbón puede promo-

ver una cantidad de nódulos más grandes.

Los contenidos de Carbón altos benefician su fusionabilidad al darle fluidez al metal.

Ocasionalmente cuando se necesita un grano fino en secciones muy pesadas, se desarrollará composiciones hipereuticas siendo empleadas cuando la capa flotante de grafito puede ser sacada por mecanizado o es localizado en areas no críticas.

El carbón ejerce solamente una menor influencia de variación de las propiedades mecánicas del hierro dúctil dentro del rango fijado.

El esfuerzo de tensión final se reduce en cerca de 350 psi, por cada 0,1%.

La dureza Brinell baja cerca de cinco números por cada adición 15% de carbón y la elongación aumenta.

El carbón afecta el módulo de elasticidad en proporción a su volumen en la matriz,

Aumentando el contenido de carbón tiende a mejorar las propiedades de impacto y de absorción de energía.

SILICIO

El rango usual de silicio en el hierro nodular - varía de 1.8% a 2.80%. Algunos tipos de hierros resistentes a la oxidación contienen hasta 6.0%.

Si el contenido de Silicio interactúa con el carbón en el control del carbón equivalente tanto para la fundición gris como el hierro dúctil. Este elemento es un desoxidante y un grafitizador potente. Generalmente aumenta el número de grafito esferoidal y disminuye el tamaño de la celda eutectica en el hierro nodular.

Así en un hierro con un alto contenido de Carbón y con un bajo contenido de Silicio (2.00%) normalmente solidificará con una gran cantidad de carburo primarios presentes en la matriz. El Silicio disocia al carburo de hierro primarios y suprime la formación de la perlita dando preferencia a la formación de grafito y ferrita.

El Silicio, usualmente como 75% calcio unido con ferrosilicio es empleado como inoculante para minimizar o eliminar los carburos primarios en el hierro dúctil.

Un aumento de 1% de Silicio en hierro dúctil fe-

perlítico eleva el esfuerzo de tensión del hierro dúctil en aproximadamente 10,000 psi al esfuerzo en el punto de límite de fluencia en cerca de 16,000 psi, mientras decrece en la elongación en cerca de 3% y BHN 30. Este elemento tiende a bajar la resistencia al impacto en el hierro nodular, especialmente a bajas temperaturas.

En el hierro nodular tipo perlítico, las propiedades de impacto son relativamente baja y la diferencia entre la tenacidad y el rango de transición de fragilidad es relativamente pequeño.

AZUFRE

Generalmente el contenido final de azufre en el hierro nodular es de 0,005% a 0,015% y siempre deberá estar bajo 0,02%.

El azufre en niveles bajo es un segmentador esencial del proceso. El azufre se combina con el magnesio y forma un sulfuro de magnesio estable.

Las materias primas que son empleadas para fundir se dictaminan en economía y calidad de

acuerdo al bajo contenido de azufre. El Sulfuro de magnesio es observado como una escoria al perjudicar la calidad y es una gran evidencia de - un alto contenido de azufre en el hierro base. En el hierro base el contenido de azufre signi - ficativo afecta la cantidad de magnesio residual necesario para promover y mantener la esferoidi - zación del grafito.

Cuando es tratado hierro base de alto contenido de azufre, es exceso de magnesio es necesario pa - ra resistir una reversión a hierro de grafito la minar .

La razón para esto es por la inestabilidad del - sulfuro de magnesio en el hierro fundido. Este se oxida para formar Oxido de Magnesio (MgO) y Si licato de Magnesio ($Mg Si O_3$). La única manera de evitar la reversión si se tiene presente un - elemento que forme un sulfuro estable. Los com - puestos de magnesio en este caso un sulfuro, re - ducirá la cantidad disponible de magnesio para - promover la formación del grafito esferoidal.

Una excelente modulación puede ser llevada a ca - bo con tan poco como 0,018% de magnesio reteni - do . Este alto grado de nodulización se encuen - tra en los hierros producidos de un horno de fun

dición altamente básico donde el hierro nodular sin tratamiento tiene un contenido de Azufre - que varía entre 0,008% a 0.010 %

FOSFORO

El fósforo se suele añadir a veces intencionada mente a la fundición con objeto de favorecer su colabilidad y se emplea cuando se quiere fabricar piezas de forma complicada o de carácter decorativo u ornamental.

Superando el 0,15 % se mejora la colabilidad, como en los aceros, este elemento disminuye las propiedades mecánicas de la fundición por la que es conveniente un contenido inferior al 0,2 % con porcentajes entre 0,02 y 0,15% se obtiene excelentes hierros dúctiles.

En los casos en que las propiedades plásticas de la fundición nodular no son de primordial importancia [piezas que trabajan a fricción], puede admitirse el fósforo hasta 0,35%.

El fósforo fortalece pero también hace frágil a la ferrita del hierro nodular con bruto de fusión. Los valores de la dureza aumentan con un incremento de fósforo particularmente en la

estructura del hierro nodular en bruto de fusión.

MANGANESO

Ayuda al Mg en su acción desulfurante, por lo tanto, se puede disminuir el contenido de manganeso. El manganeso dificulta el recocido, endurece la fundición y baja la resiliencia, por lo que es pre-ferible tener un porcentaje de manganeso residual-bajo.

El contenido usual de manganeso para un hierro nodular ferrítico es de 0,20 % máximo y para un grado perlítico es de 0,50 % a 0,70 % Mn.

En ausencia de azufre, el manganeso funciona como un elemento aleante, estabilizando y refinando la perlita, así como también disminuyendo la ferrita en la estructura de hierro nodular en bruto de fusión. Cuando el contenido de manganeso excede un 70 % se encontrará carburos intercelular.

El manganeso es cerca de cinco veces más potente-formador de perlita que el nickel. Aumentando el contenido de manganeso los resultados son signifi-cativamente más altos para la tensión, el esfuerzo de fluencia en los productos brutos de fusión y -de muy modesto grado cuando han sido recocidos.

1.2.2 EFFECTOS DE LOS ELEMENTOS ALEANTES

1° MAGNESIO

Los niveles de magnesio que producirá completamente grafito esferoidal son 0,02% a 0,06% - dependiendo en base del contenido de azufre de hierro base.

El magnesio es universal empleado para precipitar el grafito como esferas aunque pequeñas cantidades de Cerio, Lantano, Itrio, Calcio Litio, Bario, Torio, Estroncio, Sodio, etc. pueden también intensificar este propósito.

La cantidad de Magnesio que se debe agregar para obtener mejores resultados depende del tipo de carga empleado (materia prima), de la masibilidad de la fundición y de la cantidad de azufre que puede haber en la misma.

Este elemento efectivamente desoxida al hierro-base, por ejemplo un hierro sin tratamiento con un contenido de 0.0135% al ser tratado con magnesio, encontraremos que el contenido de oxígeno bajará a un nivel de 0,003%

Una desoxidación efectiva es una parte principal en la hechura del grafito esferoidal en las fundiciones de hierro. El óxido de Magnesio es -

de color blanco y relativamente estable, tiene bajo grado de solubilidad en el hierro.

Es mucho más ligero que el hierro y flota en la superficie de donde puede ser sacado. Sin embargo si se presenta en cantidades excesivas tiende a la formación de escoria y carbón flotante en la superficie de la fundición.

El magnesio se combina con el azufre y forma un compuesto estable de sulfuro de magnesio. Una libra de magnesio resultante tiene una extremadamente baja solubilidad y flota en la superficie del baño donde pueda ser sacada.

El magnesio es un muy potente estabilizador de carburos. Esta función puede ser también uno de su contribución esencial al proceso.

El carburo puede ser eliminado oportunamente por composición, por inculación y por tratamiento térmico. El efecto estabilizador de carburo de magnesio es reforzado en combinación con el Cerio y el Calcio.

Esferoides excelentes se obtienen con un magnesio residual tan pequeño como 0,018% Mg.

CERIO

El Cerio fué el elemento original usado para traer la formación del grafito en nódulos o esferas en las fundiciones de hierro hipereutécticos. El trabajo original fué hecho por H. Morrone de la British Cast Iron Research.

Una cantidad de 0.035% Cerio en un hipereutéctico fundición de hierro producirá hierro nodular. El Cerio es un fuerte estabilizador de carburo. El hierro tratado con Cerio debe tener un contenido de carbón que exceda de 3,8% y debe tener una inoculación de ferrosilicio. Se encontró también que cuando el Cerio se encuentra en cantidades tan bajas como 0.02% en un hierro que ha sido desulfurizado con magnesio, y contiene de 0.015% a 0.020% Mg. se producirá una fundición de hierro completamente nodular.

Los Sulfuros de Cerio son más estables que los sulfuros de magnesio y la reacción no es reversible en presencia del óxido de hierro.

Una de las ventajas primarias del uso de Cerio en la producción del hierro nodular es el punto de vaporización alto. Por ejemplo el cerio tiene un punto de vaporización de 4.362°F comparado con 2010°F del magnesio.

CALCIO

La solubilidad del Calcio en el hierro es relativamente baja. Los hierros que contienen más de 50% grafito esferoidal siendo producido con adiciones de 0.65% de Calcio metálico a un hierro base con bajo contenido del azufre. Una aleación compuesta de Calcio, Cerio y Silicio producirá una fundición de hierro grafito esferoidal con propiedades iguales a los dado en un proceso con magnesio.

Este material nunca ha sido usado comercialmente aunque la reacción es pequeña y no causa violencia porque la aleación reacciona con el refractario del cucharón y se tienen que tomar precauciones especiales que no son prácticas en la producción.

Excesiva adición de Calcio tiene un efecto estabilizador muy fuerte de carburo cuando se lo usa en combinación con el magnesio.

El calcio modifica la violencia de la reacción ocasionada por el tratamiento cuando se presentan aleaciones ferrosilicio-magnesio. El Calcio reduce el tamaño de los nódulos y aumenta la cantidad de ellos, así aumenta la efectividad de los inoculantes si se añaden en cantidad controlada.

CALCIO

La solubilidad del Calcio en el hierro es relativamente baja. Los hierros que contienen más de 50% grafito esferoidal siendo producido con adiciones de 0.65% de Calcio metálico a un hierro base con bajo contenido del azufre. Una aleación compuesta de Calcio, Cerio y Silicio producirá una fundición de hierro grafito esferoidal con propiedades iguales a los dado en un proceso con magnesio.

Este material nunca ha sido usado comercialmente aunque la reacción es pequeña y no causa violencia porque la aleación reacciona con el refractario del cucharón y se tienen que tomar precauciones especiales que no son prácticas en la producción.

Excesiva adición de Calcio tiene un efecto estabilizador muy fuerte de carburo cuando se lo usa en combinación con el magnesio.

El calcio modifica la violencia de la reacción ocasionada por el tratamiento cuando se presentan aleaciones ferrosilicio-magnesio. El Calcio reduce el tamaño de los nódulos y aumenta la cantidad de ellos, así aumenta la efectividad de los inoculantes si se añaden en cantidad controlada.

BARIO

Bario en cantidades de 2,00% a 2,50% pueden ser añadidos a la aleaciones magnesio - ferrosilicio para promover una alta cantidad de nódulos en el hierro dúctil.

NICKEL

Los contenidos de Nickel en los tipos de hierro dúctil son los siguiente:

- a) Ferrítico lo más bajo posible
- b) Para perlítico o acicular arriba de .4%
- c) Para grados austeníticos de 1.8% a 3.60%

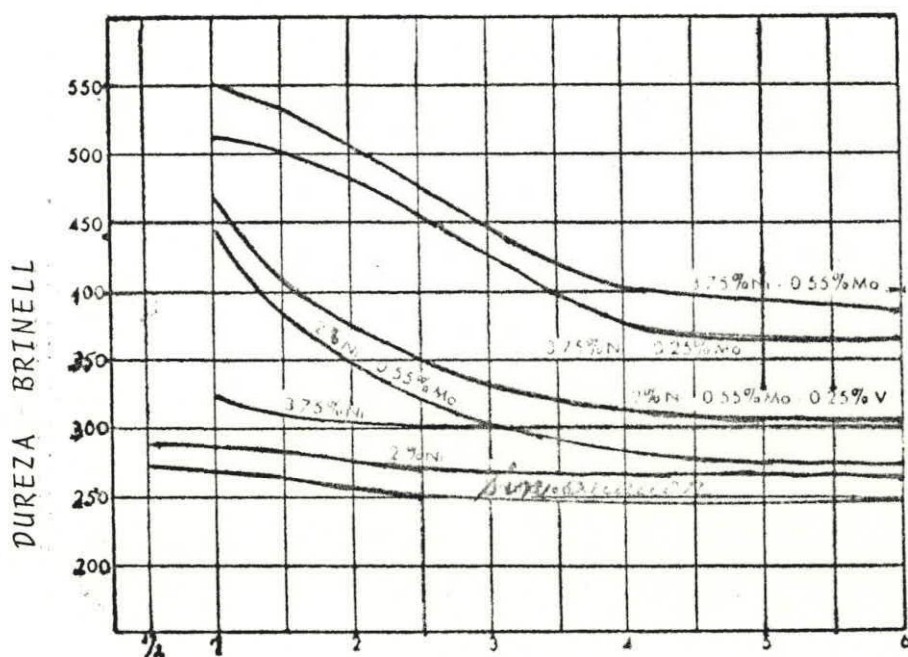
Nickel fortalece la ferrita y sirve para reducir los carburos gruesos, es un grafitizante con cerca de 50% de la efectividad de Silicio.

Nickel es también un formador de perlita y aumenta las resistencias siendo así no es recomendable cuando se quiere tener una estructura ferrítica

Una adición de 1% Nickel aumentará la tensión y el límite de fluencia cerca de 5000psi, puede ser producido con un 3% de elongación. Datos de fundición que contienen varias concentraciones de Nickel se muestran en las tablas,

La perlita ocasionada por Nickel es menos estable a temperatura elevada que la perlita ocasionada por el manganeso, así responde más rápidamente a un recocido ferritizante.

Aleaciones de hierro dúctil damos a continuación en las Fig.



Espe^{so}r de la Sección -- Pulgadas

FIGURA # 1

Efecto de contenido de aleación en la dureza de un hierro dúctil normalizado

MOLIBDENO

.03% max. CONTENIDO

Molibdeno, usualmente presente con Nickel au
menta la dureza, promueve la estructura acicu
lar.

Es comunmente empleado para aumentar el esue
rzo de tensión y dureza en las produccione
s de paredes gruesas.

Molibdeno es generalmente añadido como aleaci
ón ferromolibdeno, preferiblemente después
del tratamiento de magnesio para minimizar -
los carburos.

El molibdeno retarda el recocido y es un for
mador de perlita en las fundiciones de hierr
o dúctil en bruto.

El esfuerzo de tensión es aumentado cerca de
5000 psi por cada 1% de Molibdeno en estructura
ferrítica, mientras disminuye la elongaci
ón a 8%. molibdeno responde bien a los trata
mientos térmicos.

COBRE

El contenido de Cobre en el hierro dúctil es como sigue:

- a) En bruto de fundición de hierro dúctil fe
rrítico máximo 0,30% Cu o menos.
- b) De 0,30% a 0,50% Cu en el hierro dúctil per
lítico.
- c) Como un reemplazo práctico del Nickel en el
hierro dúctil asicular o austenítico.

El cobre sisminuye la ferrita, es cerca de dos veces más potente estabilizador que el mangane
so. El cobre no retarda el recocido, particu
larmente a un bajo contenido de Silicio. El
cobre baja la resistencia al impacto y aumen
ta la temperatura de transición.

El Cobre sobre 2% es soluble en hierro y pre
cipita en los límites de grano, sin embargo no
parece contribuir en los carburos primarios.

El cobre aumenta en la fundición en bruto la
resistencia a la tracción y la dureza en cer
ca 1.000 psi por cada .10% de adición,

CROMO

Los niveles aproximados de Cromo para los dife
renciales

rentes grados de hierro dúctil son los siguientes:

- a) En el hierro dúctil ferrítico como fusión bruto el nivel debe ser lo más bajo posible puede ser tolerado hasta 0,04% Max.
- b) En un hierro dúctil completamente perlítico un 0,10% puede ser tolerado.
- c) Para ciertos propósitos como resistencia al desgaste y a la abrasión puede ser añadido 0,3% Cromo.
- d) En el hierro dúctil austenítico el contenido de Cromo es específico por grado.

El Cromo es muy potente formador de carburo y estabilizador de la perlita y es particularmente diametral a la estructura ferrítica del bruto de fusión.

En otra forma el Cromo es ocasionalmente añadido para la resistencia al desgaste y para la dureza en las fundiciones de paredes gruesas.

El Cromo retarda un recocido ferritizante. El tiempo ferritizante es aumentado para descomponer la perlita.

Con un contenido de Cromo sobre el 0,10% el

hierro dúctil no puede ser Recocido.

El Cromo es introducido a la fusión en los componentes de carga principalmente de las chatarras de acero.

Cromo aumenta la resistencia a la corrosión y a la oxidación en el hierro dúctil austenítico.

El Silicio es empleado con el Cromo para aumentar a reducir los esfuerzos.

Existen elementos que sin ser aleantes se presentan en forma gaseosa y son:

OXIGENO

Oxígeno se lo reduce a niveles bajos por un muy potente desoxidante, capacidad ejercida por el Magnesio. Una efectiva desoxidación en la fundición es aparentemente esencial al proceso y obviamente el consumo de algo del magnesio disponible.

Sin embargo hay especulación de que pequeñas cantidades de óxido ayuda a la esferoidización del grafito y a una inoculación efectiva.

El hierro base sin tratamiento que tiene con

tenido de oxígeno nos reflejará en algo la ejecución del proceso de fundido.

El contenido de oxígeno del hierro base fundido en un horno cubilote básico es aproximadamente 0,0135% de oxígeno.

Cuando se trata aleaciones suficientes para esferoidizar el grafito, el contenido en el hierro nodular de cubilote básico se reduce a 0,0015% y a 0,0033% en el cubilote ácido.

También nosotros hemos declarado el nivel de oxígeno en un hierro dúctil base fundido en un cubilote con una carga de hierro chanco a 0,006% cuando se duplicó a travez de un horno de arco directo con tratamiento de magnesio, el nivel del oxígeno se redujo a 0.004%.

Enfriada la fundición cargada con hierro chanco en el mismo horno electrico produce un hierro tratado con 0.0033% contenido de oxígeno.

El productor de hierro nodular debe mantener control del oxígeno ocasionado de las fuentes como Stock de materiales a fundir, combustible, practica de fusión, interperie y manipulación del metal.

HIDROGENO

El hidrógeno se presenta así siempre como impureza gaseosa en las fundiciones y da lugar a porosidades en las piezas cuando el porcentaje es importante,

El hidrógeno suele provenir de la humedad de los moldes del vapor en agua contenido en el aire soplado, de la humedad del coque,

La solubilidad del hidrógeno en la fundición aumenta con el porcentaje de Silicio. El hidrógeno es conocido por ser muy potente estabilizador de carburo, así debe ser contratado a muy bajos niveles en las fundiciones de hierro nodular

La determinación de la influencia de este elemento gaseosa es muy compleja. Hidrógeno da fragilidad al acero temporalmente solamente hasta que este se difunde en el sólido. Este fenómeno puede ser aplicado en el hierro dúctil,

El hidrógeno se lo conoce como formador de rechupes y porosidad, ocasionada por la marcada reducción en la solubilidad en el metal frío. Esta propensibilidad para los rechupes es agrava da por la presencia del aluminio y más tarde in

tensificada por el magnesio y pequeños porcen-
tajes de Titanio presentes en el hierro dúc-
til comercial.

NITROGENO

Gas Nitrogeno molecular seco se emplea por in-
yección y tecnica para sacar gases y no es -
perjudicial en este estado, el gas nitrogeno-
seco es frecuentemente empleado para neutra-
lizar el hidrógeno por medio de la técnica de
inyección lanzada por el proceso de desgasi-
ficación a chorro recientemente descubierto por
la English for degassing Steel.

Algún nitrogeno atómico o disoceado es sinem-
bargo disuelto en todas las fundiciones.

Este nitrogeno disuelto tiene un efecto de -
estabilizador de la perlita en la fusión del
hierro dúctil.

Concentraciones en el rango de 0,010% a 0,020%
muestra tendencia a estabilizar perlita.

INFLUENCIA QUE EJERCEN ALGUNOS ELEMENTOS EN EL HIERRO DUCTIL

ELEMENTO	Límite para Grado Ferrítico	Límite para Grado Perlítico	Función	OBSERVACIONES
ELEMENTOS MODIFICADORES				
Mg	Cantidad suficiente para formar grafito esférico	para 60%	Esferoidizante (Nodulizante)	Un exceso podría promover Carburos
Ce	Suficiente con 0.03% máximo		Promueve la formación de nódulos en combinación con Mg.	Un exceso podría promover Carburos
Ca	Insoluble en Hierro		Puede actuar como Inoculante	Un exceso podría promover Carburos.
Ba.....			Nodulizante Inoculante	Incrementa la Cantidad de Nódulos.

CONTINUACION DEL CUADRO # 2

ELEMENTOS PRIMARIOS

C	3.0-4.0%	3.0-4.0%	Constituye la microestructura nodular.	Un exceso causa el fenómeno de flotación
Si	1.8-3.0%	1.8-2.76%	Grafitizante, ferritizante	"Borra" la perlita en la Fundición
P	0.035% Máx	.05% máx	Hace frágil la estructura	Estabilizador de la perlita
S	0.015% máx	.015% máx	Con el Mg. forma Sulfuros	Es esencial remover el azufre
Mn.	0.20% máx	.70% máx	Formador de perlitas	Un exceso podría promover carburos

ELEMENTO DE ALEACION

Ni	De acuerdo a especificaciones	Promueve resistencia y dureza	Puede promover perlita
Mo	0.03% máx.	Incrementa la dureza	Puede promover carburos
Cu	0.03% máx	Incrementa resistencia y dureza	Estabilizador de perlita.

FORMADORES DE CARBUROS Y PERLITA

Cr	.04% máx.	.10% máx.	Es un potente formador de C, Cr	Retarda y recocido
B	.002% máx	.00% máx.	Forma un carburo de Boro muy estable	El carburo retarda el recocido
Sn	.01% máx	.05% máx.	Es un potente formador de perlita	No forma Carburos
As	.02% máx	.05% máx.	Formador de Perlita	Produce Fragilidad
V	.04% máx	.05% máx.	Forma Carburos estables	Retarda el recocido

ELEMENTOS GASEOSOS

O	.003% máx	.003% máx	Se combina con el magne_sio	Reduce el poder nodulizante del Magnesio
H	.0003% máx	.009% máx	Es un formador de Carburos muy potente	Da lugar a la formación de poros en la Fundición
N	.009% máx	.009% máx	Formador de Perlita	Tiene Solubilidad limitada.

1.2.3 TEMPLABILIDAD

La habilidad de un acero o hierro nodular para obtener un valor dado de dureza máxima es enteramente función del contenido de Carbono.

Sin embargo esta habilidad de obtener una alta dureza es meramente potencial, y para hacerlo realidad el acero tiene que ser calentado y enfriado de tal manera que se forme 100% de martensita por lo tanto el carbono regula el potencial para el endurecimiento y las temperaturas de transformación y velocidad de enfriamiento, hacen de la dureza una realidad.

Por lo tanto, la máxima dureza obtenible es función del contenido de carbono y puede ser lograda únicamente con una estructura martensítica completa.

Del trabajo de varios investigadores se ha establecido definitivamente que la templabilidad es una función del contenido de aleación de la fundición, siendo constante las condiciones de temple.

El efecto específico del contenido de aleantes sobre la templabilidad de la fundición

ha sido estudiada por muchos investigadores, como resultado de esos estudios, la habilidad de varios aleantes para incrementar la templabilidad puede ser expresada en valores numéricos, dándonos los medios para comparar directamente sus efectos relativos,

Provablemente el método para evaluar el efecto de los elementos químicos sobre la templabilidad es el uso del concepto del diámetro crítico ideal, que es el tamaño de la barra que se tornará 50% martensítica en su centro, al ser templada a una velocidad infinitamente rápida.

Primero, mientras el contenido de carbono de la fundición aumenta, la habilidad de la fundición para endurecerse en profundidad también aumenta es decir la templabilidad aumenta.

El tamaño de grano de la fundición tiene un efecto mediable sobre la templabilidad y para un contenido de carbono dado se asegura más templabilidad con un tamaño de grano grueso que con uno fino.

El tercer detalle notable es que el contenido de carbono y el tamaño de grano no tiene el

mismo efecto para aumentar la templabilidad como lo tienen muchos elementos aleantes co
munes.

Indudablemente , el método más ampliamente u
sado para evaluar la templabilidad es el en
sayo de Jominy.

[1] Este ensayo ha sido normalizado por la ASTM, SAE y AISI. para realizarlo se calient
a una probeta cilíndrica de 25 mm de diámet
ro y 100 mm de longitud aproximadamente [1 y 4 pulgadas respectivamente] a la temperat
ura de austenización adecuada.

Una vez caliente se saca del horno y se coloca en un depósito apropiado, enfriandola mediant
e un chorro de agua que indique sobre su base inferior.

El diámetro del orificio, su distancia a la bas
e inferior de la probeta y la temperatura y velocidad del agua son datos normalizados con el objeto de que el enfriamiento de todas las probetas templadas en este dispositivo sea la misma.

La probeta se mantiene bajo la acción del chou

rro de agua durante diez minutos, transcu-
rridos los cuales se retira de su alojamiento
y se rectifican, luego se mide la dureza uti-
lizando la escala Rockwell (en puntos de es-
tá superficie.

Los valores obtenidos se llevan a un gráfico
expresado en ordenadas durezas y en abscisas -
distancias a la base templada, dibujandose -
la curva de templabilidad correspondiente.

El ensayo de Jominy tiene el objeto determi-
nar la capacidad de temple de un acero o
fundición a diversas velocidades de enfria-
miento y por lo tanto de ellos se deduce la
penetración de temple en el interior de una
pieza.

Dada su mayor difusión y comodidad de lectu-
ra recomendable utiliza para medición de
dureza la escala Rockwell.

Es preciso asegurarse que durante el recti-
ficado no hubo revenido de la zona templada
y por ello se atacará la superficie recti-
ficadora, después de lavada con agua calien-
te, con una solución al 5% de HN O3 hasta el
ennegrecimiento y después de volver a lavar
con agua caliente se introducirá en una solu-

ción al 50% de Hcl durante tres segundos, después se vuelve a lavar con agua caliente y se seca con aire caliente; Si quedan muchas manchas de distintas tonalidades es que hubo revenido y es preciso volver a rectificar y atacar.

Se promediarán los resultados obtenidos en los dos planos y se llevarán al gráfico.

Los detalles relativos a la ejecución del ensayo se pueden encontrar en las normas ASTM bajo la designación A 255- 48 T End Quench test. for Hardenability of Steel [1].

A cada punto de la probeta Jominy templada como hemos dicho le corresponde una cierta velocidad de enfriamiento y como hemos supuesto que la conductividad térmica de todos los hierros nodulares es la misma, esta velocidad será siempre la misma en los distintos puntos de la probeta, cualquiera que sea la composición del hierro nodular.

Por consiguiente, todas las probetas están sometidas a una serie de velocidades de enfriamiento que varían de modo continuo desde valores muy elevados en el extremo -

templado a valores muy pequeños en el extremo enfriado al aire.

Aunque la templabilidad se expresa normalmente en función de las variaciones de la dureza lo que realmente influye en las propiedades del hierro nodular son las variaciones que experimenta la microestructura, las cuales vienen reflejadas por los valores que alcanza la dureza.

Con los datos recogidos en cientos de colada de todos los tipos de acero, la AISI ha establecido curvas máximas y mínimas de templabilidad, los cuales se conocen como bandas de templabilidad.

La figura muestra una banda de templabilidad.

La letra H señala que el acero se ha fabricado para cumplir una cierta condición de templabilidad, teniendo una importancia secundaria la composición química, el tamaño de grano etc.

Para seleccionar el hierro nodular que reúna unas condiciones mínimas de dureza en un punto determinado de una pieza templada en unas condiciones dadas, hay que conocer la velocidad de enfriamiento de dicho punto

Y determinar en la probeta de Jominy la si-
tuación del punto que tenga la misma veloci-
dad de enfriamiento.

Límt. de dureza correspondiente a la especificación		
Distanc. «J» 4140H		
J/16"	Max	Min
1	60	53
2	60	53
3	60	52
4	59	51
5	59	51
6	58	50
7	58	48
8	57	47
9	57	44
10	56	42
11	56	40
12	55	39
13	55	38
14	54	37
15	54	36
16	53	35
18	52	34
20	51	33
22	49	33
24	48	32
26	47	32
28	46	31
30	45	31
32	44	30

Temperaturas de tratamiento térmico especificadas por la AISI
* Normalizado a 815°C
Autotemperado a 815°C
* Para probetas laminadas o forjadas autotemperadas

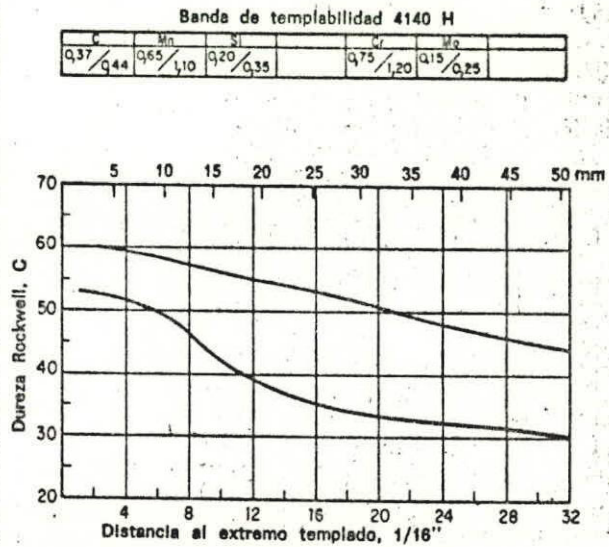
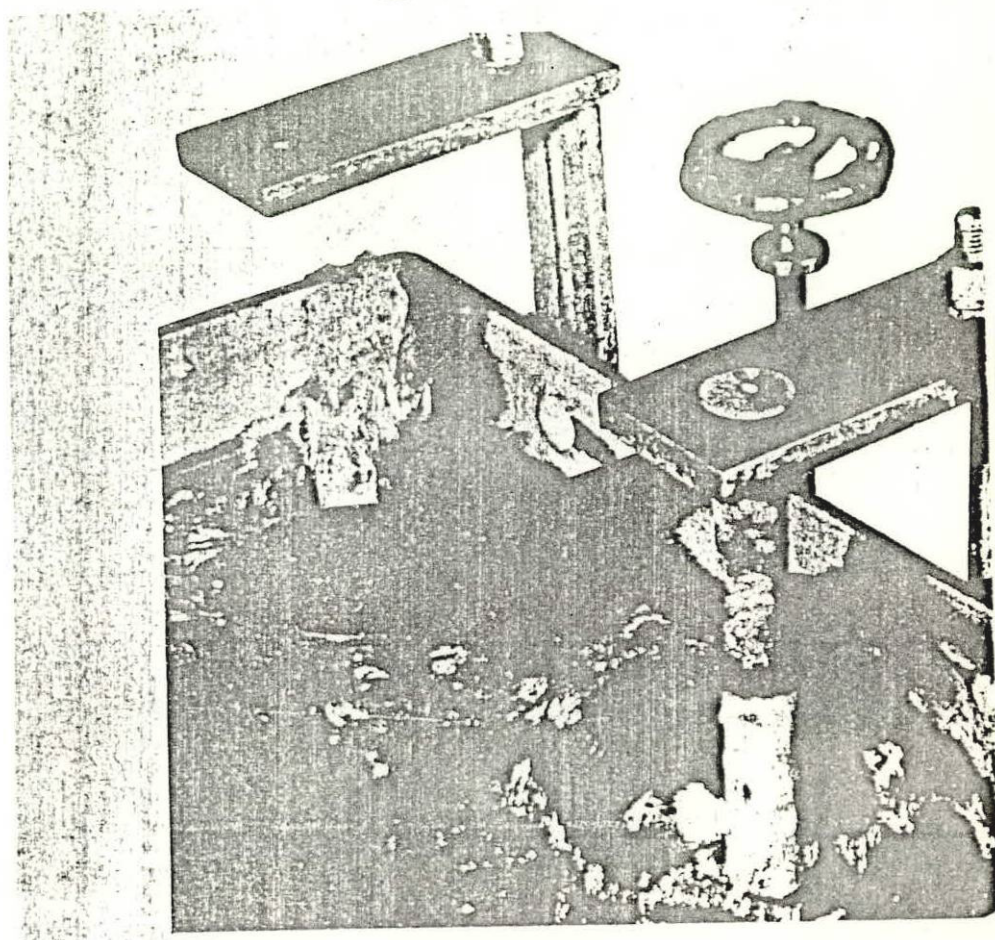


FIGURA # 2

Banda de Templabilidad y valores obtenidos
en el ensayo Jominy de un acero 4140H.



REALIZACION DEL ENSAYO JOMINY

FOTO # 1

1.2.4 TRATAMIENTOS TERMICOS ESPECIFICOS

ALIVIO DE TENSIONES

Se efectúa un alivio de tensiones para evitar fracturas cuando una pieza este en servicio, debido a los esfuerzos interior que se producen al fundir el hierro nodular.

Para un hierro dúctil se recomienda de 560°C a 600°C por lo general o de 620°C a 680°C una hora por cada pulgada de sección para una fundición nodular aleada.

Mantenga por una hora por cada pulgada de sección transversal más una hora. Enfrie a una relación uniforme, preferiblemente en el horno cerca de 370°C .

Para un alivio de tensiones a la temperatura entre 560°C y 600°C , las propiedades serán solamente afectadas levemente a temperaturas altas la dureza disminuirá algo (por 50 a 70 BHN) y ocurrirá una pérdida del esfuerzo de tensión.

Los hierros dúctiles resistentes con Ni deberán ser sometidos a un alivio de tensión de 620°C a 680°C después del maquinado a 480°C

El 60% de las tensiones de las fundiciones son sacados sin que las propiedades sean afec
tadas.

RECOCIDO

Un recocido completo o suavizado produce un máximo de ductilidad y es un tratamiento que se somete a 2 temperaturas. En el primer pa
so la fundición es calentada sobre la tempera
tura crítica o de transformación a 900°C , pa
ra disolver todos los carburos primarios en la austenita.

Mantenga una hora por pulgada de sección más una hora. Recuerde que el manganeso, cromo, nickel, molibdeno o otros elementos estabili
zadores de carburos residual retardan la tran
formación y el alto contenido de silicio pue
de incrementar la temperatura crítica.

Homogenizando sobre 900°C puede aumentar la distorción, sin embargo los carburos se descom
pondran rápidamente a 950°C .

El segundo paso puede ser completado de cualquier
a de los dos métodos.

1] Enfríe el horno a 700°C mantenga cinco ho
ras más una hora por cada pulgada de sección

transversal. Enfrie uniformemente a temperatura ambiente.

2) Enfrie en horno de 650°C con una relación controlada máxima de 20°C por hora entre 850°C a 650°C . Enfrie iniformente a temperatura ambiente.

Algunos hierros dúctiles de grados resistentes con Nickel tienen a menudo excesivas cantidades de Carburos presentes. Se hace recocido de estos hierros de 950°C a 1000°C durante cinco horas,

NORMALIZADO

En este tratamiento térmico, temperaturas entre 900°C - 950°C son usadas para austenizar y disolver carburos, suba la temperatura y mantengala por 2 horas por pulgadas de sección transversal. Enfrie al aire produce grado de 100- 70- 03 hierro dúctil de estructura perlítica.

En algunos casos, particularmente cuando la sección transversal es gruesa puede ser necesario enfriar las fundiciones con ventilación para encontrar una dureza deseada.

NORMALIZADO POR ETAPAS

La parte inicial de un tratamiento térmico normalizado por etapas es igual que el normalizado. Sin embargo las fundiciones son puestas en el horno entre 780°C y 700°C y mantenidos por 3 horas, luego enfriados al aire con una suave ráfaga de aire.

Generalmente este tipo de tratamiento es usado para producir el grado 80-55-06 de hierro dúctil en que están presente perlita y ferrita.

Donde se necesita una tenacidad y resistencia al impacto óptimo junto con una tensión relativamente alta el normalizado es seguido por un revenido.

Este consiste de un recalentamiento de las fundiciones a temperaturas entre 420°C y 650°C y mantener estas temperaturas por dos horas por cada pulgada de sección transversal.

TEMPLE Y REVENIDO

Con el temple en agua o aceite, se desarrolla a menudo una fuerte, dura estructura acicular o estructura perlítica siendo luego revenida.

Una variedad de tratamientos de Temple y Revenido pueden ser usados para conseguir niveles altos de esfuerzos y dureza.

Por razones practicas tomamos pequeños y medianos de fundición son más adaptables a tratamientos de temple.

Como en el normalizado el primer paso es resolver el Carbono en la matriz del hierro y guardar la mayor parte de este allí.

Porque el temple de agua o aceite es más severo que el temple al aire, aún en hierros de aleación baja pueden ser templado a niveles alto de dureza y esfuerzos.

Las fundiciones pueden ser usualmente templada y revenida en un angosto de dureza que la que es posible normalizado y revenido.

Los niveles de dureza por el temple son determinados por la temperatura de austenización y el tiempo, el contenido de aleación del hierro (su templabilidad), severidad de temple, masa de la pieza que va a ser templada.

A 900°C de 2 a 3 horas si el hierro dúctil es

tara cerca de ser saturado con Carbono y será su óptima condición para la más alta dureza - por temple, sin embargo temperaturas más bajas - (830°C - 860°C) se usan a menudo para minimizar tendencias de distorsión o fisuras. Usando temperatura de austenización más baja se obtendrán niveles de durezas más bajas que las óptimas.

El Nickel y el Molibdeno tienen efectos muy potentes en la templabilidad del hierro dúctil, el manganeso tiene un efecto considerable, el silicio relativamente pequeño, el contenido total de carbono tiene un efecto que se lo puede pasar por alto.

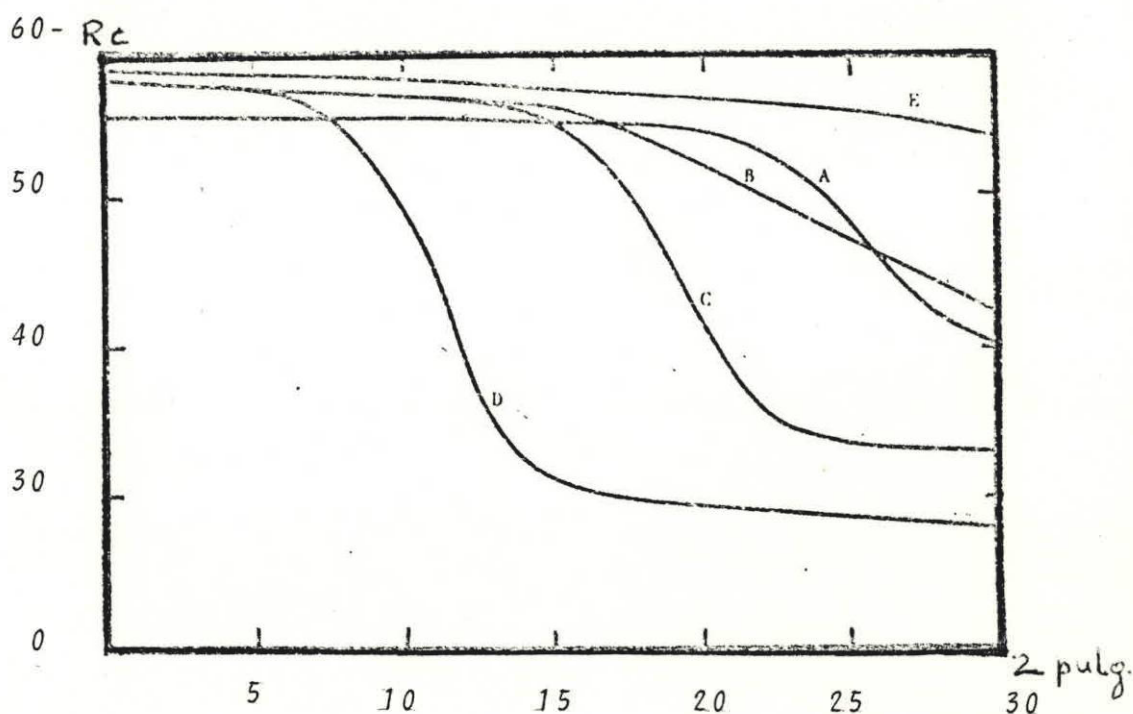
Mostramos en la fig. 3 curvas de templabilidad de Jominy para algunos hierros dúctiles.

ANALISIS QUIMICO DE LAS PROBETAS

Nuestras	%C	%Si	%Mn	%Ni	%Mo
A	3.27	2.35	0.45	2.56	-
B	3.27	2.38	-	1.02	0.50
C	3.27	2.35	0.03	2.45	-
D	3.58	2.26	0.03	0.99	-
E	3.45	2.56	0.28	3.92	0.57

Para evitar las fisuras por esfuerzos de temple las fundiciones deberan ser Recocidos después del temple.

Niveles de dureza aproximadamente en hierros dúctiles templados en aceite u luego revenidos se muestran en la figura # 3.



DUREZA ROCKWELL C

Distancia al extremo Templado

FIGURA # 3

Curvas de Templabilidad de Hierros Dúctiles

AUSTEMPERING

Algunas veces partes generalmente bajas de 1/2" de espesor, son templados isotermicamente a temperaturas en el rango de 250°C - 540°C con una alta tenacidad y una dureza intermedia y niveles de esfuerzos deseados.

Este tipo de ciclo se llama Austempering y produce una estructura acicular y niveles de dureza de 20 a 40 Rc (229 a 375 BHN).

Los cambios por distorsión y fractura son limitados no solamente porque la pieza está a una temperatura constante cuando se transforma de una estructura de austenítica o acicular [que trae un cambio de volumen] también porque es menos la contracción total durante el enfriamiento desde la temperatura alta de temple.

ENDURECIMIENTO SUPERFICIAL

El hierro dúctil puede ser rapidamente endurecido superficialmente por inducción o por flameado para valores de dureza sobre 60 Rc.

La fundición resultante con una buena resistencia al desgaste en la superficie y al mismo tiempo en el interior retiene buena ductilidad y resistencia al impacto.

1.3 ACERO MOLDEADO

Todo el acero que se fabrica en la actualidad se obtiene, en la última fase de fabricación, en estado líquido. Antiguamente el hierro se obtenían en estado pastoso y el acero se fabricaba por cementación de barras de hierro.

A partir del año 1740, en que descubrió la fabricación del acero al Crisal, los aceros de herramientas se fabricaban fundidos. Todos los demás aceros se fabricaban en estado líquido y se cuegan. En forma de lingotes desde el descubrimiento de Bessemer en el año de 1856.

El acero fundido no pasa directamente del horno a las lingoteras, sino que junto con una parte de la escoria va primero a la cuchara de colada. En ella, el acero suele permanecer unos minutos, que son suficientes para que la escoria que sale del horno mezclada con el acero pueda separarse por su menor densidad y flote sobre el baño metálico.

De esta forma al cabo de un cierto tiempo, se puede colar el acero por el fondo de la cuchara sin peligro de que se entremezclen

ambos.

El tiempo de espera con el acero en la cuchara es también necesario cuando el acero está demasiado caliente e interesa que desienda la temperatura para tener la más conveniente en el momento de calor el acero a las lingoteras

El acero que está en la cuchara se emplea para uno de los tres procesos siguientes

- 1º Fabricación de lingotes
- 2º Colada Continua
- 3º Fundición de piezas de acero moldeado

La mayor parte del acero se transforma en lingotes, al ser colado en unos moldes de fundición de sección cuadrada, rectangular, exagonal u octogonal, que se llaman lingoteras y q' tienen forma apropiada para obtener acero de buena calidad y facilitar su posterior forja o laminación.

Para colada continua y acero moldeado se dedican cantidades de acero mucho menores que para la fabricación de lingotes de acero, aunque en los últimos años la colada continua ha adquirido una importancia verdaderamente extraordinaria.

CUCHARA DE COLADA

La cuchara de colada es un gran recipiente metálico construido con chapa de acero dulce de 15 a 50 m.m de espesor, revestido interiormente - de ladrillos refractarios silico- aluminosos. Su capacidad debe ser algo mayor que la del - horno, ya que además del acero contiene también escoria.

El tamaño y forma de las cucharas y su manipulación influyen en la calidad del acero. Los ladrillos silico- aluminosos que constituye el revestimiento deben ser de elevado contenido - en aluminio y de la mejor calidad posible para que pueda resistir la acción y el ataque de las escorias sin que experimenten un gran desgaste.

El tamaño y forma de la cuchara tienen también influencia en los resultados que se obtienen en las acerías. La relación entre - la altura y el diámetro de la cuchara es muy importante, procurandose que la altura sea ligeramente superior al diámetro.

La apertura del orificio de colado de la cuchara se hace a voluntad, actuando un operario

sobre una palanca y el movimiento se trasmite a un vástago con un tapón en la punta, cubierto todo de material refractario.

Es necesario que el chorro de acero pueda cortar se rápidamente y a voluntad en el momento que se desee para impedir que escapen chorros de acero cuando pasa la cuchara de una lingotera a otra. También debe evitarse que haya salpicaduras en las partes internas de las lingoteras pues pueden aparecer defectos superficiales en los lingotes.

Todas las cucharas y lingoteras, antes de la colada deben ser calentadas a temperatura variable de 100°C - 600°C por medio de carbón; gas o electricidad. Así se elimina la humedad de los refractarios, que siempre es muy perjudicial, principalmente por la acción del hidrógeno que luego aparece como elemento residual en el acero.

FABRICACION DE LINGOTES

Los procedimientos de colada más utilizados en la actualidad para el llenado de los lingotes son:

Colada directa por la parte superior de los

lingotes, que generalmente recibe el nombre de colada a fondo.

Colada directa con sifón, utilizando un conducto central llamado bebedero que sirve para llenar por la parte inferior varias lingoteras a la vez.

Colada por medio de un recipiente o artesa intermedia, que sirve para llevar uno o varios lingotes a la vez, regulándose de esta forma la velocidad de colada del acero a las lingoteras.

El peso de los lingotes de acero suele oscilar entre 25 Kg y 100 t, llegandose en caso muy especiales hasta 300 t, siendo los lingotes de 250, 500, 1000, 2000 y 5000 Kg los más corrientes. Sus dimensiones varían desde la cuadrada de 75 m.m de lado hasta la octogonal de 1 metro.

La sección cuadrada es la más utilizada. para fabricar chapa y flejes se usan lingotes de sección rectangular. Los ángulos de las lingoteras son siempre redondeados para evitar la formación de grietas y a la altura de los lingotes suelen ser entre tres o cuatro veces superior al lado de su se

cción transversal. El desmoldeo de los lingotes puede comenzar en cuanto se solidifica la zona periférica, suele realizarse cuando la temperatura de las paredes es de unos 750 a 1000°C aproximadamente. No conviene que se enfrien demasiado, para evitar posibles agarres del acero en los lingoteras.

Los lingotes de acero, de acuerdo con su forma y por el modo que se realiza la solidificación, y además también por la sección de los lingotes, - por el empleo en ocasiones de diferentes clases de mazarotas y por la distribución de las porosidades, sopeaduras y rechupes, se pueden clasificar en los dos grupos principales siguientes: Acero Calmados. Tienen mazarota en su parte superior, Aceros efervescentes sin mazarota.

También se fabrican, en ocasiones, otros dos tipos de lingotes que sin embargo, tienen muchísima importancia que las dos citadas anteriormente.

Son Aceros calmados los que al solidificarse - en las lingoteras no desprenden gases ni chispas debido a que tienen mazarota en la parte superior, allí se produce la segregación de la mayor parte de las impurezas y se forma el rechupe.

Esa parte del lingote (mazarota) es de baja ca
lidad y luego se corta y se envía a la chatarra

La masa del lingote de acero queda sin sopladura
s y con menos segregación de fósforo y azufre
que la mazarota. Todos los aceros de alta ca
lidad se fabrican calmados, los aceros aleados
y todos los aceros de herramientas.

Al final del proceso de fabricación son desoxida
dos completamente con adiciones de ferromangane
so, ferrosilicio y frecuentemente también con
un poco de aluminio, que se añade al baño metáli
co en el horno o en la cuchara.

Son aceros efervescentes los que no se les adicio
na silicio como desoxidante durante su solidifi
cación en las lingoteras, se produce una -
fuerte efervescencia y un gran desprendimiento
de chispas y gases.

Se fabrican realizando una desoxidación incomple
ta y controlada por medio de la adición de
ferromanganeso. A estos aceros se les suele aña
dir, en ocasiones una pequeña cantidad de alumi
nio a la cuchara o a las lingoteras para regula
lar más exáctamente su grado de desoxidación.

En su interior tienen sopladuras importantes, -

que suelen contener C O, dispuestos adecuadamente para que luego, en la laminación, se obtenga un producto sin defectos, siempre se cuida de que las sopladuras estén más de 10 mm. de la superficie, para que el oxígeno atmosférico no penetre en ellas a través de pequeñas fisuras que se puedan producir.

En este caso, se oxidarían sus superficies y luego al estar oxidadas sus caras internas, no llegarían nunca a soldar, apareciendo finalmente en las barras defectos o grietas superficiales.

Todas las porosidades, cuya caras internas no están oxidadas, desaparecen luego en la laminación, ya que sus caras sueldan perfectamente por tratarse de aceros de menos de 0.15% de carbono que tiene gran soldabilidad.

Después de la laminación de los lingotes de acero efervescientes no hay necesidad de cortarles la parte superior como a los lingotes calmados, a los que siempre se les elimina la mazarota.

COLADA CONTINUA

La colada continúa es un nuevo método de trabajo que comenzó a desarrollarse hacia el año 1950.

En este nuevo proceso, partiendo del acero fundido, se obtienen directamente palanquillas o productos planos en lugar de obtenerse lingotes de acero como en el procedimiento tradicional y clásico.

En la colada continua, se vierte el acero fundido desde la cuchara de colada a una artesa intermedia y de esta pasa el acero líquido de una manera continua e interrumpida a unos moldes de cobre sin fondo refrigerados con agua, cuyo hueco central tiene el mismo perfil que se desea obtener. Estos moldes están sometidos a un rápido movimiento vertical de oscilación que facilita el desplazamiento del acero solidificado.

Como los moldes de cobre son abiertos por la parte inferior, al iniciarse la colada es necesario colocar un tope o cabeza móvil (sujeto por abajo con una larga barra vertical llamada falsa barra), que sirve para cerrar la salida del molde y evitar el escape del acero fundido que se cuela en la lingotera.

El acero se solidifica al caer sobre el tope colocado en el interior del molde y el tope se pone en movimiento luego en el momento oportuno para que la acumulación y altura del acero fun-

dido en la lingotera sean los adecuados.

La solidificación de la palanquilla de acero en el molde metálico refrigerado con agua comienza por el exterior y no es completa en la zona interna hasta el cabo de un cierto tiempo. Cuando la barra sale del molde, contiene metal fundido en el interior y entonces está constituida por una costra o piel exterior, ya solidificada, y por una zona central donde el acero se encuentra todavía en estado líquido.

La solidificación de la parte central o corazón de la barra se completa fuera del molde por la acción de gran cantidad de agua pulverizada a presión. Esta fase de la operación recibe el nombre de refrigeración secundaria.

La barra no se pone en contacto con el mecanismo de arrastre constituido por los rodillos conductores hasta que la solidificación en el interior es completa. En las coladas continuas curvas, los rodillos enderezados son a la vez rodillos de arrastre.

Las principales ventajas de la colada continua son las siguientes:

No es necesario el empleo de grandes tubos de

laminación blooming de mayor precio que la cola
da contínua.

No se necesita fabricar lingotes como producto -
intermedio en el proceso de fabricación de barras.

Se elimina dos fases muy clásicas y costosas en
la fabricación a) la obtención de lingote, b) la
laminación de los lingotes para obtener palanqui_
llas que son sustituidos por " palanquilla de co_
lado contínua".

Se reduce la pérdida de material por despunte -
de los lingotes, se aumenta el rendimiento del ma_
terial obtenido en la operación y se obtiene una
proporción de palanquilla útil en peso, superi_
or a la que corresponde al procedimiento clásico.

Se obtiene un producto de gran uniformidad y se
evitan las segregaciones más o menos importan_
tes de diversos elementos, principalmente carbono
fósforo y azufre.

Se reduce el tiempo que transcurre desde que lle_
gan las materias primas a la fábrica, hasta que
se obtienen las palanquillas.

Se pueden reducir las inversiones en la empre_
sa, ya que los gastos necesarios para instalar

una colada continua son en general inferiores a los correspondientes a un tren blooming con sus servivios complementarios de hornos de ca lentamiento, acondicionamiento, etc.

1.3.1 CLASIFICACION Y METODOS DE FABRICACION

Los aceros se clasifican de diversas maneras, y entre ellas podemos citar:

Por el procedimiento de fabricación, teniendo en cuenta el método de obtención, clasificamos los aceros en aceros fabricados en convertidor Bessemer, aceros fabricados en hornos Martin - Siemens, aceros fabricados en hornos electricos y aceros fabricados en crisol.

Por su utilización. Atendiendo a la utiliza-ción final de los aceros, se clasifican en aceros de fácil mecanización, aceros para muelles, aceros para calderas, aceros de construcción o aceros de herramientas.

Por su composición química. En está clasifica-ción el contenido aproximado en las aceras de los elementos de aleación más importantes - viene indicado por medio de un sistema numerico.

Este método de clasificación es el más difun-

dido de todos ellos, por lo que trataremos de él con más detalle.

Las especificaciones U.S.A. del acero son el resultado de los esfuerzos conjuntos realizados por el American Iron and Steel Institute (AISI) y la Society of Automotive Engineers (SAE) de acuerdo con un programa, prestablecido, tendientes a lograr mayor eficacia en la búsqueda de los tipos de aceros requeridos por la industria.

La designación de los aceros se realiza por medio de 4 o 5 números dígitos, de los cuales el primero indica el tipo de acero. Así el 1 indica un acero al carbono, el 2 un acero al níquel, el 3 un acero cromoníquel, etc. En el caso de los aceros aleados simples, el segundo dígito indica el porcentaje aproximado en que se encuentra en un acero el elemento de aleación predominante. Los dos o tres dígitos, últimos dígitos expresan normalmente el contenido medio de carbón multiplicado por 100.

En las normas AISI, los números van precedido de una letra que indica el método de fabricación utilizado en la obtención del acero. Las normas SAE utilizan actualmente el mismo sistema de designación a base de cuatro dígitos -

que las normas AISI, aunque no utilizan ningún prefijo literal.

Especificaciones de algunos de los Aceros más Representativo

AISI No*	% C	% Mn	% P max	% S max	SAE No
Aceros ordinarios al carbono					
C1010	0,08—0,13	0,30—0,60	0,04	0,05	1010
C1015	0,13—0,18	0,30—0,60	0,04	0,05	1015
C1020	0,18—0,23	0,30—0,60	0,04	0,05	1020
C1025	0,22—0,28	0,30—0,60	0,04	0,05	1025
C1030	0,28—0,34	0,60—0,90	0,04	0,05	1030
C1035	0,32—0,38	0,60—0,90	0,04	0,05	1035
C1040	0,37—0,44	0,60—0,90	0,04	0,05	1040
C1045	0,43—0,50	0,60—0,90	0,04	0,05	1045
C1050	0,48—0,55	0,60—0,90	0,04	0,05	1050
C1055	0,50—0,60	0,60—0,90	0,04	0,05	1055
C1060	0,55—0,65	0,60—0,90	0,04	0,05	1060
C1065	0,60—0,70	0,60—0,90	0,04	0,05	1065
C1070	0,65—0,75	0,60—0,90	0,04	0,05	1070
C1074	0,70—0,80	0,50—0,80	0,04	0,05	1074
C1080	0,75—0,88	0,60—0,90	0,04	0,05	1080
C1085	0,80—0,93	0,70—1,00	0,04	0,05	1085
C1090	0,85—0,98	0,60—0,90	0,04	0,05	1090
C1095	0,90—1,03	0,30—0,50	0,04	0,05	1095
Aceros al carbono de fácil mecanización					
B1112	0,13 máx	0,70—1,00	0,07—0,12	0,16—0,23	1112
B1113	0,13 máx	0,70—1,00	0,07—0,12	0,24—0,33	1113
C1110	0,08—0,13	0,30—0,60	0,04	0,08—0,13	1110
C1113	0,10—0,16	1,00—1,30	0,04	0,24—0,33	1113
C1115	0,13—0,18	0,60—0,90	0,04	0,08—0,13	1115
C1120	0,18—0,23	0,70—1,00	0,04	0,08—0,13	1120
C1137	0,32—0,39	1,35—1,65	0,04	0,08—0,13	1137
C1141	0,37—0,45	1,35—1,65	0,04	0,08—0,13	1141
C1212	0,13 máx	0,70—1,00	0,07—0,12	0,16—0,23	1112
C1213	0,13 máx	0,70—1,00	0,07—0,12	0,24—0,33	1113
C12L14†	0,15 máx	0,80—1,20	0,04—0,09	0,25—0,35	12L14

TABLA # 3

CLASIFICACION DE LOS ACEROS MAS REPRESENTATIVOS

Entre los métodos para la obtención de Aceros encontramos los siguientes procesos que estudiamos brevemente:

HORNOS DE SOLERA ABIERTA EN HORNOS SIEMENS - MARTIN

Estos hornos reciben su nombre porque la caliza, la chatarra de acero y el arrabio líquido se cargan en un tipo de horno cuyo hogar es poco profundo, denominado " salera", la que queda expuesta, "abierto" al lamido de las llamas que emanan.

Alternadamente de los extremos opuestos del horno, teóricamente un horno Siemen - Martin puede operar usando ya sea arrabio del alto-horno sólo, o chatarra de acero sola, pero la mayor parte de ellos ha sido diseñada para operar usando en igual proporción ambos materiales; Estas proporciones pueden variar de acuerdo a factores económicos, tal como el precio de la chatarra o la disponibilidad de arrabio líquido.

Un horno bastante típico que produce unas 350 toneladas de acero en un lapso de 5 a 8 horas, puede tener unos 28 m. de longitud y unos 9 de ancho; es muy probable que sea un grupo de varios situados en un solo edificio denominado

" Acería Siemens - Martín "

La disposición puede asemejarse a la de una casa de varios niveles, cuya entrada está en el piso superior y cuya salida y sistema de calentamiento están en el piso inferior. El lado - de carga del horno se encuentra en el nivel superior y está frente a la plataforma de carga, - cuyo piso está lleno de equipo muy especificado la pieza más notable es una máquina de carga, - operada electricamente, que se mueve en una vía muy ancha.

La solera en forma de plato que caracteriza a los hornos de solera abierta es de muy poca profundidad; las paredes que contienen las puertas de carga son verticales y cada unidad esta cubierta con una bóveda refractaria en el lado - del horno opuesto a la plataforma está situado. el agujero de colado, dispuesto de tal manera que el acero líquido pueda correr por gravedad através de un condón hacia una gran cuchara situada en el piso de vaciado, cuyo nivel esta considerablemente más bajo que el de la plataforma de carga.

Hoy día prácticamente todos los hornos de solera han sido convertidos al uso de oxígeno, este gas es introducido por medio de lanzas retrácta

tilas que atraviesan el techo. El empleo de oxígeno gaseoso en el horno aumenta la temperatura y en consecuencia acelera el proceso de fusión.

PROCESO DE HORNO BASICO AL OXIGENO

Este proceso utiliza arrabio líquido como materia prima principal. Este metal viene de un altohorno o de un mezclador, la otra fuente de metal es la chatarra, La cal (CaO), más que la caliza (CaCO_3) compuesto que se usa como fundiente. El calor para el proceso es proporcionando por el soplado de oxígeno.

El horno o convertidor básico al oxígeno es un recipiente metálico revestido con materiales refractarios, el cuerpo del horno es cilíndrico, con el fondo ligeramente abombado y la parte superior en forma de cono truncado con la parte basal descansando sobre el cilindro y una abertura en la parte angosta.

Por estas aberturas se cargan las materias primas, se introduce el chorro de oxígeno y se expiden los gases de desecho del proceso llevados a través de las extensas instalaciones del tratamiento del aire. Todo el horno está soportado sobre muelles con cojines



tes sobre un eje horizontal, de modo que puede voltearse.

En diversos países muchos hornos de esta clase se encuentran en fabricación sólo algunos aceros sencillos y de gran consumo, en tanto que en otros es práctica normal producir un alto rango de composiciones químicas.

El primer paso para producir una hornada de acero en un horno básico al oxígeno es inclinar el horno hacia un lado y cargarlo con chatarra; esto se logra girando el horno sobre sus muñones, siguiendo un arco de tal modo que su abertura puede ser alcanzada por un equipo cargador que corre sobre rieles a un nivel apropiado.

Este equipo se asemeja a una combinación de un pequeño carro de ferrocarril con un camión de volteo. La caja del equipo cargador se llena con chatarra de acero cuidadosamente seleccionada y se coloca en posición en que pueda vaciar su contenido dentro del horno, lo que se logra por acción de pistones y brazos articulados que voltean la caja sobre la boca del horno, deslizándose en el horno precalentado.

El horno con un movimiento rotatorio distri-

buye la chatarra en el fondo del horno.

En un corto tiempo la ignición del metal en con
tacto con el chorro de oxígeno produce un aumen
to considerable del calor, con lo que se obtie
nen las condiciones adecuadas para agregar cal,
espatofluor, a la carga, mediante un canalón -
retractil.

A partir de este momento no se interrumpe el
proceso de soplado, el oxígeno se combina con -
el carbono y otros elementos no deseables, eli
minando estas impurezas de la carga fundida y -
convirtiendola en acero ; la cal y el espatofluor
ayudan a retirar las impurezas mediante una capa
flotante de escoria sobre el metal, que en ese
momento, se encuentra totalmente fundido. En es
tá función el consumo de cal es de orden de 70
Kg por toneladas de acero producido.

HORNO ELECTRICO

El proceso de horno electrico tiene una muy me
recida reputación de producir aceros de alea -
ción , aceros inoxidables, aceros para herramien
tas y otros especiales; más recientemente los o -
peradores han aprendido también a fabricar gran -
des hornadas de acero al carbono en estos hor -
nos. De esta manera , el proceso de fabricación
de acero en hornos electricos está llegando a

ser en este momento un producto de alto tonelaje.

Un horno eléctrico es un cilindro de acero de fondo poco profundo revestido con ladrillo refractario.

En la primera mitad de este siglo, la mayor parte de los hornos eléctricos se cargaban con chatarra de acero y de acero a través de una puerta situada en un costado del cilindro; actualmente el techo de estos hornos está montado en vigas de acero en voladizo, de tal modo que puede ser levantado y desplazado hacia un lado. Entonces, el horno puede cargarse mediante baldes y otros recipientes transportados por una grúa-puente.

El techo de este tipo de horno está perforado de tal forma que penetran en el horno tres electrodos de carbono o de grafito, pudiendo bajarse o subirse a voluntad; esta particularidad es la que da su nombre a este tipo de horno, ya que cuando está en operación de forma un arco eléctrico que salta desde un electrodo hacia la carga y luego desde la carga hacia otro electrodo, generando un calor intenso.

En el lado opuesto a la puerta se encuentra

el canal de colada, a través del cual se ex
trae el acero hacia la cuchara. El horno com
pleto está montado sobre balancines, de mo
do que puede inclinarse para su operación.

La carga de la mayor parte de los hornos elec
tricos está formado principalmente por chatarra, con pequeñas cantidades de cal y de la minillas

La chatarra se ha mantenido separada en pilos de almacenaje, debidamente identificada por grados, procedimiento que es necesario por ra
zones económicas ya que sería un desperdicio usar valiosa chatarra de acero de aleación co
mo material base para preparar grados comunes de acero al carbono. La fórmula más economi
ca de operar un horno eléctrico es, de partida asegurarse que solo los elementos deseados se introducen en el horno para una hornada especi
al.

Una vez que la chatarra escogida se ha en las solera del horno pueden cargarse las ferro
aleaciones y otros elementos que son facilmen
te oxidables.

Luego de la carga, la parte superior o tapa -

del horno se coloca en posición y se bajan los electrodos a través del techo; se conecta la energía eléctrica, la que crea un ruido sordo; el calor que resulta cuando se genera el arco eléctrico entre los electrodos y el metal origina la fusión de la chatarra sólida.

Los electrodos, en algunos casos de 60 cm. de diámetro y de unos 7.3 m de longitud, toman un color blanco hasta una distancia considerable encima del arco; pueden elevarse o bajarse verticalmente a medida que la carga se funde.

En un momento determinado del proceso se agrega una cierta cantidad de mineral de hierro al baño, con el objeto de reducir el contenido de carbono, generandose una acción de ebullición o burbujas, lo que constituye uno de los factores más importantes en la producción de acero de alta calidad.

Cuando se ha alcanzado la composición química especificada para el acero, se inclina el horno (con techo y electrodos) hacia el lado del agujero de colada, se abre éste y el metal se vacía por el canalón; la escoria fluye después del acero y sirve como una cubierta aislante durante el variado a la cuchara.

1.3.2 PROPIEDADES MECANICAS DEL ACERO PRODUCIDO EN HORNO ELECTRICO

Las fundiciones de aceros en horno eléctrico se podría hacer de muchos tipos. Daremos brevemente una clasificación en tres grupos generales de acuerdo con el contenido de carbón y de las aleaciones.

- a) Acero moldeado de bajo contenido de carbón - con menos de 0.20% de carbón
- b) Acero moldeado de medio contenido de Carbón con una variación de 0.20- 0.50% de Carbón.
- c) Acero moldeado de Alto Contenido de Carbón con más de 0.50% de Carbón

Otros tipos de Aceros no son discutidos en este estudio por no estar relacionados con el trabajo.

a) Aceros de bajo contenido de Carbón.- La mayor parte de la producción de estos aceros - contienen entre 0.16- 0.19% C. con 0,50 -0.80% mn, 0,05 máx P y 0.06 máx S y- de 0,35- 0.70 Si. Para obtener altas propiedades magnéticas un equipo eléctrico, el contenido de manganeso generalmente se mantiene entre 0.10 y 0.20%

Las propiedades mecánicas de un acero moldeado de un contenido de carbón entre 0.08- 0.20% C

Recocido, en lo que se refiere al esfuerzo de tracción variará 50- 65 Kg/ pulg², el límite de fluencia de 30- 40 Kg/ pulg², la elongación 35-22% y la dureza de 155 - 135 BHN para los porcentajes de 0.10 - 0.20% respectivamente.

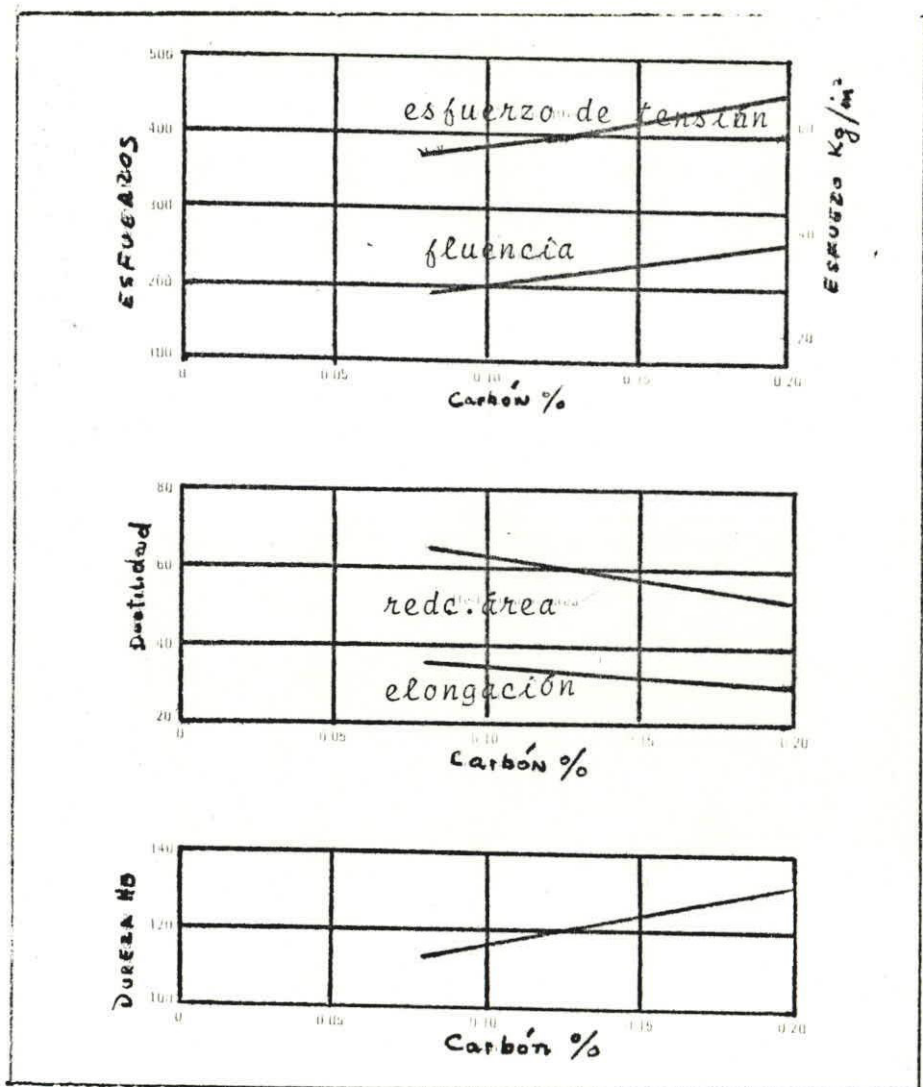


FIGURA # 4

PROPIEDADES MECANICAS DE ACERO MOLDEADO DE BAJO CONTENIDO DE CARBONO

Las diferencias de las propiedades para un a cero de bajo contenido cuando es sometido a tratamientos térmicos como Recocido y Normalizado, son muy pequeñas

b) Acero Moldeado de Medio Contenido de Carbón
Contienen de 0.20- 0.50% C y representan la ma yor parte de la producción de acero moldeado
ellos contienen 0.50 - 1.50 Mn, 0.05 P máx y
0.06 S máx y de 0.35 - 0.80 Si

Las propiedades mecánicas las mostramos en el gráfico, el esfuerzo de tracción varía entre 65- 98 Kg/ pulg² , el límite de fluencia de 38 a 52 Kg/ pulg² y la elongación de 30-12% tanto para un acero moldeado sin tratamiento térmico y Recocido.

Se le dan tratamientos térmico al Acero Moldeado de esta composición, tales como Recocido que saca las tensiones internas afina la estructura de bruto de fusión y da ductilidad; Normalizado y Revenido en temperatura de 650- 750°C para obtener más altas propiedades de ductilidad e impacto.

También se los puede templar para alcanzar altos niveles en lo que respecta a grados superiores de esfuerzo de tracción y fluencia.

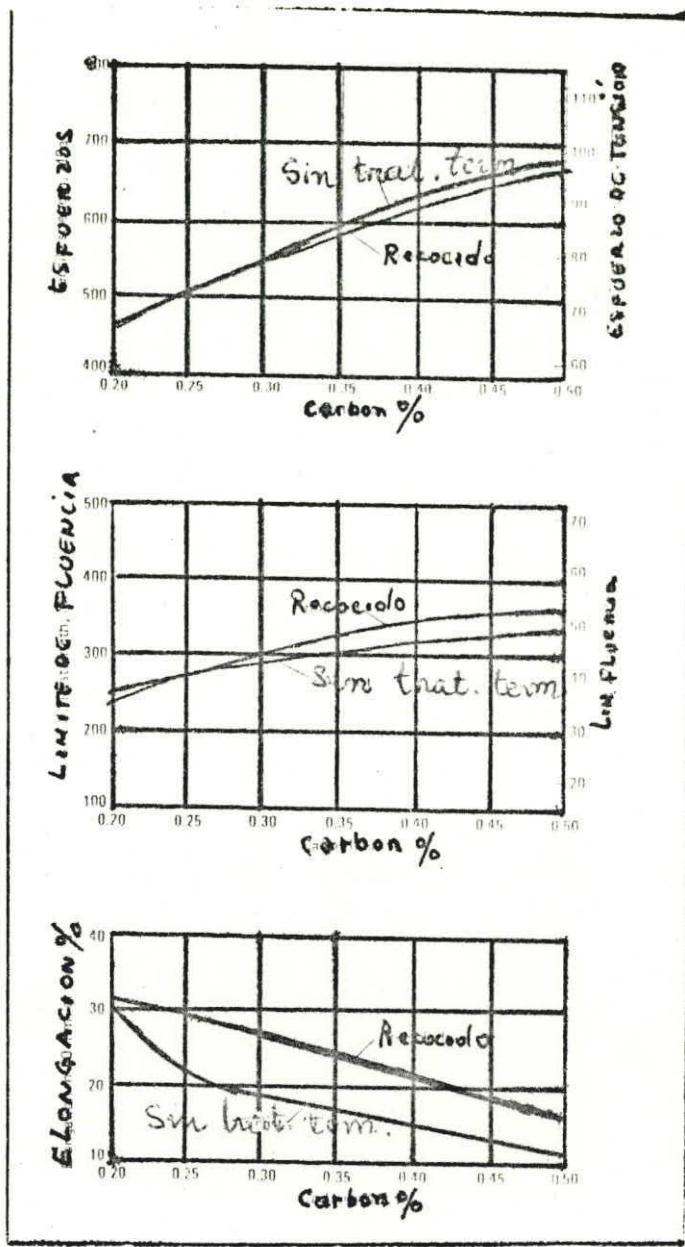


FIGURA # 5

PROPIEDADES MECANICAS DEL ACERO MOLDEADO DE MEDIO CONTENIDO DE CARBONO

c) Acero Moldeado de Alto Contenido de Carbono Acero que contiene más de 0.50% y son clasificados como Aceros de alto Carbono. Este tipo contiene también de 0.50- 1.50% Mn, 0.05% P máx y % S , 0.35 - 0.70% Si.

Las propiedades mecánicas de este Acero Moldeado estan dado en el grafico # 6 . Estos resultados fueron obtenidos de probetas Recocidas Ocasionalmente se les da tratamientos térmicos como Normalizado y Revenido para darles ciertas características y para ciertas aplicaciones, - también se le efectúa temple y revenido.

El carbón tiene marcada influencia , dando por ejemplo estructura 100% perlítica de una composición eutectoide (0.83% C) .

Una más alta proporción de carbón aumentará la proporción de cementita proectectoide.

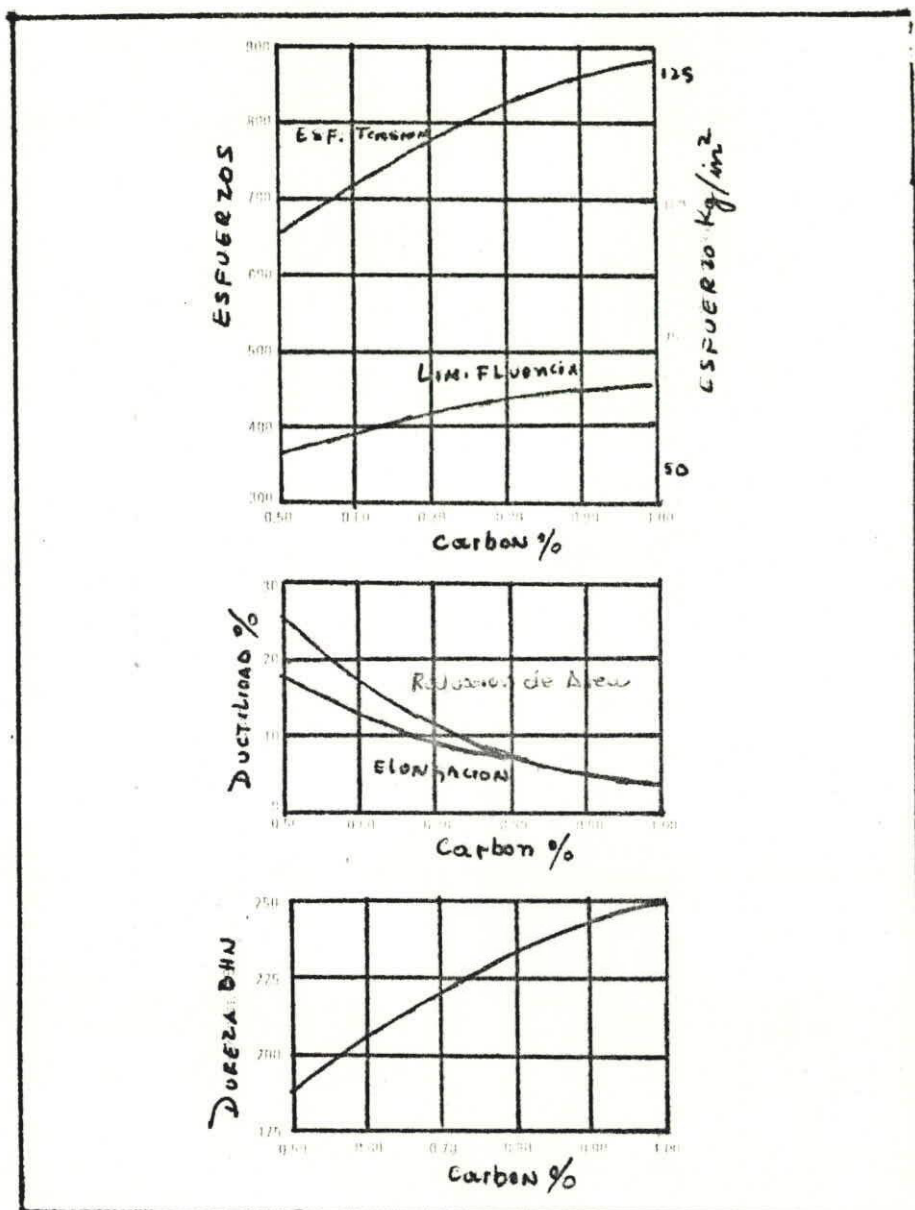


FIGURA # 6

PROPIEDADES MECANICAS DEL ACERO MOLDEADO DE ALTO CONTENIDO DE CARBONO



2- PARTE EXPERIMENTAL

2.1 PLAN DE TRABAJO

El objetivo de esta investigación es determinar por medio de una serie de ensayos mecánicos y metalúrgicos las características de la fundición grafito esferoidal en función de comparar las bondades con relación al acero moldeado de horno eléctrico a fin de ver la posibilidad de reemplazar piezas de maquinaria agrícola hechas originalmente en acero por hierro dúctil que tiene ventajas económicas.

El material empleado de fundición nodular fue obtenido en un horno de Cubilote Acido en una fundición local cuya composición química es la siguiente:

3.20% C 0.55% Mn 2,5% Si 0,025 S 0,04 P.

Se fundió 5 barras 2 1/2 pulgadas de diámetro por 8" de largo, siendo sometidas a un recocido durante 6 horas a 950°C.

De estas barras se maquinaron para obtener - probetas para un estudio metalografico 10 probetas para el ensayo de Jominy, probetas para ensayo de tracción con y sin tratamientos térmicos, probetas para ensayos de impacto con y sin tratamiento térmicos, probetas para ensayo

de dureza con y sin tratamientos térmicos.

El acero Moldeado de medio contenido de Car
bón fué obtenido de las Palanquillas de A
cero de Colado Continua, producidas por Fumas
a del grado S.A.E. 1040 cuya composición
es la siguiente:

0.44% C 1.36% Mn 0,34% Si 0,022P 0,02 S

Estas probetas para una fácil identificación
se la numeró y clasifíco de acuerdo
al material y al tratamiento térmico respectivo
de acuerdo con la siguiente nomenclatura.

PROBETAS

REFERENCIAS

100	A	Probeta de Acero Moldea <u>do</u> sin tratamiento tér <u>mico</u> .
101	A	Probeta de Acero Moldea <u>do</u> Recocida.
102	A	Probeta de Acero Moldea <u>do</u> con Temple y Revenido
103	A	Probeta de Acero Moldea <u>do</u> una vez efectuado el ensayo de Jominy.

104	A	Probeta de Acero Moldeado Templado en Aceite.
100	F	Probeta de Fundición Nodu_ lar en Bruto
101	F	Probeta de Fundición Nodu_ lar Recocida.
102	F	Probeta de Fundición Nodu_ lar con Temple y Revenido
103	F	Probeta de Fundición Nodu_ lar una vez efectuado un ensayo de Jominy
104	F	Probeta de Fundición Nodu_ lar Templada en Aceite.

De acuerdo al procedimiento se realizó un es
tudio metalográfico de las probetas de Fundi
ción Nodular y Acero Moldeado sin ningún -
tratamiento.

Después de este estudio se hizo un control
de las propiedades mecánicas mediante los
ensayos de tracción, Charpy y Dureza.

Para determinar su templabilidad se realiza
un ensayo de Jominy , se obtiene una banda de
templabilidad de la fundición Nodular, se tra

baja también junto con este ensayo en los tra
tamientos térmicos tales como temple, revenido

Las probetas a las cuales se les ha hecho tra
tamiento térmico se efectúa un control de igual
forma que en los casos anteriores.

2.2 ESTUDIO METALOGRAFICO DE LOS MATERIALES

En el estudio metalográfico podemos ver micro
scopicamente las características de la estructura
de un metal o aleación.

En el laboratorio o en la práctica industrial el
microscopio es un elemento muy valioso ya
que mediante él se puede determinar el tamaño
de grano, el tamaño forma y distribución de las
diversas fases e inclusiones, características
todas íntimamente relacionadas con las propieda
des mecánicas de los metales.

El exámen de la microestructura de los metales
nos permitira conocer los tratamientos térmico
y mecánicos a que ha sido sometido un determina
dado material y proveer su probable comportami
ento.

La probeta se prepara perfectamente plana y
exenta de toda raya por insignificante que sea

se pule utilizando una serie de papeles de es
meril que se colocan en una mesa siendo el pa
pel de esmeril de grano cada vez más fino, es
te es el pulido intermedio.

Después de este pulido se realiza una operación
final para que la muestra quede perfectamente-
pulida, el que se hace sobre un plato horizon-
tal giratorio cubierto con un paño especial
sobre el cual se pulveriza, polvo abrasivo cui-
dadosamente tamizado, en suspensión en agua -
destilada.

Un pulido perfecto se puede considerar cuan-
do la superficie de la probeta está totalmen-
te exenta de rayas y solo se ve en ellas las-
inclusiones no metálicas.

Luego de hacer estas 2 clases de púlido se ha-
ce un ataque por medio de reactivos químicos-
con el objeto de desarrollar la estructura mi-
crográfica y hacerla visible al microscopio -
para poder distinguir claramente las distin-
tas partes de la microestructura.

En este caso hemos utilizado para el ataque
nital al 5%.

El microscopio que utilizamos es OLIMPUS PME con capacidad de resolución hasta 1000 aumen
tos.

Binoculares con inclinación de 30° anillo de
ajuste.

Rango de ajuste de la distancia interocular:
55.42 Distancia interocular estandar: 6 2

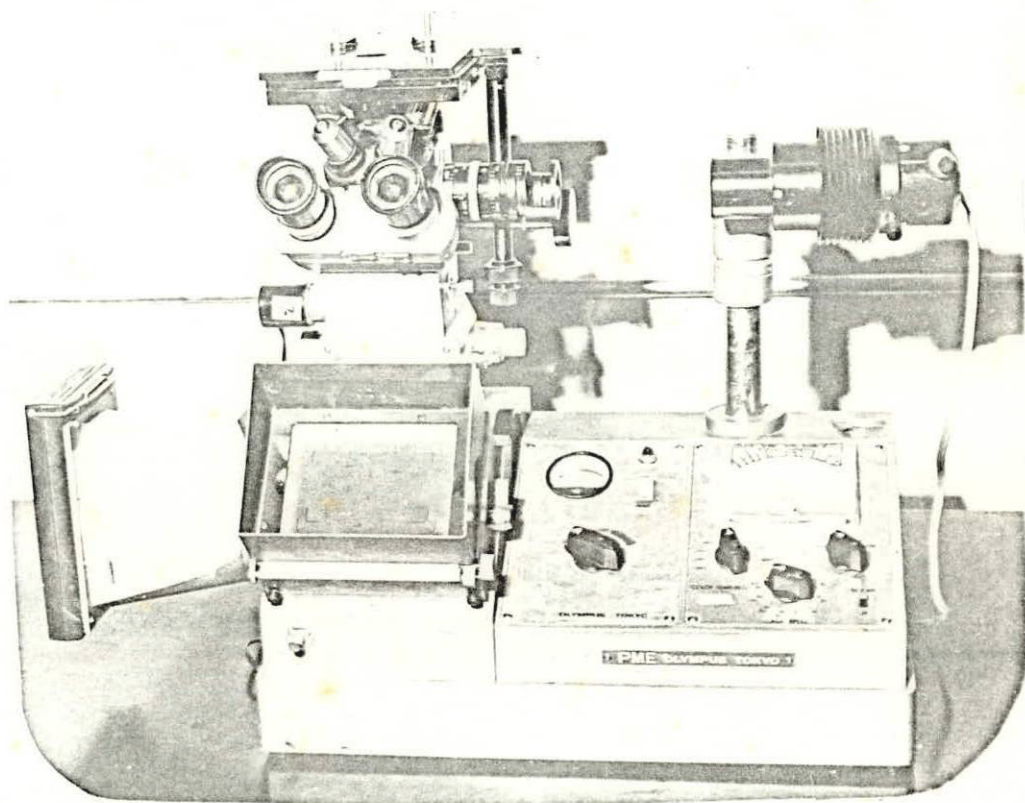
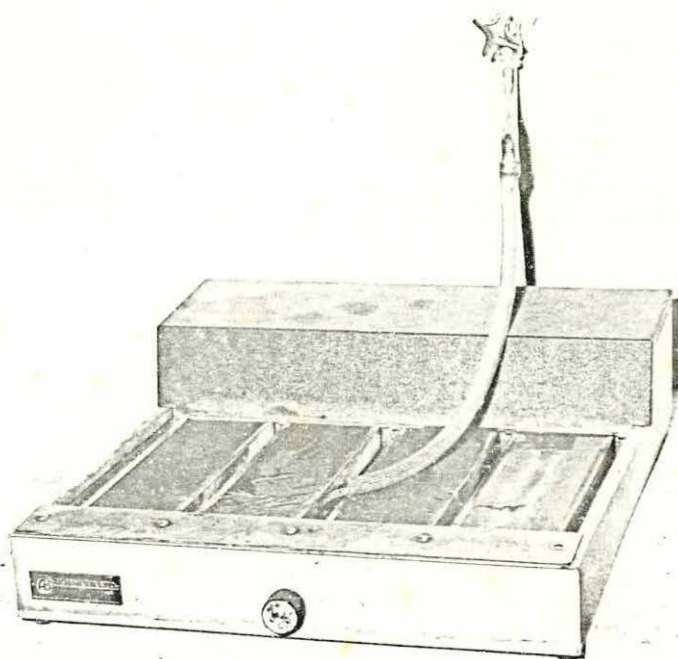


FOTO # 2

MICROSCOPIO OLIMPUS P ME

El equipo utilizado para efectuar el pólido a las probetas fue el siguiente:



MESAS PARA PULIDO ENTERMEDIO AB BUEHLER
CON PAPELES DE LIJA NUMEROS 220, 320,
400 y 600

FOTO # 3

Para el pulido final utilizamos:



MAQUINA PULIDORA DE DISCO ROTATORIO PARA
ABRASIVOS DE GRANULOMETRIA DE 15 a 0,3 MICRAS

FOTO # 4



200 X

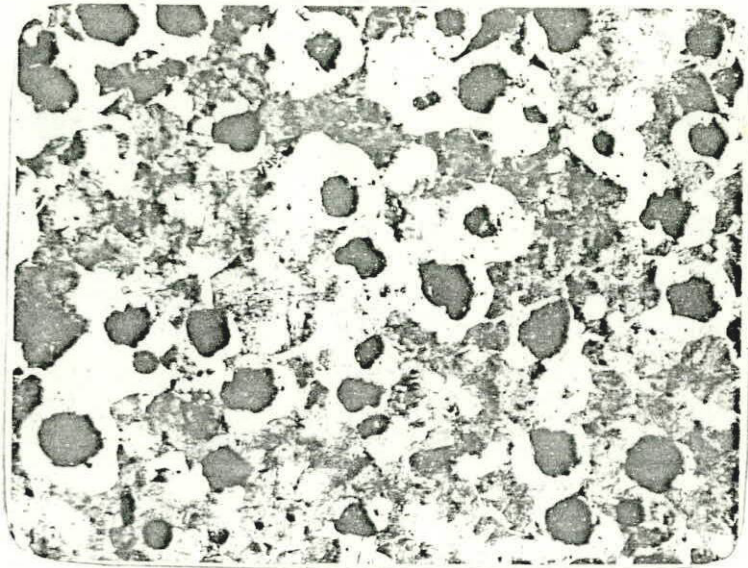
NITAL 3%

MOLDEADO DE MEDIO CONTENIDO DE CARBONO

PROBETA 100 A

MICROESTRUCTURA TIPICO DE FERRITA Y PERLITA

FOTO # 5



100 X

NITAL 3%

FUNDICION NODULAR

PROBETA 101 F

MICROESTRUCTURA PERLITICA- FERRITICA

GRAFITO EN FORMA TIPICA DE OJO DE BUEY

FOTO # 6

3.3 CONTROL DE LAS PROPIEDADES MECANICAS

El comportamiento mecánico de los materiales se verifica mediante los ensayos siendo estos del tipo estáticos y dinámicos.

Para nuestro estudio fue necesario hacer ensayos de tracción, ensayos de dureza y ensayos de impacto a la Fundición Nodular y al hierro-Moldeado para poder obtener informaciones tales como las que determinan la carga de rotura, deformaciones, tensiones elásticas, ductilidad, dureza y tenacidad.

3.3.1 ENSAYO DE TRACCION

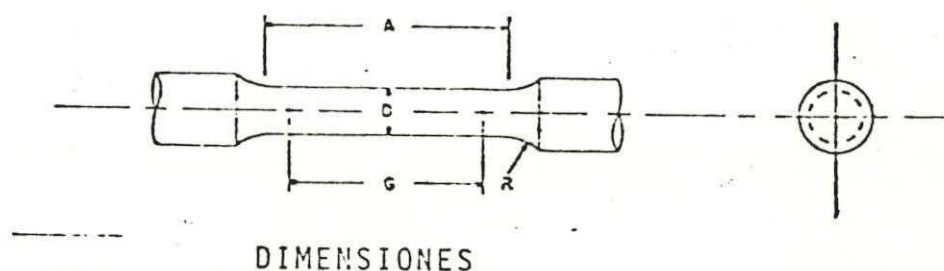
Esta prueba se usa a menudo para evaluar - las propiedades de ductilidad y resistencia de los materiales a fin de constatar y para determinar las especificaciones que son requeridas para el uso propuesto.

Los datos básicos de laa resistencia y ductilidad del material son generalmente obtenidos - por la prueba, a la tensión en la cual la probeta se la ha sometido a cargas que se van incrementando mientras simultaneamente se hacen observaciones de la extensión lineal.

Los resultados de estas pruebas sirven para hacer las curvas de tensiones donde la tensión nominal es calculada tomando como índice al area original y el espesor original de la probeta.

Las probetas para este ensayo tienen dimensiones dadas por la norma ASTM, E 8- 57 T

Las pruebas de tracción del hierro fundido - nodular y la del Acero Moldeado estan dados en los cuadros N= 4- 5



PROBETA ESTANDARD	PROBETA PEQUENA	PROPORC. A ESTAND
1/2"	0,350"	0,250"
G- Largo 2,000	0,005"	1,400 0,005"
D- Diámetro 0,500	0,010"	0,350 0,007"
R- Radio 3/8" mín		1/4" mín 3/16" mín
A- Largo de 2 1/4" mín		1 3/4" mín 1 1/4" mín
la sección reducida		

Los diagramas de tracción varían de acuerdo con las distintas propiedades de los materiales así por ejemplo, los materiales dúctiles rompen con mucha deformación y los frágiles generalmente la deformación es uniforme en toda la probeta, es decir que alcanza la carga máxima se produce la rotura sin entrar en el periodo de estricción.

Dentro de los materiales dúctiles y frágiles se pueden clasificar respectivamente, en muy dúctiles a los que presentan mucha estricción y muy frágil en los que la rotura se produce inmediatamente después de pasado el límite de elasticidad.

La carga se aplica de tal manera que el esfuerzo resulte uniformemente distribuido sobre la sección transversal del material.

Tratándose de ensayos estáticos el incremento de carga se efectúa en forma muy lenta para evitar los efectos de las fuerzas de inercia, - la velocidad de ensayo en nuestro caso fue de 10 min.

El equipo usado fue el INSTRON 1128

De los gráficos de los ensayos se determina los valores de la carga máxima y el de la fluencia



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Apartado. 5863 Guayaquil Ecuador

Lab. Ensayo de Materiales

ENSAYO DE TENSION

Solicitado por: GEORGE W. TOALA BANCHON

Material: ACERO MOLDEADO

Temp. de ensayo: TEMPERATURA AMBIENTE

Velocidad de ensayo: 10 m.m/ m.in.

Equipo usado: INSTRAN 1128

Fecha:

Observaciones: PROBETA 100 A

Norma:

Grado:

Resistencia a la tracción:

Límite de fluencia:

Alargamiento:

Probeta No.	Diámetro de la muestra		Sección de la probeta	Longitud inicial	Longitud final	Límite de fluencia	Resistencia a la tracción	Resistencia a la rotura	Alargamiento		OBSERVACIONES
	mm	mm							kgf/mm ²	o/o	
100 A	7,10	98,86	39,59	107,30	47,83	67,81	60,23	60,23	8,6		
100 A	7,00	98,80	39,20	106,86	48,55	68,72	54,30	54,30	8,2		



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Apartado. 5863 Guayaquil Ecuador

Lab. Ensayo de Materiales

Solicitado por: GEORGE W. TOALA BANCHÓN

Material: FUNDICIÓN NODULAR

Temp. de ensayo: TEMP AMB

Velocidad de ensayo: 10 mm / min

Equipo usado: INSTRON 1128

Fecha:

ENSAYO DE TENSION

Observaciones: PROBETA F

Norma:

Grado:

Resistencia a la tracción:

Límite de fluencia:

Alargamiento:

Probeta	Diámetro de la muestra	Sección de la probeta	Longitud Inicial	Longitud final	Límite de fluencia	Resistencia a la tracción	Resistencia a la rotura	Alargamiento		OBSERVACIONES
No.	mm	mm ²	mm	mm	kgf/mm ²	kgf/mm ²	kgf/cm ²		o/o	
100 F	13.00	132.7	55	57.8	45.2	68	68		4.0	
100 F	12.90	131.7	55	58	42	67	67		4.2	

2.3.2 ENSAYO CHARPY

La prueba de impacto Charpy es utilizada para poder medir una de las propiedades mecánicas de los materiales que es la tenacidad.

Estos ensayos determinan, pues la fragilidad o capacidad de un material de absorber cargas instantaneas.

La resiliencia o resistencia al impacto resulta del trabajo gastado por unidad de sección transversal para romper a la probeta de un solo golpe.

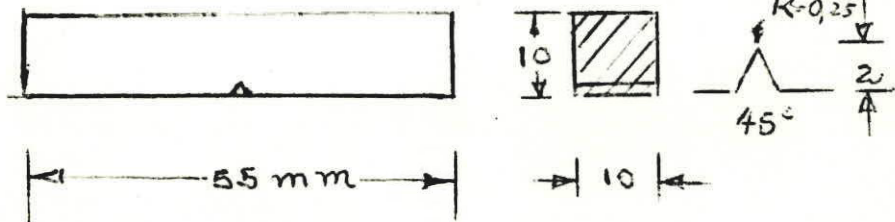
Los ensayos dinámicos de impacto se realizan generalmente en máquinas denominadas pendulos o martillos pendulares en las que se verifica el comportamiento de los materiales al ser golpeados por una masa conocida a la que se deja caer desde una altura determinada.

La máquina de ensayo determina el trabajo absorbido por el material al producirse la rotura queda indicado en una escala convenientemente graduada, al desplazarse un cursor arrastrado por el brazo del pendulo, el valor

numerico es dado en Kilográmetros.

El método Charpy utiliza probetas entalladas, las que se coloca simplemente apoyadas sobre la mesa de la máquina y en forma tal que la entalladura se encuentra del lado opuesto al que va a recibir el impacto.

Las probetas utilizadas según norma ASTM E 23 tienen las siguientes características.



La máquina utilizada es de tipo pendular
Marca TINIUS OLSEN DE 36.5 Kgm.

y de las siguientes características:

Radio del extremo de los soportes	1 m.m
Angulo del golpeador o martillo	30°
Radio del borde del martillo	2 m.m
Espesor del martillo	16 m.m
Altura Máxima de caída	4,4 FC
Peso del martillo estandard	
Energía de Impacto	36,5 Kgm.
Velocidad de caída para la alt.max	16.8 Fc/sec.

La fractura de los materiales, obtenido en los ensayos de impacto, cambian desde la fibrosa - hasta la completamente cristalina brillante u opaca.

Según el tipo pasando por la cristalina brilloso- fibrosa o cristalina - opaco fibrosa.

Los resultado de los ensayos estan dado a continuación en los cuadros N= 6- 7

TIPO DE PRUEBA

Ensayo de Impacto Charpy

Material: Acero Moldeado de Medio
contenido de Carbono

Composición Química:

0.44% C 0,36% Mn 0,34% Si 0,022% P 0,02% S

PROBETA 101 A

Dimensiones:

55 mm de largo

10 mm de ancho

10 mm de alto

2 mm de entalla

Tratamiento térmico: Ninguno

Péndulo: TINIUS OLSEN de 36,5 Kgm.

RESULTADOS

PROBETA	RESISTENCIA AL IMPACTO Kgm/cm ²
101 A	1.0
101 A	1.20

CUADRO #6

TIPO DE PRUEBA

Ensayo de Impacto Charpy

Material: Fundición Nodular

Composición Química:

3.2% C 0,55 Mn 2,5 Si 0,02 S 0.04 P

PROBETA 101 F

Dimensiones:

55 mm de largo

10 mm de ancho

10 mm de alto

2 mm de entalla

Pendulo: TINIUS OLSEN de 36.5 Kgm.

Tratamiento Térmico: Ninguno

RESULTADOS:

PROBETA	RESISTENCIA AL IMPACTO Kgm/cm ²
101 F	1,00
101 F	1,00

CUADRO # 7

2.3.3 ENSAYO DE DUREZA

En general la dureza puede definirse de acuerdo a los métodos más generalizados para su obtención, como la mayor o menor resistencia que un cuerpo opone a ser rayado o penetrado por otro o es la mayor o menor dureza de un cuerpo respecto a otro tomado como elemento de comparación.

La determinación de la dureza por cualquiera de las posibles procedimientos, nos dará una idea muy aproximada de la resistencia del material a la tracción, de la intensidad del tratamiento térmico y de su aptitud al desgaste y mecanizado,

Para obtener la dureza tanto en el Acero - Moldeado como en la Fundición Nodular se realiza ensayo de Dureza Brinell que es el que recomienda la información bibliográfica a fin de tomar una dureza promedial de las diferentes fases existentes en el material.

La determinación de la dureza Brinell consiste en comprimir sobre la superficie del material a ensayar una bolilla de acero muy duro durante un cierto tiempo, produciendo una

impresión, que por resultar un calco de la porción de esfera que penetra, corresponderá a un casquete esférico.

La dureza, comunmente denominada número Brinell, resulta de dividir la carga aplicada por la superficie de dicho casquete.

Como penetrador se utilizo una bolilla de 10 m.m de diámetro y 1.500 Kg de carga.

Las probetas utilizadas tenian 2 pulgadas de diámetro y 1 pulgada de espesor.

Las caras de las probetas estaban perfectamente planas y paralelas, pulidas para observar claramente el contorno de la impresión, se realizaron varias identificaciones en la superficie durante 10 segundos cada impresión, se midio el diámetro de la huella con un pequeño microscopio cuyo acular tiene un reticulo graduado en decimas de milímetros con gran exactitud y a ese valor se ve su equivalencia en una tabla,

Los cuadros $N=8$ y $N=9$ - que a continuación damos corresponden a la dureza de hierro Nodular y al Acero Moldeado.

TIPO DE PRUEBA

Ensayo de Dureza Brinell

Material: Acero Moldeado de Medio Carbono

Composición Química:

0,44% C 136% Mn 0.34% Si 0,022% P 0,02% S

Dimensiones de la Probeta:

Diámetro: 2 pulgadas

Largo: 1 pulgada

Tratamiento Térmico: Ninguno

RESULTADO

PROBETA	DUREZA BHN
100 A	160
100 A	163
100 A	160 BHN

CUADRO # 8

TIPO DE PRUEBA

Ensayo de Dureza Brinell

Material: Fundición Nodular

Composición Química:

3,2% C 0,55 Mn 2,5 Si 0,02 S 0,04 P

DIMENSIONES DE LA PROBETA

Diámetro: 2 pulgadas

Largo: 1 pulgada

Tratamiento Térmico: Ninguno

RESULTADO

PROBETA	DUREZA BHN
100 F	160
100 F	168
100 F	170

CUADRO # 9

2.4 MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES DE LA FUNDICION

El tratamiento Térmico ha sido usado como un apoyo para garantizar el cambio de propiedades en beneficio de sus característica de uso como material de ingieniería.

El hierro nodular es susceptible de someterse a cualquiera de los tratamientos térmicos conocidos tales como: Temple, Recocido, Revenido, Normalizado etc, con la finalidad de obtener propiedades mecánicas exigidas en cada una de las diferentes operaciones.

La microestructura de estas fundiciones puede estar constituida segun sean los tratamientos por ferrita, por ferrita y perlita, por perlita, por martensita y por martensita revenida o bainita, dependiendo de la presencia de cualquiera de estas fases se tendrá una relación directa en las propiedades que se necesitan en el material por ejemplo: buena tenacidad con estructura bainítica, media resistencia y tenacidad con estructura perlítica, aunque estas cualidades dependen mucho de la composición química la cual es dominante de la microestructura de colada.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Apartado: 5863 Guayaquil Ecuador

Lab. Ensayo de Materiales

Solicitado por: GEORGE W. TOALA BANCHON

Material: ACERO MOLDEADO MEDIO CONTENIDO DE CARBONO

Temp. de ensayo: TEMPERATURA AMBIENTE

Velocidad de ensayo: 10 m.m / mín

Equipo usado: INSTRON 1128

Fecha:

ENSAYO DE TENSION

Observaciones: RECOCIDO

Norma:

Grado:

Resistencia a la tracción:

Límite de fluencia:

Alargamiento:

Prueba No.	Diámetro de la muestra	Sección de la prueba	Longitud Inicial	Longitud final	Límite de fluencia	Resistencia a la tracción	Resistencia a la rotura	Alargamiento		OBSERVACIONES
									o/o	
101 A	7.14	40.03	106.90	118.87	46.70	61.63	53.70		11.2	
101 A	7.08	39.36	104.65	116.68	45.80	60.72	52.00		11.5	



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Apartado 5863 Guayaquil Ecuador

Lab. Ensayo de Materiales

ENSAYO DE TENSION

Solicitado por: GEORGE W. TOALA BANCHON

Material: FUNDICION NODULAR

Temp. de ensayo: TEMPERATURA AMBIENTE

Velocidad de ensayo: 10 m.m/ min

Equipo usado: INSTRON 1128

Fecha:

Observaciones: RECOCIDO

Norma:

Grado:

Resistencia a la tracción:

Límite de fluencia:

Alargamiento:

Probeta No.	Diámetro de la muestra	Sección de la probeta	Longitud Inicial	Longitud final	Límite de fluencia	Resistencia a la tracción	Resistencia a la rotura	Alargamiento	OBSERVA
	mm	mm ²	mm	mm	kgf/mm ²	kgf/mm ²	kgf/cm ²	o/o	
101 F	6,96	38,04	101,88	110,88	41	64	61	8,9	
101 F	6,58	34,00	107,90	117,39	40	64	60	8,8	

ENSAVO CHARPY

Material: Acero Moldeado de Medio Contenido de Carbono

Composición Química:

0.44% C 1,36% Mn 0,34% Si 0,022 P 0,02 S

DIMENSIONES DE LA PROBETA

55 m,m largo

10 m,m ancho

10 m,m alto

Tratamiento Térmico: Recocido

Temperatura de Recocido 850°C

Tiempo en el Horno: 6 horas

RESULTADOS

PROBETA	IMPACTO Kg-m
101 A	2.5
101 A	2.3
101 A	2.4

CUADRO # 12

ENSAYO CHARPY

Material: Fundición Nodular

Composición Química:

3,20% C 0,55 Mn 2,5 Si 0,02 S 0,04 P

DIMENSIONES DE LA PROBETA

Diámetro: 1 pulgada

Largo 1 pulgada

Tratamiento Térmico: Recocido

Temperatura de Recocido 900°C

Tiempo en el Horno: 6 Horas

RESULTADOS

PROBETA	IMPACTO Kg-m
101 F	1.2
101 F	1.0
101 F	1.1

CUADRO # 13

ENSAYO DE DUREZA

Material: Acero Moldeado de Medio Contenido de Carbono

Composición Química:

0,44% C 1.36% Mn 0,34% Si 0,022 P 0,02 S

DIMENSIONES DE LA PROBETA

Diámetro: 1 pulgada

Largo 1 pulgada

Tratamiento Térmico: Recocido

Temperatura de Recocido 850°C

Tiempo en el Horno: 6 Horas

RESULTADOS

PROBETA	DUREZA BRINELL
101 A	135
101 A	132
101 A	132

ENSAVO DE DUREZA

Material: Fundición Nodular

Composición Química:

3,20% C 0,55 Mn 2,5 Si 0,02 S 0,04 P

DIMENSIONES DE LA PROBETA

Diámetro: 1 pulgada

Largo 1 pulgada

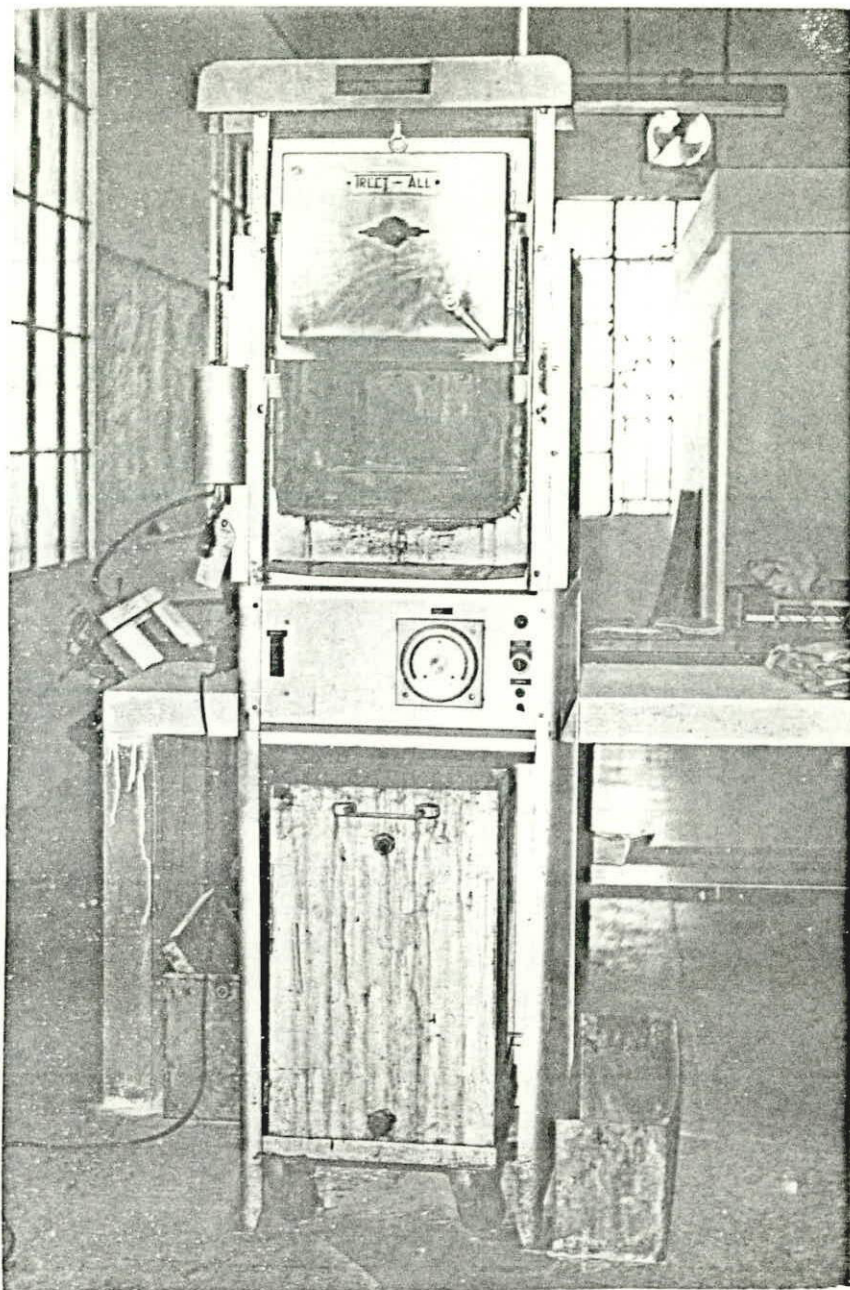
Tratamiento Térmico: Recocido

Temperatura de Recocido 900°C

Tiempo en el Horno: 6 Horas

RESULTADOS

PROBETA	DUREZA BRINELL
101 F	153
101 F	155
101 F	155



HORNO EXPERIMENTAL DE LIMBERG DE MUFLA DE HASTA
1.100°C CON CONTROL AUTOMATICO DE TEMPERATURA
CON TOLERANCIA DE $\pm 5^{\circ}\text{C}$

FOTO # 7

2.4.1 ENSAYO DE TEMPLABILIDAD

De acuerdo a la información teórica anteriormente expuesta se hizo para el estudio de la templabilidad el ensayo de Jominy y para realizarlo se templó, mediante chorro de agua una barra cilíndrica por uno de los extremos y después se midió la dureza a distintas distancias de aquel extremo.

Como para obtener resultados reproducibles y comparables fue preciso que el ensayo se verificara bajo determinadas condiciones.

La probeta es cilíndrica de 25 mm, de diámetro y 100mm, de longitud.

Para su colocación en el dispositivo de temple tuvo un reborde en uno de sus extremos de 3 m.m y 3 m.m de saliente.

El dispositivo de temple consta de un soporte en el que está el alojamiento de la probeta y sus bordes de 450, para producir las masas de metal en contacto; Un surtidor de 12,5 m.m de diámetro alimentado por un dispositivo de nivel constante [la tubería de unión tiene 2 llaves , una para la regula

ción del chorro y la otra de paso, que es de accionamiento rápido y estuvo situada proxima al orificio de salida para evitar que por quedar vacío el conducto se origine una salida inicial irregular).

El desagüe conveniente situado en el centro para asegurar una perfecta simetría en las corrientes de aire.

El soporte tiene una altura tal que al ser colocada en él la probeta que una separación entre el extremo de está y el orificio del surtidor de 12,5 m.m.

El horno es de tal forma que permitió el calentamiento uniforme en posición vertical de la probeta y en una atmósfera que evitó la formación de cascarillas o descarburación en el extremo que se ha templado.

Lo primero se consiguió colocando la probeta dentro de un casquillo de grafito. Lo segundo se evitó colocando en el fondo un lecho de carbón activado.

En el aparato medidor de durezas se utilió

zó un dispositivo que aseguró una correcta sujeción de la probeta y que permitió realizar las mediciones con las separaciones requeridas.

Práctica de la prueba - La probeta se mecanizó de una barra previamente normalizada que ha sido reducida por mecanizado a un redondo de 32 m.m de diámetro.

El extremo que se ha de temprar estuvo rectificado o ligeramente pulido.

La probeta se colocó en la forma y con las precauciones señaladas antes, en el horno, debiendo alcanzarse la temperatura de austenización correspondiente a la fundición nodular [1,750°F] que se ensaya en 60 minutos y permanecen en ella 60 minutos, al cabo del cual se llevará al dispositivo de temple que estuvo seco [sin tocarla directamente con materiales a distintas temperaturas que ella] y se abrió la llave del surtidor, no debiendo transcurrir más de cinco segundos entre la salida del horno y el comienzo del temple.

Se consiguió esto poniendo el horno próximo

al soporte de temple y que la llave de paso sea de maniobra rápida.

Se mantuvo el chorro de agua durante diez minutos como mínimo y después se sumergió en agua para evitar el revenido de la parte templada por el calor del otro extremo, quizás no del todo frío.

La llave de regulación se graduó de tal forma que el agua alcance una altura sin colocar la probeta de 65 m.m sobre el nivel del orificio de salida y su temperatura estuvo a $0,20^{\circ}\text{C}$.

Una vez fría la probeta, se rectificó a lo largo de dos generatrices opuestas.

Dos planos perfectamente paralelos a una profundidad 0,4 m.m sobre los cuales se halló la dureza a partir de 1 m.m de la cara templada.

La separación inicial entre huellas será de 1 m.m y después de pasado el punto de inflexión de la curva se pudo distanciar más cubriendo un total de 50 m.m.

TIPO DE PRUEBAS

Ensayo de Jominy

MATERIAL EMPLEADO:

Hierro Nodular

COMPOSICIÓN QUÍMICA:

3.20% 0,55Mn 2,5 Si 0,02 S 0.04 P

DIMENSIONES DE LA PROBETA:

Diámetro: 1 pulgada

Largo 4 pulgadas

Temperatura del horno:

Temperatura de Austenización 1750°F

Duración en el Horno: 1 hora

Tiempo de Temple: 10 minutos

OBSERVACIONES

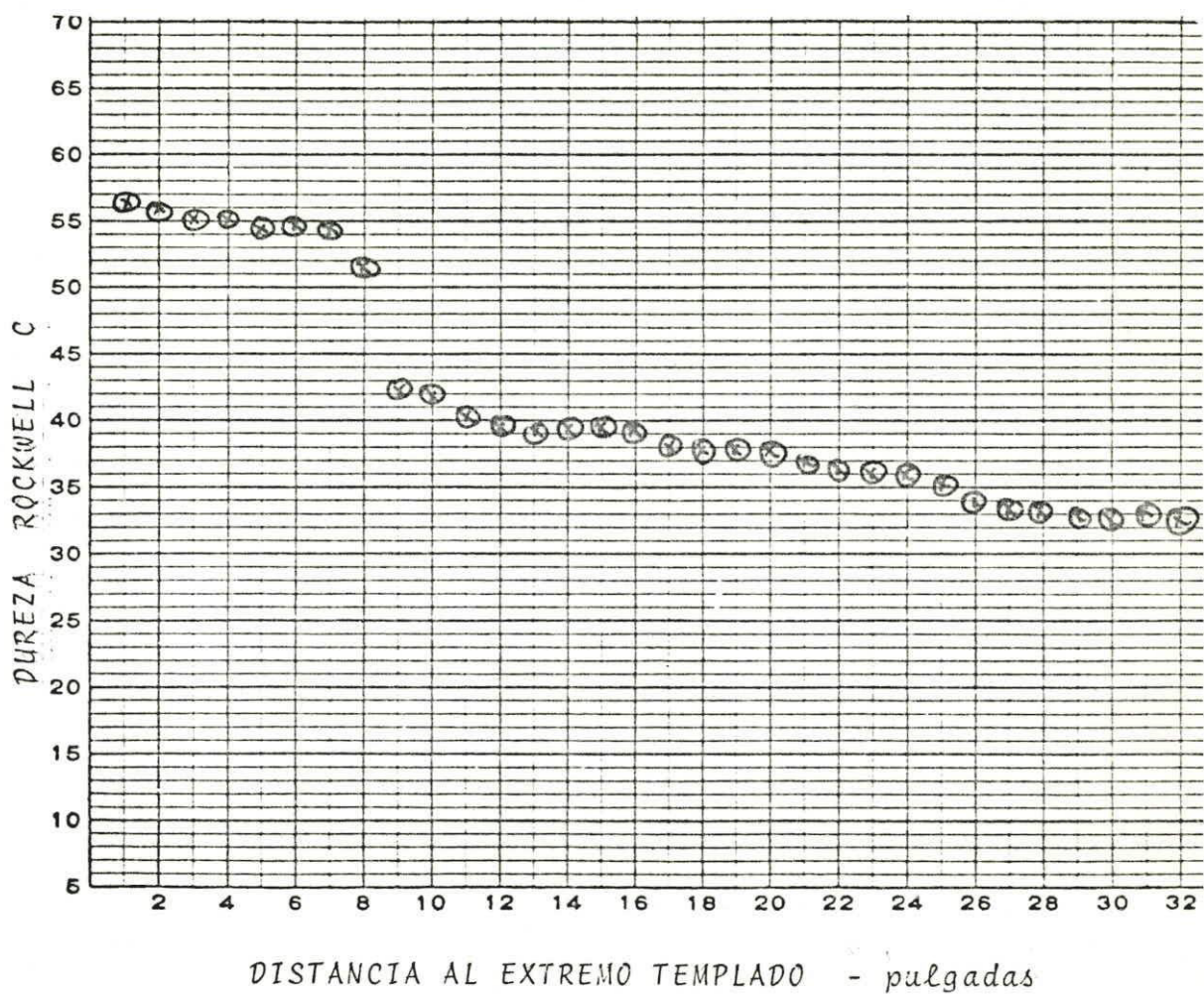
Presentó fisuras en el borde de contacto al ser templadas.

PROBETA # 103 F

DISTANCIA DEL EXTREMO	1/16	2/16	3/16	4/16	5/16	6/16	7/16	8/16
DUREZA ROCKWELL, C	56%	55	55	55	54.5	54	54.	50.8
DISTANCIA DEL EXTREMO	9/16	10/16	11/16	12/16	13/16	14/16	15/16	16/16
DUREZA ROCKWELL, C	42	41.9	40	39.1	38.8	39.8	39.	37.5
DISTANCIA DEL EXTREMO	17/16	18/16	19/16	20/16	21/16	22/16	23/16	24/16
DUREZA ROCKWELL, C	36.3	35.6	36	35.1	34.2	33.9	33.6	33.2
DISTANCIA DEL EXTREMO	25/16	26/16	27/16	28/16	29/16	30/16	31/16	32/16
DUREZA ROCKWELL, C	33	33	25.1	33.5	33.2	33.3	33.2	33.2

VALORES OBTENIDOS

CUADRO # 16



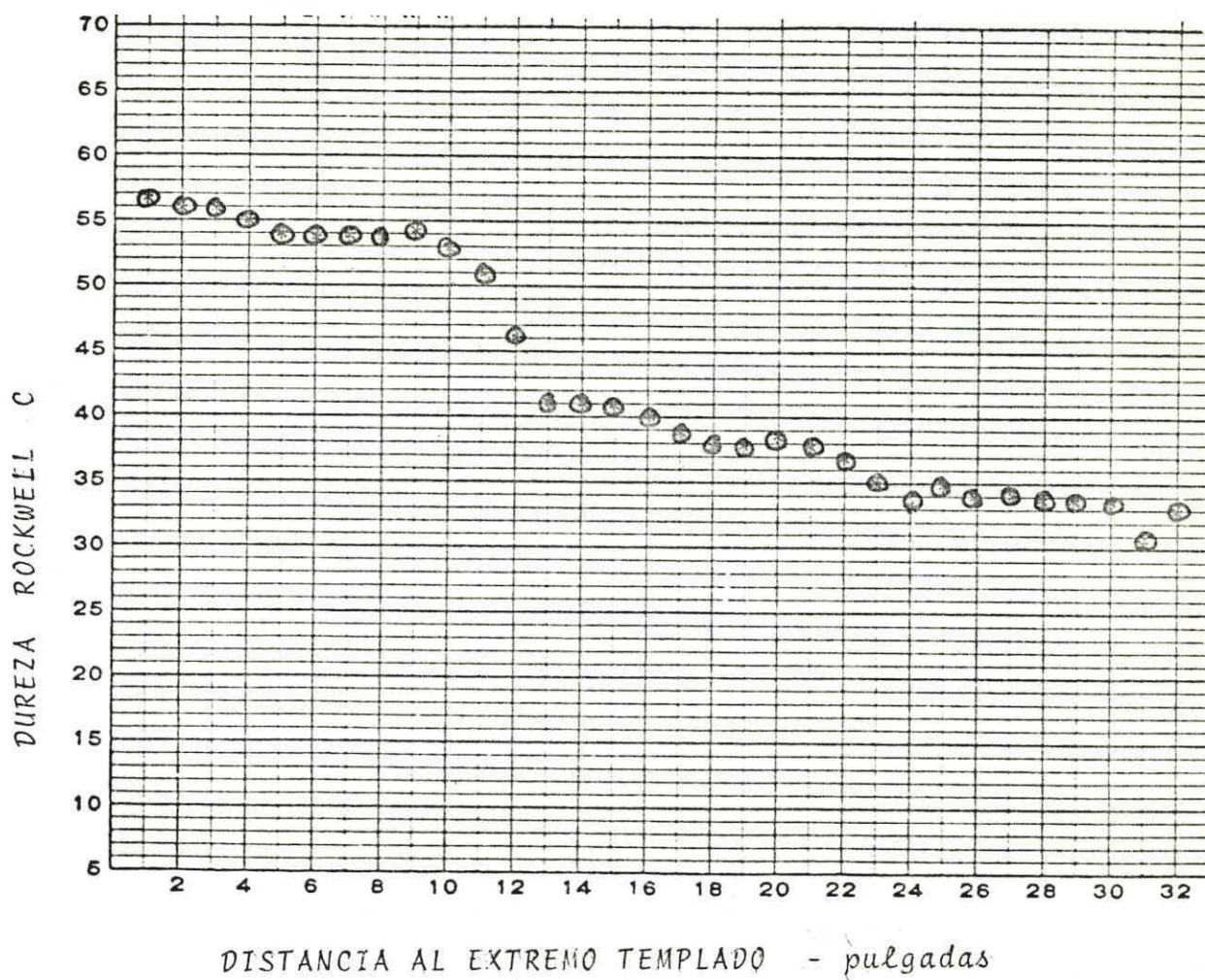
ENSAYO JOMINY PROBETA 103 F 1

FIGURA # 7

PROBETA # 103 F 2

DISTANCIA DEL EXTREMO	1/16	2/16	3/16	4/16	5/16	6/16	7/16	8/16
DUREZA ROCKWELL. C	57	55.8	55.8	54.8	54	53.8	54.	54.2
DISTANCIA DEL EXTREMO	9/16	10/16	11/16	12/16	13/16	14/16	15/16	16/16
DUREZA ROCKWELL. C	54.2	52.8	51	46	41	41	41	40
DISTANCIA DEL EXTREMO	17/16	18/16	19/16	20/16	21/16	22/16	23/16	24/16
DUREZA ROCKWELL. C	38.8	37.9	38	39	38	37	35	33
DISTANCIA DEL EXTREMO	25/16	26/16	27/16	28/16	29/16	30/16	31/16	32/16
DUREZA ROCKWELL. C	35	34	34.8	33.8	33.8	33	30	33

CUADRO # 17



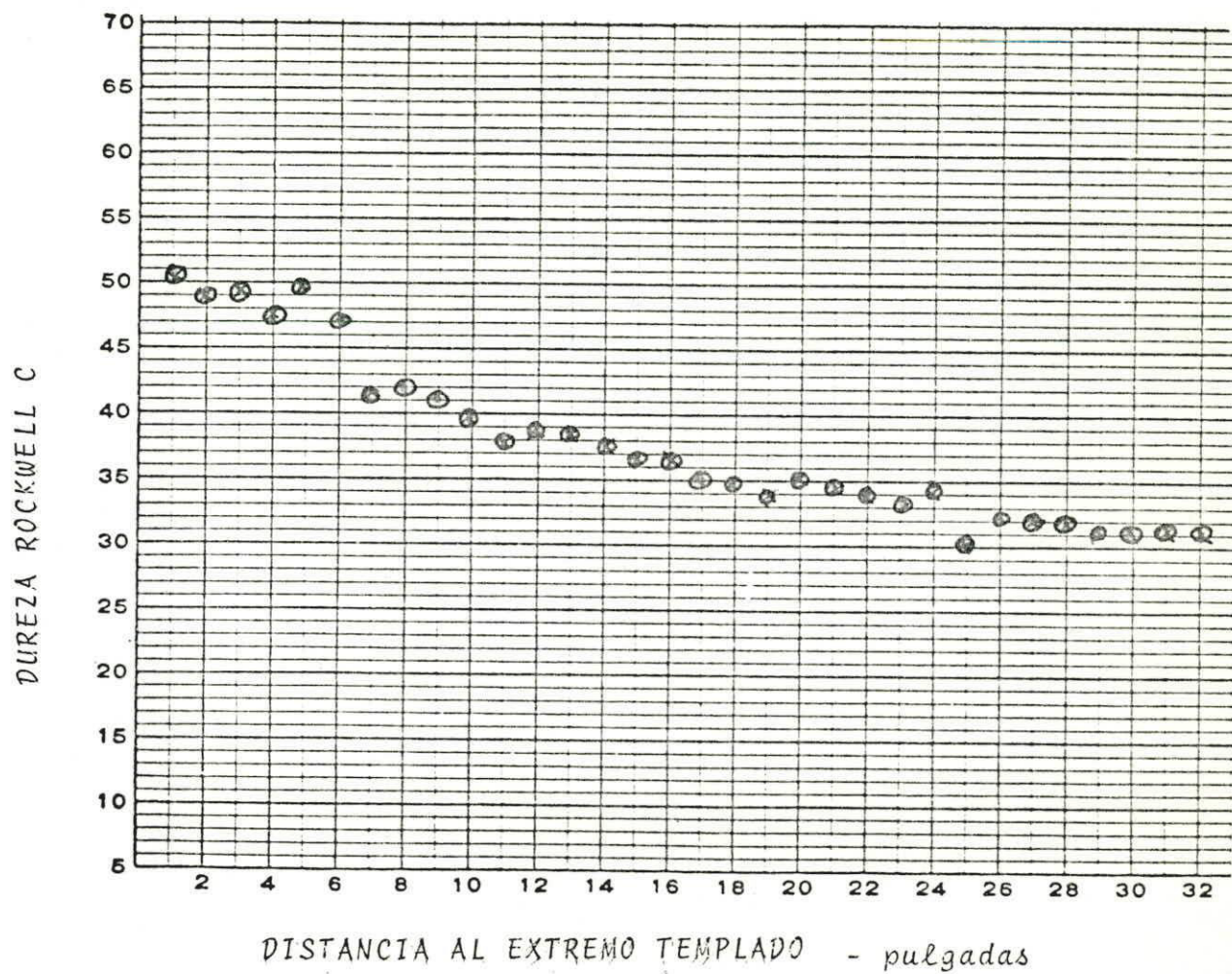
ENSAYO JOMINY PROBETA 103 F 2

FIGURA # 8

PROBETA # 103 F3

DISTANCIA DEL EXTREMO	1/16	2/16	3/16	4/16	5/16	6/16	7/16	8/16
DUREZA ROCKWELL. C	50.3	49	49.4	48	50	48	41	41.8
DISTANCIA DEL EXTREMO	9/16	10/16	11/16	12/16	13/16	14/16	15/16	16/16
DUREZA ROCKWELL. C	41	39.9	38	39.5	39	38	37	37
DISTANCIA DEL EXTREMO	17/16	18/16	19/16	20/16	21/16	22/16	23/16	24/16
DUREZA ROCKWELL. C	35	35	33.5	34.6	34.8	34.7	33.3	35
DISTANCIA DEL EXTREMO	25/16	26/16	27/16	28/16	29/16	30/16	31/16	32/16
DUREZA ROCKWELL. C	30	32.2	32	32	31	31	31.8	30.8

CUADRO # 18



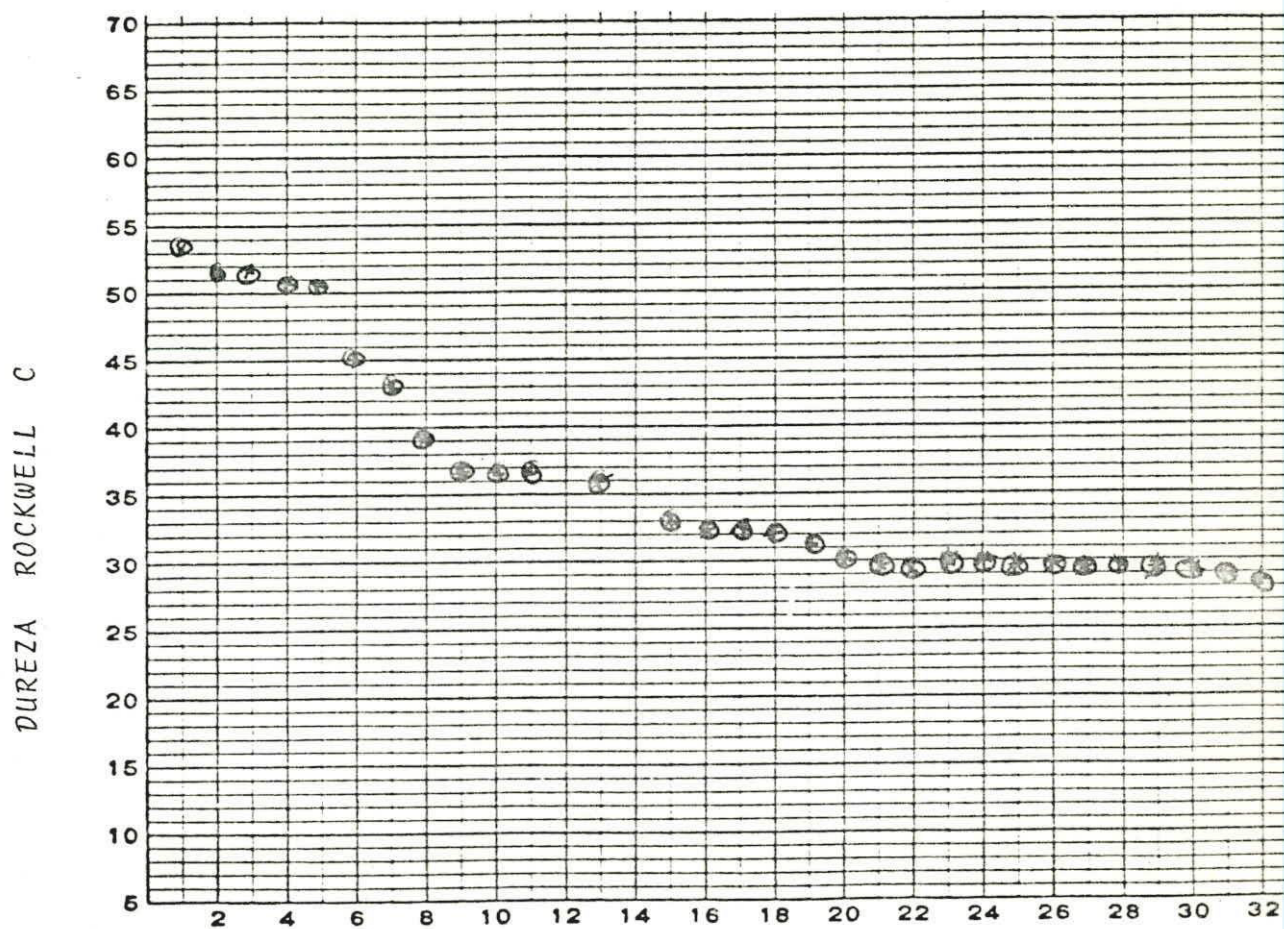
ENSAYO JOMINY PROBETA 103 F 3

FIGURA # 9

PROBETA 103 F 4

DISTANCIA DEL EXTREMO	1/16	2/16	3/16	4/16	5/16	6/16	7/16	8/16
DUREZA ROCKWELL. C	53.3	51.8	52	51	49.8	45	43	39
DISTANCIA DEL EXTREMO	9/16	10/16	11/16	12/16	13/16	14/16	15/16	16/16
DUREZA ROCKWELL. C	39	36.8	36.8	36	36	35	33	32
DISTANCIA DEL EXTREMO	17/16	18/16	19/16	20/16	21/16	22/16	23/16	24/16
DUREZA ROCKWELL. C	32.2	32	31.2	31	29.5	29.7	29	30
DISTANCIA DEL EXTREMO	25/16	26/16	27/16	28/16	29/16	30/16	31/16	32/16
DUREZA ROCKWELL. C	30	30	29.8	29.8	29	29	28.8	28.

CUADRO # 19



DISTANCIA AL EXTREMO TEMPLADO - pulgadas

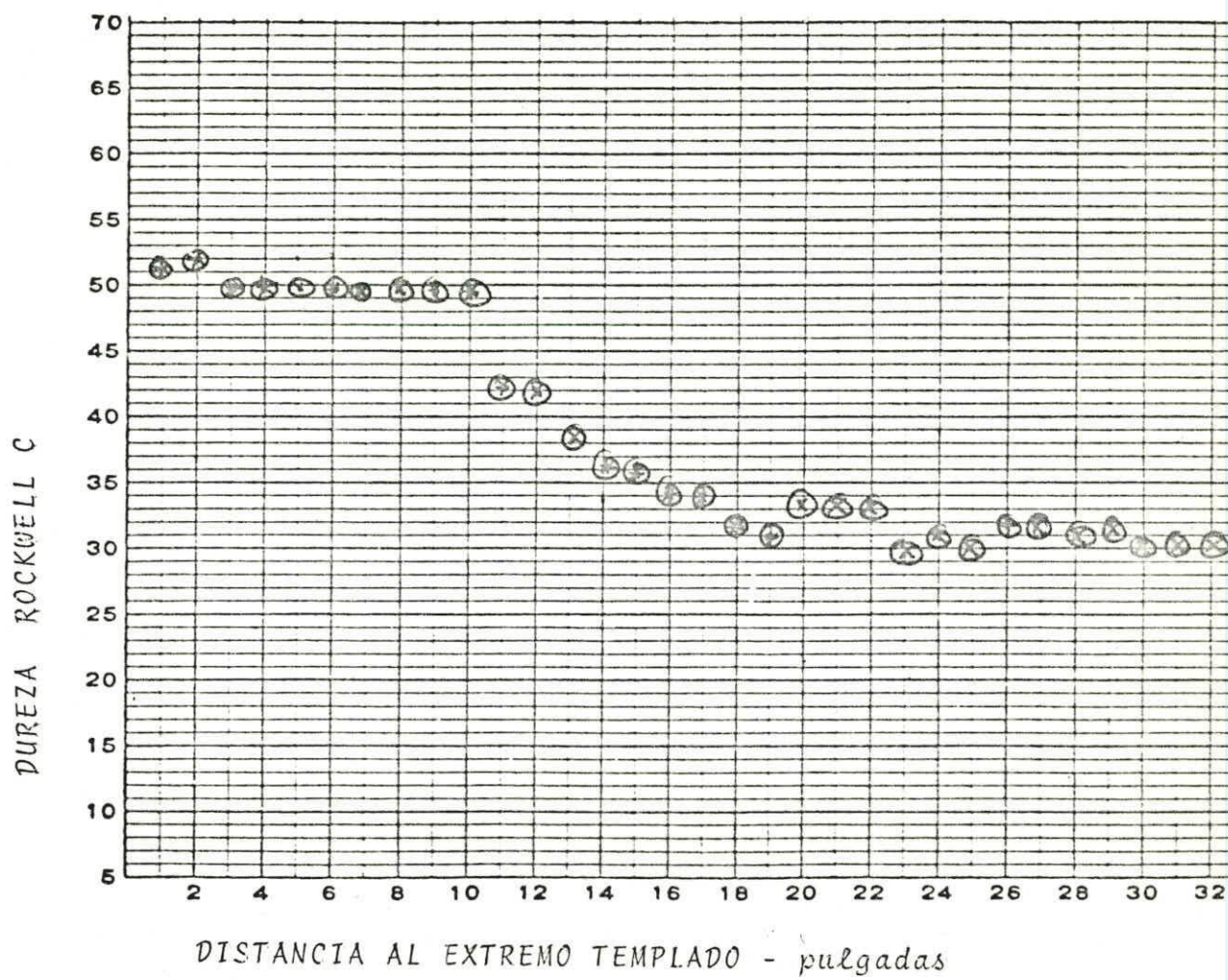
ENSAYO JOMINY PROBETA 103 F 4

FIGURA # 10

PROBETA # 103 F 5

DISTANCIA DEL EXTREMO	1/16	2/16	3/16	4/16	5/16	6/16	7/16	8/16
DUREZA ROCKWELL. C	50.9	52	49.4	50	52.5	53	50.2	50.8
DISTANCIA DEL EXTREMO	9/16	10/16	11/16	12/16	13/16	14/16	15/16	16/16
DUREZA ROCKWELL. C	50.1	48.2	42.3	42	38	33.5	36	34.5
DISTANCIA DEL EXTREMO	17/16	18/16	19/16	20/16	21/16	22/16	23/16	24/16
DUREZA ROCKWELL. C	33.8	32	31	33.4	33.4	33.6	29	31
DISTANCIA DEL EXTREMO	25/16	26/16	27/16	28/16	29/16	30/16	31/16	32/16
DUREZA ROCKWELL. C	30.0	32.1	32	31.3	32.2	30.0	30,	30.

CUADRO # 20



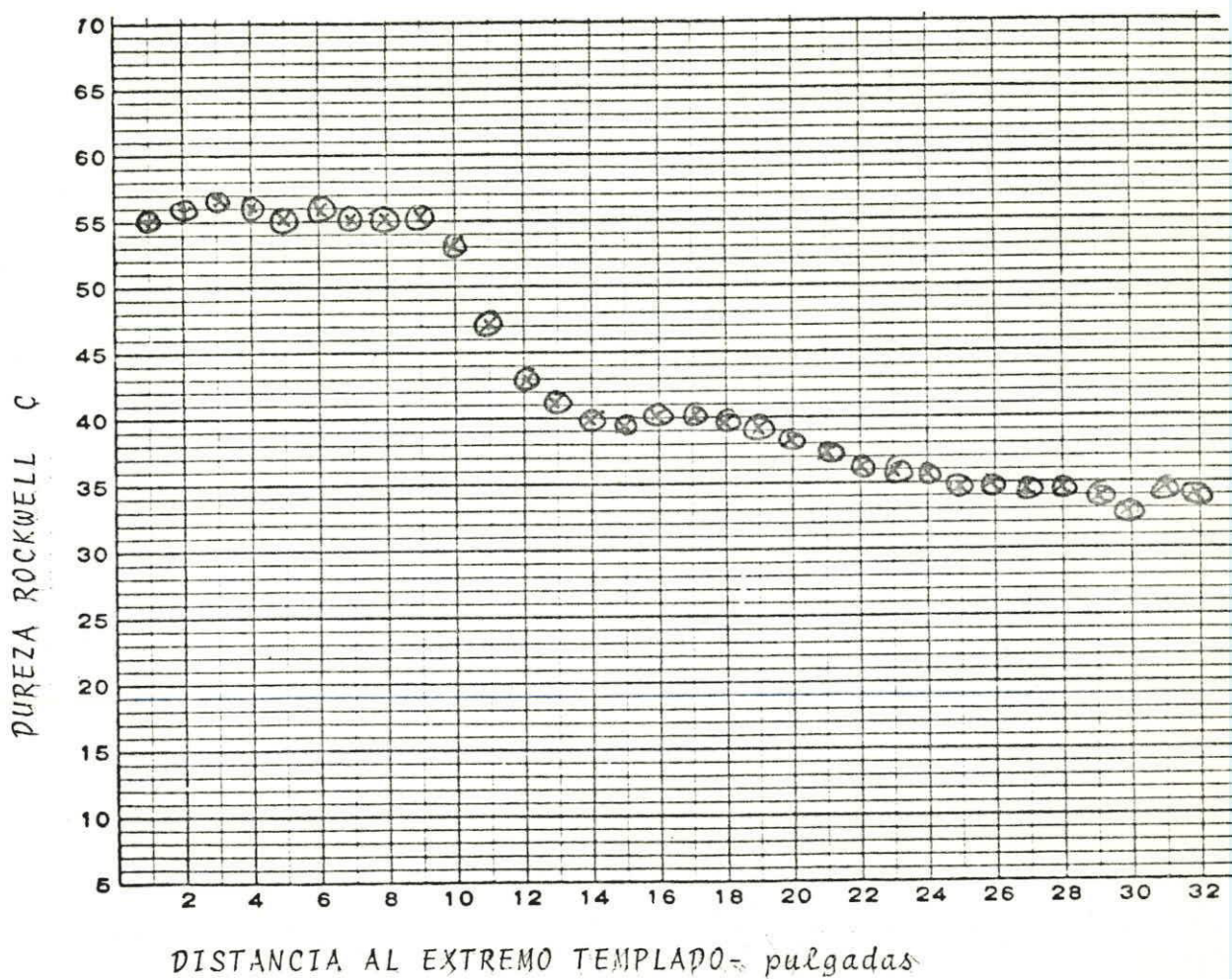
ENSAYO JOMINI PROBETA 103 F 5

FIGURA 11

PROBETA # 103 F 6

DISTANCIA DEL EXTREMO	1/16	2/16	3/16	4/16	5/16	6/16	7/16	8/16
DUREZA ROCKWELL. C	55	56	57	56	55	56	55	55
DISTANCIA DEL EXTREMO	9/16	10/16	11/16	12/16	13/16	14/16	15/16	16/16
DUREZA ROCKWELL. C	56	53	47	43	41.5	40	39.5	41.5
DISTANCIA DEL EXTREMO	17/16	18/16	19/16	20/16	21/16	22/16	23/16	24/16
DUREZA ROCKWELL. C	40.8	39.4	39.	38	37	36	36	36
DISTANCIA DEL EXTREMO	25/16	26/16	27/16	28/16	29/16	30/16	31/16	32/16
DUREZA ROCKWELL. C	34,9	35.2	34	35.1	33.2	32	35	33.5

CUADRO # 21



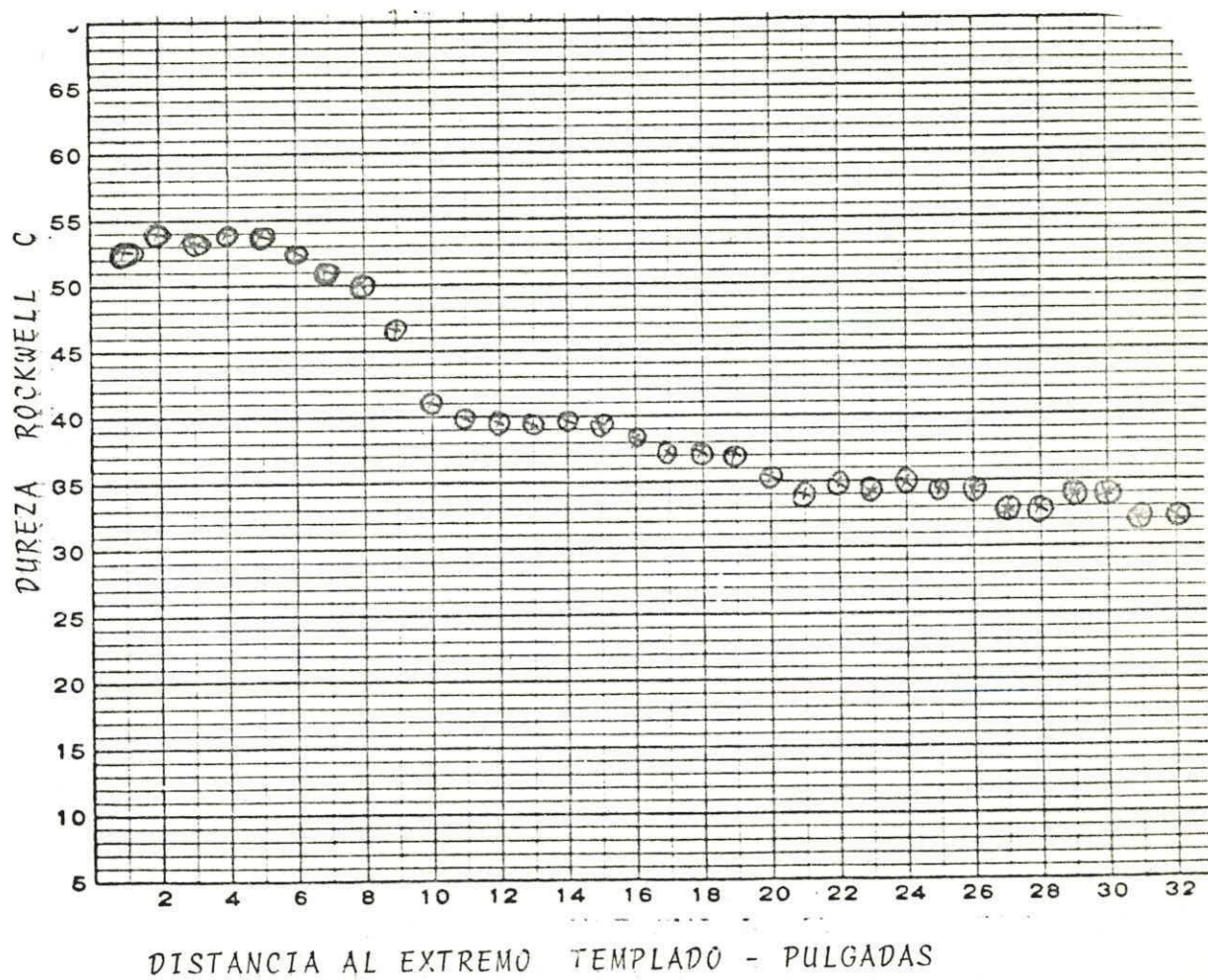
ENSAYO JOMINY PROBETA 103 F 6

FIGURA # 12

PROBETA # 103 F 7

DISTANCIA DEL EXTREMO	1/16	2/16	3/16	4/16	5/16	6/16	7/16	8/16
DUREZA ROCKWELL. C	52.5	54	53	54.3	54.5	53	51.9	51
DISTANCIA DEL EXTREMO	9/16	10/16	11/16	12/16	13/16	14/16	15/16	16/16
DUREZA ROCKWELL. C	46	40.5	39.8	40	39	40	38.7	37.5
DISTANCIA DEL EXTREMO	17/16	18/16	19/16	20/16	21/16	22/16	23/16	24/16
DUREZA ROCKWELL. C	37.3	37.2	37	35.2	34	35.1	33	34
DISTANCIA DEL EXTREMO	25/16	26/16	27/16	28/16	29/16	30/16	31/16	32/16
DUREZA ROCKWELL. C	34.7	34.9	32.3	32	34.1	34.2	32	32.

CUADRO # 22

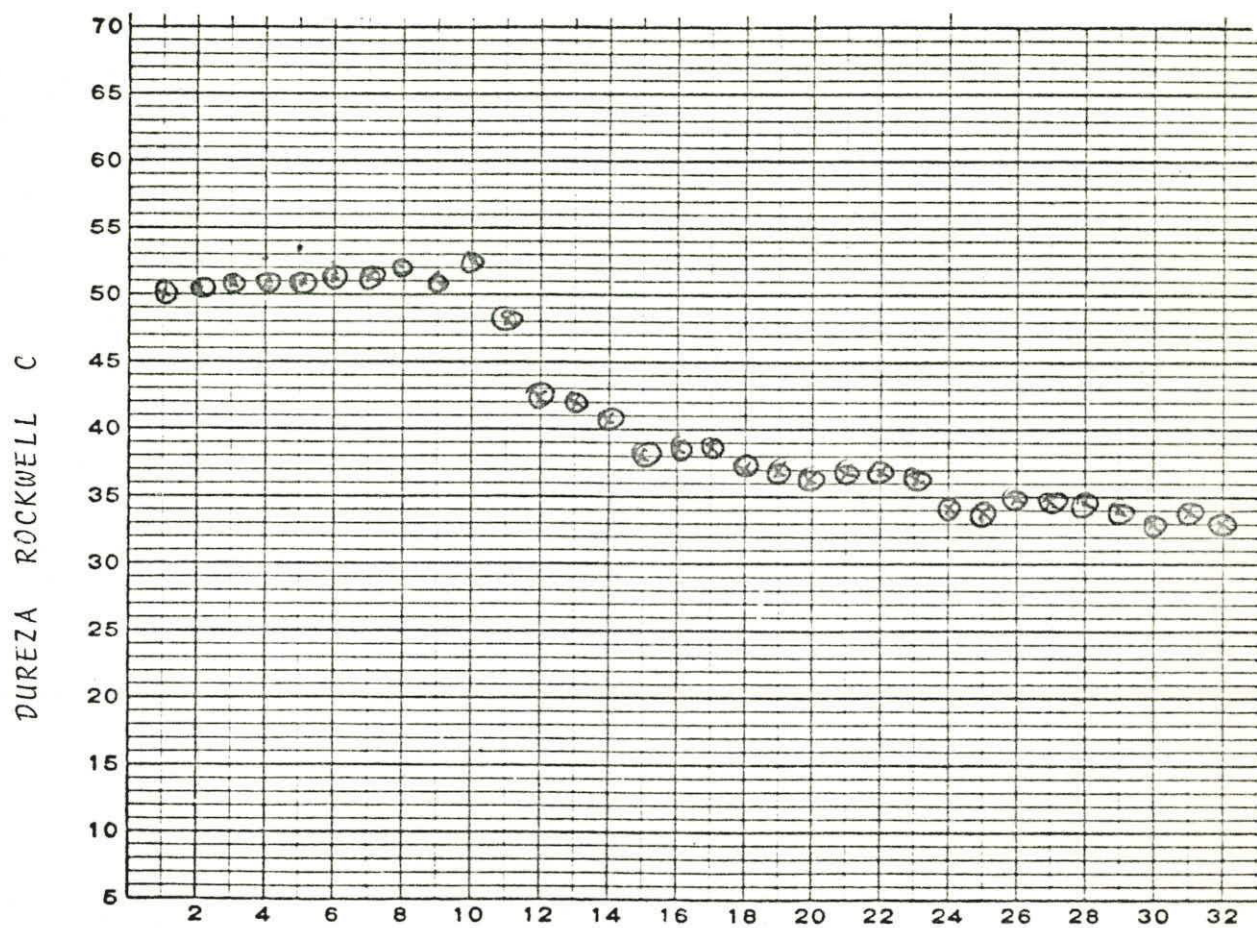


ENSAYO JOMINY PROBETA 103 F 7

FIGURA # 13

PROBETA # 103 F 8

DISTANCIA DEL EXTREMO	1/16	2/16	3/16	4/16	5/16	6/16	7/16	8/16
DUREZA ROCKWELL. C	50	50.5	52.7	53.5	52.6	52	51.3	52.6
DISTANCIA DEL EXTREMO	9/16	10/16	11/16	12/16	13/16	14/16	15/16	16/16
DUREZA ROCKWELL. C	51	52.8	48	42	42	40.5	37.8	39.8
DISTANCIA DEL EXTREMO	17/16	18/16	19/16	20/16	21/16	22/16	23/16	24/16
DUREZA ROCKWELL. C	39.1	37	36.5	36	37	36.8	36	33.1
DISTANCIA DEL EXTREMO	25/16	26/16	27/16	28/16	29/16	30/16	31/16	32/16
DUREZA ROCKWELL. C	33	35	34.2	34.7	33.8	32.3	34.2	32



DISTANCIA AL EXTREMO TEMPLADO - pulgadas

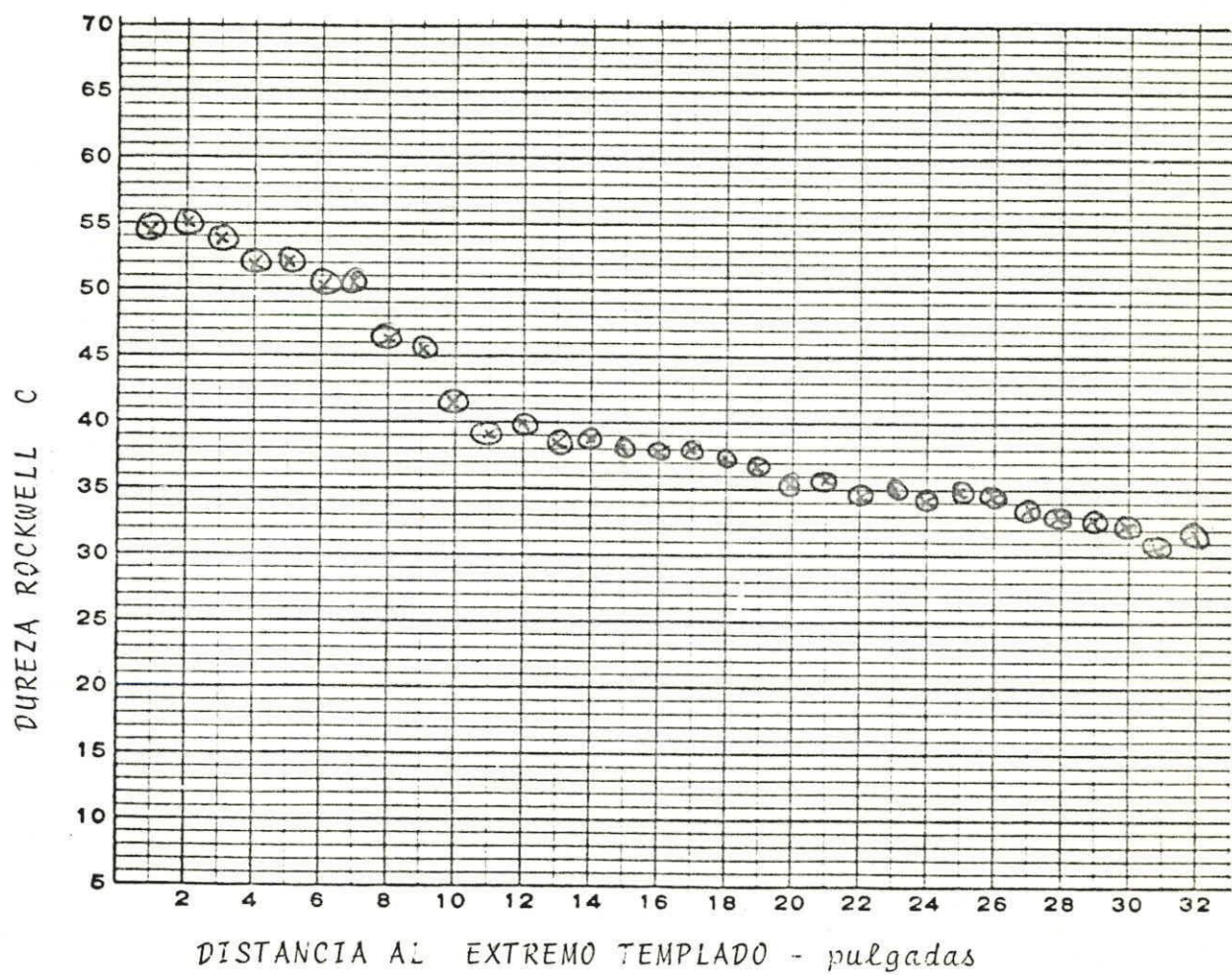
ENSAYO JOMINY PROBETA 103 F 8

FIGURA # 14

PROBETA # 103 F 9

DISTANCIA DEL EXTREMO	1/16	2/16	3/16	4/16	5/16	6/16	7/16	8/16
DUREZA ROCKWELL. C	54.5	55	53.2	52.1	52.0	50	50.6	46.2
DISTANCIA DEL EXTREMO	9/16	10/16	11/16	12/16	13/16	14/16	15/16	16/16
DUREZA ROCKWELL. C	45.6	41.5	39.3	40.1	38.6	39	38.2	38
DISTANCIA DEL EXTREMO	17/16	18/16	19/16	20/16	21/16	22/16	23/16	24/16
DUREZA ROCKWELL. C	38	37.3	36.8	35.1	36	34.1	35.2	34.1
DISTANCIA DEL EXTREMO	25/16	26/16	27/16	28/16	29/16	30/16	31/16	32/16
DUREZA ROCKWELL. C	35	34.8	33.5	33	32.9	32.2	30.2	31.6

CUADRO # 24

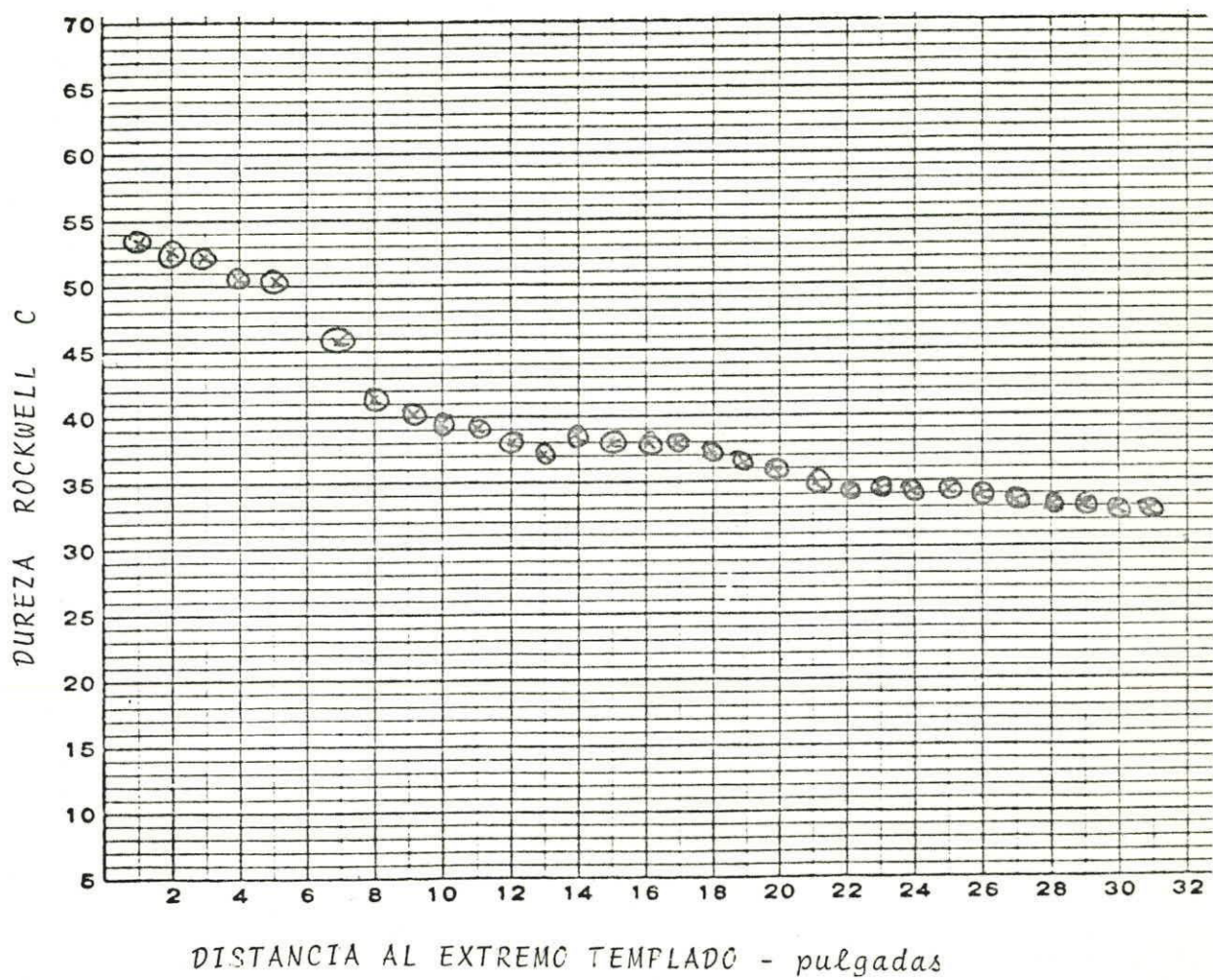


ENSAYO JOMINY PROBETA 103 F 9

FIGURA # 15

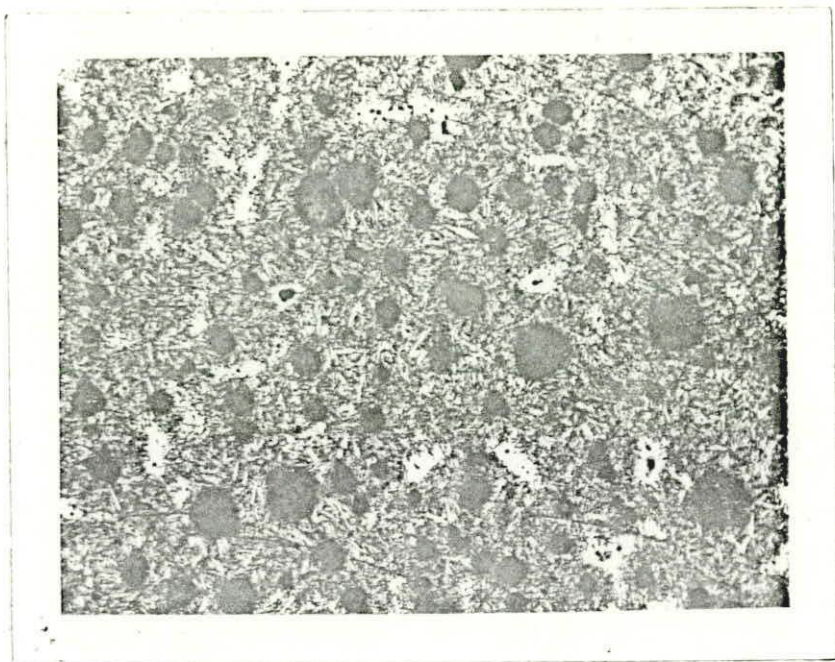
PROBETA # 103 F 0

DISTANCIA DEL EXTREMO	1/16	2/16	3/16	4/16	5/16	6/16	7/16	8/16
DUREZA ROCKWELL. C	53	52	52.1	50.1	50.1	46	45.6	41.2
DISTANCIA DEL EXTREMO	9/16	10/16	11/16	12/16	13/16	14/16	15/16	16/16
DUREZA ROCKWELL. C	40	38.9	39.1	38	37.2	39	38.2	38
DISTANCIA DEL EXTREMO	17/16	18/16	19/16	20/16	21/16	22/16	23/16	24/16
DUREZA ROCKWELL. C	38.3	37	36.5	36	35	34	35	34
DISTANCIA DEL EXTREMO	25/16	26/16	27/16	28/16	29/16	30/16	31/16	32/16
DUREZA ROCKWELL. C	34.8	34	33.5	33.0	33.5	32	33	30



ENSAYO JOMINY PROBETA 103 F 0

FIGURA # 16



100 X

NITAL al 3%

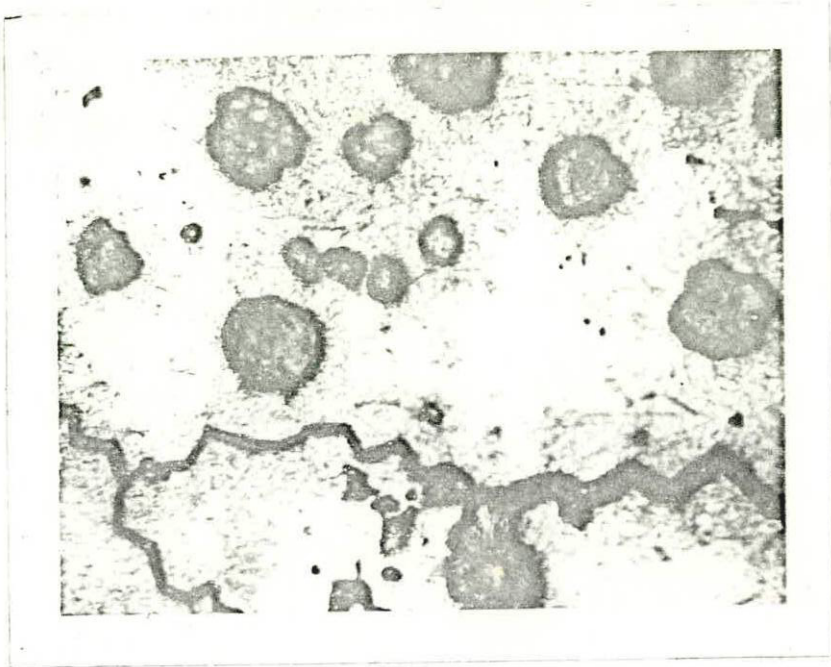
MICROFOTOGRAFIA N= 8

FUNDICION NODULAR

PROBETA 103 F

Estudio metalografico de una probeta de hierro fundido nodular una vez efectuado el ensayo de Jominy.

Se observa estructura Martensitica Acicular con zonas de austenita retenida.



200 X

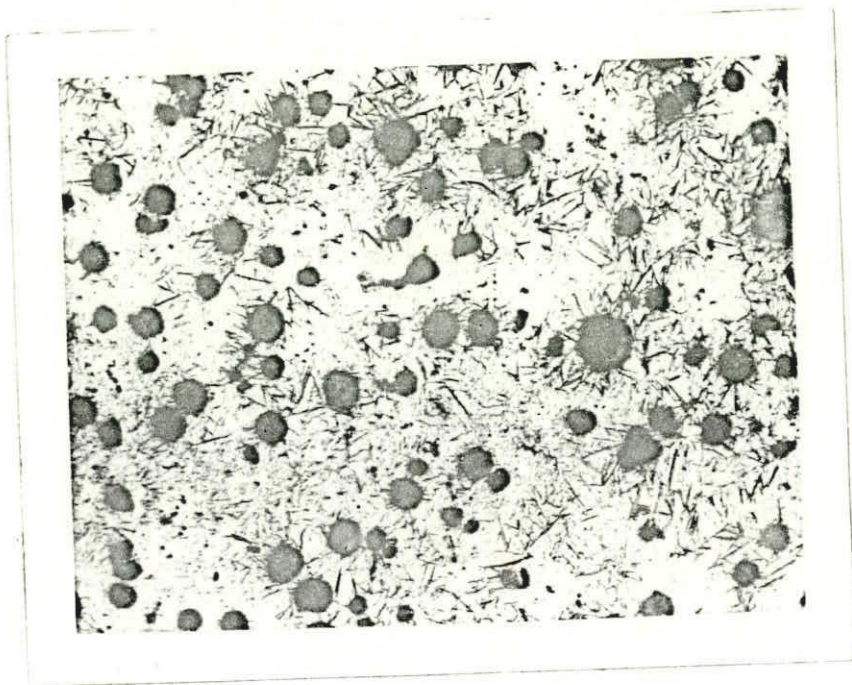
NITAL al 3%

MICROFOTOGRAFIA N= 9

FUNDICION NODULAR

PROBETA 103 F

En está probeta se observa fisura de temple debido a una severidad del temple, el mismo que se realizó en agua a temperatura ambiente.



100 X

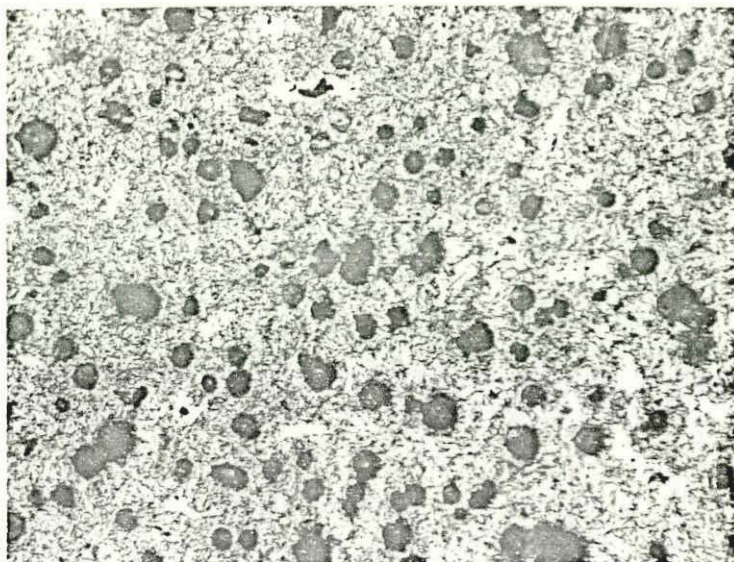
NITAL al 3%

MICROFOTOGRAFIA N= 10

FUNDICION NODULAR

PROBETA 103 F

*Templada en agua a 1/2 pulgada del extremo
templado en el ensayo de Jominy.*



100 X

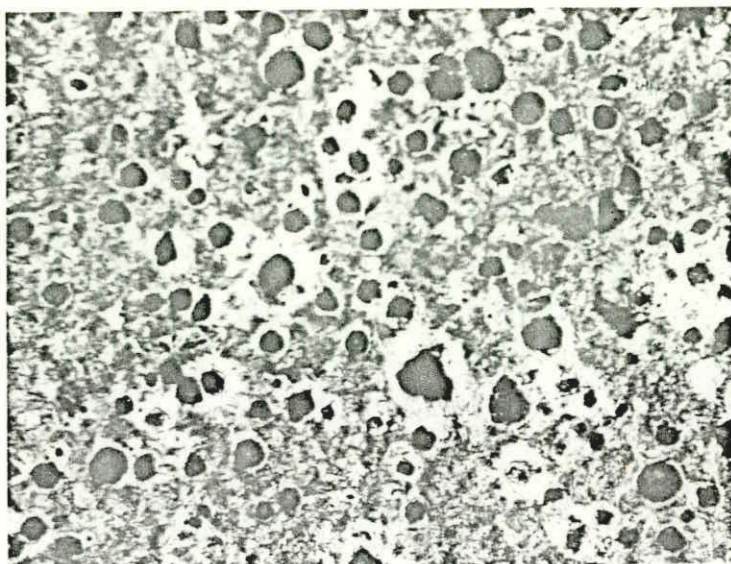
NITAL al 3%

MICROFOTOGRAFIA N= 11

FUNDICION NODULAR

PROBETA 103 F

*Templada en agua a 1 pulgada del extremo
templado en el ensayo de Jominy.*



100 X

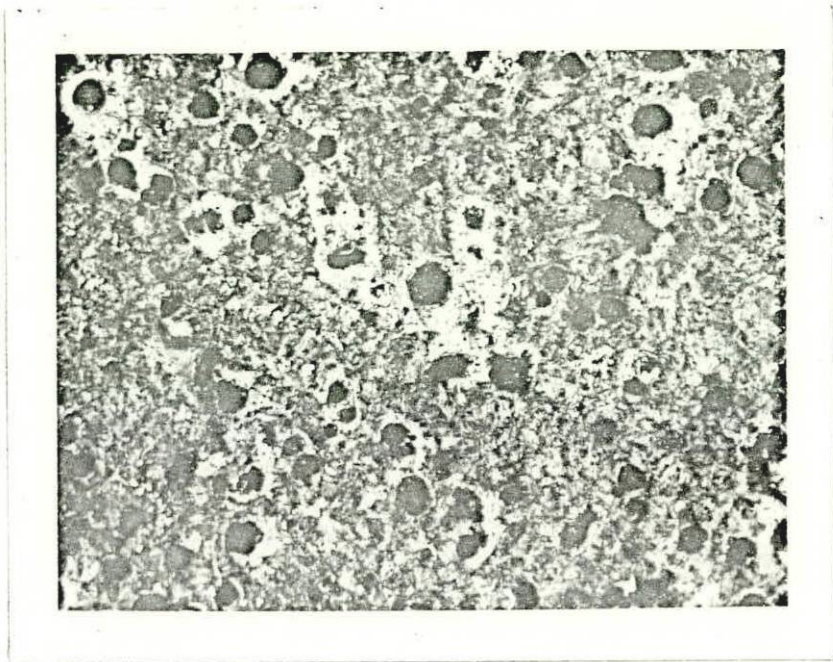
NITAL al 3%

MICROFOTOGRAFIA N= 12

FUNDICION NODULAR

PROBETA 103 F

Templada en agua a 1 1/2 pulgada de extremo
templada en el ensayo de Jominy.



100 X

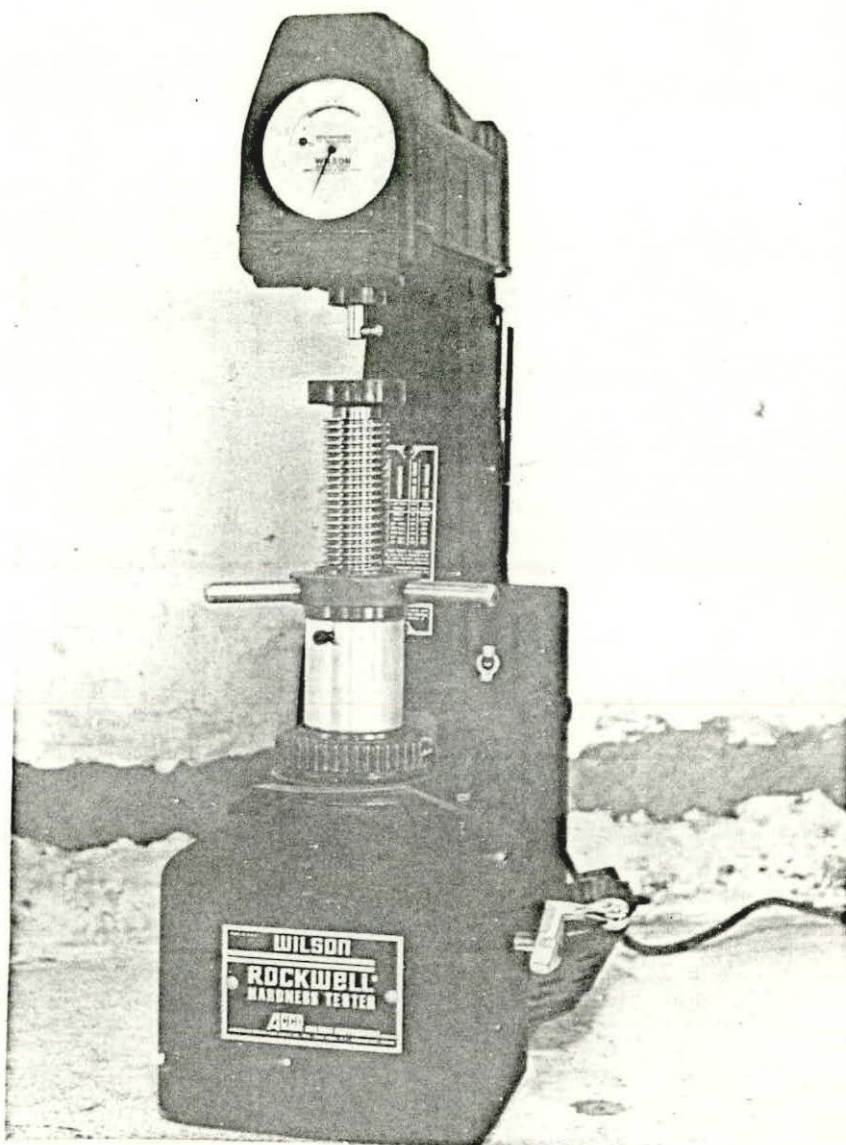
NITAL al 3%

MICROFOTOGRAFIA N= 13

FUNDICION NODULAR

PROBETA 103 F

Templada en agua a 2 pulgadas del extremo
templada en el ensayo de Jominy.



MAQUINA PARA MEDIR DUREZA ROCKWELL

FOTO # 14

2.4.2 TEMPLE Y REVENIDO

Con el fin de lograr eliminar las tensiones internas y aumentar la tenacidad en el material se acostumbra a realizar este tratamiento, obteniendo tanto en la fundición dúctil como en el acero Moldeado mejores características en las propiedades mecánicas.

El temple en la fundición dúctil se hace calentando a una temperatura de austenización - de 950°C y enfriándolo rápidamente en aceite a una temperatura de 550°C .

El Revenido se hace calentando las piezas de fundición dúctil templada y luego enfriadas - al aire.

En el material de Acero Moldeado se hace el temple a una temperatura de 850°C y enfriado rápidamente en aceite.

El Revenido se calentó el material templado a una temperatura de 500°C y luego se enfrió al aire.

A continuación se da un estudio metalográfico y ensayo de tracción, ensayo Charpy, ensayo de Dureza para los materiales investigados



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Apartado 5863 Guayaquil Ecuador

Lab. Ensayo de Materiales

Solicitado por: GEORGE W. TOALA BANCHON
Material: ACERO MOLDEADO MEDIO CONTENIDO DE CARBON
Temp. de ensayo: TEMPERATURA AMBIENTE
Velocidad de ensayo: 10 m.m/ min
Equipo usado: INSTRON 1128
Fecha:

ENSAYO DE TENSION

Observaciones: PROBETA 102 A
Norma:
Grado:
Resistencia a la tracción:
Límite de fluencia:
Alargamiento:

Probeta No.	Diámetro de la muestra		Sección de la probeta	Longitud inicial	Longitud final	Límite de fluencia	Resistencia a la tracción	Resistencia a la rotura	Alargamiento		OBSERV
	mm	mm							kgf/mm ²	o/o	
102 A	6.70	98.56	35.25	100.6	80	92.10	92	92	2.4		
102 A	6.88	97.86	36.31	100	78.90	90.50	90	90	2.6		



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Apartado 5863 Guayaquil Ecuador

Lab. Ensayo de Materiales

Solicitado por: GEORGE W. TOALA BANCHON

Material: FUNDICION NODULAR

Temp. de ensayo: TEMPERATURA AMBIENTE

Velocidad de ensayo: 10 mm. / mñ.

Equipo usado: INSTRON 1128

Fecha:

ENSAYO DE TENSION

Observaciones: PROBETA 102 F

Norma:

Grado:

Resistencia a la tracción:

Límite de fluencia:

Alargamiento:

Probeta No.	Diámetro de la muestra	Sección de la probeta	Longitud Inicial	Longitud final	Límite de fluencia	Resistencia a la tracción	Resistencia a la rotura	Alargamiento		OBSERVAC
									o/o	
102 F	6.58	34.00	107.90	108	74.80	96.70	96.70		1.00	
102 F	6.80	36.31	106.28	108	72.50	95.80	95.80		1.40	

ENSAYO CHARPY

Material: Acero Moldeado de Medio Contenido de Carbono

Composición Química:

0,44% C 1,36% Mn 0,34% Si 0,022 P 0,02 S

DIMENSIONES DE LA PROBETA

55 m.m Largo

10 m.m Ancho

10 m.m Alto

Tratamiento Térmico: Temple y Revenido

Templado en Aceite

Temperatura de Austenización 850°C

Tiempo en el Horno: 1 Hora

Temperatura de Revenido: 500°C

Tiempo en el Horno: 1 Hora

RESULTADOS

PROBETA	IMPACTO Kgm
102 A	1.52
102 A	1.50
102 A	1.50

CUADRO # 28

ENSAYO CHARPY

Material: Fundición Nodular

Composición Química:

3,20% C 0,55 Mn 2,5 Si 0,02 S 0,04 P

DIMENSIONES DE LA PROBETA

55 m.m Largo

10 m.m Ancho

10 m.m Alto

Tratamiento Térmico: Temple y Revenido

Templado en Aceite

Temperatura de Austenización: 900°C

Tiempo en el Horno: 1 Hora

Temperatura de Revenido: 500°C

Tiempo en el Horno: 1 Hora

RESULTADOS

PROBETA	IMPACTO Kgm/ cm ²
102 F	0.92
102 F	0.90
102 F	0.90

ENSAYO DE DUREZA

Material: Acero Moldeado de Medio Contenido de Carbono

Composición Química:

0,44% C 1,36% Mn 0,34% Si 0,022 P 0,02 S

DIMENSIONES DE LA PROBETA

Diámetro: 1 pulgada

Largo 1 pulgada

Tratamiento Térmico: Temple y Revenido

Templado en Aceite

Temperatura de Austenización 850°C

Tiempo en el Horno: 1 Hora

Temperatura de Revenido: 500°C

Tiempo en el Horno: 1 hora

RESULTADOS

PROBETA	DUREZA ROCWELL C
102 A	25
102 A	24
102 A	28

ENSAYO DE DUREZA

Material: Fundición Nodular

Composición Química:

3,20% C 0,55 Mn 2,5 Si 0,02 S 0,04 P

DIMENSIONES DE LA PROBETA

Diámetro: 1 pulgada

Largo 1 pulgada

Tratamiento Térmico: Temple y Revenido

Templado en Aceite

Temperatura de Austenización 900°C

Tiempo en el Horno: 1 Hora

Temperatura de Revenido 500°C

Tiempo en el Horno: 1 Hora

RESULTADOS

PROBETA	DUREZA ROCKWELL C
102 F	35
102 F	38
102 F	39
PROMEDIO	37

CUADRO # 30

2.4.3 CONTROL DE PROPIEDADES

Las propiedades mecánicas de los materiales varían al ser sometidas al temple.

El control de las propiedades mecánicas se ha efectuado a la fundición nodular templada a una temperatura de austenización de 950°C en aceite con agitación moderada, manteniendo en el horno el tiempo según las dimensiones de la probeta.

Aunque tenemos los datos anteriores de templabilidad, realizamos en ensayo de dureza a una pequeña probeta para verificar datos.

En el estudio microfotográfico podemos ver claramente la microestructura martensítica junto al nódulo de gráfita.

Obtuvimos datos de alargamiento y esfuerzo de tracción.

Los datos de resiliencia de esta probeta de fundición nodular están dados en el ensayo Charpy.

Para hacer un control de las propiedades mecánicas del Acero Moldeado templado se llevo las probetas a temperatura de austenización de 850°C .

2.5 COMPARACION DEL ACERO MOLDEADO Y LA FUNDICION NODULAR

De todas las experiencias realizadas en cada uno de los materiales, hemos tomado datos que fácilmente podemos tabularlos.

Los cuadros que elaborados tanto para la fundición nodular y el Acero Moldeado se han tomado en cuenta cada uno de los ensayos, en algunos casos cuando se han hecho varias pruebas se anotan valores medios, algunos se han desechado porque no corresponden a los otros anteriormente encontrado.

Junto a cada uno de los materiales que se han investigado se ha colocado la microfotografía correspondiente.

En los gráficos de la banda de templabilidad se ha considerado colocarlo en esta sección juntos, tanto la del Acero Moldeado como la del Hierro Nodular.

PRUEBA N= 1

ACERO MOLDEADO SIN TRATAMIENTO TERMICO
SAE 1040

PROBETAS: 100 A

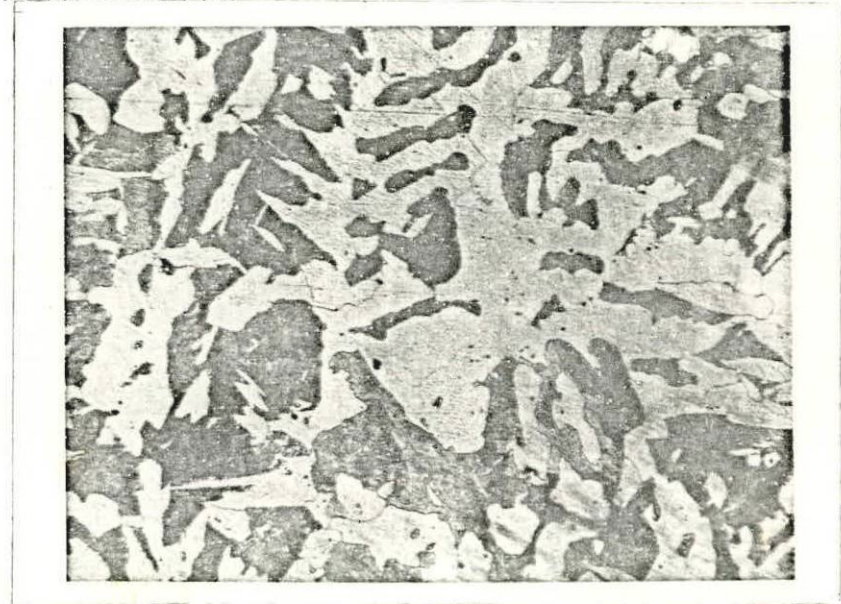
COMPOSICION QUIMICA

C	Si	Mn	P	S
0.44%	0,34%	0,36%	0,035%	0,02%

PROPIEDADES MECANICAS

Resistencia Tracción Kg/mm	Límite Fluencia Kg/mm	% Alargam.	Dureza BHN	Resisten Impacto Kg-m
67,81	47,83	8,6	160	1.0
68.72	48,55	8,2	163	1.2

METALOGRAFIA



200 X

NITAL 3%

FOTO # 15



PRUEBA N= 2

ACERO MOLDEADO

SAE 1040

PROBETA 101 A

TRATAMIENTO TERMICO: RECOCIDO

TEMPERATURA DE RECOCIDO: 850°C

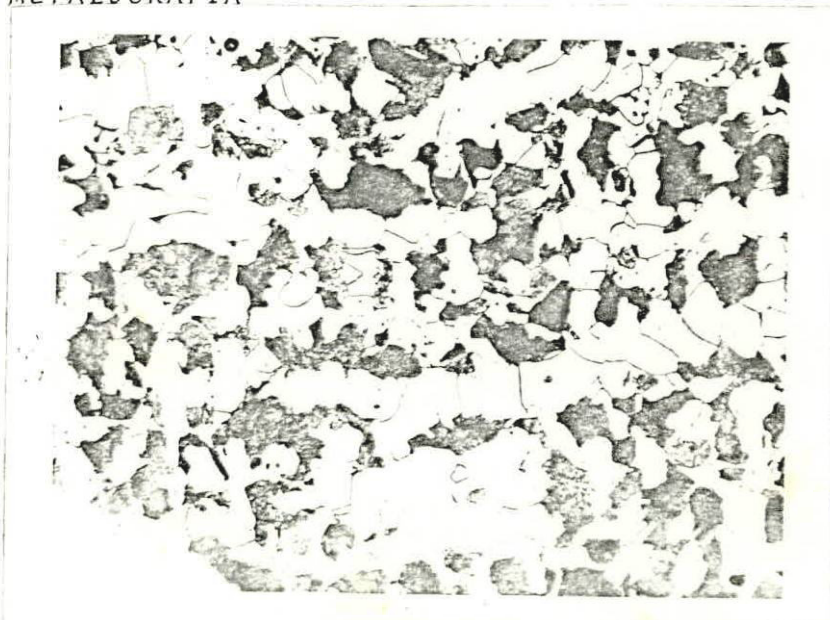
COMPOSICION QUIMICA:

C	Si	Mn	P	S
0,44%	0,34%	0,36%	0,022%	0,02

PROPIEDADES MECANICAS

Resistencia Tracción	Límite Fluencia	% Alargam.	Dureza BHn	Resisten Impacto
Kg/mm	Kg/mm			Kg-m
61.63	46.7	11.2	135	2.3
60.72	45.8	11.5	132	2.5

METALOGRAFIA



200 X

NITAL 5%

FOTO # 16

PRUEBA N= 3

ACERO MOLDEADO

SAE 1040

PROBETA 102 A

TRATAMIENTO TERMICO: TEMPLE Y REVENIDO

TEMPERATURA TEMPLE: 250°C

TEMPERATURA REVENIDO 550°C

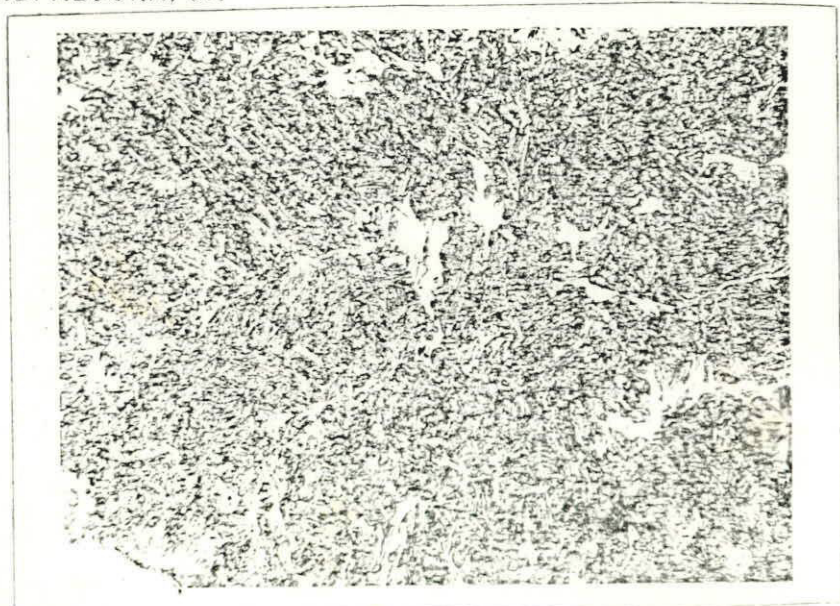
COMPOSICION QUIMICA:

C	Si	Mn	P	S
0,44%	0,34%	0,36%	0,022%	0,02

PROPIEDADES MECANICAS

Resistencia Tracción	Límite Fluencia	% Alargam.	Dureza BHn	Resisten. Impacto
Kg/mm	Kg/mm			Kg-m
92,10	80	2,4	283	1,52
90.50	78,90	2,6	290	1,50

METALOGRAFIA



200 X

NITAL 5%

FOTO # 17

PRUEBA N= 4

FUNDICION NODULAR SIN TRATAMIENTO TERMICO

PROBETA 100 F

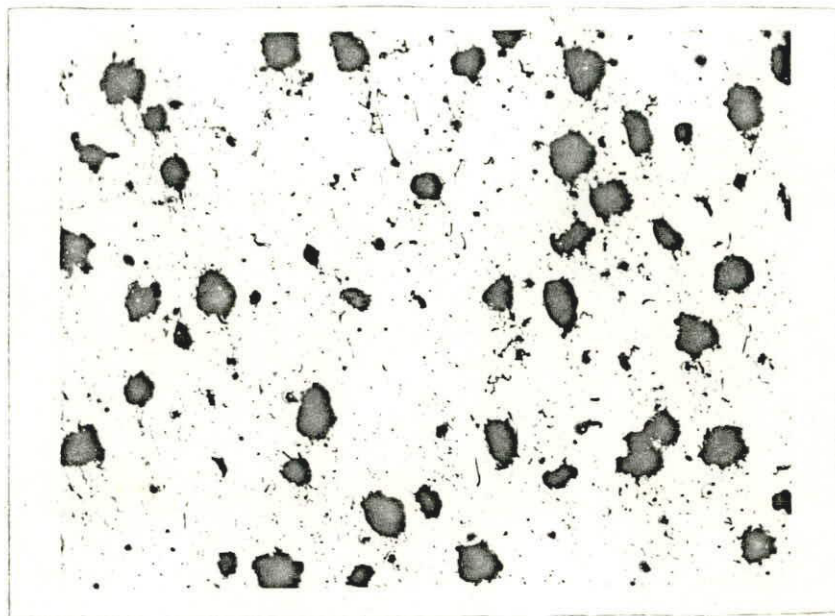
COMPOSICION QUIMICA:

C	Si	Mn	P	S
3.2%	2.50%	0.55%	0,04%	0,025%

PROPIEDADES MECANICAS

Resistencia Tracción Kg/mm	Límite Fluencia Kg/mm	% Alargam.	Dureza BHn	Resisten. Impacto Kg-m
68	45	4.0	170	.75
67	42	4.2	168	.80

METALOGRAFIA



50 X

NITAL 5%
SIN ATAQUE

FOTO # 18

PRUEBA N= 5

FUNDICION NODULAR

PROBETA 101 F

TRATAMIENTO TERMICO: RECOCIDO

TEMPERATURA DE RECOCIDO: 900°C

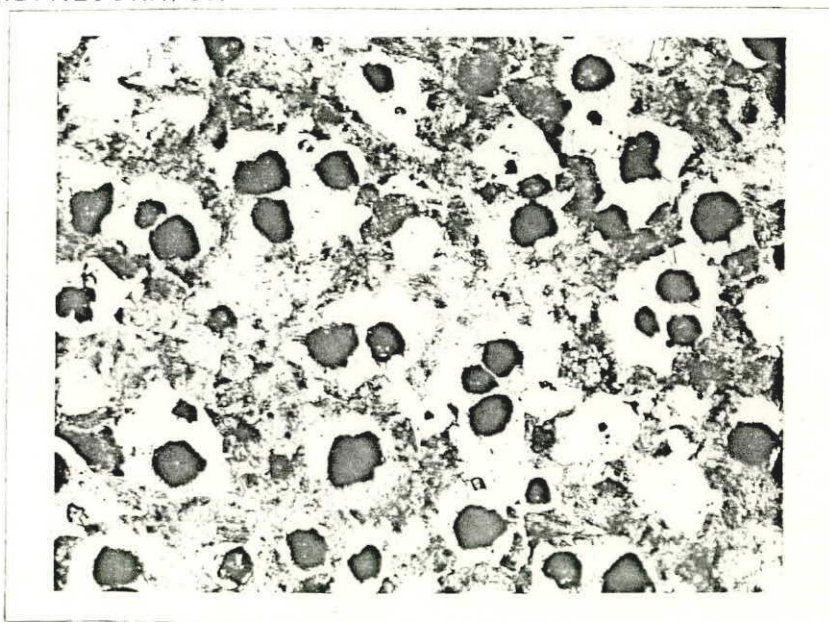
COMPOSICION QUIMICA:

C	Si	Mn	P	S
3.2%	2.50%	0,55%	0,04%	0,025%

PROPIEDADES MECANICAS

Resistencia Tracción Kg/mm	Límite Fluencia Kg/mm	% Alargam.	Dureza BHn	Resisten. Impacto Kg-m
.64	41	8.9	153	1,20
64	40	8,8	155	1,00

METALOGRAFIA



200 X

NITAL 5%

FOTO # 19

PRUEBA N= 6

FUNDICION NODULAR

PROBETA 102 F

TRATAMIENTO TERMICO: TEMPLE Y REVENIDO

TEM. TEMPLE: 900°C

TEM. REVENIDO: 550°C

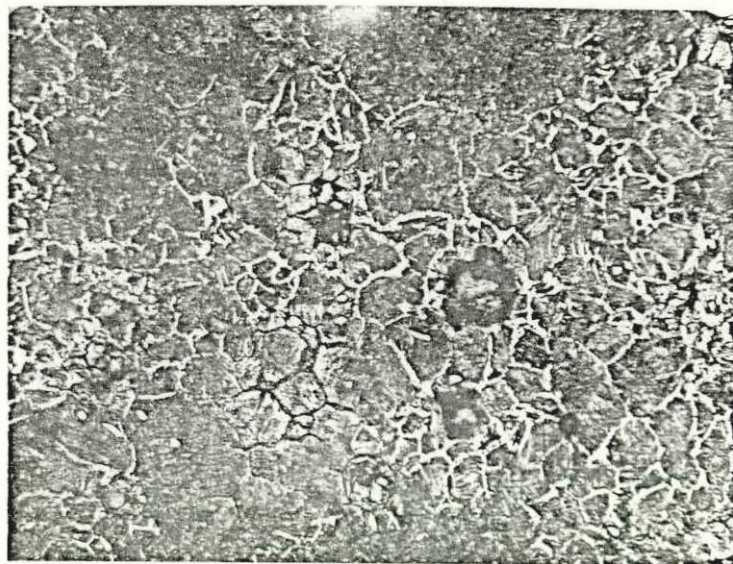
COMPOSICION QUIMICA:

C	Si	Mn	P	S
3.2%	2.5%	0,55%	0,04%	0,025%

PROPIEDADES MECANICAS

Resistencia Tracción	Límite Fluencia	% Alargam.	Dureza BHn	Resisten. Impacto
Kg/mm	Kg/mm			Kg-m
96.70	74,80	1	362	,90
95.80	72,50	1,4	352	.90

METALOGRAFIA

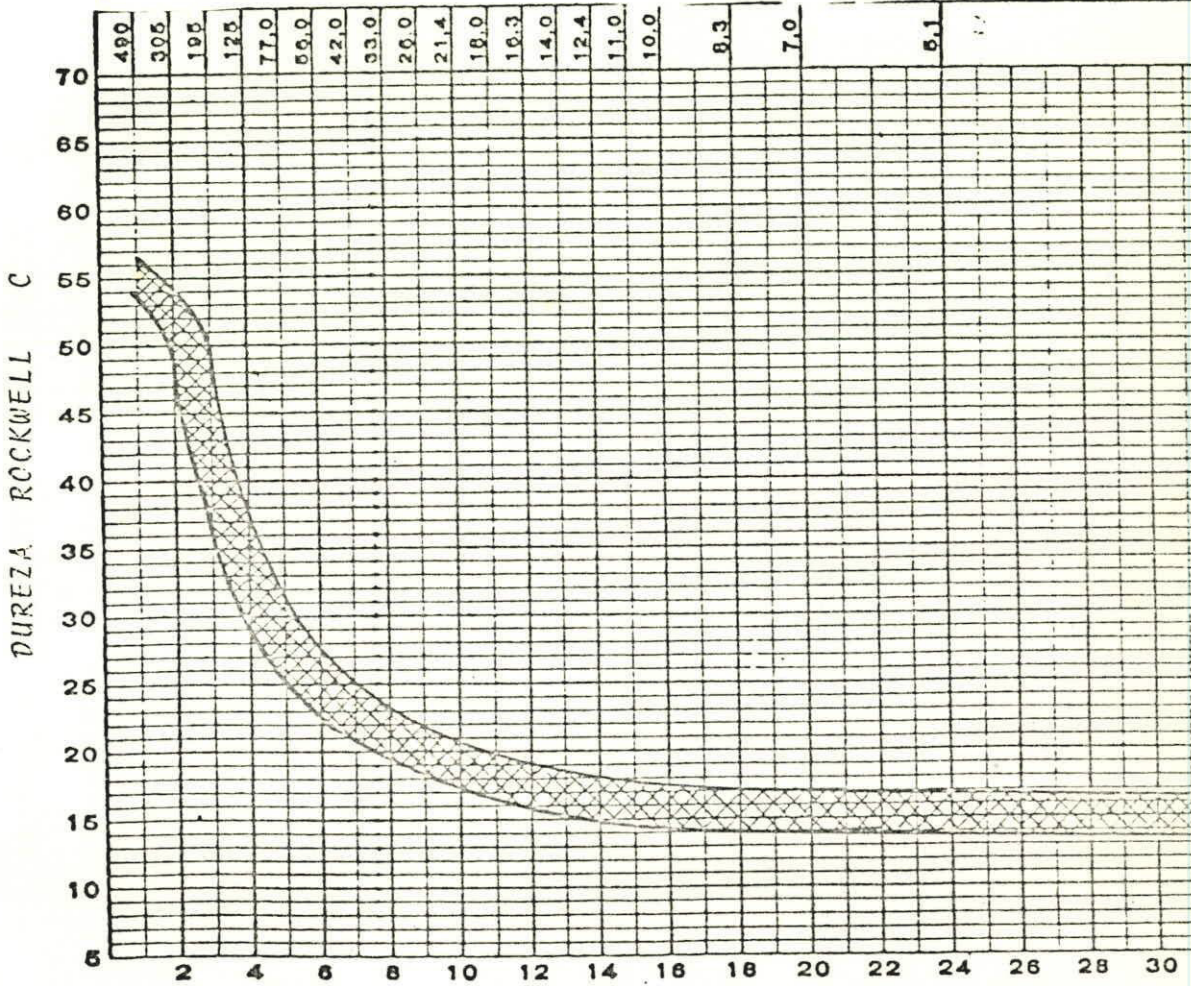


200 X

NITAL 5%

FOTO # 20

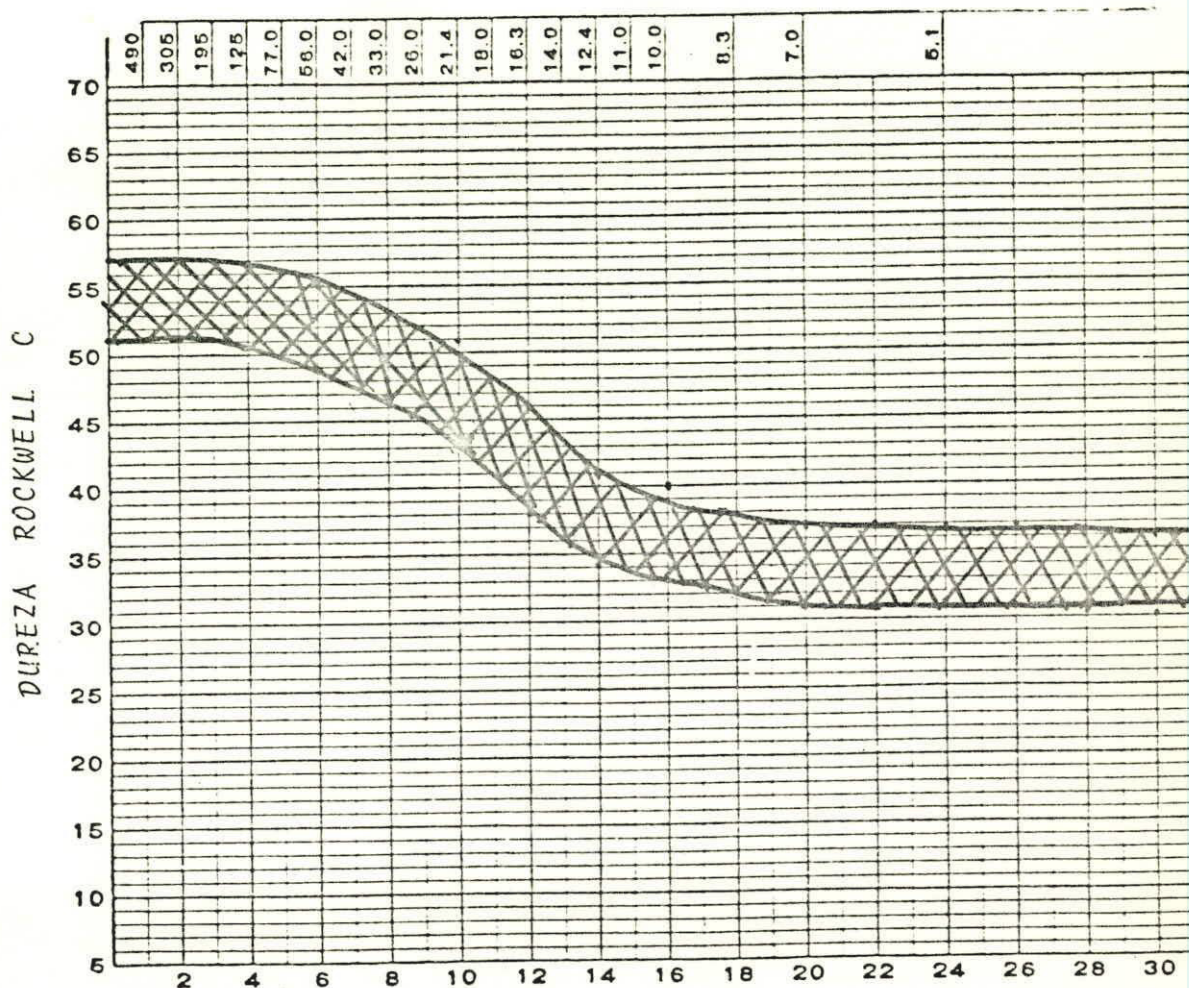
PRUEBA N= 7



DATOS EXPERIMENTALES DE LA TEMPLABILIDAD
DEL ACERO DE MEDIO CONTENIDO DE CARBON
AISI 1040 GRANO EXTRADURO CUYA COMPOSICION QUIMICA ES:

C	Mn	Si	P	S
0.44	1.36	0.34	0.022	0.020

FIGURA # 17



DATOS EXPERIMENTALES DE LA TEMPLABILIDAD

DEL HIERRO NODULAR

CUYA COMPOSICION QUIMICA ES:

C	Si	Mn	P	S
3.2%	2.50%	0.55%	0,04%	0,025%

FIGURA # 18

CAPITULO III

DISCUSION DE LOS RESULTADOS

De los diferentes ensayos realizados en la tec
nica experimental, presentamos un analisis de
los resultados que constan en las tablas del Ca
pitulo III, y para ello consideramos esquemati
zarlo en los siguientes puntos.

- 1-En cuanto se refiere a las características meta
lográficas de los materiales ensayados se ha ob
servado que las microestructuras tanto del a
cero moldeado y el hierro nodular son semejan
tes.

Esto se lo ve en las microfotografías y en las
que se aprecian las matrices ferrítica- perli
ticas de morfología y porcentajes de las fases
presentes más o menos equivalentes.

También en las microfotografías pag. #187-190 en
que los materiales han sido sometidos a tra
tamientos térmicos se aprecian q ue también -
tienen matrices equivalentes es decir ferriti
ca- perlítica en el caso del recocido y mar
tensíticos en el temple y revenido.

- 2- De los ensayos de Tensión realizados se puede

observar que en " Condiciones iniciales" o sea como los materiales salen del proceso de colado, las resistencias en la fluencia y a la tracción son muy cercanas, en cambio la ductilidad que se manifiesta a través del alargamiento es aceptable en el caso del acero pero no en el del hierro nodular, pero en todo caso se busca poseer en ellos mejores ductilidades es por este motivo que no se las utilizan en condiciones directas de fundición y se les provee de un tratamiento térmico de recocido a fin de lograr este objetivo, prueba que se efectuó y los resultados estan ubicados en las páginas N=186 y N=189 lo que ratificó lo previamente citado, aunque es de hacer notar que el hierro nodular tiene un incremento más sustancial que el acero siendo el valor alcanzado de ductilidad aceptable.

Por otro lado, existen aplicaciones en las cuales es imprescindible dotar a los materiales de una mejor resistencia a la abrasión y al desgaste sin importar la ductilidad de los mismos lo cual se consigue con un tratamiento térmico de temple y revenido.

Para poder confirmar lo expresado se realizaron pruebas de tensión tanto en el Acero Mol

deado y en el hierro Nodular con condiciones de temple y revenido como se muestran en las pág. 187 # 190 las cuales se observan que las resistencias a la fluencia y a la tracción alcanzan valores del orden de 75 Kg/mm² y 90 Kg/mm² - respectivamente en ambos materiales.

Una propiedad que es de vital importancia para aplicaciones en los cuales los materiales están sujetos a cargas de impacto es la tenacidad y por esta razón se efectuaron ensayos a fin de establecer los valores típicos de cada uno de los materiales, en tres diferentes condiciones a saber:

- a) Sin tratamiento Térmico
- b) Recocido
- c) Temple y Revenido

Los valores resultantes ubicados en las pag. 185 # 190 muestran variaciones no importantes en cada una de las condiciones indicadas, lo que corrobora en lo que se manifiesta de que es posible sustituir hierro nodular por el acero Moldeado.

Otro parámetro que identifica las cualidades de los materiales estudiados es la dureza siendo esta la que da un índice de su comportamiento en aplicaciones a que se someten los-

materiales a efectos de abrasión y es representativa de la durabilidad en el funcionamiento.

Los valores que se muestran en las pág. 188-189 indican que el hierro Nodular presentan durezas equivalentes en condiciones normales y de recocido, en cambio manifiesta una apreciable diferencia en la condición de Temple y Revenido, lo cuál le dá una mejor durabilidad.

- 3-Por último, se comparó también el parametro - de la templabilidad que es de importancia como criterio de selección cuando los materiales van a recibir tratamiento de temple para incrementar sus propiedades.

Los resultados mostrados en las páginas 191-192 denotan claramente en las curvas que representan las bandas de templabilidad de los ensayos de Jominy efectuados en 10 probetas para el A cero moldeado y el Hierro Nodular en el caso de que el ultimo nombrado posee mejores condiciones de adquirir el temple en piezas sometidas a desgaste por cuanto su temple es más Homogeneo.

En las pág. desde 169-174 tenemos la variación de la microestructura a medida que aumenta la distancia

cia al extremo templado, y en el caso del hierro nodular su matriz martensítica llega hasta cantidades apreciables de profundidad.

Es de hacer notar que en la fundición nodular el temple debe de realizarse sin que éste sea tan severo, ya que trae como consecuencia que se produzcan fisuras y no se consiga el objetivo que se busca en este tratamiento térmico.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Después que hemos realizado el análisis a los resultados obtenidos en este último capítulo presentaremos la interpretación de los datos y las conclusiones además de dar recomendaciones para la utilización de los materiales.

- 1º En el estudio metalográfico de los materiales primero en su estado como sale del molde y después de los tratamientos térmicos desarrollados en el laboratorio de metalurgia de la ESPOL podemos determinar que el acero moldeado y el hierro nodular tienen matrices muy equivalentes ferrítica-perlítica, pero para las condiciones químicas ya descrita es decir Acero de Medio Contenido de Carbono y hierro Nodular obtenido por retornos en las fundiciones locales
- 2º En las propiedades mecánicas en la que se refiere a tensión, ductilidad, el hierro nodular cumple con los requisitos es decir sus características son muy aproximadas a las que tiene el acero más aún estas siguen conservandose - con los tratamientos térmicos.

En lo que se refiere al impacto el acero mol

deado de medio contenido de carbono está en valores muy superiores, esto se debe a q' en el hierro nodular existen microscopicos concentradores de esfuerzos que hacen que está propiedad mecánica sea baja debido a q' la fase de carbón libre en forma de grafito esferoidal actúa como concentrador de tensiones.

Pero para el reemplazo de piezas que queremos utilizar, no necesariamente la usaremos en situación expuestas a cargas de impacto - como en situaciones por ejemplo que quisieramos reemplazar un martillo que va a estar golpeando continuamente.

En lo referente a la suceptibilidad de temple, el hierro nodular por poseer mejor templabilidad tiene mejor resistencia a la abrasión y al desgaste, así podemos verlo en una uña de un canguro que está sometido a un trabajo continuo de arado, necesitara mantener la misma propiedad de durabilidad en toda su profundidad.

- 3- El hierro nodular es un material que se está fabricando localmente , claro está que en la mayoría de veces se lo hace partiendo de rere

tornos y otros de hierro base e inoculantes, en cambio el Acero Moldeado para reemplazar piezas nuestros fundidores ecuatorianos aún están experimentando.

Para nuestro trabajo el Acero que hemos partido se lo obtuvo de una Acería local, de un pedazo de palanquilla, siendo éste un producto intermedio ya que después es sometido a otro proceso que implican otras características, siendo éste el acero laminado.

El hierro nodular se obtiene en nuestro medio más fácilmente ya que para lograrlo las técnicas y los procesos en que se los funde son de rubros económicos de menor cuantía que para obtener Acero.

Fabricar piezas en un horno de cubilote que nuestros fundidores tienen mucha experiencia nos da un inicio de más factibilidad en fabricar piezas de distintas formas, encuadrandonos en las características ya analizadas anteriormente

RECOMENDACIONES:

Nuestro estudio nació de la posibilidad de reemplazar ciertas piezas de una extractora de aceite de cacao, y de otras piezas para la maquinaria agrícola, después de una serie de fracasos

por diversos motivos se logró el objetivo pero las observaciones tanto en éste trabajo metalúrgico como el de investigación de ésta tesis nos da una idea clara de lo que podemos recomendar.

Las piezas deben ~~deben~~ de ser necesariamente sometidas a procesos térmicos como el Recocido o el Temple y Revenido según sea el caso si se desea lograr mejores condiciones de alargamiento o de durabilidad respectivamente.

Debemos pensar que no podemos reemplazar piezas que van a ser sometidas a cargas de impacto ya que el hierro dúctil presenta bajo índice de tenacidad.

Si logramos partir más aun de mejores condiciones en una fundición " en bruto" con los tratamientos térmicos, lograremos mejores condiciones para nuestro trabajo y encontraremos nuevos horizontes en resolver problemas que anteriormente solo se solucionaban importandolos o manteniendolos en Stock.

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

- 1- APRAIZ JOSE - " Fundiciones" 3era Edición 1971, 143 pág.
- 2- APRAIZ JOSE " Fabricación de Hierro, Acero y Fundiciones" Tomo 2 1978, 252 pág.
- 3- APRAIZ JOSE- " Aceros Especiales " 1978 10 pág.
- 4- AVNER SIDNEY -" Introducción a la Metalurgia Física " 1966, 33- 107- 237- 350 pág.
- 5- BARREIRO FRANCISCO - " Diseño de un Horno Tunnel Continuo para Temple de Herramientas" 1980, 96 pág.
- 6- CALVO RODES- " El Acero su Elección y Selección " 1956, 119- 304 pág.
- 7- GONZALES - PALAZON -" Laboratorio de ensayos Industriales" 7ma Edición.
- 8- ESPINOZA FULVIO - " Obtención de Hierro Nodular en Horno de Cubilote de Revestimiento Acido 1980 , 201 pág.

- 9- INSTITUTO LATINOAMERICANO DEL HIERRO Y EL ACERO- " La Fabricación del Acero " Primera Edición 1979, 89 pág.
- 10- METAL HANDBOOK AMS VOL. 1 - Properties and Selection Iron and Steel" 9th Edition.
- 11- METAL HANDBOOK AMS VOL. 2 - Heat treating, cleaning and finishing " 8th Edition.
- 12- MILLER AND COMPANY- " The ductil iron process" Compendium IV 1972, 300 pág.
- 13- PODCZASKI BRUNON - " Fundición Nodular " 1966 9- 15 pág.
- 14- WIESNER IGNACIO - " Aspecto Tecnológicos en la Producción de Hierro Nodular con Equipo Duplex Cubilote- Horno Rotatorio 1974,