

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica



"Estudio Metalúrgico de Barras de Molino fabricadas en un Tren Desbastador Pomini Farrel MB 520"

TESIS

**Para Optar el Título Profesional de
Ingeniero Metalurgista**

Presentado por:

Eddy Kenneth Moreau Servatt

Lima - Perú

1996

AGRADECIMIENTO

Si en estas palabras no citara el recuerdo imperecedero de mi padre, este pequeño trabajo seguro estaría incompleto. Agradezco el esfuerzo de él, de mi madre y hermanos que me apoyaron siempre para que salga adelante en este difícil camino que es la vida.

EDDY KENNETH MOREAU SERVATT

INDICE.-

	Pag.
0.- Resumen	1
1.- Introducción.	3
2.- Generalidades	5
2.2 Características y Propiedades Mecánicas que deben reunir las Barras de Molino.	6
2.3 Factores que controlan las Propiedades Mecánicas de las Barras de Molino.	8
2.3.1 Composición Química	8
2.3.2 Microestructura	21
2.3.3 Limpieza del Acero	22
3.- Descripción del Proceso de Fabricación de las Barras de Molino.	25
3.1.- Materia Prima	25
3.1.1.- Industrialización de la Chatarra.	26
3.1.2.- Requerimientos de la Acería.	27
3.1.3.- Hierro Esponja.	28
3.1.4.- Mix o Patrón de Carga.	29
3.2.- Fusión	29
3.2.1.- Proceso en Horno Eléctrico	30
3.2.2.- Norma de Procesos en Hornos Eléctricos para la fabri- cación de acero líquido de calidad 1090	33
3.3.- Colada Continua.	39
3.3.1.- Norma de Procesos de Colada Continua para la obtención de Palanquillas de 150 x 150 x 3150 m.m. de acero de	

	calidad 1090.	40
3.4.-	Laminación.	42
3.4.1.-	Proceso de Laminación.	42
3.4.2.-	Norma del Proceso de Laminación.	44
4.-	Control de la calidad durante el Proceso de Fabricación de las Barras de Molino.	49
4.1.-	Normas de Inspección.	49
4.2.-	Análisis de Composición química.	53
4.3.-	Control Estadístico de Tiempos de Permanencia en el Horno y Temperaturas de Laminación	53
5.-	Control de la Calidad del Producto Terminado	54
5.1.-	Normas y Técnicas utilizadas para evaluar el Producto Terminado	54
5.1.1.-	Determinación del Tamaño de Grano Austenítico.	54
5.1.1.1.-	Método Mc Quaid Ehn, por Cementación a 925.°C	57
5.1.2.-	Limpieza del Acero.	61
5.1.2.1.-	Determinación del Contenido de In- clusiones NoMetá- licas Método Micrográfico con ayuda de Imágenes Tipo.	61
5.1.2.2.-	Método Macroscópico	

	de Determinación del Contenido de Inclu- siones No Metá- licas.	66
5.1.3.-	Ensayo de Dureza Brinell.	70
5.1.4.-	Ensayo de Resiliencia.	73
6.-	Evaluación de las Propiedades de las Barras de Molino	74
6.1.-	Composición Química de la Barra de Molino	74
6.1.1.-	Influencia del contenido de Car- bono en las Propiedades Mecáni- cas de las Barras de Molino.	75
	6.1.1.1.- Dureza.	75
	6.1.1.2.- Resiliencia.	76
	6.1.1.3.- Uso de Microaleante	77
6.1.2.-	Pruebas realizadas para reducir el contenido de Nitrógeno en el Acero de calidad 1090	79
6.2.-	Análisis de Macro y Micro inclusiones en las Barras de Molino.	81
6.2.1.-	Análisis de Macro inclusiones en las Barras de Molino - Norma Copant 2 : 1 - 032 - Método de Ensayo de la Probeta Escalonada.	81
	6.2.1.1.- Resultados.	81
6.2.2.-	Análisis de Micro inclusiones en las Barras de Molino - Norma ASTM E - 45.	82

	6.2.2.1.- Resultados.	82
6.3.-	Análisis del Proceso de Laminación.	82
6.3.1.-	Técnica de Laminación Controlada.	83
6.3.2.-	Grados de Reducción.	86
6.3.3.-	Tiempo de Permanencia en el Horno de Recalentamiento..	88
6.3.4.-	Temperatura de Laminación..	90
6.3.5.-	Influencia del Tamaño de Grano Austenítico.	91
6.3.6.-	Métodos para reducir el Tamaño de Grano Austenítico.	92
6.3.7.-	Efecto de la Temperatura en el Tamaño de Grano Austenítico.	93
6.3.8.-	Análisis del Tamaño de Grano Austenítico en Barras de Molino.	94
6.3.9.-	Alternativas en el Proceso de Laminación.	95
7.-	Análisis Micro y Macroestructura y Propiedades Mecánicas de Campañas anteriores.	98
7.1.-	Análisis de Falla de Barras de Molino.	98
7.1.1.-	Porosidad Central (Zona esponjosa).	100
	7.1.1.1.- Descripción.	100
	7.1.1.2.- Causas.	100
	7.1.1.3.- Acciones	

	correctivas. . .	101
7.2.-	Gráficos obtenidos experimentalmente.	101
7.3.-	Análisis Comparativo mediante Rendimiento en Servicio de las Barras de Molino fabricadas en el Tren Desbastador MB-520, con las Barras fabricadas mediante el Proceso Tradicional.	101
7.3.1.-	Características de la Planta Concentradora Paragsha.....	101
7.3.2.-	Método de Realización de la Prueba	102
7.3.3.-	Resultados de la Prueba. .	103
7.3.4.-	Conclusiones de la Prueba.	103
8.-	Análisis de Costos de Producción.	105
8.1.-	Costo de Producción de la Planta de Acería	105
8.2.-	Costo de producción de la Planta de Laminación.	107
9.-	Conclusiones y Recomendaciones.	109
10.-	Bibliografía.	112
11.-	Anexos.	114

0.- RESUMEN

En el presente trabajo de Investigación se buscó la alternativa de fabricar Barras de Molino, partiendo de Palanquillas de 150 x 150 mm. laminandolas en un Tren Desbastador MB-520. Generalmente se obtienen las barras de molino partiendo de tochos de 200x250 mm , lo cual asegura un buen Grado de reducción asegurándose un tamaño de grano austenítico refinado lo cual garantiza una adecuada resiliencia.

Se evaluó esta alternativa debido a que la Máquina de Colada Continua con que se cuenta no es apta para lingotear tochos de 250X200 mm .

En los tiempos actuales la tendencia en la Laminación es partir de productos semiterminados cuyas secciones sean lo más cercanas posibles a las secciones de los productos terminados a obtener . Esto se realiza con el propósito de reducir al máximo el número de pases en el proceso de laminación generando de esta manera una reducción de costos de fabricación significativo.

Con el fin de asegurar una óptima calidad y un rendimiento similar al de las Barras fabricadas a partir de tochos, se realizó un riguroso control de todo el proceso productivo.

Finalmente se comparó el rendimiento de ambos tipos de Barras de Molino en servicio, además de realizarles una serie de pruebas metalúrgicas tales como

Composición Química, Dureza, Tamaño de Grano, etc. Asimismo se analizó el comportamiento del Ti, como Afinador de Grano y Fijador del Nitrógeno.

Ensayos similares fueron realizados a barras de molino fabricadas por empresas extranjeras, con el propósito de realizar análisis comparativos.

Para efectos del estudio se utilizaron barras de molino de 3" y 3 1/2 " de diámetro.

El objetivo del presente estudio fue optimizar las variables operativas analizándose los resultados de las campañas de fabricación de barras de molino anteriores, con el propósito de obtener un producto de mayor calidad en las futuras campañas de fabricación.

1.- INTRODUCCIÓN

La fabricación de barras de molino normalmente se realiza obteniendo el acero líquido con la composición química deseada en un horno de arco eléctrico, luego a través de la colada continua se obtiene tochos de una sección rectangular de 200x250 mm .

El proceso de laminación se realiza en un tren desbastador de 8 cajas de laminación en una sola etapa, al final de la cual se obtiene el producto terminado.

Este proceso de fabricación de barras de molino a partir de tochos de colada continua permite obtener un radio de reducción de aproximadamente 11 a 1 para barras de molino de 3" y de 8 a 1 para barras de molino de 3 1/2".

Esta gran reducción de sección permite desaparecer la estructura grosera de colada, eliminar defectos internos, quebrar las macroinclusiones, formar fibra en el acero y obtener una masa más compacta así como un menor tamaño de grano.

Las barras de molino están sometidas a fuertes esfuerzos de impacto y fricción , por lo cual deben poseer buenas propiedades de resistencia al impacto o choque (resiliencia). Cualquier barra que presente defectos internos tales como : grietas internas , porosidad central

fuerte al ingresar en servicio, fallará.

El proceso de fabricación de barras de molino propuesto se inicia a partir de palanquillas de acero de calidad 1090 de 150x150 mm, es decir se aplica al material inicial una relación de reducción de 3.6 a 1 para el caso de barras de molino de 3 1/2" y de 4.9 a 1 para el caso de barras de molino de 3".

Normalmente estas relaciones de reducción eran consideradas demasiado bajas para fabricar barras de molino. Se tenía incertidumbre sobre si las propiedades mecánicas de las barras obtenidas, con tan bajas reducciones, serían las adecuadas para soportar los esfuerzos de impacto y fricción a las que serían sometidas en servicio. Además estas bajas reducciones tendrían que eliminar la estructura de solidificación grosera de colada continua y los posibles defectos internos de la palanquilla de partida.

En el presente estudio se detalla el proceso de diseño, fabricación y seguimiento en servicio de las barras fabricadas bajo este método así como las pruebas realizadas y los resultados y conclusiones obtenidas.

2.- GENERALIDADES

La Minería es una de las principales fuentes de ingresos de divisas para el país, necesita para seguir siendo competitiva a nivel internacional, abaratar el costo de sus insumos.

En los Estados Unidos, por ejemplo, existen muchas Empresas Siderúrgicas que fabrican un solo producto: Barras de Molino para Molienda de Minerales, y abastecen todo su mercado interno e incluso exportan sus excedentes de producción.

En nuestro país, algunas Empresas Mineras se ven obligadas a importar este producto debido a que no son abastecidas con el tonelaje que necesitan para mantener su proceso productivo continuo.

Los Molinos de barras desarrollan un rol muy importante en la industria Minero-Metalúrgica, se utilizan para moler productos de circuitos de trituración y en algunos casos pueden reemplazar a las etapas de trituración terciaria.

Generalmente se utilizan los molinos de barras en las etapas de Molienda Primaria o Molienda Gruesa (asociados a clasificadores) ya que aceptan alimentos tan gruesos como de 2" y producen descargas constituidas por arenas que

pasan la malla No 4. La descarga de estos molinos se alimenta, generalmente, a Molinos de Bolas los cuales alimentan al circuito de flotación.

El consumo de barras es fuertemente influenciado por las características del mineral a tratar siendo el promedio de 0,370 Kg de acero /t de mineral tratado.

Las barras de molino son fabricadas a partir de diferentes tipos de acero, y en diferentes estados de suministro, según sea el uso específico. Estos tipos de acero pueden ser al carbono, de media aleación y tratados térmicamente según esto el costo varía entre \$ 600/t a \$ 1000/t.

2.1.- Características Mecánicas que deben reunir las Barras de Molino

Las características geométricas y las propiedades mecánicas que deben presentar las barras de molino son de fundamental importancia para un exitoso comportamiento en servicio .

Con respecto a las características geométricas debemos decir que las barras de molino deben presentar una ovalización mínima ya que esta puede afectar la eficiencia de la molienda por una falta de simetría y contacto con la demás barras dentro del molino. Así mismo las barras deben

presentar una adecuada rectitud dado que una flecha excesiva puede provocar la rotura de la barra en servicio. Con respecto a las propiedades mecánicas, una adecuada dureza y una alta resistencia al choque o resiliencia son requeridas , estando estas propiedades íntimamente ligadas al diseño metalúrgico bajo el cual son fabricadas.

Las Barras de Molino en las Plantas Concentradoras, son utilizadas en la molienda primaria de minerales. El mineral molido, producto de esta molienda pasa a otro molino de bolas (los gruesos), donde se realiza la molienda secundaria y se obtiene un producto de dimensiones adecuadas que alimentará al circuito de flotación.

Las barras producen la molienda por frotamiento e impacto sobre el mineral, el cual por su mayor tamaño en la alimentación respecto a la descarga, origina que las barras ejerzan una acción de tijeras, produciendo molienda por impacto en la zona cercana a la entrada y por fricción en las cercanías de la descarga.

Esta acción corroborada por la experiencia hace que la molienda en el molino de barras sea homogénea y produzca una baja proporción de material fino.

Para rangos gruesos de tamaño de partículas, el molino de barras desarrolla mayor eficacia que el de bolas debido a que:

(a) Se produce mayor contacto entre el mineral y el metal por unidad de área de medio de molienda al existir un porcentaje bajo de espacios vacíos entre la carga de barras, lo que a su vez origina un menor consumo de acero.

(b) Requieren menor energía que los molinos de bolas por operar a velocidades periféricas menores.

Si la molienda debe producir una cantidad mínima de finos o es una etapa intermedia y su producto no será alimentado al proceso posterior directamente sino que pasará a otra etapa de molienda, es habitual el uso de barras cilíndricas de diámetros que dependerán del tamaño del alimento.

2.2.-Factores que Controlan las Propiedades Mecánicas de las Barras de Molino

2.2.1.- Composición Química

Los elementos químicos influyen de muy diversas maneras en las propiedades de los aceros, aumentando o disminuyendo, la tenacidad, la resistencia, la maquinabilidad etc.

Examinaremos la influencia de todos los elementos que puede contener el acero además del hierro y el carbono, tanto como elementos de aleación deseable

como indeseable en forma de impurezas inclusiones etc.

2.2.1.1.- Carbono

El acero es por definición una aleación de hierro con 0,03 % a 1.7% de carbono. El carbono se disuelve en el Hierro, como carburo de hierro (Fe_3C) y controla principalmente las propiedades de : dureza y resistencia.

Debe considerarse que a mayor % de carbono la resistencia al impacto se reduce drásticamente. Esto nos lleva a la conclusión que si elevamos nuestro contenido de carbono obtendremos una mayor dureza pero una baja tenacidad, es decir nuestro acero será frágil.

2.2.1.2.- Manganeso

En todos los aceros se encuentra manganeso debido a que las materias primas usadas lo contienen y se le requiere para contrarrestar el severo efecto fragilizador del azufre. El manganeso se encuentra presente en el acero formando una solución sólida sustitucional, éste elemento actúa como promotor de la resistencia y eleva ligeramente la dureza pero no imparte

como uno de los elementos más perjudiciales. Recientes investigaciones han demostrado que el fósforo no solo resulta perjudicial para el acero por la fragilidad que les comunica, sino que eleva la dureza, la resistencia a la tracción, disminuye la tenacidad reduciendo drásticamente la resistencia al impacto.

La fragilidad es agravada en caso de aceros duros, esto es, de elevado contenido de carbono. Por eso las limitaciones impuestas al fósforo para estos aceros son más severas.

2.2.1.5.- Azufre

El azufre resulta perjudicial para la generalidad de los tipos de acero porque forma inclusiones del tipo: sulfuro de fierro, de bajo punto de fusión (980 C).

Estas inclusiones se constituyen en puntos débiles en la masa del acero, generando grietas y fisuras durante los procesos de transformación en caliente.

Llamadas grietas de fragilidad en caliente.

2.2.1.6.- Cromo

Se considera como elemento de aleación al cromo cuando su contenido en el acero es mayor al 0.25%.

El cromo aumenta la dureza del acero formando carburos muy duros y fortaleciendo la ferrita, aumenta también la resistencia a la tracción y el límite elástico reduciendo la elasticidad.

Conforme aumenta el contenido de cromo las propiedades de soldabilidad decaen y la resistencia al impacto se reduce.

2.2.1.7.- Níquel

Se considera que un acero tiene al níquel como elemento aleante cuando su contenido es mayor a 0.50 %.

El níquel es un gran fortalecedor de la ferrita, lo que se traduce en una notable mejoría de la tenacidad de los aceros laminados.

El níquel aumenta la resistencia a la tracción, el límite elástico, la resistencia al impacto y mejora la calidad superficial de los productos.

2.2.1.8.- Molibdeno

Se considera como elemento de aleación al

molibdeno cuando está presente en el acero en un porcentaje mayor al 0.10 %.

El molibdeno aumenta la resistencia a la tracción, el límite elástico y la dureza de los aceros. Esto es debido al fortalecimiento de la ferrita, a la formación de carburos y al efecto estimulante que ejerce el molibdeno sobre los otros elementos de aleación presentes en el acero.

2.2.1.9.- Cobre

El cobre es considerado como elemento de aleación cuando su contenido es superior a 0.30%.

El cobre eleva la resistencia a la tracción y el límite elástico de los aceros.

Debido a que el cobre tiene un bajo punto de fusión, los aceros que lo contienen en porcentajes elevados, sufren fácilmente un quemado superficial durante el recalentamiento.

2.2.1.10.- Estaño

El estaño se incorpora a los aceros por la

chatarra que interviene en su fabricación y que contiene soldadura, metales antifricción etc.

El estaño aumenta la fragilidad del acero en caliente, siendo su acción parecida a la del fósforo pero cuatro veces más intensa.

El estaño perjudica considerablemente la resistencia al impacto, siendo el efecto más notorio en los aceros de elevado contenido de carbono.

2.2.1.11.- Aluminio

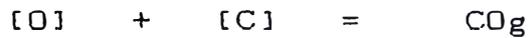
En estado metálico se utiliza al aluminio para desoxidar el acero, además se consigue con el aluminio afinar el grano.

Pequeños porcentajes de aluminio mejoran la estricción y la resistencia al impacto.

El aluminio también se combina con el nitrógeno formando nitruros de alta dureza.

2.2.1.12.- Oxígeno

Las concentraciones elevadas de oxígeno en el acero calmado pueden originar las burbujas como resultado de la reacción con el carbono:



Estas burbujas en el acero, son el punto de origen de grietas las cuales durante el servicio del producto son las causantes de roturas y fallas.

Además, a las altas concentraciones de oxígeno en el acero se forman considerables cantidades de inclusiones fusibles de óxidos y oxisulfuros que se solidifican a lo largo de los límites de grano, y como consecuencia disminuye la resistencia del metal a las altas temperaturas (fragilidad al rojo).

2.2.1.13.- Nitrógeno

El nitrógeno es altamente perjudicial para el acero y en especial para los aceros que requieren tener una alta resistencia al impacto. Esto es debido a que el nitrógeno, por sus características físicas forma una solución sólida intersticial en la estructura cristalina del hierro.

El nitrógeno empeora las propiedades plásticas del acero, hace aumentar la fragilidad a las temperaturas bajas (fragilidad en frío), y la

propensión del acero al envejecimiento (precipitación de nitruros fragilizantes).

Por todo lo establecido podemos concluir que la presencia del nitrógeno en el acero para barras de molino deberá ser minimizada.

2.2.1.14.- Acción conjunta del Cobre y el Estaño

La conjunción de ambos metales en el acero da lugar a la formación de un compuesto binario que al difundirse durante el calentamiento de las palanquillas enriquece su superficie disminuyendo sensiblemente la cohesión en caliente y dando en consecuencia un producto o semiproducto de superficie agrietada defecto que se magnifica a medida que el porcentaje de los elementos crece. En principio diremos que tenores del orden de los decimos para el cobre y en menor proporción para el estaño, ejercen una acción perniciosa en el acero.

Existen dos teorías en cuanto a la influencia del cobre y el estaño:

La disminución de la forjabilidad en aceros dulces con elevados porcentajes de cobre y estaño se debe a la segregación de estos elementos o sus

compuestos en los límites de grano en la zona adyacente a la capa superficial oxidada, dificultando de ésta manera la recristalización durante la deformación plástica en caliente y provocando la fisuración de la pieza.

La disminución de la forjabilidad se debe a la presencia de elementos residuales en solución sólida distribuidos homogéneamente en la masa del acero, estado en el cual dificultarían la recristalización.

2.3.1.15.- Niobio, Vanadio y Titanio

El niobio, vanadio y titanio se disuelven en el acero a alta temperatura pero no a baja, o sea que son expulsados, es decir precipitan.

En realidad no lo hacen solos sino tomando del solvente, carbono y/o nitrógeno, dando origen a carburos y nitruros.

A los 1090 - 1100 °C recién se forman los NbC y a los 1240 °C los NbN. Para el vanadio en cambio, estas temperaturas son de 900 °C y 1070 °C respectivamente.

El vanadio solo impide el crecimiento de grano hasta los 1000 - 1050 °C, el niobio al ser menos

soluble en la austenita, resiste hasta 1100
1150 C, e incluso se cree que el titanio
combinado bajo la forma de nitruro resiste hasta
los 1200 - 1220 C.

Adiciones de aluminio, vanadio y titanio retardan
solo levemente la recristalización, pero su
precipitación en forma de partículas inhibe
marcadamente el crecimiento de grano después de
la recristalización.

Pequeñas adiciones de titanio, pero en cantidades
solo suficientes para fijar el nitrógeno, son
también efectivas para el inhibir el crecimiento
de grano durante el recalentamiento dado que los
nitruros de titanio son estables a altas
temperaturas.

Los nitruros de titanio contribuyen también a
evitar el crecimiento acentuado del grano en
zonas afectadas térmicamente.

Por otro lado las adiciones de titanio no deben
ser excesivas como para formar carburo de
titanio, pues ellos disminuyen la tenacidad.

El vanadio forma carburos y nitruros en aceros.
Estos precipitados proveen alta resistencia al
acero e indirectamente pueden ser usados como

refinadores de grano.

El vanadio es un fuerte formador de nitruros.

El niobio (NbC-NbN) retarda la recristalización de la austenita e inhibe el crecimiento de grano.

Para una temperatura de recalentamiento mayor a 1200 C el niobio se mantiene en solución para posterior precipitación (lo cual eleva la resistencia, endurecimiento por precipitación)

ELEMENTO MICROALEANTE	ELEMENTOS PRESENTES EN EL ACERO			
	CARBONO	NITROGENO	OXIGENO	AZUFRE
	C	N	O	S
Nb - Niobio	* * *	*	-	-
Ti - Titanio	* *	* * *	* * *	* *
V - Vanadio	* *	* * *	-	-

* * * : Muy buena afinidad.

* * : Buena afinidad

* : Regular afinidad

- : No tiene afinidad

COMPUESTO	TEMPERATURA DE PRECIPITACION EN °C	TEMPERATURA DE DISOLUCION EN °C	TEMPERATURA DE NORMALIZADO EN °C
VC	900	0 830 - 850	
VN	1070	900 - 950	
NbC	1100	< 850	> 1200
NbN	1240	< 850	> 1200
Nb)C,N)	--	< 850	> 1200

EFFECTO DE ELEMENTOS QUIMICOS EN LA TEMPERATURA

DE TRANSICION DE ACEROS PERLITICOS

CUADRO N° 1

ELEMENTO	RANGO (%) ESTUDIADO	VARIACION EN LA TEMPERATURA DE TRANSICION (a)
Carbono	0,12 a 0,32	+ 3,0
Manganeso	0,20 a 1,50	- 1,0
Fósforo	0,01 a 0,06	+ 10,0
Silicio	0,02 a 0,20	- 3,0
Aluminio	0,00 a 0,06	Benefico
Nitrógeno	0,003 a 0,022	+ 33,0
Cobre	0,03 a 2,00	+ 0,40
Níquel	0,04 a 2,50	+ 0,45
Cromo	0,005 a 1,00	+ 0,50
Molibdeno	0,00 a 0,29	+ 1,8
Titanio	-	-
Vanadio	-	-
Tamaño de grano ferrítico	-	- 25 (b)

(a) Variación en la temperatura de transición (°F) por cada 0,01% de incremento del contenido del elemento.

(b) Por cada incremento de un número ASTM (disminución del tamaño de grano).

2.2.2.- Microestructura

La microestructura de los aceros de calidad 1090 es de fundamental importancia para las propiedades y características que deben presentar las barras de molino.

Por el contenido de carbono que presentan estos aceros en su composición química son llamados aceros eutectoides, siendo su microestructura normal a temperatura ambiente constituida por 100% Perlita.

La perlita puede presentarse de dos formas: perlita gruesa y perlita fina siendo esta última de mejores propiedades mecánicas.

Cuando el contenido de carbono es algo mayor a 0.88%, precipita en los bordes de grano la fase frágil y dura llamada Cementita (Fe_3C). La presencia de ésta fase es perjudicial para las barras de molino dado que les da características de fragilidad y alta dureza lo cual puede ocasionar la falla prematura de las barras.

Contenidos menores a 0.88% C puede dar las condiciones necesarias para que aparezca en la microestructura la fase ferrita de alta ductilidad y baja dureza.

La presencia de ferrita puede ocasionar que las barras de molino presenten muy buena tenacidad pero una baja dureza , lo cual puede ocasionar un rápido desgaste de las barras presentando un bajo rendimiento.

2.2.3.- Limpieza del Acero

La experiencia de un largo periodo de observación ha demostrado que el efecto más pernicioso de las inclusiones es probablemente que ellas facilitan la formación de fisuras y grietas

En la práctica es conveniente dividir a las inclusiones de acuerdo al tamaño en macro y micro-inclusiones.

Las macroinclusiones tienen que ser eliminadas en todo los casos a causa de que ellas siempre generan una alta concentración de esfuerzos lo cual reduce las propiedades del acero a un nivel peligroso.

La presencia de microinclusiones puede ser tolerada, sin embargo ellas no necesariamente tienen un efecto perjudicial en las propiedades del acero y pueden en algunos casos ser beneficiosas.

Las microinclusiones, por ejemplo, restringen el crecimiento de grano, actúan como núcleos para la precipitación de carburos, nitruros etc.

La distribución de las inclusiones tiene una clara influencia en las propiedades de los metales, sus efectos perjudiciales son aun más serios cuando se encuentran en los límites de grano. En los metales trabajados las inclusiones se encuentran alineadas en la dirección del trabajo mecánico, y si forman líneas continuas debilitan notablemente la resistencia transversal del metal.

Por lo general son las inclusiones de oxisulfuros las que se sitúan en los límites de grano. Estas inclusiones tienen bajo punto de fusión y se separan en estado líquido durante la cristalización del acero, produciendo un debilitamiento de los enlaces entre los granos, en particular con el aumento de la temperatura (fragilidad al rojo).

Gran peligro representan las inclusiones que tienen caras agudas; por regla general son inclusiones poco fusibles cuya temperatura de fusión es superior a la del metal líquido. Tales

inclusiones con frecuencia son lugares de concentración de esfuerzos y fuente donde se origina el proceso de destrucción del producto. Cuando dicha inclusión se encuentra en la superficie del producto se produce el desmenuzamiento paulatino de la inclusión.

3.-DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE BARRAS DE MOLINO.

El producto en estudio es obtenido en una Acería Eléctrica con un Tren Desbastador Monoblock - 520.

La Acería Eléctrica está compuesta de las siguientes secciones: Parque de Chatarra, Hornos Eléctricos, Refractarios y Colada Continua en las cuales se realizan una serie de operaciones secuenciales que tienen por finalidad la obtención del acero líquido.

3.1.- Materia Prima

La materia prima principal en la Acería es la chatarra, la cual es sometida desde su recepción hasta su utilización a un proceso de industrialización que tiene por objetivo, hacerla apta para el proceso en hornos eléctricos

El parque de chatarra está dividido en dos zonas las cuales son :

Zona de Industrialización de la chatarra, y

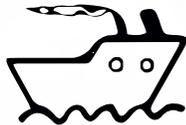
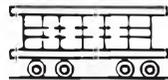
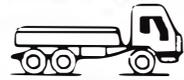
Zona de Consumo.

En la Zona de Industrialización se realiza el acondicionamiento de la chatarra, es decir selección corte, limpieza etc.

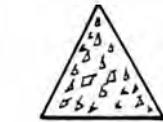
La Zona de Consumo cuenta con una fosa de dimensiones;

DIAGRAMA DE FLUJO - FABRICACION DE BARRAS DE MOLINO

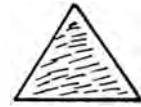
ACERIA



TRANSPORTE

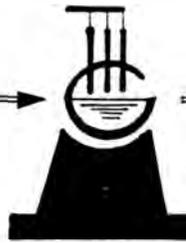


CHATARRA Fe



INSUMOS

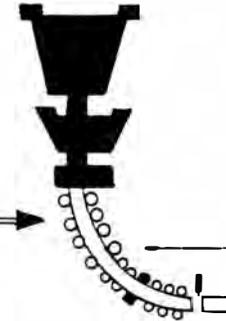
M. PRIMA-INSUMOS



HORNO ELECTRICO
DE ARCO



EST. CUCHARA



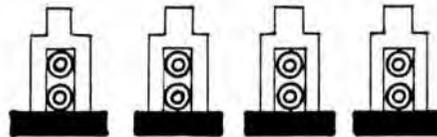
MAQ. COLADA CONTINUA

PALANQUILLAS DE
150 x 150 mm.

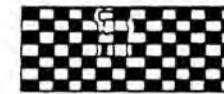
LAMINACION



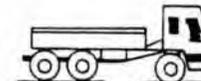
HORNO DE RECALENTAM.
DE PALANQUILLAS



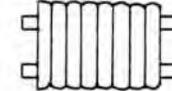
LAMINADOR DESBASTADOR



MESA DE ENFRIAMIENTO
DE BARRAS DE MOLINO



ENTREGA AL
CLIENTE



INSPECCION Y
ACONDICIONAMIENTO

217m x 30m x 3m con una periferia de material noble donde se deposita chatarra de diferentes calidades, apta para ser utilizada en el proceso de fabricación de acero líquido. (Ver plano adjunto).

3.1.1.- Industrialización de la Chatarra

Debido a sus características físicas y químicas la chatarra juega un papel fundamental en la fabricación del acero.

El acondicionamiento de la chatarra es muy importante, pues al mejorar sus características físicas se obtiene ventajas en el proceso productivo. Además hay situaciones en las cuales sin el tratamiento previo, la chatarra no podría ser empleada en el proceso productivo.

Es evidente que el procesamiento de la chatarra da origen a una nueva forma de encarar su compra y venta, se deja a un lado la mera comercialización y comienza una etapa industrial.

La industria de la chatarra se transformó de industria de mano de obra intensiva a industria de capital intensivo, donde el nuevo producto ofrecido, Chatarra Siderúrgica debe ofrecer claras ventajas al acaraste, que compensen su mayor costo por el proceso de

industrialización aplicado. Las actividades que se realizan para la obtención de una chatarra de mejor calidad son las siguientes:

Selección.- Tiene por finalidad identificar y separar materiales que contaminan la chatarra, tales como: metales no ferrosos (Cu, Sn, Cr, etc) y materiales no metálicos.

Corte.- Tiene por finalidad darle al material las siguientes características: mayor densidad, manipuleo más fácil, transporte más económico, a la vez que se obtiene una chatarra más limpia.

Limpieza.- Se aparta de la chatarra material no metálico que puede alterar el proceso de obtención del acero líquido, disminuir el rendimiento de la chatarra y causar roturas de electrodos.

Clasificación.- Debido a que los diferentes tipos de chatarra presentan una composición química definida y conocida, en base a pruebas con cargas de 100% de un mismo tipo de chatarra, se puede clasificar la chatarra de acuerdo a su composición química en diferentes clases o tipos de chatarra.

3.1.2.- Requerimientos de la Acería

Las diversas calidades de acero que se fabrican,

requieren del material (chatarra) adecuado, es decir, la mezcla de diferentes tipos de chatarra debe ser realizada de tal manera de limitar los elementos contaminantes (P,S,Sn,Cu,Cr, etc) que son perjudiciales para la calidad y propiedades del acero.

3.1.3.- Hierro Esponja

Actualmente se viene sustituyendo la chatarra por el uso de hierro esponja en forma de briquetas. En comparación con la chatarra el hierro de reducción directa tiene las siguientes características

Forma pequeña y uniforme, lo que lo hace adecuado para carga continua, usando algún tipo de alimentación mecánica, sin necesidad de interrumpir la corriente a los arcos, en lugar de alimentarlo por la bóveda como la chatarra.

Composición química conocida y constante, con poco o ninguna contaminación de elementos residuales, con su apreciable disminución en el análisis del acero.

Contiene cierta cantidad de impurezas no metálicas residuales, pero generalmente menos que la chatarra sucia de baja calidad.

Cierto contenido de oxígeno residual de los óxidos sin reducir.

El empleo de pre-reducido sólido en los hornos de arco es obviamente función de su economía. Se ha llegado a reemplazar hasta el 40% de la carga total de chatarra, obteniéndose resultados satisfactorios.

El uso de hierro esponja en la carga metálica para producir acero de calidad 1090, es altamente beneficioso para la calidad final del producto, debido a que se garantiza un menor contenido de elementos residuales fragilizantes así como un menor contenido de gases.

3.1.4.- Mix o Patrón de Carga

Está constituido por la mezcla de diferentes tipos de chatarra y hierro esponja, determinando el nivel de residuales deseado el peso o porcentaje de la carga total de cada tipo de chatarra.

Cada tipo de chatarra tiene una composición química aproximada representativa.

3.2.- Fusión

La Planta de Acería cuenta con 02 Hornos Eléctricos de las siguientes características.

Capacidad del Transformador	20 MVA
Capacidad Nominal	40 t

Diámetro de la cuba : 4.3m

Diámetro de los electrodos : 450 mm

3.2.1.-Proceso en el Horno Eléctrico

El carguío de las cestas al horno se realiza por la parte superior del horno para lo cual se abre la bóveda.

La cesta es conducida al horno por la puerta con una grúa de 80 t, posicionada a una distancia de aprox. 60 cm del borde del horno y vaciada por debajo.

Luego de cargada la cesta se procede al inicio de la fusión.

La fusión propiamente dicha es la operación mediante la cual se lleva a la carga metálica al estado líquido. Sirven como factores que aceleran el proceso:

- **Energía Eléctrica.**- Elemento responsable de la fusión de la carga metálica. Su efecto se traduce en un arco de alta temperatura que aporta energía calorífica.

Oxígeno.- Su inyección en el baño otorga una Energía adicional al oxidar algunos elementos como carbono, silicio, manganeso y hierro.

Afino.- Esta etapa en si es la de la preparación preliminar del acero, en la cual se elimina aquellos elementos perjudiciales como el fósforo y el azufre

así como también se le da al acero la temperatura adecuada como para poder enfriar y solidificar sin problemas.

Sangrado.-El sangrado es el proceso de vaciado del acero del horno a la cuchara. Esto se realiza cuando el acero tiene una composición química aproximadamente de acuerdo a las especificaciones y una temperatura de alrededor de 1700 C.

El Area de Refractarios cuenta con 07 cucharas de 48 toneladas de capacidad, para recibir el acero líquido del horno eléctrico. El recubrimiento refractario en las cucharas puede ser de alta alúmina o Dolomítico (Básico). Durante la fabricación de acero de calidad 1090 se utiliza cucharas con recubrimiento refractario dolomítico debido a que con este material se presenta una menor contaminación del acero.

Ajuste de composición química.- La cuchara, luego de recibir el acero líquido, es transportada a la estación de tratamiento y cubierta con su tapa correspondiente.

Después de evaluar el espesor de la escoria, se procede a realizar un stirring vigoroso durante cuatro minutos y se toma una muestra y se mide la temperatura.

De acuerdo a la composición resultante se realiza la adición de ferroaleaciones y coke, contemplando los requerimientos de las especificaciones químicas.

Obtenida la composición química adecuada se traslada la cuchara a la torreta de Colada Continua.

3.2.2.- Norma de procesos en Hornos Eléctricos para la fabricación de acero líquido de calidad 1090

1.- **OBJETIVO:** Producir acero líquido de calidad 1090 que cumpla con las especificaciones.

2.- **ALCANCE:** Se aplica en el área de Hornos Eléctricos.

3.- **RESPONSABLES:**

Primer fundidor Gruero.
Fundidores
Pupitrista
Aditivero
Apoyo refractario.

4.- **REFERENCIAS :**

La presente hoja de procesos forma parte del Manual de Operaciones de Hornos Eléctricos.

5.- **INSTRUCCIONES:**

.- Composición química (%).

CODIGO	C	Mn	Si (máx)	P (máx)	S (máx)	Cr (máx)	Ni (máx)	Mo (máx)	Cu (máx)	Sn (máx)	Ti (máx)
Máx.	1,00	1,05	0,30	0,020	0,020	0,13	0,13	0,040	0,35	0,040	0,010
Mín.	0,84	0,85	0,20								
Tender	0,90	0,95									

5.1.- Fusión

5.1.1.- Usar Programa de Fusión de acuerdo el número de cestas preparadas.

5.1.2.- Índice de basicidad de escoria en el fin de fusión : 2,0 - 2,5.

5.2.- Afino

5.2.1.- Carbono de fin de fusión 0,10% -0,15%, trabajar la escoria con 100 Kg de espato y oxígeno , desescorear.

5.2.2.- Si el carbono de fusión es menor, reducir la escoria con antracita en bolsas hasta llegar al rango especificado. Desescorear.

- 5.2.3.- Si es mayor, agregar 200 Kg de Cal, 200 Kg de Cascarilla, 100 Kg de Espato, trabajar la escoria con Oxígeno durante 4 min. y desescorear.
- 5.2.4.- Carburar hasta 0.08-0.10% usando Antracita Granulada, y calentar haciendo escoria espumosa con la llave del oxígeno abierta hasta la mitad y la puerta del horno cerrada para evitar la captación del nitrógeno.
- 5.2.5.- A los 1,580 C, adicionar 250Kg. de Cal
- 5.2.6.- Reducir el baño para llegar a un 0.15% de Carbono y adicionar 450Kg. de FeSiMn en trozos, con la tolva a los 1,680 C aproximadamente
- 5.2.7.- Carburar con Grafito molido hasta 0.60% de Carbono usando la máquina inyectora de carbón.

- 5.2.8.- Sacar muestra, pedir cuchara y cortar agua de electrodos.
- 5.2.9.- Calentar haciendo escoria espumosa.
- 5.2.10.- Realizar un barrido con Oxígeno durante un minuto, sin hacer arco y sangrar.

5.3.- Sangrado

- 5.3.1.- Adición de Ferro Aleaciones y Grafito en el sangrado para conseguir la especificación y CaSi para desulfurar.
- 5.3.2.- Sangrar a una temperatura entre 1,690 y 1,700 °C.
Porcentaje de Carbono 0,60 - 0,65%.
Apuntara: 0.75 %.
- 5.3.3.- Sangrar con Stirring de CO₂.
- 5.3.4.- Cuidar de mantener la piquera en buen estado, para obtener un chorro uniforme y compacto durante el

sangrado.

5.4.- Ajuste de Composición Química

5.4.1.- Se realiza en la Estación de Tratamiento.

Sacar dos muestras, una con sampoline y la otra con un cucharin adecuado.

5.4.2.- Realizar el ajuste de manganeso usando FeSiMn.

5.4.3.- Realizar el ajuste de silicio usando CaSi con la máquina Allen Townn.

5.4.4.- Realizar el ajuste de carbono usando grafito.

5.4.5.- Sacar nuevas muestras de comprobación con el sampoline y con el cucharin. Tomar celox para medir la actividad del oxigeno.

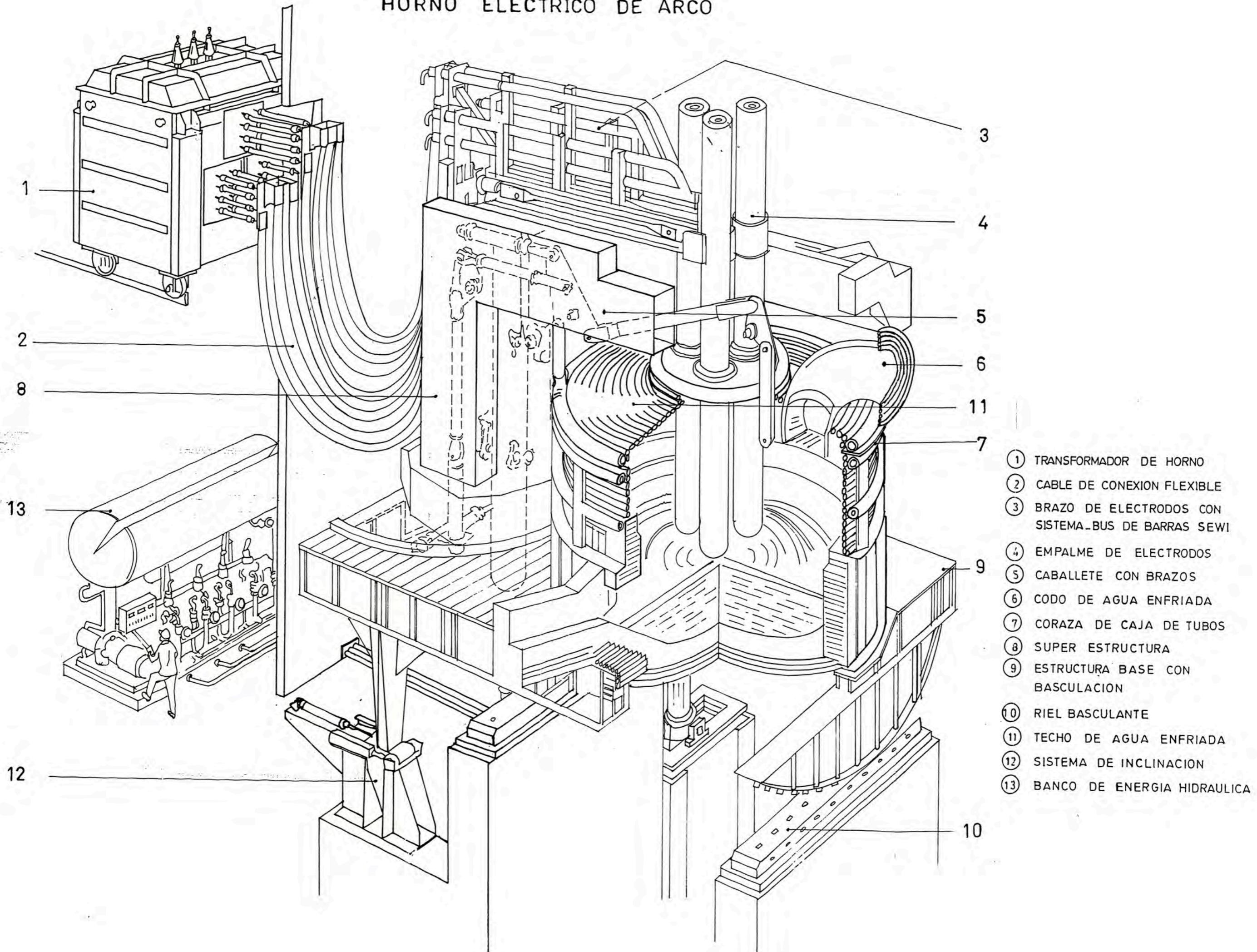
5.4.6.- Ajustar el porcentaje de carbono, tender a : 0.85% de C.

- 5.4.7.- Usar stirring de CO₂, para el ajuste de composición química y flotación de inclusiones.

- 5.4.8.- Enfriar con trozos de Barras de Molino hasta 1,550 C, momento en que se enviará la cuchara a la colada continua.

- 5.4.9.- Cubrir la cuchara con cascarilla de arroz.

HORNO ELECTRICO DE ARCO



- ① TRANSFORMADOR DE HORNO
- ② CABLE DE CONEXION FLEXIBLE
- ③ BRAZO DE ELECTRODOS CON SISTEMA-BUS DE BARRAS SEWI
- ④ EMPALME DE ELECTRODOS
- ⑤ CABALLETE CON BRAZOS
- ⑥ CODO DE AGUA ENFRIADA
- ⑦ CORAZA DE CAJA DE TUBOS
- ⑧ SUPER ESTRUCTURA
- ⑨ ESTRUCTURA BASE CON BASCULACION
- ⑩ RIEL BASCULANTE
- ⑪ TECHO DE AGUA ENFRIADA
- ⑫ SISTEMA DE INCLINACION
- ⑬ BANCO DE ENERGIA HIDRAULICA

PARAMETROS DE PRODUCCION - ACERIA

CARGA (Ø1 coloda)

Carga (Chatarra)	43,50 t
Cal	1,60 t
Antracita	1,20 t

FERROALEANTES

FeSi	0,10 t
FeSiMn	0,35 t
FeMn	0,30 t
Otros	0,50 t

INDICES DE PRODUCCION

HORNOS ELECTRICOS

Rendimiento de chatarra	88,9 %
Ratio de consumo de chatarra	1124,7 kg/t
Ritmo de producción	28,0 t/h trabajada
Acero liquido por colada	38,5 t/col
Consumo energía eléctrica	565 kwh/t
Consumo oxígeno	25 m ³ /t
Consumo electrodos	3,10 kg/t

MAQUINA DE COLADA CONTINUA

Rendimiento de acero liquido	98,8 %
Ritmo de Producción	37 t/h trabajada

HORNOS ELECTRICOS - REGISTRO DE COLADA Nº 211130 - 1090

HORA	OPERACION	TEMPERATURA (°C)	OXIGENO (m3)	ANALISIS QUIMICO (%)										CONSUMO (KG)						
				C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Sn	ANTRACITA	CAL	ESPATO FLUOR	FeSiMn	Fe Mn	CaSi	Fe Ti
13:25	Fin Colada Anterior																			
13:29	Carga 1ª Cesta													250	1000					
13:56	Inicio																			
13:58	Carga 2ª Cesta													250	1000					
14:27	Reinicio																			
	Fin de Fusión													40						
14:32	1ra. Muestra		490	.10	.09	.00	.009	.046	.05	.08	.02	.25	.022	60						
14:35	Temperatura	1546		.07				.044						40						
14:36	Muestra			.08				.042						20						
14:39	Adición-Cal													20	300					
14:45	Carturación													200						
14:51	Temperatura	1574												200						
14:52	Muestra			.47				.030						20						
14:55	Temperatura	1596																50		50
	Sangrado		621											70	300	40	300	100	40	05
																	50			
	Muestra			.59	.81	.20	.014	.027						80					40	
	Temperatura	1583												20						
				.76	.96	.36	.015	.022												
	Carga(Chatarra)	44,27 t												1270	2600	40	400	100	130	05

TIEMPOS

INTERCOLADA 04'
 FUSION 56'
 AFINO 26'
 TAP TO TAP 86'

3.3.- Colada Continua

La máquina de Colada Continua con que cuenta la Planta de Acería tiene una capacidad de 50 t/h . El sistema de trabajo es con 4 líneas y puede tomar coladas secuenciales. Presenta las siguientes características:

- Tipo de Máquina : Curva.
- Radio de Curvatura : 5 m.
- Número de Líneas : 4
- Tipo de corte : Mediante cizalla en caliente.
- Velocidad de Colada : Regulable.

El recubrimiento refractario de los distribuidores (Tundish) es de dos tipos :

Placas frías de Sílice o Cemento Refractario Básico, siendo este último el que se utiliza para la fabricación de palanquillas de acero de calidad 1090.

3.3.1.- Norma de procesos de Colada Continua para la obtención de Palanquillas de 150x150x3150 mm de acero de calidad 1090

1. **PRODUCTO:** Palanquillas de 150x150 mm de acero de calidad 1090.
2. **USO:** Fabricación de Barras de Molino.
3. **COMPOSICIÓN QUÍMICA (%):**

	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Sn		TEMPERATURA LIQUIDUS
MAX.	1,00	1,05	0,30	0,020	0,020	0,13	0,13	0,04	0,35	0,040		1470°C
MIN.	0,84	0,85	0,20									
OBJ.	0,90	0,95	0,25									

4.- Parámetros del Proceso:

- Sección de palanquilla : 150x150 mm.
- Diámetro de Buza del Tundish : 16mm (Zirconio).
- Tipo de Tundish : Básico.
- Nivel de acero en el Tundish para el arranque: 3/4.
- Velocidad de colada : 1,5 m/min.
- Temperatura antes de colar : 1520 - 1525° C.

- Temperatura en el tundish : 1480 - 1485
- 1490° C.
- Refrigeración primaria : 1100 - 1200
l/min.
- Refrigeración secundaria :

VELOCIDAD	CORONA	Z - I	Z - II
1,5	3	1,5	0,5
1,6	3	2	1

- Usar tubo cerámico Cuchara/Tundish.
- Protección con CO₂ Tundish/Molde.
- Stirring CO₂ - Inyección de Al en Colada Continua.

NOTA :

- Los 6 primeros minutos sin refrigeración secundaria.
- Se deberán extremar los cuidados, a fin de optimizar la extracción de la escoria del molde.



AEROS
ARQUITECTA

C U A D R O N O 2

PROCESO EN HORNOS ELECTRICOS

No	No CULADA	CFF %	Gas %	Ts °C	COMPOSICION QUIMICA FINAL (%)										N (ppm)	O (ppm)			
					C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Sn			Al	Ti	
01	211128	0,08	0,50	1653	0,89	0,94	0,29	0,017	0,007	0,08	0,08	0,08	0,02	0,25	0,021	0,001	0,002	98	69
02	211129	0,14	0,55	1707	0,84	0,91	0,20	0,018	0,011	0,07	0,07	0,01	0,24	0,033	0,002	0,005	0,005	80	90
03	211130	0,15	0,64	1647	0,81	0,92	0,30	0,014	0,017	0,08	0,08	0,02	0,25	0,021	0,011	0,006	0,006	96	93
04	211131	0,06	0,57	1705	0,74	0,92	0,26	0,019	0,013	0,09	0,08	0,02	0,25	0,022	0,006	0,006	0,006	76	72
05	211146	0,11	0,67	1696	0,91	0,87	0,29	0,020	0,021	0,08	0,07	0,02	0,25	0,017	0,009	0,002	0,002	91	64
06	211659	0,08	0,52	1690	0,85	0,86	0,39	0,016	0,007	0,10	0,10	0,02	0,18	0,015	0,010	0,005	0,005	70	85
07	211673	0,08	0,57	1700	0,89	0,87	0,23	0,018	0,011	0,10	0,06	0,02	0,18	0,014	0,007	0,007	0,007	67	60

NORMA DE PROCESO :- % CFF = 0,10 - 0,15 % Gas = 0,50 - 0,60 Ts = 1690 - 1700 C

P:500, 95-00-00
EM5/MSR

C:\BM\PROCESO1.FCD

PROCESO EN COLADA CONTINUA

No	No COLADA	TORRETA C.C.		INICIO COLADA		VELOCIDAD DE COLADA				TEMPERATURA DE TUNDISH			
		T°	Hora	T°	Hora	L1	L2	L3	L4	T° DE INICIO	Hora	T° FINAL	Hora
01	211128	1531	01:31	1511	01:45	1,2	1,1	1,3	1,4	1480	-	1468	-
02	211129	1537	04:25	1531	04:32	1,2	1,1	-	1,4	1485	04:38	1470	-
03	211130	1540	06:05	1527	06:12	1,0	1,5	1,1	1,0	1486	06:22	1469	07:14
04	211131	1533	10:34	-	10:43	1,3	-	1,4	1,4	1488	10:54	1472	11:38
05	211146	1531	12:45	1535	12:54	1,3	1,2	1,3	1,5	1489	13:06	1480	13:48
06	211659	1508	13:50	-	13:55	1,2	1,4	1,2	1,3	1476	14:16	1466	14:41
07	211673	1529	15:50	1524	16:02	1,1	1,2	1,3	1,1	1487	16:20	1468	16:55

NORMA DE PROCESO.-

Temperatura de inicio de colada a :

04 lineas 1520 - 1525 C
 03 lineas 1525 - 1530 C
 02 lineas 1530 - 1540 C

Velocidad de colada : 1,4 - 1,6 m/min.

Temperatura en tundish : 1480 - 1490 C

3.4.- Laminación

La laminación de las palanquillas de colada continua se realiza mediante la utilización de un Horno de Recalentamiento de 50 t/h marca Bendotti y un Tren Desbastador MB 520; el cual permite obtener barras cuadradas de 60 80 - 100 - 120 mm y redondos de 65 a 90 mm, partiendo de palanquillas de colada continua de 120 y 150 mm.

El Tren Monoblock MB - 520 está constituido por un Horno de Recalentamiento de 50 t/h de capacidad, cuatro cajas de laminación con cilindros de 520 mm de diámetro. Así mismo cuenta con una cama de enfriamiento lento al final de la línea de producción.

3.4.1.-Proceso de Laminación

El Proceso de Laminación se realiza en dos etapas, debido a las características del Tren Desbastador MB - 520, el cual cuenta con solo cuatro cajas de laminación siendo imposible obtener la sección final del producto terminado en una sola etapa.

En la primera etapa se desbasta la palanquilla de colada continua desde 150x150 mm a 100x100 mm o a 120x120 mm. Esta primera laminación puede ser en forma directa, es decir cargar las palanquillas de colada

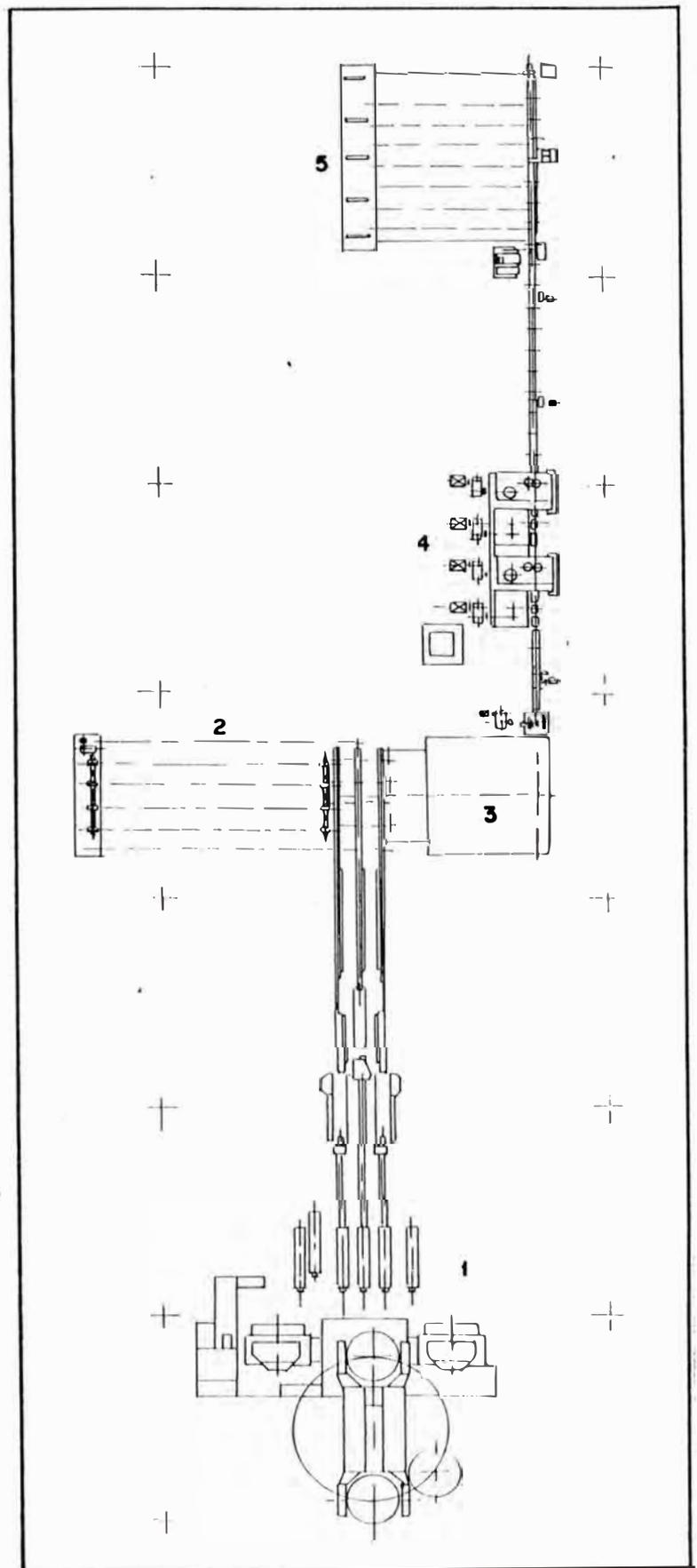
continua, calientes a una temperatura aproximada de 980 C o cargar las palanquillas en frío, a 25 C, luego de ser inspeccionadas y acondicionadas.

Previamente al inicio de la segunda etapa de laminación las palanquillas desbastadas de 100x100 mm son inspeccionadas en frío y acondicionadas.

En la segunda etapa de laminación se obtiene el redondo liso de 76mm o 88,9mm a partir de las palanquillas de 100x100mm. Este producto terminado es inspeccionado y calificado.

TREN DESBASTADOR POMINI FARREL MB-520

- 1.- COLADA CONTINUA
- 2.- MESA DE ENFRIAMIENTO DE PALANQUILLAS
- 3.- HORNO DE RECALENTAMIENTO DE 50 t/h.
- 4.- TREN DESBASTADOR DE 4 CAJAS DE LAMINACION
- 5.- MESA DE ENFRIAMIENTO DE PRODUCTOS TERMINADOS.



3.4.2.- Norma del Proceso de Laminación

1.- **OBJETIVO:** Producir barras redondas lisas de \emptyset 3 " x 3620 mm dentro de las especificaciones requeridas.

2.- **ALCANCES:** Se aplica en el Area de Laminación, Tren Monoblock MB-520.

3.- **RESPONSABLES:**

- Jefe de Turno.
- Supervisor.
- Hornero.
- Pulpitrista.
- Gruero.

4.- **REFERENCIAS:** La presente Hoja de Procesos forma parte del Manual de Procesos del Tren MB-520.

5.- **DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.**

5.1. **MATERIA PRIMA:** Palanquillas de acero calidad 1090 de dimensiones: 150x150x3150 mm en frío.

La longitud de esta palanquilla en caliente es de 3200 mm.

5.2. NIVEL DE CALIDAD: Las dimensiones de sección no deben exceder en 1% y las dimensiones de longitud se ajustarán en ± 20 mm.

Libre de defectos superficiales, rebaba, rechupe, doble colado, etc., que afecten su laminación.

5.3. PROCESO DE LAMINACION.

5.3.1. 1er. RECALENTAMIENTO DE PALANQUILLAS (PRIMERA ETAPA).

CARGA EN FRÍO			CARGA EN DIRECTO		
Nº DE PALANQUILLAS: 13			Nº DE PALANQUILLAS: CONTINUO		
TIEMPO	QUEMADORES	POTENCIA	TIEMPO	QUEMADORES	POTENCIA
15 min	2	Moderada	-	-	-
55 min	4	Moderada	20 min.	4	Moderada

5.3.1.1. Temperatura de deshornamiento:
1080° - 1100° C.

Descascarillador: Presión de
agua : 200 bar % de superficie:
100%.

5.3.1.2. Desbaste a 100x100x6520 mm (en frío).

5.3.1.3. Acondicionamiento: Las barras de 100x100 mm no se despuntan, se cortan en 2 partes en frío (3260 apróx).

5.3.1.4. Enfriamiento: Al ambiente.

5.3.1.5. Inspección: En frío al 100%.

PARÁMETROS OPERATIVOS.

CAJA	FORMA	CALIBRADO (mm)	VELOCIDAD (RPMxmm)	LUZ (mm)	AMPERAJE (Amp)	DIAM.TABLA (mm)	TEMPERATURA SALIDA C
1		230 x 166	945	15,5		503	1070 - 1090
2		124 x 124	850	15,0		500	
3		185 x 134	825	10,0		502	
4		100 x 100	780	9,2		492	1060 - 1080

5.3.2. 2do. RECALENTAMIENTO DE PALANQUILLAS (SEGUNDA ETAPA).

Se cargan barras de 100x100x3260 mm en frío.

Carga en frío: 1ra. carga del día. Nº de palanquillas: 35 pzas.				Carga en frío: Sigüentes cargas del día. Nº de palanquillas: En continuo, se carga después de evacuar 15 palanquillas de hornada anterior.			
ETAPAS	TIEMPO	QUEMADORES	POTENCIA	ETAPAS	TIEMPO	QUEMADORES	POTENCIA
1ra.	15 min.	4 (2 min)	Mdda (2,8 bar)				
2da.	35 min.	4 (2 med)	Mdda (2,2 bar)	1	20 min.	4	Moderada

5.3.2.1. Laminación-Acabado a $\emptyset 3'' \times 3620$ mm.

5.3.2.2. Temperatura de deshornamiento:
1020° - 1060° C.

La temperatura al final de la laminación deberá estar entre 980° - 1000° C.

PARÁMETROS OPERATIVOS.

CAJA	FORMA	CALIBRADO (mm)	VELOCIDAD (RPM x m)	LUZ (mm)	AMPERAJE (Amp)	DIAM. TABLA (mm)	TEMPERATURA DE SALIDA °C
1		82,2 x 111,0	822	11,0		516,5	980-1020
2		97,0 x 84,0	682	14,0		501,5	
3		70,6 x 110,0	690	5,5		512,5	960-980
4		75,7 x 76,0	695	4,8		512,5	

5.3.4. DIMENSIONES, FORMA Y TOLERANCIA.

DIMENSIONES NOMINALES (Pulg) (mm)	PESO NOMINAL (kg/m)	DIÁMETRO (mm)			LONGITUD (mm)			OVALIZACION MAX. (mm)	FLECHA MAX. (mm)
		MAX.	MIN.	TENDER	MAX.	MIN.	TENDER		
3"x3620	48,73	77,3	75,4	76,0	3640	3600	3620	1,9	8

- * OVALIZACION: Es la diferencia entre el diámetro máximo y mínimo medidos en una misma sección transversal de la barra; excepto a la zona correspondiente a la luz entre cilindros (vacío).

**4.- CONTROL DE LA CALIDAD DURANTE EL PROCESO
DE FABRICACIÓN DE LAS BARRAS DE MOLINO**

4.1.- Normas de Inspección:

1.- **Producto:** Barras Redondas Lisas Calidad 1090

2.- **Uso** :Se utilizan en la molienda de minerales.

3.- **Propiedades Metalúrgicas :**

- Dureza Brinell (HB) : 280 min.

- Resiliencia : 6 joule min.

4.- **Composición química (%).**

CODIGO	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Sn	Ti
			(máx)								
Máx.	1,00	1,05	0,30	0,020	0,020	0,13	0,13	0,040	0,35	0,040	0,010
Mín.	0,84	0,85	0,20								
Tender	0,90	0,95									

Adición del Aluminio al molde : 60 g/t

Adición de FeTi : 6 kg/colada

5.- Análisis Metalográficos

5.1. **Limpieza del Acero.**-Será evaluada mediante la Norma ASTM-E45. Se aceptan sulfuros, silicatos y óxidos

tipo 3G máximo.

5.2. Tamaño de grano austenítico.- Será evaluado mediante la Norma ASTM-E112. El tamaño de grano máximo aceptable será el N°5.

.- Dimensiones y Forma .- Tolerancia:

Palanquilla de partida Secc. X Long. (mm.)	DIMENSIONES NOMINALES (Pulg) (mm)	PESO NOMINAL (Kg/m)	DIÁMETRO (mm)			LONGITUD (mm)			OVALIZACION (mm)	FLECHA (mm)
			Máx	Min	Tender	Máx	Min	Tender		
120x120x2255	3 1/2"x4725 (88,9x4725)	48,73	90,2	88,0	88,9	4775	4725	4750	2,2	10
100x100x3260	3"x3620	35,8	77,3	75,4	76	3640	3600	3620	1,9	8,0

* Ovalización.- Es la diferencia entre el diámetro máximo y mínimo medidos en una misma sección transversal de la barra; excepto en la zona correspondiente a la luz entre cilindros (vacío).

7.- Calidad Superficial.- La superficie de la barra deberá estar exenta de todo defecto superficial que pueda afectar sus propiedades y uso.

8.- Frecuencia de la Inspección y Ensayos.-

8.1. Análisis Químico de Comprobación.- Cada colada.

8.2. Aspecto Superficial.- Se realizará en la línea en caliente y en frío al 100% de barras producidas.

8.3. Dimensiones y Forma.- Cada 20 barras.

8.4. Ensayo de Macroataque.- 2 muestras por colada.

8.5. Ensayos Metalográficos.

Limpieza del acero: Microinclusiones, 1 por colada.

Macroinclusiones, 1 por colada.

Tamaño de grano 2 por colada.

8.6. Ensayos Metalúrgicos.

Ensayo de dureza Brinell: 3 por colada.

- Ensayo de resiliencia 2 por colada.

8.7. Descarburización.- 2 por colada.

8.8. Contenido de O₂ y N₂.- 2 por colada

8.9. Ultrasonido en palanquillas de 120x120 mm : Al 5% de palanquillas.

9. Condiciones de Enfriamiento. - Al aire libre.

10.- Clasificación del Producto

Primera.- Aquellas barras que cumplan con toda las características de calidad especificadas.

Chatarra.- Se calificará como chatarra aquellas barras que presenten defectos tales como quemado, porosidad central fuerte, vacío, pliegue, incrustaciones de escoria, grietas fuertes, etc.

11.- Acondicionamiento y Embalaje.

Las barras serán empaquetadas en paquetes de 2 toneladas y atadas con alambón de 6 mm \varnothing (3 amarres).

Nº de piezas por paquete 8 pzas. (2 t).

12.- Identificación y Trazabilidad.- Todo paquete deberá llevar firmemente atada, una tarjeta con los siguientes datos: Nº de colada, Nº de paquete, Nº de piezas, el diámetro, la longitud y la calidad.

ESPECIFICACIONES TECNICAS

PRODUCTO : BARRAS DE MOLINO

1.- COMPOSICION QUIMICA.

CODIGO	C	Mn	Si	P (max)	S (max)	Cr (max)	Ni (max)	Mo (max)	Cu (max)	Sn (max)	Al (max)	Ti
Max.	1,00	1,05	0,30	0,020	0,020	0,13	0,13	0,04	0,35	0,040	0,010	0,010
Min.	0,84	0,85	0,20									
Tender	0,90	0,95	0,25									

2.- DIMENSIONES Y FORMA - TOLERANCIAS.

DIMENSIONES NOMINALES (pulg) (mm)	PESO NOMINAL (kg/m)	DIAMETRO (mm)			LONGITUD (mm)			OVALIZACION (max) (mm)	FLECHA (max) (mm)
		Max.	Min.	Tender	Max.	Min.	Tender		
3"x 3620 76,0 x 3640	35,83	77,3	75,4	76,0	3 640	3 600	3 620	2,2	15
3 1/2" x 4725 88,9 x 4725	48,73	90,2	88,1	88,9	4 775	4 725	4 750	1,3	8,0

3.- DUREZA BRINELL

280 - 350 HB

4.- CALIDAD SUPERFICIAL

Excenta de defectos superficiales que afecten su uso.

4.2.- Análisis de Composición Química.-

Desde el inicio del proceso de afino en el Horno se realizan varios análisis de composición química con el propósito de obtener la composición química deseada.

El ensayo de composición química se realiza en un tiempo de 4 minutos analizándose los siguientes elementos:

C, Mn, Si, P, S, Cr, Ni, Mo, Cu, Sn, V, Al, Nb, V, y Ti.

El equipo utilizado para realizar el ensayo de análisis químico es un Quantómetro de Emisión Óptica ARL 3560 B.

Un análisis más exacto del %C y %S se realiza en el Analizador Automático LECO C S.

Por ser de mucha importancia también se realiza el análisis del Nitrógeno y Oxígeno total en un Analizador Automático LECO N O.

Obtenidas las palanquillas, se intensifican los análisis de composición química con el propósito de determinar cualquier tipo de segregación de algún elemento químico especialmente el C y el S.

4.3.-Control Estadístico de tiempos de permanencia en el horno y temperaturas de Laminación.-

Ver Cuadros No 4 y 5

C U A D R O N o 4

.- Control Estadístico de tiempos de permanencia en el Horno y temperaturas de Laminación

No	No COLADA	HORNADA No	PRIMERA ETAPA	# PALANQUILLAS	TIEMPO		TEMPERATURA DESHORNAM. C	TEMPERATURA 4ta CAJA C
					t1 min	t2 min		
01	211659	1	150X A 100X	14	85	136	1096	1050
02		2	150X A 100X	13	73	90	1088	1084
03		3	150X A 100X	13	95	85	1107	1050
04		4	150X A 100X	13	85	100	1095	1019
05	211673	5	150X A 100X	14	88	102	1113	1022
06		6	150X A 100X	14	90	86	1118	1054
07		7	150X A 100X	13	76	98	1108	1027
08		8	150X A 100X	13	57	88	1143	1057
09		9	150X A 100X	13	71	81	1130	1050
10	112015	10	150X A 100X	14	88	111	1105	1040
11		11	150X A 100X	13	75	85	1102	1043
12		12	150X A 100X	13	55	90	1104	1052
13		13	150X A 100X	13	76	85	1096	1045

t1 .- Tiempo durante el cual la palanquilla avanza en el interior del horno.

t2 .- Tiempo que la palanquilla es mantenida en el horno.

95-03-08

r.

C:\BM\PROCHE0

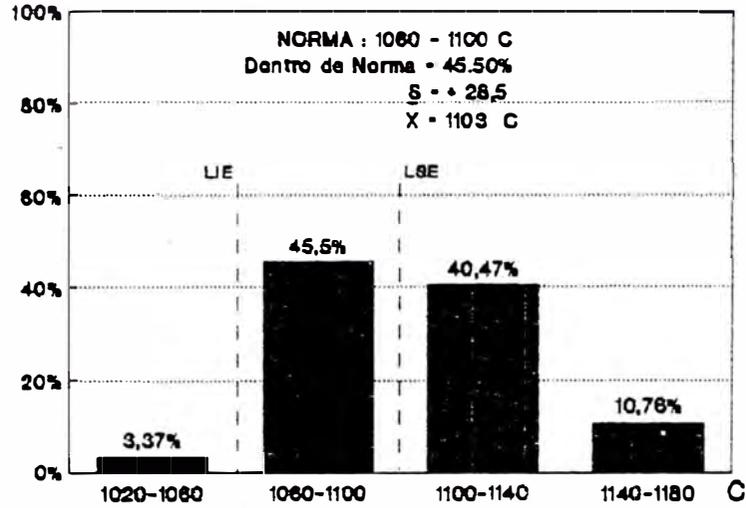
C U A D R O N o 5

.- Control Estadístico de tiempos de permanencia en el Horno y temperaturas de Laminación

No	No COLADA	HORNADA No	SEGUNDA ETAPA	# PALANQUILLAS	TIEMPO t1 min	TIEMPO t2 min	TEMPERATURA DESHORNAM. C	TEMPERATURA 4ta CAJA C
01	211659	2	100x a 3	21	35	42	1049	972
02	211659	3	100x a 3	21	62	95	1021	957
03	211659	4	100x a 3	20	73	106	1042	967
04	211659	5	100x a 3	20	60	85	1013	928
05	211673	6	100x a 3	21	65	108	1021	968
06	211673	7	100x a 3	28	70	146	930	950
07	211673	8	100x a 3	77	71	-	1012	936
08	211673	9	100x a 3	31	128	143	1052	945
09	211673	1	100x a 3	-	67	-	1046	936
10	112015	11	100x a 3 1/2	55	67	120	1022	943
11	112015	12	100x a 3 1/2	35	71	108	985	925
12	112015	13	100x a 3 1/2	34	66	142	981	920
13	112015	14	100x a 3 1/2	28	63	83	968	906

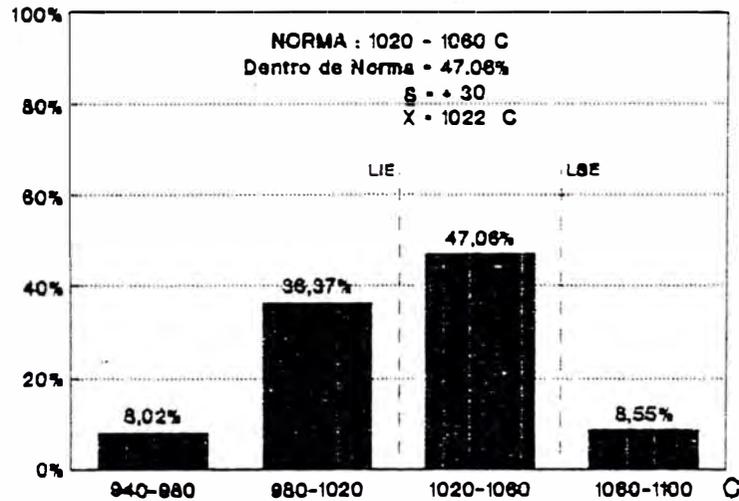
**LAMINACION DE BARRAS DE MOLINO
TEMPERATURAS DE LAMINACION**

ETAPA : 150x150 → 100x100



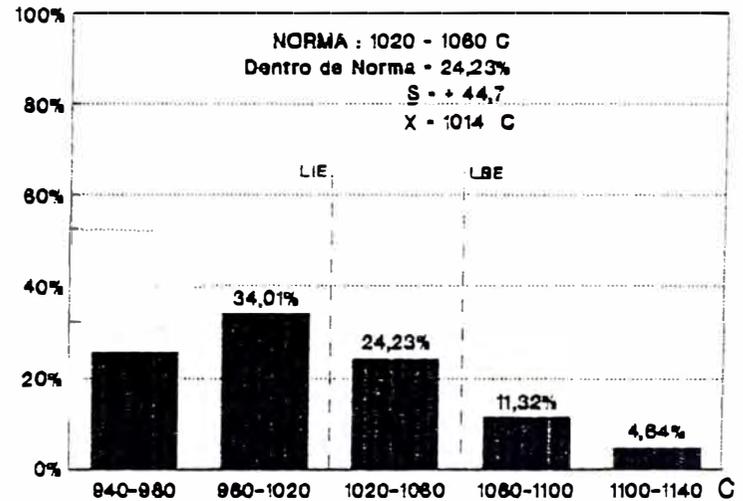
**LAMINACION DE BARRAS DE MOLINO
TEMPERATURAS DE LAMINACION**

ETAPA : 100x100 → 3"



**LAMINACION DE BARRAS DE MOLINO
TEMPERATURAS DE LAMINACION**

ETAPA : 100x100 → 3 1/2"



5.- CONTROL DE LA CALIDAD DEL PRODUCTO TERMINADO

5.1.- Normas y Técnicas utilizadas para evaluar el producto terminado

5.1.1.- Determinación del Tamaño de Grano Austenítico.-

Es mucha la importancia que tiene el tamaño de grano austenítico en la variación de ciertas propiedades mecánicas y características del acero. En nuestro caso señalaremos las más importantes a efecto de nuestro análisis las cuales son:

Propiedad	Austenita de Grano	
	Fino	Basta
Al calentar ligeramente sobre la temperatura crítica	Se mantiene el grano fino	Tiende a Engrosar
Tenacidad	Mayor	Menor

Queda pues claro que la determinación del tamaño de grano austenítico puede servir para proveer muchos aspectos relativos al comportamiento de un acero en servicio sometido a diferentes esfuerzos.

Los granos austeníticos pueden hacerse observables a la temperatura ambiente, como veremos, por un ataque especial que establece diferencias de contraste entre los agregados de mantensita formados a partir de los granos, de austenita, con los que guardan relaciones de orientación.

Aceros al carbono eutectoides.- En estos aceros puede bastar con templar una probeta (12 o 25 mm de diámetro) desde la temperatura deseada en un baño de salmuera. Si el acero no tiene una templabilidad excesiva este tratamiento produce una capa externa mantensítica y una zona central perlítica y, entre ambas aparece otras en que los bordes de grano aparecen delineados por perlita fina nodular envolviendo a los núcleos de los granos transformados en mantensita.

Los aceros eutectoides con más templabilidad se pueden estudiar por el método del temple en gradiente o mediante el ataque diferencial de la mantensita que se indica más adelante. En el primer caso entre

las zonas totalmente mantensítica y totalmente perlítica se encuentra aquella en que los nódulos de perlita fina contornean granos martensíticos.

Ataque Diferencial de la Mantensita.- En un acero templado y completamente mantensítico, o templado y revenido, el tamaño de grano se puede poner de manifiesto por el contraste que aparece en los distintos agregados martensíticos procedentes de distintos granos, de austenita, con las cuales guardan relaciones de orientación, cuando se atacan con un reactivo especial descubierto por Vilella. Este reactivo es muy selectivo en su acción, los mejores resultados se obtienen atacando después de revenir a 200 - 300 C durante unos 15 min.

Puesto que la austenita existe normalmente solo sobre los puntos críticos, el problema es encontrar un tratamiento mediante el cual se puedan hacer observables sus granos a la temperatura ambiente.

5.1.1.1.-Método McQuaid Ehn, por cementación a 925°C.

1. Campo de aplicación. Este método, específico para los aceros de cementación, revela los bordes de granos austeníticos formados durante la cementación de dichos aceros. Esto no es apropiado generalmente para determinar los granos realmente formados durante otro tratamiento térmico.

2. Preparación. Las muestras deben estar exentas de toda zona de descarburación o de oxidación superficial.

Todo tratamiento anterior, en frío, en caliente, mecánico, etc; puede tener un efecto en el tamaño del grano obtenido; la especificación del producto debe establecer los tratamientos a ejecutar antes de la determinación en casos en que es aconsejable tomar en cuenta tales consideraciones.

En general, las muestras deben ser esparcidas convenientemente en una cámara de cementación con una tapa, llena de cemento seco y activo. Habitualmente, el cemento se compone de 60% de carbón de madera en granos

y de 40% (m/m) de carbonato de bario (BaCo_3). El volumen de cemento utilizado debe ser al menos 30 veces el volumen de las muestras a cementar.

La cementación debe efectuarse manteniendo la muestra de $925 \pm 10^\circ\text{C}$ durante 6hrs. Esto generalmente se obtiene manteniendo la cámara a $925 \pm 10^\circ\text{C}$ durante 8 hrs. En la mayoría de los casos se obtiene una capa cementada de aproximadamente 1 mm. El enfriamiento de la muestra hasta la temperatura inferior a la temperatura crítica debe hacerse con una rapidez suficientemente lenta para asegurar la precipitación de la cementita en los bordes de grano de la zona hipereutectoide de la capa cementada.

Cada vez debe emplearse un cemento nuevo.

3. Pulido y ataque. La muestra cementada debe ser cortada normalmente a su superficie. Una de las secciones debe pulirse para examen micrográfico. Esta debe atacarse:

a) Ya sea por el reactivo de Le Chatelier e Igevsilai:

Acido pícrico (cristalizado)	2 g
Hidrógeno de sodio (soda cáustica)	25 g
Agua	100 g

En el estado de ebullición, o por medio de ataque electrolítico 6 V y 60 s.

b) o por nitál:

Acido nítrico ($\rho_{20} = 1,33$ g/ml)	2 a 5 ml
Etanol hasta completar	100 ml

Se permite la utilización de otros reactivos a condición que se obtengan los mismos resultados.

4. Resultado. Los bordes de grano de la capa cementada que tiene aproximadamente 1 mm de espesor deben revelarse como una red de cementita proeutectoide.

La velocidad de enfriamiento dependerá no solo de la composición del acero, sino de la cantidad de cementante dimensiones de la probeta y horno, razón por lo que solo la experiencia podrá determinar exactamente en cada caso las condiciones mas favorables.

Para aceros ordinarios al C el tiempo mínimo debe ser de 3 horas.

Estudio Micográfico.— Enfriada debidamente las probetas, se contarán transversalmente y se atacaran con el reactivo adecuado para su observación microscópica bajo 100 aumentos.

Para obtener el tamaño de grano austenítico se aplicará el Método Comparativo con ayuda de imágenes tipo. (Ver Anexo No 1).

Se han conseguido buenos resultados mediante un ataque profundo con nital al 5% seguido de un ligero pulido y breve ataque de Picral al 4%.

5.1.1.2.— Método de la Siderúrgica Méndez Junior del Brasil para ataque de Grano Austenítico en Aceros de Alto Carbono.

Reactivos:

16 gr de ácido picrico seco.

800 ml de agua hervida

200 ml de (detergente líquido concentrado).

Preparación :

Hervir el agua, adicional el ácido pícrico, agitar bien hasta disolver todo el ácido en el agua, después, adicionar el teepol y agitar bien para obtener una mezcla homogénea.

Calentar la solución entre 70 y 80°C, introducir el cuerpo de prueba en la solución entre 1 y 1.5 minutos, remover la oxidación del ataque con alcohol. Llevar al Microscópio y analizar los tamaños de granos.

Nota: El ataque solo es aplicable a piezas que fueron previamente templadas tiempo de austenitización 1 minuto por mm.

5.1.2.- Limpieza del Acero.-**5.1.2.1.- Determinación del Contenido de Inclusiones no Metálicas.**

Método Micrográfico con ayuda de Imágenes tipo.

1. Objeto y campo de Aplicación

La presente norma especifica un método micrográfico, con ayuda de imágenes tipo,

que permite la determinación del contenido de inclusiones no metálicas en productos de acero laminados o forjados. Este método es ampliamente utilizado para evaluar la aptitud del acero para un uso dado. Sin embargo deben tomarse precauciones cuando se use el método, ya que es difícil obtener resultados reproducibles debido a la influencia del operador, incluso tomando un gran número de muestras.

2.- Principio.-

La evaluación de las inclusiones no metálica en el acero laminado o forjado se hace por comparación con imágenes tipo que forman la escala JERNKONTORET (o escala JK). Estos diagramas corresponden a campos visuales de 0.8 mm de diámetro, tomadas en su corte longitudinal y observados con un aumento de 100x.

De acuerdo a la forma y distribución de las inclusiones, las imágenes tipo se dividen en

cuatro grupos principales, asignándoseles la referencia A, B, C, y D.

El método de designación no está basado en la constitución de las inclusiones sino que en su morfología.

Grupo A tipo sulfuro

Grupo B tipo Alúmina

Grupo C tipo silicato

Grupo D tipo óxido globular.

Cada grupo principal de la escala JK está compuesta de dos subgrupos, cada uno formado de cinco diagramas de referencia que representan contenidos crecientes de inclusiones. Esta división en subgrupos esta destinada simplemente a dar ejemplos de diferentes espesores de partículas no metálicas.

Los diagramas de la escala JERNKONTORET se indican en el Anexo No 2 . La lámina 1 está tomada del método JERNKONTORET y la lámina 2 del método de la American Society for testing and Materials (ASTM).

Estas dos láminas no deben emplearse simultáneamente para un mismo examen. Estos

diagramas esta numerados del 1 al 5 en la lamina I y de 0.5 a 2.5 para la lámina II, los números aumentan con el área superficial de las inclusiones, por ejemplo, el diagrama A2 indica que la forma de las inclusiones observadas bajo el microscopio están de acuerdo con el grupo A y que su distribución y cantidad están de acuerdo con el número 2.

3.- Muestreo.-

La forma de las inclusiones dependen en gran medida del grado de reducción del acero; por lo tanto, mediciones comparativas solo pueden ejecutarse en secciones preparados extraídas de nuestras similares.

4.- Determinación del contenido de Inclusiones.-

- 4.1.- Método de observación.- El examen al microscopio puede hacerse de dos maneras:
- Ya sea por proyección en un vidrio deslustrado
- por observación directa a

través de un ocular.

El método de observación escogido debe mantenerse durante todo el ensayo.

Para el primer método debe tenerse cuidado que el aumento sea de 100x y que el diámetro real del campo sea de 0.8 mm; el tamaño de la imagen en el vidrio deslustrado es entonces 80 mm. Esta imagen así obtenida se compara con la escala JK.

5.- Expresión de los Resultados.-

Los resultados pueden expresarse de la siguiente forma:

Indicación del número de referencia correspondiente al campo más desfavorable para cada tipo de inclusiones.

Ej. A_2f - B_1g donde F = ----- fino

G = ---- gruesa.

5.1.2.2.- Métodos Macroscópicos de Determinación del contenido de Inclusiones no Metálicas.

1.- Objeto y Campo de Aplicación.-

Esta norma define los métodos macroscópicos utilizados en la práctica corriente para determinar el contenido de inclusiones no metálicas en productos de acero transformadas laminados y forjados).

Se entiende por métodos macroscópicos, aquellas que ponen en evidencia las inclusiones no metálicas a simple vista o con una lupa de aumento máximo de 10x Solo se toman en consideración las inclusiones de longitud superior o igual a 0.5 mm.

Los métodos usualmente aplicados son los siguientes:

Método de ensayo de la fractura azul

Método de ensayo de la probeta escalonada mecanizada.

Método magnetoscópicos o de inspección por partículas magnéticas.

Nosotros para nuestro estudio utilizamos el método de la probeta mecanizada.

2.- Generalidades.-

Características de las inclusiones no metálicas.- Las inclusiones no metálicas que se ponen de manifiesto por los métodos macroscópicos, aparecen como líneas. Los parámetros que caracterizan las inclusiones no metálicas serán su número total y su longitud o espesor. No se hace ninguna distinción sobre el tipo de la inclusión.

3.- Método de Ensayo de la Probeta Escalonada.

3.1. Principio.- Este método consiste en determinar el número total y la distribución de las inclusiones no metálicas, puestas de manifiesto sobre las superficies longitudinales de una probeta cilíndrica mecanizada en escalonas.

3.2. Campos de Aplicación.- Este método es aplicable a productos laminados y forjados de geometría simple. Generalmente, la probeta

se mecaniza a partir de barras o palanquillas.

3.3. Preparación.— Sigue la naturaleza del producto y el objeto del examen, la probeta cilíndrica podrá tener uno o varios escalones concéntricos. En el caso de productos de sección no circular, podrán forjarse previamente a barras redondas. La probeta más utilizada presenta tres escalones cuyas dimensiones son las indicados en la tabla 1.

Tabla 1 .- Dimensiones de los Escalones de la Probeta.

ESCALONES	DIÁMETRO	LONGITUD
1	0.50 D	60
2	0.75 D	72
3	0.60 D	90
D =	Diámetro o	lado del producto

3.4 Procedimiento.— La probeta se examinará a simple vista o con

ayuda de una lupa (aumento máximo 10x).

3.5. Expresión de los resultados .-

Para cada escalón, se determinará el # de inclusiones y su longitud.

La distribución de inclusiones en función de su tamaño, puede obtenerse usando la siguiente tabla:

Tabla 2. Distribución de inclusiones basada en la longitud (mm).

Longitud de las Inclusiones	Longitud Media Aproximada
$1 \leq e \leq 2.5$	2
$2.5 < e \leq 5$	4
$5 < e \leq 10$	8
$10 < e \leq 20$	16
$e > 20$	Longitud Individual

5.1.3.- Ensayo de Dureza Brinell

Norma para la Determinación de Dureza Brinell

1.- Objetivo.-

Determinar la dureza del metal en la escala Brinell.

2.- Alcances.-

Aceros de alto carbono y/o tratados térmicamente.

3.- Documentos de referencia.-

Norma ASTM - E-10-92

5.- Procedimiento.-

5.1.- Equipos.-

Durómetro Brinell, Marca Detroit
Testing Machine Co.

Modelo PH1 , No 820

Carga 3000 Kg Diámetro de
indentador = 10 mm

Microscopio portátil con escala
micrométrica.

5.2.- Preparación de la probeta.-

La superficie de la probeta para ensayo debe estar suficientemente lisa y exenta de defectos, óxidos, grasas y suciedad. No es necesario pulir la superficie, pero si desbastarla. Se debe conseguir la cara opuesta lo más paralela posible, a fin de que la indentación sea en forma perpendicular a la superficie ensayada. Como norma, el espesor de la probeta debe ser como mínimo 10 veces la profundidad de la impresión, además el centro de la huella debe distar, por lo menos, 2 a 5 veces el diámetro de la misma, del borde más próximo de la superficie ensayada.

5.3.-Calibración.-

Para esta operación se usará el bloque patrón cuya dureza es de 388 HB y el diámetro de la huella debe ser 3,1 mm aplicando una carga de 3000 Kg.

5.4.- Ensayo de Penetración.-

Colocar la probeta sobre el soporte del durómetro con la cara desbastada hacia arriba.

Conectar la Energía eléctrica (220 V) Haciendo uso del tornillo elevador aproximar la probeta hacia el indentador estableciendo una distancia de 2 mm entre ésta y la superficie de la muestra.

Presionar el pedal y aplicar 3000 Kg de carga por un tiempo mínimo de 10 seg. La carga aplicada debe verificarse en el limbo del diámetro. Retirar la carga, bajar el tornillo y cambiar de posición o retirar la probeta del soporte.

Se debe realizar 03 indentaciones como mínimo.

5.5.- Determinación de la Dureza Brinell.

Medir el diámetro de la huella, con la ayuda del microscopio portátil.

Utilizando la tabla encontrar la dureza correspondiente para cada indentación.

Promediar los valores de dureza encontrados y reportar posponiendo a esta cifra las letras HB (Hardness Brinell).

5.1.4.-Ensayo de Resiliencia.-

El ensayo de resiliencia o impacto Charpy fue realizado de acuerdo a la Norma ASTM E-23 88 en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

6. EVALUACION DE LAS PROPIEDADES DE LAS BARRAS DE MOLINO

6.1 Composición Química:

Establecida la influencia que ejerce cada uno de los elementos químicos en las propiedades de las barras de molino (acero de calidad 1090), el siguiente objetivo es establecer una composición química óptima que cumpla con las especificaciones técnicas acordadas con el cliente y que se amolde la tecnología y producción de la planta.

Se efectuaron análisis de composición química a muestras de barras de molino fuera de uso, que fueron recolectadas durante las visitas técnicas efectuadas a diferentes plantas concentradoras.

De acuerdo a lo establecido anteriormente, el elemento químico de mayor influencia en las propiedades de las barras de molino, es el carbono. Por este motivo los análisis realizados estuvieron orientados a establecer su campo de influencia y analizar su posible sustitución por otros elementos que cumplan una función similar, pero que no deprimen la tenacidad y la resiliencia, especialmente.

De los cuadros No 6 y 7 se puede apreciar que las

barras de molino fabricadas anteriormente por A.A.S.A., presentan un mayor contenido de carbono que las barras de SiderPerú.

Contenido de carbono superiores a $\%C = 0.88$ posibilitan la precipitación de la fase Cementita (Fe_3C), en los límites de grano, la cual es frágil y de elevada dureza.

6.1.1.- Influencia del contenido de Carbono en las Propiedades Mecánicas de las Barras de Molino.

6.1.1.1.- Dureza.

En función de los análisis químicos realizados a las barras de molino se ploteó el gráfico Dureza Brinell (HB) vs $\%C$ con el propósito de establecer la tendencia y predecir con cierto margen de error, la dureza correspondiente a un determinado porcentaje de carbono.

Es válido aclarar que la dureza es una propiedad que depende de una serie de variables, entre ellas, los demás elementos de la composición química. En este caso quisimos evaluar únicamente la influencia

C U A D R O N O 6

.- COMPOSICION QUIMICA DE BARRAS DE MOLINO FABRICADAS POR A.A.S.A.

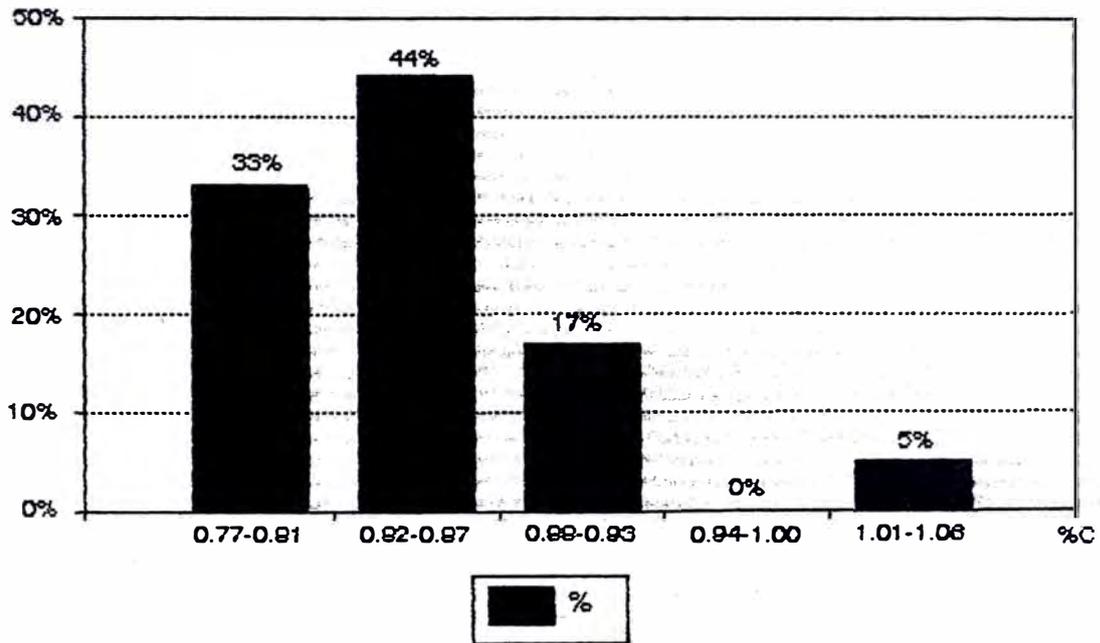
No	CODIGO	COMPOSICION QUIMICA											(%)	
		C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Sn	V	Al	
01	B3	0,71	0,71	0,31	0,010	0,013	0,14	0,07	0,02	0,22	0,013	0,001	0,015	
02	B11	0,96	0,92	0,24	0,022	0,012	0,12	0,07	0,02	0,21	0,015	0,003	0,010	
03	B8	0,96	1,07	0,41	0,033	0,029	0,18	0,06	0,02	0,21	0,022	0,001	0,020	
04	B2N	1,06	0,86	0,25	0,022	0,012	0,18	0,08	0,02	0,21	0,015	0,002	0,020	
05	B20	0,93	0,72	0,24	0,022	0,030	0,16	0,09	0,02	0,08	0,008	0,001	0,006	
06	B24	0,96	0,99	0,33	0,022	0,013	0,11	0,08	0,02	0,35	0,023	0,004	0,015	
07	B26	1,06	0,97	0,38	0,015	0,017	0,15	0,07	0,02	0,23	0,013	0,001	0,020	
08	B28N	0,95	0,92	0,36	0,013	0,027	0,15	0,08	0,02	0,25	0,014	0,001	0,017	
09	B29N	0,96	0,91	0,33	0,020	0,010	0,14	0,08	0,02	0,26	0,025	0,003	0,016	
10	B30N	0,94	0,91	0,32	0,021	0,010	0,14	0,09	0,02	0,26	0,027	0,001	0,016	
11	B36	0,92	0,83	0,37	0,013	0,032	0,15	0,09	0,02	0,25	0,014	0,002	0,013	
12	B43	1,08	0,96	0,31	0,025	0,013	0,15	0,09	0,02	0,23	0,016	0,001	0,012	
13	B5	0,87	0,73	0,19	0,011	0,006	0,14	0,06	0,02	0,17	0,010	0,001	0,023	
14	B10	0,89	0,93	0,33	0,025	0,012	0,09	0,09	0,02	0,27	0,028	0,004	0,015	
15	B22	0,98	0,99	0,23	0,013	0,018	0,15	0,08	0,02	0,14	0,026	0,003	0,034	
16	B22	0,96	1,02	0,22	0,015	0,019	0,12	0,07	0,02	0,28	0,015	0,001	0,014	
17	B23N	0,91	1,00	0,31	0,012	0,025	0,10	0,07	0,02	0,28	0,016	0,002	0,014	
18	B27N	0,91	1,01	0,30	0,013	0,001	0,10	0,08	0,02	0,26	0,019	0,001	0,015	
19	B31	0,94	0,94	0,33	0,026	0,024	0,15	0,08	0,02	0,25	0,017	0,002	0,015	

C U A D R O N o 7

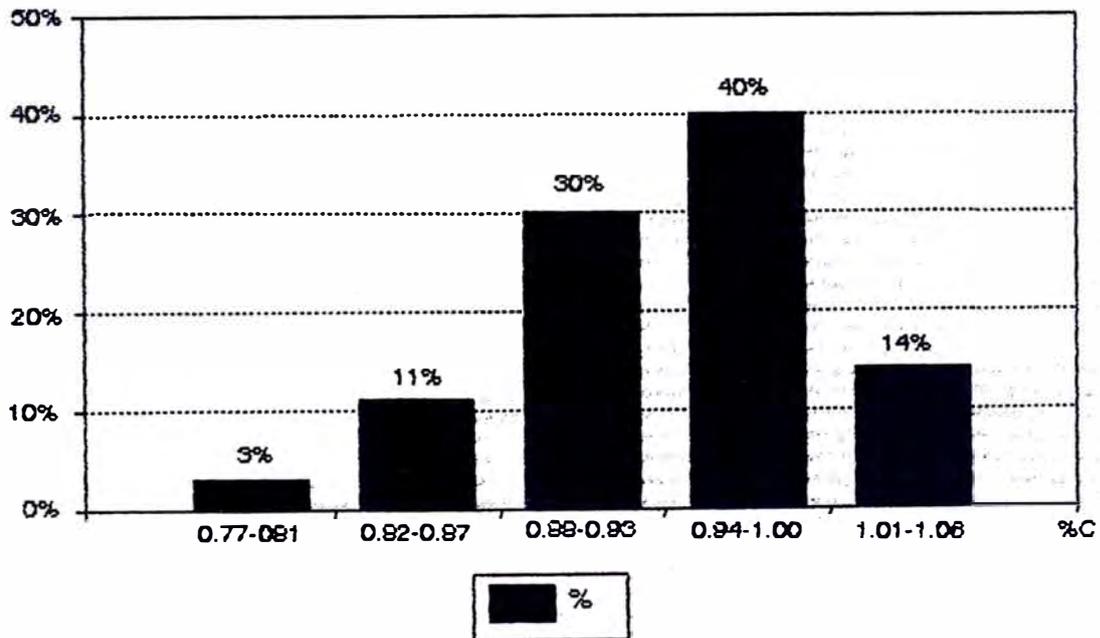
.- COMPOSICION QUIMICA DE BARRAS DE MOLINO FABRICADAS POR SIDERPERU.

No	CODIGO	COMPOSICION QUIMICA (%)											
		C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Sn	V	Al
01	B6	0,88	0,86	0,19	0,023	0,032	0,03	0,01	0,01	0,03	0,008	0,002	0,000
02	B18	0,83	0,92	0,22	0,025	0,029	0,03	0,01	0,01	0,05	0,031	0,004	0,001
03	B21	0,82	0,84	0,21	0,016	0,020	0,00	0,01	0,01	0,01	0,002	0,003	0,000
04	B9	0,88	0,82	0,18	0,020	0,032	0,03	0,01	0,01	0,03	0,007	0,002	0,005
05	B13	0,66	0,65	0,28	0,010	0,020	0,02	0,01	0,01	0,01	0,001	0,010	0,001
06	B17	0,85	0,65	0,20	0,023	0,027	0,05	0,01	0,01	0,07	0,008	0,002	0,000
07	B12	0,80	0,73	0,19	0,019	0,018	0,06	0,01	0,01	0,01	0,002	0,011	0,000
08	B34	0,78	0,92	0,26	0,020	0,034	0,01	0,01	0,01	0,07	0,002	0,003	0,002
09	B41	1,06	1,02	0,26	0,037	0,043	0,01	0,01	0,01	0,02	0,001	0,004	0,018
10	P4	0,94	0,92	0,27	0,037	0,032	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002	0,006	0,003
11	P5	0,77	0,97	0,63	0,013	0,027	0,00	0,01	0,01	0,02	0,002	0,022	0,004
12	P2	0,86	0,87	0,59	0,035	0,045	0,09	0,01	0,01	0,02	0,002	0,016	0,005
13	P10	0,78	0,84	0,57	0,023	0,034	0,06	0,01	0,01	0,02	0,002	0,014	0,001
14	P6	0,84	0,86	0,57	0,033	0,043	0,08	0,01	0,01	0,02	0,002	0,016	0,001
15	P15	0,91	0,89	0,25	0,010	0,038	0,01	0,01	0,01	0,02	0,021	0,002	0,000
16	B38	0,81	0,78	0,31	0,015	0,029	0,24	0,01	0,01	0,01	0,002	0,010	0,000
17	B39	0,94	1,00	0,25	0,043	0,034	0,01	0,01	0,01	0,03	0,001	0,007	0,000
18	B40	0,85	0,97	0,25	0,025	0,025	0,01	0,01	0,01	0,02	0,001	0,003	0,000
19	B42	0,83	0,84	0,23	0,021	0,025	0,01	0,01	0,01	0,02	0,001	0,004	0,002

**%C - BARRAS DE MOLINO
SIDER PERU**

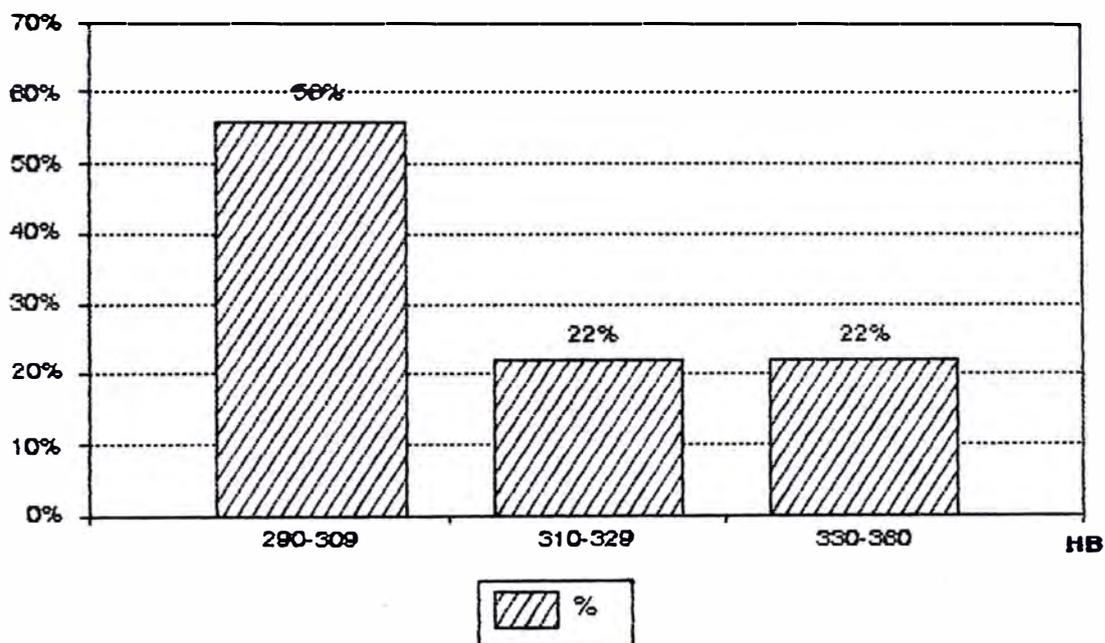


**%C - BARRAS DE MOLINO
ACEROS AREQUIPA S.A.**



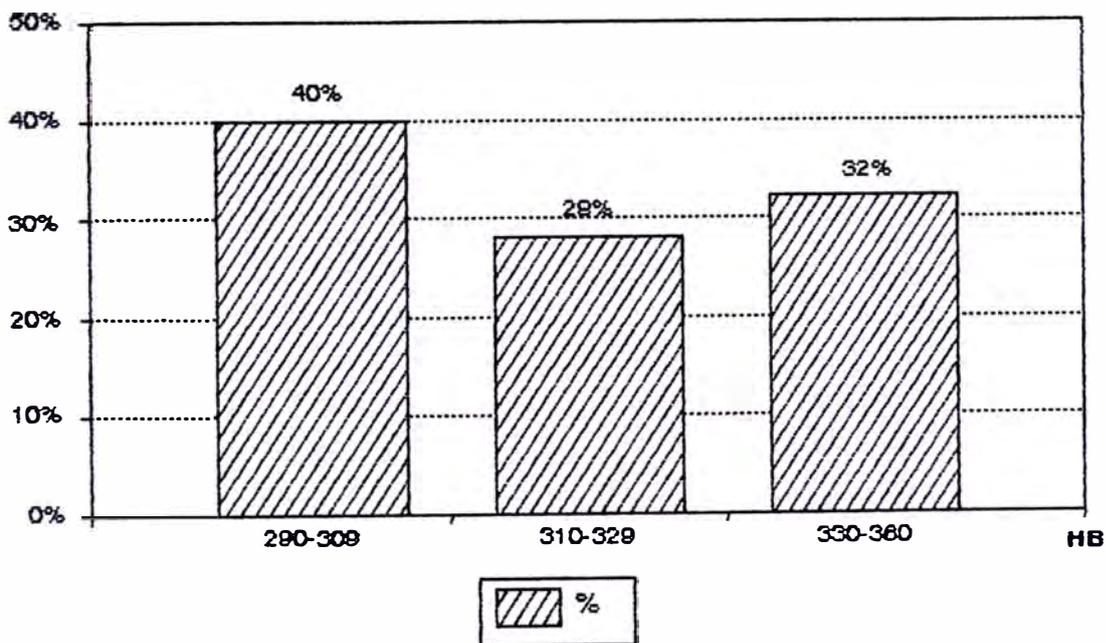
CUADRO N° 8

**DUREZA (HB) - BARRAS DE MOLINO
SIDER PERU**



CUADRO N° 9

**DUREZA (HB) - BARRAS DE MOLINO
ACEROS AREQUIPA S.A.**



del contenido de carbono, asumiendo las demás variables aproximadamente constantes, en base a los conocimientos teóricos que establecen al elemento carbono como principal endurecedor.

Los resultados obtenidos demuestran que a mayor contenido de carbono obtendremos una mayor dureza. (Ver gráfico No 1).

Para lograr una dureza de 280 HB, mínima especificada, se requiere mínimo un porcentaje de carbono $\%C = 0.82$.

6.1.1.2.- Resiliencia.

Se estableció, con datos reales, la influencia del contenido de carbono en la resiliencia de las barras de molino. Para el efecto se ploteó el gráfico Resiliencia (Joules) vs $\%C$. (Ver gráfico No 2).

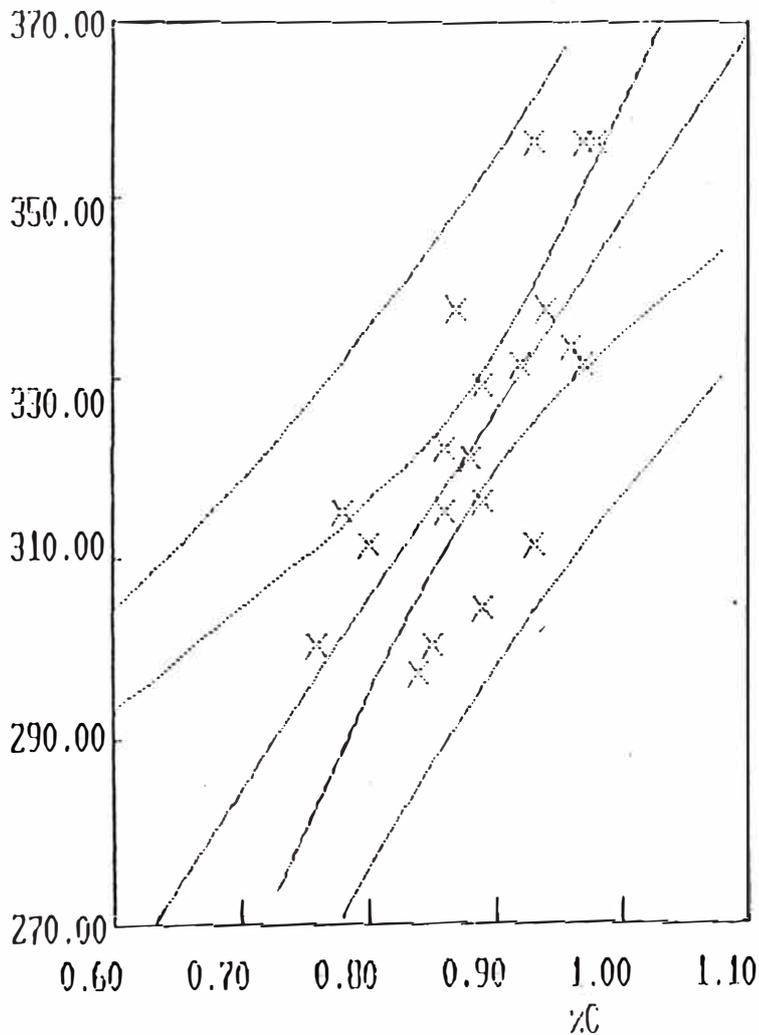
El gráfico no señala una relación claramente establecida, pero si se observa una tendencia inversamente proporcional, es decir, a mayor contenido de carbono se obtendrá una menor resiliencia (resistencia al impacto).

De las observaciones realizadas se puede

GRAFICO N.º 1

DUREZA VS %C ----- Regression analysis -----

HB



	X	Y
Name	%C	HB
Samples	20	
Min.	0.760	297.000
Max.	0.980	356.000
Mean	0.889	323.900
S.D.	0.063	18.456
r	0.719	

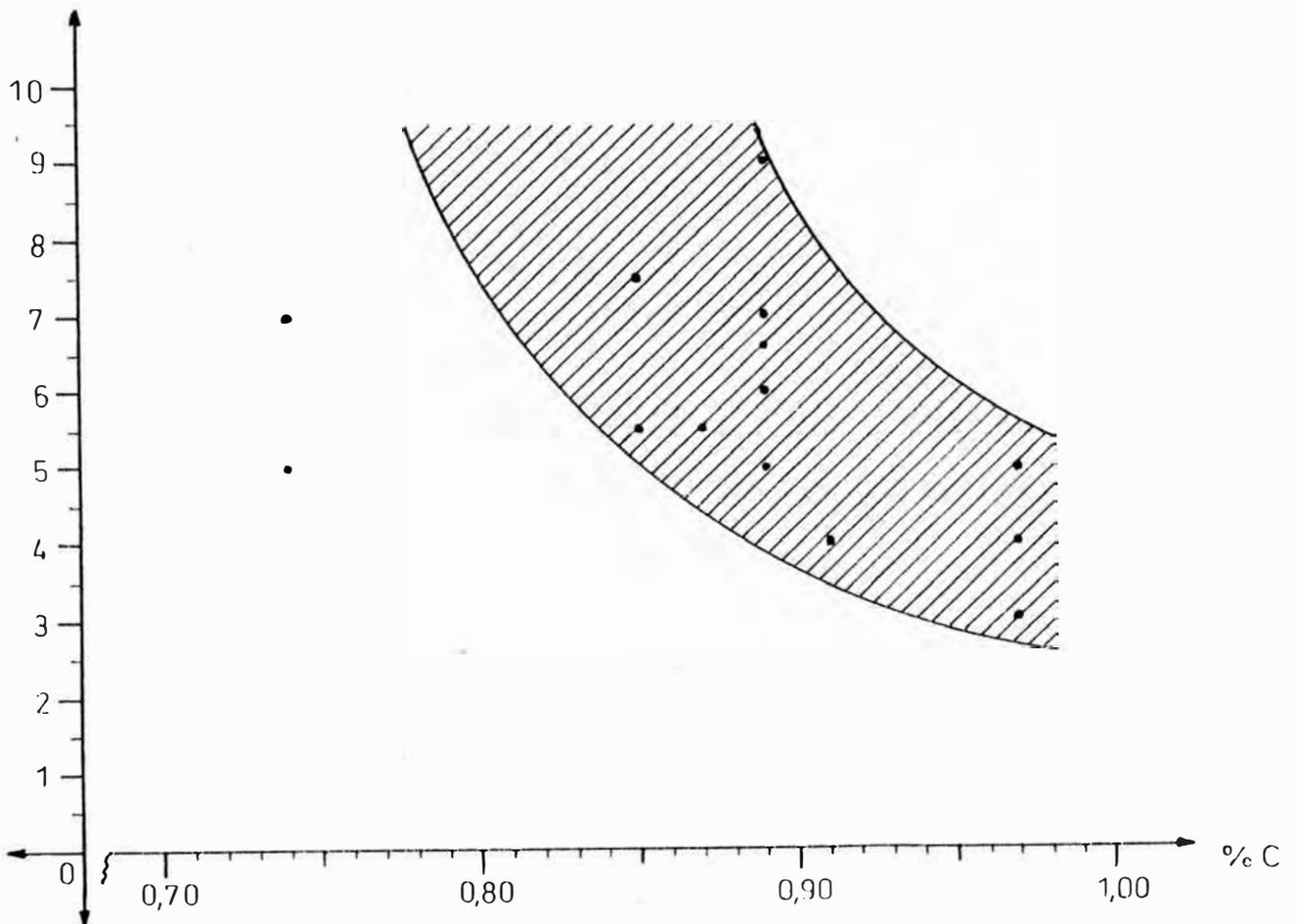
$$Y = 137.228 + 210.098 * X$$

$$t = [4.393]$$

Influencia del contenido de Carbono en la Resistencia al Impacto -ENSAYO CHARPY

Item	Nº Colada	% C	Resiliencia (Joules)
01	211128	0,89	6,6
02	211129	0,84	—
03	211130	0,81	—
04	211131	0,74	5 - 7
05	211146	0,91	4 - 4
06	211659	0,85	7,5 - 5,5
07	211673	0,89	5 - 6 - 9 - 7
08	112015	0,87	5,5
09	S/N	0,97	3 - 4 - 5
10	S/N	0,97	4

RESILIENCIA (Joules)



asumir que una resiliencia mayor o igual a 5 joules es lo óptimo para este producto. Una alta resistencia al impacto debido a una elevada tenacidad puede ocasionar problemas durante el uso de las barras de molino con esta característica, debido a que no se romperán en el momento oportuno, facilitando su descarga, sino que se doblarán en el interior del molino, debido a su pequeño espesor, obstaculizando la normal operación y reduciendo rendimiento.

Se debe tener presente que los principales factores para obtener una buena resiliencia son el tamaño de grano y la limpieza de acero (ocurrencia de macroinclusiones), como veremos más adelante.

6.1.1.3.- Uso de Microaleante.

Debido al efecto perjudicial del elemento químico nitrógeno en las propiedades mecánicas de los aceros, especialmente en la resiliencia (resistencia al impacto) se estudió la forma de reducir su contenido y neutralizar su efecto.

El nitrógeno se difunde en el hierro y forma una solución sólida intersticial debido a su pequeño radio atómico. Bajo esta forma, en estado libre, fragiliza al acero restandole tenacidad.

El titanio y el vanadio son fuertes formadores de nitruros, "fijando" al nitrógeno y neutralizando de ésta manera su efecto perjudicial.

El titanio tiene la ventaja, frente al vanadio, que los nitruros de titanio resisten altas temperaturas antes de pasar a solución por lo cual, pequeñas adiciones de titanio fijan al nitrógeno y adicionalmente sirven también para refinar el grano.

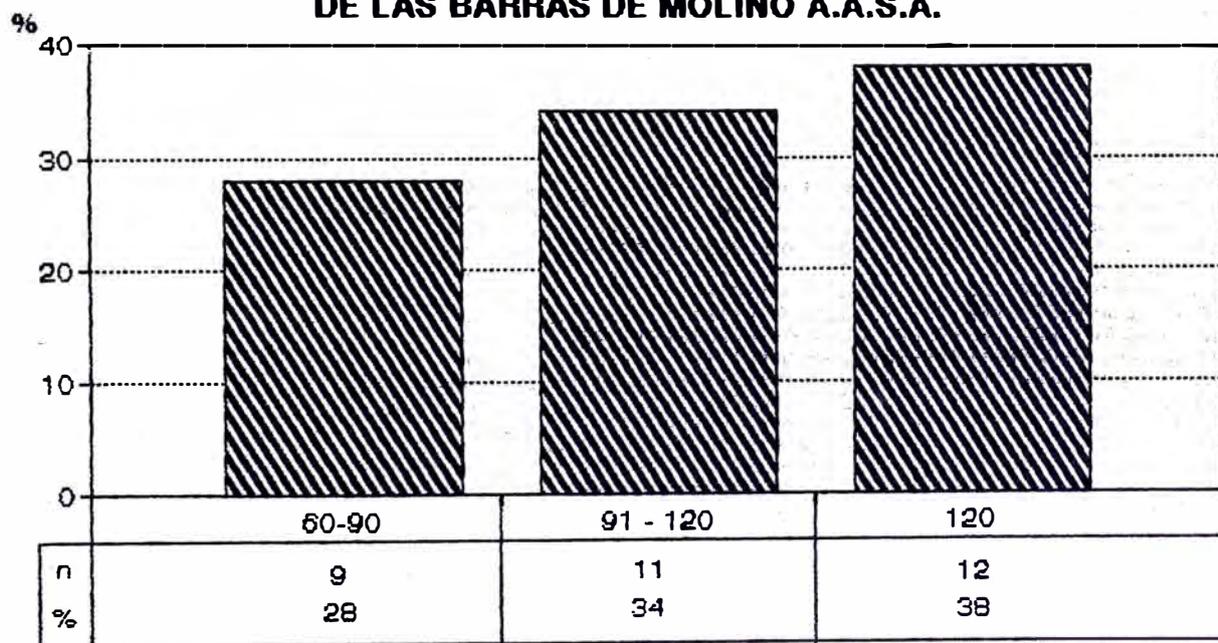
En las últimas campañas de fabricación de barras de molino se utilizaron ambos elementos microaleantes, con el propósito de evaluar su comportamiento. Los mejores resultados se obtuvieron con el uso de titanio.

CUADRO N° 10

CUADRO COMPARATIVO DE COMPOSICION QUIMICA DE BARRAS DE MOLINO DE DISTINTA PROCEDENCIA

PROCEDENCIA	COMPOSICION QUIMICA (%)												
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Sn	Al	N ppm	O ppm
A. A. S. A.	0.84	0.90	0.25	0.025	0.007	0.06	0.06	0.00	0.21	0.030	0.008	140	70
	0.89	0.87	0.23	0.018	0.011	0.10	0.06	0.02	0.18	0.014	0.007	85	70
	0.97	1.01	0.23	0.015	0.037	0.12	0.09	0.01	0.29	0.022	0.010	135	79
SIDERPERU	0.85	0.87	0.25	0.020	0.021	0.01	0.00	0.01	0.02	0.001	0.001	72	90
	0.86	0.90	0.23	0.025	0.020	0.01	0.00	0.01	0.01	0.002	0.000	70	85
ARMCO	0.82	0.90	0.18	0.014	0.015	0.01	0.01	0.00	0.01	0.004	0.004	36	70
MOLY	0.82	0.92	0.18	0.020	0.015	0.01	0.01	0.00	0.01	0.004	0.006	32	88

HISTOGRAMA DE CONTENIDO DE NITROGENO DE LAS BARRAS DE MOLINO A.A.S.A.



N2 (ppm)

CUADRO N° 11



6.1.2.- Pruebas realizadas para reducir el contenido de Nitrógeno en el acero de calidad 1090.-.

Debido al alto contenido de nitrógeno registrado en el acero de calidad 1090 para barras de molino, y por lo expuesto anteriormente respecto a la influencia perjudicial de éste elemento, principalmente, en la resistencia al impacto; se realizaron pruebas para disminuir su contenido en el acero.

El criterio mediante el cual se realizaron éstas pruebas fue determinar el efecto en la absorción de nitrógeno del uso de antracita, coque, stirring con N₂, stirring con CO₂, protección del arco mediante la escoria espumosa, descarburación etc.

Estas pruebas servirán como base para las futuras campañas de fabricación de acero de calidad 1090, para barras de molino. (Ver resultados de las pruebas en el cuadro No 12).

De los resultados de las pruebas se puede establecer que el gas más recomendable para realizar la homogeneización de composición

y temperatura es el dióxido de carbono (CO₂). Esto se debe fundamentalmente a que a altas temperaturas se favorece la absorción de nitrógeno lo cual descalifica a este elemento para su uso en la homogeneización de la composición química y temperatura del acero líquido (stirring). La práctica de descarburación mediante el insuflado de oxígeno durante el proceso de fabricación de acero en el horno eléctrico reduce el nivel de nitrógeno absorbido en aprox. 15 ppm.

La mayor absorción de nitrógeno se produce durante el sangrado de acero líquido a la cuchara, esto se verificó realizando análisis de oxígeno y nitrógeno a muestras tomadas a lo largo del proceso de obtención del acero líquido. (Ver gráfico No 3).

Los resultados de las pruebas demuestran que es imprescindible el uso de tubo cerámico y protección de CO₂ para evitar la absorción de gases.

CUADRO No 12 .- VARIABLES CONSIDERADAS PARA EL CONTROL DEL CONTENIDO DE N .
RESULTADOS OBTENIDOS.

No PRUEBA	No COLADA	% C (FIN DE FUSION)	% C (ANTES DE SANGRADO)	ADICION EN EL SANGRADO	STIRRING (MIN)			TUBO CERAMICO	PROTECCION CO2	RESULTADOS (ppm)	
					SANGRADO	ESTACION DE TRATAMINETO	COLADA CONTINUA			N	O
01	115571	0,06	0,20	ANTRACI- TA	N2 (4)	CO2 (6)	CO2 (1)	NO	NO	73 76	69 96
02	115572	0,07	0,03	COKE	N2 (4)	CO2 (6)	CO2 (1)	NO	NO	88	65 79
03	115573	0,04	0,07	COKE	N2 (4)	CO2 (6)	CO2 (1)	NO	NO	110 111	96
04	115586	0,10	0,24	ANTRACI- TA	N2 (4)	CO2 (6)	CO2 (1)	SI	NO	73 73	58 62
05	115587	0,09	0,07	ANTRACI- TA	CO2 (4)	CO2 (6)	CO2 (1)	SI	NO	74 70	63
06	115588	0,05	0,11	ANTRACI- TA	CO2 (4)	CO2 (6)	CO2 (1)	SI	NO	68 73	78
07	216444	0,04	0,06	ANTRACI- TA	S/ST	CO2 (6)	CO2 (1)	SI	SI	86 84	67 61
08	216445	0,06	0,14	COKE	S/ST	CO2 (6)	CO2 (1)	NO	SI	84 90	49 89
09	216446 (**)	0,12	0,32	ANTRACI- TA	N2 (4)	CO2 (6)	CO2 (1)	SI	SI	64 62	59 72
(*) EN TODAS LAS COLADAS SE REALIZO ESCORIA ESPUMOSA CON ANTRACITA EXCEPTO EN LAS COLADAS 115572, 115573 Y 216445 EN LAS CUALES SE UTILIZO COKE.									X(***)	79	70

(**) SE EFECTUA UNA DESCARBURACION, CON OXIGENO, DURANTE EL AFINO.

(***) NO SE CONSIDERA DATOS DE LA COLADA 115573 Y 216446 EN EL PROMEDIO.

CUADRO No 13 .- EVOLUCION DEL CONTENIDO DE N DURANTE LA FABRICACION DE ACERO

No	COLADA No	CONTENIDO DE NITROGENO (PPM)										
		1C	2C	3C	4C	5C	1FC	2FC	3FC	4FC	5FC	FINAL
1	115571	51	50	51			63	57	68	69		73 -76
2	115572	47	47	51			79	80	82			88
3	115573											
4	115586	52	49	48	48		62	67				73
5	115587											
6	115588	48	45				65	53	70			70 -74
7	216444											
8	216445											
9	216446	45	-	44	-	49	52	71				64- 62

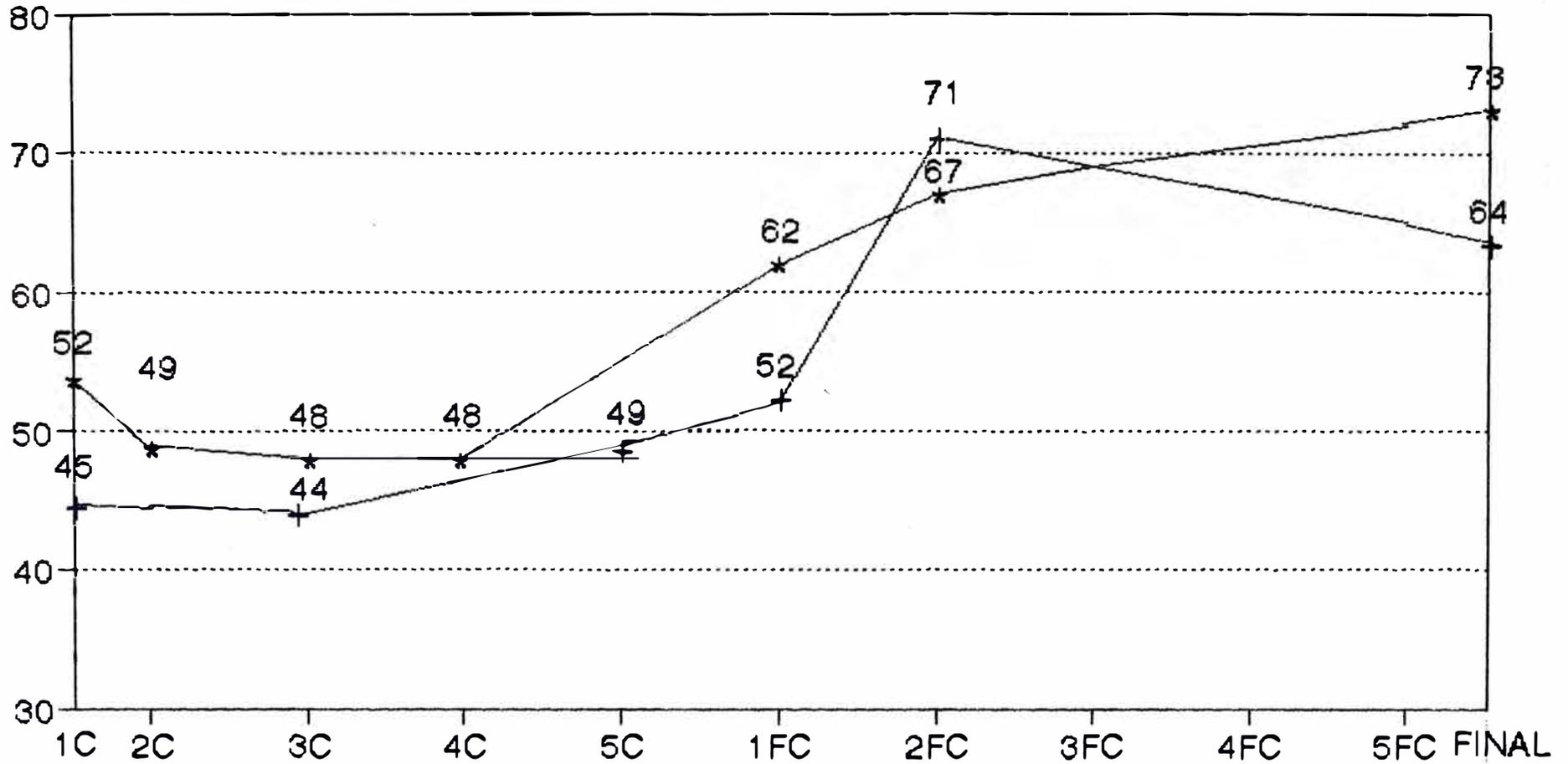
- TODAS LAS COLADAS SON DE ACERO DE CALIDAD 1090

- C = CONTROL EN EL HORNO

- FC = CONTROL EN CUCHARA

EVOLUCION DEL CONTENIDO DE N DURANTE LA FABRICACION DE ACERO - CALIDAD 1090

N (ppm)



C = Control en el Horno

FC = Control en la Cuchara

★ 115586 — 216446

GRAFICO N° 3

6.2.- Análisis de macro y microinclusiones en barras de molino.

6.2.1.- Análisis de macroinclusiones en las barras de molino - Norma COPANT 2:1-032 Método de ensayo de la Probeta Escalonada.

Este método consiste en determinar el número total y la distribución de las inclusiones no metálicas, puestas de manifiesto sobre las superficies longitudinales de una probeta cilíndrica mecanizada en escalones. Este método es aplicable a productos laminados y forjados de geometría simple.

6.2.1.1.- Resultados.-

En las probetas escalonadas analizadas fueron observadas macroinclusiones cuyo tamaño varia entre 0.7mm a 1.0mm, evaluandose su frecuencia y severidad. (Ver cuadros No 14 y 15).

Analizadas con ayuda del microscopio metalográfico se determinó que estas inclusiones corresponden al tipo de silicatos complejos.

CUADRO No 14.-

ANALISIS DE MACROINCLUSIONES						COLADA No : 112015			
METODO: PROBETA ESCALONADA						FECHA : 95 - 02 -01			
						CALIDAD : 1090			
LONGITUD DE LA INCLUSION (mm)	FACTOR (P)	1er ESCALON		2do ESCALON		3er ESCALON		TOTAL	
		AREA: 151,76 cm ² LONGITUD: 7,0 cm		AREA: 131,95 cm ² LONGITUD: 7,0 cm		AREA: 101,15 cm ² LONGITUD: 7,0 cm		AREA: 384,9 cm ² LONGITUD: 21,0 cm	
		No INCLUSIONES (N)	N x P						
0,5-0,75	0,5	4	2					4	2
0,76-1,0	1			1	1			1	1
1,1-1,25	2								
1,26-1,50	4								
>1,50	8								
TOTAL									
FRECUCIA No DE INCLUSIONES ----- AREA		0,03		0,01		-		0,01	
SEVERIDAD ----- N x P ----- AREA		0,01		0,01		-		0,01	

CUADRO No 15.-

ANALISIS DE MACROINCLUSIONES						COLADA No : 210372			
METODO: PROBETA ESCALONADA						FECHA : 95 - 02 -01			
						CALIDAD : 1090			
LONGITUD DE LA INCLUSION (mm)	FACTOR (P)	1er ESCALON		2do E CALON		3er ESCALON		TOTAL	
		AREA: 151,76 cm ² LONGITUD: 7,0 cm		AREA: 1 1,95 cm ² LONGITUD 7,0 cm		AREA: 101,15 cm ² LONGITUD: 7,0 cm		AREA: 384,9 cm ² LONGITUD:21,0 cm	
		No INCLUSIONES (N)	N x P	No INCLUSION S (N)	N x P	No INCLUSIONES (N)	N x P	No INCLUSIONES (N)	N x P
0,5-0,75	0,5	19	9,5			14	7	33	16,5
0,76-1,0	1			2	2			2	2
1,1-1,25	2								
1,26-1,50	4								
>1,50	8								
TOTAL		19	9,5	2	2	14	7	35	18,5
FRECUENCIA No DE INCLUSIONES ----- AREA		0,13		0, 2		0,14		0,09	
SEVERIDAD ----- N x P ----- AREA		0,06		0, 2		0,06		0,05	

6.2.2.- Análisis de microinclusiones en las barras de molino - Norma ASTM E-45

El ensayo consiste en determinar el contenido de microinclusiones en forma cuantitativa y cualitativa mediante análisis metalográficos y comparar con los patrones de la norma.

Este método es aplicable a productos laminados y forjados.

6.2.2.1.- Resultados

Las microinclusiones observadas son del tipo: Silicatos, sulfuros y óxidos (Ver cuadro No 18).

6.3.- Análisis del Proceso de Laminación.

Entre las variables del proceso de laminación de mayor influencia en las propiedades metalúrgicas del producto final, es decir, de las barras de molino podemos citar:

Grado de reducción.

Temperatura de laminación.

Tiempo de residencia en el Horno.

Estas tres variables del proceso de laminación tienen notable influencia en el tamaño de grano austenítico obtenido en el producto final, y por lo establecido anteriormente en la resistencia al impacto o resiliencia.

Según D.E. Nass la temperatura de laminación ejerce una gran influencia en el tamaño de grano obtenido; una variación en la temperatura de laminación de 110 C para un acero AISI 1095, provocará una variación en el tamaño de grano del No 6 (fino) a uno No 1 (grueso). y este cambio en el tamaño de grano provocará a su vez una caída de la resistencia al impacto del 20%.

6.3.1.- Técnica de Laminación Controlada

La laminación proceso tecnológico de deformación de los metales y sus aleaciones mediante la acción de cilindros se ha convertido en los últimos doscientos años aproximadamente en la manera más rápida y económica de obtener las formas requeridas por la industria metal-mecánica, de la construcción y minería que colocan al servicio del género humano el producto

final de la industria siderúrgica básica, es decir el acero, sea bajo la forma de lingotes o barras de colada continua.

Hasta fines de la Segunda Guerra Mundial, el tren laminador, trabajando en caliente o en frío, era un elemento electro-Mecánico de deformación exclusivamente, apto para brindar mediante el trabajo mecánico las innumerables secciones requeridas por la industria, desde el diminuto alambra de 5 o 6 mm de diámetro a la plancha para usos navales de decenas de toneladas de peso unitario.

Las décadas cincuenta y sesenta han sido testigos de la gradual transformación del laminador en un ingenio electro-mecánico metalúrgico mediante la incorporación de diversas técnicas de conformado, incluso a temperaturas consideradas "bajas" en el campo de la laminación en caliente.

Estas nuevas modalidades de deformación y enfriamiento han surgido en el objeto de obtener las ventajas comparativas que otorgan, entre otras, las adiciones de elementos no convencionales a los aceros, tales como el titanio vanadio etc.

Muchos de los avances obtenidos en el desarrollo de aceros en épocas recientes se han basado en una mejor

comprensión y adecuada utilización de las variables presentes (Metalúrgicas) en las distintas etapas del proceso productivo. En particular los procesos de deformación en caliente de aceros han dejado de ser concebibles como meras etapas de transformación de forma y dimensiones del producto elaborado, para pasar a ser vistos como importantes herramientas metalúrgicas que adecuadamente conducidas determinan en gran medida las propiedades del producto.

En este sentido las operaciones de deformación en caliente de aceros se hallan regidas esencialmente por tres propiedades básicas del material que son:

Resistencia a la Deformación.

Evolución de la microestructura durante la Deformación.

Ductilidad.

Un adecuado conocimiento de estas propiedades, íntimamente relacionadas entre sí, posibilita diseñar los procesos de laminación (deformación en caliente) no solo en función de los aspectos geométricos de la pieza a elaborar, sino también en función de las propiedades finales requeridas en el producto laminado.

6.3.2. Grados de Reducción.-

Se define grado de reducción a la relación entre el área de la sección del producto inicial (A_o , Palanquillas) y el área de la sección del producto final (A_f , redondo liso), es decir:

$$\text{G.R.} = \frac{A_o}{A_f}$$

En nuestro caso el producto inicial o materia prima son palanquillas de 150 x 150mm y el producto final serán barras redondas lisas de 76.2 y 88.9 mm de diámetro. Por lo tanto:

$$\begin{aligned} A_f &= 4560.4 \text{ mm}^2 \\ A_o &= 22500 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad \rightarrow \text{G.R}_1 = 4.9$$

$$\begin{aligned} A_f &= 6207,2 \text{ mm}^2 \\ A_o &= 22500 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad \rightarrow \text{G.R}_1 = 3,6$$

Para el caso, alternativo, de barras de molino a partir de techos de 250x200 mm el grado de reducción sería.

$$\begin{aligned} A_f &= 4560,4 \text{ mm}^2 \\ A_o &= 50000 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad \rightarrow \text{G R}_2 = 11 \quad \text{Para barras de 3".}$$

$A_f = 6207,2 \text{ mm}^2$

$A_o = 50000 \text{ mm}^2$ $GR_2 = 8,1$ Para barras de 3
1/2".

Un producto ideal para alimentar un laminador seria el que posee homogeneidad química y física, con una estructura de grano equiaxial sin segregaciones químicas, sin inclusiones no metálicas, sin cavidades y sin fallas, pero el producto con que se alimenta un laminador no presente estas características sino por el contrario trae un gran número de defectos, tales como: segregación de distintos elementos, cristalización columnar del tipo dendritico, rechupe sopladoras, etc.

Por ejemplo tres de las características, importantes para nuestro estudio, de las palanquillas en estado bruto de colada son: estructura columnar dendritica rechupe y porosidad central e inclusiones no metálicas. Para obtener un producto final libre de estos defectos se requiere un grado de reducción máximo posible durante el proceso de laminación.

Es decir, con un buen grado de reducción se

supera la estructura columnar dendritica obteniendo un tamaño de grano fino, se soldarán sopladuras, o posible rechupes, y se quebrarán macroinclusiones. Debemos aclarar que esto depende del manejo adecuado de otras variables de laminación, como veremos más adelante.

Puede observarse que partiendo de tochos se obtendrá un grado de reducción ($G.R_2$) Mucho mayor que el obtenido partiendo de palanquillas. Precisamente el propósito de ésta investigación es obtener una técnica operativa a fin de evitar que está marcada diferencia pueda influir en las características mecánicas del producto final.

6.3.3.- Tiempo de Permanencia en el Horno de Recalentamiento

- 1.- Entre los equipos incluidos en el proceso de fabricación de productos Siderúrgicos o metalúrgicos un horno de recalentamiento es sin duda uno de los más complejos debido a la variedad de fenómenos físicos que se tienen que dominar para obtener los objetivos fijados. Su función principal es proveer a los

semiproductos la cantidad de calor necesaria para conferir, al acero, el grado de plasticidad requisito necesario para poder ser deformado, compatible con la transformación que será operada por las herramientas de laminación. A esta función principal pueden ser añadidos otros objetivos particulares generalmente metalúrgicos propio de ciertos tipos de acero por ejemplo permanencia del producto por un cierto tiempo en una temperatura preestablecida para conferirle determinadas características metalúrgicas con el propósito de obtener propiedades físicas especiales en el producto acabado.

Así mismo durante el proceso de deformación se requiere de una temperatura homogénea a lo largo de toda la palanquilla con el propósito de no crear esfuerzos internos lo cual traería como resultado la aparición de grietas centrales. Un prolongado tiempo de permanencia en el horno ocasionará una mayor oxidación de la superficie causando una mayor formación de cascarilla (óxido de fierro) provocando un incremento de la merma en el Horno.

En los últimos años, apareció de repente la

exigencia de disminuir drásticamente los consumos caloríficos de los hornos, sin obviamente alterar la calidad de calentamiento cada vez más riguroso.

Estos dos objetivos son parcialmente incompatibles, principalmente cuando un horno es operado manualmente, lo que representa la mayoría de los casos.

Básicamente un horno continuo esta constituido de una cámara dentro de la cual un conjunto de productos avanzan progresivamente en la dirección de la zona de descarga, el espacio dejado por un producto descargado, es ocupado por la carga de otro producto en el otro extremo del horno. Por tanto dentro del horno los productos poseen diferentes temperaturas, más altas a medida en que se aproximan a su deshornamiento.

Los productos no tienen necesariamente las mismas características geométricas y metalúrgicas.

6.3.4- Temperatura de Laminación

La temperatura de laminación, tanto de inicio como la del fin del proceso incide sobre la microestructura como sobre las propiedades mecánicas del producto

obtenido. Una alta temperatura en el último pase de deformación permitirá que los fenómenos de recristalización generen una estructura grosera con detrimento directo sobre las propiedades mecánicas. Ello es en sí grave, si consideramos que las barras de molino son proveídas en estado de bruto de laminación para su empleo inmediato.

Dado que la resistencia a la deformación disminuye al aumentar la temperatura, la tentación de laminar lo más caliente posible, algo por debajo del valor para lo cual comienza el quemado del acero, debe contrapesarse contra los posibles riesgos de desmejorar las características mecánicas buscadas.

6.3.5.- Influencia del tamaño de Grano Austenítico

El tamaño de grano del acero al carbón y aleaciones es denominado, en la práctica como el tamaño de grano austenítico. Durante el calentamiento del acero a través del rango crítico, toma lugar la transformación austenítica. Los granos austeníticos son al inicio extremadamente pequeños, pero crecen en tamaño al mismo tiempo que se incrementa la temperatura. Por esto en mediciones del tamaño de grano austenítico el tiempo y la temperatura debe ser constantes para

obtener datos reproducibles.

6.3.6.- Métodos para reducir el tamaño de Grano Austenítico .-

Un tamaño de grano pequeño mejora la tenacidad a un nivel de resistencia dado pero el tamaño de grano fino efectivo es aquel de el constituyente microestructural de el espécimen durante el ensayo y no el de la austenita. Un tamaño de grano austenítico pequeño es solo un camino, aunque uno de los más efectivos; para producir un tamaño de grano fino en aceros con transformación completa. Los cuatro caminos para producir una microestructura de grano fino son los siguientes:

- 1.- Durante la austenitización, el tamaño de grano puede ser limitado por medio de una buena elección del tiempo y temperatura de austenización. Es posible limitar el crecimiento de grano por precipitación si las partículas tienen un suficiente tamaño y densidad.
- 2.- Un tamaño de grano fino puede ser obtenido por una deformación en el rango austenítico, seguida de una recristalización. Grado y temperatura de deformación deben ser adaptados a la

recristalización del acero y a la conducta de precipitación.

Si el grado de deformación de la austenita es muy pequeño un grano grueso puede resaltar. A menor temperatura de recristalización más pequeño será el tamaño de grano. Aceros ferríticos y Austeníticos sin deformación pueden refinar su grano solamente por recristalización.

3.- Por medio de una deformación de la austenita a temperaturas a las cuales la velocidad de recristalización es baja, una alta densidad de dislocaciones es producido, la cual no es reducida por recuperación o recristalización antes que la transformación empiece.

Esto da un grano fino a temperatura ambiente.

4.- Los más pequeños tamaños de grano son obtenidos en microestructuras formadas a la más baja temperatura en el rango perlítico.

6.3.7.- Efecto de la temperatura en el Tamaño de Grano.

Como se ha mencionado anteriormente una de las principales variables en el proceso de laminación es

la temperatura, razón por la cual debe controlarse estrictamente.

En los aceros de mayor contenido de carbono la influencia es más notable con respecto al tamaño de grano obtenido, dado que su cinética es crecimiento es mucho más acelerada con respecto a la de los aceros de bajo carbono. (Ver gráfico No 4).

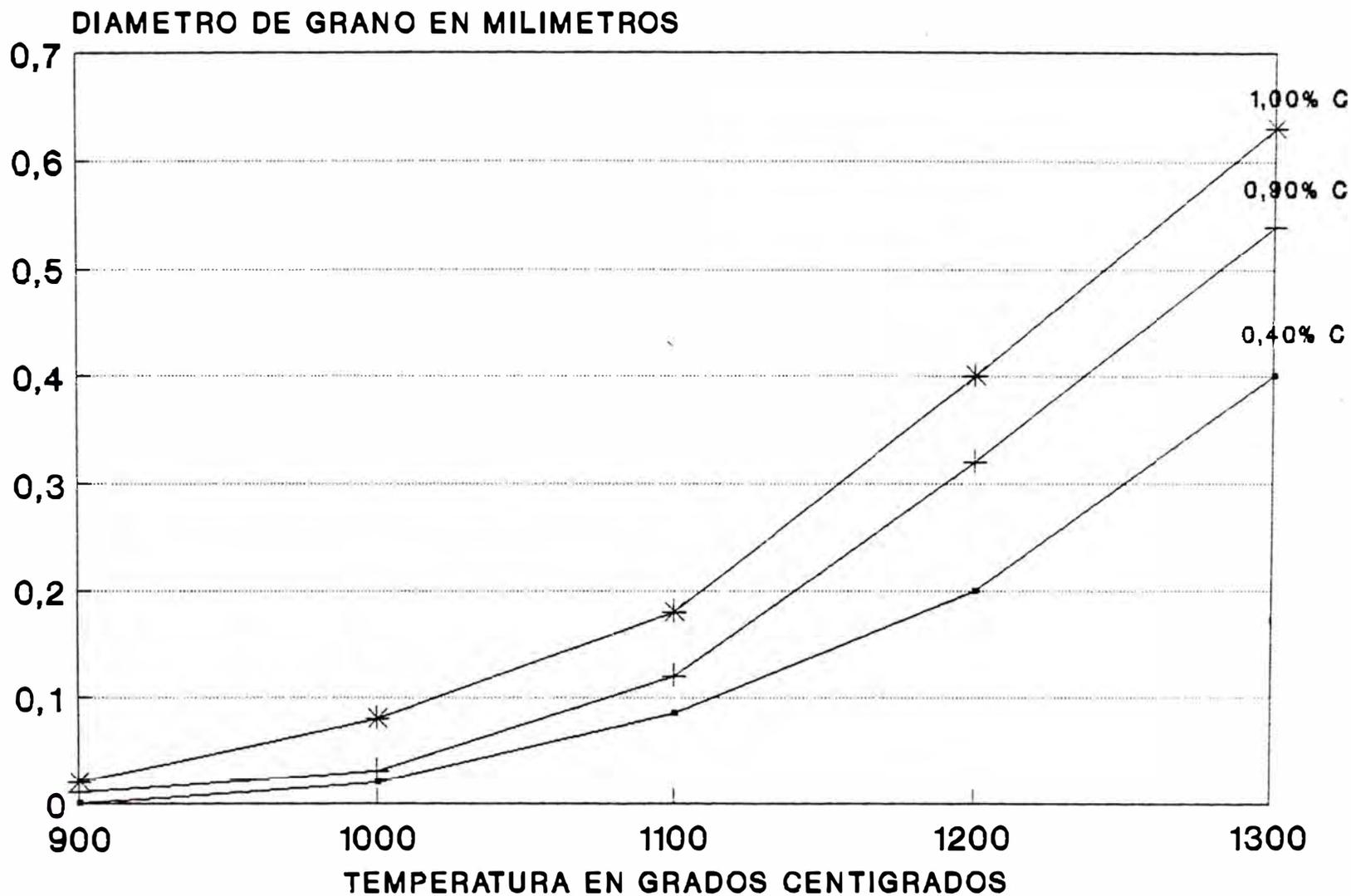
6.3.8.- Análisis del tamaño de grano en barras de Molino.

El tamaño de grano es de gran importancia en los aceros que trabajan bajo esfuerzos de impacto. En el Cuadro No 3 se observa la gran influencia que ejerce el tamaño de grano en la temperatura de transición (frágil dúctil de los aceros perlíticos.

Debido a que las barras de molino necesitan tener una alta resistencia al impacto; se efectuaron análisis de tamaño de grano por el método de Mc Quaid Ehn, aplicando la norma ASTM- E112 en su determinación.

Analizando los resultados obtenidos (ver Cuadro No 16) se puede observar que en las barras de 3" de diámetro, se obtiene un tamaño de grano más pequeño y homogéneo comparando con el obtenido en las barras de 3 1/2" de diámetro. Esto se debe al mayor porcentaje de

EFFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL TAMAÑO DE GRANO AUSTENITICO



EMS/wgr.

Gráfico No.4

reducción que se le aplica a las barras de 3" durante la segunda etapa de laminación.

En el gráfico No 5 se observa los resultados obtenidos analizando el tamaño de grano a una barra de 3 1/2" de diámetro. Se puede notar que en la zona superficial de la barra tenemos un tamaño de grano pequeño pero a medida que avanzamos hacia la zona central, el tamaño de grano crece excesivamente. Esto se atribuye a que la deformación aplicada al reducir desde una sección de 100x100 mm a una sección de 88.9 mm de diámetro, no llega a deformar la zona central la cual a su vez tiene una velocidad de enfriamiento menor que la de la superficie de la barra generando las condiciones necesarias para el crecimiento de grano.

Se realizó similar análisis en las barras de molino de 3" de diámetro encontrándose un tamaño de grano más pequeño y homogéneo.

Estas observaciones son confirmadas mediante las fotomicrografías No 1,2,3,4,5 y 6.

6.3.9.- Alternativas en el Proceso de Laminación.

Como se ha establecido anteriormente la ruta de laminación hasta ahora utilizada consiste en Desbastar

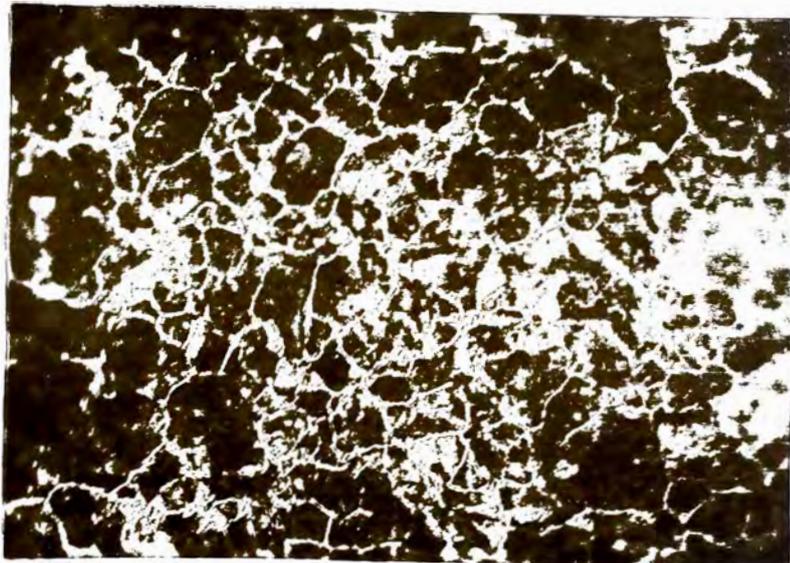
ANALISIS METALOGRAFICO

MUESTRA : Barra de Molino de Ø 3 " - Colada No S/N

Análisis de Tamaño de Grano - Método Mc Quaid Ehn - ASTM E112

No 1

100 X



FOTOMICROGRAFIA No 1 .- Zona intermedia de la sección de la barra.
Tamaño de grano No 5 - 6. (Fino) .

ANALISIS METALOGRAFICO

MUESTRA : Barra de Molino de 0 3 1/2 " - Canadiense

Análisis de Tamaño de Grano - Método Mc Quaid Ehn - ASTM E112

No 2

100 X



FOTOMICROGRAFIA No 2 .- Zona intermedia de la sección de la barra.
Tamaño de grano No 3 -4 - 5 .(Heterogeneo).

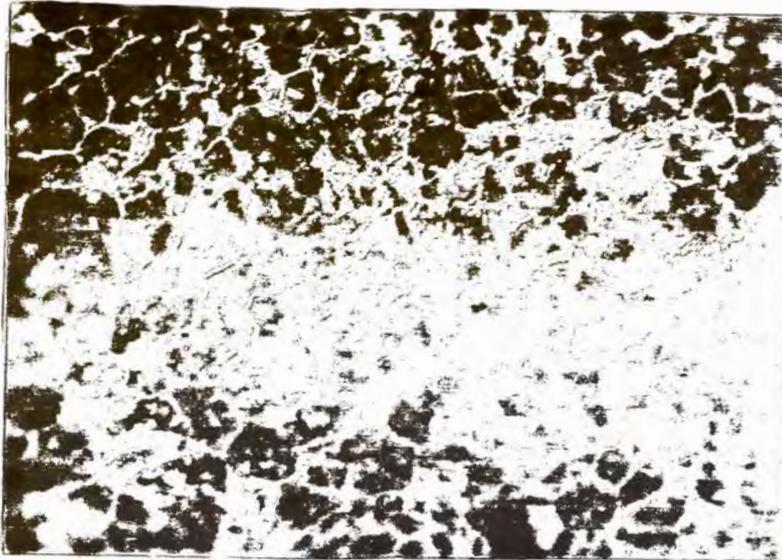
ANALISIS METALOGRAFICO

MUESTRA : Barra de Molino de 0 3 1/2" - Colada No 112015

Análisis de Tamano de Grano - Método Mc Quaid Ehn - ASTM E112

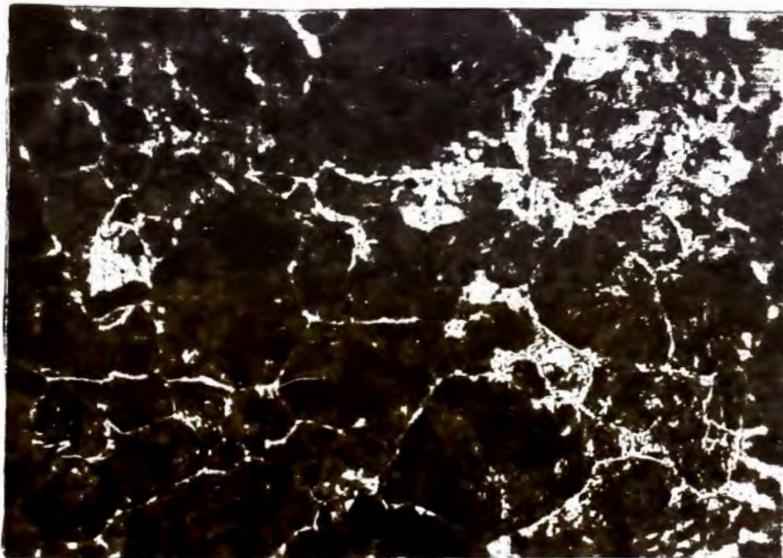
No 3

100 X



No 4

100 X



FOTOMICROGRAFIA

No 3 .- Zona superficial de la sección de la barra.
Tamano de grano No 5 - 6.

No 4 .- Zona intermedia de la sección de la barra.
Tamano de grano No 4 - 5 - 6 . (Heterogeneo)

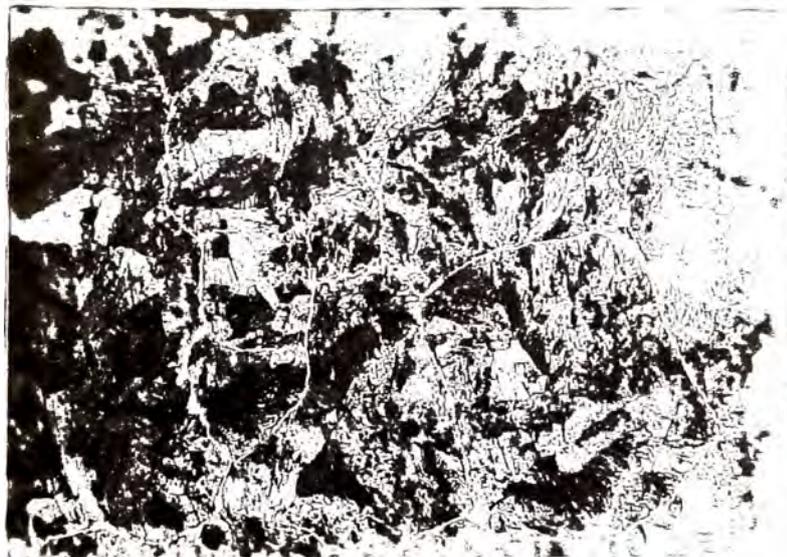
ANALISIS METALOGRAFICO

MUESTRA : Barra de Molino de O 3 1/2" - Colada No 112015

Análisis de Tamano de Grano - Método Mc Quaid Ehn - ASTM E112

No 5

100 X



FOTOMICROGRAFIA No 5 .- Zona central de la sección de la barra.
Tamano de grano No 4 - 5. (Grueso).

ANALISIS METALOGRAFICO

MUESTRA : Barra de Molino de Ø 3 1/2 " - Colada de Prueba No 116203
Análisis de Tamaño de Grano - Método Mc Quaid Ehn - ASTM E112

No 6

100 X



FOTOMICROGRAFIA No 6 .- Zona intermedia de la sección de la barra.
Tamaño de grano No 4 - 5 .

la palanquilla de Colada Continua de 150x150 mm a 100x100 mm y luego en una segunda etapa de laminación, de 100x100 mm a redondo de 88.9 o 76 mm de diámetro (3 1/2" y 3" respectivamente).

De los resultados de los análisis de tamaño de grano realizados, se ha observado que el tamaño de grano obtenido en las barras de 3 1/2" de diámetro, es muy heterogéneo esto debido a la poca reducción aplicada en la segunda etapa de laminación.

Una ruta de laminación alternativa consiste en laminar la palanquilla de 150x150 mm a 120x120mm y luego a redondo de 88,9 mm de diámetro, en una segunda etapa de laminación.

El siguiente es un análisis de las dos alternativas.

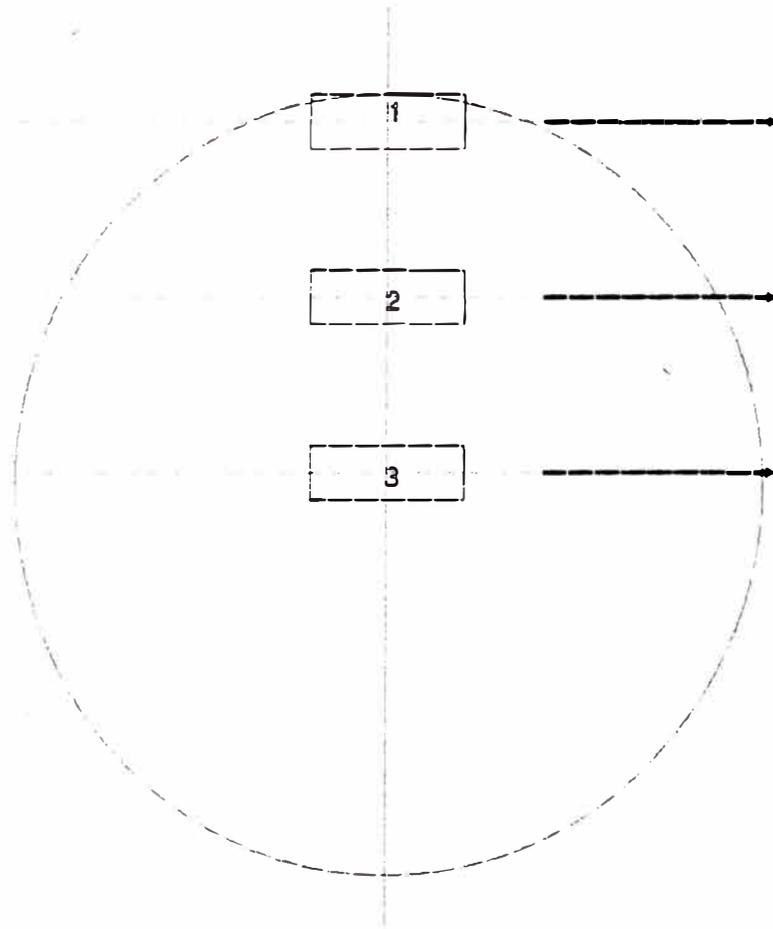
ALTERNATIVA Nº	ETAPA Nº	SECCION INICIAL (mm)	SECCION FINAL (mm)	% R REDUCCION	ALARGA- MIENTO (%)
1	1	150x150	100x100	55,5	125,0
	2	100x100	88,9	38,0	61,1
2	1	150x150	120x120	36,0	56,3
	2	120x120	88,9	57,0	132,0

El porcentaje de reducción aplicado en la en la 2da etapa de laminación en la alternativa No 2 para obtener las barras de 3 1/2" de diámetro, es muy similar al aplicado en la 2da etapa de laminación para obtener las barras de 3" de diámetro, observándose en estas últimas un tamaño de grano fino y homogéneo.

La alternativa No 2 somete al material a un mayor porcentaje de reducción y alargamiento en la 2da etapa de laminación, lo cual redundo en beneficio de las propiedades metalúrgicas del producto terminado.

Se observó que el área de la porosidad central en las barras de molino de 3" de diámetro es mucho menor que la observada en las barras de molino de 3 1/2" de diámetro, debido a la mayor reducción a la que son sometidas en la 2da etapa de laminación.

BARRA DE MOLINO DE 3 1/2"- COLADA 112015



TAMAÑO DE GRANO	DUREZA (HB)
5 - 6	289 HB
4 - 5 - 6	277
4 - 5	277

Gráfico No. 5

CUADRO No 16.- ANALISIS DE TAMANO DE GRANO EN BARRAS DE MOLINO.

No	BARRA DE MOLINO DIAMETRO	PROCEDENCIA	MUESTRA No	TAMANO DE GRANO ASTM - E45	OBSERVACIONES
1	3 1/2"	A.A.S.A.	1	4 -5- 6	TAMANO DE GRANO HETEROGENEO
2	3 1/2"	A.A.S.A.	2	4 -5- 6	TAMANO DE GRANO HETEROGENEO
3	3 1/2"	A.A.S.A.	3	5 - 6	TAMANO DE GRANO HOMOGENEO
4	3 1/2"	A.A.S.A.	4.1	5 -6	TAMANO DE GRANO HOMOGENEO ZONA EXTERNA
5	3 1/2"	A.A.S.A.	4.2	4 -5- 6	TAMANO DE GRANO HETEROGENEO ZONA INTERMEDIA
6	3 1/2"	A.A.S.A.	4.3	4 - 5	TAMANO DE GRANO HETEROGENEO ZONA CENTRAL
7	3"	A.A.S.A.	8	5 - 6	TAMANO DE GRANO HOMOGENEO
8	3"	A.A.S.A.	30	5 - 6	TAMANO DE GRANO HOMOGENEO
9	3"	A.A.S.A.	35	5 - 6	TAMANO DE GRANO HOMOGENEO
10	3"	A.A.S.A.	36	5 - 6	TAMANO DE GRANO HOMOGENEO
11	-	IMPORTADA	1	4 - 5	ESTRUCTURA GRANULAR HOMOGENEA
12	-	IMPORTADA	2	4 - 5	ESTRUCTURA GRANULAR HOMOGENEA

**7.- ANALISIS MICRO y MACROESTRUCTURA Y
PROPIEDADES MECANICAS DE CAMPAÑAS
DE FABRICACIÓN DE BARRAS DE
MOLINO ANTERIORES.**

Las barras de molino fabricados en campañas anteriores a este estudio fueron probadas en diferentes plantas concentradoras con resultados poco alentadores, se aprovechó esto para tomar muestras de residuos de barras, expulsados por la descarga del molino.

Fueron tomados datos estadísticos de áreas de la sección de rotura, composición química, dureza, etc, con la finalidad de obtener relaciones entre estos factores, que nos guíen a optimizar las propiedades del producto.

En los Cuadros No 17,18 y 19 se realiza un resumen analítico de las principales características de las barras de molino fabricadas en campañas anteriores y las obtenidas en las últimas, luego de realizar algunos cambios en el diseño metalúrgico del proceso. Así mismo se muestra las características de las barras de molino fabricadas por SiderPerú.

7.1.- Análisis de Falla de Barras de Molino.

Se analizaron barras de molino rotas en servicio que

CAMPAÑAS DE FABRICACION DE BARRAS DE MOLINO DE 3 1/2" X 4725 mm (ANTERIORES) - EVALUACION DE LAS PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE CALIDAD.-

CUADRO No 17

No Ord.	No Colada	COMPOSICION QUIMICA (%)												NITROG (ppm)	OXIGEN (ppm)	DUREZA BRINELL (HB)	IMPACT CHARPY (JOULES)	TAMAN GRANO (ASTM)	MICROINCLUSION ASTM - E112	MICRO-ESTRUCTU	MACROEST (MUESTRAS)		
		C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Sn	Al	Ti								ENSA YAD	OK	PORO GRIE
1	210370	0.97	1.01	0.23	0.015	0.037	0.12	0.09	0	0.29	0.022	0.01	0.002	135	75	297	4-3	4-5-6	OXIDOS Df1	PERL-CEM	5	5	0
2	210371	0.95	0.988	0.21	0.013	0.028	0.08	0.07	0.01	0.25	0.017	0.01	0.002	140	70	290	4-5	4-5-6	OXIDOS Df1	PERL-CEM			
3	210372	0.93	0.99	0.28	0.012	0.038	0.1	0.07	0.01	0.26	0.016	0.02	0.005	112	92	294	4-5	5-6	OXIDOS Dg1	PERL-CEM	12	10	2
4	112015	0.87	0.89	0.23	0.02	0.031	0.12	0.06	0.01	0.21	0.014	0.01	0.005	72	110	296	7	5-6	OXIDOS Df1	PERLITA	4	3	1
5	210413	1	0.98	0.26	0.018	0.026	0.11	0.08	0	0.3	0.018	0.01	0.003	132	90	304	2-2	5-6	OXIDOS Df1	PERL-CEM	5	2	3
6	210412	0.98	1.09	0.26	0.017	0.038	0.11	0.08	0.01	0.31	0.02	0.01	0.003	107	52	316	3-4	4-5-6	OXIDOS Df1	PERL-CEM	9	7	2
7	210414	0.99	0.97	0.25	0.018	0.026	0.11	0.08	0.01	0.3	0.018	0.01	0.003	135	77	303	1-3	4-5-6	OXID Df2 SIL Cg2	PERL-CEM	5	3	2

CAMPAÑAS DE FABRICACION DE BARRAS DE MOLINO DE 3" X 3620 mm (ULTIMAS) - EVALUACION DE LAS PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE CALIDAD.-

CUADRO No 18

No Ord.	No Colada	COMPOSICION QUIMICA (%)												NITROG (ppm)	OXIGEN (ppm)	DUREZA BRINELL (HB)	IMPACT CHARPY (JOULES)	TAMAN GRANO (ASTM)	MICROINCLUSION ASTM - E112	MICRO-ESTRUCTU	MACROEST (MUESTRAS)		
		C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Sn	Al	Ti								ENSA YAD	OK	PORO GRIE
1	211128	0.89	0.94	0.29	0.017	0.007	0.08	0.08	0.02	0.25	0.021	0.001	0.002	98	69	313	6	5-6	OXIDOS Df2	PERLITA	7	7	0
2	211129	0.84	0.91	0.2	0.011	0.011	0.08	0.07	0.01	0.24	0.033	0.002	0.005	80	90	298	6	5-6	OXID Df2 SIL Cg2	PERLITA	5	5	0
3	211130	0.81	0.92	0.3	0.017	0.017	0.08	0.08	0.02	0.25	0.021	0.011	0.006	96	93	311	4-5	5-6	OXIDOS Df2	PERLITA	8	8	0
4	211131	0.74	0.92	0.26	0.013	0.013	0.09	0.08	0.02	0.25	0.022	0.006	0.006	76	72	292	7	5-6	OXIDOS Df2	PERLITA	8	7	1
5	211146	0.91	0.87	0.29	0.021	0.021	0.08	0.07	0.02	0.25	0.017	0.009	0.002	91	64	307	5	5-6	OXID Df2 SIL Cg1	PERLITA	7	7	0
6	211659	0.85	0.86	0.31	0.007	0.007	0.1	0.1	0.02	0.18	0.015	0.01	0.005	70	85	307	5.5-7.5	5-6	OXID Df3 SIL Cg4	PERLITA	4	3	1
7	211673	0.89	0.87	0.23	0.011	0.011	0.1	0.06	0.02	0.18	0.014	0.007	0.007	67	60	305	5-9	5-6	OXIDO Df1 SIL Cg2	PERLITA	6	6	0

Efectuando un análisis comparativo se puede observar que las últimas campañas de barras de molino no presentan grietas ni fuerte porosidad central, tienen mayor resilienci, menor contenido de C y Mn así como de Nitrógeno y Oxígeno, presentando un tamaño de grano austenítico más homogéneo, y su microestructura no presenta la fase Cementita.

- EVALUACION DE LAS PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE CALIDAD DE LAS BARRAS FABRICADAS POR SIDERPERU (PROMEDIOS).-

CUADRO No 19

No Ord.	No Colada	COMPOSICION QUIMICA (%)												NITROG (ppm)	OXIGEN (ppm)	DUREZA BRINELL (HB)	IMPACT CHARPY (JOULES)	TAMAN GRANO (ASTM)	MICROINCLUSION ASTM - E112		MACROEST (MUESTRAS)		
		C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Sn	Al	Ti								ENSA YAD	OK	PORO GRIE
1	SIDERPE	0.85	0.88	0.25	0.02	0.02	0.01	0.01	0	0.02	0.001	0.001	0.003	70	85	290	10	4-5-6	OXIDOS Df1		20	19	1

correspondían a campañas de fabricación anteriores, destinadas para la empresa minera "El Brocal".

Durante su uso éstas barras tuvieron un bajo rendimiento y se rompían en grandes diámetros. Esto motivó una visita técnica, de nuestra parte a la planta concentradora, tomándose muestras de barras rotas para su posterior análisis, cuyos resultados se muestran en el Cuadro No 20.

Con respecto a la composición química, estas barras presentan un elevado contenido de carbono, los demás elementos se encuentran en los niveles normales especificados. En la fabricación de estas barras no se utilizó ningún elemento microaleante.

Debido al alto contenido de carbono las barras presentan una elevada dureza, observándose en su microestructura la presencia de la fase frágil cementita.

El análisis del tamaño de grano de estas barras reveló un tamaño de grano No 5-6 ASTM heterogéneo.

Se efectuaron análisis de falla (con ayuda de un microscopio estereográfico) y de macroataque mediante los cuales se pudo determinar la presencia de grietas generadas por restos de escoria atrapada en el acero

y fuerte porosidad central.

Evaluando la incidencia de las variables analizadas llegamos a la conclusión que las que tuvieron una mayor influencia fueron : el alto contenido de carbono y los defectos internos observados.

7.1.1.- Porosidad central (Zona esponjosa).

7.1.1.1.- Descripción.

Son porosidades que aparecen en la zona del corazón de los productos laminados o forjados, como consecuencia de no haber cerrado durante estas operaciones los defectos centrales de las palanquillas o lingotes, asociadas a las segregaciones y rechupes.

7.1.1.2.- Causas.

Estos defectos deben soldarse durante la forja o laminación, pero a veces pueden quedar algunas porosidades por ser muy grandes estos defectos en la palanquilla o lingote, o porque la forja o laminación no se han llevado correctamente. Incluso en estas operaciones, especialmente en la laminación mal llevada puede aumentarse el tamaño de estos defectos.

CUADRO No 20 .- ANALISIS DE FALLA DE BARRAS DE MOLINO (DIAMETROS GRANDES)

No	MUESTRA No	COMPOSICION QUIMICA (%)													AREA DE ROTURA (mm ²)	DUREZA (HB)	TAMANO DE GRANO ASTM	OBSERVACIONES
		C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Sn	V	Al	Ti				
1	B18	1,11	0,93	0,36	0,017	0,020	0,15	0,07	0,02	0,19	0,014	0,002	0,020	-	2 587	335	5-6	ESCORIA ATRAPADA
2	B17	0,98	0,94	0,25	0,016	0,014	0,10	0,09	0,02	0,28	0,019	0,003	0,010	-	2 690	356	5-6	POROSIDAD CENTRAL FUERTE
3	B19	0,93	0,96	0,23	0,010	0,017	0,08	0,12	0,02	0,23	0,017	0,002	0,020	-	4 556	-	5	FISURA INTERNA
4	B2	0,96	0,88	0,30	0,020	0,010	0,14	0,09	0,02	0,20	0,027	0,002	0,017	-	2 912	333	-	POROSIDAD CENTRAL FUERTE
5	B1	0,97	0,92	0,35	0,016	0,015	0,15	0,07	0,02	0,20	0,014	0,002	0,020	-	2 530	331	-	FISURAS INTERNAS
6	B38	0,92	0,87	0,30	0,018	0,010	0,15	0,09	0,02	0,23	0,018	0,002	0,015	-	1 760	-	-	POROSIDAD CENTRAL FUERTE
7	B26	0,95	0,97	0,38	0,015	0,017	0,15	0,07	0,02	0,23	0,013	0,002	0,020	-	3 416	309	5	ESCORIA - POROSIDAD
9	B24	1,06	0,99	0,33	0,022	0,013	0,11	0,08	0,02	0,35	0,023	0,003	0,015	-	4 690	339	6	ESCORIA
10	B2N	0,93	0,86	0,25	0,022	0,012	0,18	0,08	0,02	0,21	0,015	0,003	0,002	-	2 958	308	5	ESCORIA
11	P12	1,03	0,92	0,26	0,030	0,015	0,19	0,09	0,02	0,24	0,019	0,003	0,018	-	1479	318	5 - 6	POROSIDAD CENTRAL FUERTE

7.1.1.3.- Acciones correctivas.

Incidir en un calentamiento adecuado, igualdad de temperatura y tiempo de permanencia.

7.2.-Gráficas Obtenidas Experimentalmente.-

Gráfico No 6 - Area de Rotura (mm²) vs %C.

Gráfico No 7.- Tamaño de Grano Austenítico vs Temperatura de Laminación (C).

Gráfico No 8.- Resiliencia (Joules) vs Tamaño de Grano Austenítico.

7.3.- Análisis Comparativo mediante Rendimiento en Servicio de las Barras Fabricadas en Tren Desbastador MB - 520 con las Barras fabricadas mediante el Proceso Tradicional.

Aprovechando que la Planta Concentradora "Paragsha" de Centromin Perú, cuenta con dos circuitos de molienda gemelos y en cada circuito hay un molino de barras, se programó una prueba industrial de 125 t de barras de molino de 3"x3620 mm fabricadas por Aceros Arequipa S.A.

Se dio inicio a la prueba el día 13 de Mayo de 1993 finalizando el día 30 de Junio del mismo año.

7.3.1.- Características de la Planta Concentradora "Paragsha".

Producción Actual = 6000 TPD (Toneladas por día)

GRAFICO No 6

Influencia del % C en el Area de Rotura de las Barras Molino

% C	0,73	0,71	0,70	0,78	0,80	0,80	0,80	0,88	0,89	0,89	0,90	0,93	0,95	0,97	0,98	0,99	1,00
AREA DE ROTURA (m.m ²)	250	625	1500	375	600	875	1650	1250	2600	2750	2000	300	3000	2100	2800	2575	3100

AREA DE ROTURA
(m.m²)

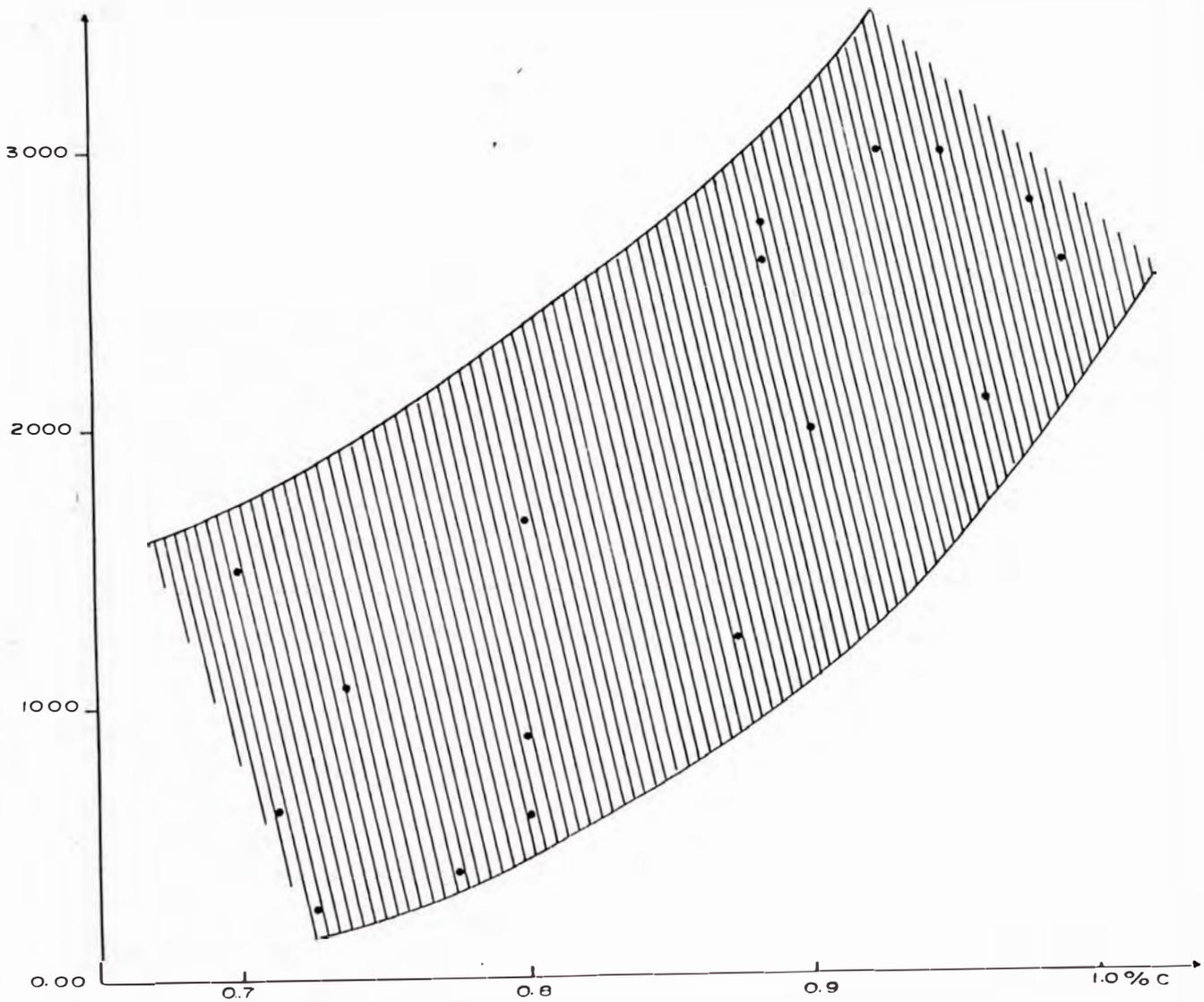


GRAFICO No 7

Influencia de Temperatura de Laminacion en el Tamaño de Grano Austénitico (ASTM-E-112)

No	TEMPERATURA DE LAMINACION (°C)	TAMAÑO DE GRANO AUSTENITICO
1	983	6 - 7
2	1005	5 - 7
3	1015	5 - 6 - 7
4	1035	4 - 5

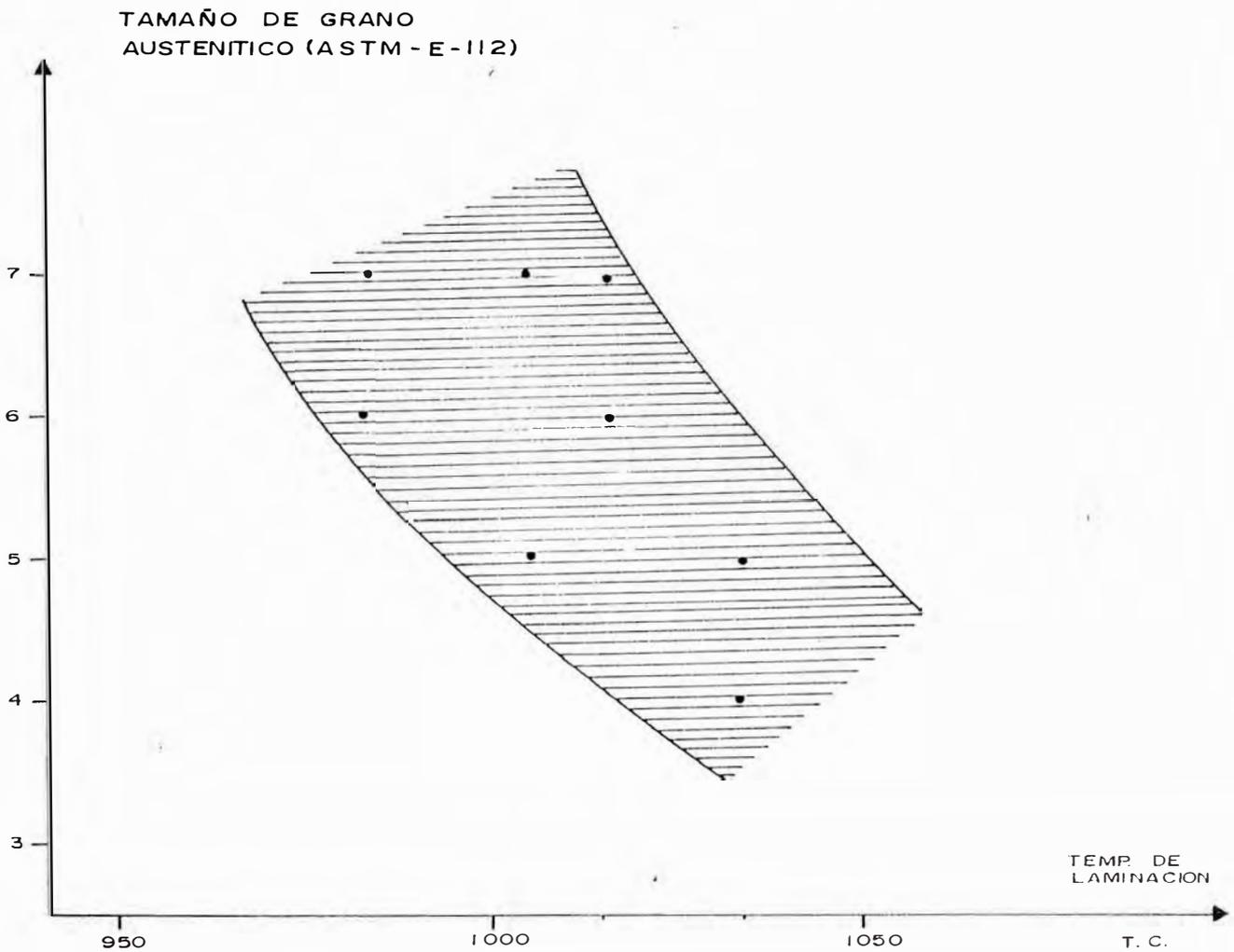
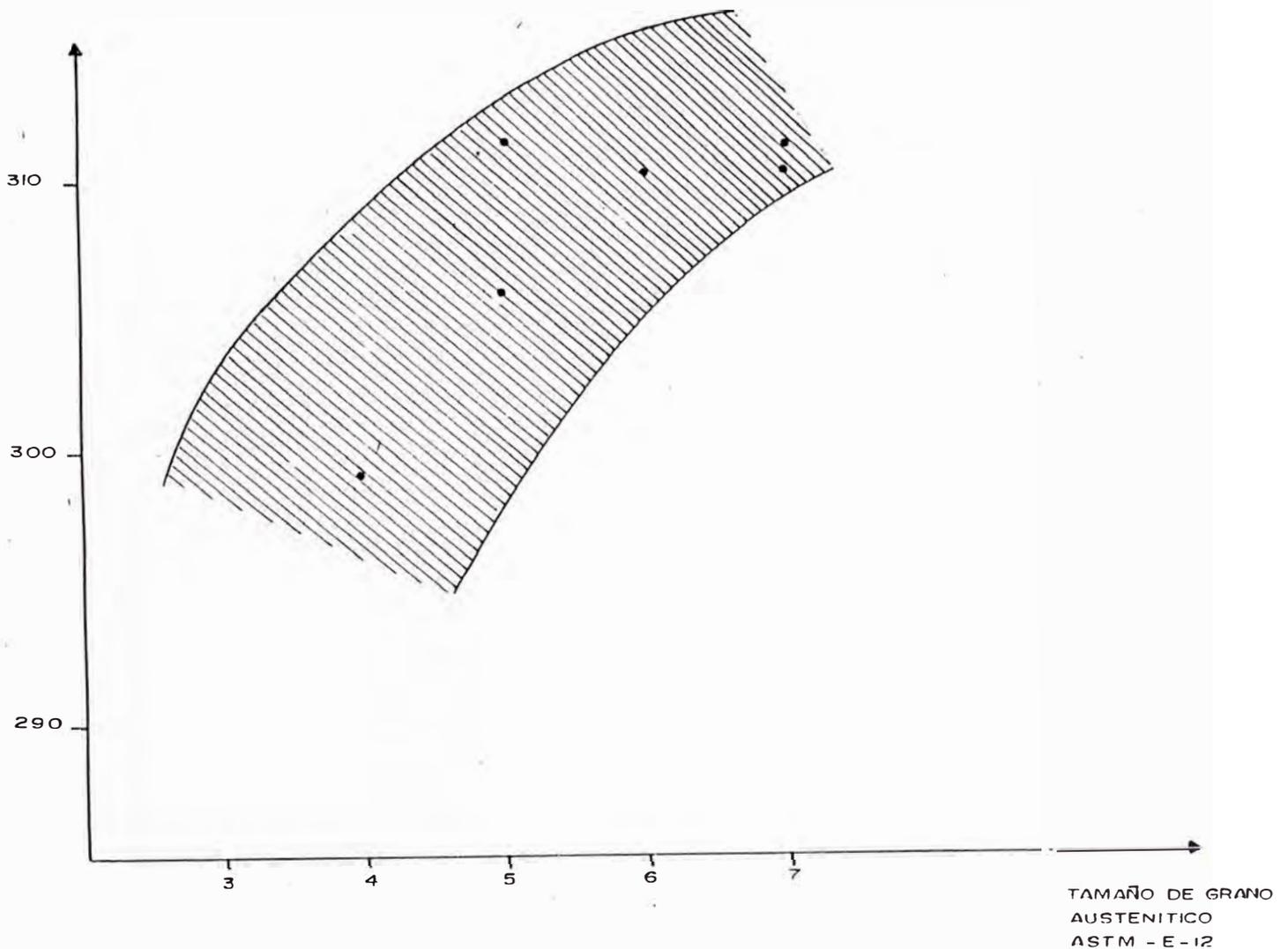


GRAFICO No 8

Influencia del Tamaño de Grano Austenítico en la Resiliencia

No	TAMAÑO DE GRANO AUSTENITICO ASTM-E-	RESILIENCIA (JOULES)
1	5	4 - 6
2	6	5 - 7
3	7	6 - 7

RESILIENCIA
(JOULES)



Número de Circuitos de Molienda = 2 (en paralelo).
Dimensiones de los Molinos de Barras = 9'x12' (DxL).
Work Index del mineral = 12,5 Kwh /ton.
Tamaño 80 % de partícula alimentada F80 = 10800 u
Tamaño 80 % de partícula producto p80 = 900 u
Consumo promedio de acero (un circuito) = 0.34
Kg/t.

7.3.2.- Método de realización de la Prueba.

La prueba se realizó alimentando barras de Sider Perú (fabricadas por el método tradicional) al circuito de molienda No 1. Simultáneamente en el circuito de molienda No 2 se alimentaba barras fabricadas por Aceros Arequipa (nuevo método de fabricación).

El propósito de la prueba fue analizar

El Rendimiento de las barras de Aceros Arequipa
S.A. y
La Eficiencia de Molienda.

7.3.3.- Resultados de la Prueba.

Evaluación del rendimiento - Mes de Junio

Semana	Molino de Barras Nro.1 (SIDER)			Molino de Barras Nro.2 (A.A.S.A.)		
	Barras Alimentadas		Tonelaje tratado (TM)	Barras Alimentadas		Tonelaje tratado (TM)
	Pzas.	Kg.		Pzas.	Kg.	
1	56	7,122	11,446	63	8,012	11,948
2	56	7,122	20,071	56	7,122	20,815
3	56	7,122	20,371	56	7,122	21,193
4	56	7,122	20,433	56	7,122	20,944
5	86	3,560	14,514	28	3,560	14,981
Total	252	32,048	86,835	259	32,933	89,917
Consumo de Acero (Kg/TM)	0,369			0.366		

Cuadro comparativo de rendimiento por meses :

Meses	Molino de barras Nro 1 (SIDER PERU) (kg/TM)	Molino de barras Nro.2 (A.A.S.A) (kg/TM)
Mayo	0.287	0.316
Junio	0.369	0.366

7.3.4.- Conclusiones de la Prueba.

La prueba de las barras de molino de 3"x3620 mm fabricadas por Aceros Arequipa bajo el nuevo proceso de fabricación, fue exitosa.

Los rendimiento logrados utilizando barras de Sider Perú así como la eficiencia de Molienda no se han visto alterados por el uso de las nuevas barras de

Aceros Arequipa S.A.

La Superintendencia de la Planta concentradora "Paragsha" dio su visto bueno para seguir utilizando las barras de A.A.S.A. en su proceso productivo.

8.- ANALISIS DE COSTOS DE PRODUCCION**8.1.- Costo de Producción Planta Acería**

I) Costos Directos	\$/t
A) Materia Prima	
Chatarra	150,88
Ferroaleaciones	12,66

	163,55
B) Gastos de Fabricación	
Energía Eléctrica	15,07
Petróleo	1,74
Otros insumos	
Refractarios	19,00
Electródos	10,71
Desoxidantes	11,24
Thermopares	0,59
Varios	9,09

C) Mano de obra	5,51
-----------------	------

TOTAL COSTOS DIRECTOS	236,49
-----------------------	--------

II) Costos indirectos

Depreciación	15,71
--------------	-------

Energía Eléctrica	6,54
-------------------	------

Mantenimiento y Servicios	5,68
---------------------------	------

Suministros: Lubricantes	2,06
--------------------------	------

Diversos	6,14
----------	------

Mano de obra	6,75
--------------	------

Seguros	1,16
---------	------

Otros	1,20
-------	------

TOTAL COSTOS INDIRECTOS	45,24
-------------------------	-------

TOTAL COSTOS DE PRODUCCION PLANTA ACERÍA	281,73
------------------------------------------	--------

8.2.- Costos de Producción Planta de Laminación.

I) Costos Variables	US \$/t
Palanquilla	281,73
Electricidad	8,25
Petróleo	10,09
Utillaje	4,50
 TOTAL COSTOS VARIABLES	 304,57
 II) Costos Fijos	
Depreciación	16,40
Mano de obra	21,09
Mantenimiento	2,23
Seguros	1,11
Suministros	6,15
Varios	2,08

TOTAL COSTOS FIJOS		49,06
COSTO TOTAL DE PRODUCCION DEL PRODUCTO TERMINADO		353,63
PRECIO DE VENTA AL PUBLICO	US \$/t	550,00
PRECIO DE VENTA AL PUBLICO (COMPETENCIA	US \$/t)	565,00

9.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1.- De los resultados obtenidos en la Prueba industrial realizada en la Planta Concentradora "Paragsha" de Centromin Perú, puede concluirse que es posible fabricar barras de molino de 3" de buena calidad en un Tren Desbastador MB - 520, a partir de palanquillas de 150 x 150 mm de sección.
2. La fabricación de barras de molino de 3 1/2" no es conveniente en este tipo de Tren debido a la muy baja reducción que se aplica a la palanquilla de 150x150 mm, para llegar a un diámetro de barra de 88,9 mm (3 1/2"). Por lo cual no se recomienda su fabricación.
- 3.- Deberá tenerse en consideración que los resultados exitosos, con respecto a las barras de molino de 3", fueron obtenidos debido a un seguimiento exhaustivo de cada uno de los parámetros del proceso. Es decir cualquier variable fuera de control durante el proceso de fabricación, afectará notablemente la calidad del producto terminado.
- 4.- Los factores de principal importancia durante el

procesos de fabricación son:

La composición química.- Restringiendo el contenido de elementos fragilizantes tales como: P, S, Cr, Mo, Cu, y Sn , así como la presencia de gases disueltos en el acero tales como: el oxígeno y principalmente el nitrógeno que actúa disminuyendo notablemente la resistencia al impacto.

La macroestructura de las palanquillas de 150x150 mm deberán estar libres de defectos internos ya que con la baja reducción aplicada estos no desaparecerán durante el proceso de laminación. Esto hace de fundamental importancia un adecuado trabajo en Colada Continua, manteniendo un bajo superheat.

Otro de los aspectos importantes es la limpieza del acero, que deberá estar libre de macroinclusiones por lo cual se requiere un adecuado tiempo de Stirring y reposo del acero en la cuchara, con el objeto de permitir el ascenso y flotación de las macroinclusiones en el acero líquido.

La Temperatura de laminación tiene una gran influencia en el tamaño de grano austenítico

obtenido, por lo cual esta deberá ser obligatoriamente baja; así como el tiempo de permanencia en el horno de recalentamiento deberá ser el mínimo necesario para garantizar una temperatura homogénea a lo largo de la palanquilla.

- 5.- El uso del microaleante Ti, dio buenos resultados dado que le dio una adecuada dureza a las barras permitiendo de esta manera bajar el % C.
- 6.- Cualquier defecto interno que presente la barra de molino, así como un tamaño de grano austenítico grande y la presencia de la fase Cementita, determinará su falla prematura y un bajo rendimiento.

10.- BIBLIOGRAFIA

1.- Defectos y Fallos de los Metales

E.P. Polushkin

Elsevier Publishing Company Amsterdam (Holanda)

2.- Lingotamento Continuo de Billets

Lauro José de Salles Chevrant

Associacao Brasileira de Metais Sao Paulo 1989

3.- Aciaria Elétrica

Lauro José de Salles Chevrant

Associacao Brasileira de Metais Sao Paulo 1989

4.- Técnica de Laminación Controlada ILAFA 89

5.- Processing and Properties of Steel

Institute of Metals División The Metallurgical Society
of the American Institute of Mining, Metallurgical and
Petroleum Engineers Inc.

6.- Porosidad Central en Palanquillas

F. Meyer - W. Engelmann Stah-u Elsen 1990

7.- Figuras Internas en Palanquillas

G. Van Drunen

IronMaking and Steelmaking 1985

8.- Steel Grinding Media Used in the United States and
Canada

D.E. Nass

Reserve Mining Company 1988

9.- Titanium in Carbon Steels

The Metallurg Companies 1990

10.- The Strength in HSLA is the Microalloying
Ironage - Metals Producer 1987

Robert R. Irving

11.- Metalografia Tomo I y II

A. P. Guliaev

Editorial MIR 1983

12.- Metalurgia del Acero

V. A. Kudrin

Editorial MIR 1984

13.- La Fatiga de los Metales

R. Cazaud
Editorial Aguilar
Madrid 1978

14.- Metalurgia General

Benard Philibert

Editorial Hispano Europea Barcelona Espana.

15.- Producción Siderúrgica

A. T. Peters

Editorial Limusa 1985.

11. ANEXOS.

LAMINA I - Imágenes tipo Jernkontoret (fin)

C
(Tipo silicato)

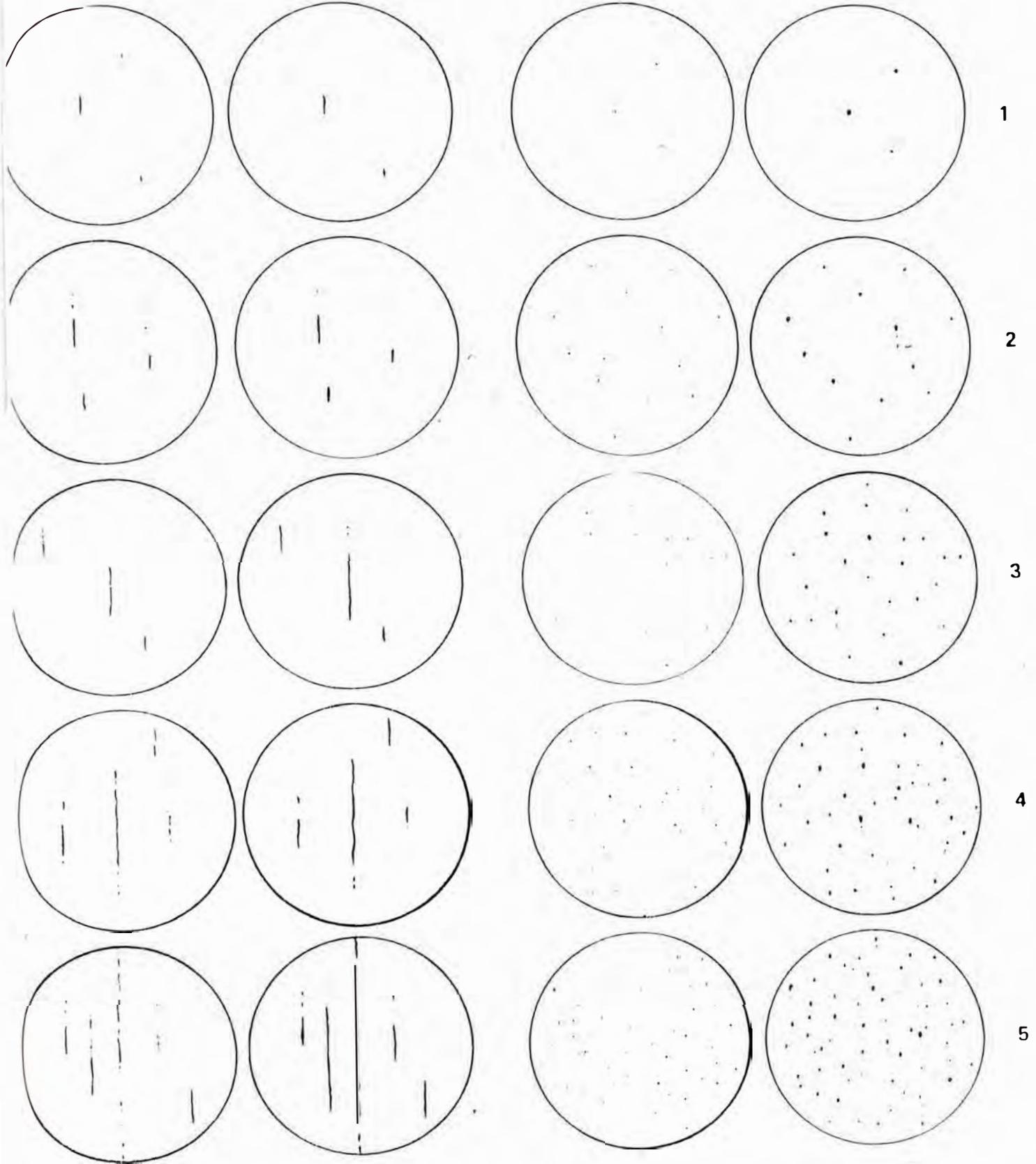
D
(Tipo óxidos globulares)

Série fina
Espesor hasta
unas 5 μm

Série gruesa
Espesor hasta
unas 9 μm

Série fina
Diámetro hasta
unas 8 μm

Série gruesa
Diámetro hasta
unas 12 μm



1

2

3

4

5

LAMINA I - Imágenes tipo Jernkontoret

A
(Tipo sulfuro)

B
(Tipo alumina)

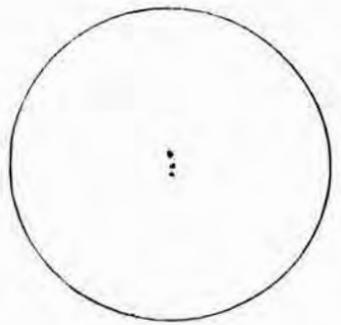
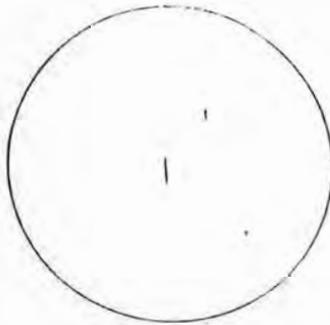
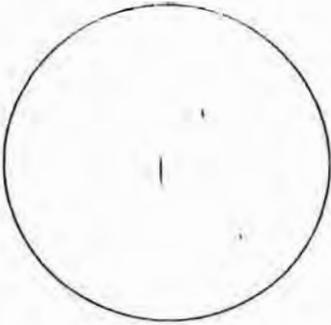
Serie fina
Espesor hasta
unos 4 μm

Serie gruesa
Espesor hasta
unos 6 μm

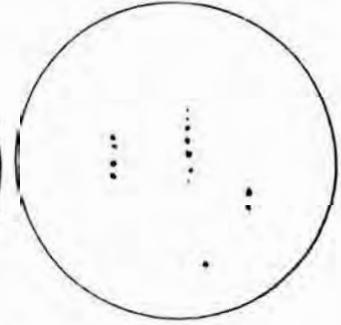
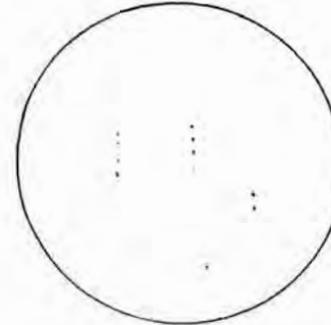
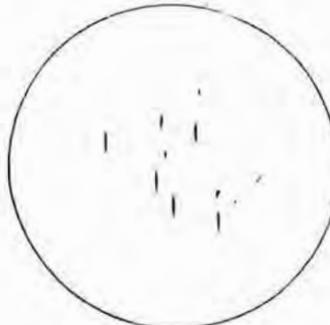
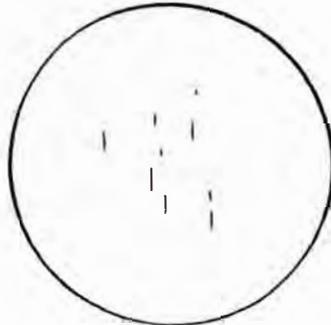
Serie fina
Espesor hasta
unos 9 μm

Serie gruesa
Espesor hasta
unos 15 μm

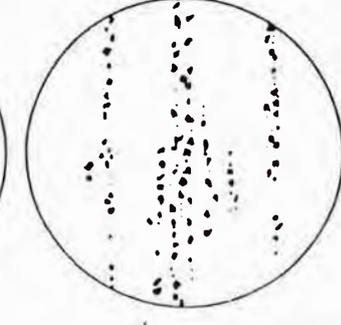
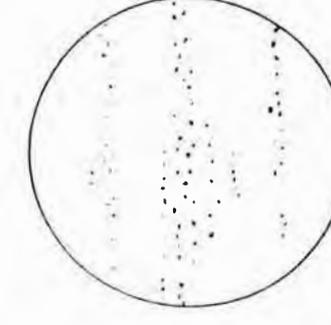
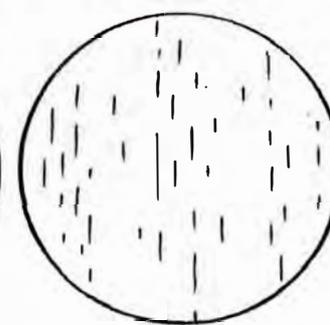
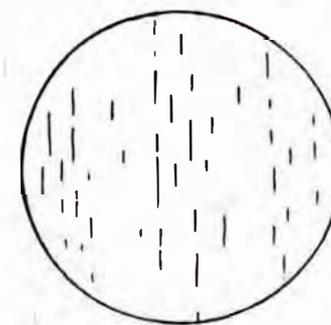
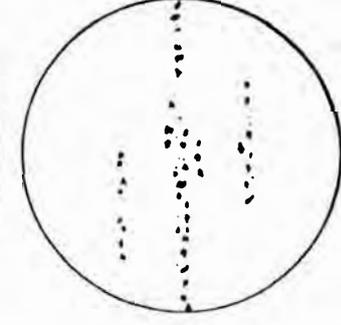
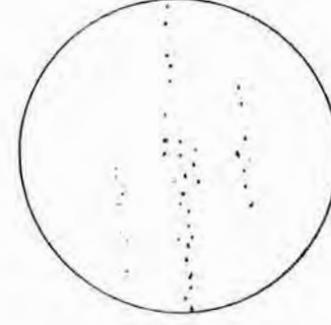
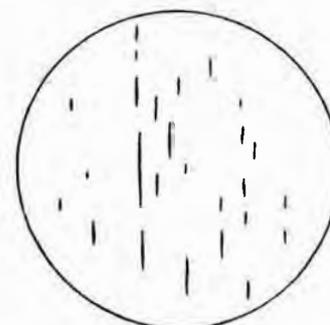
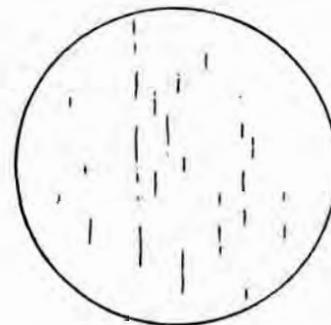
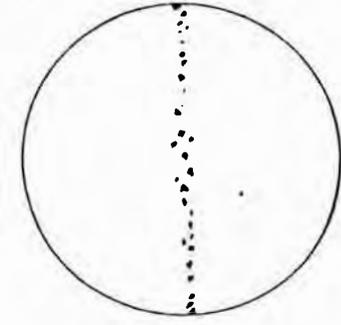
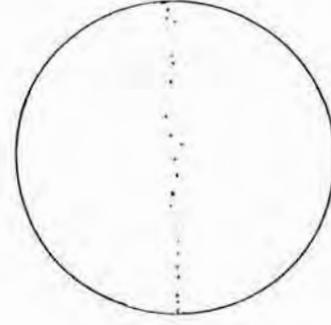
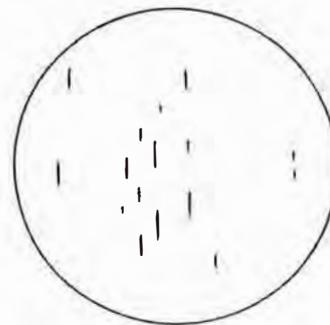
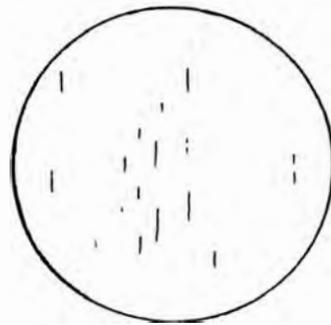
1



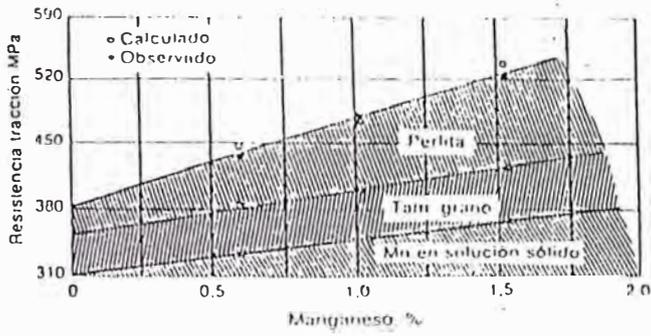
2



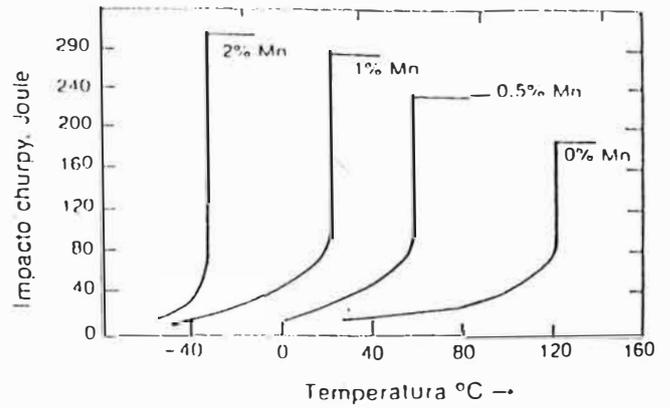
3



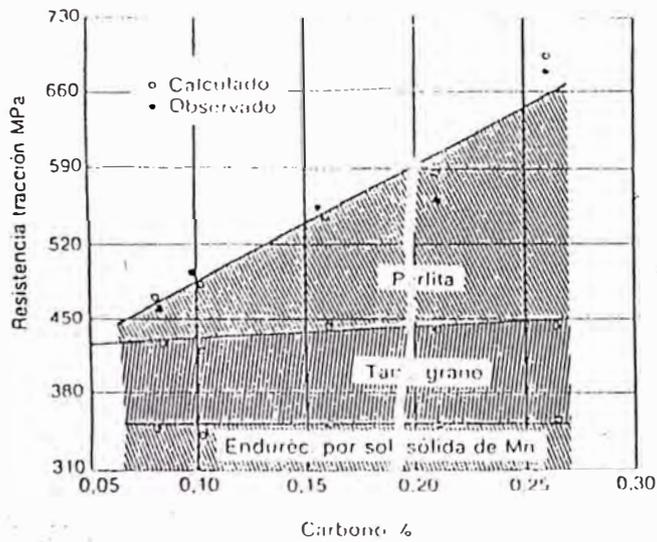
Efecto del Mn sobre la resistencia



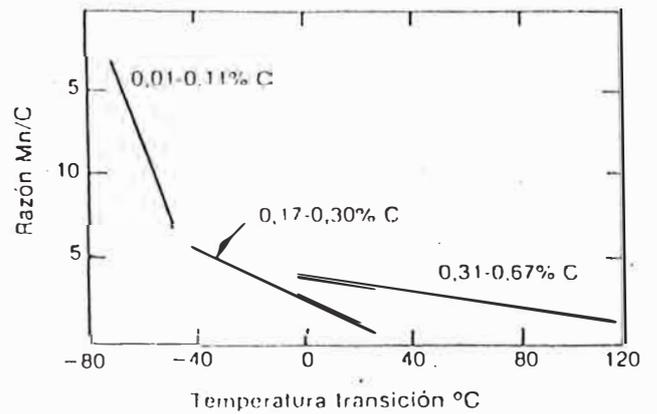
Efecto del contenido de manganeso sobre las curvas de energía de impacto



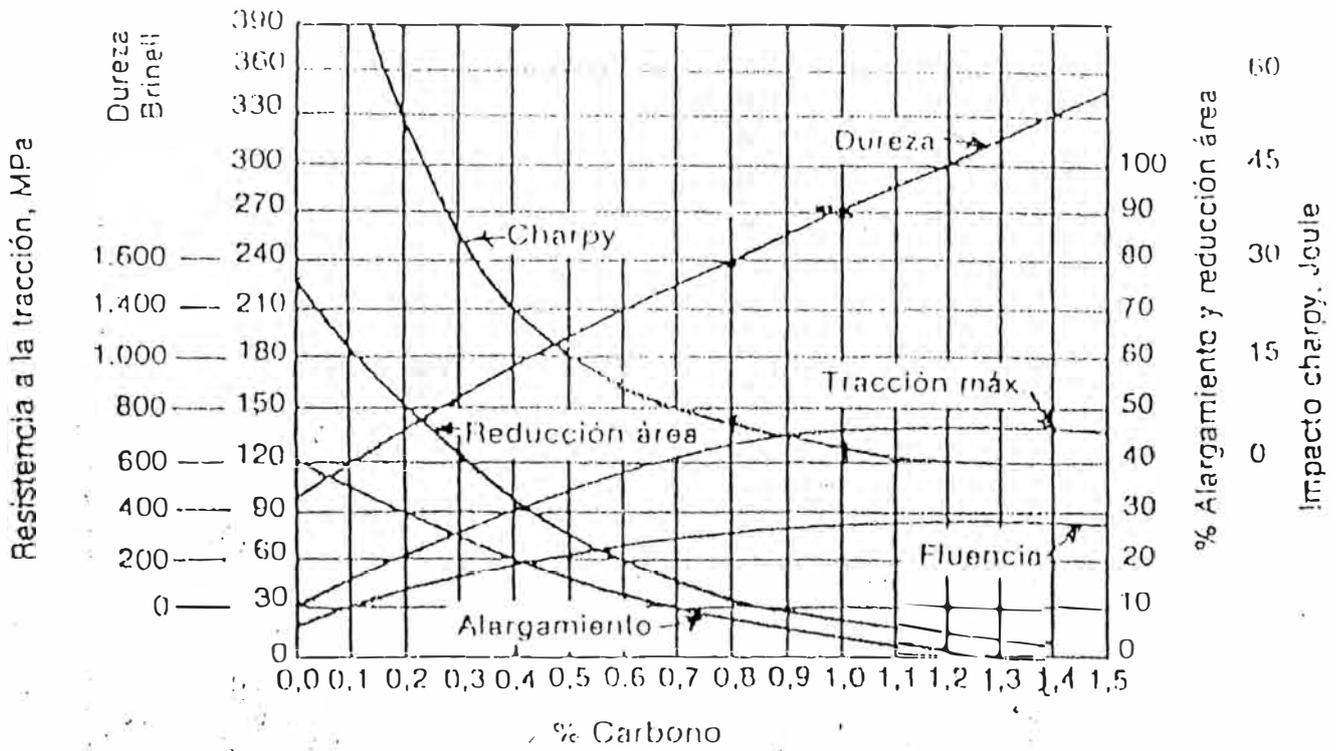
Efecto del C sobre la resistencia



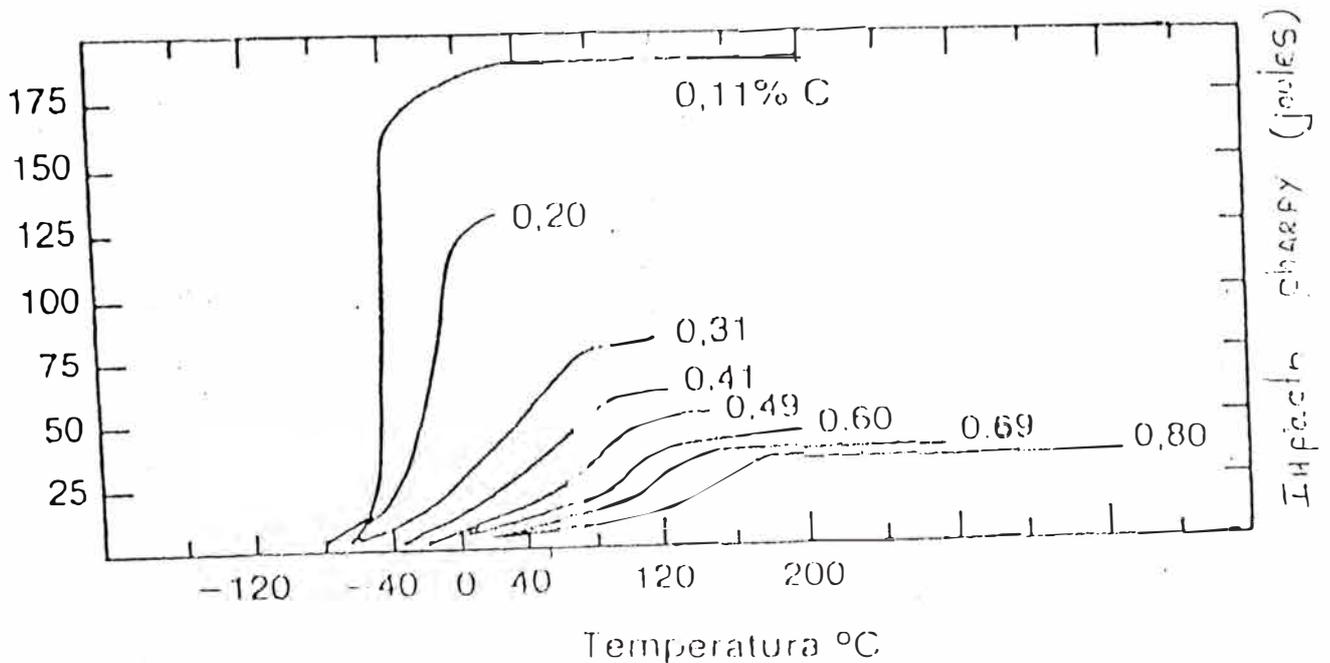
Efecto de la razón Mn/C sobre la temperatura de transición dúctil-frágil (1)



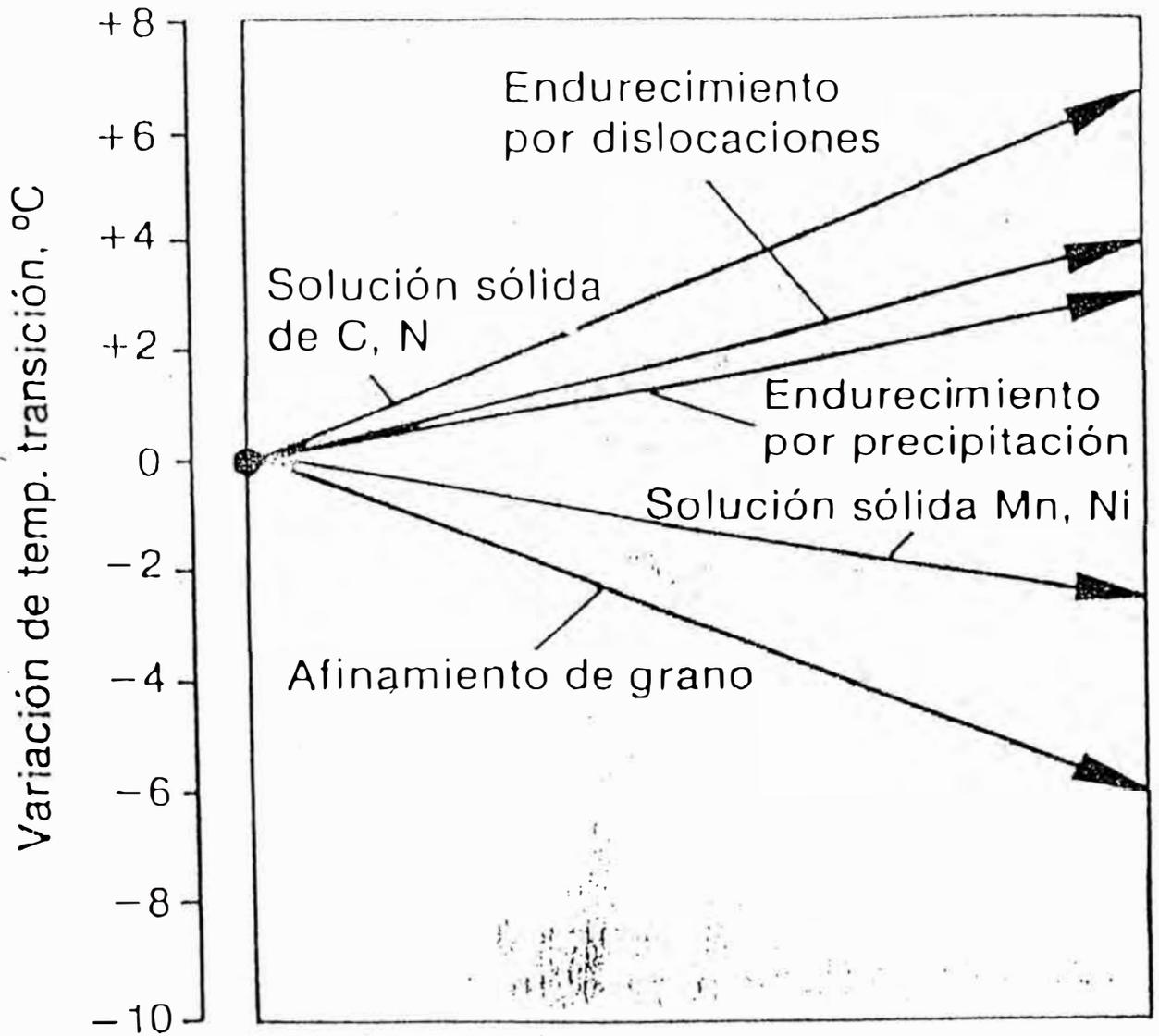
Efecto del contenido de Carbono sobre las propiedades del acero laminado en caliente



Efecto del contenido de carbono sobre las curvas de energía de impacto

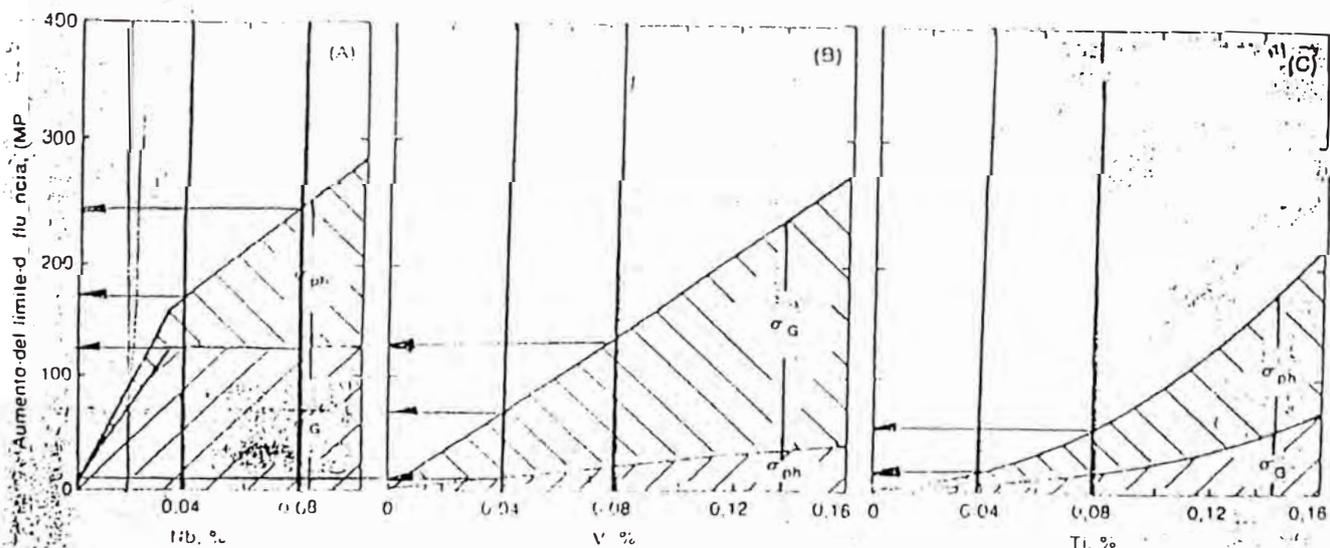


Diferentes mecanismos de endurecimiento y su efecto sobre la temperatura de transición dúctil-frágil

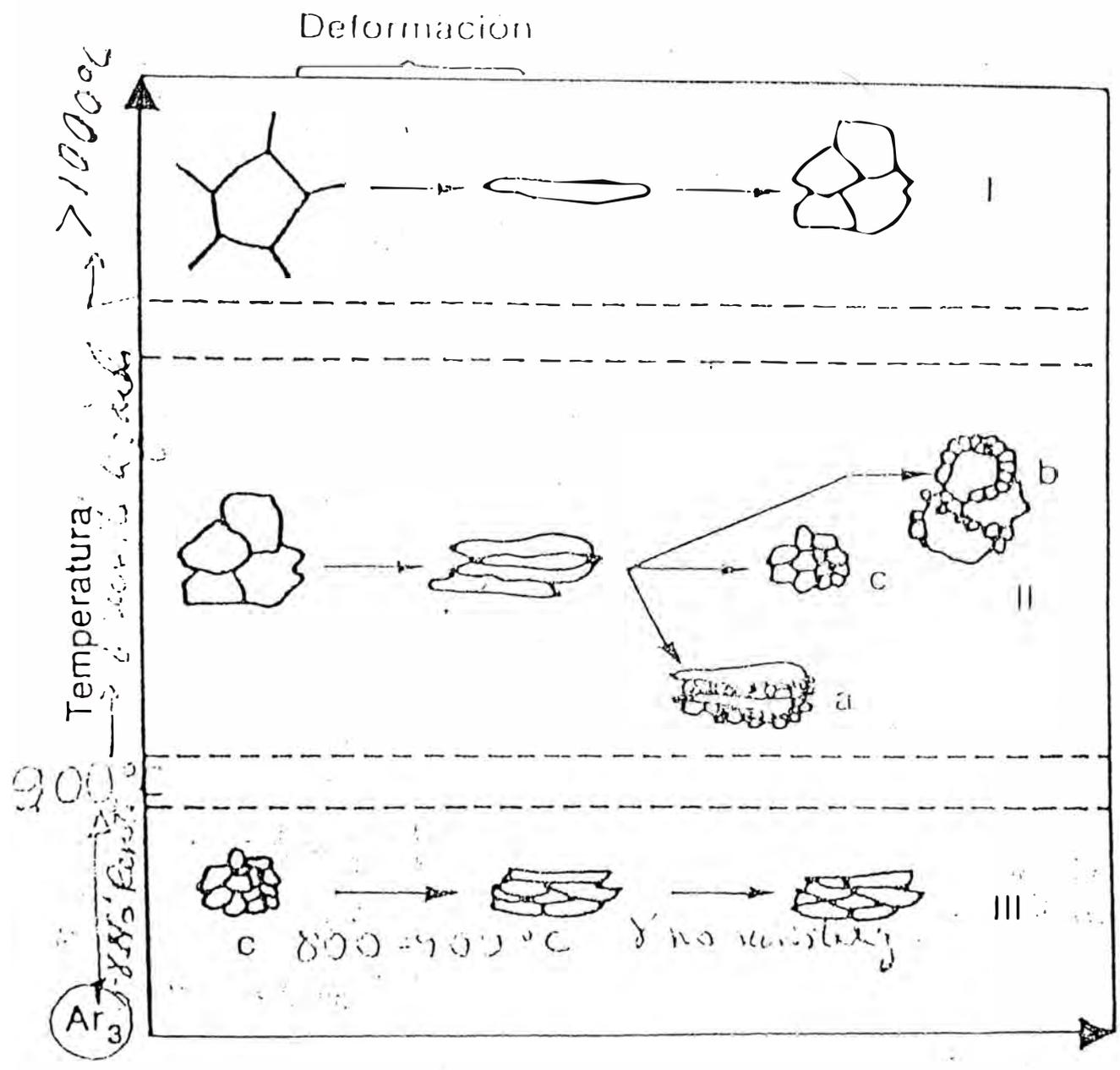


10 MPa incremento resistencia a la fluencia

Correlación entre el tenor de elemento microaleante y el aumento del límite de fluencia debido al refinamiento de grano (σ_G) y endurecimiento por precipitación (σ_{ph})



Cambios en la estructura austenítica por laminación

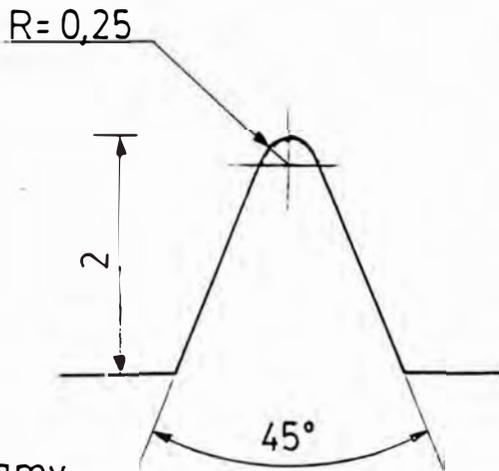
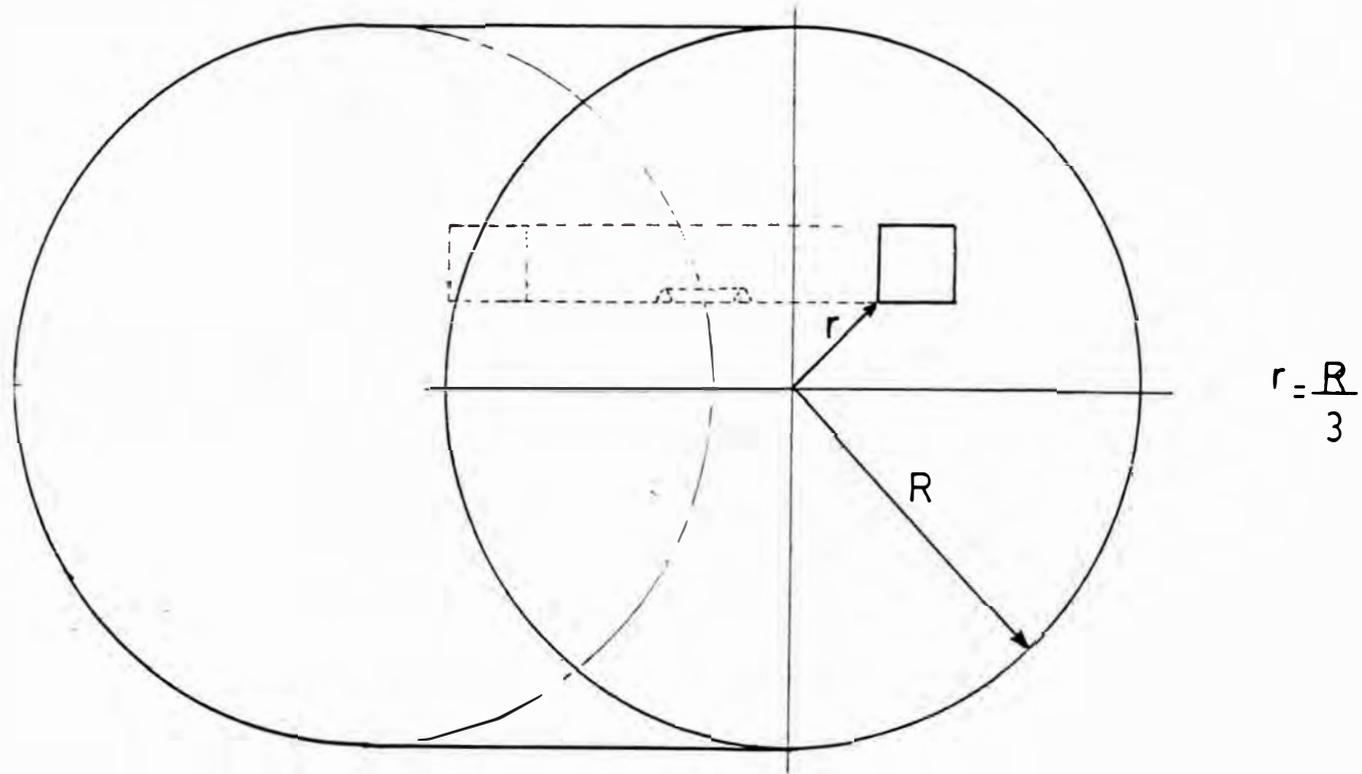




ACEROS AREQUIPA

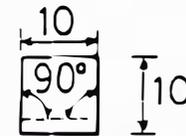
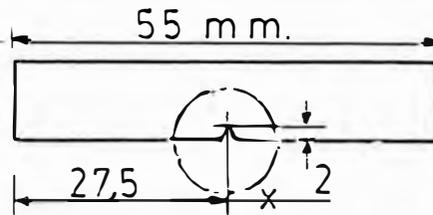
INVESTIGACIONES METALURGICAS

PROBETA PARA ENSAYO DE IMPACTO - CHARPY



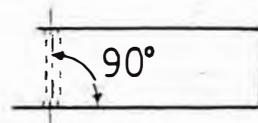
EMS/gmv

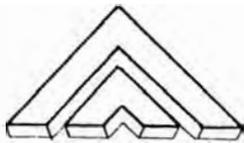
DETALLE "X"



NOTA:-MEDIDAS EN mm

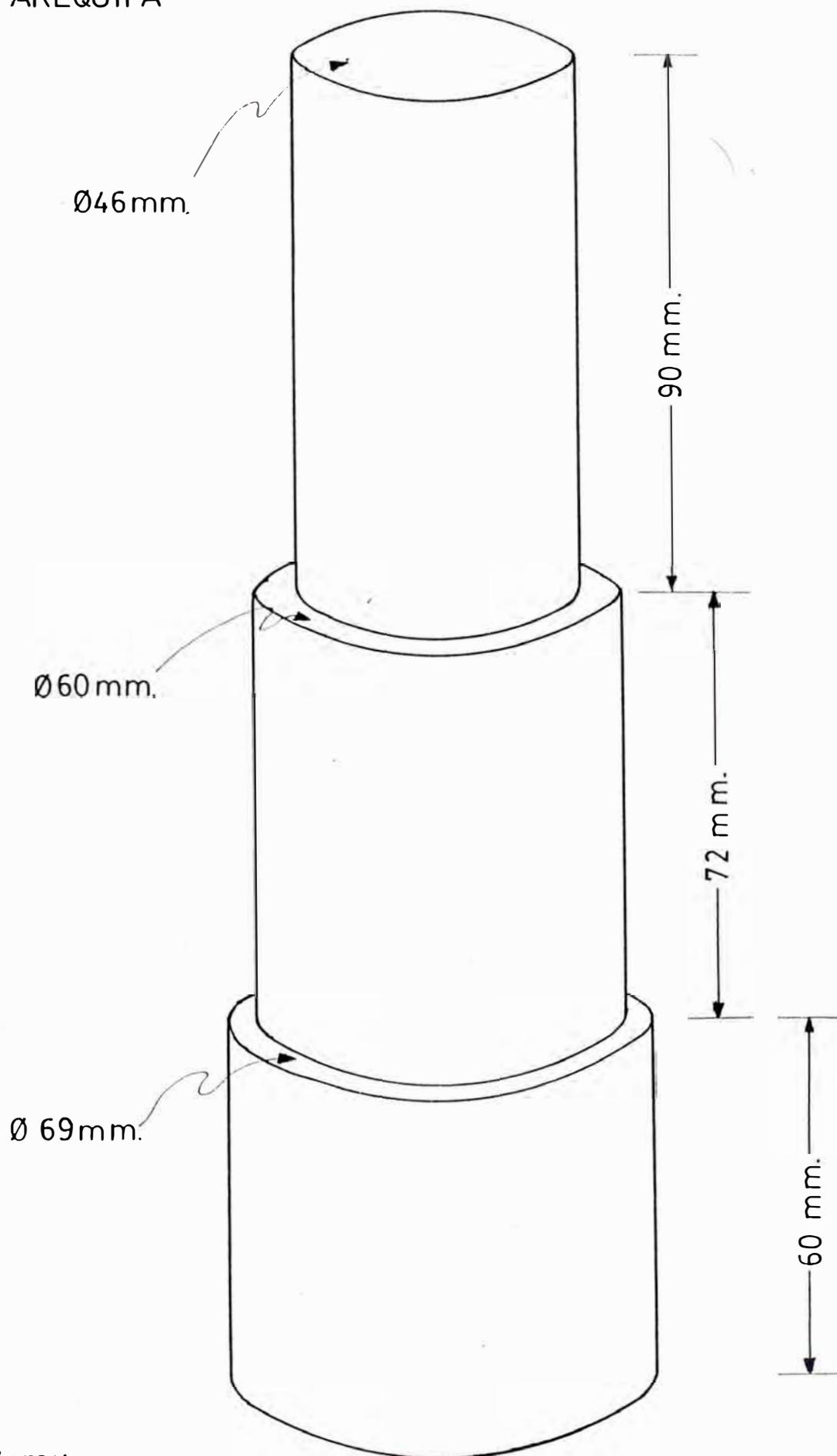
-DETALLE "X" EN ESCALA 1:15





ACEROS AREQUIPA

INVESTIGACIONES METALURGICAS
PROBETA PARA ANALISIS DE MACRO-
INCLUSIONES

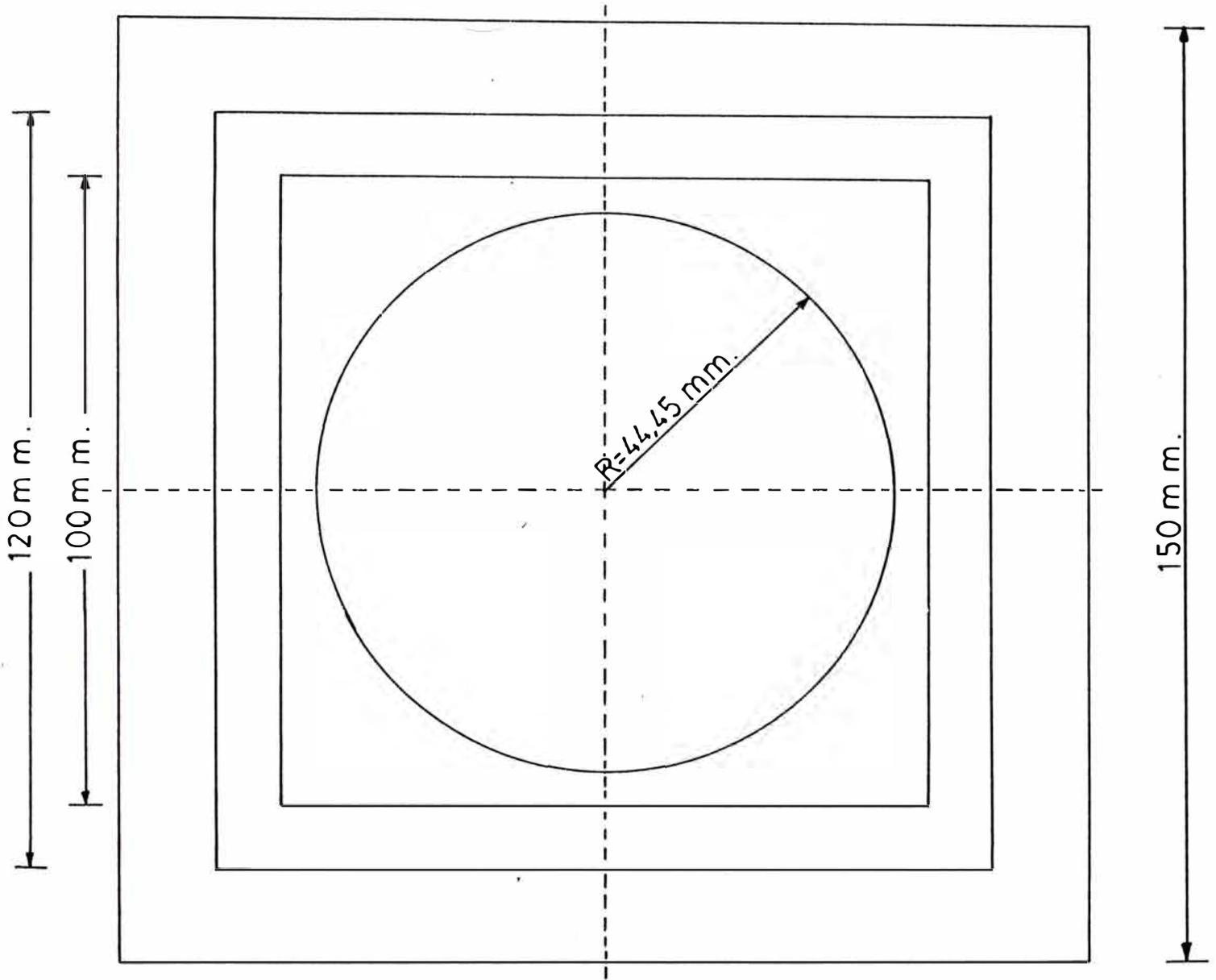




ACEROS AREQUIPA

INVESTIGACIONES METALURGICAS

ALTERNATIVAS EN EL PROCESO DE LAMINACION DE 1090



ALTERNATIVA 1.- 150 x 150 mm. → 100 x 100 mm. → \emptyset 3 1/2''
%R 55% 38%

ALTERNATIVA 2.- 150 x 150 mm. → 120 x 120 mm. → \emptyset 3 1/2''
%R 36% 57%

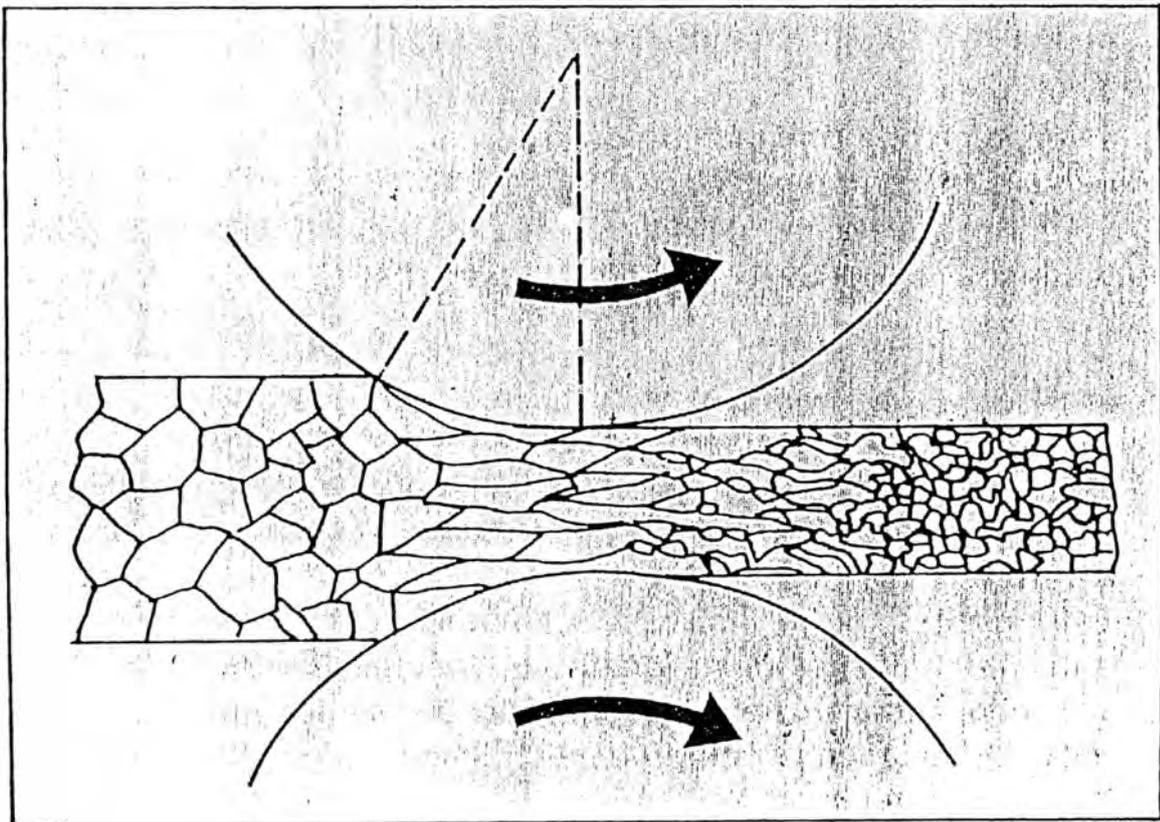
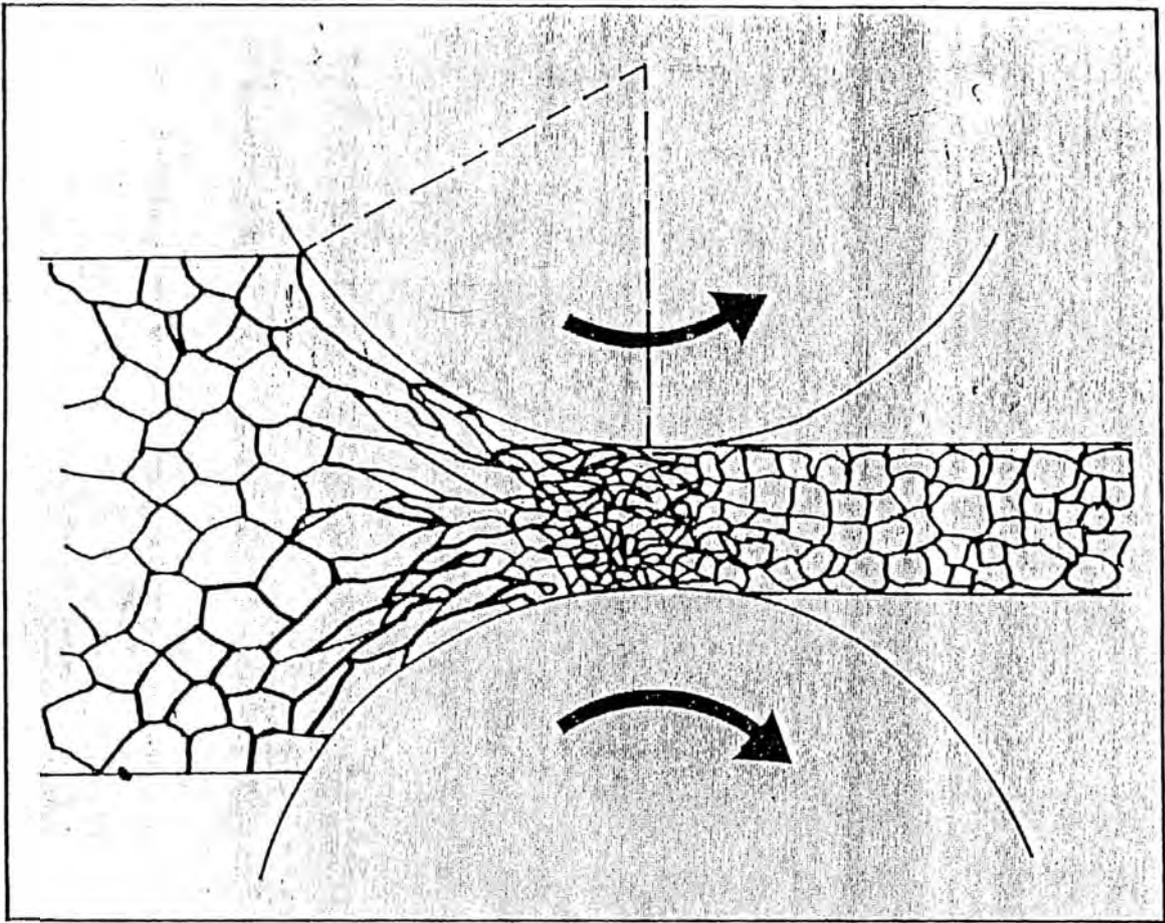


Lámina G Granos austeníticos (McQuaid Ehn) 100 x

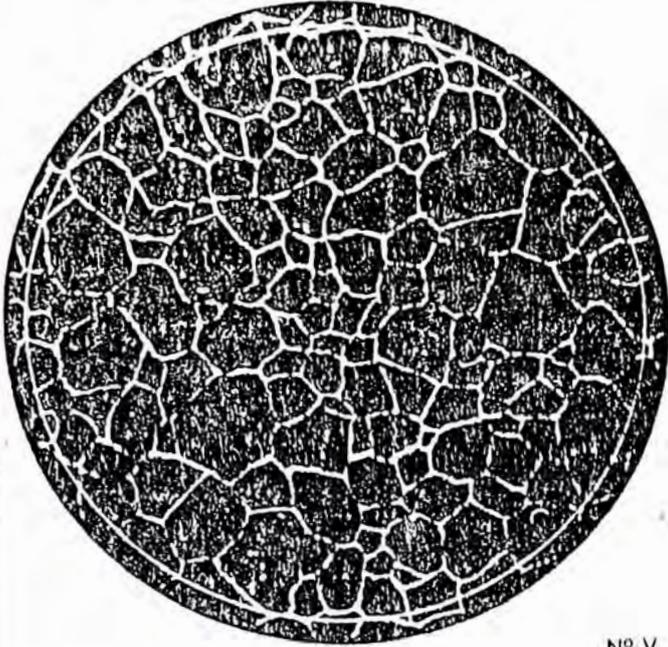
Productos siderúrgicos

Determinación del tamaño de grano

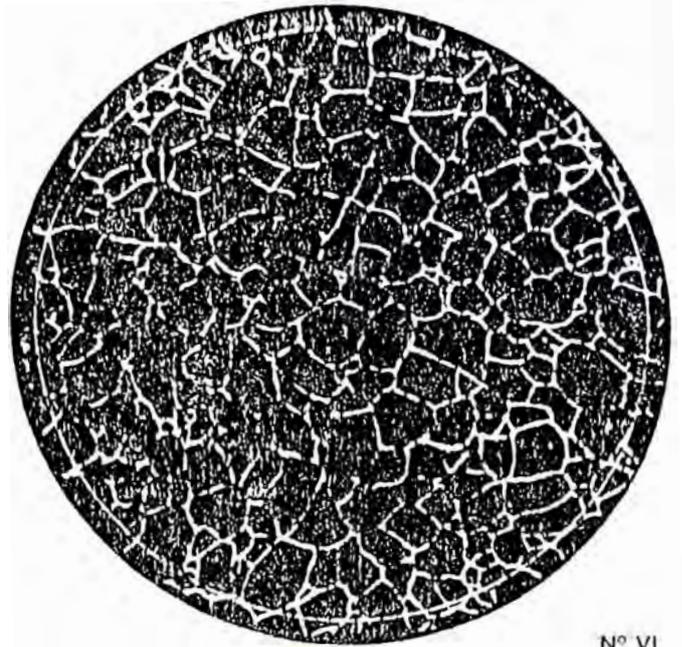
Imágenes-tipo. Lámina I-E

Granos austeníticos (Mc Quaid Ehn)

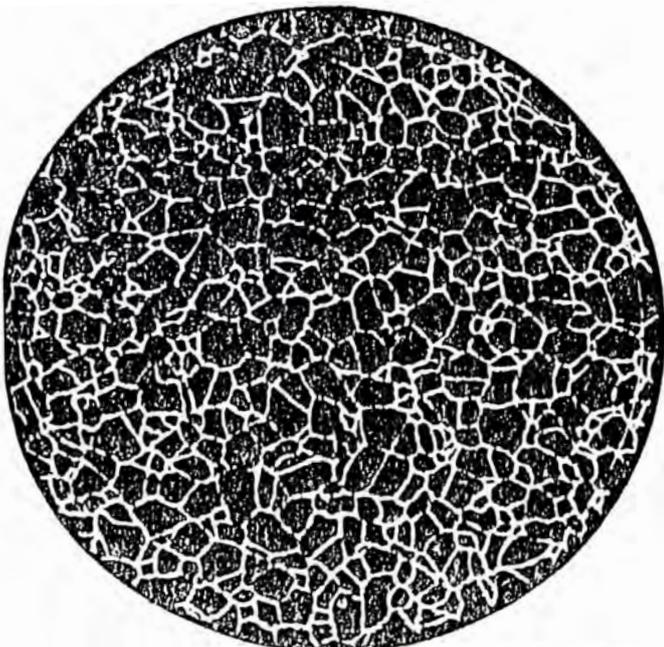
100 x



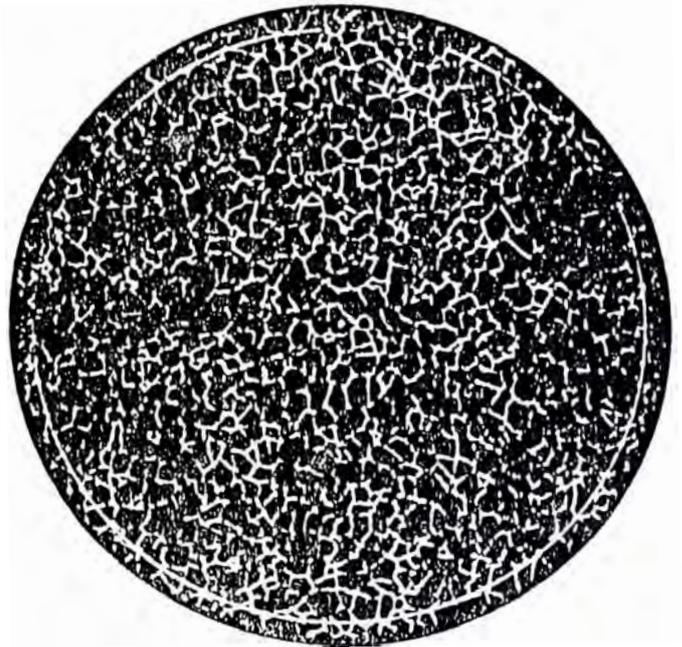
Nº V



Nº VI



Nº VII



Nº VIII