ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

"CARACTERIZACION DE LOS ACEROS PRODUCIDOS EN CONVERTIDOR LD"

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECANICO

Presentada por:
HENRY AGUIRRE REYES

GUAYAQUIL - ECUADOR
1.986

A G R A D E C I M I E N T O

A la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Al Ing. Ignacio Wiesner F., Director de Tesis, e Ing. Homero Ortíz A., por su inapreciable ayuda y dirección prestada para la realización del presente trabajo.

A los compañeros del Laboratorio de Metalurgia por su valiosa colaboración durante el desarrollo de este trabajo.

Al Consejo Nacional de Universidades y Escuelas Politécnicas (CNUEP) y al Banco Nacional de Fomento, por la financiación del proyecto de investigación ESPOL-CICYT, P.I. 340.03.

D E D I C A T O R I A

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

ING. EDUARDO ORCES PAREJA
Decano
Facultad de Ingeniería Mecánica

ING. IGNACIO WIESNER F.
Director de Tesis

ING. HOMERO ORTIZ A.
Tribunal de Tesis

ING. ALBERTO TORRES V.
Tribunal de Tesis

DECLARACION EXPRESA

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

(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL).

HENRY AGUIRRE REYES

RESUMEN

En la presente tesis se lleva a cabo el estudio del acero moldeado producido mediante el proceso Duplex (horno de cubilote-convertidor LD).

Esta investigación está orientada al estudio de las propiedades requeridas en los aceros para su uso industrial.

En la parte experimental se ha realizado la producción y control del material según las especificaciones de composición química y propiedades mecánicas, a fin de que éste pueda ser utilizado en aplicaciones de diversa índole.

Los aceros obtenidos a partir de la experiencia 20 han cumplido con las normas ASTM A27-77 las mismas que han servido como patrones de aceptación tanto del material como del proceso. Además como aplicación se realizó la fabricación de las partes fundidas constitutivas del cuerpo de una bomba centrífuga. (Apéndice B).

I N D I C E G E N E R A L

INDICE DE FIGURAS

INDICE DE TABLAS

SIMBOLOGIA

Al	Aluminio
ASTM	American Society for Testing Materials
BHN (HB)	Dureza Brinell
BNF	Banco Nacional de Fomento
C	Carbono
°C	Grados centígrados
cm	Centímetros
CNUEP	Concejo Nacional de Universidades y Escuelas Politécnicas.
Cr	Cromo
Fe	Hierro
HRC	Dureza Rockwell C
Kg	Kilogramos
Min	Minutos
LD	Linz-Donawits
M	Manganeso
MPa	Mega Pascal
N	Newtons
Ni	Niquel
P	Fósforo
S	Azufre
Si	Silicio
tons.	Toneladas

INTRODUCCION

La siderurgia como rama de la ingeniería se concentra en la fabricación de aleaciones ferrosas, esto es, fundiciones y aceros. En la actualidad la producción siderúrgica nacional se ubica principalmente en la fabricación de las fundiciones de hierro, realizada en pequeños talleres mediante prácticas artesanales.

En cuanto al acero, la única producción nacional proviene de una planta local que procesa chatarra de acero mediante un horno eléctrico de arco y colada contínua para producir palanquilla de varios grados, utilizada para fabricar varillas de construcción y alambrón.

La demanda nacional de fundiciones de hierro y aceros estructurales está cubierta por producción nacional en apenas un 5% y la demanda que existe para acero moldeado, en cambio, no encuentra oferta nacional y cabe anotar que ésta ha sido estimada para el año 1987 en unas 2326 toneladas.

Por lo anteriormente dicho, se aprecia claramente la amplitud del mercado nacional para esta actividad y considerando que el Ecuador ha venido siendo consumidor de tecno

logías foráneas, de procesos y de materiales, y dadas las circunstancias económicas en que actualmente nos desenvolvemos, en los sectores productivos se debe propender a la implantación de técnicas apropiadas para la producción de herramientas, equipos y partes de maquinarias y así satisfacer en algo la demanda existente y a la vez sustituir las importaciones.

Las opciones para resolver este problema son analizadas en el presente trabajo y se ha hecho la selección de la más viable para la adaptación eficaz a la idiosincracia y limitaciones actuales de los talleres dedicados a la fundición. Es así como la ESPOL, en busca de estas alternativas, en octubre de 1984, inició el estudio de una técnica apropiada a nuestras necesidades para la fabricación de acero destinada a la construcción de piezas fundidas. Este proyecto de investigación fué se ha llevado a cabo bajo el marco de un convenio en el que participan el CNUEP y el BNF.

La implantación del nuevo método de producción de acero moldeado en base al proceso de acero al oxígeno (proceso LD.) mediante el cual se afina arrabios de cubilote, presenta algunas derivaciones en cuanto a producción, ya que el convertidor, a más de servir como tal produciendo acero moldeado ordinario y de baja aleación, puede ser utiliza-

do para la desulfuración de los arrabios de cubilote y/o fabricación de hierro nodular (inoculación de magnesio), mejorando notablemente el nivel tecnológico de la producción como de las instalaciones.

Una vez aceptado el método de producción de acero moldeado y llegado al punto que en el país existen los medios suficientes para que se pueda realizar su aplicación a nivel de las fundiciones locales,se ha dado un primer paso para el desarrollo de este sector. //

CAPITULO I

DESARROLLO DE TECNOLOGIA APROPIADA PARA ACERO MOLDEADO

1.1 ANALISIS DE MERCADO DE ACERO MOLDEADO.-

El análisis de mercado estará encaminado a determinar las condiciones actuales que justifiquen la producción de acero moldeado, para lo cual se hará uso de estudios efectuados por expertos de NNUU, información de fundidores y tesis de grado de la ESPOL.

Este análisis se centrará básicamente en tres puntos:

a) Establecer la demanda actual de acero moldeado y el tipo de consumidores que estarían en disposición de adquirirlo.

b) Cuantificar la oferta de acero moldeado

c) Estudio de las posibilidades del incremento de la producción.

Este análisis de mercado proporcionará datos median-

te los cuales quedarán establecidas la existencia de demandas real y potencial de acero moldeado, las exigencias de los consumidores, y la calidad requerida por un lado, y por otro lado, las condiciones del sector en cuanto a la producción de ferrosos.

1.1.1 La demanda actual.-

En base a la recopilación de antecedentes de estudios realizados e información de las características del mercado, se procede a realizar el análisis de la demanda del acero moldeado (1), (2).

ANALISIS DE LA DEMANDA ACTUAL:

La demanda actual del acero moldeado está representada por las industrias que requieren de su uso tanto para la construcción de máquinas como para la reposición de partes de máquinas y posible sustitución de importaciones. Para determinar esta demanda, se tomará en cuenta criterios que la relacionen con el grado de complejidad metalúrgica, basado en parámetros de forma, tipo de aleación y tamaño de las piezas moldeadas.

Metodológicamente, se iniciará el estudio de una demanda englobando a todas las industrias por sectores económicos de la producción del país clasificadas de acuerdo a la familia metalúrgica, al grado de complejidad y a sus propiedades mecánicas.

A continuación se describen los criterios para la determinación del grado de complejidad de las piezas fundidas ferrosas en general, tomando en cuenta los diferentes factores que intervienen en la fabricación de una pieza, y según la influencia de éstos, se evaluará el grado de complejidad.

CRITERIOS PARA LA DETERMINACION DEL GRADO DE COMPLEJIDAD DE PIEZAS FUNDIDAS FERROSAS:

1. Tamaño y cantidad

Tamaño (en kg.)

p	= 0.5 - 5 Kg.	(Peso pequeño)
m	= 5 - 500 Kg.	(Peso mediano)
g	= más de 500 Kg.	(Peso grande)

Cantidad (en unidades)

SP	= series pequeñas	1 - 500

SM = series medianas 500 - 5.000

SG = series grandes más de 5.000

A continuación se agrupa de acuerdo a la dificultad presentada por el peso y la cantidad en los procesos de fabricación de piezas correspondiendo al menos complicado el número 1.

GRUPO	1	2	3	4	5	6	7	8	9
CODIGO	SPp	SPm	SMp	SMm	SPg	SMg	SGp	SGm	SGp

2. Complejidad de moldeo

1 = mínimo (piezas planas sin orificio)

2 = regular (piezas con cavidades formadas por machos).

3 = máxima (piezas con cavidades formadas por composición de machos).

3. Complejidad metalúrgica

1 = baja (hierro gris y aceros al carbono).

2 = mediana (aceros y fundiciones de baja aleación).

3 = alta (aceros y fundiciones de alta aleación).

4. Complejidad del dimensionamiento (exactitud.

1 = mínima (presición en mm.)
2 = regular (presición en 10^{-1} mm.)
3 = máxima (presición en 10^{-2} mm.)

5. Complejidad del nivel de control de calidad.

1 = control de calidad básico necesario
2 = calidad certificada necesaria
3 = control de calidad muy exigente

6. Grado de maquinado de la pieza

1 = grueso ∇
2 = regular ∇∇
3 = fino ∇∇∇

En el Apéndice A se expone una tabla del diagnóstico de la demanda de piezas de acero fundido en el Ecuador, con su clasificación meta

TABLA Nº I

PIEZAS FUNDIDAS DE ACERO

DEMANDA IDENTIFICADA, CLASIFICADA EN BASE DE LA FAMILIA METALURGICA Y DE GRADO DE COMPLEJIDAD EN TRES AREAS ECONOMICAS DEL ECUADOR[1].

	ACERO AL CARBONO (AC)				ACERO ALEADO (AA)			
GRADO DE COMPLEJIDAD	TOTAL	73% QUITO	24% GUAYAQUIL	3% CUENCA	TOTAL	73% QUITO	24% GUAYAQUIL	3% CUENCA
1	--	--	--	--	--	--	--	--
2	40.1	29.0	9.9	1.2	--	--	--	--
3	413.0	301.5	99.1	12.4	737.0	538.0	176.9	22.1
4	133.0	97.1	31.9	4.0	237.0	173.0	56.9	7.1
TOTAL	586.1	427.6	140.9	17.6	974.0	711.0	233.8	29.2

1 QUITO :

AC = 427.6
AA = 711.0

TOTAL = 1138.6

2 GUAYAQUIL :

AC = 140.9
AA = 233.8

TOTAL = 374.7

3 CUENCA :

AC = 17.6
AA = 29.2

TOTAL = 46.8

TABLA Nº II

PIEZAS FUNDIDAS DE ACERO

TAMANO DE PIEZAS FUNDIDAS DE ACERO EN BASE DE LA FAMILIA METALURGICA Y DE GRADO DE COMPLEJIDAD[1].

GRADO COMPLEJIDAD.	METAL FUNDIDO	DEMANDA IDENTIFI (Ton.)	TAMAÑO DE PIEZAS FUNDIDAS		
			MINIMA Kg.	MAXIMA Kg.	PROMEDIO Kg.
1	--	--	--	--	--
2	AC	41.0	1.0	120.0	74.0
3	AC	413.0	0.7	400.0	83.0
	AA	437.0	1.0	500.0	52.0
4	AC	133.0	8.0	18.0	13.0
	AA	237.0	0.7	350.0	87.0
	TOTAL PROMEDIO	1261.0	2.3	278.0	62.0

AC = Acero al carbono

AA = Acero aleado

lúrgica, dimensiones y grado de complejidad; también se muestra otra tabla con las características de los aceros fundidos (Tablas IX y X).

Las Tablas I y II muestran la demanda identificada y el tamaño de las piezas fundidas de acero en base a la familia metalúrgica y al grado de complejidad. Cabe acotar que: a) como en este trabajo sólo se trata con piezas de acero moldeado el grado de complejidad será siempre superior a 1, esto se debe a que la complejidad metalúrgica siempre tiende a ser alta o a lo sumo mediana; b) se ha agrupado la demanda en base a tres áreas económicas Quito, Guayaquil y Cuenca por considerar que poseen tanto la mayor producción como consumo. La demanda existente en las demás ciudades del país no se toma en cuenta por ser mínima y en todo caso sus proveedores se encuentran en una de las ciudades antes mencionadas.

En la Tabla III se muestra un resumen de la demanda total identificada de las piezas de acero moldeado.

TABLA Nº III

RESUMEN DE LA DEMANDA DE ACERO MOLDEADO EN TRES REGIONES PRINCIPALES.

FAMILIA METALURGICA	DEMANDA IDENTIFICADA DE ACERO MOLDEADO (Ton.)			
	QUITO	GUAYAQUIL	CUENCA	TOTAL
Acero al carbono (AC)	427.6	140.9	17.6	586.1
Acero aleado (AA)	711.0	233.8	29.2	974.0
T O T A L	1138.6	374.7	46.8	1560-1

A continuación se presenta gráficamente la demanda de los grupos metalúrgicos en base al nivel de complejidad.

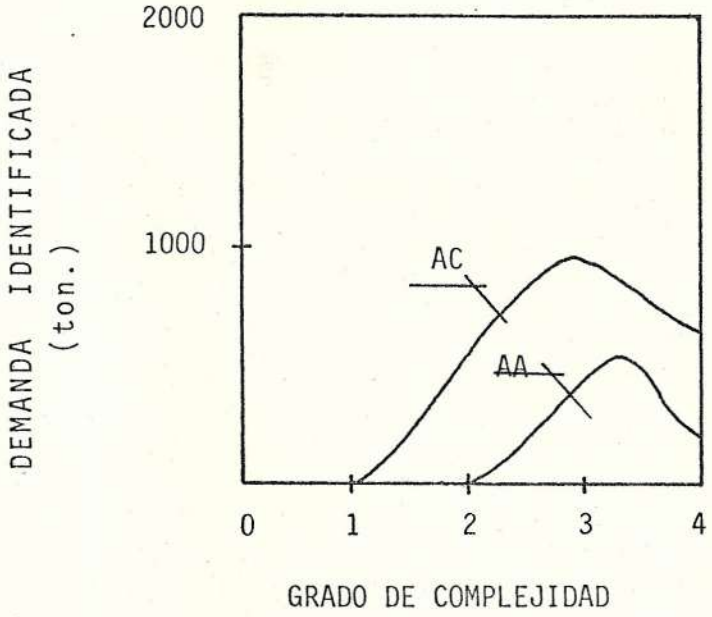


FIGURA Nº 1.- DEMANDA Y GRADO DE COMPLEJIDAD DE LAS PIEZAS DE ACERO MOLDEADO (1).

De acuerdo a los estudios y análisis de la demanda anteriores, el requerimiento de acero moldeado en el año 1987 sería el siguiente:

- Acero al carbono : 586 Ton.
- Acero aleado : 974 Ton.

Debe tomarse en consideración que los valores anteriores han sido obtenidos de un estudio realizado principalmente en Quito, sin tomar en cuenta las características de las industrias de gran magnitud que existen en la zona de Guayaquil, para que estos datos sean más ajustados a la realidad se supone una demanda en Guayaquil igual a la demanda en Quito. Para tener una idea de la necesidad de incrementar la demanda en el litoral, se menciona que las industrias de cemento del litoral tienen una importación anual de 100 Ton./año de materiales especiales; por otro lado, están las refinerías las cuales tampoco han sido consideradas en tal estudio.

De este modo, los valores ajustados de la demanda de acero moldeado son los siguientes:

- Acero al carbono : 873 Ton.
- Acero aleado : 1451 Ton.

1.1.2 La oferta actual.-

Necesario se hace para todo proyecto de estudio la oferta del producto, en este caso se analizará las fuentes de abastecimiento del acero moldeado.

1.1.2.1 La producción nacional.-

No existe información nacional de ninguna índole que indique producción de este material; las fuentes proveedoras deberían ser las fundiciones, pero se ha visitado las instalaciones más importantes y se ha constatado que no existe producción, a excepción de una fundición en la ciudad de Cuenca de la cual se tiene conocimiento que posee en sus instalaciones un horno eléctrico de arco y su producción es muy esporádica ya que su producción normal es hierro gris, por lo tanto, no es de

consideración en el estudio. Es decir, la participación en el mercado de acero moldeado por parte de las fundiciones nacionales es nula, quedando la demanda insatisfecha en su totalidad.

1.1.2.2 Las importaciones.-

Debido a la circunstancia descrita anteriormente, las importaciones son la fuente proveedora en nuestro país. Por lo tanto, para el año 1987 las importaciones pueden ser iguales a la demanda estimada, es decir, 873 Ton. de acero al carbono y 1451 Ton. de acero aleado.

1.1.3 Las posibilidades de incremento de la producción.-

Del análisis de mercado se puede colegir que el Ecuador es un país dramáticamente dependiente de las importaciones situación hasta vergonzosa a nivel tecnológico y altamente perjudicial a los intereses nacio

nales, ya que está condicionado a pagar por la tecnología de fundición precios que van desde US$7.oo hasta US$27.oo por kilogramo de metal, lo cual significa en números redondos:

$$2000 \frac{\text{Ton.}}{\text{Año}} \times \text{US\$17.oo} \frac{\text{US}}{\text{Kg}} \times \frac{1000 \text{ Kg}}{\text{Ton}} = \text{US\$34'000.000}$$

es decir : 3.400'000.000 sucres/año

Al analizar las posibilidades para el incremento de la producción, nos centramos básicamente en dos puntos, los cuales justifican plenamente la instalación de plantas para la producción de acero moldeado:

a) Se ha demostrado que existe una demanda insatisfecha, por ende es factible la instalación de plantas nuevas o la implantación de equipos adicionales a las fundiciones ya existentes, de tal manera que se ajusten a la situación actual utilizando la tecnología que mejor se pueda adaptar a nuestro medio.

b) La tecnología desarrollada en la ESPOL, ba

sada en la transformación de arrabio de cubilote utilizando un oxiconvertidor, parece ser la solución óptima para iniciar la etapa de acería de moldeo en el Ecuador con enormes ventajas económicas, ya que el costo inicial del equipo es relativamente bajo. (Ultimas cotizaciones de hornos eléctricos de inducción para una capacidad de 600 Kg. son de treinta millones de sucres; en cambio la instalación desarrollada en la ESPOL para 500 Kg. de capacidad, no supera los dos millones de sucres).

1.2 EL DESARROLLO DE TECNOLOGIA APROPIADA.-

Desde el punto de vista de la economía del país es posible considerar que la demanda de piezas de acero moldeado, las mismas que conllevan una más alta calidad tecnológica o más compleja, está en un continuo aumento. Esta es una realidad y un fenómeno natural al que se tiene que hacer frente y para satisfacer esta demanda de manera conveniente, existen prácticamente dos alternativas:

a) Se tiene que seguir importando una gran cantidad

de productos de acero moldeado y cada vez más caros.

b) Se tiene que desarrollar un método de producción de acero moldeado en el país.

1.2.1 Convenio CNUEP-ESPOL-BNF.-

El marco de este convenio involucra directamente a tres instituciones:el Banco Nacional de Fomento, la Escuela Superior Politécnica del Litoral y el Consejo Nacional de Universidades y Escuelas Politécnicas. Consiste en asistencia técnica, investigación y prestación de servicios entre las tres instituciones; para hacer una explicación más amplia, se cita a continuación los siguientes antecedentes de tal convenio.

La ESPOL entre sus fines esenciales contempla la investigación científica de los recursos y la difusión de la cultura científica en la región litoral y en el resto del país. Por consiguiente,es de su incumbencia investigar el diseño de la tecnología de procesos de producción y la optimización de materiales y equipos utilizados en el sector agrícola, pesque-

ro y agro-industrial que propicien mejoramientos substanciales en la eficiencia del trabajo del hombre ecuatoriano y el conocimiento de la problemática socio-económica bajo la cual se desenvuelven las labores, buscando tecnologías adecuadas para beneficio nacional. En tal virtud,el BNF ha motivado una cooperación con la ESPOL para concretar convenios cuya consecución beneficiaría a diferentes sectores productivos del país.

En base a los considerandos anotados, la acción conjunta del BNF y la ESPOL pretende los siguientes objetivos:

a) Prestar asistencia técnica a los sectores Agrícola, Pesquero y Agro-Industrial en las áreas de influencia de la ESPOL en base a la optimización de los recursos conque cuenten éstos,así como para la mejor utilización de los créditos concedidos por el BNF.

b) Fomentar la enseñanza a nivel de ingeniería y tecnología, y la capacitación de pe

pequeños industriales y artesanos en estas áreas.

c) Establecer una interrelación racionalizada de recursos entre el BNF y la ESPOL que propenda a la solución de problemas derivados de usos de tecnologías en aras del desarrollo nacional.

Como resultado de todo esto, la ESPOL, a través de la Facultad de Ingeniería Mecánica, elaboró el Proyecto "ASISTENCIA AL SECTOR AGRICOLA, PESQUERO Y AGRO-INDUSTRIAL", el cual es presentado al CNUEP y es aprobado; actualmente se está desarrollando con el aporte del BNF, CNUEP y la ESPOL. La ejecución del proyecto está a cargo de la ESPOL que a su vez contribuye con personal docente, estudiantado, maquinaria y equipos de laboratorio, el BNF y CNUEP a más de realizar aportación económica supervigilan el desarrollo normal de los proyectos mediante la evaluación de informes de avances logrados.

Dentro de este convenio, se encuentra en fase de desarrollo y está por concluir el proyecto "DESARROLLO DE TECNOLOGIA APROPIADA PA

RA LA CONSTRUCCION DE BOMBAS CENTRIFUGAS, HELICES PROPULSORAS PARA BARCOS PESQUEROS Y HERRAMIENTAS MANUALES DE ACERO MOLDEADO". Bajo este proyecto se ha realizado el presente trabajo.

1.2.2 La introducción de un nuevo método de producción.-

Considerando que el Ecuador ha venido siendo un consumidor de tecnologías foráneas de procesos y de materiales, y dadas las circunstancias económicas en que actualmente nos desenvolvemos, en los sectores productivos se debe propender a la implantación de técnicas apropiadas para la producción de herramientas, equipos y partes de maquinarias que sustituyan las importaciones y que se adapten eficazmente a la idiosincracia y limitaciones de trabajo del consumidor.

Como alternativa en el presente trabajo se plantea la introducción de un método de producción de acero moldeado beneficiando de esta forma a los diferentes sectores productivos del país.

METODOS DE PRODUCCION :

Generalmente los aceros se obtienen a partir de arrabios blancos denominados arrabios de afino. Estos arrabios contienen siempre más del 2.5% de carbono y como los aceros ordinarios contienen menos del 1.4% de carbono, la obtención de un acero consiste pues esencialmente en la eliminación de gran parte de su carbono. Esta eliminación se realiza por una oxidación, en la que el carbono se transforma en óxido de carbono y en gas carbónico.

La acción del oxígeno no se ejerce únicamente sobre el carbono; también algunos constituyentes de arrabio: manganeso, fósforo, silicio y azufre se oxidan o se eliminan por completo o quedando trazas de ellos consideradas como impurezas ya que afectan a las propiedades mecánicas del acero producido.

Finalmente, también el hierro se oxida parcialmente, pero esta oxidación es indeseable ya que se reduce el rendimiento de la operación,además la presencia de óxido de hierro en un acero disminuye sus propiedades mecáni

cas, por lo que luego de estas oxidaciones iniciales se hace necesario una reducción del óxido de hierro formado. En el transcurso de este período de reducción se podrá eliminar el azufre, cuyo contenido no ha variado prácticamente durante el transcurso de la oxidación.

El conjunto de estas dos fases oxidación-reducción constituyen el afino del arrabio. Si la primera es absolutamente necesaria para eliminar el carbono, de la segunda depende la calidad del acero obtenido.

Fundados en líneas generales en la marcha teórica expuesta para el afino del arrabio, se emplean actualmente cuatro procedimientos principales para la fabricación del acero, que difieren esencialmente en el oxidante empleado para la eliminación de las impurezas y en la temperatura de la operación.(5)

De cada uno de los cuatro procedimientos, hay dos variantes: si se parte de arrabios fosforosos es necesario eliminar el fósforo usando cal, lo que exige que el revestimiento de el horno sea de la misma naturaleza química que

la cal, es decir básico, si no se quiere que sea corroído. Si se parte de arrabios poco fosforosos el revestimiento del horno puede ser ácido.

Los cuatro procedimientos más utilizados para la fabricación de acero y sus variantes son los siguientes:

1. Afino por aire

   a) Convertidor Bessemer (ácido)
   b) Convertidor Thomas (básico)

2. Afino por el oxígeno

   a) Oxiconvertidores

3. Afino en solera

   a) Hornos Siemens-Martin (con revestimiento ácido).
   b) Hornos Siemens-Martin (con revestimiento básico).

4. Afino en hornos eléctricos

a) Con revestimiento ácido

b) Con revestimiento básico

De los métodos de producción de acero se seleccionará el más apropiado para nuestro medio, analizando los diferentes parámetros relacionados con el proceso, de tal manera que se pueda lograr una adaptación eficaz a las limitaciones de nuestro medio.

1.2.3 Prototipo de proyectos industriales.-

Actualmente se está desarrollando un trabajo de tesis de grado, que consiste en el diseño de una planta prototipo para fusión de metales ferrosos, este trabajo también se encuentra dentro del marco del convenio CNUEP-ESPOL-BNF, con este trabajo se espera alcanzar mejores niveles tecnológicos, versatilidad en la producción de metales ferrosos y bajos costos de instalación.

Esta planta prototipo se está diseñando para una capacidad de producción de 200 toneladas por año, y tiene en consideración todo el proceso de fundición, desglosando las diferentes

etapas tales como: fabricación de modelos, preparación de arenas de moldeo, moldeo, machería, fusión, colado, desmoldeo, desbarbado, maquinado, inspección y control de calidad.

Esta planta está diseñada para la producción de piezas misceláneas y pequeñas series, seleccionando según sea el caso uno u otro procedimiento.

La etapa relacionada con nuestro trabajo es la fusión en la que se observa un mejoramiento en las posibilidades de la producción de aleaciones ferrosas, dando aporte a la producción de materiales con mejores características tecnológicas. Se puede alcanzar este objetivo realizando ciertas adecuaciones en el equipo de fusión, logrando entonces producir los siguientes materiales: hierro gris, hierro maleable, hierro nodular, fundiciones aleadas, aceros fundidos ordinarios, aceros fundidos de baja aleación. Dicho incremento de equipo consiste en la instalación de un oxiconvertidor para la utilización de arrabio de cubilote y producir acero moldeado .

Este equipo a su vez puede ser utilizado para desulfuración de arrabio de cubilote y/o inoculación para la producción de hierro nodular.

1.3 FABRICACION DE ACERO MOLDEADO POR EL PROCESO LD*.-

El proceso en sí está completamente desarrollado en la tesis de grado del Ing. J.Pacheco[3], en la que además en su parte experimental se estudia los diferentes parámetros que intervienen en el proceso, los cuales han sido adaptados para una producción de 400 Kg. en un proceso Duplex cubilote-convertidor LD.

1.3.1 Materias primas.-

En general, para la fabricación de acero por el proceso LD, la carga está formada por arrabio fundido y chatarra de acero, efectuándose durante el soplado adiciones de cal, caliza y mineral de hierro y a veces bauxita, espato-

---

* *Proceso LD, probado experimentalmente por primera vez por Robert Durrer, Profesor del Instituto de Siderurgia de la Escuela Politécnica de Berlín, en Suiza en 1.948. Las siglas LD obedecen a las ciudades austriacas de Linz y Donawitz donde el proceso se implementó industrialmente por primera vez en la empresa VOEST-ALPINE AG., el 19 de diciembre de 1.944.*

flour, cascarilla de laminación o mineral de hierro.

El oxígeno utilizado debe tener una pureza mínima de 99.5% y es inyectado a una presión de 8.24 KG./cm^2 a 12.36 Kg./cm^2 (8 a 12 atmósferas) y un caudal de 60 a 150 m^3/ min., según el tamaño del convertidor. (3), (4).

Al final del soplado de oxígeno se desoxida y ajusta la composición definitiva del baño adicionado ferroaleaciones; además de estas ferroaleaciones generalmente se utiliza aluminio para desoxidar el acero y refinar el grano.

El ferromanganeso ordinario tiene la siguiente composición: 76 a 80% de manganeso, 12 a 14% de hierro, y 6 a 6.5% de carbono. El ferromanganeso afinado contiene 85% de metal y su contenido en carbono varía de 2 a 0.05%.(5)

Los ferrosilicios industriales corresponden a los diversos contenidos de 10 a 12, 25 45, 75% de silicio metal* con un porcentaje de 98

---

* Forma impropia, puesto que el silicio es un metaloide, tiene es verdad un aspecto perfectamente metálico.

a 99% de pureza. se utiliza también los ferrosilicios de 15 a 18% debido a su notable resistencia al ataque de un gran número de ácidos.(5)

1.3.2 Comparación tecnológica entre procesos de fabricación de acero moldeado.-

Los procesos de fabricación de acero para fundiciones se diferencian dependiendo del tipo de hornos empleados para la fusión. Estos son: 1) los hornos eléctricos de arco; 2) los hornos eléctricos de inducción y 3) los hornos de hogar abierto.

Los procesos de fabricación mediante hornos eléctricos tanto de inducción como de arco presentan las siguientes ventajas respecto a los hornos de hogar abierto:

1. Pueden obtenerse temperaturas muy elevadas, hasta 3000 °C en algunos tipos de hornos eléctricos.

2. Pueden controlarse la velocidad de elevación de temperatura y mantenerse ésta entre límites muy precisos, con regulacio-

nes completamente automáticas.

3. La carga queda por completo libre de contaminación del gas combustible.

4. Puede controlarse perfectamente la atmósfera en contacto con la masa fundida, haciéndola oxidante o reductora a voluntad, e incluso en algún tipo de horno puede operarse en vacío.

5. Tiene mayor duración los revestimientos que en los demás tipos de hornos.

6. Se instalan en espacio reducido

7. Su operación se realiza con mayor higiene que con los otros tipos de hornos.

Además los hornos eléctricos de inducción presentan algunas ventajas adicionales sobre los hornos eléctricos de arco.

1. Ausencia completa de carburación
2. Agitación electrodinámica del baño
3. Rapidez de fusión
4. Facilidad y comodidad de operación

Con respecto a los hornos de hogar abierto el principio de los procedimientos al oxígeno (oxiconvertidores) es análogo a los procedimientos Bessemer y Thomas, las reacciones son las mismas, existiendo dos diferencias fundamentales:

a) El empleo exclusivo de oxígeno, por consiguiente ausencia de nitrógeno; y,

b) Soplado en la superficie del baño por medio de una lanza metálica refrigerada por agua, a diferencia de los convertidores Bessemer y Thomas que lo hacen por el fondo del crisol.

Actualmente, ya no se fabrica acero en convertidores Bessemer y Thomas, pero sin embargo tienen su interés histórico ya que en base a ellos se pudo desarrollar el uso de los oxiconvertidores para producir aceros de mejor calidad.

Con respecto a los hornos Siemens-Martin, las reacciones que se producen en el convertidor al oxígeno son idénticas; la diferencia principal entre los dos procesos es la velocidad

a la que se producen, siendo mucho más rápida en el convertidor al oxígeno debido a que la superficie de reacción es mucho mayor.
La calidad del acero obtenido es igual en los dos procesos, no así el costo el cual es más bajo en los convertidores al oxígeno. Ello explica el rápido desarrollo de esta modalidad en detrimento del procedimiento Siemens-Martin.

Además, en los oxiconvertidores se encuentran procesos derivados del LD para el afinado de arrabios fosforosos. El proceso LD normal no permite el afino de arrabios con porcentajes de fósforo superiores al 0.5%, esto se debe a que la operación transcurre tan rápidamente que cuando la cal ha alcanzado la temperatura adecuada y se ha formado una escoria capaz de reaccionar con el fósforo, ya se ha terminado el afino y la agitación del baño que pudiera facilitar el contacto de éste con la escoria.

Por esta razón, se han desarrollado procesos derivados del LD que forman una escoria reactiva desde el principio de la operación de manera que además pueda mezclarse íntimamente con el metal en el curso del afino. Esto se

consigue por tres procedimientos:

1. Por mezcla íntima y en el chorro de oxígeno, es decir en el punto de más alta temperatura de la cal con el baño (procesos LD-AC* y OLP**). (5)

2. Por medio de la escoria residual de la escoria anterior (LD-Pompey). (5)

3. Por agitación mecánica del baño (procesos Kaldo y Rotor). (5)

1.3.3 Selección del proceso.-

La selección del proceso se ha realizado en base a la comparación tecnológica entre los procesos, de la cual se ha seleccionado el proceso LD, y a continuación se listan las principales ventajas de este proceso:

---

* *Proceso LD-AC, al principio se denominó O.C.P. (oxígeno-cal pulverizada), pero posteriormente se adoptó el nombre de LD-AC, cuyas siglas AC derivan: la A, de Arbed (Aceries Reunies de Burbach-Eich-Dudelange), en cuya factoría de Dudelange se realizaron los ensayos, y la C del Centre National de Recherches Métallurgiques, que patrocinó la investigación.*

** *Proceso OLP (oxígeno-lanza-polvo), desarrollado por IRSID, es en la actualidad prácticamente igual al LD-AC.*

- El proceso LD sería una elección acertada en las zonas donde el contenido en fósforo del hierro sea lo más bajo posible.

- En el convertidor básico al oxígeno hay una emulsión de escoria, metal y gas, en la que infinidad de gotitas de metal conteniendo carbono reaccionan con los óxidos de la escoria. En esta emulsión de escoria con metal que existe durante la mayor parte del período de afino, la superficie de metal y de la escoria es del orden de 0.6 a 0.8 m^2/Kg. de arrabio líquido cargado. En un convertidor de 200 toneladas, el área de metal y escoria disponible para la reacción es de 14.000 m^2. Esto explica la razón de que una colada de acero se pueda afinar en sólo 25 min. en un oxiconvertidor, lo que en el horno Martin-Siemens demoraría de 6 a 12 horas.[3]

- La eficiencia térmica del proceso es de 70 a 75% en vez del 55% que corresponde al Bessemer básico. Esto abarca también lo referente al consumo de refractario que es menor y sobre todo en lo que respecta al

fondo del recipiente que no es intercambiable por el mínimo desgaste que soporta. [2]

Desde el punto de vista de las propiedades obtenidas en el acero se destaca las siguientes ventajas:

a) El acero LD, presenta menos segregaciones que un acero Martin-Siemens de análoga composición.[2]

b) La amplitud respecto a la deformación en frío del acero LD es excelente, siendo superior al acero Martin-Siemens, para la fabricación de hojalata y alambre.[10]

c) El acero LD es igualmente superior al Martin-Siemens en lo que respecta a la fractura frágil.[8]

d) El acero LD tiene un excelente rendimiento metálico puede ser del orden de 90%.[5]

e) El costo de afino es mucho más bajo del 50 a 60% del Martin-Siemens[5].

f) El costo medio de fabricación del acero

LD es un 55% del que corresponde al proceso Martin. (Herbert Trenkler y H.P. Hauttman).

Finalmente, se citará las tres ventajas que son las que deciden totalmente la selección del proceso LD:

1. Bajo costo inicial
2. Es posible construir localmente
3. Su tamaño puede ser tan pequeño como para tratar 100 Kg. y tan grande como para tratar 200 toneladas.

1.3.4 Materiales que se pueden producir en el convertidor LD.-

Los aceros fundidos pueden ser hechos similarmente a cualquiera de los tipos de acero al carbono o aleados producidos para forja. Tales fundiciones son producidas por vaciado del acero fundido de diferente composición dentro de un molde cuya configuración tomará el metal solidificado. El material del molde puede ser arena de sílice, de zirconio, de cromita, de olivina , grafito, metal o cerámica. El cambio del material del molde depende

del tamaño, dificultad, exactitud dimensional de la fundición o del costo. Aún cuando el tamaño producible, acabado superficial y exactitud dimensional varían grandemente con el tipo de molde, las propiedades del acero fundido no son afectadas significativamente. Varios tipos de aceros fundidos y aceros forjados de equivalente composición química responden similarmente a los tratamientos térmicos, teniendo la misma soldabilidad, y similares propiedades físicas y mecánicas. Los aceros fundidos no exhiben los efectos de direccionabilidad de las propiedades que es típica de los aceros forjados.

Los aceros fundidos se clasifican en cuatro grupos generales de acuerdo a su contenido de carbono o elementos de aleación. Tres de estos grupos corresponden a los aceros fundidos al carbono y estos son: a) Aceros fundidos de bajo carbono, con el porcentaje de carbono menor que 0.2%, b) Aceros fundidos de medio carbono con el porcentaje de carbono entre 0.2 y 0.5%, y c) Aceros fundidos de alto carbono, con el contenido de carbono mayor a 0.5%. El cuarto grupo corresponde a los aceros fundidos de baja aleación y su contenido total de

aleación está limitado hasta el 8%.

Además de estos cuatro grupos, existe un quinto en el que se encuentran los aceros fundidos especiales o aleados, los cuales poseen diferentes características según sea su uso destinado, entre ellos tenemos: aceros fundidos resistentes al calor, aceros fundidos inoxidables, aceros fundidos austeníticos al manganeso.

1.3.5 Aplicaciones.-

La aplicación de los aceros fundidos es sumamente extensa, la principal aplicación es la construcción de partes de máquinas y equipos. En la parte correspondiente a propiedades mecánicas y características tecnológicas se detalla las aplicaciones para los distintos grados de aceros fundidos, y en el Apéndice A, se lista una gran variedad de aceros fundidos con su correspondiente composición química como su aplicación.

1.3.6 Normas de control.-

Los aceros fundidos son usualmente producidos

para satisfacer propiedades mecánicas especificadas con varias restricciones en composición química.

La Tabla IV lista los requerimientos dados en varias normas ASTM, SAE y especificaciones gobernantes. En el rango de bajos esfuerzos, algunas especificaciones limitan el contenido de carbono y manganeso usualmente para asegurar una soldabilidad satisfactoria. En la norma SAE J435c, el carbono y el manganeso son especificados para asegurar que la dureza mínima y el esfuerzo deseados sean obtenidos luego del tratamiento térmico. Para aplicaciones especiales otros elementos pueden ser especificados con sus porcentajes máximos o mínimos según sean sus características deseadas.

Otras normas o especificaciones ASTM que incluyen grados de acero fundido al carbono y de baja aleación son: A216, A217, A352, A356, A389, A426, A486, A487, A643, A757. (Para los grados C12, CA15, de A217, CP9 de A426, CA15a, CA15M, CA6NM de A487 y E3N de A757 excepto aquellas que tienen más del 8% del contenido de aleación ya que éstas no pertene

Tabla IV: Sumario de requerimientos especificados para aceros moldeados (6)

Clase o grado	Mínimo Esfuerzo de tensión MPa	Mínimo Esfuerzo de fluencia MPa	Mínima Elongación en 50 mm %	Mínima Reducción en área %	Dureza, HB(a)	Composición Química, %(b) C	Mn
ASTM A27-77							
N-1	...	...	...	...	..	0,25(c)	0,75(c)
N-2	...	...	...	...	..	0,35(c)	0,60(c)
U60-30	415	205	22	30	..	0,25(c)	0,75(c)
60-30	415	205	24	35	..	0,30(c)	0,60(c)
65-35	450	240	24	35	..	0,30(c)	0,70(c)
70-36	485	250	22	30	..	0,35(c)	0,70(c)
70-40	485	275	22	30	..	0,25(c)	1,20(c)
ASTM A148-73							
80-40	552	276	18	30	..	...	...
80-50	552	345	22	35	..	...	...
90-60	621	414	20	40	..	...	...
105-85	724	586	17	35	..	...	...
120-95	827	655	14	30	..	...	...
150-125	1034	862	9	22	..	...	...
175-145	1207	1000	6	12	..	...	...
SAE J435c							
0022					187 max	0,12-0,22	0,50-0,90
0025	414	207	22	30	187 max	0,25(c)	0,75(c)
0030	448	241	24	35	131-187	0,30(c)	0,70(c)
0050A	586	310	16	24	170-229	0,40-0,50	0,50-0,90
0050B	690	483	10	15	207-255	0,40-0,05	0,50-0,90
080	552	345	22	35	163-207	...	...
090	621	414	20	40	187-241	...	...
0105	724	586	17	35	217-248	...	...
0120	827	655	14	30	248-311	...	...
0150	1034	862	9	22	311-363	...	...
0175	1207	1000	6	12	363-415	...	...
HA, HB, HC(d)	...	...	...	...	...	0,25-0,34	...

(a) Los valores de dureza se aplican a partes fundidas en sitios que no sobrepasan los 76mm de espesor. (b) Carbono y manganeso son límites máximos excepto cuando se da un rango. ASTM A27-73 y ASTM A148-73 restringen fósforo a 0,050% y azufre a 0,060% máx. SAE J435c restringe fósforo a 0,040% y azufre a 0,045% máx. Silicio y elementos aleantes están restringidos en algunos grados. (c) Por cada reducción de 0,01% de carbono bajo el máximo especificado, un incremento de 0,04% de manganeso sobre el máximo especificado es permitido hasta un máximo de 1,00% excepto para A-27, grado 70-40 donde el máximo permitido es 1,40%. (d) Adquirido a base de templabilidad. Manganeso y otros elementos se añaden según se requieren.

cen a ningún grado de los aceros fundidos al carbono de baja aleación). La Tabla V lista los requerimientos para las clases de aceros fundidos de baja aleación dados en una de estas normas ASTM adicionales (A487), y en el Apéndice B se encuentran las siguientes normas: UNE-36252 Española; ASTM A216-68 y ASTM A 148-75 Estadounidenses; B.S. 592-1957 y B. S. 1504-101-1958 Británicas. Cuando solamente las propiedades mecánicas son especificadas, la composición química de la fundición para aplicaciones ingenieriles generales es usualmente dejada a la discreción del fundidor. Sin embargo, para aplicaciones específicas, se ha establecido ciertos límites de composición química, para asegurar que luego de ser tratadas térmicamente desarrollen las propiedades mecánicas especificadas, así como para facilitar la soldadura, la uniformidad en la respuesta al tratamiento térmico, u otras propiedades. La dureza especificada para grados superiores SAE J435c para asegurar maquinabilidad, facilidad de inspección para producciones en serie, o ciertas características pertinentes al desgaste.

La norma SAE J435c incluye tres grados HA, HB

Tabla V: Requerimientos para aceros fundidos para partes que soportan presión (6)

Clase de material	Esfuerzo de tensión(a) MPa	Esfuerzo de fluencia(a) MPa	Mínima Elongación en 50 mm %.	Mínima reducción en área, %	Composición(b) C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V
Fundiciones Normalizadas y Revenidas											
2N	585-760	365	22	35	0,30	1,10-1,40	0,80	0,35(c)	0,50(c)	1,10-0,30	0,03
4N	620-795	415	20	40	0,30	1,00	0,80	0,40-0,80	0,40-0,80	0,15-0,30	0,03
5N	795	550	18	30	0,28	1,30-1,70	0,80	0,40-0,80	0,40-0,80	0,30-0,40	0,03
12N	485-655	275	20	35	0,20	0,40-0,70	0,60	0,50-0,90	0,60-1,00	0,90-1,20	0,03
13N	620-795	415	18	35	0,30	0,80-1,10	0,60	0,40(c)	0,40-1,75	0,20-0,30	0,03
Fundiciones Templadas y Revenidas											
2Q	620-795	450	22	40	0,30	1,10-1,40	0,30	0,35(c)	0,50(c)	0,10-0,30	0,03
4Q	725-895	585	17	35	0,30	1,00	0,80	0,40-0,80	0,40-0,80	0,15-0,30	0,03
4QA	795	655	15	35	0,30	1,00	0,80	0,40-0,80	0,40-0,80	0,15-0,30	0,03
6Q	825	655	12	25	0,38	1,30-1,70	0,80	0,40-0,80	0,40-0,80	0,30-0,40	0,03
12Q	725-895	585	17	35	0,20	0,40-0,70	0,60	0,50-0,90	0,60-1,00	0,90-1,20	0,03
13Q	725-895	585	17	35	0,30	0,80-1,10	0,60	0,40(c)	1,40-1,75	0,20 0,30	0,03

(a)Cuando se muestra un solo valor, es un mínimo. (b)Cuando se muestra un solo valor, es un máximo. Para todas las clases, fósforo es restringido a 0,04% y azufre a 0,045% máx. Los máximos para cromo y níquel, y para molibdeno más tungsteno, cuando se presentan como residuos, son como se da en la tabla. El máximo para tungsteno residual es 0,10% máx. para todas las clases. La cantidad total máxima permitida de elementos no especificados varía con la clase desde 0,50 hasta 1,00%. (c)Residuos solamente, no especificados.

y HC especificando requerimientos de templabilidad. La Figura 2 indica los puntos mínimos y máximos requeridos en valores de dureza para estos aceros, las curvas de templabilidad son determinadas por la velocidad de enfriamiento mediante el ensayo JOMINY. Otras especificaciones requieren un mínimo de dureza en uno o dos puntos menos en la pieza templada. En general la templabilidad es especificada para asegurar en los espesores requeridos un predeterminado grado de transformación desde austenita a martensita durante el temple, esto es importante en partes críticas que requieren tenacidad y una óptima resistencia a la fatiga.

Entre la mayoría de los aceros comúnmente seleccionados tenemos los siguientes grados: a) acero fundido al carbono de medio esfuerzo, corresponde a la norma ASTM A27-73 ó SAE 0030 y, b) aceros fundidos de alto esfuerzo, frecuentemente aleados y tratados térmicamente, a estos corresponde la norma ASTM A148-73 ó SAE 105.

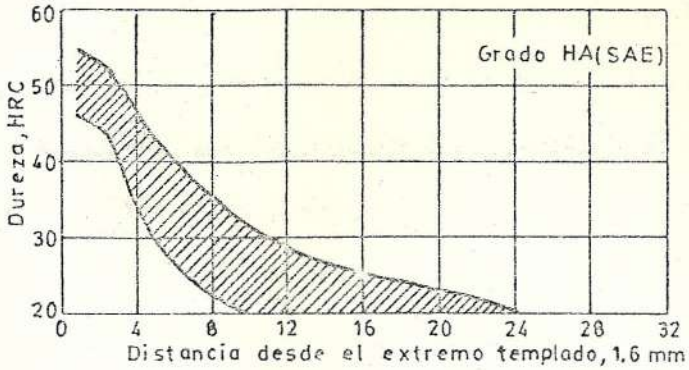
Particularmente cuando el cliente realizará tratamiento térmico, una fundición puede ser

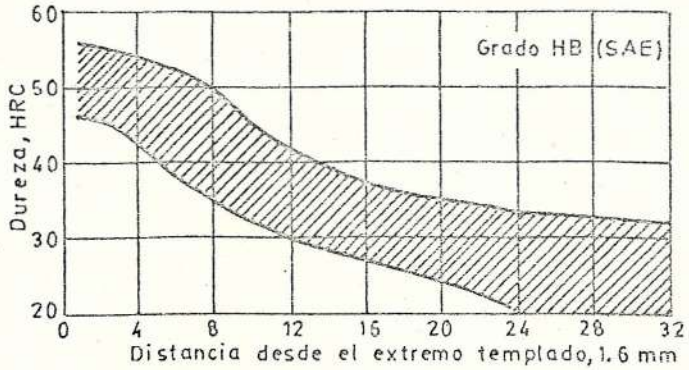
ordenada especificando equivalentes a normas ASTM ó SAE observando un contenido elevado de silicio. En otras fundiciones de acero no se dá especificaciones de silicio, pero permite al fundidor la utilización de combinaciones de silicio y manganeso que son necesarias según la forma de la fundición. El contenido de silicio es frecuentemente más alto en las fundiciones de acero que en un acero laminado de la misma composición nominal. El silicio sobre el 0.8% es considerado como adición de aleación ya que contribuye significativamente a la resistencia al temple.[6]

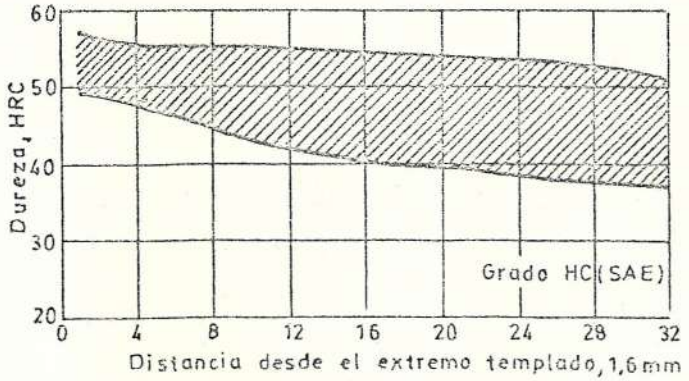
1.3.7 Propiedades mecánicas y características tecnológicas.-

Los aceros ferríticos sean estos fundidos, forjados, laminados o soldados comparados con un nivel dado de dureza, templabilidad, esfuerzo de fluencia, esfuerzo de tensión; son virtualmente idénticos, sin considerar el contenido de aleación. Consecuentemente, cuando existen criterios de control para propiedades de tensión y fluencia el diseño puede intercambiar entre acero laminados, forjados o fundidos.

Fig. 2: Límites de dureza del extremo templado para tres grados de acero fundido (6)







El contenido nominal de carbono de estos aceros es 0,30%C. Manganeso y otros elementos aleantes son añadidos según se requiera producir fundiciones que cumplan con estos límites.

DUCTILIDAD :

La ductilidad de los aceros fundidos es aproximadamente la misma que la de los aceros forjados con la misma dureza. Las propiedades longitudinales de los aceros forjados o laminados son algo mayores que los aceros fundidos o soldados. Sin embargo, las propiedades transversales son menores por una cantidad que depende de la cantidad de trabajado. Cuando las condiciones de servicio involucran cargas multidireccionales, la no direccionalidad de los aceros fundidos puede ser muy ventajosa.

TENACIDAD :

La barra muescada tipo Charpy usada para el ensayo de impacto es muchas veces utilizada como una medida de la tenacidad de los materiales, y particularmente para determinar la temperatura de transición desde una fractura dúctil a una fractura frágil. La temperatura de transición a ductilidad nula NDTT "Nil Dutility Transition Temperature" (determinada por el método ASTM E208). valores de expansión lateral y los valores de energía absor-

bida a una temperatura específica, son algunos de los diferentes criterios para la evaluación de las propiedades de impacto. Las propiedades de impacto de los aceros forjados son generalmente listados para dirección longitudinal; estos valores son más altos que para los aceros fundidos de equivalente composición química y tratados térmicamente. Las propiedades de impacto transversales de los aceros forjados son generalmente de 50 a 75% aproximadamente, de los mismos en la dirección longitudinal sobre la temperatura de transición y en las mismas condiciones de composición y trabajado. Ya que los aceros fundidos son no direccionales, sus propiedades de impacto caen en algún punto entre las propiedades longitudinales y transversales de los aceros de similar composición.

Las propiedades de impacto son controladas por la microestructura y, en general no son significativamente afectadas por microfisuras o por hidrógeno. El efecto de la microestructura es también controlado por la composición química y el tratamiento térmico; en efecto las propiedades de impacto varían significativamente según el grado del acero y/o el tratamiento térmico.[6]

TRATAMIENTOS TERMICOS DE LOS ACEROS MOLDEADOS:

El acero moldeado en el estado de fundición es relativamente frágil y posee propiedades mecánicas pobres. Por consiguiente, debido a su rendimiento en servicio éstos pueden ser sometido a tratamientos térmicos mediante los cuales se puede refinar el grano y destruir la estructura dendrítica, aliviar tensiones internas y desarrollar propiedades mecánicas y físicas deseadas. El tratamiento térmico aplicado a los aceros depende de la composición química, tamaño de sección, diseño, tamaño de grano y las propiedades mecánicas deseadas. Debido a la variación del tamaño, sección y diseño de la fundición, estos tratamientos térmicos requieren de considerable cuidado. Sin embargo, el acero fundido responde a los tratamientos térmicos similarmente que el acero forjado, y para tal propósito práctico se aplica la misma regla, es decir, se debe colocar las fundiciones dentro del horno con cuidado para minimizar peligros de alabeo, distorsiones o fracturas, evitando así que éstas queden inaptas para el servicio. Los tratamientos térmicos

comúnmente aplicados son los siguientes:

Recocido.-

Las fundiciones son colocadas en el horno y calentadas a una temperatura ligeramente sobre Ac_3 usualmente 900°C para acero al carbono. Las fundiciones son mantenidas a esta temperatura una hora por cada 2.5 cm. de espesor de la mayor sección, y enfriada suavemente en el horno. Tales tratamientos alivian los esfuerzos de la fundición, refinan el tamaño de grano y sirven para eliminar la estructura dendrítica. El recocido eleva el esfuerzo de tensión y el esfuerzo de fluencia e incrementa la ductilidad. También mejora la maquinabilidad especialmente en los aceros de alto carbono.

Normalizado.-

El tratamiento de normalizado es similar al proceso de recocido, excepto que las fundiciones son removidas del horno al final del período de calentamiento y son enfriadas en aire quieto. El tratamiento de normalizado produce un acero duro con mayores esfuerzos

de tensión y de fluencia que los aceros recocidos, con valores de ductilidad aproximadamente iguales. Sin embargo los esfuerzos internos no son removidos con la misma intensidad que con el recocido. Doble normalizado es frecuentemente empleado para producir una mayor uniformidad en la estructura de los granos y tal tratamiento mejora la ductilidad.

Para remover los esfuerzos internos o reducir la dureza de los aceros normalizados o deformados plásticamente un revenido es frecuentemente usado, calentando la fundición a la temperatura bajo la del rango crítico y dejando enfriar en el horno. El rango para el revenido de los aceros fundidos es de 260 a 680°C.

Templado y revenido.-

El templado y revenido es aplicado principalmente a los aceros de alto carbono y de baja aleación en donde se requieren alta resistencia al impacto y a la abrasión. En general la práctica es normalizar o recocer la fundición, calentarla nuevamente y luego templar-

la. El tratamiento de revenido debe seguir inmediatamente porque los esfuerzos internos causados por enfriamiento brusco pueden causar la fractura de la fundición.

Algunas veces es necesario usar una velocidad de enfriamiento adecuada para evitar las fracturas, en tales casos la fundición es sumergida en un baño de temple por un intervalo de tiempo determinado e inmediatamente la extraemos y la llevamos a la temperatura de revenido, este procedimiento debe ser controlado cuidadosamente, de otra manera puede ocurrir una variación en el rango de dureza.

Algunos aceros aleados, particularmente el acero al manganeso en el rango de 1.0 a 2.0% son susceptibles a fragilidad de revenido, tales aceros tienen bajos valores de resistencia al impacto y ductilidad cuando son enfriados lentamente desde la temperatura de revenido. Para evitar esto, algunas veces es necesario enfriar rápidamente desde la temperatura de revenido.

Temple superficial.-

Algunas piezas fundidas necesitan ser endurecidas en algunas de sus partes o secciones en las cuales estará sometida a desgaste, abrasión, etc., en tales casos se emplea el temple superficial y para tal propósito se puede utilizar una antorcha o un equipo de inducción y luego enfriar con agua, este procedimiento de temple puede alcanzar hasta sobre los 6 mm. de profundidad de la pieza.

INFLUENCIA EN LOS ACEROS DE LOS ELEMENTOS PRIMARIOS :

Se ha convenido en designar como aceros al carbono a aquellos que están formados fundamentalmente por hierro y carbono, no siendo los porcentajes de otros elementos superiores a los límites siguientes:

Manganeso	1.2%
Silicio	1.0%
Niquel	0.5%
Cromo	0.25%
Molibdeno	0.1%
Vanadio	0.05%
Wolfranio	0.3%
Cobalto	0.3%

Titanio	0.3%
Aluminio	0.3%
Cobre	0.3%
Azufre+Fósforo	0.3%
Otros elementos individualmente	0.10%

A continuación se hará una revisión de la influencia que pueden ejercer sobre los aceros fundidos al carbono ordinarios y de baja aleación, los elementos primarios (S, P, Si, Mn), los cuales están presentes en todo acero y, además el aluminio que es generalmente utilizado para la desoxidación.

Influencia del aluminio.-

El aluminio está presente en la ganga de numerosos minerales y, dada su afinidad con el oxígeno, no puede ser desplazado por el carbono en el curso de la elaboración del hierro, encontrándose en él en forma de inclusiones de alúmina. En estado metálico se utiliza el aluminio para desoxidar el acero en el curso del afino, añadiéndose hasta 250gr. por tonelada. Además se consigue con el aluminio afinar el grano, pues se forman partícu-

las de alúmina que actúan como centros de cristalización, por esto casi todos los aceros de calidad contienen aluminio en porcentajes muy pequeños de 0.01 hasta 0.09%. Algunas veces para asegurar la desoxidación se utiliza hasta 0.2%.

Influencia del azufre.-

El azufre que contiene el acero proviene principalmente del coke cuando se afinan arrabios provenientes de alto horno o cubilote, se encuentra en general en forma de sulfuro de hierro y de sulfuro de manganeso.

El azufre resulta perjudicial para la generalidad de los tipos de aceros, porque su inclusión en la masa de acero en forma de sulfuro de hierro de bajo punto de fusión (980°C) crea zonas débiles en los tratamientos u operaciones de transformación y produce grietas o fisuras (acero agrio); por esta razón el contenido de azufre figura en las tablas de composición del acero con un mínimo, nunca mayor de 0.05%, aunque se ha comprobado que hasta 0.12% apenas ejerce ninguna influencia.[5]

Influencia del fósforo.-

El fósforo que contienen los aceros procede de los minerales de hierro, aunque también se utiliza como elemento de adición en algunos casos especiales.

Durante muchos años se ha considerado al fósforo como uno de los elementos más perjudiciales, y en las tablas de composición de los aceros figura con indicación de un límite máximo admisible que en general es inferior a 0.05%. Sin embargo se ha demostrado que hasta un porcentaje de 0.08% no sólo resulta perjudicial para el acero sino que aumenta su dureza como el carbono.

El fósforo en proporciones superiores al 0.08% produce fragilidad en frío por su tendencia a engrosar el grano y a disminuir la plasticidad de la ferrita.(5)

El cromo y el cobre aumentan la tolerancia para el fósforo y en estas condiciones actúa como el carbono, aumentando la dureza, la resistencia a la tracción y el límite elástico, y disminuyendo la tenacidad. Por eso, los

aceros bajos en carbono pueden tolerar más fósforo que los aceros altos en carbono.

Influencia del manganeso.-

El manganeso que contienen los aceros procede de la ganga de muchas clases de minerales de hierro, que lo contienen en proporciones variables. Se elimina parcialmente en el curso de la fabricación del acero, pero como su presencia es útil para neutralizar el azufre, combinándose con él en forma de sulfuro de manganeso, se añade en muchos casos cantidades suplementarias de manganeso al acero en el curso de su elaboración. El manganeso actúa también como desoxidante absorbiendo oxígeno contenido en la masa de acero fundido y evitando que al desprenderse los gases en la solidificación se produzcan sopladuras.

El manganeso favorece el ataque de los refractarios por el acero fundido y por esto se producen muchas inclusiones de partículas de refractario en los aceros con fuerte aleación de manganeso.

Se consideran como aceros aleados al manganeso los que lo contienen en proporciones superiores a 1.20%. El manganeso se incorpora al acero en forma de metal técnicamente puro o en forma de ferromanganeso, ferromanganosilicio, ferromanganoaluminio, etcétera.

Influencia del silicio.-

El silicio se encuentra casi siempre en los aceros, pues se utiliza mucho como desoxidante. Además los revestimientos refractarios de los hornos contienen frecuentemente sílice (SiO_2), que reducida por el carbono incorpora silicio al metal. El silicio se considera como elemento aleado cuando el contenido de silicio supera el 1.0%. Esta influencia se explica que aceros de idéntica composición tengan diferente templabilidad según el revestimiento del horno en que han sido elaborados.

Aceros fundidos de bajo carbono.-

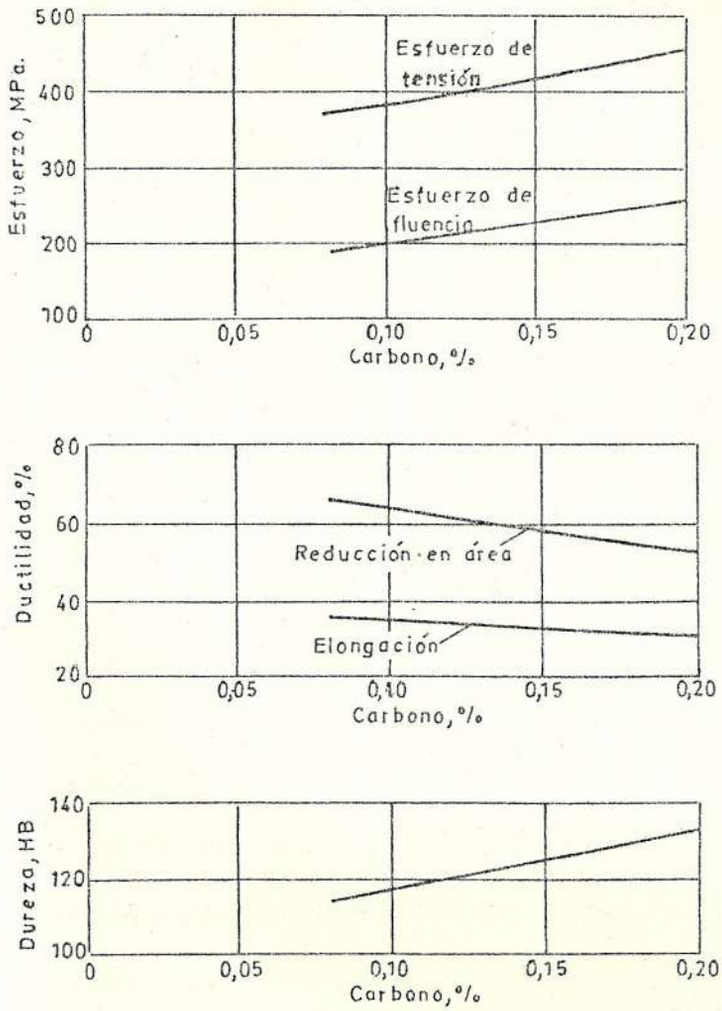
Los aceros fundidos de bajo carbono son aquellos cuyo contenido de carbono es inferior al 0.20%. En la mayoría del rango de produc

tos de bajo carbono su contenido de carbono está entre 0.16% de C, con 0.50 a 0.80% de Mn, 0.05% máx de P y 0.06% máx de S y 0.35 a 0.70% de Si.

La Figura 3 ilustra las propiedades mecánicas de un acero fundido recocido cuyo contenido de carbono varía desde 0.08 a 0.2%. Las propiedades de este acero producido pueden considerarse un poco inferiores debido a su bajo contenido de manganeso.

Existe una muy pequeña diferencia en las propiedades de un acero de bajo carbono que se le haya realizado un tratamiento térmico de normalizado o de recocido completo; por lo tanto, los datos son representados en un solo set de curvas. En los aceros fundidos como en los laminados el incremento de carbono, aumenta el esfuerzo y disminuye la ductilidad. No obstante, las propiedades mecánicas del acero fundido de bajo carbono son aproximadamente las mismas en las condiciones de fundición (verde) o de recocido, los aceros fundidos son frecuentemente recocidos o normalizados para aliviar esfuerzos y refinar la estructura.

Fig. 3: Efecto del contenido de carbono sobre las propiedades mecánicas del acero fundido de bajo carbono, recocido (6)



El normalizado de estos aceros tiene efecto despreciable sobre las propiedades mecánicas. Las propiedades de los aceros como fundición son también bastante similares a aquellas del material recocido.

Los aceros fundidos de bajo carbono son producidos en dos importantes clases. Una puede ser denominada "fundiciones de cuerpos de revolución o simétricas" y la otra "fundiciones de piezas misceláneas". Las fundiciones simétricas consisten principalmente de simetrías relativas y diseños circulares, cuando es posible se pueden estudiar y resolver condiciones adversas de esfuerzos. Las fundiciones de piezas misceláneas presentan una amplia variación en diseños y frecuentemente involucran la unión de secciones débiles o finas con gruesas. La variación de sección hace más difícil evitar los esfuerzos residuales en el estado de fundición. Sin embargo los esfuerzos residuales no pueden tolerarse en algunas aplicaciones de servicio, haciéndose necesario un alivio de esfuerzos. Por consiguiente un recocido en estas fundiciones es decisivamente beneficioso, su efecto también puede observarse en un pequeño mejoramiento de las propiedades mecánicas. A veces no es necesario recocer los aceros fundidos con porcentajes de carbono inferiores a 0.20%, ya que las propiedades son muy similares, aunque se observe cierto incremento en el valor de la resistencia al impacto.

La composición y propiedades de acero fundido de bajo carbono en condición de fundición, realizando el estudio sobre 2000 consecutivos ensayos son:[6]

Carbono	0.189%
Manganeso	0.740%
Silicio	0.370%
Fósforo	0.013%
Azufre	0.026%
Esfuerzo de tensión	445MPa
Esfuerzo de fluencia	239MPa
Elongación en 50 mm.	32.9%
Reducción de área	53.0%

Un incremento en las propiedades mecánicas como los reportados en la Figura 3, pueden ser obtenidos por enfriamiento y revenido, se debe proveer al diseño de la fundición un enfriamiento óptimo para evitar fisuras, la resistencia al impacto es mejorada por enfriamiento y revenido, especialmente si la temperatura de revenido es alta.

Esfuerzo de fatiga.-

La relación del límite de fatiga al esfuerzo

de tensión para los aceros de bajo carbono varían un poco, pero es aproximadamente el 45%. Esta relación obtenida es válida para alta y baja temperatura y no es muy afectada por los varios tipos de tratamiento térmico que puede recibir el acero. En diseño de estructuras de acero fundido basadas en la relación de fatiga, es permisible el uso del 40% del esfuerzo de tensión para una barra lisa cuando el esfuerzo de fatiga no puede ser obtenido. Además se utiliza un factor de seguridad según la norma de la fundición.

Usos.-

Como se ha mencionado importantes, "fundiciones simétricas" son producidas con aceros de bajo carbono. Varias fundiciones para la industria automotriz producidas con esta clase de acero son: cajas recocidas, cimientos recocidos, etc. Aceros fundidos de bajo carbono también son producidos para casos de cementación, mediante la cual se proporciona a la fundición cierta dureza externa aunque tenga el núcleo dúctil.. Las propiedades magnéticas de estos aceros favorecen su uso en la ma

nufactura de equipos eléctricos. Aceros fundidos de maquinado libre, también pueden producirse con esta clase de aceros conteniendo de 0.80 a 3% de azufre.

Aceros fundidos de medio carbono.-

Los grados de acero fundido de medio carbono contienen entre 0.20% a 0.50% de carbono y representan la parte principal de la producción de aceros fundidos, además del carbono estos aceros contienen 0.50 a 1.50% de Mn, 0.05% máx de P, y o.06% máx de S, y 0.35 a 0.80% de Si. Las propiedades mecánicas a temperatura ambiente en aceros fundidos en estado de fundición con contenidos de carbono desde 0.20 a 0.50% son mostradas en la Figura 4. Los aceros pertenecientes a este rango son siempre tratados térmicamente, mediante lo cual se alivia los esfuerzos y refina la estructura de fundición y se mejora la ductilidad del acero.

La Figura 4, también muestra que mediante un recocido completo de los aceros fundidos de medio carbono se incrementa el esfuerzo de fluencia, la reducción de área y la elonga-

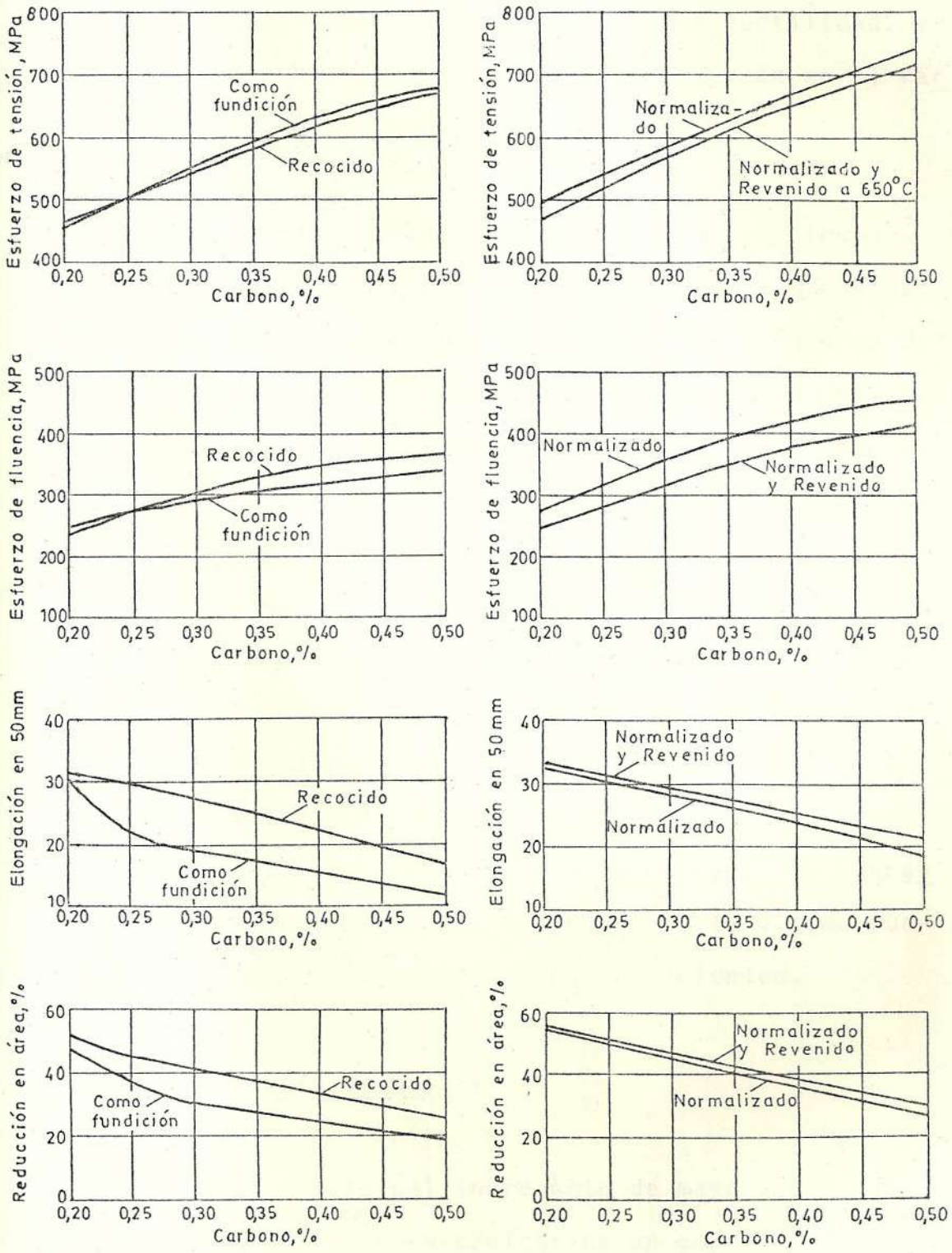
ción sobre el rango completo, comparándolas con las propiedades en el estado de fundición. Este incremento es muy pronunciado en los aceros con el contenido de carbono entre 0.25 y 0.50%.

La dureza y esfuerzo de tensión del acero en estado de fundición caen ligeramente fuera de los obtenidos para uno en estado de recocido completo. A una gran proporción de los aceros fundidos de estos grados se les dá un tratamiento de normalizado y seguidamente un tratamiento de revenido.

El incremento en las propiedades mecánicas de los aceros fundidos de medio carbono luego de normalizados o normalizados y revenidos también son mostrados en la Figura 4.

Si el diseño de una fundición es el adecuado para enfriamiento en líquido de temple, son posibles futuros incrementos en las propiedades mecánicas. En efecto para desarrollar propiedades mecánicas en un grado más completo, las fundiciones pueden ser tratadas térmicamente con un temple más un revenido. El procedimiento completo comercialmente es lla

Fig.4: Efecto del contenido de carbono sobre las propiedades mecánicas de los aceros fundidos de medio carbono (6)



mado bonificado para obtener un nivel deseado de esfuerzos. Las temperaturas de revenido generalmente para obtener alta ductilidad y buenas propiedades de impacto están en el rango de 650 a 705°C.

La Figura 5 ilustra el rango de propiedades mecánicas y contenido de carbono y manganeso para más de 2000 ensayos de acero fundido de bajo y medio carbono en el estado de fundición, normalizado y normalizado más revenido. El efecto muy beneficioso del tratamiento de normalizado más revenido sobre el esfuerzo de fluencia, elongación y reducción del área se nota muy claramente en el acero con 0.17% de C y 0.75% de Mn. Comparando este acero con el acero normalizado que contiene o.20% de C y 1.25% de Mn se nota el efecto fortalecedor del alto carbono y alto manganeso, la elongación y reducción de área de este último puede ser incrementada por el revenido.

Efecto de masa.-

El efecto del incremento de masa sobre las propiedades mecánicas de un acero fundido de

Fig. 5: Distribución de Propiedades mecánicas y contenidos de carbono y manganeso para aceros fundidos de bajo y medio carbono(6)

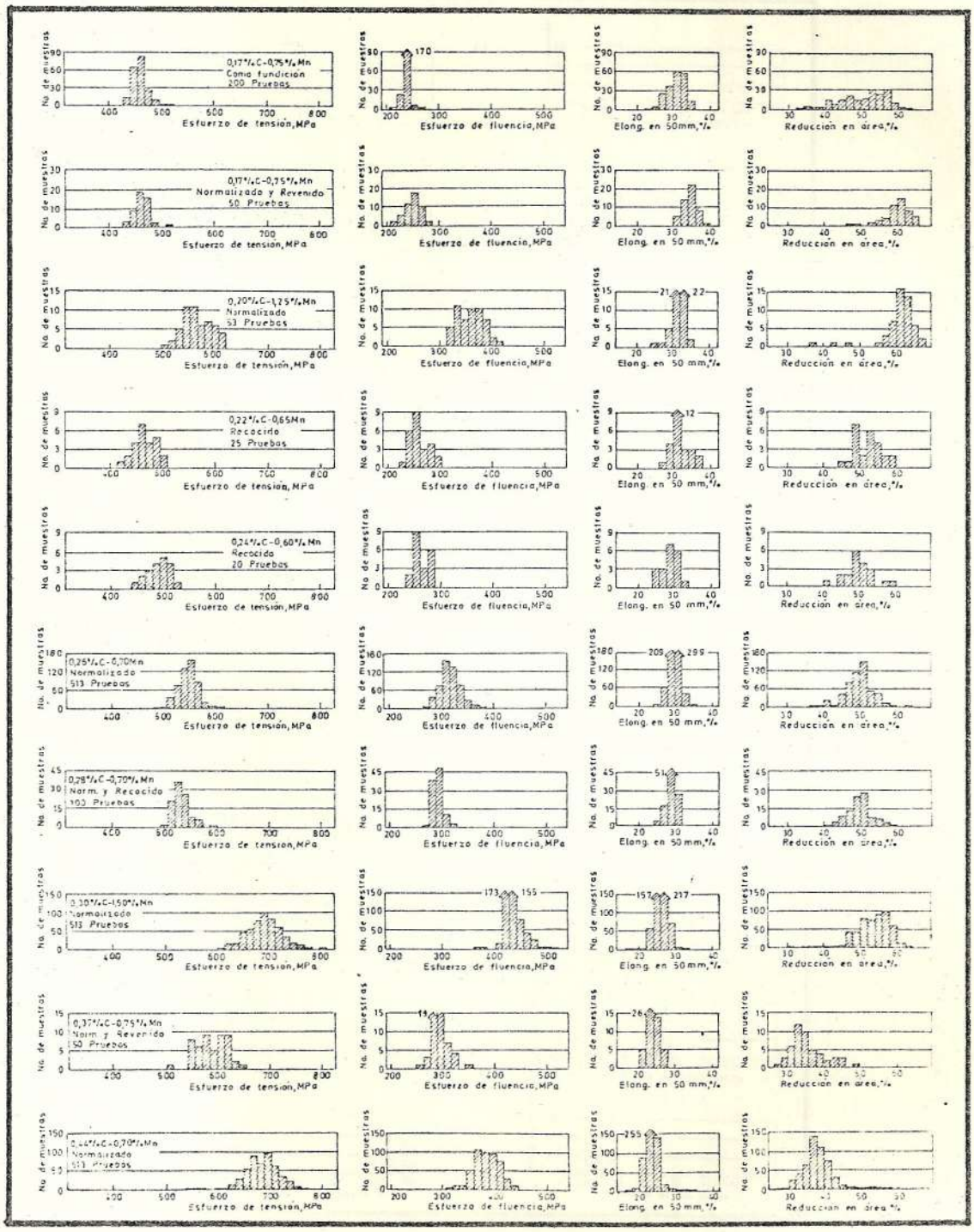
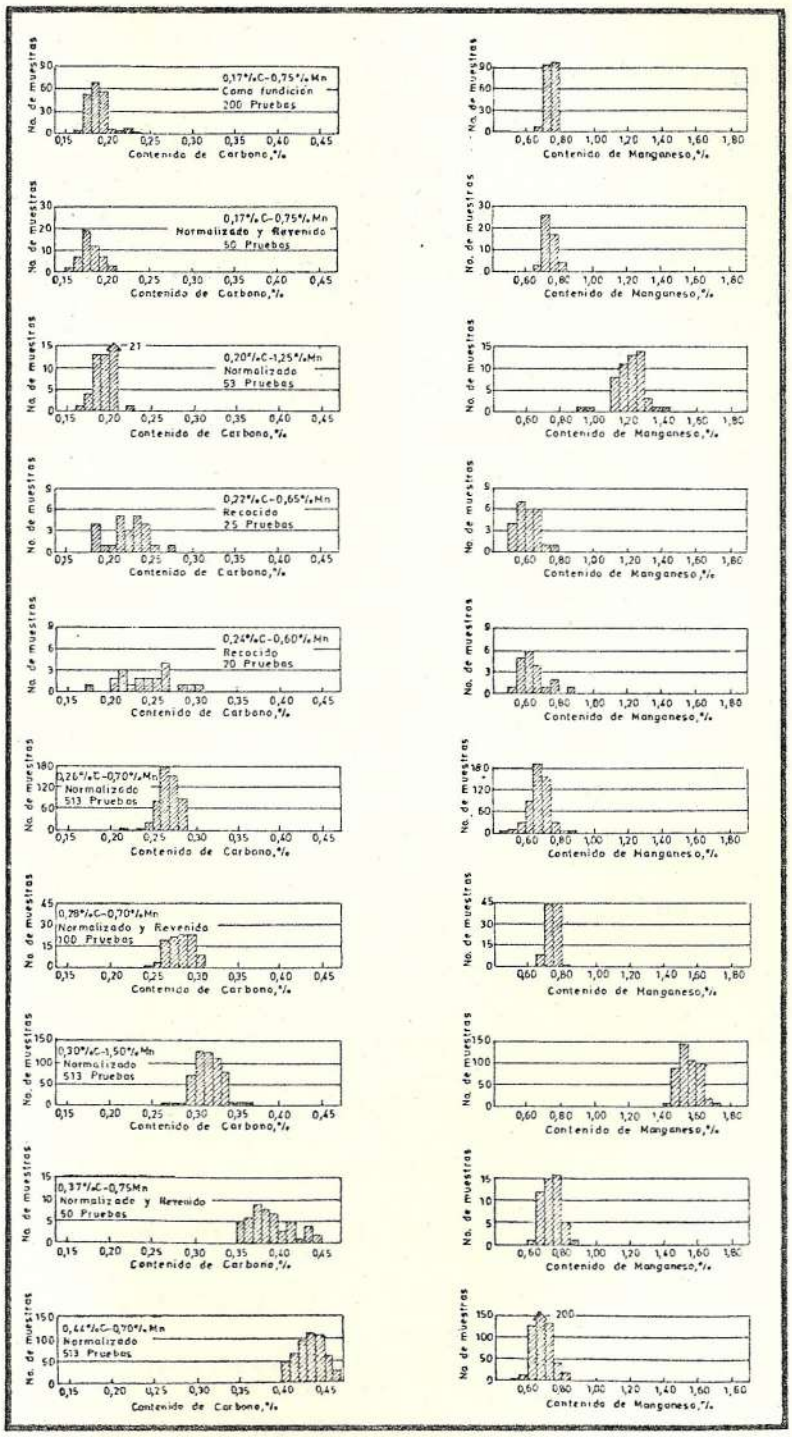


Fig.5 (continuación)

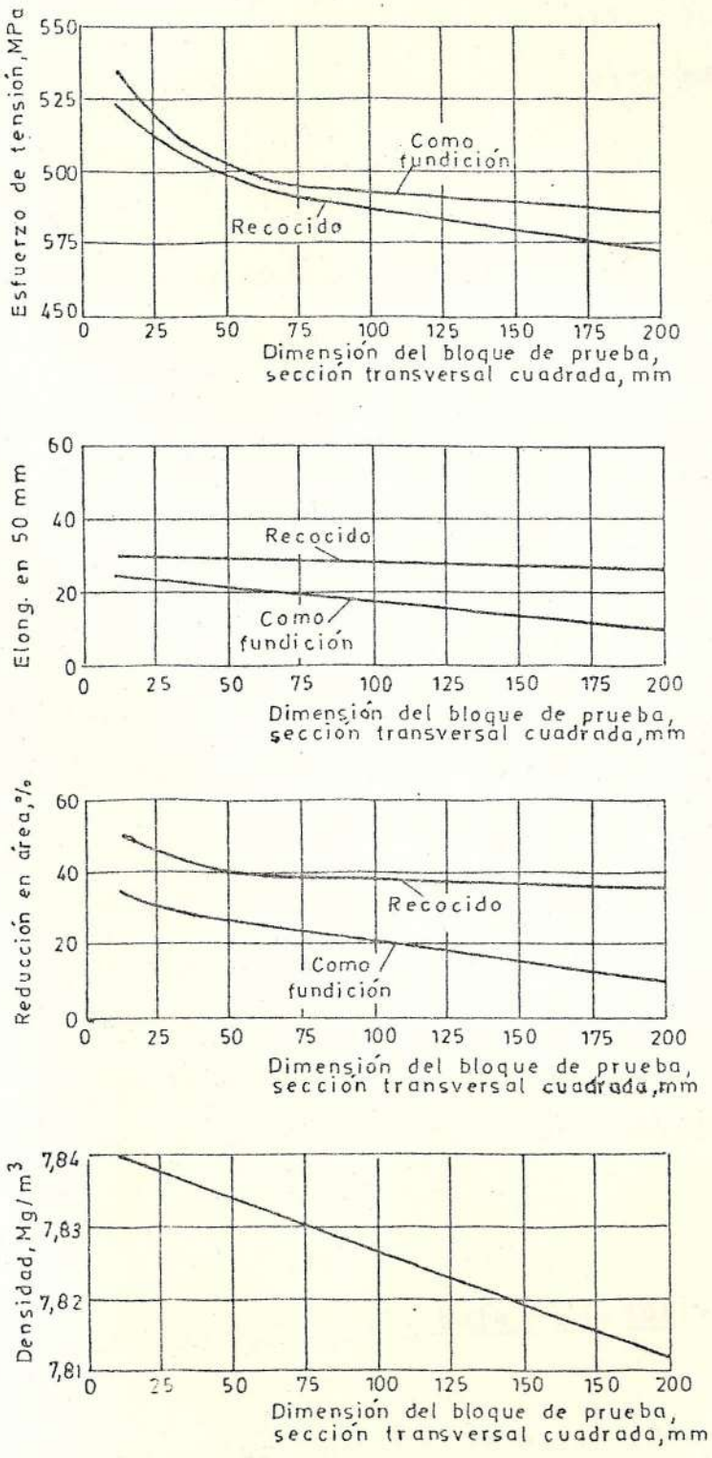


medio carbono en estado de fundición y en estado de recocido es ilustrado en la Figura 6. En una sección de 200 mm^2 el esfuerzo de tensión disminuye con el incremento del área de la sección, el efecto se acentúa más cuando la sección llega a los 100 mm^2. La diferencia del esfuerzo de tensión entre el estado de fundición y en condición de recocido es que éste último es menor. La diferencia entre elongación y reducción de área son mucho más significativas. Los especímenes en condición de recocido poseen el doble en elongación y más del doble en reducción de área que el acero fundido en estado de fundición.

Aceros fundidos de alto carbono.-

Los aceros fundidos que contienen más de 0.50% de carbono son clasificados como aceros fundidos de alto carbono. Estos aceros también contienen de 0.50 a 1.50% de Mn, 0.05% máx de P, y S, y de 0.35 a 0.70% de Si. Las propiedades mecánicas de los aceros fundidos de alto carbono son mostradas en la Figura 7. Estos resultados son obtenidos mediante ensayos realizados a aceros fundidos en condición de

Fig 6: Decrecimiento en propiedades con el incremento en masa de aceros fundidos de medio carbono (6)



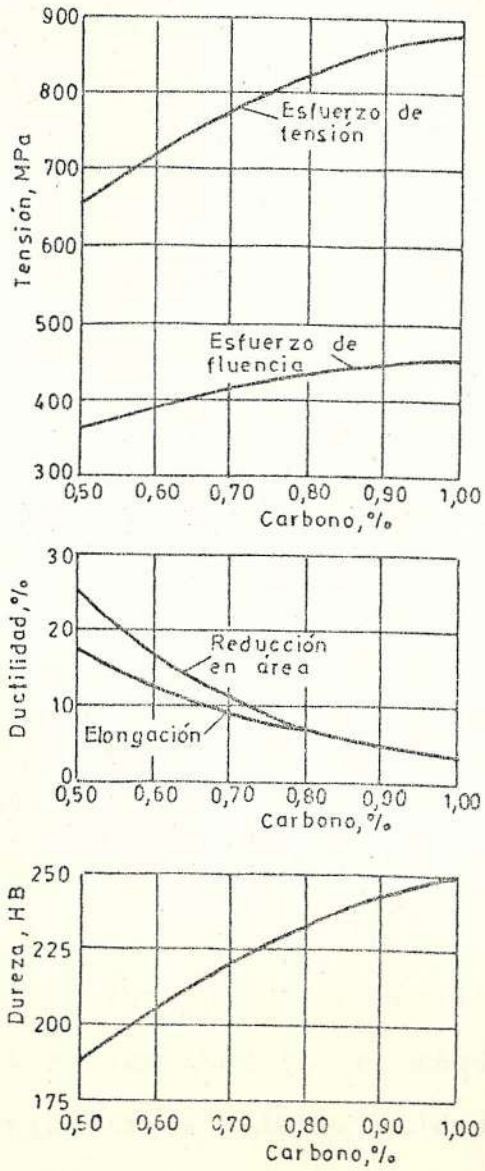
recocido completo. Ocasionalmente se les puede dar un tratamiento de normalizado más un revenido, y para ciertas aplicaciones se puede utilizar un temple en aceite más un revenido.

La microestructura de los aceros fundidos de alto carbono es controlada mediante el tratamiento térmico. El carbono también tiene marcada influencia, por ejemplo, dando 100% estructura perlítica con composición eutectoide. Alta proporción de carbono superiores a la composición eutectoide pueden incrementar la cementita proeutectoide, lo cual va en detrimento de la fundición ya que se forma una red de cementita en los límites de grano debido a un tratamiento térmico impropio (por ejemplo, un enfriamiento lento desde un punto sobre la temperatura Acm). Un enfriamiento rápido puede prevenir la formación de esta cementita y, así mejorar las propiedades.

Aceros fundidos de baja aleación.-

Los aceros fundidos de baja aleación tienen un contenido total de aleación menor que 8%.

Fig.7: Efecto del contenido de carbono sobre las propiedades mecánicas del acero fundido de alto carbono, recocido completo.(6)



Estos aceros han sido desarrollados y extensivamente usados para encontrar requerimientos especiales que no pueden ser logrados por los aceros fundidos al carbono ordinarios, los cuales tienen baja templabilidad. La adición de aleantes a los aceros fundidos al carbono ordinarios puede hacerse por una o varias razones, tales como proveerlos de alta templabilidad, incrementar su resistencia al desgaste, mejorar su resistencia al impacto con incremento de esfuerzos, mejorar su maquinabilidad también con alta dureza, incrementar los valores de esfuerzos a altas y bajas temperaturas, mejorar la resistencia a la corrosión y oxidación. Estos materiales son producidos para encontrar requerimientos de tensión que van de 485 a 1380 MPa, conjuntamente con los requerimientos especiales listados anteriormente.

Los aceros fundidos de baja aleación son utilizados en herramientas de máquinas; unidades de transporte de alta velocidad; turbinas de vapor; válvulas y acoples; equipos y accesorios para ferrocarriles, automotores, excavadoras, procesos químicos; maquinaria para procesar pulpa y papel; equipos de refinería; ma

quinaria textil y varios tipos de equipos marinos. Estos también son usados en el campo de la aeronáutica..

Los aceros fundidos de baja aleación pueden ser divididos en dos clases de acuerdo a su uso: a) aquellos en que se ha incrementado el esfuerzo, templabilidad y tenacidad que son utilizados en partes estructurales; y b) aquellos resistentes a la abrasión o corrosión en condiciones de servicio a altas o bajas temperaturas. Esta no puede ser forma de distinción para aceros que pueden servir en los dos campos.

El manganeso es el más barato de los elementos de aleación y tiene un importante efecto en el incremento de la templabilidad del acero. Por esta razón muchos de los aceros fundidos de baja aleación, contienen entre 1 y 2% de manganeso. En los aceros normalizados cuando el refinamiento de grano es necesario, es frecuente adicionar venadio, titanio o aluminio. El níquel o molibdeno con el manganeso también refinan el grano pero con mayor intensidad, pero cada uno de estos es impor-

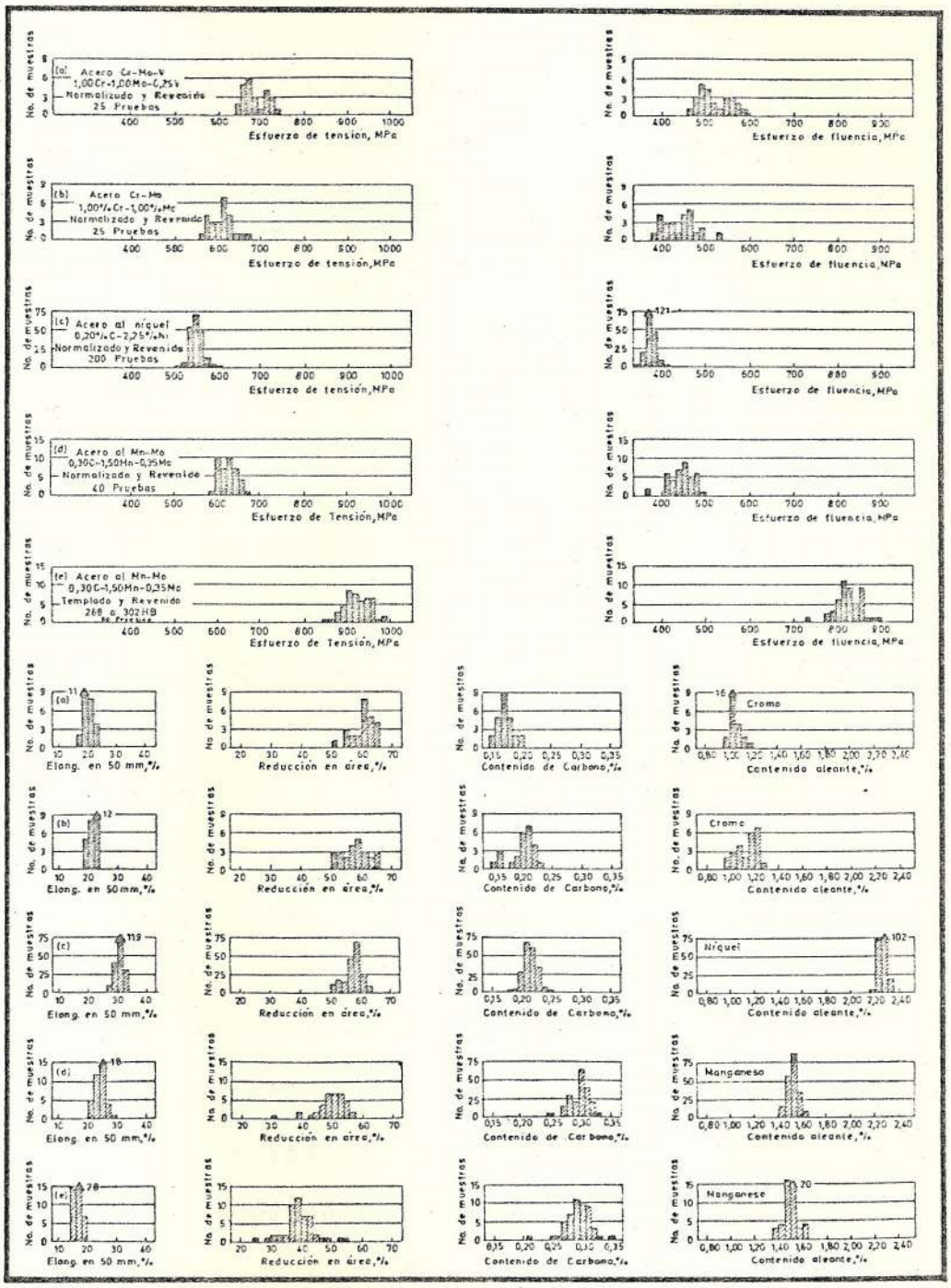
tante para dar al acero facilidad para autotemplarse. El cromo y el venadio imparten al acero considerable templabilidad. El contenido de vanadio en los aceros precipita algunas veces endureciéndolo, por consiguiente, puede tener altos esfuerzos de tensión y de fluencia.

Los aceros fundidos de baja aleación que contienen cromo, molibdeno, vanadio y tungsteno dan un buen servicio en válvulas, acoples y en partes de refinerías de petróleo, todas las cuales están sujetas a temperaturas de vapor sobre los 650°C. Aceros al níquel y al níquel vanadio están siendo usados en partes expuestas a condiciones subcero, debido a que presentan buena resistencia al impacto a bajas temperaturas. Sin embargo raramente se usan solos. Se están produciendo substanciales cantidades de aceros con cromo y molibdeno, níquel, vanadio o manganeso. Para numerosos propósitos estructurales que requieren alto esfuerzo y resistencia al desgaste se utiliza aceros fundidos al níquel vanadio y níquel molibdeno.

La Figura 8 muestra el amplio rango de propie

dades que se puede obtener mediante cambios en el contenido de carbono y aleación y tratándolos térmicamente.

Fig. 8: Distribución de las propiedades mecánicas y contenidos de carbono y aleación para fundiciones de acero aleadas (6)



CAPITULO II

TRABAJO EXPERIMENTAL

2.1 PLAN GENERAL DE TRABAJO.-

El trabajo realizado ha tenido como objetivo el control de calidad del acero producido por medio del proceso Dúplex (cubilote-convertidor LD.).

Para el cumplimiento de este objetivo, se han llevado a cabo las siguientes etapas del proyecto, en las que se ha realizado control según el avance del mismo.

a) Durante la etapa de conocimiento del proceso se ha realizado control de microestructura del producto y análisis químico.

b) En la etapa de ajuste de parámetros del proceso de aceración se realizó control microestructural y de propiedades por ensayos químicos y mecánicos.

c) Finalmente en la etapa de producción de aceros bajo normas específicas se realizó control microestructural, análisis químicos y ensayos mecánicos. En ambos casos la toma de muestras y la elaboración de probetas se realizó bajo las normas ASTM. Para los ensayos mecánicos se hicieron probetas para trabajar en condiciones en bruto de colada y con tratamientos térmicos.

Para alcanzar tal propósito se utilizó el siguiente equipo de fusión:

- Cubilote de 350 mm. de diámetro interior
- Convertidor de 400 Kg. de capacidad
- Lanza de oxígeno refrigerada con agua
- Antecrisol de 400 Kg. de capacidad
- Cuchara de colado de 400 Kg. de capacidad
- Accesorios adicionales

La secuencia de operación es la siguiente:

- Fusión en el cubilote
- Almacenamiento del arrabio de cubilote en el antecrisol calentando mediante un quemador de combustible líquido.

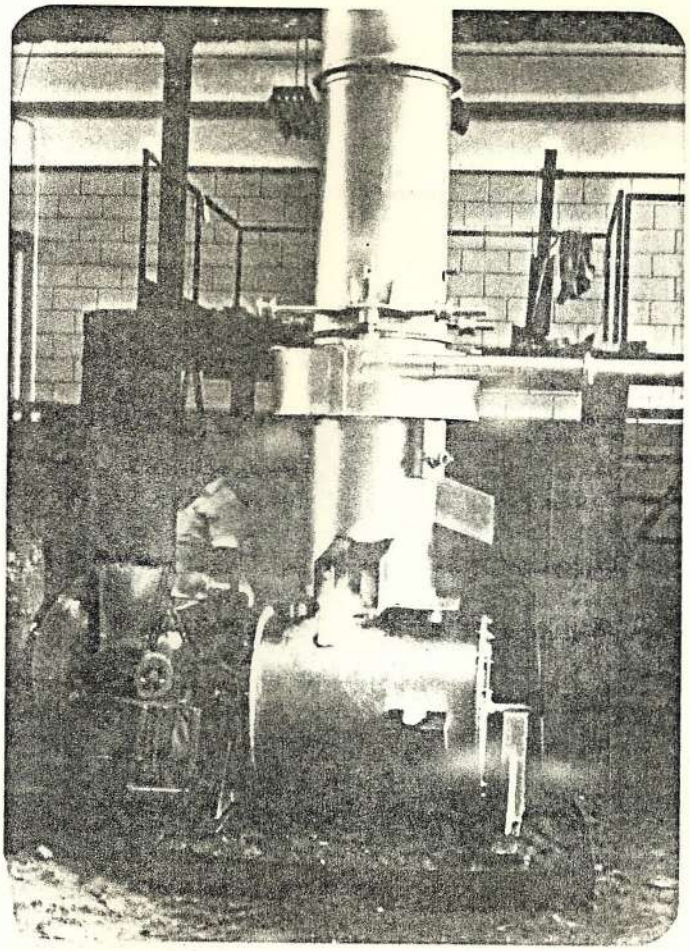


FIGURA No. 9.- CUBILOTE DE 35 MM. DE DIAMETRO INTERIOR CON ANTECRISOL DE 400 KG.

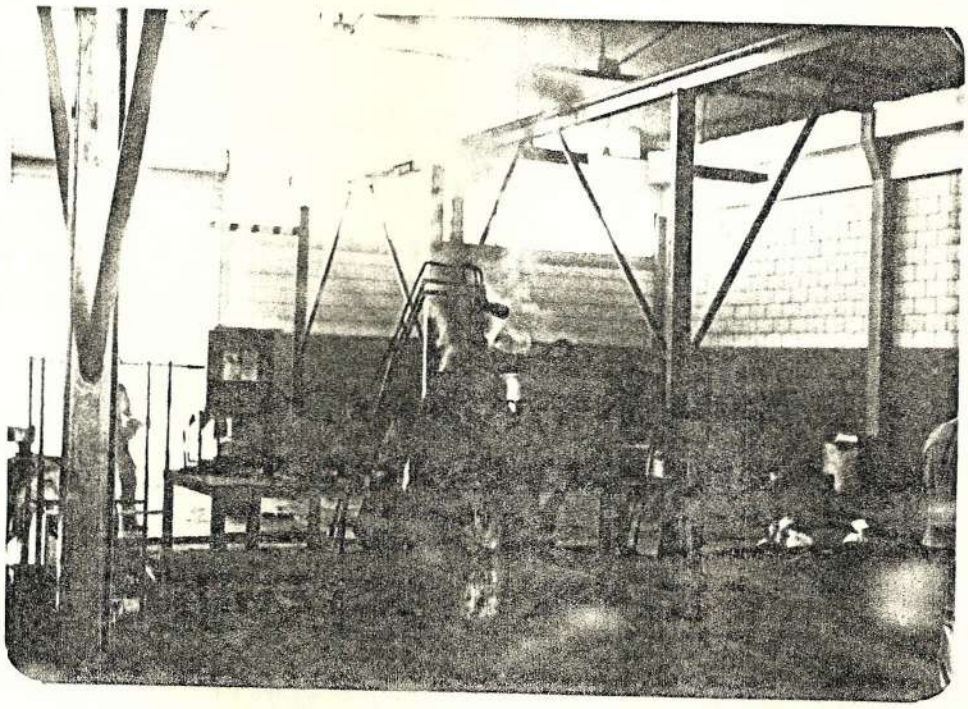


FIGURA NO. 10.- CONVERTIDOR DE 400 KG. CON LANZA REFRIGERADA POR AGUA.

- Trasvase del arrabio del antecrisol al convertidor previamente precalentado con un quemador de combustible líquido.

- Soplo de oxígeno al arrabio en el convertidor (afino) mediante la lanza de oxígeno refrigerada.

- Desoxidación del arrabio afinado (adición de ferroaleaciones y aluminio) en el convertidor o trasvase a la cuchara de colado y desoxidación en ella.

- Colado de probetas y piezas en algunos casos

- Finalmente se realizarón los diferentes ensayos y análisis.

Los resultados obtenidos deben de enmarcarse dentro de un patrón de calidad el cual se trata de verificar o cumplir, para que de esta forma se puedan aplicar los criterios de aceptación o rechazo, que en nuestro caso están dados por las normas ASTM, las mismas que proporcionan valores de los porcentajes de los elementos primarios y los correspondientes valores mínimos en cuanto a sus propiedades mecánicas.

2.2 TOMA DE MUESTRAS.-

La toma de muestras se llevó a cabo en todas las ex

periencias pero el control total no fue aplicado desde el inicio, ya que en las primeras experiencias (del 1 al 9) solamente se trató de controlar el proceso y sus parámetros más importantes, realizándose sólo análisis químico y metalografía. El siguiente paso fue realizar control de la composición química del acero producido. Cabe señalar que en primera instancia los análisis químicos se realizaron en los laboratorios de una acería local; los resultados obtenidos indicaban una calidad de acero aceptable pero no existía concordancia con sus propiedades mecánicas, por lo que se procedió a solicitar al Instituto de Química de la ESPOL la verificación de los análisis químicos, comprobando así que no eran correctos los análisis anteriores, por lo que se debía controlar con más atención la composición química del acero; esto se hizo en base al control de los materiales de carga o de partida. A partir de la práctica 19 se lograron composiciones químicas aceptables en concordancia con las propiedades mecánicas especificadas en las normas de control.

2.2.1 Colado de probetas.-

Para la obtención de probetas para los ensayos mecánicos, se realizó el colado de blo-

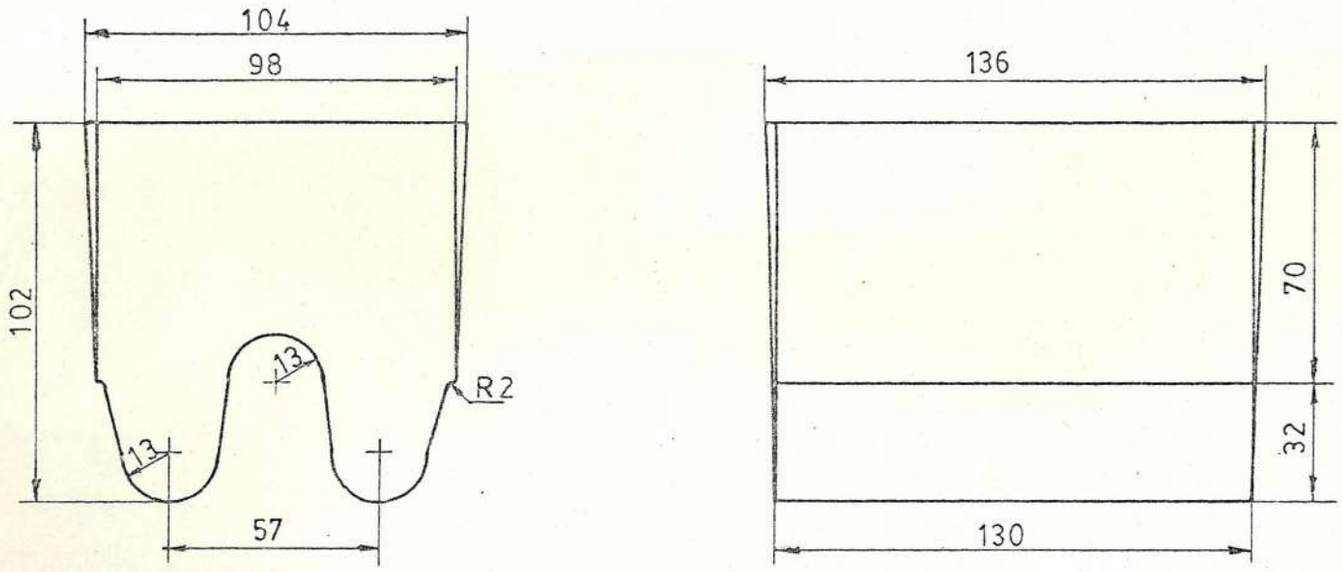


Fig 11: Bloque normalizado ASTM A370 para la confección de probetas de tracción

ques normalizados según norma ASTM 230 para materiales ferrosos fundidos, confeccionándose un modelo con las medidas indicadas en tal norma (Figura 11). Con este modelo se confeccionaron moldes en arena de sílice mediante el proceso silicato de sodio-CO_2 obteniendo de este modo los moldes para cada experiencia.

En cada experiencia se hicieron los bloques para probetas; en las Figuras 12 y 13, se pueden observar detalles del colado y las piezas fundidas. Se dejaron 5 bloques para ensayar en bruto de colada y 5 para ensayar con Tratamientos Térmicos.

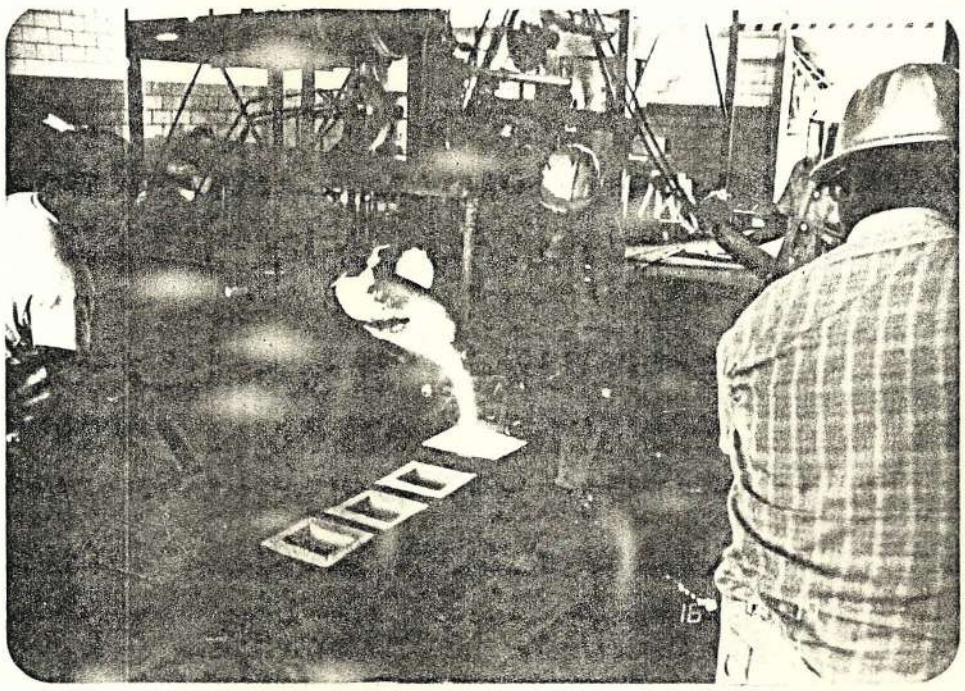


FIGURA No. 12.- COLADO DE BLOQUES PARA LA OBTENCION DE PROBETAS.

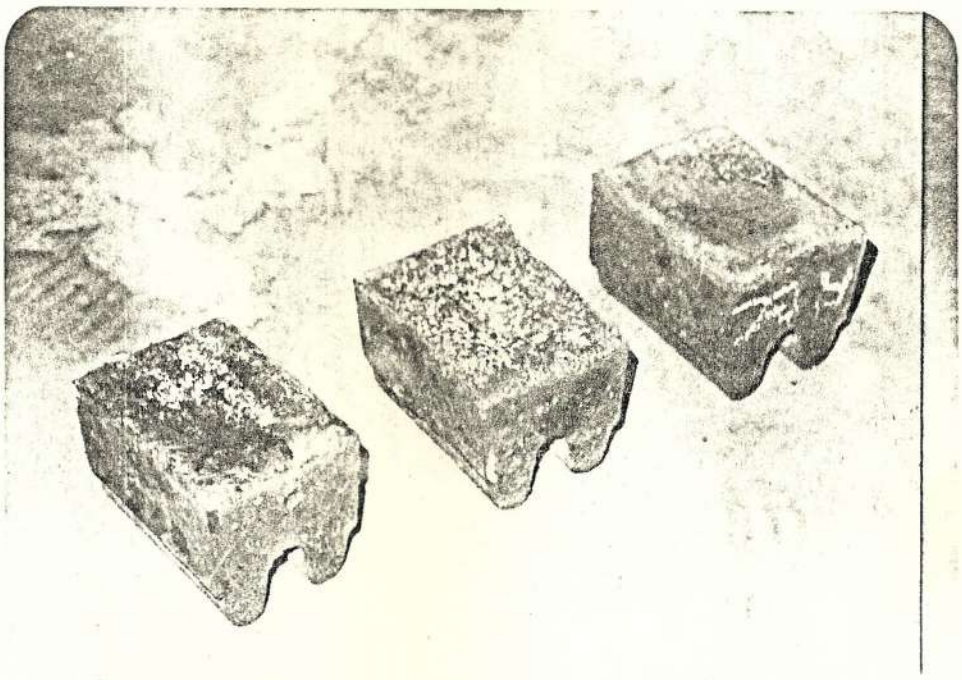


FIGURA No. 13.- BLOQUES NORMALIZADOS PARA LA OBTENCION DE PROBETAS.

2.2.2 Confección de probetas.-

Las probetas se confeccionan utilizando las partes inferiores de los bloques, las mismas que se tratarán térmicamente según sea el caso. En el presente trabajo se ha utilizado para los ensayos de tracción la probeta normalizada mostrada en la Figura 14.

2.2.3 Tratamiento térmico.-

Como se indicó las características mecánicas que requieren los aceros moldeados para su

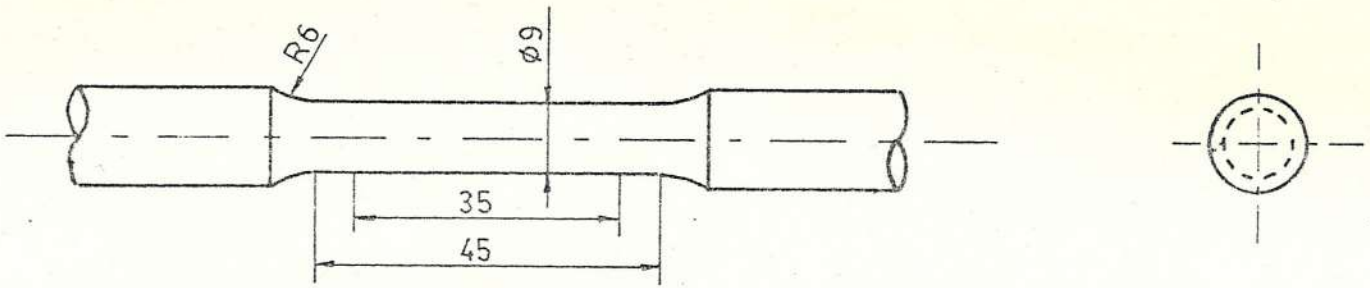


Fig. 14 : Probeta normalizada ASTM A370 para ensayo de tracción

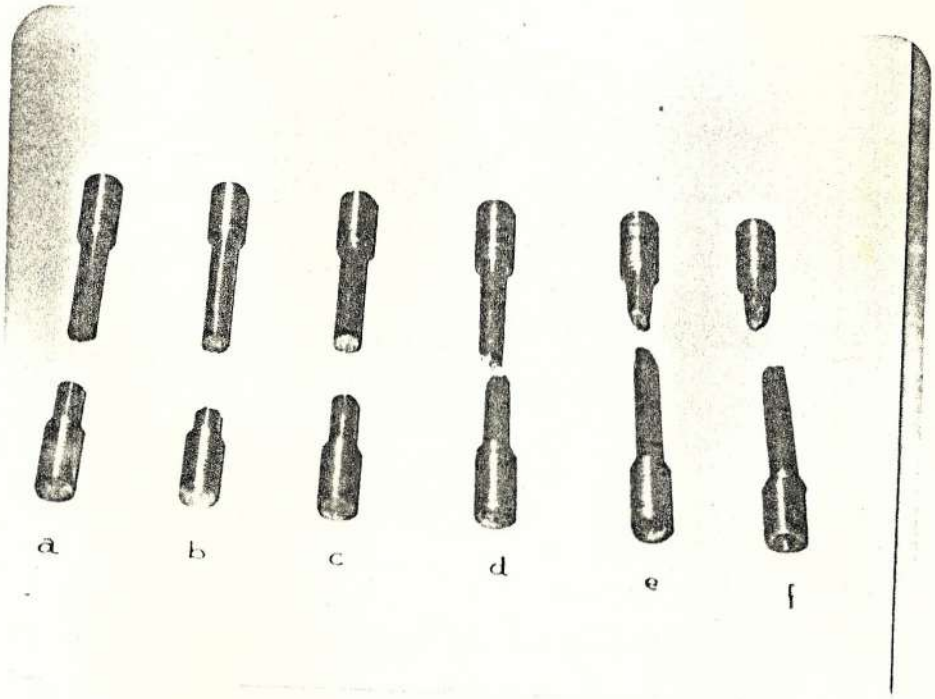


FIGURA 15.- PROBETAS DE MATERIALES EN BRUTO DE COLADA ENSAYADAS A LA TRACCION CORRESPONDIENTE A LAS EXPERIENCIAS: 13, 14, 15, 21, 22 23 RESPECTIVAMENTE.

uso industrial se logran al modificar la estructura de fundición, refinar el grano y/o aliviar tensiones. Para el presente caso, los aceros moldeados al carbono las normas recomiendan que se los debe tratar térmicamente de igual manera que un acero ordinario de similar composición. Los tratamientos térmicos aplicados fueron recocido y normalizado, y en ambos se utilizó una temperatura de austenización de 880°C, con un tiempo de permanencia de 2 horas y se enfriaron en el horno y en aire tranquilo, respectivamente.

2.3 CONTROL DE CALIDAD.-

El control de calidad se ha llevado a cabo de acuerdo a la toma de muestras, es decir, según el avance del trabajo y éxitos alcanzados; tal control se efectuó de acuerdo con los análisis químicos, ensayos de tracción, ensayos de dureza y análisis metalográfico.

2.3.1 Análisis químico.-

El conocimiento de la composición química de los aceros es muy importante, ya que las propiedades mecánicas de los mismos se hallan directamente influenciadas por la presencia o

TABLA No. VI

COMPOSICION QUIMICA DEL MATERIAL OBTENIDO

EXPERIENCIA	COMPOSICION QUIMICA (%)				
	C	Si	Mn	P	S
1	2.64	0.89	1.39	----	0.080
2	0.92	0.42	1.47	----	0.098
3	----	----	----	----	-----
4	2.31	0.89	0.47	----	0.076
5	1.54	0.21	0.29	----	0.097
6	1.40	0.13	0.10	----	0.090
7	0.20	0.38	0.20	----	0.088
8	1.23	0.12	0.50	----	0.087
9	0.24	0.67	0.45	0.125	0.10
10	0.17	1.25	0.65	0.219	0.056
11(a)	0.62	0.78	0.53	0.243	0.086
12	0.10	0.61	0.56	0.219	0.076
13	0.30	0.97	0.88	0.220	0.08
14	0.20	0.65	0.52	0.370	0.085
15	0.10	0.66	0.56	0.330	0.090
16	----	----	----	-----	-----
17	0.26	0.33	0.76	0.287	0.092
18	0.26	0.47	0.70	0.295	0.088
19	0.73	1.00	0.68	0.047	0.019
20	0.27	0.40	0.43	0.047	0.018
21	0.22	0.50	0.45	0.045	0.018
22	0.18	0.75	0.70	0.040	0.020
23	0.26	0.48	0.49	0.038	0.019
24	0.22	0.70	0.68	0.045	0.018

(a) 0.63% Cr, 0.50% Ni.

ausencia de los diferentes constituyentes tales como: carbono, silicio, azufre, fósforo y manganeso para el caso de aceros fundidos al carbono.

Comercialmente existen rangos bastante amplios de composiciones, de aquí la importancia del análisis químico.

Los análisis químicos han sido realizados en dos fases: la primera que corresponde al carbono y azufre, realizado en el determinado digital Leco, Modelo CS46, y la segunda para el silicio, fósforo y manganeso se realiza utilizando el espectrofotómetro de absorción atómica PERKIN ELMER, modelo 603 y vía húmeda.

Los resultados de los análisis químicos se muestran en la Tabla VI.

2.3.2 Ensayo de tracción.-

Las tres propiedades mecánicas fundamentales de los metales son: la cohesión, la elasticidad y la plasticidad.

Los ensayos de tracción sirven para valorar

TABLA No. VII

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE TRACCION

EXPERIEN-CIA	LIMITE DE FLUENCIA MPa	RESISTENCIA A LA TRACCION MPa	ELONGACION %	ESTRICCION %
13	---	656	3.1	---
	(a) 498	747	5.7	---
14	---	692	2.5	---
15	---	712	3.0	---
16	---	---	---	---
17	---	549	3.6	---
18	---	625	4.2	---
19	---	389	2.8	---
	(a) ---	471	1.3	---
	(b) ---	543	1.2	---
20	263	486	23.0	32.0
	(a) 305	528	28.1	47.2
	(b) 274	516	29.8	48.3
21	235	440	25.2	40.1
	(a) 238	448	30.2	43.8
	(b) 250	468	31.0	46.1
22	250	430	26.2	40.1
	(b) 259	444	28.4	48.2
23	252	476	24.1	33.1
	(b) 273	505	27.2	44.6
24	255	472	22.2	34.6
	(b) 264	483	26.1	44.9

(a) Recocido

(b) Normalizado

la elasticidad y la plasticidad. Se han realizado ensayos de tracción con el objeto de determinar la resistencia a la tracción, elongación o alargamiento y reducción de área o estricción; los ensayos han sido realizados en probetas sin tratamiento térmico y en otras tratadas térmicamente según se ha creido conveniente. Se utilizó la máquina Versa Tester modelo 30.M, velocidad del ensayo 3 mm/min.

Los resultados de los ensayos de tracción se muestran en la Tabla VII.

2.3.3 Ensayo de dureza.-

Los ensayos de dureza nos sirven para valorar la cohesión de un material; en nuestro caso valoraremos la dureza como la resistencia a la penetración, además también está relacionada en cierto modo con las propiedades plásticas y elásticas. Este es el motivo porque los valores obtenidos sean comparables entre unos materiales con otros.

La medición de la dureza constituye uno de los medios más utilizados, tanto por la rapi-

dez como por la sencillez del mismo, logrando así un control rápido de cualquier proceso o material.

Los resultados de los ensayos de dureza se muestran en la Tabla VIII, los mismos que se han realizado en el durómetro BRINELL, marca AMETEK con capacidad de 3000 Kg bajo las siguientes condiciones: Identador de bola de acero templado de 10 mm de diámetro con 1500 Kg de carga y 5 seg. de aplicación de la misma.

2.3.4 Análisis metalográfico.-

El análisis metalográfico es uno de los más adecuados y rápidos para conocer la constitución de los aceros. La identificación de los constituyentes se realiza en estos ensayos, observando con ayuda de un microscopio la superficie de una probeta debidamente preparada para este objeto (toma de muestras, desbaste y pulido de las muestras y ataque micrográfico).

De la microestructura observada se puede aproximar el contenido de carbono presente en los

TABLA No. VIII

DUREZA BRINELL DEL MATERIAL OBTENIDO

EXPERIENCIA	DUREZA BRINELL BHN	
1	255	
2	262	
3	275	
4	331	
5	321	
6	---	
7	260	
8	---	
9	215	
10	222	
11	277	(d)
12	229	
13	217	
	217	
14	269	
15	231	
16	---	
17	194	
18	198	
19	255	
	241	(a)
	302	(b)
20	147	
	157	(a)
	155	(b)
21	132	
	135	(a)
	140	(b)
22	130	
	134	(b)
23	154	
	158	(b)
24	147	
	154	(b)

(a) Recocido
(b) Normalizado
(c) 0.63% Cr. 0.50% Ni

aceros comparando la microestructura observada con manuales o cualquier referencia que se tenga a mano.

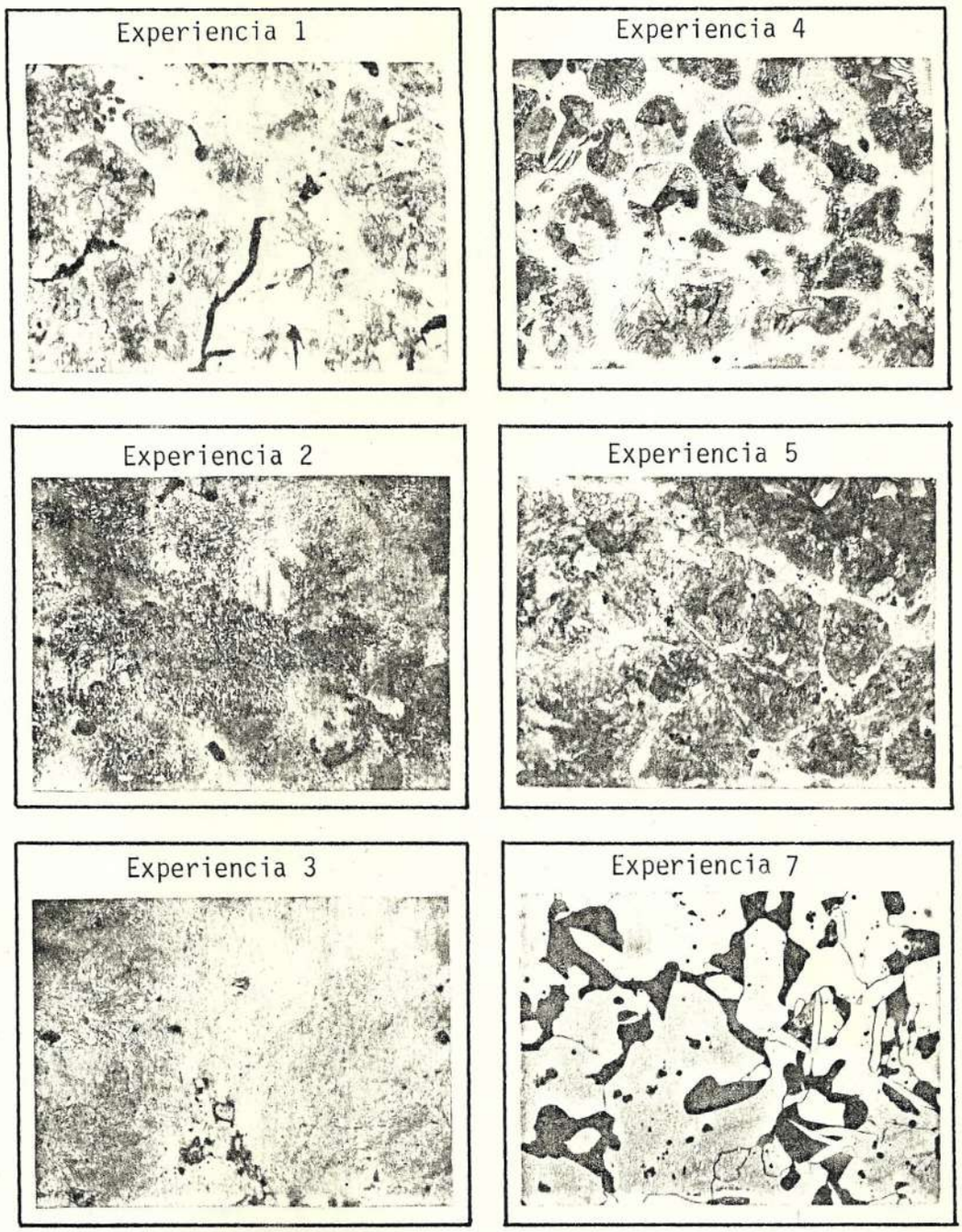
Equipo de pulido:

Pulido intermedio con banco de lijas AB Buehler con papeles de lija Nº 180-220-320-400-y 500.

Pulido fino en máquina pulidora de disco rotativo STRUERS modelo DPU con pasta de diamante de 1/4 de micra.

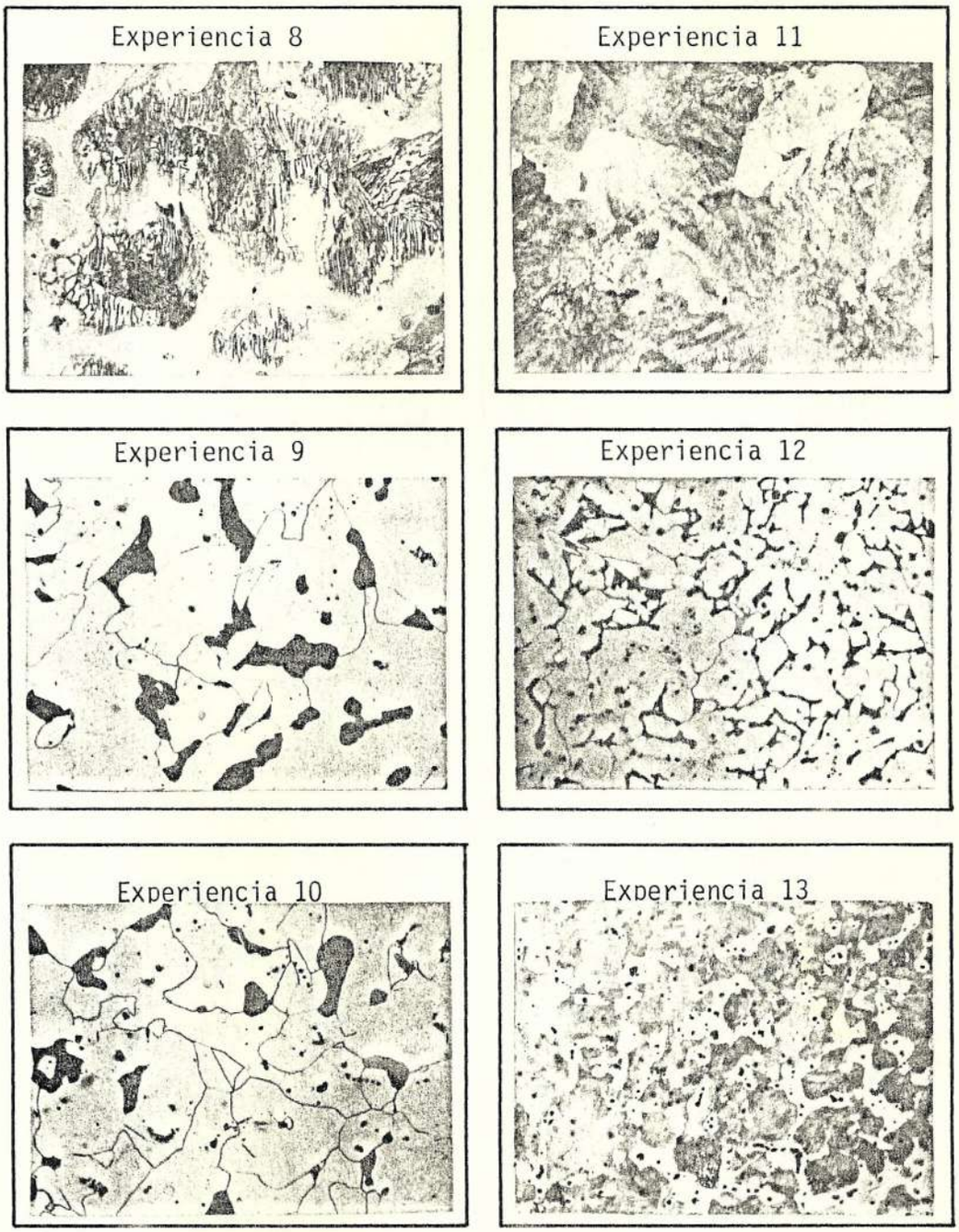
Observación metalográfica y fotomicrografía en microscopio de reflexión OLYMPUS modelo PME.

Las microestructuras referentes a cada una de las experiencias se muestran en las siguientes figuras:



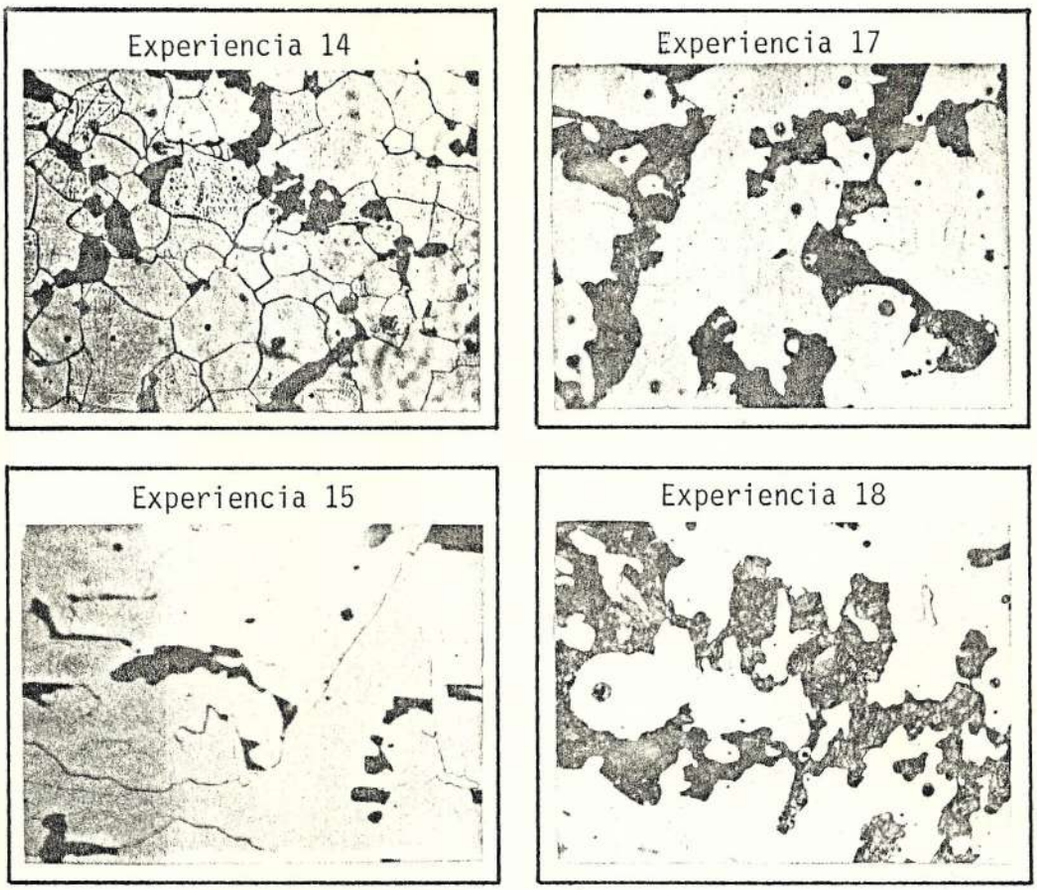
FIGURAS 16-21.- FOTOMICROGRAFIAS CORRESPONDIENTES A LAS MICROESTRUCTURAS DE LOS ACEROS OBTENIDOS EN LAS EXPERIENCIAS 1, 2, 3, 4, 5 Y 7 RESPECTIVAMENTE.

REACTIVO: NITAL 2% AUMENTOS 200X



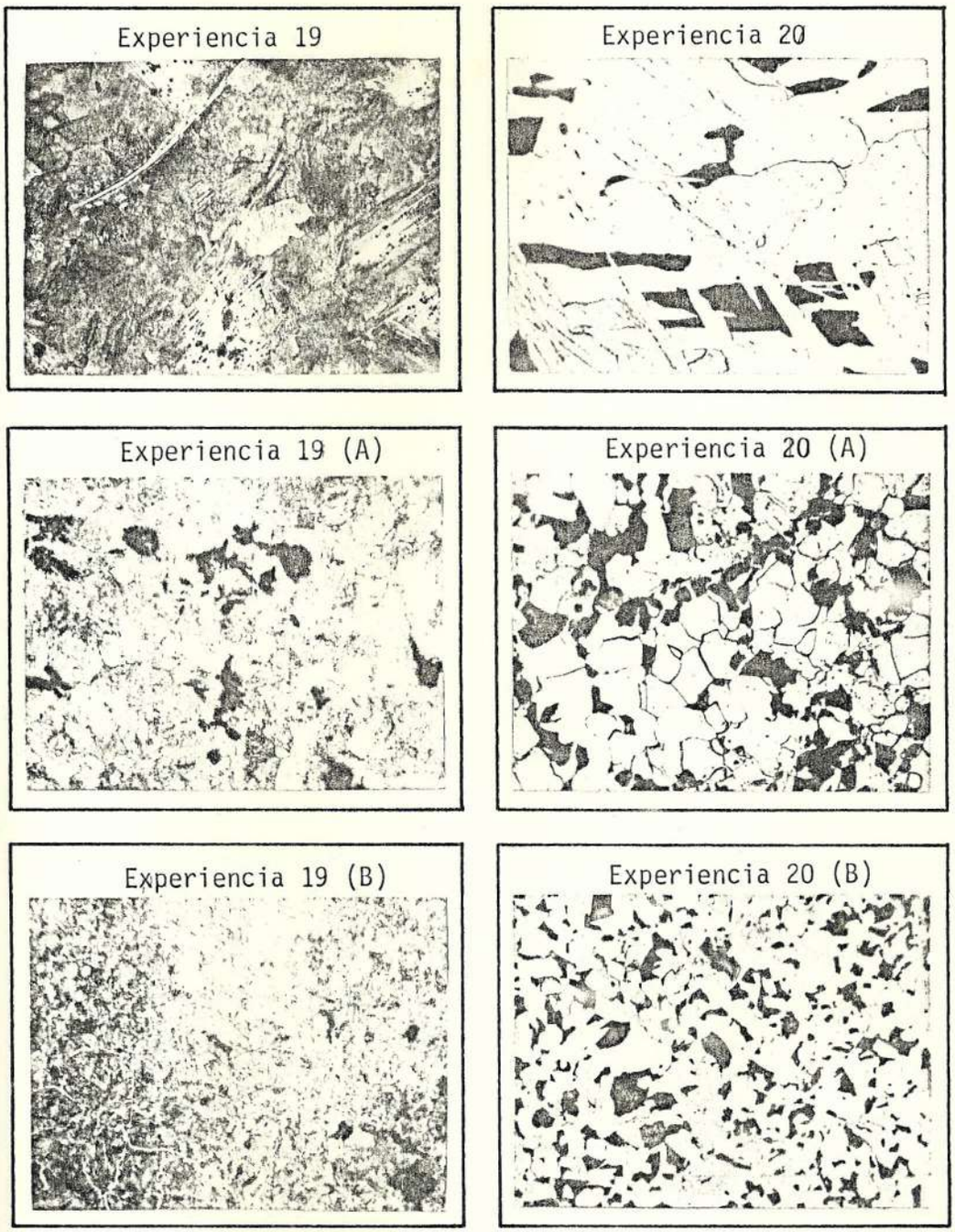
FIGURAS 22-27.- FOTOMICROGRAFIAS CORRESPONDIENTES A LAS MICROESTRUCTURAS DE LOS ACEROS OBTENIDOS EN LAS EXPERIENCIAS 8, 9, 10, 11, 12, 13.

REACTIVO: NITAL 2% AUMENTOS 200X



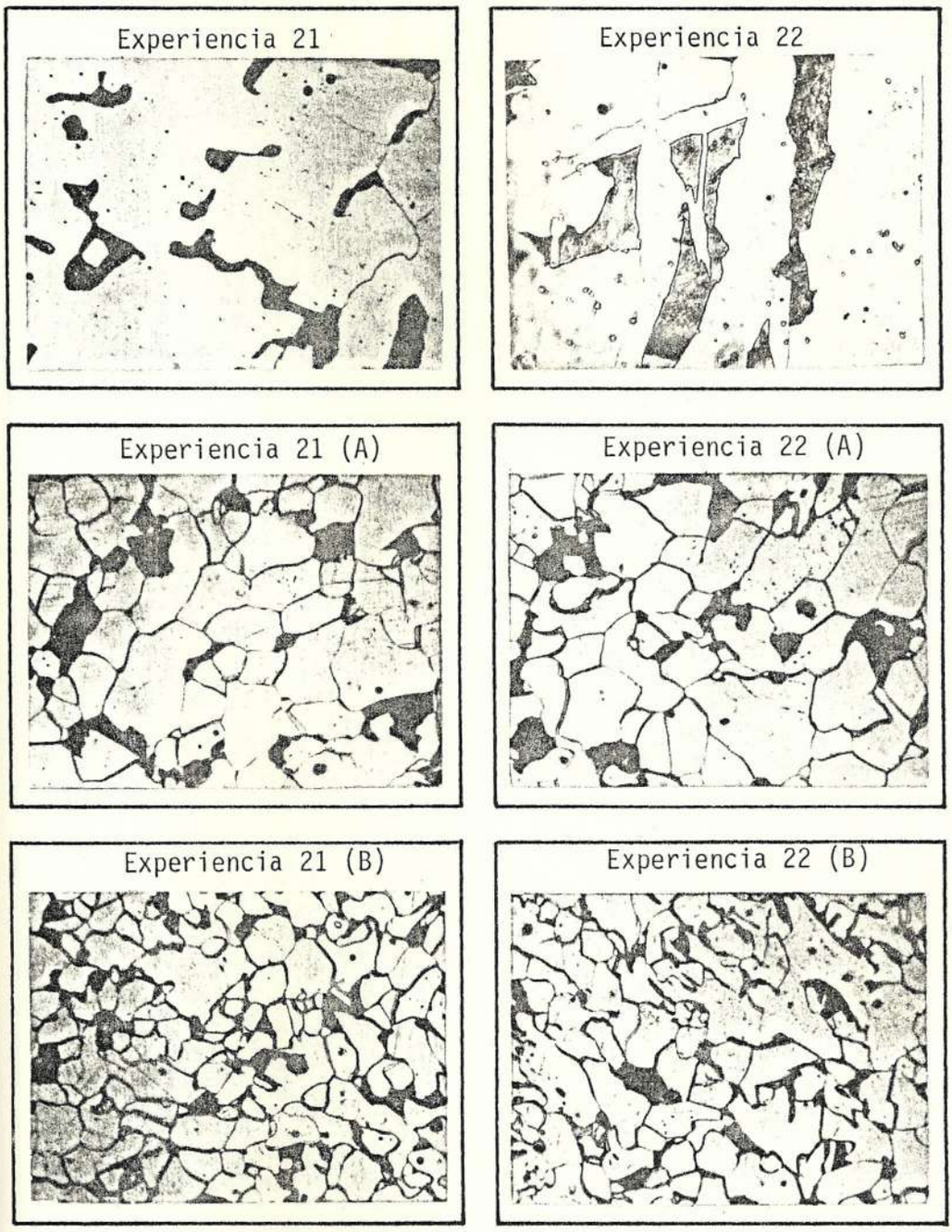
FIGURAS 28-31.- FOTOMICROGRAFIAS CORRESPONDIENTES A LAS MICROESTRUCTURAS DE LOS ACEROS OBTENIDOS EN LAS EXPERIENCIAS 14, 15, 17 Y 18.

REACTIVO: NITAL 2% AUMENTOS 200X



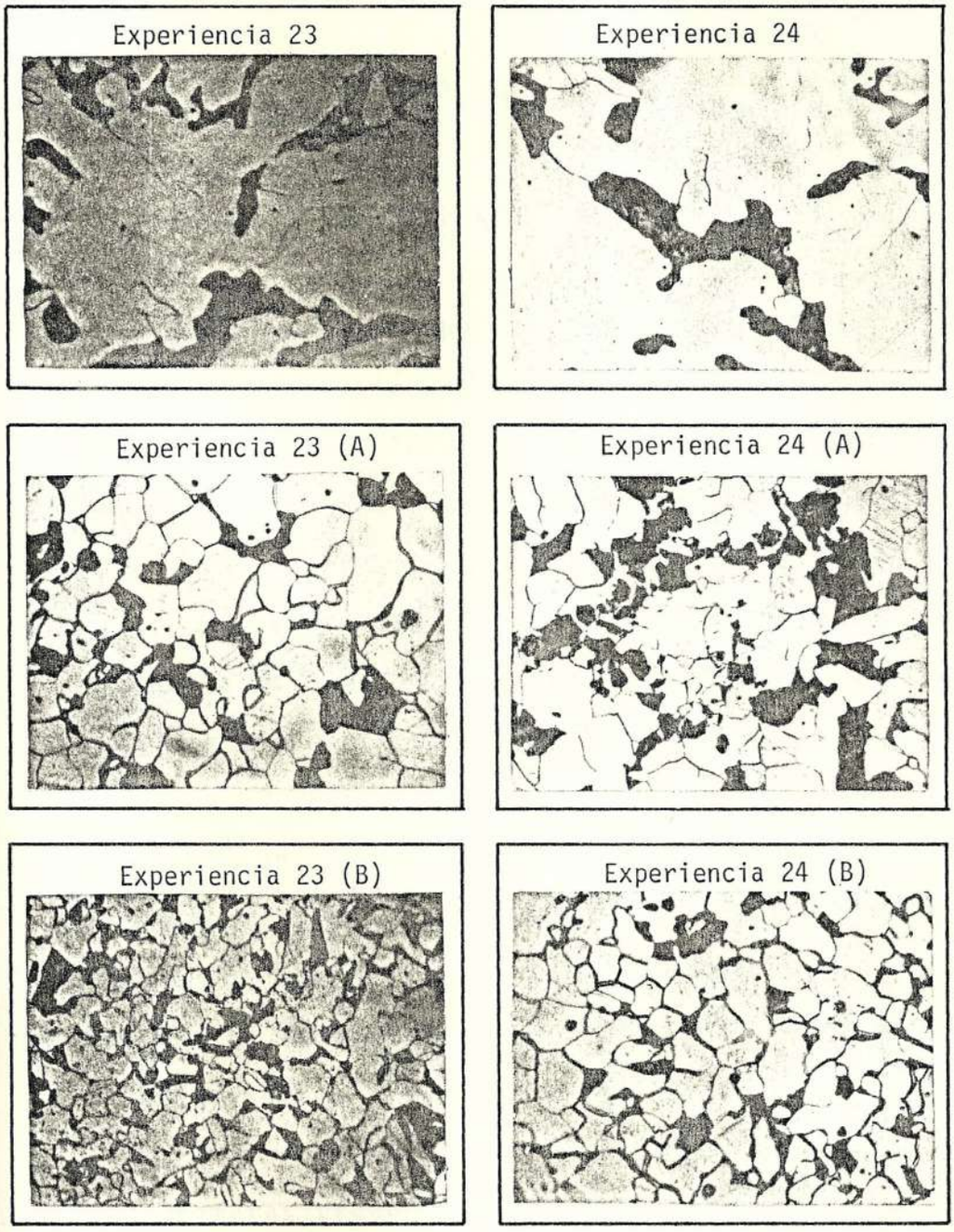
FIGURAS 32-37.- FOTOMICROGRAFIAS CORRESPONDIENTES A LAS MICROESTRUCTURAS DE LOS ACEROS OBTENIDOS EN LAS EXPERIENCIAS 19 Y 20. COMO FUNDICION: A) RECOCIDO Y B) NORMALIZADO.

REACTIVO: NITAL 2% AUMENTOS 200X



FIGURAS 38-43.- FOTOMICROGRAFIAS CORRESPONDIENTES A LAS MICROESTRUCTURAS DE LOS ACEROS OBTENIDOS EN LAS EXPERIENCIAS 21 Y 22. COMO FUNDICION: A) RECOCIDO Y B) NORMALIZADO.

REACTIVO: NITAL 2% AUMENTOS 200X



FIGURAS 44-49.- FOTOMICROGRAFIAS CORRESPONDIENTES A LAS MICROESTRUCTURAS DE LOS ACEROS OBTENIDOS EN LAS EXPERIENCIAS 23 Y 24. COMO FUNDICION: A) RECOCIDO Y B) NORMALIZADO.

REACTIVO: NITAL 2% AUMENTOS 200X

CAPITULO III

DISCUSION DE RESULTADOS

En el trabajo efectuado por el Ing. José Pacheco[3], el mismo que precede al presente y que también fue realizado dentro del marco del Convenio CNUEP-BNF-ESPOL, se trató con la eficiencia del proceso de aceración por uso de cubilote-convertidor al oxígeno en base a los parámetros estudiados; mas concretamente se tomó como punto de discusión y criterio de aceptación de la tecnología en cuestión, el rendimiento metálico del proceso. En la presente tesis, que es en parte una continuación del trabajo citado, se discutirá en parte la aceptación del proceso, pero fundamentalmente se considera como punto de discusión la aceptación de los materiales producidos, basado en el cumplimiento de las especificaciones de normas usadas en otros países para aceros moldeados o fundidos.

En las primeras pruebas se realizaron ensayos de control basados en la metalografía y composición química dando como resultado que: las características proporcionadas por el metal podían ser aceptables, pero el equipo de trabajo nunca estuvo satisfecho, ya que el material no identificaba ductilidad, lo cual era probado haciendo un ensayo de

doblado en un pedazo de material, es decir, esto no era concordante con su composición química. Las metalografías correspondientes a las experiencias 7, 9, 10, 12, 14, 15, 17 y 18 (figuras 21, 23, 24, 26, 28, 29, 30 y 31) demuestran que el contenido de carbono es bajo, se nota la presencia de sulfuro de manganeso el cual se sabe no perjudica a las propiedades mecánicas a temperatura ambiental y no era por supuesto imputable a esta causa. El único elemento que podía ser causante de este problema debería ser el fósforo y con este punto de vista se decidió realizar nuevamente ensayos de ciertas coladas preliminares; experiencias desde la 9 hasta la 18, lográndose de este modo comprobar que los resultados eran incorrectos, esta situación que debió habérsela previsto como un hecho obvio solamente al observar los materiales de carga en el cubilote, constituidos principalmente por chatarra automotriz, la misma que es de elevados contenidos de azufre y de fósforo (0.09 a 0.12% de S y 0.30 a 0.45% de P). Pero en la práctica se especuló que con los ensayos de desulfuración podía también haber ocurrido la eliminación de fósforo y es que presencia del fósforo en el acero solamente se la puede detectar por vía de análisis químico, la metalografía es negativa para revelar este elemento en la aleación.

Aunque en primera instancia las acciones para mejorar la composición fueron orientadas a la eliminación del azufre

y se ensayaron varios métodos sin poder conseguir resultados positivos, posteriomente se modificó por completo los materiales de carga, eligiéndose una chatarra de bajo contenido de azufre y fósforo como lo es la de los cigueñales automotrices (0.005 a 0.035% de S y 0.01 a 0.10% de P).

La primera experiencia que se realizó con este material fue la número 19; las microestructuras correspondientes al material en bruto de colada y con tratamientos térmicos se muestran en las Figuras 32, 33 y 34, demuestran la eliminación de sulfuro de manganeso, aunque por problemas de operación de la lanza no se pudo completar el proceso de oxidación, teniendo como resultado un carbono en alto porcentaje. El resultado del análisis químico de esta experiencia demuestra que su contenido de fósforo y azufre está en los niveles permisibles. Esto fué comprobado haciendo verificaciones a través del uso del método de absorción atómica, todas las experiencias siguientes fueron realizadas utilizando el mismo material de partida. Los datos proporcionados por los ensayos de tracción a partir de la experiencia 20 nos señalan el incremento en ductilidad, lo cual es típico en los aceros en condiciones de ensayo en bruto de colada y con tratamientos térmicos.

Si bien es cierto que el trabajo del ingeniero J.Pacheco

aceptaba el proceso tomando como criterio el rendimiento metálico, no mencionaba la calidad del producto obtenido porque su mayor interés era establecer un primer acercamiento a los procesos de aceración óptimos; en cambio en este caso se trata de llegar a confirmar que el proceso y el material cumplen con el objetivo propuesto, el cual es: desarrollo, una tecnología apropiada para la fabricación de acero en las plantas de fundición típicas de nuestro país.

Durante la primera etapa de conocimiento del proceso hasta la experiencia 12 se realizó control de composición química y metalografía. A pesar de que estas últimas denotaban que se trataban de aceros normales, no detectaban lo que el análisis químico reveló luego de ciertas verificaciones ya indicadas anteriormente. Igual problema existió en la segunda etapa de ajuste de parámetros, verificando aquí también con los ensayos mecánicos el incumplimiento tanto en composición química como en propiedades mecánicas de la norma ASTM A27-77 la misma que se ha tomado como patrón de control. Tabla IV.

Los materiales producidos a partir de la experiencia 20 han cumplido con las especificaciones de composición química, (Tabla VI) y propiedades mecánicas (Tablas VII y VIII) dadas por la norma ASTM A27-77, es decir, existe concordancia entre composición química y propiedades mecánicas.

Es así que, según esta norma los aceros producidos en las experiencias 20 y 23 corresponden al grado 60-30, y los obtenidos en las experiencias 21, 22 y 24 corresponden al grado U60-30. Por lo general los aceros moldeados de fabricación normal son los que tienen porcentajes de carbono entre 0.20 y 0.35%. En el presente caso, luego de la etapa de conocimiento del proceso, en la mayoría de las experiencias se ha llevado a cabo el mismo hasta lograr porcentajes de carbonos bajos y luego se ha ajustado la composición química en la cuchara o en el mismo convertidor, obteniéndose porcentajes de carbono inferiores al 0.28% como lo demuestran las metalografías y análisis químicos.

La composición final se la ha obtenido mediante el control de la llama: "al fin del período de afino se produce el descenso de la llama y según datos teóricos en este punto se obtiene un acero de 0.05% de carbono"[4] y luego se pone fin al afino haciendo adiciones de elementos ferro aleaciones en la cuchara, en los moldes o en el mismo convertidor. Puede también detenerse la conversión en un contenido determinado de carbono, ya que la razón de descarburación solamente depende de la cantidad de oxígeno soplado y decrece gradualmente al final del soplado; en tal caso es necesario tener un control preciso del caudal de oxígeno. El problema principal consiste en detener el soplado cuando el carbono, fósforo y azufre se encuentran en el nivel adecuado y no existan problemas con respecto

a la temperatura de colado. Con esta operación se logran importantes ventajas tales como:

- Menor tiempo de soplado y por ende ahorro de oxígeno
- No se produce demasiada escoria férrica
- El acero colado contendrá menos oxígeno
- Menor desgaste del refractario

Este procedimiento de control puede ser de uso normal en una fundición y se puede establecer experimentando varios tiempos de soplado con el resto de parámetros siempre iguales y constantes.

En la Figura 15 se pueden observar probetas elaboradas a partir de los bloques normalizados ASTM A370 y que fueron ensayadas a la tracción; se puede apreciar la diferencia entre las procedentes de la primera y segunda etapa. Las probetas a, b y c pertenecientes a las experiencias 13, 14 y 15 no identifican ductilidad alguna, en cambio d, e y f (experiencias 21, 22 y 23) muestran claramente una elongación y estricción característica de los aceros moldeados de bajo y medio carbono. En la Tabla VII se puede observar sus valores correspondientes.

Los ensayos de dureza se han realizado inmediatamente después de cada experiencia por ser un método de control muy

rápido y sencillo; los resultados de los mismos se listan en la Tabla VIII y muestran claramente que durante la primera y segunda etapa del proyecto no se logró obtener buenas propiedades mecánicas. Es así que la dureza siempre es superior a 190 BHN, demasiado elevada con respecto a la dureza propia de los aceros moldeados de medio carbono que se pretendía obtener, es decir inferior a los 170 BHN[6].

Algunos valores de dureza son más elevados ya que durante la primera y segunda etapa no se terminó completamente el proceso y se obtuvo porcentajes de carbono elevados. En las que se completó el proceso y se obtuvo bajos porcentajes de carbono (experiencias 7, 9, 10, 12, 14, 15, 17 y 18), a pesar de que en la microestructura se observa gran porcentaje de ferrita (Figuras 21, 23, 24, 26, 28, 29, 30 y 31), los valores de dureza son elevados y el causante de este incremento de dureza es el fósforo el mismo que disminuye la plasticidad de la ferrita cuando sobrepasa el 0.08%. La composición química (Tabla VI) muestra muy claramente este efecto.

En la tercera etapa se logra la obtención de propiedades mecánicas aceptables y en la misma Tabla VIII se observa que a partir de la experiencia 20 la dureza se encuentra dentro de los valores antes mencionados, variando de una u otra experiencia según su composición química.

Las metalografías (Figuras 32 a 49) muestran claramente que el acero obtenido responde a los tratamientos térmicos de igual forma que los aceros laminados o forjados, lo cual también es verificado por la variación en las propiedades mecánicas de las probetas tratadas térmicamente. Por lo tanto, los tratamientos térmicos se pueden aplicar a los aceros moldeados según las necesidades del servicio, pero generalmente son requeridos para afinar el grano, destruir la estructura de solidificación y mejorar las propiedades mecánicas; debe señalarse también que se pueden aplicar tratamientos térmicos superficiales.

Seguros de que en el país existen condiciones suficientes tanto de la demanda de piezas fundidas como del sector de la fundición y considerando que una fundición local normalmente produce unas 200 toneladas de fundición de hierro por año, se puede decir que implantando 10 de estos equipos con una producción de 100 toneladas por año cada uno o sea un total de 1.000 toneladas por año, se podría estar cubriendo la demanda de piezas de acero fundido al carbono y de baja aleación. Cabe anotar que la producción de fundición de hierro puede ser realizada simultáneamente con la de acero.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De los resultados obtenidos durante la realización del proyecto se concluye lo siguiente:

1. La técnica propuesta en este trabajo ha sido adaptada a las condiciones de trabajo y limitaciones que posee el sector de la fundición y es factible su instalación con inversiones relativamente bajas.

2. El personal necesario para operación del equipo no requiere de preparación especial, ya que es de fácil manejo, cabe anotar que durante el desarrollo del proyecto se utilizó personal sin ningún entrenamiento en fundición y se llegó a manejar el proceso eficientemente, por lo que se deduce que en una fundición local se puede llevar a cabo sin dificultades.

3. Con el convertidor se pueden elaborar aceros ordinarios y de baja aleación para diversos usos, pudiendo incorporar elementos de aleación en la cuchara o en el mismo convertidor al final del afino.

4. La implantación del equipo adicional presenta otras aplicaciones tales como desulfuración de arrabios de

cubilote y/o fabricación de hierro nodular; de este modo,utilizando el equipo básico horno de cubilote-convertidor LD se incrementa a la producción otros tipos de aleaciones, lo cual significa un mejoramiento del nivel tecnológico del sector de la fundición.

5. La producción de acero puede realizarse simultáneamente con la de hierro fundido, lo cual se ajusta bien a aquellos casos en que la producción de acero sea de poca magnitud y así no se altera la producción normal de la planta.

Se plantea como recomendaciones las siguientes:

1. La ESPOL debería continuar la investigación para depurar la tecnología de la producción de acero para varios usos, los mismos que pueden ser: moldeo, laminación y forja.

2. Se debe propender a la implantación del proceso en las fundiciones locales y así lograr grandes ventajas en el sector de la fundición y por ende en la economía del país al reducir notablemente las importaciones.

3. Se debe promover el conocimiento del proceso y de la notable cantidad de usos que puede tener, esto es gran

cantidad de piezas resistentes al desgaste y piezas de acero ordinario moldeadas, piezas que pueden ser forjadas y por último la laminación de palanquillas coladas para obtener varillas estructurales.

4. La ESPOL debe continuar con la ejecución de proyectos de investigación en el área de metalurgia física que logren transferencia y desarrollo de tecnología que disminuyan la dependencia de las importaciones.

A P E N D I C E S

APENDICE A

TABLAS SOBRE DEMANDA DE PIEZAS DE ACERO FUNDIDO EN EL ECUADOR

TABLA IX: DIAGNOSTICO DE LA DEMANDA DE PIEZAS FUNDIDAS EN EL ECUADOR

CLASIFICACION METALURGICA, DIMENSIONAMIENTO Y GRADO DE COMPLEJIDAD (1)

TIPOS DE PIEZAS FUNDIDAS	METAL FUNDIDO		DIMENSIONAMIENTO PROMEDIO (ESTIMACION)		Demanda Identificada (TM)		Nivel Grado de Complejidad
	Nomenclatura	Código	Peso de la pieza (Kg)	Dimensiones principales del molde (mm × mm × mm)	1983	1987	
Soportes de resortes	Acero al Carbono	AC3	2....5	300 × 300 × 100	16,0	22,0	3
Quinta rueda	Acero al Carbono	AC4	120	500 mm ø × 200	0,7	1,0	2
Válvulas compuerta 2"-8"	Acero al Carbono	AC3	8....18	400 × 400 × 200	107,0	133,0	4
Accesorios para petroquímica	Acero al Carbono	AC3	0,7...1,2	300 × 200 × 200	146,0	181,0	3
Piezas diversas	Acero al Carbono	AC2 - AC3	1....100	500 × 400 × 300	105,0	130,0	3
Poleas ø 100 - 500mm	Acero al Carbono	AC2	5....100	400mm ø × 200	-	20,0	2
Ruedas para gruas de puente	Acero al Carbono	AC4	20... 400	400mm ø × 200	-	50,0	3
Piezas para uso naval y marino	Acero al Carbono	AC3	1.... 100	400 × 200 × 300	-	20,0	2
Piezas miscelaneas	Acero al carbono	AC2 - AC3	1.... 300	500 × 400 × 300	-	30,0	3
Impulsores	Acero Aleado	AA3	1... 5	300 × 300 × 100	0,6	1,0	3
Válvulas compuerta 2"-4"-5"-8"	Acero Aleado	AA3	8....18	400 × 400 × 200	32,0	38,0	3
Accesorios para petroquímica	Acero Aleado	AA3	0,7...1,2	300 × 200 × 100	45,0	53,0	4
Piezas para equipo doméstico	Acero Aleado	AA5	0,5	200 × 100 × 100	50,0	60,0	3
Uñas y esquineros	Acero Aleado	AA1	1....10	500 × 200 × 200	53,5	64,0	3
Cuchillas	Acero Aleado	AA1	14...45	700 × 400 × 300	132,0	157,0	3
Catalinas	Acero Aleado	AA1	25...85	700 × 500 × 300	34,0	40,0	3
Rodillos de Oruga	Acero Aleado	AA1	12....45	600mm ø × 200	2,3	3,0	4
Eslabones	Acero Aleado	AA6	1...8	300 × 300 × 200	46,7	56,0	3
Zapata de Oruga	Acero Aleado	AA1	10	800 × 400 × 100	0,8	1,0	3
Rueda motriz	Acero Aleado	AA6	120	600mm ø × 200	1,2	2,0	3
Mandíbulas y rodillos de trituración	Acero Aleado	AA1	70....90	600 × 500 × 300	37,0	44,0	3
Rodillos diversos	Acero Aleado	AA6	50....300	700mm ø × 200	186,0	220,0	3
Bolas de molino	Acero Aleado	AA6	8	200 × 200 × 200	80,0	95,0	4
Martillos de impacto	Acero Aleado	AA6	40	400 × 200 × 200	3,0	4,0	3
Cuerpos de bombas axiales	Acero Aleado	AA3	350	900 × 800 × 400	56,0	66,0	4
Piezas diversas para uso naval y marina	Acero Aleado	AA3	1....100	500 × 400 × 300	-	20,0	4
Piezas diversas	Acero Aleado	AA3 - AA6	1....100	500 × 400 × 200	25,0	30,0	3
Partes para excavadoras	Acero Aleado	AA1	5....500	600 × 500 × 300	-	20,0	3

TABLA X: ESQUEMA DE CARACTERISTICAS DE METALES FUNDIDOS (1)

Metal Fundido	Código	Clasificación de Normas	Propiedades Mecánicas Promedio: Resistencia de tensión N/mm^2	Dureza HB, HRC	Impacto Charpy N/cm^2	Alargamiento %	Composición Química	Tratamiento Térmico Necesario	Uso General
Acero al Carbono AC	AC1	GS 38	380	150 HB	50	25	C=0,15 ; Si=0,4 ; Mn=0,6 ; Smáx =0,04	Normalización	Para construcción de máquinas industriales, Ruedas, rodillos, poleas, válvulas, etc.
	AC2	GS 45	450	180 HB	40	22	C=0,18 ; Si=0,4 ; Mn=0,8 ; Smáx =0,04	Normalización	
	AC3	GS 52	520	220 HB	30	18	C=0,30; Si=0,4 ; Mn=0,8 ; Smáx =0,04	Normalización	
	AC4	GS 60	600	250 HB	20	15	C=0,50; Si=0,4 ; Mn=0,8 ; Smáx =0,04	Normalización	
Acero Aleado AA	AA1	Acero Hadfield	500	200 HB	-	-	C=1,3%, Mn=12.....14%	Austenización	Partes para excavadoras y trituradoras. Piezas resistentes a la corrosión como uso naval y marina, piezas para industria química y papel. Para construcción de máquinas de alta carga
	AA2	AISI 410	700	60 HRC	30	12	C=0,15 ; Si=1 máx; Mn=1 máx; Cr=12,5%	Templado	
	AA3	AISI 304	550	200 HB	80	20	C=0,8 máx, Cr=18% ; Ni=10%	Austenización	
	AA4	AISI 316	550	200 HB	80	20	C=0,8 máx, Cr=18% , Ni=10% ; Mn=2,5%	Austenización	
	AA5	GS-30 Mn5	700	260 HB	50	16	C=0,3 ; Si=0,4 ; Mn=1,4% ; S=0,035	Templado	
	AA6	Acero Especial; de acuerdo con el uso							

GGL, GGS, GS = Normas DIN / Alemania Federal

AISI = Normas de Estados Unidos

APENDICE B

NORMAS DE CONTROL DE ACERO MOLDEADO PARA VARIOS PROPOSITOS

TABLA XI

NORMA ESTADOUNIDENSE ASTM A-216-68

ACERO MOLDEADO AL CARBONO SOLDABLE POR FUSION PARA SERVICIO A ALTA TEMPERATURA

COMPOSICION QUIMICA (%)[7]

	GRADO WCA	GRADO WCB	GRADO WCC
Carbono, máx.	0.25	.030	0.25
Manganeso, máx.	0.70	1.00	1.20
Fósforo, máx.	0.04	0.04	0.04
Azufre, máx.	0.045	0.045	0.045
Silicio, máx.	0.60	0.060	0.60
Elementos residuales			
Cobre, máx.	0.50	0.50	0.50
Niquel, máx.	0.50	0.50	0.50
Cromo, máx.	0.40	0.40	0.40
Molibdeno, máx.	0.25	0.25	0.25
Contenido total de estos elementos residuales, máx.	1.00	1.00	1.00

PROPIEDADES MECANICAS

	GRADO WCA	GRADO WCB	GRADO WCC
Resistencia a tracción, mínimo ($Kg./mm^2$).	42.2	49.2	49.2
Límite elástico, min. (Kg/mm^2)	21.1	25.3	28.1
Alargamiento en 50 mm., mínimo (%).	24.0	22.0	22.0
Estricción, min. (%)	35.0	35.0	35.0

TABLA XII

NORMA ESTADOUNIDENSE ASTM A-148-65

ACERO MOLDEADO DE ALTA RESISTENCIA: COMPOSICION QUIMICA (%)[7]

GRADO	AZUFRE MAX.	FOSFOR MAX.
80-40	0.06	0.05
80-50	0.06	0.05
90-60	0.06	0.05
105-85	0.06	0.05
120-95	0.06	0.05
150-125	0.06	0.05
175-145	0.06	0.05

PROPIEDADES MECANICAS

GRADO	RESISTENCIA A TRACCION MINIMO (Kg/mm.^{2})	LIMITE ELASTICO MINIMO (Kg/min^2).	ALARGAMIENTO EN 50 mm., MIN. (%)	ESTRICCION MIN (%)
80-40	56.2	28.1	18	30
80-50	56.2	35.2	22	35
90-60	63.3	42.2	20	40
105-85	73.8	59.8	17	35
120-95	84.4	66.8	14	30
150-125	105.5	87.9	9	22
175-145	123.0	101.9	6	12

TABLA XIII

NORMA BRITANICA B. S. 592-1957

ACERO MOLDEADO AL CARBONO PARA USOS GENERALES

COMPOSICION QUIMICA (%)[7]

	GRADO A	GRADO B	GRADO C
Carbono, máx.	0.25	0.35	0.45
Silicio, máx.	0.60	0.60	0.60
Manganeso, máx.	1.00	1.00	1.00
Niquel, máx.	0.40	----	----
Cromo, máx.	0.25	----	----
Molibdeno, máx.	0.15	----	----
Cobre, máx.	0.30	----	----
Azufre, máx.	0.060	0.060	0.060
Fósforo, máx.	0.060	0.060	0.060

PROPIEDADES MECANICAS

	GRADO A	GRADO B	GRADO C
Resistencia a tracción, mínimo ($Kg./mm^2$).	44	50	55
Lím. elástico, mín. ($Kg./mm^2$)	22	25	28
Alargamiento, mín. (%)	22	20	15
Angulo de doblado	120°	90°	--
Radio de doblado	3/2e	3/2e	

TABLA XIV

NORMA BRITANICA B. S. 1504-101-1958
ACERO MOLDEADO AL CARBONO

COMPOSICION QUIMICA (%)(7)

	GRADO A	GRADO B	GRADO C
Níquel, máx.	0.40	0.40	0.40
Cromo, máx.	0.25	0.25	0.25
Molibdeno, máx.	0.15	0.15	0.15
Cobre, máx.	0.40	0.40	0.40
Azufre, máx.	0.060	0.060	0.060
Fósforo, máx.	0.060	0.060	0.060

PROPIEDADES MECANICAS

	GRADO A	GRADO B	GRADO C
Resistencia a tracción (Kg./ mm^2).	41-50	44-55	55-63
Lím. elástico, mín. (Kg./mm^2)	20	22	28
Alargamiento, mín (%)	20	20	15
Angulo de doblado	120°	120°	90°
Radio de doblado	3/2e	3/2e	3/2e

TABLA XV

NORMA FRANCESA NF-A32-051

ACERO MOLDEADO(7)

GRADO	CALIDAD	R Kp/mm² MINIMO	E Kp/mm² MINIMO	INDICE DE CALIDAD N=R + 2.5 A	A % MINIMO L = 7.23 D	RESISTENCIA KUF mKp/cm³
A40M	1	40	--	85	16	--
	2	40	20	95	20	6
	3	40	20	101	22	6
	3S	40	20	101	22	6
A48M	1	48	--	85	13	--
	2	48	24	95	17	5
	3	48	24	100	18	5
	3S	48	24	100	18	5
A56M	1	56	--	85	10	--
	2	56	28	95	14	4
	3	56	28	100	15	4
A65M	2	65	33	95	10	2
	3	65	33	100	12	2

Grados 2.3 y 3S P $\leq$ 0.05 % S $\leq$ 0.05 %

A40M 3S C $\leq$ 0.22 % Si $\leq$ 0.35 % Mn : 0.4-1.0 %
A48M 3S C $\leq$ 0.25 % Si $\leq$ 0.40 % Mn : 0.5-1.2 %

TABLA XVII

NORMA ESPANOLA UNE-36252

ACERO MOLDEADO NO ALEADO PARA USOS GENERALES

Clases, tipos y calidades de aceros moldeados no aleados para usos generales y propiedades mecánicas garantizadas (valores mínimos)(7)

DESIGNACION NUMERICA (SEGUN PROPUESTA UNE 36009)	CLASE		ENSAYO DE TRACCION Lo = 5 d_o			RESILIENCIA (2) KUF Kg.m/cm²	DOBLADO A 180° (3) DIAMETRO DEL MANDRIL h = ESPESOR	DUREZA BRINELL 10-3.000 Kgf
	Tipo	Calidad	R Kgf/mm²	E Kgf/mm²	A %			
F-8101	AM 38	a	38 (5)	--	--	---	---	105-180
F-8102		b	38	19	25	---	---	---
F-8103		c	38	19	25	4.0	2 h	---
F-8104	AM 45	a	45 (5)	--	--	---	---	120-180
F-8105		b	45	23	22	---	---	---
F-8106		c	45	23	22	3.0	3 h	---
F-8107	AM 52	a	52 (5)	--	--	---	---	145-180
F-8108		b	52	26	18	---	---	---
F-8109		c	52	26	18	2.5	4 h	---
F-8110	AM 60	a	60 (5)	--	--	---	---	165-200
F-8111		b	60	30	15	---	---	---
F-8112		c	60	30	15	1.5	---	---

TABLA XVIII

NORMA DIN 1681, ACERO MOLDEADO NO ALEADO(7)

PROPIEDADES GARANTIZADAS (VALORES MINIMOS) A TEMPERATURA AMBIENTE

CALIDAD DE LA FUNDICION DE ACERO		RESISTENCIA A LA TRACCION. Kg/mm².	LIMITE DE FLUENCIA 1). Kg/mm².	ALARGAMIENTO DE ROTURA. ($L_o = 5d_o$) %	ESTRICCION DE ROTURA 3). %	RESILIENCIA (PROBETAS DVM) Kg/cm²	ENSAYO DOBLADO 3)4) (PROBETA DE FLEXION).
Abreviaturas	Número del material						
GS-38 } 6) GS-38.3 } 6)	1.0416 1.0420	38	19	25	35	- 5	- D = 2 a
GS-45 } 6) GS-45.3 } 6)	1.0443 1.0446	45	23	22	30	- 4	- D = 3 a
GS-52 GS-52.3	1.0551 1.022	52	26	15	25	- 3	- D = 4 a
GS-60 GS-60.3	1.0553 1.0558	60	30	15	--	- 2	- -
GS-62 GS-62.3	1.0555 1.0559	62	35	15	--	-- 2	- -
GS-70	1.0554	70	42	12	--	-	-

1) En fines de empleo, para los que es determinante AD-Merkblatt W 5, se tendrá en cuenta en relación con los valores característicos de resistencia para temperaturas por encima de la temperatura ambiente la citada AD-Merkblatt.
2) Los valores no son decisivos para la recepción
3) Angulo de doblado, 180°, a. espesor de probeta: D, diámetro del mandrino
4) Si se exige la comprobación del comportamiento de flexión en el ensayo de doblado y/o de la inducción magnética, se indicará esto en el pedido.
5) I T (= 1 Tesla) Δ 104 G.
6) El contenido de carbono en el análisis de masa fundido y también en la pieza en los puntos determinados para soldaduras de construcción no excederá de 0.25%.

APENDICE C

FUNDICION DE PARTES DE UNA BOMBA CENTRIFUGA

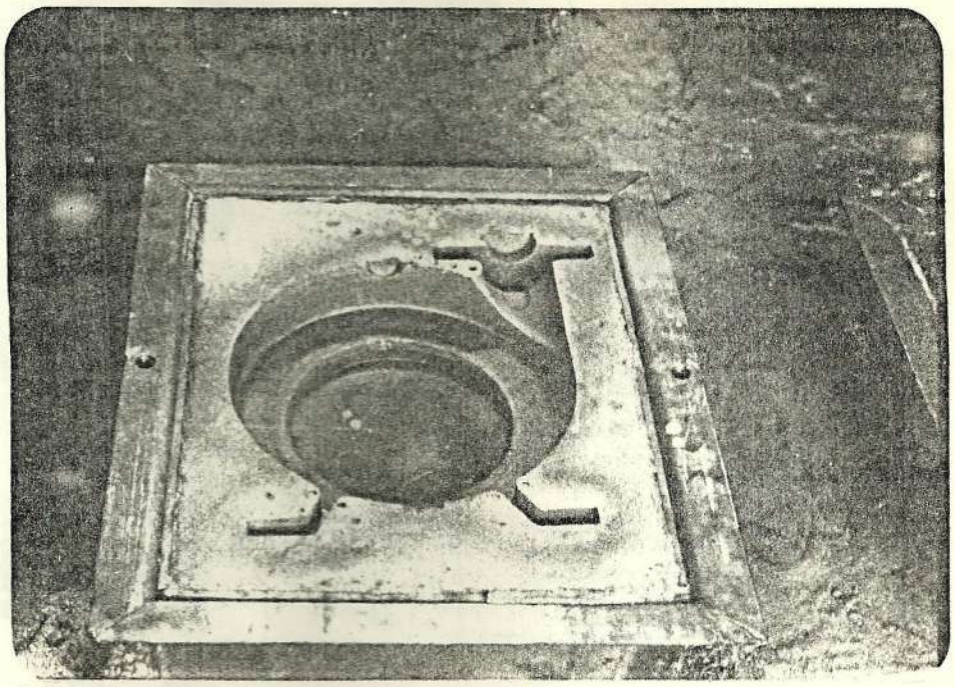


FIGURA No. 50.- FONDO DEL MOLDE DE LA CARCASA

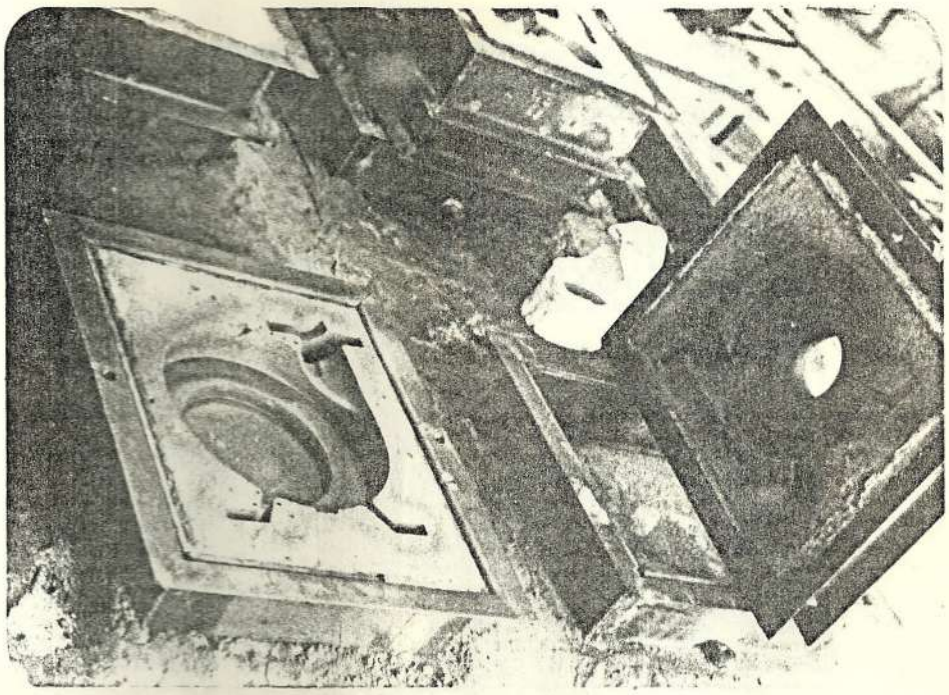


FIGURA No. 51.- FONDO Y TAPA DE LA CARCASA

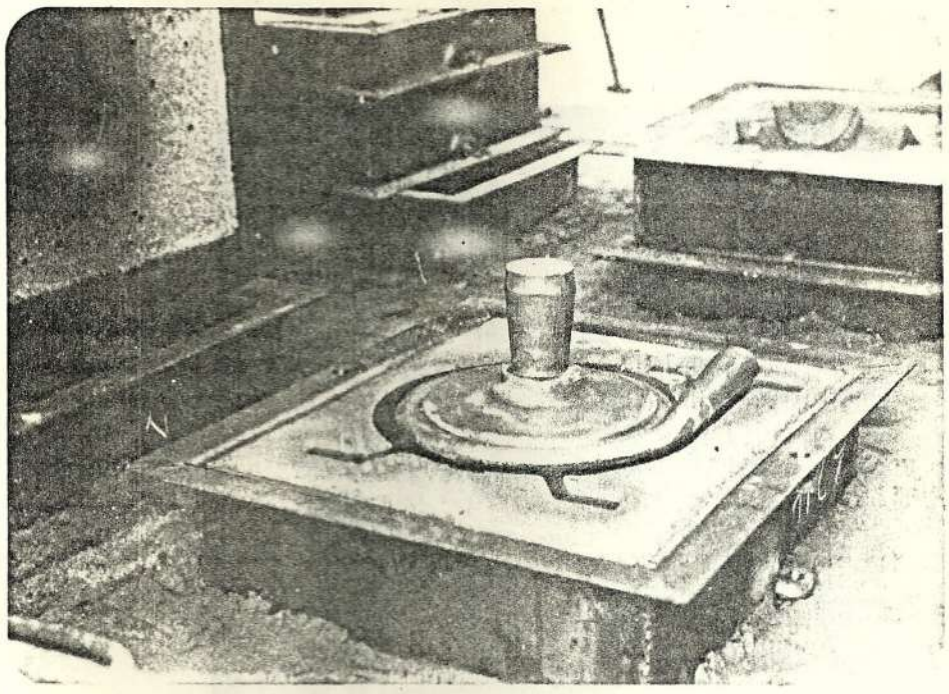


FIGURA No. 52.- FONDO Y MACHO DE LA CARCASA DE LA BOMBA

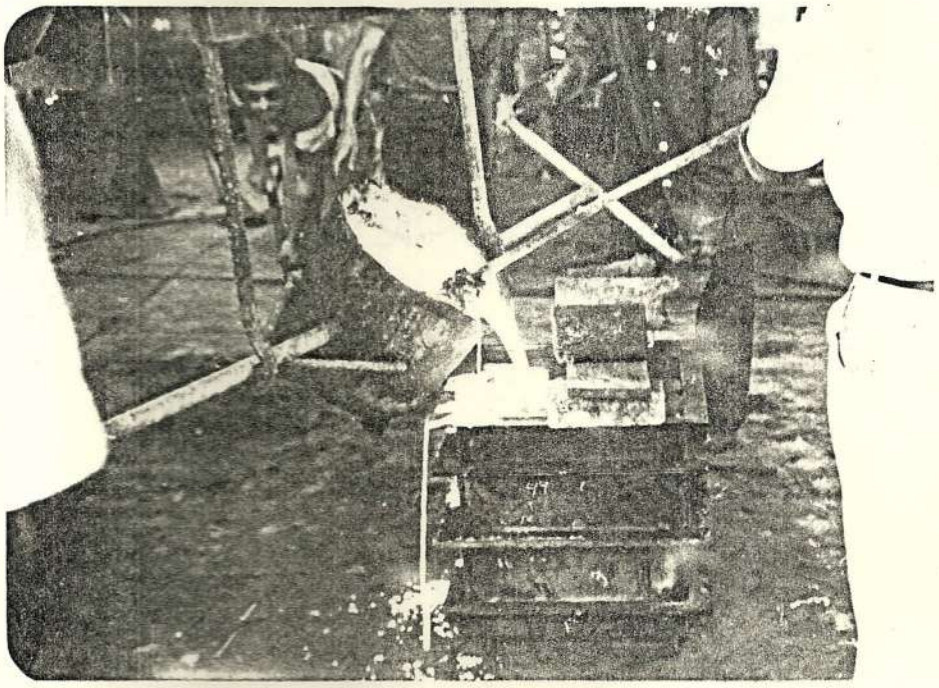


FIGURA No. 53.- COLADO DEL METAL EN LOS MOLDES

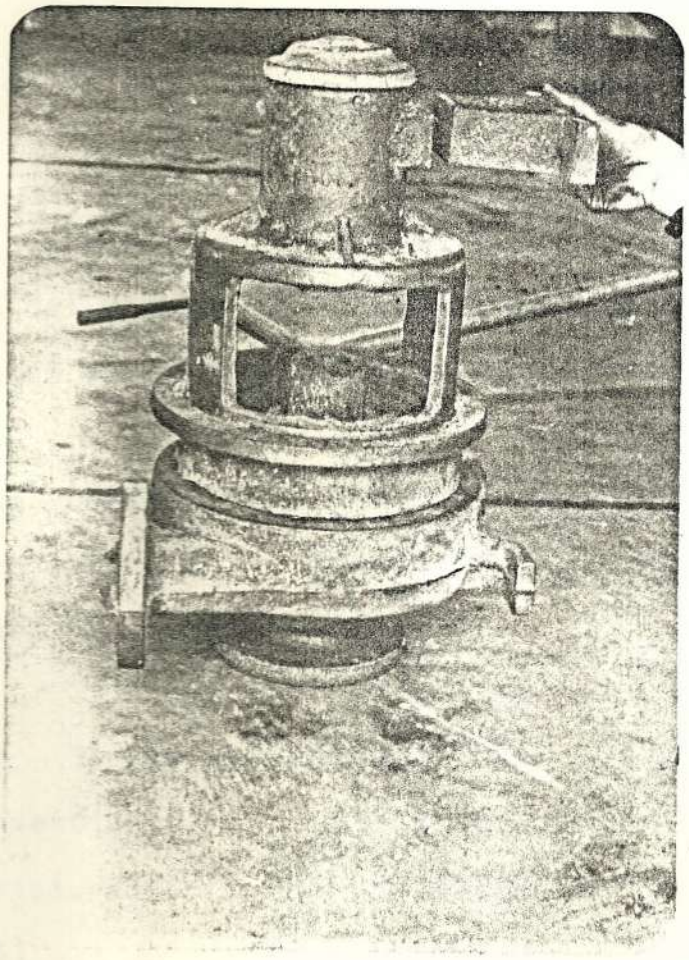


FIGURA No. 54.- PIEZAS FUNDIDAS, LISTAS A SER MAQUINADAS.

BIBLIOGRAFIA

1. M. HAKKA. Informe final proyecto ONUDI si/ECU/84/801, "Análisis del Mercado y preparación de proyectos de fundición en el Ecuador", Quito, Abril 1985.

2. G. LAMBERT: Informe Final Proyecto ONUDI si/ECUA/82/801, "Diagnóstico de la demanda de Piezas Fundidas en el Ecuador", Quito, Junio 1983.

3. J.PACHECO. "Estudio de proceso oxidación-reducción en el convertidor LD." (Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1985).

4. G.SANCHEZ. "Estudio de la Elaboración de Acero en un convertidor LD." (Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1982).

5. J.LASHERAS, Esteban. Tecnología del Acero (3era. edición, Barcelona: Ediciones CEDEL, 1978).

6. AMERICAN SOCIETY FOR METALS. "Métals Handbook, Volumen 1" (9na. edición, 1978), pp. 377-402.

7. A. MURO, Artamendi. "Agenda de Fundición" (Editora y distribuidora de publicaciones Técnicas, S.L, Madrid, 1976), pp. 86-92.

8. J.APRAIZ BARREIRO. "Fabricación de Hierro Aceros y Fundiciones Tomo 2", (1era. edición; Bilbao: Urmo Ediciones, 1978), pp. 465 - 495.

9. Heine, LOPER y ROSENTHAL. "Principles of Metal Casting" (2da. edición; McGraw-Hill, 1967)PP.411-421.

10. C.CHANSING y G. HILLY. "Metalurgia Tomo II" (7ma. edición; Bilbao Urmo Ediciones 1975)pp.167-214.

11. AMERICAN SOCIETY FOR METALS, "Metals Handbook, Volumen 7" (8va. edición, 1972)pp.69-86.

12. United States Steel "The Making, Shaping and Treating of Steel" (9na edición, Pittsburgh, Pennsylvania. Diciembre 1970), pp. 1054-1066.

13. M.D.WARD, "Influence of hot-metal composition on LD. Steelmaking", Journal of Iron and Steel Institute (Mayo 1970), pp. 445-450.

14. Winfried Dahl, Klaus w. Lange, editor, Kinetics of Metallurgical Processes Ins Steelmaking, "Reactions Kinetics, basis of processes control; por Niller P.,

F. Marker y H. Voll" (Germany, 1975), pp. 535-553.

15. F.H. WOEHLBIER y G.W. RENGSTORFF, The Kinetics of Aluminiun Deoxidation of Steel, Journal of Metals, (Mayo 1967), pp. 50-53.

16. Olga REPETYLO, Michel OLETTE y Paul KOZAKEVITCH, Deoxidatión of Liquid Steel With Aluminium And Elimination of The Resulting Alumina, Journal of Metals, (Mayo 1967), pp. 45-50.

17. Ricardo DE LA CIERVA, Determinación Rápida de Fósforo por Calorimetría y Fotoabsorciometría en aceros al carbono y Fundicones, Instituto del hierro y del acero (Abril 1968), pp. 85-90.

18. L.I.KRUPMAN, Cinética de la disolución de Ferroaleaciones en la cuchara de colada del acero, (Mayo 1974).

19. H.KOBUCH, L. YUNKER, "Ventajas de la determinación del contenido de oxígeno del acero para la acería.

20. Robert ATKINSON, "LD Steelmaking Practice at consertt", Steel Times Anual Review (Septiembre 1969), pp. 105-116.

21. University of Pittsburgh, Departament of Metallurgical and Materials Engineering "Noter on Iron and Steelmaking".

22. F.J.ASENCIO, A.GUTIERREZ, A.FORMOSO, J.LORENZO y M. CAHUE. "El Azufre en Siderurgia y la desulfuración externa" Revista de Metalurgia (CENIN). Vol. 10, Nº 5. (Octubre 1964), pp. 305-310.

23. NICK WUKOVICH, "Desulfurizing Acid and Basic Steel" Revista, Modern casting. (Septiembre 1983), pp. 38-41.