

Universidad Nacional de Ingeniería

**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA GEOLÓGICA,
MINERA Y METALÚRGICA**



**TECNOLOGIA DE LA FABRICACION DE ANCLAS
PARA LA INDUSTRIA NAVAL**

T E S I S

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO METALURGISTA**

LUIS ANTONIO PAREDES ZAVALA

PROMOCION 1972 - 1

LIMA - PERU - 1977

P R E F A C I O

A comienzos de 1,974, P I C S A A S T I L L E R O S S . A . inicia la fabricación de embarcaciones atuneras para los países de Francia y Cuba.

Los astilleros de P I C S A , para cumplir su contrato con los países mencionados, se vieron urgidos de ciertas piezas de acero, que debido a las exigencias de calidad, necesitaban garantías en las propiedades físicas de las mismas, por parte del fabricante.

Al no ser factible la importación, originada por las medidas de austeridad económica decretadas en nuestro País; la empresa P I C S A le encarga a la Fundación de S I D E R P E R U , la fabricación del rubro completo de piezas, destacándose en el grupo las A N C L A S , por sus altos requerimientos en propiedades físicas.

El presente trabajo se ocupa exclusivamente de anclas, ha sido desarrollado en ocho capítulos bajo el título de "TECNOLOGIA DE LA FABRICACION DE ANCLAS PARA LA INDUSTRIA NAVAL" y que el autor, a juzgado conveniente-presentarlo como TESIS para optar el título de Ingeniero Metalurgista.

Los tres primeros capítulos tratan de la calidad de los insumos, de los equipos y los procesos que se realizan en cada unidad, y de la teoría del acero moldeado; dando especial preferencia a la S O L I D I F I C A C I O N D I R I G I D A , por constituir la base del diseño de cclada.

En los capítulos siguientes, del IV al VIII se realizan el estudio integral de ANCLAS, abordándose en el capítulo IV la ingeniería de fundición de la pieza; en el Cap. V se presenta la investigación en Laboratorio, del tratamiento térmico óptimo, a aplicarse a las anclas a nivel industrial; los capítulos VI y VII tratan todo lo referente a las propiedades físicas de la pieza. Finalmente el capítulo VIII ha sido dedicado a la parte-económica.

Este logro ha sido posible alcanzarlo con el desarrollo de una propia tecnología, lo que nos sirve de estímulo para seguir realizando investigaciones para solucionar problemas que beneficien al País.

EL AUTOR

RECONOCIMIENTO

El autor desea expresar su gratitud al Personal - Docente del Programa Académico de INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA, y en forma muy especial a los Señores Catedráticos del Departamento de METALURGIA, por haberle inculcado sus valiosos conocimientos que le han permitido desenvolverse en forma cabal en su vida profesional.

=====

I N D I C E

CAPITULO °I

INSUMOS - SU CLASIFICACION Y

CALIDAD

1.1	Generalidades. -----	2
1.2	Arenas de Moldeo. -----	2
1.2.1	Arenas Naturales. -----	3
1.2.2	Arenas Sintéticas. -----	3
1.2.3	Composición Química de las Arenas. ----	4
1.2.4.	Propiedades Físicas de las Arenas. ----	5
1.2.5	Fluidez de la Arena. -----	10
1.2.6	Propiedades exigidas a una arena de mol deo. -----	10
1.2.7	Arenas de Contacto. -----	11
1.2.8	Arenas de Zirconio, Olivino y Cromita.-	12
1.3	Aglomerantes Arcillosos. -----	13
1.3.1	Bentonitas. -----	14
1.3.2	Composición Química de las Bentonitas.-	16
1.3.3	Indice de Hinchabilidad de la Bentoni- ta. -----	16
1.4	Aglutinantes. -----	16
1.4.1	Solubilidad de los Aglutinantes. ----	17
1.5	Aditivos Carbonosos. -----	18
1.6	Pinturas. -----	20
1.7	Principales Especificaciones Técnicas de los insumos empleados en Fundición. -----	20

CAPITULO II

EQUIPOS E INSTALACIONES.- PRINCIPALES PROCESOS

EN CADA UNIDAD

2.1	Generalidades. -----	24
2.2	Planta de Arena Sintética. -----	24
2.2.1	Mezclador IM-240. -----	24

2.2.2	Moledora de Terrones PKW-25. -----	25
2.3	Flujo del Proceso en la Planta de Arena Sintética. -----	26
2.4	Moldeo. -----	27
2.4.1	Moldeo Manual. -----	27
2.4.2	Moldeo Mecanizado. -----	28
2.4.3	Proceso CO ₂ . -----	28
2.5	Estufado. -----	29
2.6	Limpieza y Acabado. -----	30
2.7	Fusión y Obtención del Acero. -----	30
2.7.1	Hornos Eléctricos. -----	31
2.7.2	Hornos de Inducción. -----	33

CAPITULO III

TEORIA DEL ACERO MOLDEADO

3.1	Generalidades. -----	36
3.2	Materia Prima. -----	36
3.2.1	Chatarra de Acero. -----	36
3.2.2	Ferroaleaciones. -----	37
3.2.3	Coque fino. -----	39
3.2.4	Fundentes. -----	39
3.3	Aspectos de la Fusión. -----	41
3.3.1	Ventajas del Acero Calmado. -----	41
3.3.2	Problemas de los Gases. -----	42
3.4	Solidificación. -----	47
3.4.1	Solidificación Dirigida. -----	49
3.4.2	Empleo de Aceleradores y Retardadores en la Solidificación. -----	50
3.4.3	Rechupes en el proceso de Solidificación. -----	52
3.4.4	Mazarotas. -----	53
3.4.5	Segregaciones. -----	54
3.4.6	Problemas del Agrietamiento en Caliente. -----	56
3.4.7	Influencia de la Composición Química del Acero tipo ancla en la formación -	

	de Grietas en Caliente. -----	58
3.5	Composición Química y Características Mecánicas. -----	59
3.5.1	Generalidades. -----	59
3.5.2	Aceros de Carbono. -----	60
3.5.3	Aceros de Alta resistencia y Baja Aleación. -----	61

CAPITULO IV

FUNDICION DEL ANCLA

4.1	Antecedentes. -----	65
4.2	Materia Prima. -----	65
4.2.1	Selección del Acero a Emplearse. -----	66
4.2.2	Justificación del empleo de Acero de Alta Resistencia y Baja Aleación en el Ancla. -----	68
4.3	Elementos de Moldeo y Colada. -----	68
4.3.1	Modelos. -----	68
4.3.2	Efecto de la Contracción en el dimensionado de la pieza. -----	69
4.3.3	Cajas. -----	70
4.4	Diseño de Colada de la pieza. -----	70
4.4.1	Concepto de Módulo. -----	71
4.4.2	Cálculo del tiempo de Colada. -----	72
4.4.3	Sistemas de Alimentación. -----	78
4.4.4	Cálculo de los Ataques o Entradas. -----	82
4.4.5	Escalonamiento de las secciones: Bebedero, canal distribuidor y Entradas. ---	86
4.4.6	Criterio para el mazarotaje. -----	89
4.4.7	Mazarotaje del cuerpo del Ancla. -----	90
4.4.8	Mazarotaje del Brazo del Ancla. -----	93
4.5	Moldeo del Ancla. -----	97
4.6	Pintado y Estufado de los Moldes del Ancla. ---	98
4.7	Montaje y Colado del Ancla. -----	99
4.8	Defectos en la pieza. -----	100

4.8.1	Defectos imputables al material de moldeo. -----	101
4.8.2	Defectos imputables al acero. -----	102
4.9	El acabado de la pieza. -----	104
4.9.1	Influencia de la Composición Química del acero tipo ancla en la Soldabilidad. -----	105

CAPITULO V

INVESTIGACION METALURGICA A NIVEL DE LABORATORIO PARA LA ELECCION DEL TRATAMIENTO TERMICO DEL ANCLA Y SU APLICACION A NIVEL INDUSTRIAL

5.1	Generalidades. -----	110
5.2	Fundamento Teórico. -----	110
5.2.1	El Diagrama Hierro - Carbono.-----	110
5.2.2	Principales Constituyentes del Acero - tipo ancla. -----	113
5.2.3	Crecimiento de los cristales de austenita. -----	118
5.2.4	Tamaño de Grano. -----	119
5.2.5	Necesidad de alcanzar Austenización Completa en el normalizado de Anclas.---	122
5.2.6	Tratamiento Térmico.- Concepto. -----	123
5.2.7	Principales Tratamientos Térmicos. ----	124
5.2.8	Resumen de las Aplicaciones de los Tratamientos Térmicos. -----	126
5.3	Estudio de los Ciclos Térmicos a Nivel de Laboratorio. -----	132
5.3.1	Generalidades. -----	
5.3.2	Selección del Tratamiento Térmico Aplicable al ancla. -----	133
5.3.3	Equipo Experimental. -----	135
5.3.4	Determinación de la Temperatura óptima de Austenización del acero tipo ancla por el Método Experimental. -----	137

5.3.5	Determinación del tiempo de mantenimiento a la Temperatura de Austenización.---	141
5.3.6	Diseño del Ciclo Térmico de Normalizado. -----	143
5.4	Aplicación del Tratamiento Térmico a Nivel Industrial. -----	146
5.4.1	Equipo.- Hornos de Foso. -----	146
5.4.2	Normalizado de las Anclas en los Hornos de Foso. -----	147
5.4.3	Efectos de la Atmósfera del Horno de Foso. -----	150

CAPITULO VI

ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FISICAS DE LAS ANCLAS

6.1	Generalidades. -----	155
6.2	Comportamiento de las Propiedades Físicas según la Composición Química. -----	155
6.2.1	Influencia del Contenido de Carbono,----	155
6.2.2	Relación Alargamiento - Resistencia a la Tracción en el Ancla. -----	158
6.2.3	Influencia del Contenido de Manganeso.--	160
6.2.4	Influencia del Columbio - Vanadio como microaleantes. -----	162
6.3	Comparación de Propiedades físicas obtenidas por Laminación y Tratamiento Térmico para un mismo acero. -----	164
6.4	Modelos Matemáticos de las Propiedades Físicas-	166

CAPITULO VII

ESPECIFICACIONES DE LA COMPAÑIA CLASIFICADORA LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING Y EL CONTROL DE CALIDAD DEL ANCLA

7.1	Generalidades. -----	170
7.2	Especificación de la Composición Química según LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING y SIDERPERU. -----	170
7.3	Propiedades Mecánicas. -----	172

7.3.1	Material para Probetas. -----	172
7.3.2	Dimensiones de las probetas para los - Ensayos físicos. -----	173
7.3.3	Ensayos de Tracción, Alargamiento y Do blado. -----	173
7.3.4	Prueba de Peso y Caída. -----	176
7.3.5	Consideraciones Complementarias a los Ensayos Mecánicos. -----	177
7.4	Inspección de las piezas. -----	178
7.5	Certificación final de la Calidad. -----	180
7.5.1	Identificación. -----	180
7.5.2	Documentación. -----	181

CAPITULO VIII

C O S T O S

8.1	Generalidades. -----	183
8.2	Costo del Arrabio de Alto Horno. -----	183
8.3	Costo del Acero-Calidad Ancla en los Hornos Eléctricos. -----	183
8.4	Costo de las piezas componentes del ancla en Fundición. -----	184
8.5	Costo Total del Ancla. -----	184

CONCLUSIONES.-

BIBLIOGRAFIA.-

C A P I T U L O I

INSUMOS.- SU CLASIFICACION Y CALIDAD

1.1.- GENERALIDADES.-

El sector de la industria naval es, sin duda uno de los más importantes en cuanto a la demanda de piezas fundidas, no sólo por el volumen sino por la complejidad de las piezas a producirse y por las exigencias de calidad que deben cumplir.

Por esta razón considero necesario efectuar un estudio detallado de los insumos y la calidad de éstos; analizando la influencia de cada propiedad, sea de arenas, aglomerantes y/o aglutinantes, en la calidad de las piezas.

Normalmente la fundición de acero requiere de insumos con características superiores a los empleados en los otros tipos de fundición.

1.2.- ARENAS DE MOLDEO.-

Básicamente, las arenas consisten en un material de relleno arenoso de mediana o elevada refractariedad, que mezclada con aglomerantes de tipo arcilloso, en presencia de agua, desarrollan cierta plasticidad y resistencia mecánica, que las hace aparentes para el moldeo. Las arenas de moldeo se pueden clasificar en arenas de moldeo naturales y arenas de moldeo sintéticas.

1.2.1.- ARENAS NATURALES.-

Las arenas naturales son aquellas, que en su estado natural se encuentran mezcladas con el aglomerante arcilloso, que les da la plasticidad y contienen de 5 a 20% de material arcilloso.

Estas arenas son empleadas en fundición tal y como vienen del depósito minero; en consecuencia su granulometría contenido de sílice, arcilla, son muy variables de acuerdo al yacimiento de origen.

El uso de ésta arena está orientado a fundiciones no férreas donde las temperaturas no son excesivamente altas.

1.2.2.- ARENAS SINTÉTICAS.-

Las arenas sintéticas son arenas lavadas y tamizadas, a una cierta granulometría, según el tipo de piezas que se van a fabricar.

Estas arenas al ser aglomeradas con un 3-5% de material arcilloso, y con una humedad de 3-5%, desarrollan buenas propiedades para el moldeo.

Entre las ventajas de estas arenas respecto a las naturales tenemos :

a).- El tamaño de grano se elige de acuerdo - al peso de piezas a fabricar y se tiene: arenas finas, se usa cuando se va a fundir piezas de poco peso y de paredes delgadas; las de grano medio (acumulado entre mallas $-30 + 70 = 60\%$) se usa para fundición de piezas medianas; las de grano grueso son las indicadas para moldear piezas de grandes dimensiones.

b).- Poseen alta refractariedad, debido a sus bajos contenidos de arcilla, y además no poseen feldespatos, carbonatos y otras impurezas.

El alto punto de fusión del acero, obliga a que los moldes para el colado de piezas de acero se hagan exclusivamente de arenas de alta refractariedad.

1.2.3.- COMPOSICION QUIMICA DE LAS ARENAS.-

Están compuestas principalmente de SiO_2 , Al_2O_3 , óxido férrico (Fe_2O_3), cal (CaO) y óxido de magnesio (MgO). Debiéndose tener presente que, cuanto mas alto es el porcentaje de SiO_2 , es mejor para el uso en la fabricación de moldes para el colado de Acero.

Nuestras especificaciones que rigen para este

producto es como sigue :

Si O ₂	=	98 %	Mínimo
Fe ₂ O ₃	=	0.5%	Máximo
Al ₂ O ₃	=	1.0 %	Máximo
CaO + MgO	=	1.0%	Máximo
Arcillas	=	2.0%	Máximo
Pérdida por calcinación	=	0.3	Máximo
PH	=	7.0	

1.2.4.- PROPIEDADES FISICAS DE LAS ARENAS.-

A continuación se presenta un estudio sintético de las principales propiedades de las arenas y cuales es la influencia de cada una de ellas.

A.- TAMAÑO DE GRANO.-

Los granos de arena, no son de tamaño único, sino que están repartidos, según una distribución de GAUSS, en tres o más tamaños distintos; ésta distribución se determina habitualmente por un ensayo de tamizado.

El tamaño de grano tiene influencia en la permeabilidad (arena fina que dificulta el paso de los gases), refractariedad (arena fina, origina vitrificación), acabado superficial (cuanto más fina sea una arena mejor es el acabado superficial que presenta), -

dilatación (si los granos fueran uniformes, la expansión tendrán lugar al mismo tiempo y no se producirían fisuramientos de molde o noyo en la colada).

B.- FORMA DE GRANO.-

Los granos de arena pueden ser redondos, angulares y compuestos. La forma de grano ejerce influencia en la resistencia; así, la arena de grano redondo por tener la mínima superficie específica, permite que la capa de aglomerante sea más gruesa, con lo que la resistencia aumenta. La fluidez de la arena varía de acuerdo al grado de humectación de la mezcla, pero a igualdad de condiciones, una arena de grano angular tendrá una fluidez menor que una arena redonda, ya que el ángulo de fricción de las arenas angulares es mayor.

Por otro lado las arenas de granos compuestos tienen una menor estabilidad térmica.

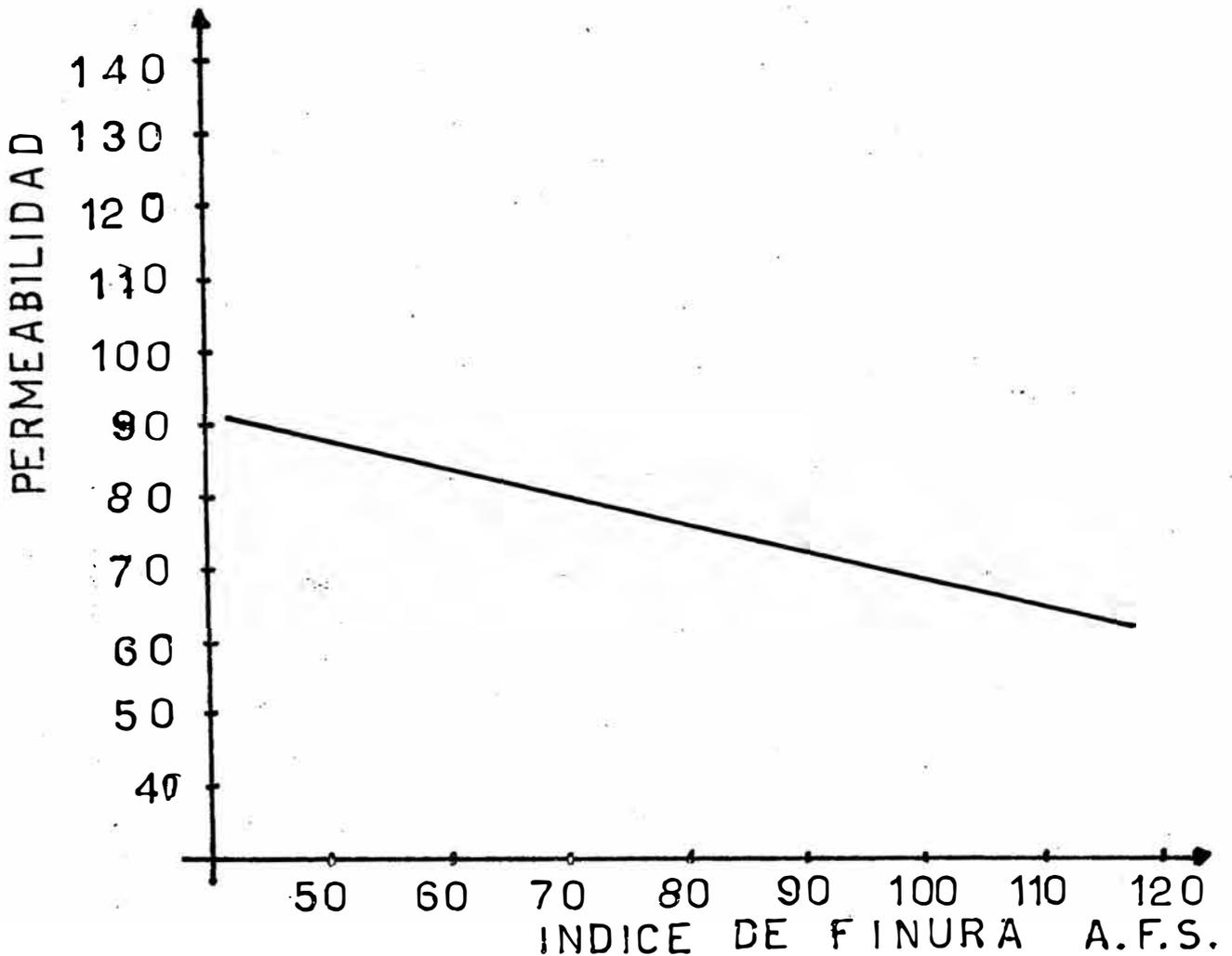
C.- INDICE DE FINURA.-

El índice de finura A.F.S. indica el tamaño medio de los granos de arena; sin embargo dos arenas con el mismo índice de finura pueden tener distribuciones -- granulométricas distintas.

La resistencia mecánica aumenta con el índice de finura. La permeabilidad disminuye notablemente con el incremento del índice de finura, como se puede apreciar en la figura N°1

FIGURA N° 1

VARIACION DE LA PERMEABILIDAD EN FUNCION DEL INDICE DE FINURA DE LA ARENA.,
(FUNDICION DE SIDERPERU)



D.- TENACIDAD.-

La tenacidad se mide por el ensayo SHATTER, - que consiste en dejar caer una probeta desde 1.8 m. de altura sobre una base metálica. Al chocar la probeta se disgrega más o menos en función de su tenacidad y el porcentaje que es retenido en una malla de 12.7 mm. se denomina índice SHATTER.

La relación entre el índice Shatter y la resistencia a la compresión nos da el índice de deformación. Si éste índice es bajo, la separación entre molde y modelo es difícil, con riesgo de roturas en el molde por adhesión de la arena al modelo.

E.- PERMEABILIDAD.-

Una de las propiedades más afectadas por el tamaño de los granos es la permeabilidad. Cuanto más fina sea la arena, mayor será la dificultad al paso de los gases.

La permeabilidad no depende del porcentaje de poros que presenta el agregado, sino del tamaño de los poros. En la práctica se encuentra que, al trabajar con arenas uniformes se obtienen permeabilidades relativamente grandes.

En el colado del acero, por la alta temperatu

ra a que se realiza el proceso, existe gran desprendimiento de gases y vapor de agua del molde, por lo que se necesita altas permeabilidades.

F.- REFRACTARIEDAD.-

Para evitar defectos originados por la reacción metal-molde (vitrificaciones, penetraciones, ametalamientos, etc.), la arena debe tener un punto de fusión o reblandecimiento más alto que la temperatura del metal.

El cuarzo funde a 1700°C, pero si la arena contiene: micas, feldespatos, carbonatos, etc., el punto de fusión desciende y esto es perjudicial cuando se cuela piezas de acero. Normalmente el vertido del acero al molde se hace en el rango de 1500° - 1600° C lo que obliga, a usar arena con altos contenidos de sílice ($\geq 98\%$ de SiO_2).

G.- COMPACTABILIDAD.-

Esta propiedad nos permite medir, la reducción de altura de la arena de moldeo, partiendo de una altura original constante, bajo la influencia de una presión de atacado también constante.

Este ensayo es muy adecuado como ensayo directo de la uniformidad de la arena preparada, la cual, con

una compactabilidad constante, nos asegura que la arena será compactada de igual forma, molde tras molde.

H.- PLASTICIDAD.-

En la mezcla de la arena con el aglomerante, debe entrar una cantidad de arcilla suficiente para hacerla compacta y plástica. Si la cantidad de arcilla es pequeña los moldes se desmoronan y un exceso de arcilla hace disminuir la porosidad de las arenas.

1.2.5.-FLUIDEZ DE LA ARENA.-

Se entiende como fluidez, a la capacidad que tiene la arena de moldeo, para llenar las partes complicadas del modelo. La fluidez depende del contenido de bentanita y la humedad que posee la tierra de moldeo.

En el caso del moldeo de anclas por la forma complicada que tienen la piezas, la arena posee una alta fluidez.

1.2.6.- PROPIEDADES EXIGIDAS A UNA ARENA DE MOLDEO.-

Una buena preparación de la tierra, es la condición primordial para moldear bien.

La fabricación de moldes para el colado de -

acero, exigen el uso de arena de moldeo más elaborada - que las fundiciones grises; y las principales propiedades que deben reunir son las siguientes:

- a).- Distribución granulométrica adecuada, capaz de permitir la evacuación total de los gases originados en la colada y proporcionar una superficie de pieza lo menos rugosa posible.
- b).- Alto grado de plasticidad, para adaptarse al modelo y reproducir con fidelidad sus detalles.
- c).- En el momento de la colada, el molde debe resistir los efectos de la temperatura, el ataque químico y la erosión del flujo del metal.

1.2.7.- ARENAS DE CONTACTO.-

Por lo general en las fundiciones de acero no se usa un solo tipo de arena, sino que emplean un material de contacto de mejor calidad y otra inferior para relleno. La arena de contacto se aplica directamente sobre el modelo y el sistema de colada, en forma de una delgada capa y se rellena el resto del molde con arena de sílice nueva o usada pero regenerada; a fin mantener

una permeabilidad y resistencia elevadas.

Como arenas de contacto, normalmente se usa arena de circonio, olivino y cromita; pero a falta de éstas se puede emplear arena de sílice con alto porcentaje de SiO_2 ($\geq 98\%$), obteniéndose resultados satisfactorios.

En SIDERPERU la técnica de usar arena de sílice como arena de contacto está muy difundida.

1.2.8.- ARENAS DE CIRCONIO, OLIVINO Y CROMITA.-

Para el colado de piezas de acero, se ha generalizado el uso de arena de contacto, a base de compuestos de circonio, olivino y cromita. Estas arenas son altamente refractarias y se caracterizan por su pequeño -- coeficiente de dilatación.

a.- El silicato de circonio contiene: 65% de ZrO_2 y 35% de SiO_2 . Las arenas de circonio tienen una gran resistencia a los cambios de temperatura y hasta 1800°C , no sufre transformaciones alotrópicas, debido a su bajo coeficiente de dilatación y a su elevada conductividad térmica.

b.- Las arenas olivínicas están compuestas por cris

tales mixtos del ortosilicato forsterita --
($2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$) y fayalita ($2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$). Poseen -
un punto de fusión elevado que varía de acuer-
do con su composición.

c.- Las arenas de cromita ($\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$) contienen -
entre el 40 a 45% de Cr_2O_3 .

F. HOFMANN encontró que entre las 3 arenas -
en mención, la que se dilataba menos era la de Zr, lueg-
o la cromita y finalmente el olivino.

1.3.- AGLOMERANTES ARCILLOSOS.-

La arena, por si sola no tiene cohesión para
conservar la forma, una vez separada del modelo. Por -
esta razón se utilizan aglomerantes que son los respons-
sables de mantener unidos entre si los granos de arena,
permitiendo una reproducción exacta del modelo.

La mayor parte de las arenas de moldes están
aglomeradas con arcilla. Las arenas naturales llevan -
su aglomerante (caolinita, illita y glauconita) desde-
el yacimiento de origen. En las arenas sintéticas el -
aglomerante suele ser bentonita.

Desde el punto de vista químico, las arcillas
son silicatos aluminicos hidratados, y obedecen a la-

fórmula $n\text{SiO}_2 \cdot m\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$.

El agua se introduce entre las partículas de arcilla, haciendo que las laminillas se separen, constituyendo el fenómeno conocido, como hinchamiento de las arcillas. Al mismo tiempo el conjunto agua-arcilla adquiere plasticidad.

1.3.1.- BENTONITAS.-

Al grupo de las arcillas, provenientes de las transformaciones naturales de las cenizas volcánicas y constituidas por lo menos por un 70% del mineral MONTMORILLONITA, recibe el nombre de bentonita, utilizado como aglomerante para la obtención de masas de moldeo, no yos y en pinturas.

Las bentonitas tienen una capacidad de hinchamiento, de tal forma que la pequeña cantidad que se añade a la arena de moldeo (<5%) llega a rodear completamente los granos de cuarzo, sin disminuir su permeabilidad pero aumentando la fuerza de cohesión entre ellos.

, Las bentonitas, de acuerdo a la preponderancia de los cationes Na^+ y Ca^{++} , sobre la estructura molecular de la montmorillonita pueden clasificarse en:

a) Bentonita sódica

b) Bentonita cálcica

c) Bentonita cálcica activada

La bentonita sódica, tiene mayor durabilidad. Presenta menor tendencia a la formación de defectos de dilatación por retener mejor el agua de humectación.

El espesor de las capas de agua depende del catión intercambiable. Si éste es Na^+ existe una capa de moléculas de agua y la distancia interlamina es 12.5 \AA . Por el contrario, con iones Ca^{++} hay 2 capas de moléculas de agua y la distancia interlamina es de 14.5 a 15 \AA . Este hecho hace que la bentonita sódica tenga una cohesión en seco más elevada, debido a que las fuerzas de atracción entre las laminillas son mayores.

Las bentonitas sódicas son las que suministran mayor permeabilidad, siguiendo en orden decreciente las bentonitas cálcicas y las arcillas refractarias. Otra de las características de las montmorrillonitas sódicas es la de suministrar mayor resistencia a las temperaturas relativamente altas (en las partes del molde más próximas al metal) y que por su gran resistencia, presentan propiedades muy buenas a la erosión y arrastre.

A las bentonitas cálcicas por un proceso de activación con Na_2CO_3 se mejora sus propiedades.

1.3.2.- COMPOSICION QUIMICA DE LAS BENTONITAS.-

La bentonita está constituida por: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O y Na_2O ; siendo los porcentajes más significativos los de SiO_2 (65-75%) y Al_2O_3 (10-20%).

1.3.3.- INDICE DE HINCHABILIDAD DE LA BENTONITA.-

Este ensayo se emplea para evaluar la cantidad de agua que la bentonita puede absorber entre sus partículas, mientras se hincha.

En la práctica se encuentra que cuando se trabaja con bentonitas de altos índices de hinchabilidad se disminuye y/o elimina los defectos de superficie tales como: darts, colas de rata y similares.

Las bentonitas cálcicas tienen un índice entre 6 - 10 centímetros cúbicos; mientras que las sódicas, dan unos valores comprendidos entre 18 - 50 centímetros cúbicos.

1.4.- AGLUTINANTES.-

Para mejorar las propiedades del molde se añade además de la bentonita productos orgánicos a base de almidón. Los aditivos tipo almidón, dextrina o melazas aumentan al índice de shatter y la resistencia en seco, sin

que la cantidad de agua necesaria aumente, por lo que son indicados para moldeo a alta presión.

Durante la colada de las piezas el cereal se quema, originando la formación de atmósfera reductora entre la superficie del molde y el acero líquido, que dificulta la formación de la fayalita ($2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) obteniéndose de esta forma piezas con buena superficie.

1.4.1.- SOLUBILIDAD DE LOS AGLUTINANTES.-

Así, como los aglomerantes tienen un patrón que les mide su calidad, que es la hinchabilidad; la calidad de los aglutinantes se mide por su grado de solubilidad. En el cuadro N° 1 se presenta los productos más comunes- empleados en fundición y su respectivo rango de solubilidad.

Para moldes de piezas de acero necesariamente- tenemos que utilizar cereales de buena calidad o dextrinas.

CUADRO N° 1

AGLUTINANTE	SOLUBILIDAD	PH	RESIDUOS DE CALCINACION
Cereal Natural	<17.0%	5.5 - 6.5	<1.0
Buen Cereal	20 - 25%	x (1)	<1.0
Dextrina	90 - 95%	x	<1.0
Glucosa	100%	-	-

(1)

X.- El PH depende del tipo de Bentonita empleada.

1.5.- ADITIVOS CARBONOSOS.-

Los moldes para colar acero, no suelen ser - preparados solamente con arena, bentonita y agua, sino que se adicionan uno o más aditivos carbonosos.

Las razones fundamentales de su utilización- son:

- 1.- Evitar el ataque químico y térmico del metal.
- 2.- Compensar el fenómeno de la dilatación.
- 3.- Mejorar el acabado superficial.

PREVENCION DEL ATAQUE QUIMICO.- Los aditivos car-

bonosos tales como: coke de Alto Horno aserrín y otros similares van a dar origen a una atmósfera reductora en la colada, que protege a la arena del ataque químico del metal.

FENOMENO DE LA DILATACION.- Los granos de arena son de cuarzo $-\alpha$. Cuando éste se calienta por encima de los 573°C , se transforma en cuarzo $-\beta$, con una expansión lineal de 1.35%. Para compensar esta expansión se emplea fundamentalmente harina de madera de 1-3% con el fin de absorber elásticamente el aumento de volumen de los granos de cuarzo.

Si la expansión no es compensada provoca defectos típicos de dilatación: darts, colas de rata, etc.

Los materiales cuyo efecto es prevenir los defectos de dilatación, suelen ser fibrosos, como la harina de madera turba, paja o estiércol de caballo.

MEJORA DEL ACABADO SUPERFICIAL.- El acabado superficial de las piezas se ve notablemente mejorado, cuando se emplea aditivos carbonosos de tipo reductor como: finos de coke, aserrín, aceites de minerales y los derivados del poliestireno.

1.6.- PINTURAS.-

Las pinturas se emplean para evitar las reacciones entre el metal líquido y el material del molde. En el caso del acero, los moldes suelen recubrirse de pinturas a base de materiales inertes frente al acero-fundido, como el silicato de circonio, olivino, etc.

Las pinturas para acero, en su composición química no debe contener azufre, puesto que este elemento, influye desfavorablemente sobre la superficie de las piezas, produciendo pequeñas grietas o dando lugar a una superficie basta.

1.7.- PRINCIPALES ESPECIFICACIONES TECNICAS
DE LOS INSUMOS EMPLEADOS EN FUNDICION.-

CUADRO N° 2

PRODUCTO	COMPOSICION QUIMICA%	CARACTERISTICAS FISICAS
ARENA DE SILICE	SiO ₂ =98% mínimo	Granulometria:
	Fe ₂ O ₃ =0.5 máximo	-Entre mallas-30+70AFS=80%Min
	Al ₂ O ₃ =1.0 máximo	-140 =4.0Max
	CaO+MgO=1.0 máximo	-Indice de finura AFS =50/60
	Arcillas=2.0 máximo	Referencial: CPE=15(1,430°C)
	Humedad=3.0 máximo	CPE = CONO PIROMETRICO EQUIVALENTE.
	Pérdida por calcinación=0.3 Max.	
	PH = 7.0	

Sigue: CUADRO N° 2

PRODUCTO	COMPOSICION QUIMICA%	CARACTERISTICAS FISICAS
BENTONITA	SiO ₂ = 65 - 75%	Granulometría:
	Al ₂ O ₃ = 10 - 20%	-Entre mallas 170a+200=20% Max
	Fe ₂ O ₃ = 2.5-3.5%	-200=80% Min
	CaO = 0.4 Max	-Indice de finura AFS >> 200 AFS
	MgO = 3.0 Max	Hinchabilidad = 10-30 cm ³
	K ₂ O = 0.4 Max	Gravedad específica = 2.4
	Na ₂ O = 2.5 Max	Punto de sinterización = 1150°C
	Otros = 3.7 Max	Compresión: gr/cm ²
	Pérdida x	En verde >> 800
	Calcificación = 3.0-5.0	En seco >> 9000
PH = 9 - 10	cizalla: gr/cm ²	
	En verde >> 200	
	En seco >> 2,500	
HARINA DE CEREALES	PH = 5 - 6.5	Color : Blanco
	Humedad = 2.3%	Granulometría:
	Cenizas = 1.0%	Mallas :
	Materia orgánica = Resto	- 200 AFS = 80% Mínimo
	Extracto en agua fría = 17.0%	- 140+200 = 20% Max.
MELAZA	--	Densidad = 40° Be
DEXTRINA	PH = 9.0 Max	(x) Grado de Modificación < 80
	Humedad = 5-10%	Granulometría:
	Cenizas = 0.1% Max.	Mallas: -200= 90% Min.
	Proteínas = 0.4 Max.	- 140+200= 10% Max.
	Extracto en Agua fría = 95 Max	(x) Por viscosimetría (ensayo de Scott: "De la consistencia de la pasta caliente")
	Nota.- Las dextrinas son casi enteramente solubles en agua fría	

Sigue: CUADRO N° 2

PRODUCTO	COMPOSICION QUIMICA%	CARACTERISTICAS FISICAS
SILICATO DE SODIO	Materia seca = 43-45%	Densidad: gr/cm^3 1.50 - 1.54 Módulo: $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Na}_2\text{O}} = 2.3-2.5$
HARINA DE MADERA	PH = 2 - 2.5 Humedad = 2.7% Max Cenizas = 8% Max Materia orgánica=Resto	Granulometría -Entre mallas-70+140AFS=65/85% -140AFS=35%Max

C A P I T U L O I I

EQUIPOS E INSTALACIONES.- PRINCIPALES PROCESOS EN CADA

UNIDAD

2.1.- GENERALIDADES.-

La fabricación de anclas en sus etapas de moldeo y estufado, hacen uso de las instalaciones que la -- Planta de Fundición tiene dotado, para la fabricación de lingoteras y placas; mientras que la fusión y obtención del acero se realiza en los Hornos Eléctricos de la Planta de Acero, ésto obedece a razones de carácter netamente económico.

2.2.- PLANTA DE ARENA SINTETICA.-

La planta de arena sintética es de tipo automático y está dotado de:

- a) Instalaciones para almacenamiento de arena, aglomerantes, aglutinantes y agua.
- b) Máquina mezcladora, en donde se realizan las operaciones de mezclado de arena, bentonita, cereales, aditivos carbonosos y agua, por un tiempo suficiente hasta que la mezcla desarrolle propiedades aptas para su moldeo.

- A continuación se presenta los principales equipos y los procesos que se realiza en cada uno de ellos.

2.2.1.- MEZCLADOR IM 240.-

Tiene una capacidad de 25 Ton/hora aproximada -

mente y su función es el amasado intensivo de la arena con los aglomerantes arcillosos y aglutinantes; haciendo que los granos de cuarzo se envuelvan íntimamente con el material arcilloso.

Este tipo de mezclador se presta para la preparación de arenas naturales y sintéticas indistintamente. Tiene las siguientes especificaciones técnicas:

- Diámetro del plato mezclador = 2,400 mm.
- 2 muelas de 1,000 mm. de diámetro.
- Potencia efectiva, regulable de acuerdo a la clase de material a mezclar, lo cual determina la cantidad de llenado y el tiempo de mezclado.
- 1 cubierta con una mirilla para la observación del proceso de mezclado.
- 1 dispositivo de toma de muestras sin peligro.
- 2 poleas acanaladas para fajas trapezoidales.
- 1 juego de fajas trapezoidales.

2.2.2.- MOLEDO DE TERRONES PKW - 25.-

Utilizada para triturar los trozos de la tierra de molde, que de ésta manera se puede recuperar, así como también terrones de productos de noyos y después de adquirir su tamaño primitivo la arena es enviada a su respectivo depósito.

Tiene las siguientes especificaciones técnicas:

- Rendimiento = 25 Ton/hora
- Diámetro del cilindro = 400 mm.
- Largo del cilindro = 500 m.m.
- Distancia entre cilindros: Max = 480 m.m.
Min = 400 m.m.
- Revoluciones por minuto: cilindro I=79 r.p.m.
cilindro II=98 r.p.m.
- Voltaje = 220/380 V.
- Peso = 1810 Kgs.

2.3.- FLUJO DEL PROCESO EN LA PLANTA DE ARENA SINTÉTICA.-

Se inicia la operación en la máquina desmoldadora, SHAKEOUT, donde se colocan los moldes para desprender la arena que se encuentra adherida a las piezas fundidas.

Esta arena es transportada por medio de fajas hasta los separadores magnéticos donde las partículas metálicas son eliminadas.

Luego se transporta la arena por intermedio de fajas y un elevador de cangilones a la criba poligonal, donde es regenerada y se almacena en el silo de arena usada, para más tarde ser convenientemente mezclada.

da con aditivos pulverulentos y arena nueva.

La mezcla a emplearse pasa por el desintegrador de arena y va a las tolvas de alimentación de la máquina proyectora "SLINGER" o a las tolvas de moldeo manual.

La arena nueva pasa solamente por uno de los separadores magnéticos y se almacena en sus propios silos, sin pasar por la criba poligonal.

2.4.- MOLDEO.-

Según la forma, tamaño y cantidad de piezas, queda a libertad del moldeador decidir sobre el modo de moldeo; adoptando el método manual, mecanizado o proceso CO₂.

Hay piezas que por su complejidad el moldeo mecanizado es ayudado en forma manual en las zonas angulosas, consiguiéndose con ésto una dureza uniforme en el molde.

2.4.1.- MOLDEO MANUAL.-

Es aplicable en la confección de moldes de piezas pequeñas y aquellas que tengan demanda esporádica y en cantidades que no justifiquen la mecanización de moldeo.

2.4.2.- MOLDEO MECANIZADO.-

Utilizado en la fabricación de moldes de gran dimensión y para aquellos cuya confección es en serie.

SIDERPERU para el efecto dispone de una máquina proyectora centrífuga de arena, SLINGER, tipo Bracket, que operando en forma sincronizada con una mesa rotativa permite la fabricación automática de moldes y noyos para lingoteras.

La alimentación de arena se hace en forma constante mediante cintas transportadoras.

Características de la máquina SLINGER:

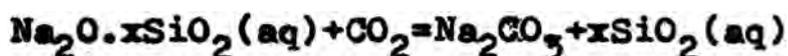
- Capacidad del Proyector = 30 m³/hora
- Velocidades de proyección = 35 y 60 m/seg
- Radio de acción del proyector... = 7.5 mm.
- Desplazamiento longitudinal = 20.0 mm.
- Variación de altura de la
centrifugadora = 1.1 mm.

Características de la mesa rotativa:

- Capacidad = 25 Ton.
- Diámetro = 3,000 mm.
- Variación automática y constante
de velocidad = 1-12 RPM.

2.4.3.- PROCESO CO₂.-

Consiste en insuflar anhídrido carbónico a la mezcla de arena de sílice con 3 - 5% de silicato de sodio. El gas carbónico reacciona con el silicato de sodio y la gel de sílice, producto de esta reacción aglomera los granos de arena. La reacción que se produce es la siguiente:



La eficiencia del proceso es controlado por el tiempo óptimo de gaseado, definiéndose éste como aquel que permite obtener una resistencia a la compresión de 3.5 Kgm/cm²

Este método permite un buen acabado superficial y dimensiones más precisas de las piezas.

2.5.- ESTUFADO.-

La humedad de los moldes y noyos proveniente de la tierra de molde y de la pintura, es eliminada mediante el estufado; proceso que se realiza a una temperatura de 200°C; para lo cual se cuenta con 2 estufas: una para el estufado de moldes y otra para noyos; ambas con quemadores a petróleo.

Un estufado deficiente va a originar porosidades y sopladuras superficiales en las piezas.

2.6.- LIMPIEZA Y ACABADO.-

Después del desmoldeo en la vibradora tipo - "SHAKE - OUT", las piezas son colocadas en una cámara - de limpieza para su lavado con agua a alta presión, para eliminar las partículas de arena y pintura que estuvieran adheridas.

El equipo de limpieza hidráulica está diseñado para recuperar la arena por vía húmeda.

Las piezas son acabadas mediante cinceles, esmeriles, recurriendo algunas veces a la soldadura como medio de recuperación de piezas.

La cámara de limpieza hidráulica tiene las siguientes características:

- Cámara : 4,500 x 4,500 x 3,500mm.
- Mesa giratoria .. : Dimensión: 2,500 mm. de ϕ
Capacidad: 25 Ton.
- Bomba Alta Presión: Presión: 200 At.
Caudal: 130 Litros/min.

2.7.- FUSION Y OBTENCION DEL ACERO.-

El acero tipo ancla tiene que cumplir especificaciones en propiedades mecánicas bastante estrictas,

todo esto debido a la forma de trabajo de la pieza. De ahí que se tenga que fabricar a partir de acero de baja aleación, el mismo que es obtenido en los Hornos -- Eléctricos de la Planta de Acero.

El colado de las piezas es aprovechando el -- saldo que resulta de la colada que se destina a la Planta de Productos Planos, teniéndose por este concepto -- un ahorro, respecto a la fabricación en Hornos de In -- ducción.

En general el acero a moldearse tiene que -- ser calmado ya que del grado de desoxidación depende -- mucho la calidad de la pieza.

2.7.1.- HORNOS ELECTRICOS.-

El proceso de fabricación del acero de la calidad del ancla, se realiza en los Hornos eléctricos , que tienen una capacidad de 34 Tons y una potencia de 420 Kwt/Ton.

La carga metálica que se introduce al horno -- es seleccionada, teniendo en cuenta su contenido de -- carbono. Una vez obtenida la fusión de la carga se procedé a medir la temperatura de fin de fusión, obtenida ésta, se procede al muestreo de análisis de baño metáli -- co, analizando el C, Mn, Si, S, P, Cu, FeO, obtenidos-

estos análisis, se chequean de acuerdo al carbono de fin de fusión requerido por la práctica standard. Obtenido el rango del standard se procede al afino del baño metálico, para lo cual se inyecta oxígeno con una lanza metálica de 1" de diámetro, con una pureza de O_2 de 99.5%.

Una vez inyectado el oxígeno y descarburado - el baño durante el afino, se muestrea por segunda vez el baño, analizando: C, Mn, FeO; se mide la temperatura del baño metálico, obtenidos los resultados, se procede a la sangría del horno, hacia la cuchara en donde se le añade las ferroaleaciones necesarias para alcanzar la composición química final requerida en el acero.

Las características del horno eléctrico son:

- Potencia Kwt/ton = 420 Kwt/ton.
- Diámetro del horno = 4,570 mm.
- Peso por colada = 34 ton.
- Potencial aparente = 15 MVA (Potencial aparente)
- Potencial durante la fusión = 12 MW (Potencial eficaz)
- Intensidad de fase = 12 KA (Kilo-amper)
- Diámetro de los electrodos = 400 mm.
- Longitud del electrodo = 5,550 mm (largo total)
- Consumo total de energía total por tonelada = 383-480 KHR/ton .

- Consumo especificado =
de electrodo = 3.5-8kg/ton.
- Fin de fusión = 1,300 KWH
- Fin de afino = 1,000 KWH

2.7.2.- HORNOS DE INDUCCION.-

De 1.5 ton. de capacidad cada uno (2 hornos), de frecuencia normal, sin núcleo, modelo FNC - 2x29 F4, AJAX - GUINEA MAGNETERMIC. Utiliza una potencia de 450 Kw para fusión de metales ferrosos (aceros y fundiciones) y 360 Kw para fusión de metales no ferrosos (cobre y aleaciones).

Su estructura esencialmente es un crisol refractario apisonado, el cual se encuentra rodeado de -- una bobina inductora refrigerada por agua. Para canalizar exteriormente el flujo magnético, la bobina está - rodeada de paquetes de chapa magnética, las cuales la sujetan radialmente.

El principio de funcionamiento de estos hornos es la siguiente:

Una corriente de gran intensidad circula por - la bobina inductora, creando un campo magnético en la - carga, que origina una gran intensidad de corriente secundaria en la carga que contiene el crisol, dando origen al calentamiento y fusión de la carga.

Tiene las siguientes especificaciones técnicas:

- Frecuencia de red : Sin canales, tipo crisol
- Diseño: Envolvente exterior metálico.
- Capacidad : 1.5 Tons.
- Basculación : Hidráulica
- Tapa : Accionamiento manual
- Crisol : Diámetro 600 mm.
- Altura del baño.. : 1,000 mm.
- Revestimiento ... : Espesor - 80 mm.

Calidad.- De acuerdo al tipo de fusión.

Si en la fabricación de anclas, no se tiene en cuenta el precio de la pieza y juzgamos a la producción desde el punto de vista de comodidad, tiempo y oportunidad, necesariamente nuestra inclinación sería, el de fabricar las piezas en Hornos de Inducción en reemplazo de los Hornos Eléctricos.

C A P I T U L O _ I I I

TEORIA DEL ACERO MOLDEADO .-

3.1.- GENERALIDADES.-

La tecnología del acero moldeado ha experimentado en los últimos años un avance considerable. El desarrollo de técnicas de moldeo más avanzadas, el empleo más extendido de métodos de control no destructivo, en continua y constante vigilancia de la calidad de las piezas moldeadas y los tratamientos térmicos más correctos, han contribuido a mejorar y ampliar el campo de utilización del acero moldeado.

En este capítulo tratamos las principales variables responsables de la calidad de las piezas, como son:

- a) Materias primas.
- b) Los procesos de solidificación en las piezas moldeadas, que unido a un diseño adecuado de colada permite obtener una solidificación dirigida, única forma de conseguir piezas sanas, libres de rechupe.
- c) Composiciones químicas adecuadas a fin de alcanzar propiedades óptimas.

3.2.- MATERIA PRIMA.-

3.2.1.- CHATARRA DE ACERO.-

Es el primer insumo del material de carga. La chatarra es preparada y clasificada. El hecho de ser preparada nos reduce los problemas operacionales y me-

talúrgicos durante el período de fusión; mientras que la clasificación se hace, para no tener muchas variaciones en el tiempo de afino.

3.2.2.- FERROALEACIONES.-

A.- FERRO - SILICIO.-

Actúa como desoxidante y desgasificador; se adiciona en cantidad tal, que permita lograr el Si en porcentaje requerido en el acero.

Tiene la siguiente composición:

<u>Elemento</u>	<u>FeSi-Standard</u>	<u>FeSi-Nacional</u>
% C	0.10	0.20
% Mn	0.40	0.15
% Si	74.0/79.0	44.0
% P(% Cu)	0.035	0.04
% S	0.025	0.04
% Ni	0.10	0.04
% Cr	0.30	0.015
% Ca	0.75	0.88
% Al	1.5	1.22

B.- CALCIO - SILICIO.-

Permite ser usado en reemplazo del ferrosilicio. Su composición es:

% C 1.0

% Si	60.0/65.0
% S	0.07
% P	0.02
% Ca	30.0/33.0
% Al	1.5

C.- FERRO MANGANESO.-

Actúa como desulfurante y desoxidante. Tiene -
la siguiente composición química:

<u>Elemento</u>	<u>Fe Mn Standard</u>	<u>Fe Mn Refinado</u>
% C	1.5	7.5
% Mn	80.0/85.0	76.0/78.0
% Si	1.0	1.2
% P	0.3	0.35
% S	0.02	0.05
% Sn	0.01	0.02
% As	0.15	0.30
% Pb	0.05	0.05

D.- FERRO - VANADIO.-

El vanadio en pequeñas cantidades permite ob-
tener buenas propiedades mecánicas al afinar el tamaño -
de grano. Su composición es:

% C	1.5
% Si	2.3

% S	0.10
% P	0.06
% V	70.0/80.0
% Al	1.5

E.- FERRO - NIOBIO.-

Se adiciona al acero para elevar la resistencia a la tracción. Tiene la siguiente composición:

% Si =	4.0 max
% S =	0.08
% P =	0.08
% Nb =	65.0
% Pb =	0.08
% Al =	1.5

3.2.3.- COQUE FINO.-

Se adiciona a la cuchara, para alcanzar el porcentaje final de carbono en el acero; haciéndose la salvedad que las ferroaleaciones añadidas, han incrementado el porcentaje de carbono preliminar. Su composición es:

% C	85.0/89.0
% S	0.90

3.2.4.- FUNDENTES.-

A.- CAL.-

Su utilización está de acuerdo a los contenidos

de silicio, fósforo y azufre en el arrabio. Nuestro arrabio es de bajo contenido de fósforo y azufre, entonces la cal se limita solo al silicio y a la basicidad requerida, que está dada por la relación:

$$IB = \frac{Ca}{SiO_2} \geq 3.0 \quad \text{Donde:}$$

IB = Índice de basicidad.

La cal que utilizamos tiene un 80% de CaO aproximadamente y debe contener lo mínimo de humedad. Su análisis es:

% SiO ₂	=	5.0
% CaO	=	80.0
% MgO	=	4.0
% Al ₂ O ₃	=	4.0
% Fe ₂ O ₃	=	5.0
% H ₂ O	=	2.0

B.- ESPATO FLUOR.

Denominado también fluorita, fluidifica la escoria, cuando ésta adquiere mucha consistencia. Una composición requerida para ser un buen fundente es:

% SiO ₂	=	3.0
% CaO	=	3.5
% F ₂ Ca	=	85.0
% K ₂ O	=	0.25
% CaCO ₃	=	3.5

% H₂O = 0.4

3.3.- ASPECTOS DE LA FUSION.-

Las porosidades en las piezas de acero colado obedecen a 2 motivos principales:

- a).- Humedad en los moldes.
- b).- Gases en el baño de acero.

Los defectos originados por humedad, se eliminan proporcionando a los moldes un buen estufado, previo al vertido del metal al molde; mientras que los defectos ocasionados por gases se disminuye o eliminan, haciendo una buena desgasificación.

La condición indispensable para obtener piezas libre de porosidades es que el acero sea calmado.

3.3.1.- VENTAJAS DEL ACERO CALMADO.-

Un requisito fundamental para obtener piezas de buena calidad, es utilizar acero calmado. Los aceros efervescentes y semi-calmados originan porosidades y sopladuras en las piezas.

Entre las principales ventajas del acero calmado tenemos:

- a) Permite obtener piezas libre, de porosidades

y sopladuras.

- b) Durante el colado de las piezas, la efervescencia que se produce por el desprendimiento de gases es mínima.
- c) El acero calmado presenta menos segregaciones, respecto a los efervescentes y semicalmados.
- d) Las piezas coladas con acero calmado presentan propiedades más homogéneas con respecto a los otros tipos de acero.

3.3.2.- PROBLEMA DE LOS GASES.-

Cualquiera que sea el origen de los gases en el acero a colarse, éstos van a originar 2 tipos de defectos:

- a) Porosidades (pinholes) localizadas en la superficie de las piezas.
- b) Sopladuras (blow-holes) repartidas en todo el espesor de la pieza.

El acero en su fabricación, aprisiona gases como hidrógeno, nitrógeno, etc. y que posteriormente - cuando el metal se cuela va absorber tanto la humedad del molde como el oxígeno del aire.

A continuación se estudia la forma en que se produce los gases en el acero y los efectos que tienen

en las piezas.

A.- HIDROGENO EN EL ACERO MOLDEADO.-

Es frecuente encontrar en el acero moldeado hidrógeno y nitrógeno; ambos gases tienen mucho que ver con la formación de poros y sopladuras en las piezas.

De acuerdo a la curva de solubilidad, del hidrógeno en el hierro en función de la temperatura (Figura 2) podemos observar que sobre los $1,500^{\circ}\text{C}$ el H_2 y N_2 son bastante solubles en el hierro; y como las piezas de acero generalmente se cuejan a temperaturas del orden -- $1,550 - 1,650^{\circ}\text{C}$ entonces siempre se va a tener hidrógeno en el seno del acero líquido. Por otro lado durante el recorrido por el interior del molde está el acero rodeado de una atmósfera rica en vapor de agua, lo cual va a incrementar el hidrógeno durante el llenado del molde.

Durante la solidificación del acero, disminuye bruscamente la solubilidad, lo que tiene por efecto un desprendimiento de gases en toda la masa de la pieza que va a dar lugar a grandes burbujas (sopladuras). Al disminuir la solubilidad del hidrógeno durante la solidificación, se segrega éste también, aumentando el volumen de las sopladuras.

Según M. SIMIALOWSKI el límite máximo de hidrógeno admisible en el acero colado es:

Acero al carbono	6.5 cm ³ /100 gramos
Acero de baja aleación	7.0 cm ³ /100 gramos
Acero inoxidable (14% Cr)	10.0 cm ³ /100 grs.
Acero inoxidable austenítico (18 Cu, 8 Ni)	12.0 cm ³ /100 grs.

El hidrógeno presente en el baño mientras esté en el horno se disminuye su contenido por medio de un fuerte borboteo de CO. El baño deberá tener suficiente carbono disuelto para producir un intenso desprendimiento de CO, que arrastre al hidrógeno presente, procedente de los materiales de la carga. La oxidación del carbono se realiza por inyección de oxígeno dentro del baño.

Por otro lado con un buen control de estufado de moldes, vamos a disminuir el incremento de hidrógeno procedente de la humedad de los moldes; este último control se debe realizar en una forma más estricta, ya que el aporte por humedad de molde, a veces es más considerable que el, que tiene el baño procedente de la fusión.

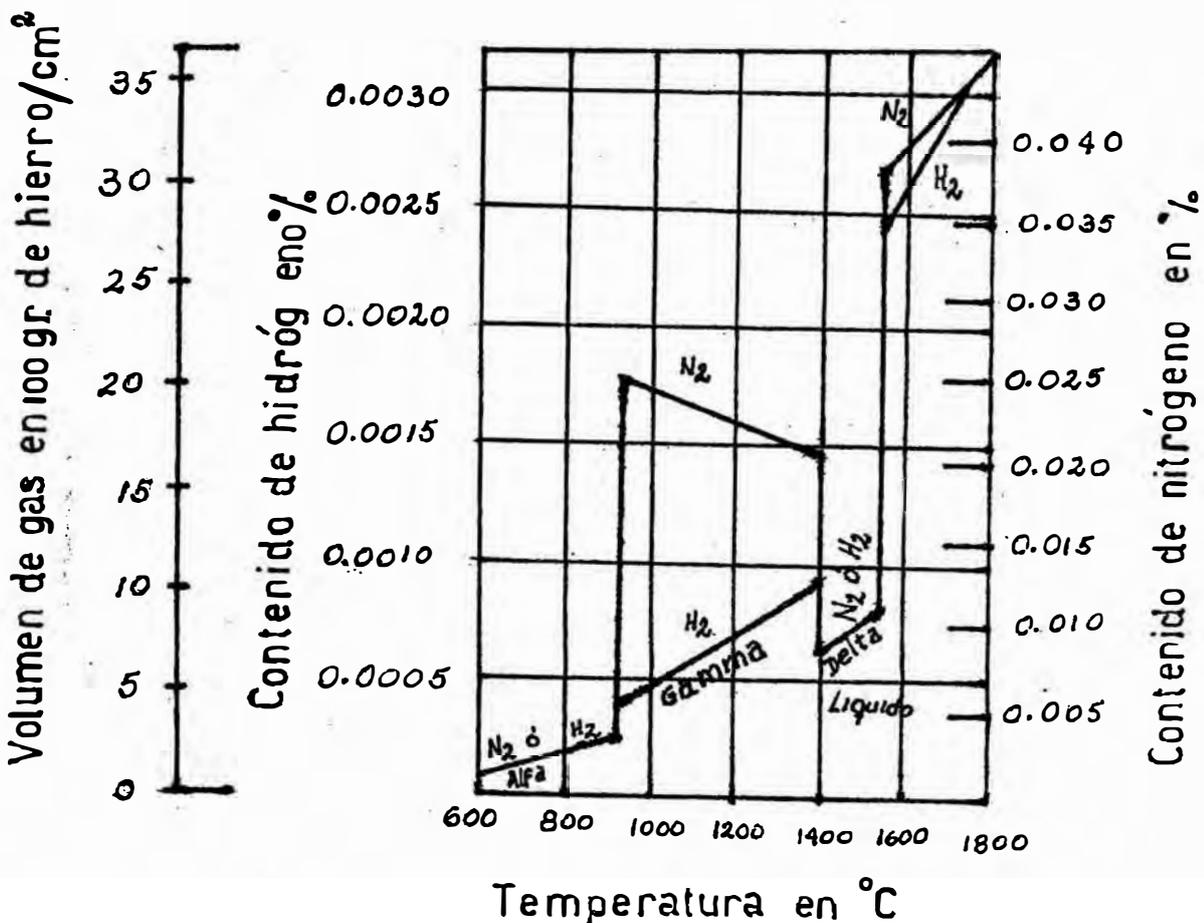
Actualmente los problemas del hidrógeno en el acero moldeado se ha reducido al tratar el acero al vacío, con esta técnica se puede obtener hasta menos de 2.0 cm³/100 gramos. También se ha conseguido disminuir el contenido de hidrógeno en el acero por inmersión de aleaciones de magnesio y de otros productos fácilmente evaporables. En lo que concierne a los moldes y cuando -

se va colar aleaciones con elevada tendencia a la oxidación, se realiza el colado protegiendo el chorro con atmósfera de argón, al igual que el molde; de tal forma que el acero no entra en contacto con el aire.

FIGURA N° 2

SOLUBILIDAD DEL HIDROGENO Y EL NITROGENO EN EL HIERRO EN FUNCION DE LA TEMPERATURA SEGUN A.SIEVERT

(Presion Parcial de cada gas , una atm.)



B.- NITROGENO EN EL ACERO MOLDEADO.-

La curva de solubilidad del nitrógeno en el hierro por encima de los 1,400° que es similar a la del hidrógeno (Véase figura #2); ambos se encuentran disueltos en estado atómico.

El nitrógeno también se elimina de idéntica forma que el hidrógeno, esto es que los gases son arrastrados por las burbujas de CO durante el periodo de soplado; pero si se encuentra en el acero elementos formadores de nitruros entonces disminuye la cantidad de gas arrastrado.

Los elementos formadores de nitruros como: Vanadio, Cromo, Manganeso, Molibdeno y sobre todo el Aluminio, aumentan la solubilidad del nitrógeno, mientras que el cobre, níquel y cobalto la disminuyen.

Entre los principales defectos que origina el nitrógeno tenemos :

- a) Rotura Concoidal.- Originada por un excesivo contenido de nitrógeno y aluminio, formándose nitruros de Aluminio que precipitan a lo largo de los bordes de grano, que interrumpen la continuidad del metal, provocando una disminución de la resiliencia y aumentando la tendencia al agrietamiento

en caliente.

- b) El nitrógeno produce fenómenos de envejecimiento y la llamada acritud azul que fragiliza el acero.

El nitrógeno en el orden de 0.01% es inofensivo.

3.4.- SOLIDIFICACION.-

Las anclas requieren de elevadas propiedades mecánicas, esto significa que la pieza debe estar libre de defectos como porosidades, sopladuras y fundamentalmente rechupes; para lo cual se tiene que tomar las precauciones a fin de garantizar una solidificación libre de los defectos mencionados.

Los procesos que ocurren durante la solidificación del acero en el molde, son determinantes en las propiedades de la pieza colada.

La dificultad que se tiene al colar el acero, es la fuerte tendencia a formar rechupes. Los rechupes son cavidades formadas durante la solidificación del metal líquido a causa de la disminución de volumen que experimenta.

En el acero, al no existir grafito se va a producir una contracción total del hierro equivalente a la suma de las disminuciones de volumen de las 3 etapas siguientes :

- a) Primera etapa : Contracción en estado líquido.
- b) Segunda etapa : Contracción durante la solidificación.
- c) Tercera etapa : Contracción en estado sólido.

La contracción en estado líquido se manifiesta por un descenso del nivel del líquido en las mazaretas y no tiene importancia técnica.

La contracción de la segunda etapa con un 3% de contracción en volumen, se inicia con la aparición de los primeros cristales (línea de "LIQUIDUS") y termina al concluir la solidificación (línea de "SOLIDUS").- Es en esta etapa donde se forman los rechupes y por lo tanto es menester dirigir el proceso de solidificación de tal forma que los rechupes aparezcan en las mazaretas.

La solidificación va progresando en dirección a los puntos más calientes con una velocidad que es función de la rapidez con que el molde extrae el calor del acero; las dentritas crecen por tanto perpendicular a la pared del molde en dirección a los centros térmicos.

La tercera etapa comprende desde la línea de SOLIDUS hasta la temperatura ambiente y presenta una variación de volumen de 7.2% aproximadamente. Exteriormente se manifiesta como una contracción lineal de la pieza sólida y se toma para el acero en el orden de 2.2% - si la contracción ocurre libremente.

La solidificación es influenciada por el intervalo de solidificación (distancia entre las temperaturas de las líneas de LIQUIDUS y SOLIDUS); si éste es grande, se forma una zona en estado pastoso de gran extensión y la tendencia a la formación de microrechupes aumenta; en cambio si el intervalo de solidificación es pequeño disminuye la zona en estado pastoso y por consiguiente la formación de microrechupes también disminuye.

3.4.1.- SOLIDIFICACION DIRIGIDA.-

Mediante un adecuado diseño de colada, se evita los rechupes en la pieza, lo que se consigue creando una solidificación dirigida. Por diseño de colada se debe crear una gradiente térmica dentro de la pieza, de tal forma que los huecos, que se formen entre las ramificaciones de las dendritas al progresar la solidificación, se vayan llenando constantemente con el metal líquido, que fluye desde los centros térmicos; si por algún motivo no se compensa esa contracción (no se rellena los huecos de las dendritas), se forman microrechupes entre las ramas de las dendritas.

Es necesario conseguir, en el interior de la pieza, una distribución escalonada del contenido de calor que produce una solidificación dirigida; la misma - que debe comenzar en las partes más alejadas de las mazarotas e ir progresando en dirección a ellas de forma que cristalice, primero las secciones más alejadas y - termine la solidificación en la mazarota, donde se concentra el rechupe y queda libre de él, toda la pieza.

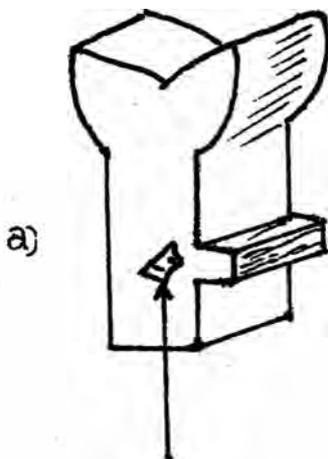
A. HEUVERS concibió, el primer método para lograr la solidificación dirigida, y consiste en trazar - círculos de diámetro creciente hacia la mazarota. Este procedimiento tiene el inconveniente de que al incremento del radio del círculo inscrito (una esfera en el espacio) se realiza en forma empírica, pero con la práctica este método da buenos resultados.

3.4.2.- EMPLEO DE ACELERADORES Y RETARDADORES EN LA SOLIDIFICACION.-

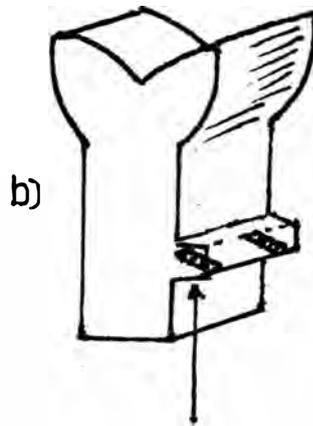
En la generalidad de los casos, cuando se trata de piezas complicadas, para obtener mejores resultados en la solidificación dirigida, se recurre al empleo de enfriadores metálicos, externos o internos en forma de clavos o espirales que aceleran la solidificación en el punto crítico, de forma que se consigue una solidificación dirigida hacia la mazarota más cercana. Este procedimiento se ilustra en la figura N° 3.

Otras veces se consigue una solidificación di
rigida, retardando la solidificación de las partes mas
delgadas, aplicando productos exotérmicos o aislantes -
de calor, a lo largo de la zona de menor sección, mante
niendo ésta, en estado líquido, hasta que las secciones
más gruesas solidifiquen por completo.

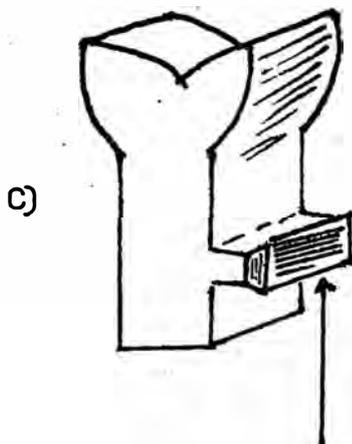
FIGURA N° 3



Rechupe



Clavos o espirales enfriadores



Enfriador externo

Eliminación de rechupes por medio de Enfriadores

Internos o Externos .

3.4.3.- RECHUPES EN EL PROCESO DE SOLIDIFICACION.-

El rechupe es originado por el cambio de volumen durante la solidificación del metal líquido.

Este rechupe se forma en 3 etapas :

PRIMERO, el volumen del líquido disminuye a medida que decrece la temperatura hasta llegar al estado pastoso;

SEGUNDO, durante la solidificación hay una nueva reducción de volumen, y, por último, el metal solidificado para llegar a la temperatura ambiente sufre una posterior contracción de volumen.

Los rechupes que tienen lugar durante las etapas primera y segunda, particularmente la segunda, producen la porosidad de rechupe en piezas y lingotes; sólo pueden obtenerse piezas sanas, cuando las pérdidas de temperatura del metal a través del molde, ocurren de forma que el bebedero o mazarota, es la última porción en solidificarse, de este modo llena el metal líquido los vacíos formados durante la contracción de solidificación.

3.4.4.- MAZAROTAS.-

Son reservas de metal, situadas encima de las regiones masivas de la pieza y su misión fundamental es asegurar una alimentación eficaz de la pieza durante su solidificación. Una condición indispensable que debe cumplir la mazarota es que el metal contenido en ella permanezca líquido durante más tiempo que la pieza misma.

Las mazarotas deben tener las siguientes condiciones :

- 1.- Una mazarota debe solidificar apropiadamente, para ésto, su módulo debe ser mayor que el de la pieza, o sea :

$$M_m = 1.2 M_p$$

Donde : M_m = Módulo de mazarota

M_p = Módulo de la pieza. .

- 2.- Una mazarota debe alimentar convenientemente. Su efecto alcanza en la mayor parte de los metales (excepto la fundición gris) sólo hasta los puntos, que no están alejados del borde de la mazarota más de 2 veces, el espesor de la pared de la pieza. Es decir :

$$D_a = 2d$$

Donde: D_a = Distancia de alimentación de la mazarota.

d = Espesor de pared de la pieza.

3.- Finalmente una mazarota debe satisfacer - el punto de vista de la contracción, es decir, debe aportar a la pieza la cantidad de metal requerida.

El tipo de mazarota viene determinado normalmente por el sitio que tiene que alimentar y la posición más favorable que puede ocupar en el molde. En general se distinguen 2 tipos de mazarota, las abiertas y las ciegas, según tengan salida o no a la superficie. Las mazarotas ciegas están rodeadas por todas partes del material de molde, que actúa de aislante térmico y las mantiene en estado líquido durante largo tiempo.

En la figura 4 se puede observar los dos tipos de mazarota, que corresponde al cuerpo del ancla cuando se adopta este tipo de mazarotaje.

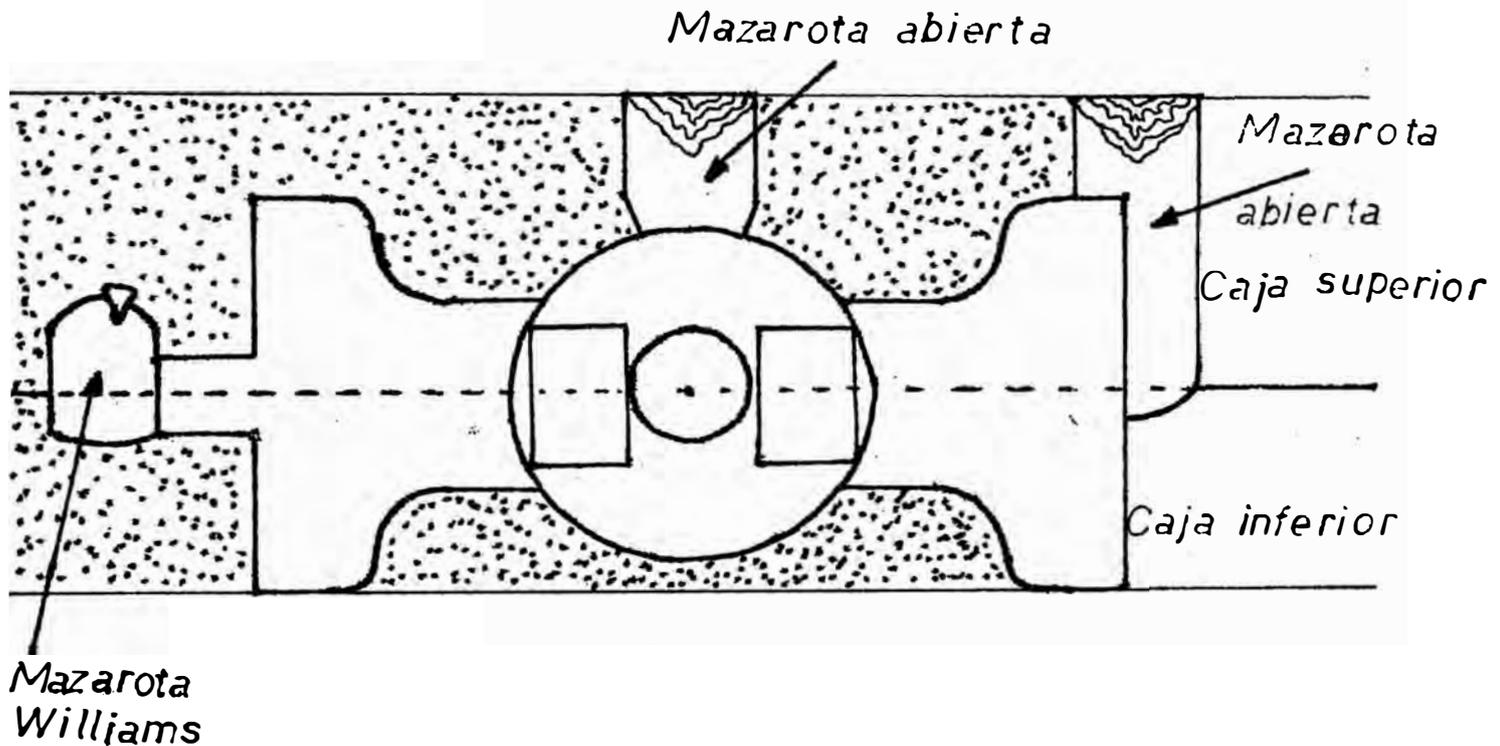
3.4.5.- SEGREGACIONES.

Se denomina segregaciones, las desviaciones de la composición química media de las piezas.

Hay dos clases de segregaciones : la segrega-

FIGURA N° 4

MOLDEO DEL ANCLA UTILIZANDO MAZAROTAS CIEGAS Y ABIERTAS .



ción dendrítica y la segregación principal. En la primera existe diferencia de composición química dentro de cada grano y se debe principalmente, a las diferencias entre las temperaturas de solidificación de los componentes de la aleación.

En la segregación principal existe diferencias de composición química entre las diversas zonas de la pieza, y es producida no sólo por las diferencias entre las temperaturas de solidificación del acero, si

no también por la acción de agentes perturbadores de la solidificación, como el desprendimiento de gases que produce turbulencias en la masa del metal.

Los elementos que tienen tendencia a segregarse en el acero son aquellos que se combinan químicamente con el hierro como carbono, fósforo y azufre.

Las segregaciones se registran en las piezas de paredes gruesas, en zonas próximas a las mazarotas, donde la solidificación es muy lenta.

3.4.6.- PROBLEMA DEL AGRIETAMIENTO EN CALIENTE.-

El agrietamiento en caliente se produce cuando el acero no puede contraer libremente en las proximidades de la temperatura de "SOLIDUS"; o sea algunos grados por debajo de la temperatura de "SOLIDUS", correspondiente a la composición del acero.

El agrietamiento en caliente está relacionado con los siguientes factores :

- a)- Con la composición y tipo de fusión del acero (tipo de horno). El tipo de fusión influye en la clase, cantidad y forma de las inclusiones metálicas.

b)- Con la temperatura de colada, la cual -
tiene influencia en las condiciones de -
solidificación.

c)- Con la geometría de la pieza que puede im
pedir su libre contracción.

La existencia de azufre y fósforo provenien-
te de la carga metálica, así como la presencia de hi-
drógeno y nitrógeno van a favorecer el agrietamiento -
en caliente.

El hidrógeno y nitrógeno son elementos que -
al descender la temperatura disminuyen su solubilidad,
de forma que según la velocidad de enfriamiento, pue -
den segregarse a la temperatura de Solidus, pequeñas -
burbujas de gas entre los cristales, que disminuyen las
fuerzas de unión entre ellos.

En el caso del nitrógeno se va a segregar en
forma de nitruros de aluminio en los bordes de grano, -
disminuyendo la cohesión entre los cristales y aumen -
tando la tendencia al agrietamiento en caliente.

En lo concerniente a temperatura de colada, -
se encuentra en la práctica que temperaturas de colada
altas producen centros térmicos más acusados que las-

bajas, complicándose éste cuando existe una distribución inadecuada de entradas; originando que algunas partes del molde, se calienten más que otras.

El diseño de la pieza debe permitir la libre contracción durante el enfriamiento y evitar que se produzcan centros térmicos con tiempos de solidificación muy largos.

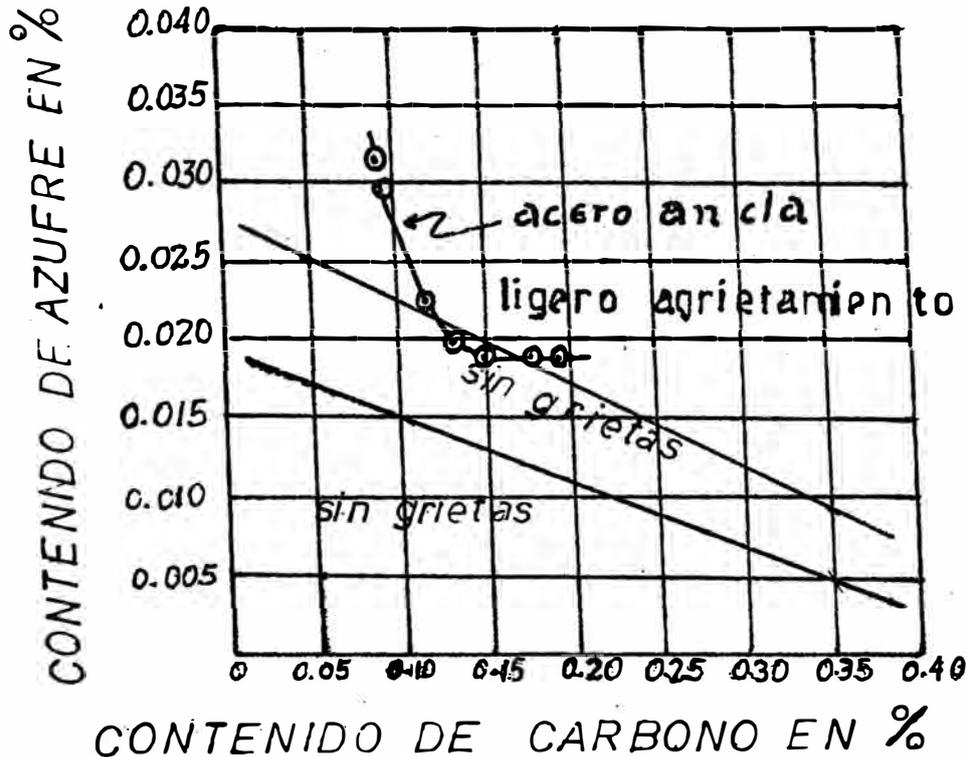
3.4.7.- INFLUENCIA DE LA COMPOSICION QUIMICA DEL ACERO TIPO ANCLA EN LA FORMACION DE GRIETAS EN CALIENTE.-

Entre los elementos que más favorecen al agrietamiento en caliente son el azufre y el fósforo. Si durante la fabricación del acero se controla los contenidos de Hidrógeno y Nitrógeno, (que han sido tratados en forma particular en este capítulo); entonces nos queda por evaluar la influencia del contenido de carbono en el agrietamiento en caliente. Para esto se ha graficado el porcentaje de azufre vs. el de carbono del acero tipo ancla (Véase fig. N° 5) y se ha superpuesto sobre el gráfico de J. VAN EEGHEM y A. de SY; lo cual nos permite apreciar en forma cuantitativa que en las anclas existe la posibilidad de producirse un ligero agrietamiento en caliente; para subsanar esta situación el enfriamiento de las piezas coladas, hasta la temperatura ambiente, se realiza en sus respectivas cajas,-

sin tener contacto con el medio ambiente.

FIGURA N° 5

INFLUENCIA DEL CARBONO Y DEL AZUFRE SOBRE LA FORMACION DE GRIETAS EN CALIENTE SEGUN J.VAN EEGHEM Y A. de SY.



3.5.- COMPOSICION QUIMICA Y CARACTERISTICAS

MECANICAS

3.5.1.- GENERALIDADES.-

Para la construcción de piezas, destinadas a la industria naval, se requiere disponer de materiales que resistan a la acción atmosférica de diversos países y sobre todo a la acción corrosiva de los climas marítimos.

A las anclas, se les exige una buena combinación de propiedades de Resistencia - Alargamiento; para lo cual se necesita dotar a las piezas de una adecuada composición química y darle posteriormente, un tratamiento térmico también adecuado, para mejorar las características mecánicas.

3.5.2.- ACEROS AL CARBONO.-

En este grupo, se incluyen todos los aceros, cuyas características y propiedades dependen principalmente del porcentaje de carbono que contienen.

Generalmente la composición química se ajusta a los siguientes rangos :

C	=	0.05	%	-	0.7%
Mn	≤	0.9	%		
Si	<	0.5	%		
P	<	0.10	%	Máximo	
S	<	0.10	%	Máximo	

Quando las piezas fundidas no soportan cargas de rotura mayor de 40 Kgms/mm², entonces es factible colar las piezas con acero al carbono simplemente; pero para resistencias superiores a 40 Kgms/mm², es necesario el uso de acero aleado. SIDERPERU, provee actualmente a la industria naval, piezas fundidas con -

acero al carbono, tales como prensas estopas, bocanazas, anillos escoben, etc. Al fabricarse estas piezas se tiene que tener en cuenta 2 aspectos. Primero, si la pieza, durante el montaje en la embarcación no va soldada entonces se puede utilizar una composición con carbono hasta el rango de 0.4%; en cambio en las piezas donde se requiere soldabilidad, la composición química se ajusta a los siguientes rangos :

<u>ELEMENTO</u>	<u>PORCENTAJE</u>
Carbono	= 0.23 % Máximo
Silicio	= 0.60 % Máximo
Manganeso	= 1.60 % Máximo
Azufre	= 0.05 % Máximo
Fósforo	= 0.05 % Máximo

Con la composición química anterior se logra un bajo carbono equivalente, con lo que se consigue una buena soldabilidad.

3.5.3.- ACEROS DE ALTA RESISTENCIA Y BAJA ALEACION (ARBA)

Se les conoce como aceros de Alta Resistencia y Baja Aleación a todos aquellos que contienen pequeñas cantidades de elementos aleantes como el Columbio, Vanadio, Titanio, Aluminio y Boro; y que en vir--

tud de estos aleantes, poseen una estructura de grano-fino que permite a los aceros, obtener notables propiedades respecto a los aceros comerciales comunes.

Hoy en día existe una creciente demanda de aceros de alta resistencia y baja aleación a nivel mundial, debido a que éstos están desplazando a los aceros al carbono, puesto que los primeros al tener mayor resistencia, permiten usar planchas y/o perfiles de menor espesor, reduciendo el volumen de las estructuras. A título de ejemplo citamos, que la industria automovilística, actualmente está usando aceros ARBA en reemplazo de los aceros al carbono tipo SAE 1010, con lo que se consigue usar planchas de menores espesores.

SIDERPERU, inicia la fabricación de aceros - ARBA en 1,973, con la producción de barras corrugadas para concreto armado Grado 60, en reemplazo de las barras corrugadas grado 40. Posteriormente al iniciarse la construcción del Oleoducto NOR - PERUANO, SIDERPERU, se vio obligado a desarrollar una nueva calidad de acero, inclinándose por un acero de alta resistencia y baja aleación, decidiéndose entonces fabricar el acero para oleoducto API - X - 52.

Paralelamente, a las exigencias creadas por el oleoducto NOR - PERUANO, respecto a la calidad del-

acero a emplearse en su construcción; la Industria Naval plantea a SIDERPERU, la necesidad de satisfacerle en piezas con requerimientos especiales en sus propiedades, tales como :

- a)- Alta resistencia
- b)- Alto alargamiento
- c)- Resistencia al impacto
- d)- Buena soldabilidad.

Estudiado los valores de las propiedades antes mencionadas, se decidió fabricar las piezas para la industria naval a partir de aceros ARBA, siguiendo la tecnología de fabricación de las piezas que veremos en el próximo capítulo.

C A P I T U L O I V

FUNDICION DEL ANCLA

4.1.- ANTECEDENTES.-

En 1,974, la empresa PICSA ASTILLEROS S.A. - se comprometió fabricar embarcaciones atuneras de 600 TN. de capacidad a los países de Francia y Cuba.

En el primer trimestre de 1,974 PICSA, estudió la posibilidad de que las anclas fueran fabricadas en alguna fundición de Lima; concluyéndose, que las únicas fundiciones que están en capacidad son : fundición de MEPSA y Fundición Callao. La primera tenía compromisos a corto y mediano plazo que lo imposibilitaban.- En cambio Fundición Callao inició la fabricación de anclas, pero éstas fueron descalificadas por la compañía aseguradora LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING. Frente a esta situación, PICSA inicia las gestiones del caso, para que la fundición de SIDERPERU les solucionara el - problema; en efecto, en Agosto de 1,974 se realiza el colado del primer grupo de anclas y en Setiembre se hace la entrega del primer lote de anclas, destinadas a embarcaciones francesas.

Es preciso mencionar que las piezas después de ser sometidas a rigurosos ensayos como veremos en este capítulo, fueron aprobadas por la Cía. Aseguradora LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING.

4.2.- MATERIA PRIMA.-

Para la fabricación de anclas se emplea acero de alta resistencia y baja aleación por razones de carácter técnico que justificaremos a continuación en el desarrollo de este capítulo.

4.2.1.- SELECCION DEL ACERO A EMPLEARSE.-

Normalmente, las condiciones de trabajo de la pieza, nos indica el material a emplearse en la fabricación de la misma; sea acero o fundición.

Analizadas las condiciones de trabajo del ancla, nos encontramos con dos situaciones que son :

PRIMERA- En el momento que la embarcación va anclar, se necesita que la pieza soporte impactos intensos, cuando el ancla se precipita a playa.

SEGUNDA- Cuando la nave está anclada, donde el ancla trabaja a esfuerzo de tracción fundamentalmente.

En función a estas dos situaciones, "LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING" a definido los rangos de las propiedades físicas que deben reunir las piezas; conforme se aprecia en el cuadro # 3. Como se observa en este cuadro las propiedades de las anclas son bastante exigentes, razón por la cual se optó por fabricarlos a -

partir de acero de alta resistencia y baja aleación -
(ARBA).

PROPIEDADES FISICAS DEL ANCLA

CUADRO # 3

PROPIEDAD	VALOR
Resistencia a la traccion	41 - 55 Kgms/mm ²
Alargamiento	≥ 20%
Diámetro de mandril	≤ 60 mm.
Angulo de doblado	= 120°

COMPOSICION QUIMICA DEL ACERO TIPO ANCLA SEGUN

LLOYD'S REGISTER

CUADRO # 4

ELEMENTO	PORCENTAJE (%)
Carbono	0.23 Máximo
Silicio	0.60 Máximo
Manganeso	1.60 Máximo
Azufre	0.05 Máximo
Fósforo	0.05 Máximo
Elementos residuales	0.8% Máximo

4.2.2.- JUSTIFICACION DEL EMPLEO DE ACERO-
DE ALTA RESISTENCIA Y BAJA ALEACION
EN EL ANCLA.-

Según las propiedades físicas que se quieren obtener, se tiene que ajustar la composición química. En el caso del ancla la norma "LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING" nos fija los rangos químicos que están estipulados en el cuadro # 4.

Al observar los tenores químicos especificados por LLOYD'S; nos encontramos que SIDERPERU fabrica aceros al carbono que, si bien químicamente satisface la condición de la norma, en propiedades físicas no lo cumple; esto hace que se tenga que usar aleantes como niobio y vanadio a fin de garantizar las propiedades mecánicas. Al respecto la norma nos da libertad para el uso de aleantes siempre que no excedan de 0.8 % .

4.3.- ELEMENTOS DE MOLDEO Y COLADA.-

Básicamente se considera dentro de este rubro, los modelos y las cajas de moldeo.

4.3.1.- MODELOS.-

El ancla está compuesta de dos partes

que son: cuerpo del ancla y brazo del ancla, moldeándose se ambas piezas por separado; en consecuencia cada una de las partes tiene su propio modelo y corresponde a un modelo de tipo partido en dos mitades: superior e inferior, según el plano de simetría de la pieza. Esta división del modelo facilita el desmoldeado, realizándolo con unas ligeras sacudidas del modelo; así como también simplifica las operaciones de reparación del molde.

Existe una diversidad de materiales que se emplean en la fabricación de modelos como: madera, yeso, materias plásticas y metales (Aluminio, Bronce , etc.). De esta gama el que más se adecúa y con el cual se fabrica el modelo del ancla, es la madera, por las siguientes razones:

- a).- Precio relativamente barato.
- b).- Facilidad para ser trabajada, pulida y barnizada.
- c).- Se pueden revelar todas las formas complejas de la pieza.
- d).- Escaso coeficiente de contracción.

4.3.2.- EFECTO DE LA CONTRACCION EN EL DIMENSIONADO DE LA PIEZA.-

La dimensión del modelo es más grande que la pieza, ya que se añade a las de ésta, el valor de la contracción, la misma que para el modelo del ancla se

fija como 2% de contracción lineal. Este valor es riguroso debido a que después de ser acabada la pieza , no se realiza ninguna clase de maquinado, lo cual imposibilita corregir cualquier sobredimensionamiento en la pieza.

4.3.3.- CAJAS.-

Son cuadros rígidos, contruidos de acero, destinados a contener, controlar y aguantar la arena durante el moldeo y la colada del metal.

Las anclas son piezas que se prestan para ser moldeadas en dos cajas: una superior (tapa) y una inferior (base). (Existen piezas que necesitan una caja intermedia). Las dimensiones de las cajas son las siguientes:

a) Cuerpo del ancla:

Tapa y Base: 1,500 x 1,370 x 410 mm.

b) Brazo del ancla:

TAPA: 1,800 x 800 x 495 mm.

BASE: 1,800 x 800 x 250 mm.

4.4.- DISEÑO DE COLADA DE LA PIEZA.-

Para el cálculo de diseño de colada de la pieza se tiene que tener en cuenta algunos requisi

tos, que son básicos para la obtención de anclas de buena calidad; entre éstos tenemos:

- a) El llenado del molde, sea en un tiempo adecuado; sin interrupciones en el vaciado ni con temperaturas excesivamente altas.
- b) Evitar el flujo turbulento del metal fundido y prevenir el paso de partículas no metálicas a la cavidad principal del molde.
- c) Evitar que la corriente de metal, succione aire o gases del metal.
- d) Evitar que el molde y sus componentes sean erosionados.
- e) Crear una solidificación dirigida.

Todos los cálculos que a continuación se hacen, obedecen a leyes de validez general en el campo de la fundición de acero, y el cálculo de algunas constantes que intervienen en las fórmulas han sido obtenidas a partir de datos experimentales.

4.4.1.- CONCEPTO DE MODULO.-

N.J. CHWORINOFF, en 1,940 introdujo el cociente volumen/superficie en las piezas, para los efectos del cálculo del tiempo de enfriamiento de piezas. A esta relación la denominó módulo de solidificación y ma-

temáticamente se expresa como sigue:

$$\text{MODULO} = \frac{\text{Volumen de la pieza (cm}^3\text{)}}{\text{Superficie liberadora de calor (cm}^2\text{)}} \quad (\text{cm})$$

$$\text{ó } M = \frac{V}{S} \quad (\text{cm}) \quad \text{..... FORMULA 1}$$

Se entiende por superficie liberadora de calor como aquella que está en contacto con el molde.

El módulo se ha constituido en una herramienta de la técnica de colada y para los efectos de cálculo de diseño de la pieza; ésta se puede dividir en dos ó más partes y calcular el módulo individualmente para cada fracción de la pieza. Se simplifica los cálculos si la pieza se divide en cuerpos geométricos simples ; puesto que sus módulos tienen valores definidos. Utilizando este criterio, ha sido posible hacer la deducción de los módulos del cuerpo y brazo del ancla descomponiendo a las piezas en cuerpos simples y evaluando sus módulos de cada uno de estos elementos simples, que es lo que nos va ha permitir calcular el módulo total de la pieza, tal como se ha hecho en el punto 4.4.2 .

4.4.2.- CALCULO DEL TIEMPO DE COLADA.-

La duración del enfriamiento desde la temperatura de colada del ancla (1,550 - 1,650°C), hasta la

Temperatura de LIQUIDUS, del acero tipo ancla de que se trata, es por tanto el tiempo de llenado de que normalmente disponemos. Existen numerosas fórmulas para el cálculo del tiempo de llenado, pero la que nos ha reportado mas exactitud en las anclas es aquella que es expresada en función del módulo y del frente de solidificación de la pieza. Se expresa como :

$$t_{\max} = \frac{M}{\epsilon} \quad \text{Fórmula - 2}$$

Donde :

t_{\max} = Tiempo máximo de enfriamiento del metal líquido (segundos)

M = Módulo de la pieza en cms.

ϵ = Coeficiente de avance del frente de solidificación en (cm/sgdo).

En los cuadros 5 y 6 se presenta en forma de de tallada los cálculos realizados, para determinar el tiem po de colada del cuerpo y brazo del ancla, así como las variables que intervienen en dicho cálculo.

Para la evaluación de los tiempos de colada - tanto del cuerpo como del brazo del ancla, en primer lu gar, se ha procedido al cálculo de los módulos de las piezas, haciéndose la deducción de módulo a emplearse, - por separado para cada parte del ancla, conforme se apre

cia en los cuadros 5 y 6 en donde se ha concluido en los siguientes resultados :

a).- Para el cálculo del módulo del cuerpo del ancla, éste puede considerarse como una placa y en consecuencia su módulo será igual al módulo de las placas. La deducción respectiva se presenta en el cuadro 5.

b).- El cálculo del módulo del brazo del ancla, se simplifica por cuanto, la parte plana del brazo, se puede considerar como una barra larga y por consiguiente el módulo de la pieza es igual al módulo de las barras largas.

La deducción respectiva se presenta en el cuadro número 6.

CUADRO # 5

A.- CALCULO DEL TIEMPO DE COLADA DEL CUERPO DEL ANCLA

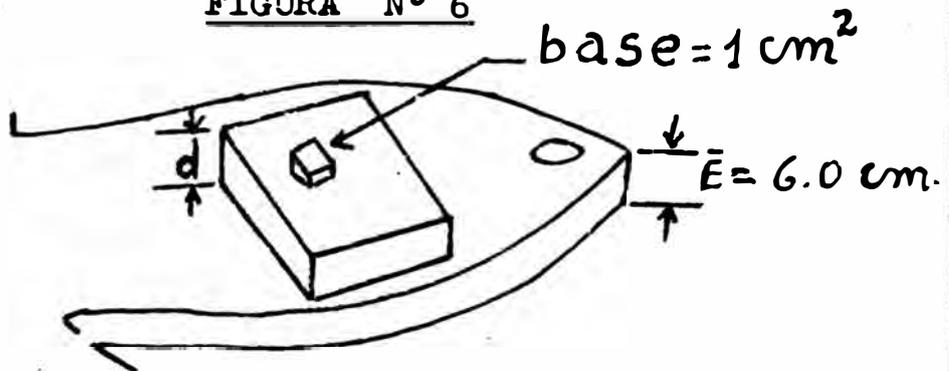
NOMBRE DE LA PIEZA	MODULO M_p EN cms.	COEFICIENTE DE SOLIDIFICACION " ϵ " EN cms/sgdo	TIEMPO DE COLADA " t " EN sgdos.
CUERPO DEL ANCLA	$M_p = \frac{d}{2} = \frac{\bar{E}}{2}$ $\bar{E} = 6.0 \text{ cms.}$ $M_p = \frac{6.0}{2}$ $M_p = 3.0 \text{ cms.}$	$0.075 \frac{\text{cm}}{\text{sgdo.}}$	$t = \frac{M_p}{\epsilon}$ $t = \frac{3.0 \text{ cms}}{0.075 \frac{\text{cm}}{\text{sg}}}$ $t = 40 \text{ sgdo.}$

NOTAS :

- 1.- Los valores del frente de solidificación " ϵ " varía de acuerdo a la forma como el molde extrae el calor de la pieza recién colada.
- 2.- M_p = Módulo de la pieza.

DEDUCCION DE MODULO

FIGURA N° 6



Continúa...

Viene... (cuadro # 5)

Cada cubito sacado de la placa tiene como volumen y superficie lo sgte :

$$V = 1 \text{ cm}^2 \times d \text{ cms}; \quad S = 2 \text{ cm}^2 \quad (\text{Véase fig.6})$$

$$M = \frac{V}{S} = \frac{1 \text{ cm}^2 \times d \text{ cms}}{2 \text{ cm}^2} = \frac{d}{2} \text{ (cms.)}$$

Como la placa puede suponerse compuesta por un número arbitrario de cubitos, el módulo de la placa es :

$$M = \frac{d}{2}$$

Para este caso particular : $d = \bar{E}$

Donde $\bar{E} = 6.0 \text{ cms}$ (espesor promedio).

CUADRO # 6

B.- CALCULO DEL TIEMPO DE COLADA DEL BRAZO DEL ANCLA

NOMBRE DE LA PIEZA	MODULO M_p EN cms.	COEFICIENTE DE SOLIDIFICACION " ϵ " EN cms/sgdo.	TIEMPO DE COLADA " t " sgd.
BRAZO	$M_p = \frac{ab}{2(a+b)}$		$t = \frac{M_p}{\epsilon}$
DEL	$M_p = \frac{9.4 \times 12.0}{2(9.4 + 12.0)}$	$0.073 \frac{\text{cms}}{\text{sgd.}}$	$t = \frac{2.64 \text{ cms}}{0.073 \frac{\text{cm}}{\text{sg.}}}$
ANCLA	$M_p = 2.64 \text{ cms.}$		$t = 36 \text{ sgdos.}$

continúa...

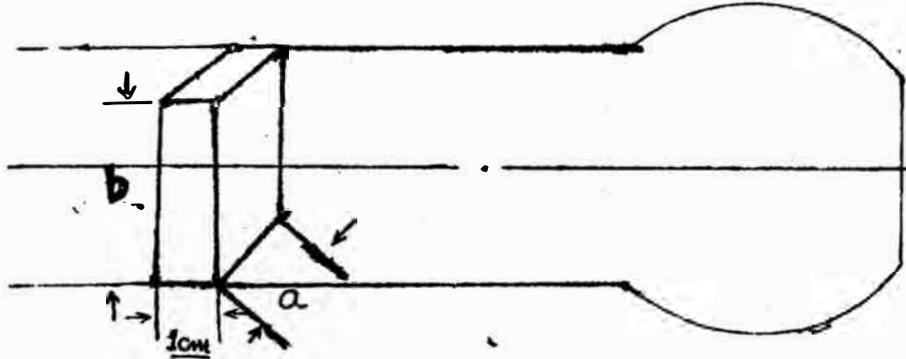
Viene... (cuadro # 6)

DEDUCCION DE MODULO

FIGURA N° 7

$$a = 9.4 \text{ cms}$$

$$b = 12.0 \text{ cms.}$$



La parte plana del brazo del ancla se puede considerar como una barra larga y cada pieza sacada de ella, tiene por volumen y superficie lo sgte :

$$V = b \text{ cms} \times 1 \text{ cm.} \times a \text{ cms.} = ab \text{ cm}^3 \text{ (Véase fig. 7)}$$

$$S = 2(a \text{ cms} \times 1 \text{ cm}) + 2(b \text{ cms} \times 1 \text{ cm}) = 2a \text{ cm}^2 + 2b \text{ cm}^2 = 2(a + b) \text{ cm}^2$$

$$M = \frac{V}{S} = \frac{ab \text{ cm}^3}{2(a + b) \text{ cm}^2} = \frac{ab}{2(a+b)} \text{ (cms)}$$

La barra puede considerarse compuesta por un número arbitrario de piezas como las de la fig. 7 y su módulo será grande de magnitud e igual a :

$$M = \frac{ab}{2(a + b)}$$

4.4.3.- SISTEMAS DE ALIMENTACION.-

Con un buen sistema de alimentación se logra una pieza sana, exenta de porosidades, rechupes, óxidos, inclusiones o suciedades.

Antes de realizar los cálculos del diseño, es necesario conocer los elementos del sistema de alimentación, que son :

- a)- Bebedero o canal de bajada.
- b)- Canales de colada y de entrada.
- c)- La entrada.
- d)- Mazarotas.
- e)- Vientos.

A continuación se expone brevemente cada uno de los sistemas de alimentación que acabamos de enumerar a excepción de las mazarotas que fueron tratadas oportunamente en el punto 3.4.4 del capítulo III.

A.- BEBEDERO.- Es el conducto de bajada que conduce el metal colado, hasta los canales de colada; tiene diversas secciones (circular, cuadrada, exagonal, etc.). El bebedero alimenta a los canales de colada permitiendo un llenado uniforme de éstos, puede estar unido directamente a los canales, o éstos partir de un ensan-

chamiento que se labra en la base del bebedero, (Ver ilustración de los elementos del sistema de colada en la figura 8).

B.- CANALES DE COLADA.- Los canales de colada unen el bebedero con los canales de entrada, o directamente con la entrada. Deben de poseer las características del bebedero, de conducir el metal con un flujo uniforme, sin turbulencias, para ello las formas más adecuadas son aquellos cuya forma de sección es trapecial. (Ver ubicación de canales en fig. 8).

C.- CANALES DE ENTRADA.- Son aquellos que unen el canal de colada con la entrada a la pieza; en ciertos casos están suprimidos haciendo de tal, los canales de colada.

Suelen tener la sección transversal de forma semejante a los de colada, aunque su forma varía a medida que se acerca a la pieza para conseguir la sección de entrada adecuada. (Ver la posición del canal en la figura 8).

Los canales de colada y de entrada consti

tuyen los canales de alimentación.

D.- ENTRADA.- Se denomina entrada o ataque, a la sección que une la cavidad de la pieza con el canal de alimentación.

El área de esta sección es de gran importancia, pues regula la velocidad de llenado de la cavidad de la pieza, si la sección de entrada es muy pequeña con respecto a la del bebedero, el metal entrará con gran velocidad, lo cual provoca atrapamiento de aire; por el contrario una sección mayor que la del bebedero ocasiona depresiones en el flujo de líquido.

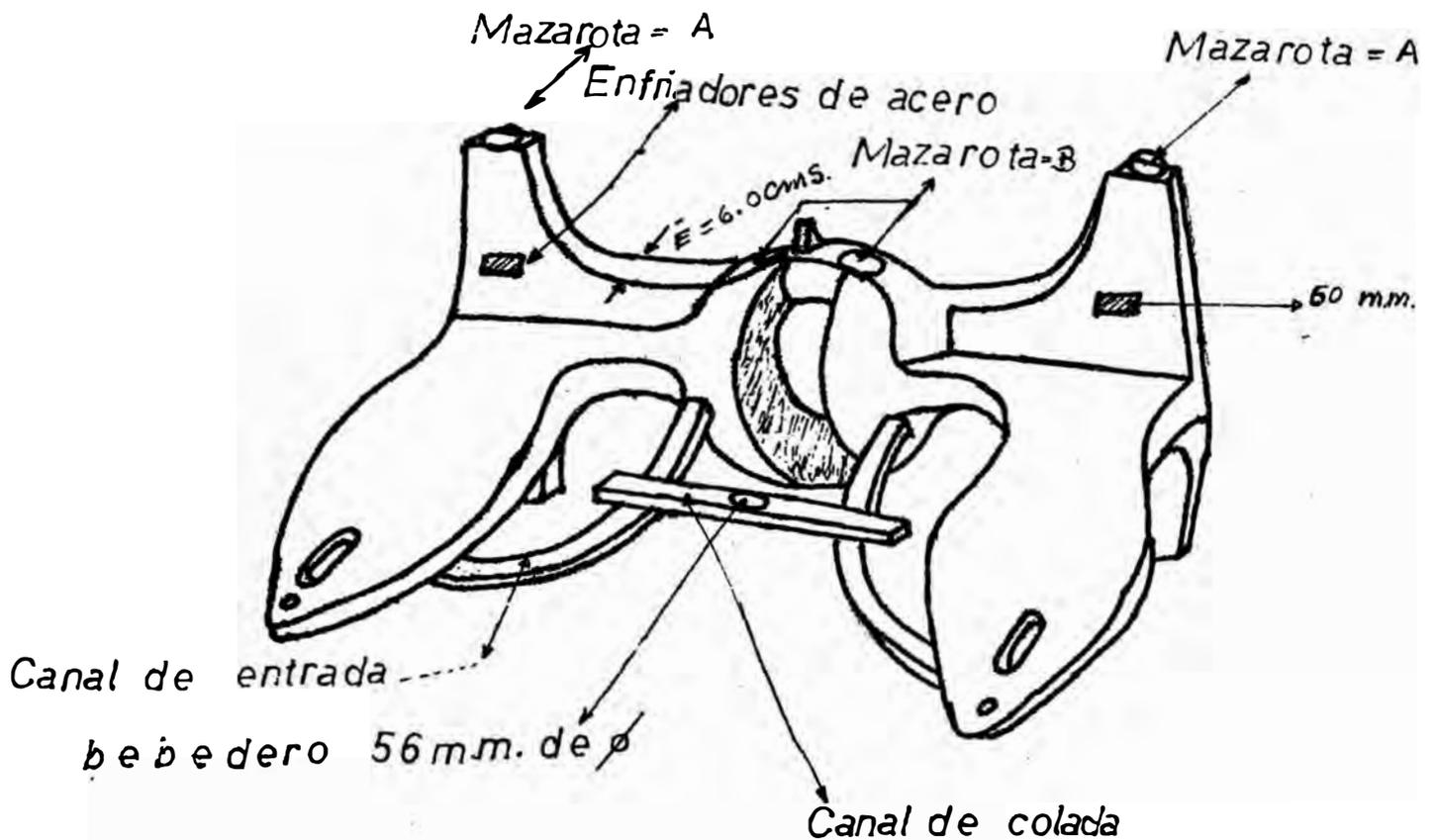
E.- VIENTO.- Es un agujero de diámetro pequeño que hace comunicar al canal de colada con la atmósfera, a través del molde y juega un papel doblemente importante.

- a) Almacena el primer metal frío y con su ciedad del frente de avance del flujo líquido.
- b) Comunica al canal principal con el exterior y permite al líquido continuar su movimiento, en lugar de ser bruscamente detenido.

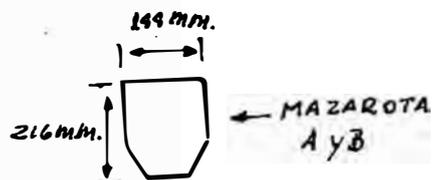
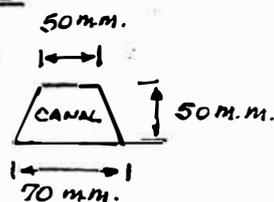
Los vientos practicados en el molde en comunicación con la cavidad que ha de dar forma a la pieza, aparte de servir como receptores del primer metal que entra en dicha cavidad permiten el escape de aire y otros gases que se producen durante su llenado.

FIGURA N° 8

ELEMENTOS DEL SISTEMA DE COLADA DEL CUERPO DEL ANCLA



DETALLES



4.4.4.- CALCULO DE LOS ATAQUES O ENTRADAS.-

Los ataques en una pieza se distribuyen de tal forma que garantice una alimentación homogénea a la cavidad del molde, para lograr este objetivo se requiere centrar nuestra atención en dos factores :

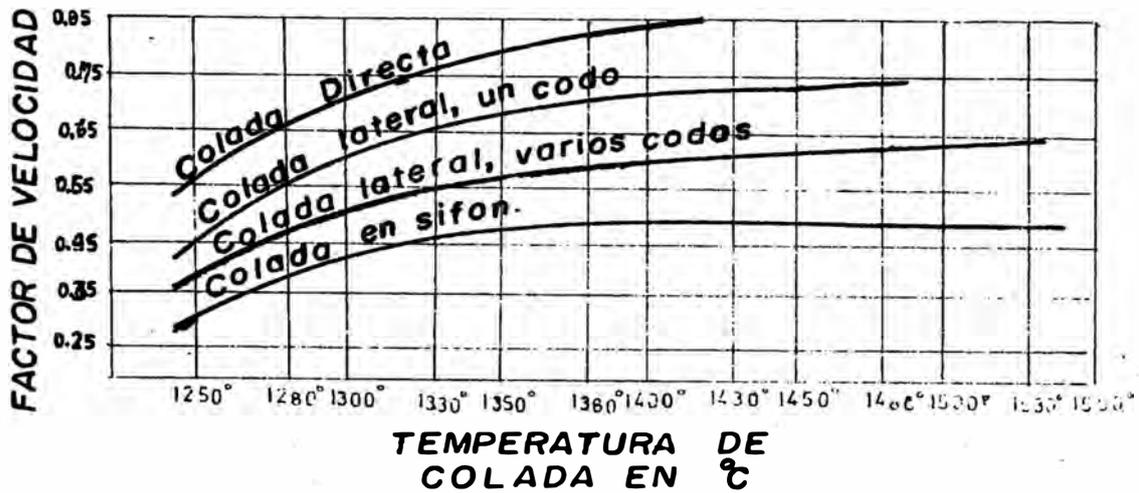
- a)- Número de ataques por pieza.
- b)- Forma y demenciones de la sección de cada ataque.

En el caso de las anclas se ha calculado los ataques por separado tanto para el cuerpo del ancla (Ver cuadro 7) como el brazo (Ver cuadro 8). En ambos casos las secciones de las entradas han sido calculados a partir de la ecuación general de entradas, como se puede ver en la hoja de cálculos de los cuadros números 7 y 8.

Los factores de velocidad que se emplean en los cálculos se deducen a partir de la gráfica de la figura 9.

FIGURA N° 9

FACTOR DE VELOCIDAD EN FUNCION DE LA TEMPERATURA Y
EL MODO DE COLADA DE LA FUNDICION



CUADRO N° 7

A.- ENTRADAS O ATAQUES DEL CUERPO DEL ANCLA:

1.- RELACION DE DATOS:

Tiempo de colada: $t = 40$ sgds.- Calculado según Cuadro # 5.

Peso de la pieza: $P = 914$ Kgs.- Metal/molde.

Peso específico de acero líquido: $\gamma = 7.16$

Altura de bebedero: $h = 41$ cms.

Factor de velocidad: $\xi = 0.47$.- Ref. Fig. 9 (colada en sifón).

Continúa ...

Viene... (cuadro # 7)

2.- APLICACION DE LA ECUACION GENERAL DE ENTRADAS :

$$nSe = \frac{22.6 \times P}{\gamma \times t \times \xi \times \sqrt{h}} \quad \text{Donde :}$$

n = Número de entradas

Se = Sección de entrada

$$nSe = \frac{22.6 \times 914}{7.16 \times 40 \times 0.47 \sqrt{41}}$$

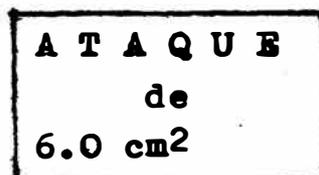
$$nSe = 24 \text{ cm}^2$$

3.- DISTRIBUCION DE ENTRADAS : La suma de todas las secciones de entrada asciende a 24 cm² y como se han considerado 4 entradas rectangulares, entonces el área de cada ataque equivale a :

$$Se = \frac{24 \text{ cm}^2}{4} = 6.0 \text{ cm}^2$$

Las dimensiones de la entrada o ataque son como sigue :

4.0 cm.



1.5 cms.

4.- UBICACION DE ENTRADAS.- Como la mostrada en la figura 8.

CUADRO N° 8

B.- ENTRADAS O ATAQUES DEL BRAZO DEL ANCLA :

1.- RELACION DE DATOS :

Tiempo de colada : $t = 36$ sgdos.-Calculado según cuadro 6.

Peso de la pieza : $P = 625$ Kgms.-(Peso de 2 brazos)

Peso específico de acero líquido : $\gamma = 7.16$

Altura de bebedero: $h = 49.5$ cms.

Factor de velocidad : $\xi = 0.47$ Ref. fig. 9 (colada en sifón).

2.- APLICACION DE LA ECUACION GENERAL DE ENTRADAS :

$$nS_e = \frac{22.6 \times P}{\gamma \times t \times \xi \times \sqrt{h}}$$

Donde :

$n =$ número de entradas

$S_e =$ Sección de entrada

$$nS_e = \frac{22.6 \times 625}{7.16 \times 36 \times 0.47 \sqrt{49.5}}$$

$$nS_e = 16.6 \text{ cm}^2$$

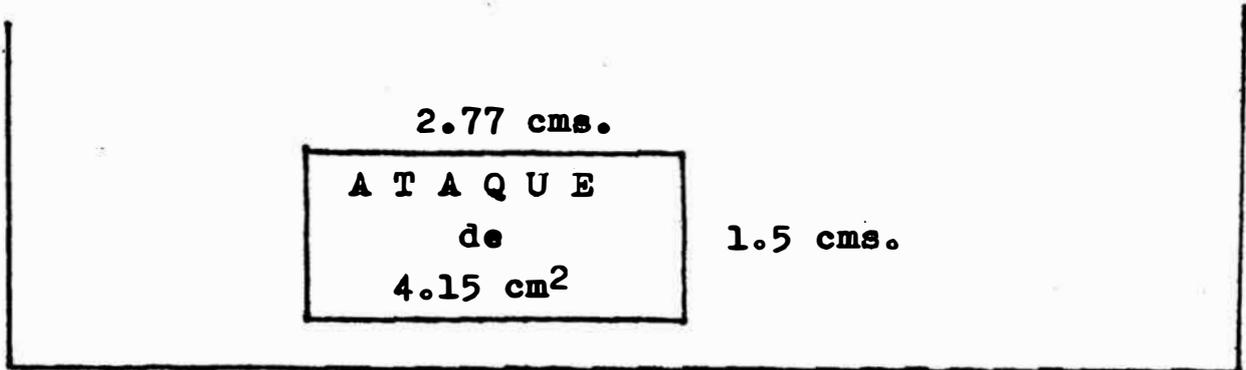
3.- DISTRIBUCION DE ENTRADAS : La suma de todas las secciones de entrada asciende a 16.6 cm^2 y como se han considerado 4 entradas, entonces el área de cada entrada equivale a :

$$S_e = \frac{16.6 \text{ cm}^2}{4} = 4.15 \text{ cm}^2$$

Las dimensiones de la entrada o ataque son como

Continúa...

Viene... (cuadro # 8)



4.4.5.- ESCALONAMIENTO DE LAS SECCIONES : BEBEDERO, CANAL DISTRIBUIDOR Y ENTRADAS.-

Sólo se garantiza un buen llenado del molde si se emplea una acertada relación de escalonamiento, entre las tres siguientes secciones : bebedero (S_b); canal distribuidor (S_c); y entradas (S_e). Es decir la relación .- S_b : S_c : S_e.

Para obtener en todas las entradas, que derivan del mismo canal, caudales lo más iguales posible, - CH. TRECKLE utilizó el escalonamiento:

$$S_b : S_c ; nS_e = 1 : K : 1 \dots \text{Fórmula 3}$$

Donde K es raíz del número n de entradas ó - sea $K = \sqrt{n}$. Pero K no debe rebasar del valor 2; para cuatro y más entradas que parten del mismo canal, el escalonamiento es :

$$S_b : S_c : nS_e \approx 1 : 2 : 1 \dots \text{Fórmula 4.}$$

Para los cálculos efectuados en el cuerpo y brazo del ancla se han empleado relaciones muy similares al escalonamiento: 1: K : 1 .- Las pequeñas variaciones que se introducen se debe al uso de factores de seguridad; como veremos a continuación en el cuadro N° 9.

CUADRO N° 9

ESCALONAMIENTOS

CUERPO DEL ANCLA :

a)- Relación de colada .- $S_b:S_c:nS_e = 1:1.25:1$
Pero $nS_e = 24 \text{ cm}^2$.- Calculado según cuadro 7
Conocido este valor, resulta fácil calcular -
 S_b y S_c , teniéndose la siguiente relación en áreas :

$$1 : 1.25 : 1 = 24 : 30 : 24$$

o sea : $S_b = 24 \text{ cm}^2$ y $S_c = 30 \text{ cm}^2$

b)- Cálculo de las dimensiones del bebedero y canal distribuidor :

- Sección del bebedero : $S_b = 24 \text{ cm}^2$

Utilizando bebedero circular tendremos :

$$S_b = 24 \text{ cm}^2 = \frac{\pi D^2}{4} = 0.785D^2 \quad (D = \text{diámetro})$$

De donde : DIAMETRO DE BEBEDERO = 5.6 cms.

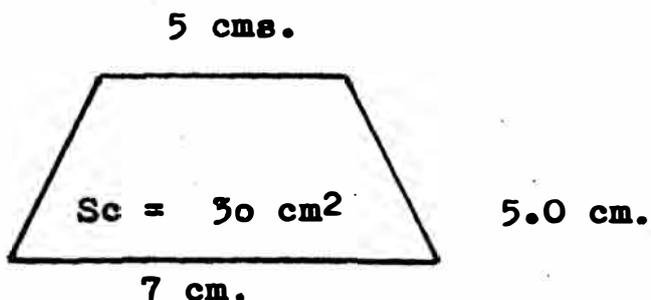
(Ver ubicación de bebedero fig. 8).

Continúa...

Viene... (cuadro # 9)

- Sección del canal : $S_c = 30 \text{ cm}^2$

Utilizar canal de sección trapezoidal de las siguientes dimensiones :



(Ver ubicación de canal figura 8)

ESCALONAMIENTOS .- Continuación cuadro N° 9

BRAZO DE ANCLA :

a)- Relación de colada .- $S_b : S_c : nS_e = 1.2 : 1.32 : 1.0$
Pero $nS_e = 16.6 \text{ cm}^2$.- Calculado según cuadro 8
Conocido el valor de nS_e es sencillo el cálculo de S_b y S_c , teniéndose la siguiente relación en áreas :

$$1.2 : 1.32 : 1.0 = 20 : 22 : 16.6$$

$$\text{o sea : } S_b = 20 \text{ cm}^2 \text{ y } S_c = 22 \text{ cm}^2$$

b)- Cálculo de las dimensiones del bebedero y canal distribuidor :

- Sección del bebedero : $S_b = 20 \text{ cm}^2$

Utilizando bebedero circular se tiene :

continúa...

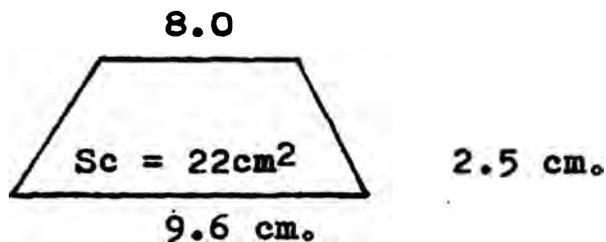
Viene... (cuadro # 9)

$$S_b = 20 \text{ cm}^2 = \frac{\pi D^2}{4} = 0.785D^2 \text{ (D=diámetro)}$$

De donde : DIAMETRO DE BEBEDERO = 4.52 cms.

- Sección del canal : $S_c = 22 \text{ cm}^2$.

Utilizar canal de sección trapezoidal de las siguientes dimensiones :



4.4.6.- CRITERIO PARA EL MAZAROTAJE.-

Para seleccionar las partes a mazarotarse - es preciso estudiar la solidificación de la pieza eligiendo el método siguiente :

- a.- Descomponer la pieza en elementos simples de masividad diferentes.
- b.- Determinar el orden de solidificación de estas diferentes partes, valiéndose del cálculo de los módulos. La parte que tiene mayor módulo solidifica al último.
- c.- Tratar de efectuar una solidificación -

progresiva hacia las partes que puedan ser mazarotadas, lo que se consigue :

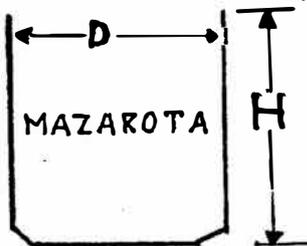
- Seleccionando un conveniente sentido de colada.
- Disponiendo adecuadamente las entradas.

Basado en estos tres conceptos se va a hacer el mazarotaje del cuerpo y brazo de ancla, descomponiendo cada una de las piezas en elementos simples (de geometría conocida) calculando las mazarotas independientemente para cada una de las piezas. Así el cuerpo del ancla se divide en 2 zonas y el brazo en 2 zonas, como veremos en los puntos siguientes 4.4.7 y 4.4.8 correspondiente al mazarotaje de las piezas mencionadas.

4.4.7.- MAZAROTAJE DEL CUERPO DEL ANCLA.-

- a)- Relación del diámetro (D) de la mazarota con su módulo.- El módulo de la mazarota (Mm) viene dado por la relación del volumen de la mazarota (Vm) y la superficie de ésta (Sm), en contacto con la pared del molde.

FIGURA N° 10



Matemáticamente se expresa :

$$Mm = \frac{V_m}{S_m} ; \therefore \text{Fórmula - 5}$$

Pero: $V_m = \frac{\pi D^2 H}{4}$ Ref. fig. 10.-
Mazarota cilíndrica.

$S_m = \pi DH$.- Ref. fig. 10.-Superficie lateral de la mazarota.

Haciendo reemplazos en Fórm. - 5 :

$$M_m = \frac{\frac{\pi D^2 H}{4}}{\pi DH} = \frac{D}{4}$$

ó $D = 4 M_m$ Fórmula - 6

b)-Relación del módulo de la mazarota con el módulo de la pieza (M_p).- -

Para aceros se cumple que el módulo de la mazarota es igual a 1.2 veces el módulo de la pieza.

O sea :

$$M_m = 1.2 M_p \text{ ----- Fórmula - 7}$$

c)-Relación de su altura (H) y diámetro (D) de la mazarota.- Para acero se cumple :

$$H = 1.5 D. \text{ Fórmula - 8.}$$

d)-Cálculo del diámetro y la altura de mazarota.- La mazarota queda definida al conocer los valores de su diámetro (D) y su altura (H).

Teniendo en cuenta las fórmulas 6 y 7 podemos expresar :

$$D = 4 Mm; \dots(6) \text{ y } Mm = 1.2M_p \dots (7)$$

$$\therefore D = 4 \times 1.2 M_p = 4.8 M_p$$

$$\text{ó } D = 4.8 M_p \dots\dots\dots \text{Fórmula - 9}$$

y M_p se calcula aplicando la regla de los módulos para placas, puesto que las 2 zonas (A y B) a mazarota son placas de 6.0 cms. de espesor promedio, tal como se aprecia en la figura 8.

$$\therefore M_p = \frac{d}{2} \quad (\text{Módulo para placas})$$

para nuestro caso $d = \bar{E} = 6.0 \text{ cms.}$

$$\therefore M_p = \frac{\bar{E}}{2} = \frac{6.0}{2} = 3.0 \text{ cms.}$$

Reemplazando el valor de M_p en Form-9 :

$$D = 4.8 M_p = 4.8 \times 3 \text{ cms} = 14.4 \text{ cms.}$$

ó sea : DIAMETRO DE MAZAROTA = 144 mm.

Utilizando la fórmula 8 calculamos H y tenemos :

$$H = 1.5 D = 1.5 \times 14.4 \text{ cms} = 21.6 \text{ cm.}$$

o altura de Mazarota = 216 mm.

e)- Ubicación de Mazarotas.- Ubicar 4 mazarotas en las posiciones que se indica en la figura 8 de las siguientes dimensiones :

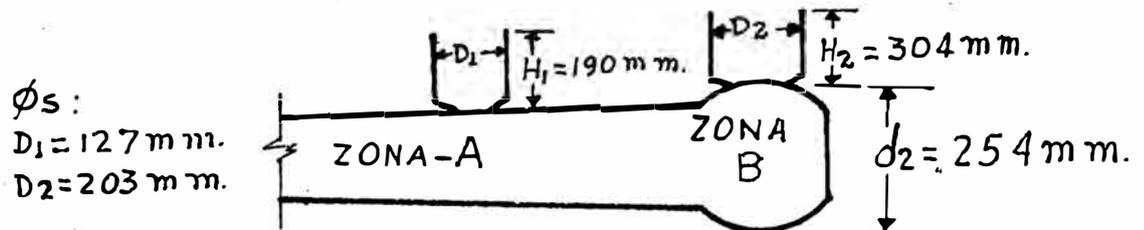
Altura : $H = 216 \text{ mm.}$

Diámetro : $D = 144 \text{ mm.}$

4.4.8.- MAZAROTAJE DEL BRAZO DEL ANCLA.-

La misma configuración de la pieza exige hacerle un mazarotaje en dos zonas (A y B) tal como se puede observar en la figura 11.

FIGURA N° 11



A.- CALCULO DE LA MAZAROTA EN LA ZONA A (Ver Figura 12).-

a)- Relación del diámetro de la mazarota con su módulo.- Se cumple la misma relación estipulada en la ecuación 6.

o sea : $D_1 = 4 \text{ Mm} \dots\dots\dots \text{Fórmula 6a.}$

b)- Relación del módulo de la mazarota (Mm) con el módulo de la pieza (Mp).-

Se cumple : $Mm = 1.2 Mp$...7a.-Ref. fórmula 7

c)- Relación de la altura (H_1) y el diámetro (D_1) de la mazarota.-

Se cumple: $H_1 = 1.5 D_1$.- Fórm- 8a .-
Ref. fórmula - 8.

d)- Cálculo del diámetro y la altura de la mazarota .-

Al combinar las fórmulas :

$$D_1 = 4 Mm \dots\dots 6a$$

$$Mm = 1.2 Mp \dots\dots 7a$$

resulta :

$$D_1 = 4 \times 1.2 Mp$$

∴ $D_1 = 4.8 Mp$ Fórmula 9a - referencia Fórmula - 9

El módulo de la pieza (Mp) en la zona A del brazo se calcula aplicando la fórmula del módulo de barras largas.

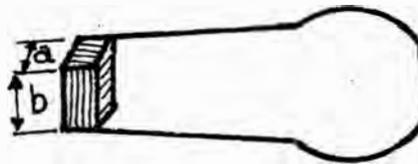
Si realizamos un corte transversal - exactamente en la mitad de la zona -

plana del brazo obtenemos una sección rec
tangular (Véase figura 12) de las siguien
tes dimensiones :

FIGURA N° 12

ancho: $a = 9.4$ cms.

largo: $b = 12.0$ cms.



Aplicando la fórmula de barras largas pa-
ra determinar el módulo resulta :

$$M_p = \frac{ab}{2(a+b)} \quad (\text{Módulo de barras largas})$$

$$\therefore M_p = \frac{9.4 \times 12.0 \text{ cm}^2}{2(9.4+12) \text{ cms.}} =$$

$$M_p = 2.64 \text{ cms.}$$

Reemplazando M_p en la fórmula 9 a

$$D_1 = 4.8 M_p = 4.8 \times 2.64 = 12.67 \text{ cms.}$$

O sea: DIAMETRO DE MAZAROTA = 127 mm.

Utilizando la ecuación 8a calculamos H_1 :

$$H_1 = 1.5 D_1 = 1.5 \times 127.0 \text{ mm} = 190.5 \text{ mm.}$$

o sea : ALTURA DE MAZAROTA = 190 mm.

- e)- Ubicación de Mazarotas.- Ubicar una mazarota de 127 mm. de diámetro y 190 mm. de altura en la parte media del brazo, en la cara de más amplitud.

B.- CALCULO DE LA MAZAROTA EN LA ZONA B.- Fig 11

- a).- Relación del diámetro de la mazarota con su módulo: Se cumple lo siguiente:
 $D_2 = 4Mm$ fórmula 6b.-Referencia fórmula 6.

- b).- Relación del módulo de la mazarota (Mm) con el módulo de la pieza (Mp).- se cumple:

$$Mm = 1.2 Mp \dots \text{fórmula 7b.-Referencia fórmula 7}$$

- c).- Relación de la altura (H_2) y diámetro (D_2) de la mazarota.- se cumple:

$$H_2 = 1.5 D_2 - \text{Fórmula 8b.-Referencia fórmula 8}$$

- d).- Cálculo del diámetro y la altura de la mazarota.-

Relacionando ecuaciones: 6b y 7b se tiene:

$$D_2 = 4 Mm \text{ y como } Mm = 1.2 Mp$$

$$\therefore D_2 = 4.8 Mp \text{ fórmula 9b Ref. fórmula 9}$$

El módulo de la pieza (Mp) en la zona B, se calcula aplicando la fórmula de -

módulos, como si se tratase de una esfera de diámetro de 25.4 cms. (Fig 11); el módulo de la esfera viene dado por la siguiente relación:

$$M_p = \frac{a}{6} \quad \text{Donde:}$$

$a = \text{diámetro de esfera}$

Para este caso:

$$a = d_2 = 25.4 \text{ cms.}$$

$$\therefore M_p = \frac{25.4 \text{ cms}}{6} = 4.23 \text{ cms.}$$

Reemplazando M_p en la fórmula 9b queda:

$$D_2 = 4.8 M_p = 4.8 \times 4.23 \text{ cms} = 20.3 \text{ cms}$$

o sea: DIAMETRO DE MAZAROTA = 203 mm.

Utilizando la fórmula 8b calculamos H_2 y se tiene:

$$H_2 = 1.5 D_2 = 1.5 \times 203 \text{ mm} = 304 \text{ mm.}$$

o sea: ALTURA DE MAZAROTA = 304 mm.

- e).- Ubicación de Mazarota.- Ubicar una mazarota de 203 mm de diámetro y 304 mm. de altura, sobre la zona esférica del brazo, tal que el eje vertical de simetría de la mazarota pase por el centro de la parte esférica de la pieza (Véase Fig. 11)

4.5.- MOLDEO DEL ANCLA.-

En el capítulo II se tocó el moldeo en forma -

general, en éste punto profundizaremos más al respecto. La razón de que se haya reservado el moldeo para ser desarrollado en éste capítulo obedece a que se tiene que mantener la secuencia de fabricación del ancla.

Los moldes del cuerpo y brazo del ancla son fabricados empleando una mezcla (de arena de sílice, bentonita, mogul y carbón), especial para aceros. La mezcla se caracteriza por tener un porcentaje de $\text{SiO}_2 \geq 98\%$ y en cuanto se refiere a propiedades se alcanza una permeabilidad de 170 A.F.S. como mínimo; una resistencia a la compresión de 14 libras/pulg² mínimo; con estas propiedades físicas y un buen apisonado de la tierra de moldeo se logra un dimensionado exacto de la pieza, puesto que el molde no cede a la presión metalostática. Por otro lado el alto porcentaje de SiO_2 que tiene la arena de moldeo permite que el molde resista la temperatura de colado del acero sin que se produzca reacción metalmolde, quedando la pieza libre de aquellos defectos superficiales que son originados por la arena de moldeo.

4.6.- PINTADO Y ESTUFADO DE LOS MOLDES DEL ANCLA.-

Los moldes de las anclas son cubiertas en toda su superficie por una capa de pintura, base-agua, denominada Terrapaint - 55 (nombre de patente). El empleo, de ésta pintura dificulta la penetración del acero hacia

el molde y evita la reacción entre el metal líquido y el material del molde, fenómenos ambos que favorecen el pegado de la arena a la pieza que elevan los costos de limpieza.

La pintura diluida a una densidad de más de 78° Bé es aplicada a la superficie del molde con brocha. Los moldes después de ser pintados pasan a ser estufados durante 3 horas a 150°C aproximadamente, para eliminar el agua de la pintura.

4.7.- MONTAJE Y COLADA DEL ANCLA.-

Mediante la operación de montaje se ensamblan las dos mitades del molde, asegurándose que interiormente, ambas medias cavidades del molde a llenarse con metal coincidan exactamente, porque de lo contrario originan el defecto de descentrado en la pieza.

Exteriormente las cajas que contienen los moldes van unidas por grampas que tienen capacidad para soportar la presión de colada.

El colado de las anclas se realiza en la Planta de Acero. Esto obedece a razones de carácter económico; es mucho más barato el acero fabricado en Horno Eléctrico que el de Inducción y por otro lado el Horno Eléctrico permite hacer coladas masivas, lo que no se puede

realizar con Horno de Inducción.

Uno de los inconvenientes que se tiene al colar en acería, es la demasiada capacidad de la cuchara de colada (30 Tons), frente a la capacidad de recepción del molde del ancla, que es inferior a una tonelada; -- sin embargo este impase ha sido solucionado haciendo uso de un bacín especial de colada.

4.8.- DEFECTOS EN LA PIEZA.-

Los defectos en una pieza son originados por la calidad inadecuada del material de molde o, porque el caldo esté insuficientemente desoxidado y por lo tanto posee un contenido elevado de oxígeno, además del hidrógeno y nitrógeno que suele tener el baño.

Los defectos en las piezas de acero pueden ser:

a).- Defectos susceptibles a aparecer, por material de moldeo que son: Penetraciones, formación de darts y adherencias.

La razón de la existencia de estos defectos se debe a que en la confección de moldes, no se emplea tierra de contacto, debido a que la fundición de SIDERPERU está orientada a la fundición gris y en consecuencia no se ha previsto tierra de contacto para acero.

b).- Defectos cuyo origen está en el mismo acero en si; los cuales pueden ser: Porosidad, agrietamiento en caliente; Rotura concoidal e inclusiones no metálicas.

Se va a hacer un comentario mayor en aquellos defectos que suelen presentarse en las anclas.

4.8.1.- DEFECTOS IMPUTABLES AL MATERIAL DE MOLDEO.-

a) .- Penetraciones.- Este defecto, en las anclas se produce, no con mucha frecuencia y ubicadaa preferencialmente en las zonas de los ataques.

Las penetraciones se originan cuando el acero líquido, penetra en los poros de la superficie del molde y para que ocurra este fenómeno, es menester que el acero líquido llegue a fundir la capa sólida que se formó junto a la superficie del molde, inmediatamente después de colar la pieza y la presión metalostática sea suficientemente elevada para hacer penetrar el líquido en los poros.

b).- Formación de Dartas.- Es decir desprendimiento de porciones de la superficie del

molde que se produce en moldes de arena de sílice por la variación brusca de volumen que experimenta el cuarzo a los 573°C, fenómeno que es controlado con éxito utilizando aditivos a base de cereales en la tierra de moldeo del ancla.

c).- Adherencias.- Es uno de los defectos, que se presenta muy rara vez en el ancla y se debe a que la superficie del acero sufre el ataque del oxígeno del aire y de la humedad del molde, formando óxido de hierro que reacciona con el cuarzo para dar fayalita con un punto de fusión de 1205°C.

Estas adherencias localizadas se eliminan fácilmente con el esmerilado.

4.8.2.- DEFECTOS IMPUTABLES AL ACERO.-

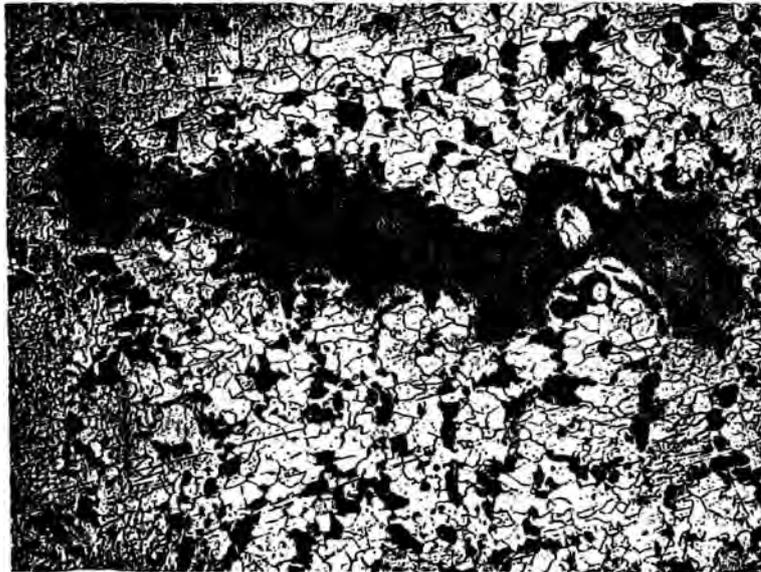
Los defectos que se derivan de la calidad del acero en sí; parcialmente han sido estudiados en la parte ASPECTOS DE LA FUSION (punto 3.3; Cap III), como el agrietamiento en caliente y porosidades debido a los gases.

La rotura concoidal, originada por el excesivo contenido de nitrógeno y aluminio que forman nitruros en los bordes de grano, hasta hoy no se ha detectado

en la fabricación de anclas.

Las inclusiones no metálicas originadas por las reacciones de desoxidación (desoxidación con aluminio) y que precipitan en los bordes de grano si se presentan con cierta frecuencia. Generalmente en las probetas de ancla se encuentran defectos combinados tanto los originados por gases como inclusiones no metálicas y que se ubican formando unas verdaderas bandas rompiendo la continuidad del metal como se puede ver en la figura 13. Este tipo de bandas son las responsables de la disminución de las propiedades mecánicas en las piezas.

FIGURA N° 13



Banda defectuosa originada por sopladuras e inclusiones no metálicas.

(acero tipo ancla tratado térmicamente)

Normalizado a 920°C

4.9.- EL ACABADO DE LA PIEZA.-

Una vez que son desmoldeadas las piezas, éstas pasan por la máquina de limpieza hidráulica donde con agua a presión es eliminada la arena adherida. Posteriormente se procede al corte de bebedero; mazarotas y vientos y las pequeñas depresiones o hendiduras que se forman en la zona límite de mazarota y/o viento con la pieza es rellenada con soldadura. De idéntica forma también se rellenan con soldadura, las zonas porosas aprovechando la facilidad con que se sueldan los aceros moldeados.

Antes de iniciar el rellenado con soldadura, se hace una preparación de la zona a reparar y consiste en eliminar el defecto que se trata de reparar como grietas, inclusiones de arena, poros, rechupes, etc. hasta llegar al material sano.

Las zonas limpias y aptas para soldar son chequeadas por el personal de Control de Calidad, quienes verifican si el defecto está completamente eliminado o no. Realizadas estas operaciones, es decir, una vez eliminado el material defectuosos y comprobado que el material esté completamente sano, puede iniciarse la soldadura.

El soldado se efectúa por el proceso de soldadura al arco eléctrico con electrodos recubiertos (minerales, fundentes, silicatos).

El revestimiento de los electrodos ejerce sobre la calidad de la soldadura, una influencia comparable a la de la escoria de fusión en los procesos de obtención de acero.

La varilla del acero dulce, en la cual va el revestimiento químicamente es de bajo carbono, esto obedece que para garantizar un buen soldado se requiere bajos carbonos equivalentes como veremos en seguida.

4.9.1.- INFLUENCIA DE LA COMPOSICION QUIMICA DEL ACERO TIPO ANCLA EN LA SOLDABILIDAD .-

La soldabilidad de los aceros depende en primer lugar de su contenido de carbono.

El acero del ancla al ser de baja aleación y con bajo contenido de carbono ($\% C < 0.2$) se acoge a la norma DIN 1681, según la cual los aceros pueden soldarse sin ninguna precaución especial, siempre que su contenido de carbono sea inferior a 0.25% (GS - 45) si la proporción de carbono es superior al 0.25%; hay que calentar las piezas (300°C aprox.) para disminuir las tensiones producidas durante la soldadura.

Las normas de LLOYD'S nos fijan un carbono equivalente (CE) de 0.41 como máximo a fin de garantizar la soldabilidad en el ancla.

En el cuadro N° 10 se fijan los carbonos equivalentes y sus rangos permisibles para obtener un buen soldado. Como podemos ver los carbonos equivalentes de las anclas calculados a partir de la fórmula de la LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING, oscilan de 0.29 a 0.363 para el grupo I y de 0.258 a 0.305, para el grupo II y en ambos casos el CE está por debajo del valor señalado por LLOYD'S.

El aleante vanadio que aumenta fuertemente la templabilidad del acero, durante el enfriamiento de las partes recalentadas por la soldadura se producen durezas muy altas con muy baja tenacidad. Pero como el vanadio en el ancla está en baja proporción (0.04/0.05 Ver cuadro 10 - Grupo II) cualquier defecto de los mencionados que se produzca ligeramente en la zona de transición de la soldadura, va a desaparecer con el tratamiento térmico de la pieza.

Finalmente debe hacerse notar que de los 3 elementos: carbono, manganeso y vanadio que tienen influencia en el carbono equivalente (CE) del acero del ancla los dos primeros son los que aportan la mayor -- cuantía en el cálculo del CE y por lo tanto la mayor o menor soldabilidad del ancla va a depender de los contenidos de carbono y manganeso en ella.

Otro de los requisitos para la buena soldabi-

lidad, es el empleo del electrodo adecuado, tal que ga
rantize:

- Buenas propiedades mecánicas
- Relleno rápido de las juntas
- Depósito de muy alta calidad.

Analizadas estas tres condiciones antes men-
cionadas, se decidió utilizar en las anclas, el elec -
trodo tipo OERLIKON del grupo de bajo hidrógeno denomi
nado SUPERCITO E - 7018; el mismo que está aprobado -
por LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING y por la AMERICAN BE-
REAU OF SHIPPING.

	% C	% Mn	% Si	% S	% P	% Cb	% V	CARBONO EQUIVALENTE (C _E)
COMPOSI- CION ANCLAS	GRUPO I: 0.14/0.18	0.9/1.10	0.10/0.20	0.05 Max.	0.015 Max.	0.02/0.04		GRUPO I DE ANCLAS C _E = 0.29/0.365
	GRUPO II: 0.10/0.12	0.9/1.05	0.15/0.20	0.035 Max.	0.03 Max.	0.015/0.025	0.04/0.05	GRUPO II DE ANCLAS C _E = 0.253/0.305
CARBONO EQUIVALENTE	<p>C_E SEGUN LLOYD'S</p> $C_E = C + 1/6 Mn + 1/5 (Cr + Ni + V) + 1/15 (Si + Cu)$							<p><u>RECOMENDACION DE LLOYD'S</u></p> <p>Si C_E < 0.41; los aceros de baja aleación son solubles sin precauciones.</p>
TC. (C _E)	<p>C_E SEGUN COCHRAN Y BRIDGMAN</p> $C_E = C + 1/20 Mn + 1/15 Ni + 1/10 (Cr + Ni + V)$							<p><u>RECOMENDACION DE COCHRAN</u></p> <p>Si C_E < 1.5; los aceros hasta de alta aleación son soldables sin precauciones.</p>

C A P I T U L O V

INVESTIGACION METALURGICA A NIVEL DE LABORATORIO PARA LA

ELECCION DEL TRATAMIENTO TERMICO DEL ANCLA Y SU

APLICACION A NIVEL INDUSTRIAL .-.

5.1.- GENERALIDADES.-

Por lo general cuando se necesita altas propiedades mecánicas en una pieza, lo primero que se piensa es fundirla en acero; pero asociado a este criterio debe estar, el de la necesidad de darle un tratamiento térmico o la pieza fundida, con la finalidad de modificar la estructura del bruto de colada, lo cual va a repercutir en la mejora de las propiedades y características de la pieza.

En este capítulo se detalla, el cómo se llegó a obtener el tratamiento térmico para el ancla, después de realizar en laboratorio la investigación metalúrgica, y hacer la evaluación respectiva de los ensayos físicos y metalográficos; y en base a estos resultados de laboratorio se diseñó el ciclo térmico aplicable a nivel industrial, el mismo que actualmente se viene realizando en los Hornos de Foso.

5.2.- FUNDAMENTO TEORICO.-

5.2.1.- EL DIAGRAMA HIERRO - CARBONO.-

El hierro como casi todos los metales se le utiliza en la industria formando aleaciones y principalmente con el carbono en forma de carburo de hierro (Fe_3C) llamado cementita.

En la fig. 14 se muestra el diagrama hierro-carbono (más exactamente - hierro-cementita) y se divide de acuerdo al contenido de carbono en aceros y fundiciones. El carbono en los aceros varía desde 0.035% a 1.76% y para fundiciones va desde más de 1.76% hasta 6.67% de carbono (100% cementita).

El diagrama hierro - carbono es la representación gráfica de las transformaciones que ocurren en el enfriamiento y calentamiento lento de estas aleaciones y por lo tanto es necesario tener un conocimiento claro de todos los puntos y líneas más importantes del diagrama.

1.- El punto A (1539°C) en el diagrama corresponde a la fusión del hierro puro, y el punto D (1550°C), a la temperatura de fusión de la cementita (Fe_3C). Los puntos N (1400°C) y G (910°C) corresponden a la transformación alotrópica del hierro δ o α a hierro γ . El punto E marca la máxima solubilidad del carburo de hierro en el hierro gamma (γ) a la temperatura de 1130°C (1.76%C). El punto C denominado eutéctico, corresponde a una proporción de carbono de 4.3% (64.5% cementita) se caracteriza porque tiene el más bajo punto de fusión (1130°C); además la totalidad de la masa de la aleación funde o se solidifica a una sola temperatura. El punto S denominado eutectoide, es análogo al punto C (eutéctico).

La diferencia está, que en el punto eutéctico tiene lugar un cambio de estado de líquido a sólido o de sólido al líquido, y en el punto eutectoide se produce solamente una transformación de la constitución de la aleación, que es sólida lo mismo a temperaturas superiores que a temperaturas inferiores al punto eutectoide. Así como el punto C marcaba la composición de la aleación que permanecía líquida a más baja temperatura, el punto S marca la composición de la austenita que es estable a más baja temperatura (0.89% de C).

El punto J, con porcentaje de carbono 0.18% es en el cual la austenita permanece estable a la más alta temperatura de 1492°C. El punto H de 0.08% de C o sea 1.5% de carburo de hierro, que es el máximo porcentaje que puede contener en solución sólida el hierro delta (δ); El punto P, de 0.025% de C, que es el máximo porcentaje de carbono que puede disolver la ferrita.

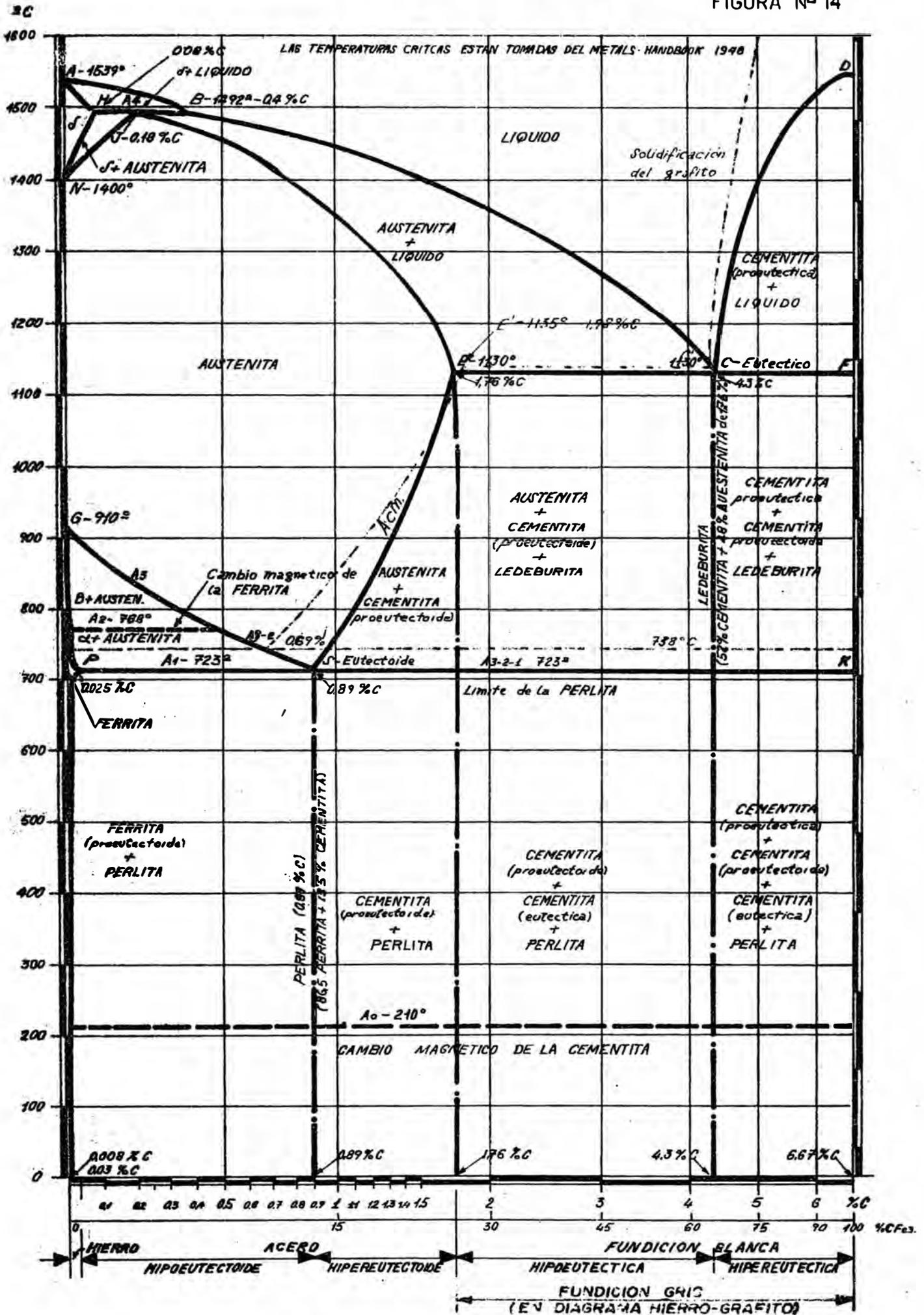
El proceso de cristalización de las aleaciones comienza cuando se alcanza las temperaturas que corresponden a la línea ABCD (línea de liquidus). La finalización de la solidificación corresponde a las temperaturas que forman la línea de SOLIDUS AHJECF.

Cuando el acero está totalmente sólido operan

DIAGRAMA HIERRO-CARBONO

DIAGRAMA HIERRO-CARBONO

FIGURA Nº 14



Unos cambios de fase que lo estudiaremos en la parte correspondiente a tratamientos térmicos.

5.2.2.- PRINCIPALES CONSTITUYENTES DEL ACERO TIPO ANCLA.-

En las aleaciones hierro carbono, pueden encontrarse hasta once constituyentes, a la temperatura ambiente, y que son los siguientes : ferrita, cementita, perlita, austenita, martensita, troostita, sorbita, bainita, ledeburita, steadita y grafito. Pero en los aceros hipoeutectoides, grupo al cual pertenece el acero de fabricación del ancla se encuentra fundamentalmente ferrita y perlita.

En consecuencia centraremos nuestra atención a estos dos constituyentes :

A.- FERRITA.- Este constituyente es el más blando, siendo prácticamente hierro puro o alfa (α).- Cristaliza en el sistema cúbico de cuerpo centrado, estando el cubo elemental formado por 8 átomos, situados en los vértices y uno en el centro (figura 15).

En propiedades físicas, alcanza una dureza de 90 Brinell, una resistencia a la

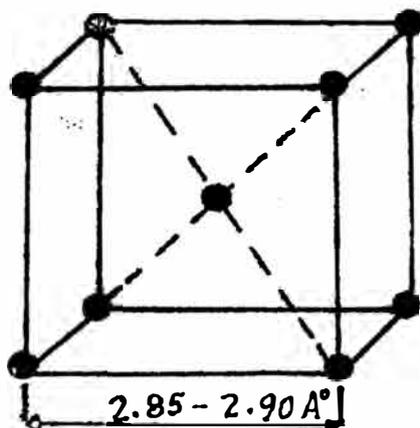
tracción de 28 Kg./mm², llegando hasta un alargamiento de 35 al 40%. Es magnética.

En el acero tipo ancla se encuentra granos finos de ferrita con perlita formando anillos (figura 16)

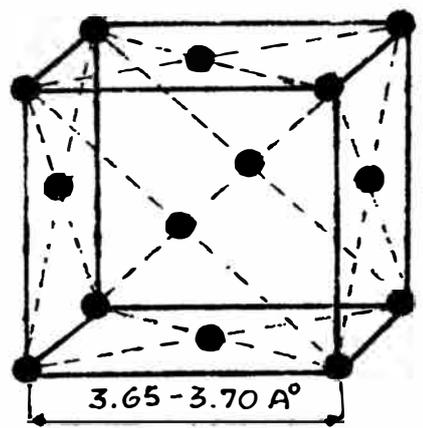
El tratamiento termico efectuado a las anclas a dado lugar a este tipo de estructura como la mostrada en la figura 16. Si esta misma microfotografía lo analizamos a mayor magnificencia (x200) vamos a apreciar claramente un anillo de segregacion formado por perlita lamelar, que va acompañado por inclusiones finas de sulfuro de Manganeso y óxidos (Ver figura 17)

FIGURA N° 15

SISTEMAS CRISTALINOS DEL HIERRO α Y γ

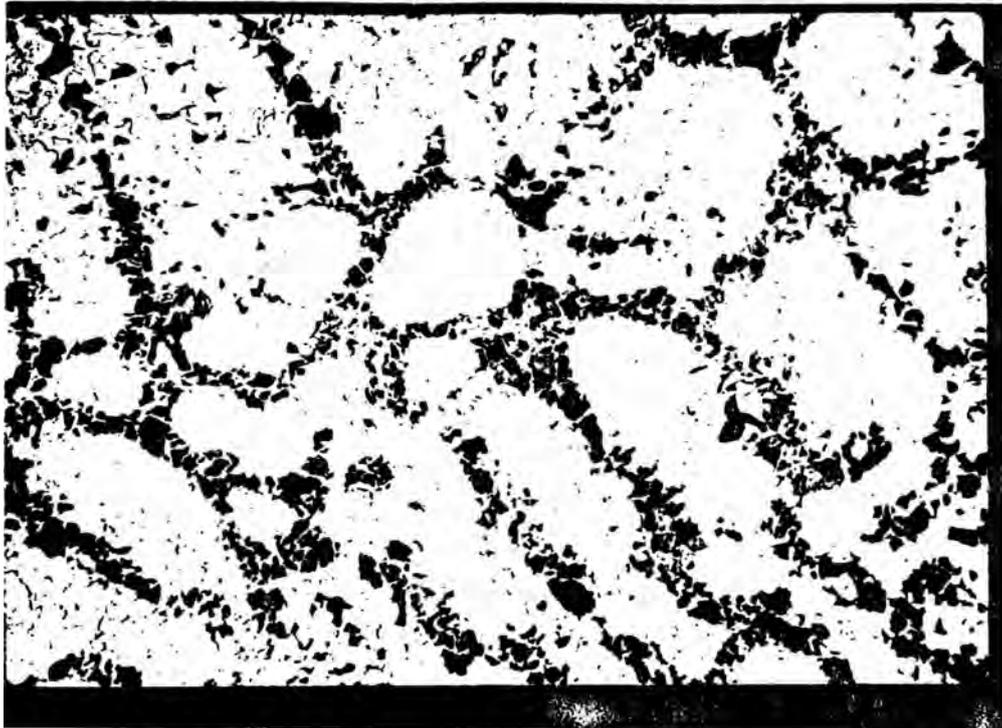


Hierro (α)



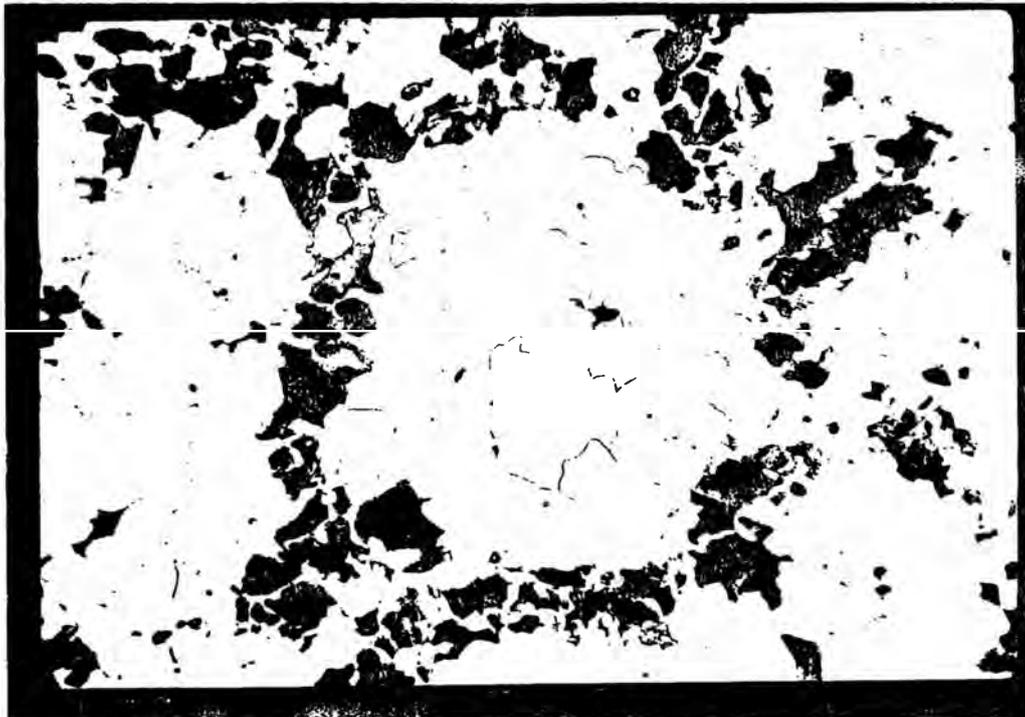
Hierro gamma (γ)

FIGURA N° 16 (100x)



Granos Finos de Ferrita, acompañada de Perlita formando anillos; perteneciente a un acero tipo ancla colado y normalizado.

FIGURA N° 17 (200x)



Anillos de Perlita Lamelar acompañado por inclusiones finas de Sulfuro de Mn y óxidos.

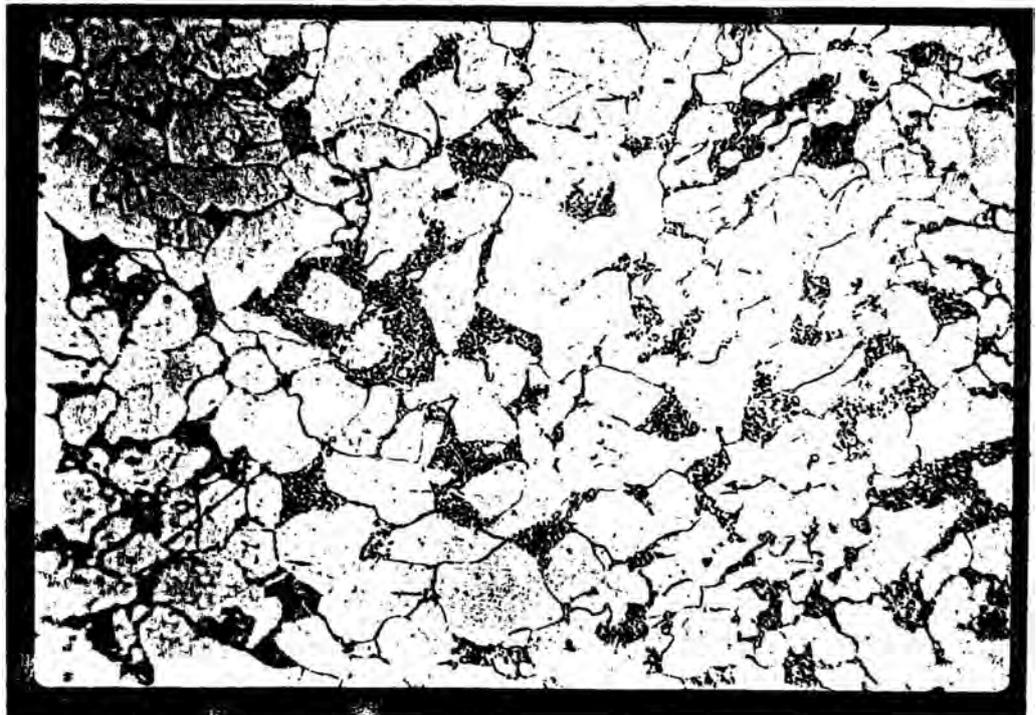
B.- PERLITA.- Este constituyente está compuesto por 86.5% de ferrita y 13.5% de cementita o, dicho de otra forma 6.4 partes de ferrita y una de cementita. La perlita tiene una dureza de 200 Brinell, con una resistencia a la tracción de 80 Kgms/mm² y un alargamiento de 15%. El nombre de perlita se debe a la coloración perlada que adquiere al iluminarla.

Cada grano de perlita está formado por láminas o placas alternadas de cementita y ferrita, y la distancia interlamina sirve para clasificarla en : perlita gruesa con una separación entre láminas de 400 uu, obtenida por enfriamiento muy lento dentro del horno; la perlita normal tiene 350 uu; y la perlita fina cuando se enfría dentro del horno bastante rápido o cuando se enfría al aire. (Tiene 250 uu).

El acero del ancla presenta una estructura de grano fino, equiaxial y uniforme con perlita globular bien distribuida en la matriz (ver fig. 18). La razón de que la perlita sea globular obedece a la forma de enfriamiento que tienen las an-

clas. Pues éstas desde la temperatura - de mantenimiento de 920°C hasta 500°C - son enfriados en el horno con ventilación forzada y esto da origen a que en el enfriamiento de la pieza, en el rango de temperatura entre 723° y 500°C, la cemgita adopta la forma de glóbulos incrustados en la masa de ferrita, recibiendo entonces la denominación de perlita globular como la mostrada en la figura 18.- La presencia de perlita globular, hace - que las piezas tengan altas propiedades mecánicas.

FIGURA N° 18 (500 x)



Microestructura de perlita globular en una matriz ferrí tica de un acero tipo ancla normalizado.

5.2.3.- CRECIMIENTO DE LOS CRISTALES DE AUSTENITA.-

YU. M. LAJTIN sostiene que el grano de austenita se forma al finalizar la transformación de la perlita en austenita, el tamaño inicial del grano de austenita depende de la cantidad de núcleos cristalinos. Cuanto más dispersas son las partículas de cementita - en la perlita tanto mayor es la cantidad de núcleos - cristalinos y por lo tanto más pequeño es el grano original de austenita; pero si el acero es mantenido bastante tiempo a temperaturas altas de calentamiento o tiempos excesivamente largos, los cristales de austenita van a desarrollarse y aumentar de tamaño. Unos granos crecen a cuenta de los otros mas pequeños.

Después de un tratamiento a elevada temperatura se obtiene estructuras groseras y un acero de bajas características.

Comparando las microestructuras de las figuras 19 y 20 se observa la influencia de la temperatura de calentamiento en el tamaño de los cristales de acero. En la figura 19 la estructura se presenta aproximadamente uniforme. La perlita tiende a formar una red que rodea áreas ferríticas; en cambio en la figura 20 es notoria la estructura de Widmännstätten en el ma-

terial debida a la alta temperatura de calentamiento.

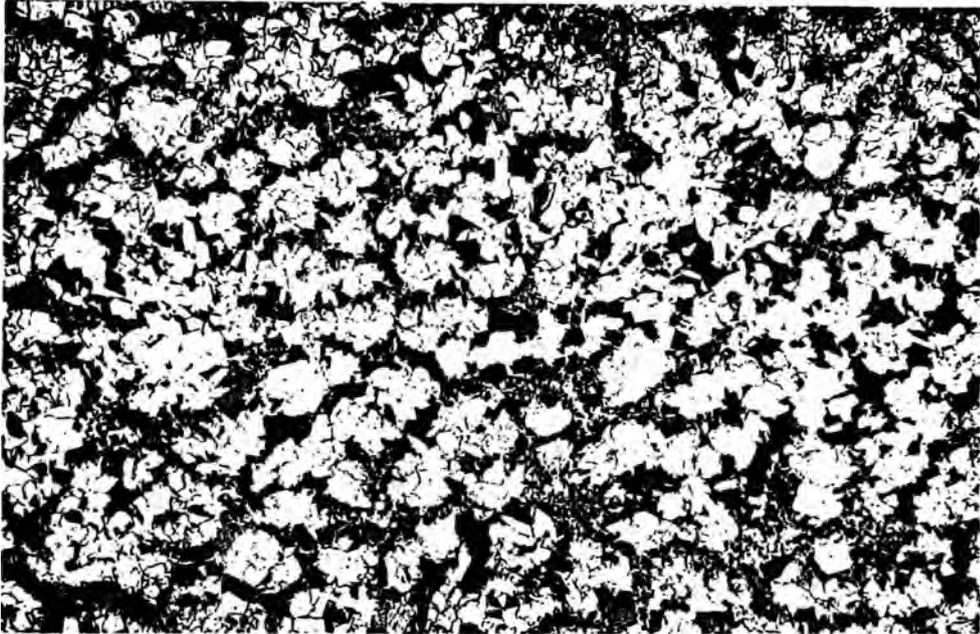
En el acero sobrecalentado (calentamiento a temperatura bastante superior a A_3) el exceso de ferrita se separa en forma de red por los bordes de grano o en forma de largas láminas como agujas que atraviezan el grano de perlita como sucede en la fig. 20.

Ambas microfotografías 19 y 20 corresponden a un acero de 0.18% de carbono; 1.32% de manganeso; 0.023% de azufre y 0.30% de silicio que fue tratado térmicamente en condiciones parecidas, variando única y exclusivamente la temperatura de mantenimiento del ciclo térmico; ésto es, la micro de la fig. 19 corresponde a una probeta tratada a 920°C (temperatura de mantenimiento). Nótese un tamaño de grano equiaxial y uniforme; mientras que la micro de la figura 20 corresponde a una probeta tratada a 1080°C de temperatura de mantenimiento. Nótese el crecimiento de grano bastante desuniforme.

5.2.4.- TAMAÑO DE GRANO.-

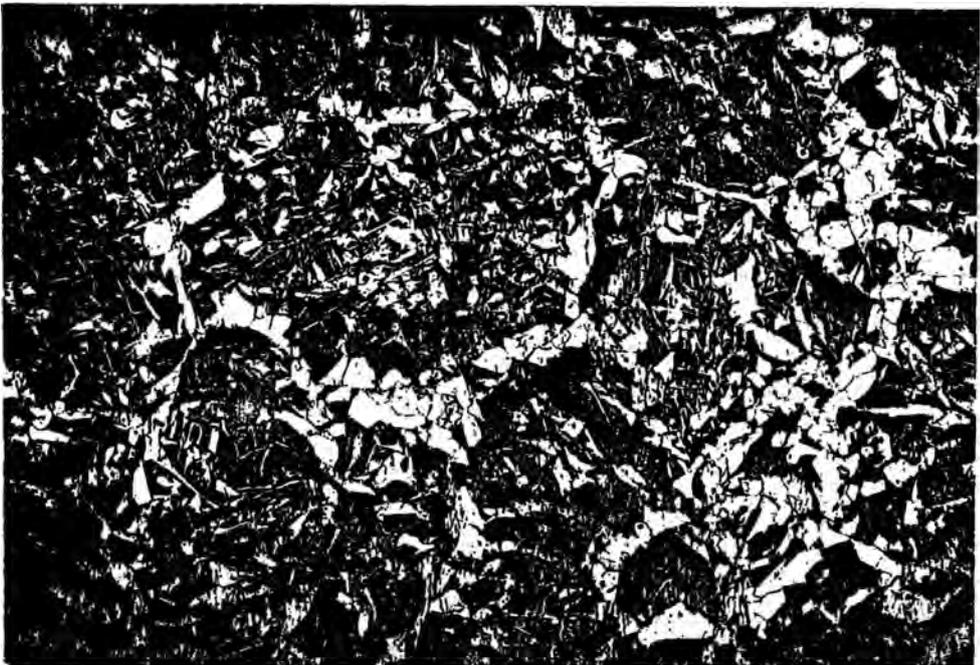
El acero que se emplea en la fabricación de anclas, pertenece al grupo de los aceros de grano fino (el otro grupo de acero colado es el de grano grueso), el cual se ha obtenido, debido al uso de los microaleantes columbio y vanadio que han actuado con afinadores -

FIGURA N° 19 (100 x)



Temperatura de Mantenimiento: 920°C
Tamaño de Grano (A.S.T.M.): 8.0 (Uniforme)

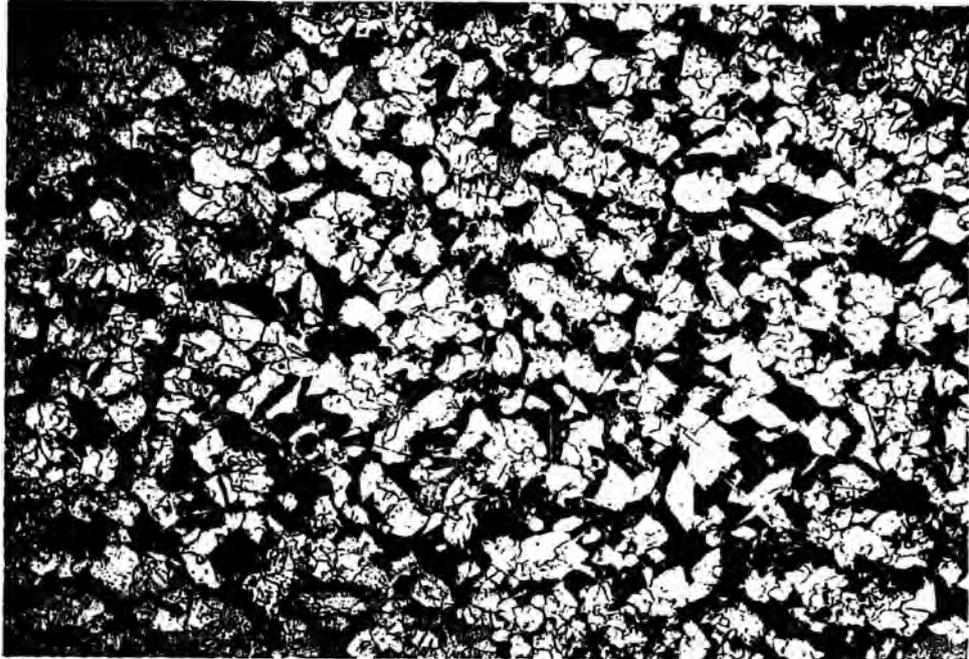
FIGURA N° 20 (100 x)



Temperatura de Mantenimiento: 1,080°C
Tamaño de Grano (A.S.T.M.): > 1.0 (desuniforme)

de grano.

FIGURA N° 21 (100 x)



Microestructura del acero tipo ancla (% C = 0.18 y % Mn = 1.32) normalizado a 960°C.
Tamaño de Grano (A.S.T.M.) : 7.5

Los aceros de grano fino al elevarse la temperatura hasta 100°C por encima de la crítica, aumenta muy poco el tamaño de los granos en esa zona de temperaturas, lo que no sucede con los aceros de grano basto.

En la figura 19 se presenta la estructura del acero tipo ancla normalizado a 920°C alcanzando un tamaño de grano número 8 en la designación ASTM. Si este mismo acero se normaliza a 960°C, vamos a obtener una estructura con tamaño de grano 7.5 ASTM (Véase fig. 21), lo que nos viene a demostrar que cuando se reali-

za el normalizado del acero en el rango de temperaturas de 920° a 960°C no se va a producir una diferencia significativa en el tamaño de grano.

5.2.5.- NECESIDAD DE ALCANZAR AUSTENIZACION COMPLETA EN EL NORMALIZADO DE ANCLAS

En este tratamiento hay que alcanzar una temperatura ligeramente más elevada que la crítica superior (A_3) para conseguir que todo el acero pase al estado austenítico. En general el normalizado se suele hacer 50 ó 70°C encima de la temperatura crítica (JOSE APRAIS).

Cuando el material alcanza la temperatura de austenización ocurre que aunque toda la estructura sea ya totalmente austenítica, en los primeros momentos todavía la austenita no es completamente homogénea, esto lo podemos analizar a continuación :

En la fig. 22 que corresponde al acero colado del ancla antes de ser tratada térmicamente observamos gran cantidad de ferrita aproximadamente 80% y 20% de perlita, entonces al alcanzarse la temperatura de austenización, hay zonas que anteriormente eran de ferrita y que al ser austenizadas en los primeros momentos son bajas en carbono, entonces es necesario que transcurra algún tiempo para que el carbono se difunda

en las zonas que anteriormente fueron ferríticas para lograr uniformidad en la región austenítica.

FIGURA N° 22 (100 x)



Microestructura del acero tipo ancla colado; sin tratamiento térmico.

Matriz : Ferrítica (Zonas claras)

Otra fase : Perlita (Zonas oscuras)

Tamaño de Grano : 3 - 5 (Designación A.S.T.M.)

5.2.6.- TRATAMIENTO TÉRMICO ,.- CONCEPTO.-

Los tratamientos térmicos, tienen por finalidad mejorar las propiedades y características de los aceros (u otras aleaciones). Esto se consigue mediante un calentamiento del acero hasta una determinada temperatura, seguido de un mantenimiento a esta temperatura por un cierto tiempo y luego un enfriamiento a

una velocidad determinada. De esta manera se modifica la estructura cristalina de un acero con el objeto de conferirle determinadas características mecánicas.

5.2.7.- PRINCIPALES TRATAMIENTOS TERMICOS :

Antes de profundizarnos en el tratamiento térmico que se aplican a las anclas, es menester conocer la clasificación de los tratamientos térmicos que con más frecuencia se aplican en la industria; ésto, nos va a permitir, elegir con mayor facilidad el ciclo de tratamiento adecuado para las piezas en estudio.

Entre los principales tratamientos tenemos :

A.- TRATAMIENTOS HIPERCRTICOS DE ENFRIAMIENTO CONTINUO.-

Se les llama así, porque el calentamiento supera a Ac_3 y de enfriamiento continuo y son :

- 1.- Normalizado.
- 2.- Recocido.
- 3.- Temple.

B.- TRATAMIENTOS TERMICOS SUBCRITICOS.- Son

aqueellos en los que el calentamiento no supera Ac_1 y comprende :

1.- Recocidos.

2.- Revenidos.

C.- TRATAMIENTOS TERMICOS HIPERCITICOS ISO-
TERMICOS.- Tenemos :

1.- Patentado.

2.- Austempering.

3.- Martempering.

D.- TRATAMIENTOS TERMOQUIMICOS.- Tenemos :

1.- Cementación

2.- Nitruración

3.- Carbonitruración.

En el próximo punto de este capítulo estudiaremos en forma somera las aplicaciones que tienen cada tratamiento térmico; este hecho nos permite seleccionar el tratamiento térmico adecuado para el ancla con mayor facilidad como veremos mas adelante cuando se desarrolle el punto correspondiente a "Selección del Tratamiento térmico aplicable al ancla". (Véase parágrafo 5.3.2).

5.2.8.- RESUMEN DE LAS APLICACIONES DE LOS -
TRATAMIENTOS TERMICOS.-

Normalizado.- Es un tratamiento -
donde se calienta el acero, hasta
la temperatura de austenización y
luego se enfría al aire libre.

APLICACIONES :

A) NORMALIZADO

- 1.- Para refinar el tamaño del -
grano, y evitar la fragilidad.
- 2.- Minimizar la estructura de ban
das. Un normalizado da menos
bandas que un recocido.
- 3.- Para destruir los efectos de -
un tratamiento anterior defec-
toso.
- 4.- Para eliminar las tensiones in
ternas y uniformizar el tamaño
de grano.

B) RECOCIDOS

Recocidos.- El fin principal de -
los recocidos es ablandar el ace
ro para poder trabajarlo mejor. -
Hay diferentes clases de recocidos
que se diferencian en la temperatu

Continúa...

Viene...

ra máxima a que se debe calentar el acero, y en las condiciones y velocidades de enfriamiento.

APLICACIONES :

- 1.- Para ablandar el acero y regenerar su estructura.
- 2.- Para obtener una estructura óptima para mecanizado.
- 3.- Obtención de estructura para deformación en frío (ejemplo laminado).

Temple.- Consiste en transformar toda la masa del acero, con el calentamiento en austenita y después, por medio de un enfriamiento suficientemente rápido, se convierte la austenita en martensita que es el constituyente típico de los aceros templados.

C) TEMPLE

APLICACION :

- 1.- Se utiliza como tratamiento previo al tratamiento térmico

Continúa...

Viene...

co de revenido.

Revenido.- El revenido es un tratamiento complementario al temple, que generalmente sigue a éste. Consiste en calentar el acero templado a una temperatura inferior Ac_1 , enfriándolo luego, generalmente al aire y otras veces en aceite o agua según la composición del acero.

D) REVENIDO

APLICACION :

- 1.- Eliminar o disminuir las tensiones internas del material producidas a consecuencia del temple.
 - 2.- Mejorar la tenacidad (o sea, la resistencia) de los aceros templados a costa de disminuir su dureza, su resistencia mecánica y su límite elástico.
-

Continúa...

Viene...

E) PATENTADO

Patentado.- Consiste en calentar el material a temperaturas superiores A_{c3} , para austenizar totalmente el acero, enfriándolo después entre 450 y 550°C en un baño de sales o plomo fundido, con lo que se transforma la austenita principalmente en sorbita.

APLICACION :

1.- Se utiliza en la industria de la trefilería para la fabricación de alambre.

F) AUSTEMPERING

Austempering.- Consiste en calentar el material hasta una temperatura ligeramente superior a la crítica (A_{c3} ó A_{3-2-1}) y enfriarlo posteriormente en un baño caliente que está a temperatura constante, con el objeto de que isotérmicamente la austenita se transforme en BAINITA.

La temperatura del baño que debe ser superior a la del punto M_s oscila entre 250° y 550°C.

Continúa...

Viene...

APLICACION :

- 1.- Se utiliza para dar resistencia al impacto. El acero está libre de las pequeñas grietas microscópicas que nacen en los temple ordinarios.

Martempering.- Este tratamiento se efectúa calentando el acero y manteniéndolo a una temperatura superior a la crítica, hasta alcanzar austenización completa y después se enfría bruscamente hasta una temperatura superior a M_s o sea 200 a 300°C. Se mantiene la pieza en el baño hasta que la temperatura sea uniforme en toda la masa de la pieza y después se saca al aire, dándole en general después un revenido. El constituyente final es la martenita revenida.

G) MARTEMPERING

APLICACION :

- 1.- Es aplicable cuando las pie-

Continúa...

Viene...

zas deben estar exentas de tensiones residuales.

H) CEMENTACION

Cementación.- Consiste en incrementar el contenido de carbono en la superficie de las piezas de acero; para ésto se rodea a la pieza de un medio carburante y se mantiene el conjunto, durante un cierto tiempo a una temperatura comprendida en el rango de 850°C a 950°C.

Luego se temple las piezas, obteniéndose gran dureza superficial y buena tenacidad en el núcleo.

I) NITRURACION

Nitruración.- Es otro procedimiento de endurecimiento superficial del acero. Básicamente es un proceso de saturación de la superficie del acero con nitrógeno (obtenido por disociación del amoníaco a 500°C ocurriendo la sgte. reacción : $2\text{NH}_3 = \text{N}_2 + 3\text{H}_2$) en forma de nitruros de hierro (Fe_2N , Fe_4N) que son los responsables de

Continúa...

Viene...

la extraordinaria dureza superficial y buena resistencia a la corrosión.

J) CARBONITRURACION.

Carbonitruración.- Es un tratamiento en el que se consigue endurecer una capa superficial de los aceros por la absorción simultánea de carbono y nitrógeno. Las piezas que se carbonitran se calientan a temperaturas próximas a 850°C en una atmósfera gaseosa, que cede al acero, carbono y nitrógeno y luego se enfría, obteniéndose una gran dureza superficial con buena tenacidad en el núcleo.

5.3.- ESTUDIO DE LOS CICLOS TERMICOS A NIVEL DE LABORATORIO.

5.3.1.- GENERALIDADES.-

La calidad, en las propiedades de las anclas, obedecen a tres factores principales que son :

a)- Elección de una buena composición quími-

- ca.
- b)- Aplicación de un adecuado diseño de colaa da. y mazarotaje.
- c)- Aplicación de un correcto tratamiento - térmico.

Los dos primeros puntos, ya han sido estudiados en los capítulos anteriores, mientras que el correspondiente a tratamiento térmico va a ser desarrollado en este capítulo.

El ciclo térmico que se aplicó a las anclas fue desarrollado : primero a nivel de laboratorio y - después de hacerse los ajustes necesarios se aplicó a nivel industrial. Durante la etapa de experimentación en laboratorio se ha hecho la evaluación de todas las variables que pueden influenciar en las propiedades físicas del ancla como : Velocidad de calentamiento, temperaturas de mantenimiento en el ciclo térmico, estructuras del acero tratado térmicamente, etc.

5.3.2.- SELECCION DEL TRATAMIENTO TERMICO - APLICABLE AL ANCLA.-

El tratamiento térmico que se debe dar a una pieza depende fundamentalmente, de las propiedades mecánicas que debe tener la pieza.

Para el caso particular de las anclas, se -

tiene que cumplir con las siguientes exigencias :

Resistencia a la tracción = 41 - 55 Kgms/mm²

Porcentaje de Alargamiento \geq 20%

Angulo de Doblado = 120° con

Diámetro de Mandril \leq 60 mm.

Estas propiedades mecánicas que acabamos de enumerar, conjuntamente con la composición química y la microestructura de la pieza colada, constituyen los tres únicos datos con que se cuenta para el diseño del ciclo térmico aplicable a la pieza.

Si observamos la microestructura de una ancla colada como la de la fig. 23 podemos ver la estructura grosera de ferrita (áreas blancas) y perlita (áreas oscuras), notándose los granos gruesos y algo desuniforme, conformando una estructura típica de acero colado. Es lógico suponer que si, en estas condiciones (sin tratamiento) se someten las piezas a ensayos mecánicos, los resultados van a ser totalmente desfavorables, y la única forma de mejorar las propiedades, es eliminando la estructura de colada que presenta la pieza, para lo cual es necesario calentar ésta a una temperatura superior A_{c3} , con la finalidad de modificar completamente la estructura y obtener un grano fi-

no y uniforme en la pieza tratada térmicamente, como se aprecia en la figura 24 que corresponde a una microestructura de acero tipo ancla normalizado a 920°C.

Cuando se estudió las aplicaciones de los tratamientos térmicos (parágrafo 5.2.8) se vió que el tratamiento térmico de normalizado es el indicado para afinar el tamaño de grano y minimizar las estructuras groseras, que es justamente lo que se tiene en las anclas. En consecuencia todos los ensayos de tratamiento térmico se orientaron hacia la búsqueda del ciclo óptimo de normalizado aplicable al ancla.

Nótese en la microestructura de la figura 23 la estructura grosera del acero colado. Pero si este mismo acero lo sometemos a tratamiento térmico de normalizado a 920°C, vamos a obtener una estructura de grano fino y uniforme tal como se aprecia en la figura 24.

5.3.3.- EQUIPO EXPERIMENTAL.-

En la fase de experimentación de los tratamientos térmicos, a nivel de laboratorio se utilizó como equipo lo siguiente :

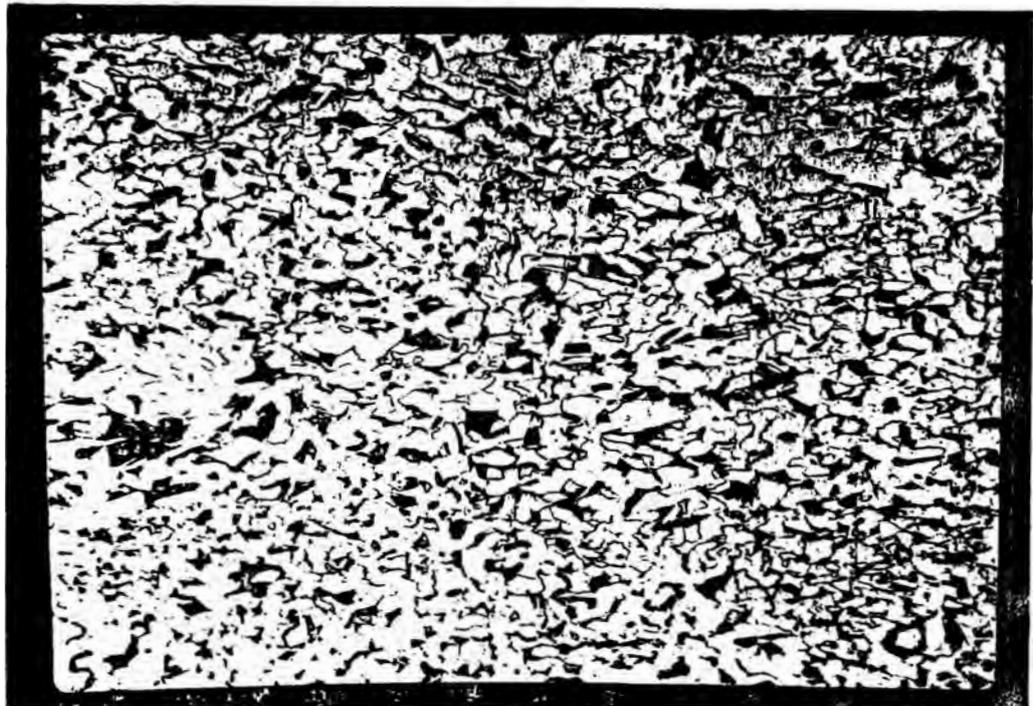
A.- Un horno eléctrico para tratamiento térmico con las sgtes características :

FIGURA N° 23 (100 x)



Microestructura del acero tipo ancla colado.
Estructura grosera de ferrita (áreas blancas)
y perlita (oscura).

FIGURA N° 24 (100 x)



Microestructura del acero tipo ancla. Normalizado a 920°C
Estructura ferrítica de grano equiaxial fino y uniforme -
(A.S.T.M. N° 7). Perlita fina lamelar.

- Temperatura Máxima: 1250°C
- Volumen de la Cámara: 500x800x1200 mm.
- Potencia : 52 Kw.

B.- Máquina de tracción tipo AMSLER UNIVERSAL de 100 Ton. de capacidad para la determinación de la resistencia a la tracción y doblado.

C.- Equipo de Laboratorio Metalográfico.- Para la evaluación de las diferentes microestructuras; utilizándose un microscopio tipo NEOPHOT de diseño invertido de hasta 2,000 aumentos.

5.3.4.- DETERMINACION DE LA TEMPERATURA OPTIMA DE AUSTENIZACION DEL ACERO TIPO ANCLA POR EL METODO EXPERIMENTAL.-

En el parágrafo 5.2.3 de éste capítulo V se vio, cómo la austenización a temperaturas elevadas, producía estructuras groseras, lo que va a originar que el acero tenga bajas características. Por esta razón, es necesario determinar la temperatura óptima de austenización, durante el tratamiento térmico a fin de garantizar las propiedades mecánicas.

Para determinar la temperatura de austenización en forma experimental se procedió de la siguiente-

manera:

PRIMER PASO.- Se tomaran dos grupos de probetas de la misma composición química (%C = 0.18; %Mn = 1.32; %S = 0.023 y %Si = 0.30) y de las mismas dimensiones (100 x 25.4 x 300 mm.). El primer grupo de probetas se calentó a 840°C durante 1 hora (las especificaciones técnicas coinciden en indicar un calentamiento de una hora por pulgada de espesor); seguido de un enfriamiento al aire libre. El resultado del análisis metalográfico como se aprecia en la figura 25, arroja que todas las muestras de las probetas presentan estructura similar, esto es, granos ferríticos y perlíticos SIN RECRISTALIZAR, tendiendo estos últimos a formar una red. Así mismo se aprecia a la ferrita en forma de agujas.

El segundo grupo de probetas se calentó a 900°C, durante 1 hora, seguido de un enfriamiento al aire libre. El resultado del análisis metalográfico es como se observa en la microestructura de la figura 26, donde los granos ferríticos y perlíticos RECRISTALIZADOS son equiaxiales y aproximadamente uniformes.

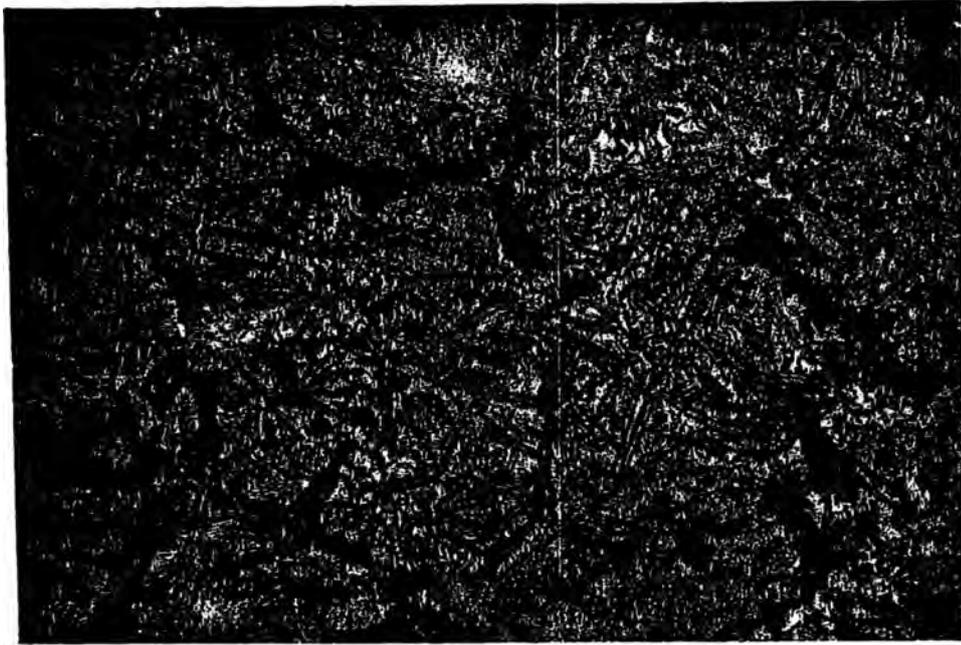
Es preciso mencionar que la diferencia de estructuras entre el primer grupo (calentado a 840°C) y el segundo grupo (calentado a 900°C) se debe única y -

exclusivamente a la temperatura de calentamiento, puesto que las demás condiciones del experimento se han mantenido constantes para ambos grupos.

SEGUNDO PASO.- Si hacemos un análisis detenido a la microestructura de las muestras calentadas a 900°C (Véase figura 26), podemos concluir que esa distribución y tamaño de grano, puede ser aún más perfecta, si austenizamos las muestras a una temperatura superior a 900°C en unos 20°C más; lo que nos permitiría obtener una estructura de GRANO PERFECTAMENTE UNIFORME, EQUIAxIAL Y CON BORDES BIEN DEFINIDOS, que son las características que nos indican que la TEMPERATURA DE AUSTENIZACION es perfecta. Efectivamente un tercer grupo de probetas que fueron austenizadas a 920°C muestran las características que acabamos de mencionar, como puede verse en la microestructura de la figura 19.

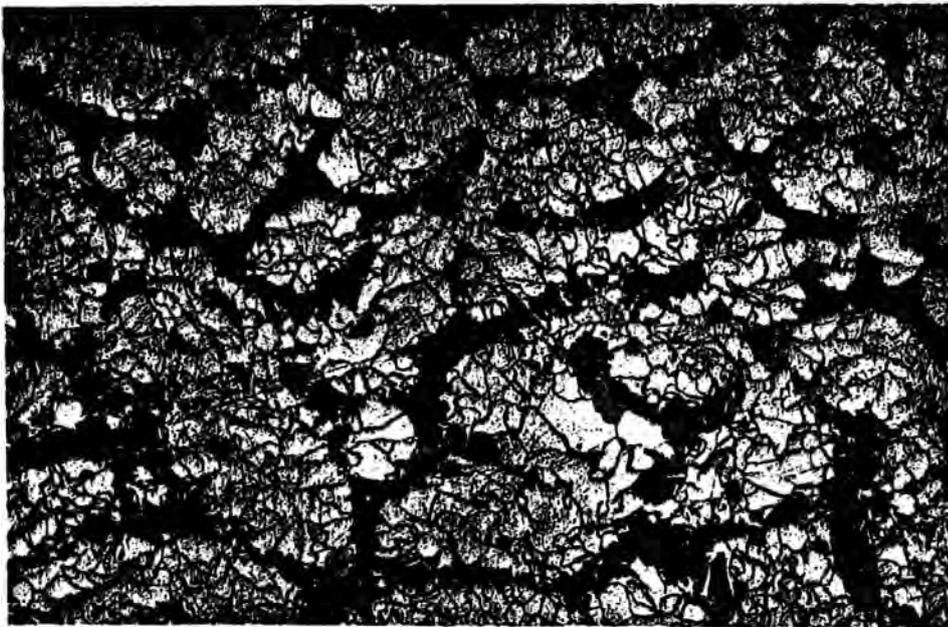
Este estudio experimental nos permite concluir en lo siguiente: LA TEMPERATURA OPTIMA DE AUSTENIZACION DEL ACERO TIPO ANCLA ES DE 920° C.

FIGURA N° 25 (200 x)



Acero tipo ancla (% C = 0.18) calentado a 840°C presentando una estructura de granos ferríticos y perlíticos sin RECRISTALIZAR (tamaño de Grano A.S.T.M. N° 8).

FIGURA N° 26 (200 x)



Acero tipo ancla (% C=0.18) calentado a 900°C presentando una estructura de granos ferríticos y perlíticos equiaxiales, aproximadamente uniforme y RECRISTALIZADO (tamaño de Grano ASTM Número 8 - 8.5)

5.3.5.- DETERMINACION DEL TIEMPO DE MANTENIMIENTO A LA TEMPERATURA DE AUSTENIZACION .-

Cuando se determinó la temperatura de austenización en el parágrafo 5.3.4 se consideró un tiempo de mantenimiento para las probetas equivalente a una hora por pulgada de espesor, que es una relación muy conocida y recomendada para los aceros hipoeutectoides. Sin embargo era necesario comprobar experimentalmente de que ésta relación de una hora por pulgada de espesor en el calentamiento del acero a temperatura constante es la indicada. Para esto se hizo el siguiente experimento.

Se tomaron dos grupos de probetas de la misma composición química (%C = 0.18; %Mn = 1.32; %S = 0.023 ; %Si = 0.30) y de las mismas dimensiones (100 x 25.4 x 300 mm.). Luego se calentaron ambos grupos hasta 920°C, que es la temperatura de austenización calculada experimentalmente (parágrafo 5.3.4), El primer grupo de probetas fue mantenido a temperatura constante de 920°C a razón de 0.5 horas por pulgada de espesor de probeta, y el segundo grupo a razón de 1 hora por pulgada de espesor; - en ambos casos una vez finalizado el tiempo de mantenimiento, las probetas fueron enfriadas al aire.

El resultado final fué: - El grupo de probetas con tiempo de mantenimiento de una hora por pulgada

de espesor, arrojan porcentajes de alargamiento muy superiores a las probetas calentadas a razón de 0.5 horas por pulgada de espesor, como puede verse los valores de alargamiento en el CUADRO N° 11. Nótese que el alargamiento de las probetas con tiempo de mantenimiento de una hora es el doble que el grupo de probetas con tiempo de mantenimiento de 0.5 horas.

La conclusión de éste experimento es de que el tiempo de mantenimiento de una hora por pulgada de espesor de pieza es óptimo y además la microestructura con éste tiempo de calentamiento presenta un grano uniforme y equiaxial (Véase figura 19) que es la característica del buen normalizado.

Efecto del tiempo de Mantenimiento en las Propiedades Mecánicas .- CUADRO N° 11.

PROBETAS	tm en horas	Ta	R Promedio	E Promedio	% A Promedio
PRIMER GRUPO	0.5	920°C	46.6	30.4	12.7
SEGUNDO GRUPO	1.0	920°C	46.0	31.1	24.4

Donde:

tm = Tiempo de mantenimiento

Ta = Temperatura de austenización

R = Resistencia a la tracción en Kgm/mm^2

E = Límite elástico en Kgms/mm^2

%A = Porcentaje de Alargamiento.

5.3.6.- DISEÑO DEL CICLO TERMICO DE NORMALI - ZADO .-

Un ciclo térmico de normalizado, queda definido, cuando se conoce la temperatura a la cual se va austenizar la pieza y su respectivo tiempo de mantenimiento a la temperatura de austenización.

Los datos con que se cuenta para el diseño del ciclo a nivel de Laboratorio son los que se muestran a continuación y que han generado el ciclo de la figura 27.

- a) Temperatura de Austenización: 920°C (calculado parágrafo 5.3.4).
- b) Tiempo de Mantenimiento: Utilizar 1 hora/pulg. de espesor de probeta.
- c) Calidad de Acero: Acero para el ancla.
- d) Dimensiones de las probetas ensayadas:
 - ancho = 100 mm.
 - espesor = 25.4 mm. (1 pulg.)
 - largo = 300 mm.

En la figura 27 se aprecia el comportamiento -

del ciclo térmico dibujado por una probeta y cuyos resultados son: Resistencia a la tracción 47.9 Kg/mm²; Límite elástico 30.9 Kgm/mm² y Alargamiento 26.1%. Valores que se encuadran perfectamente entre los requerimientos de propiedades físicas, que se les exige a las anclas y que están normadas por LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING.

En el cuadro N° 12 se presentan resultados en propiedades físicas de probetas normalizadas en laboratorio con diferentes contenidos de carbono y manganeso. Estos resultados han sido determinantes en la elección del ciclo térmico a nivel industrial por que en base al ciclo desarrollado en laboratorio, se hizo el bosquejo del ciclo a cumplirse en los Hornos de FOSO. (Véase figura 28).

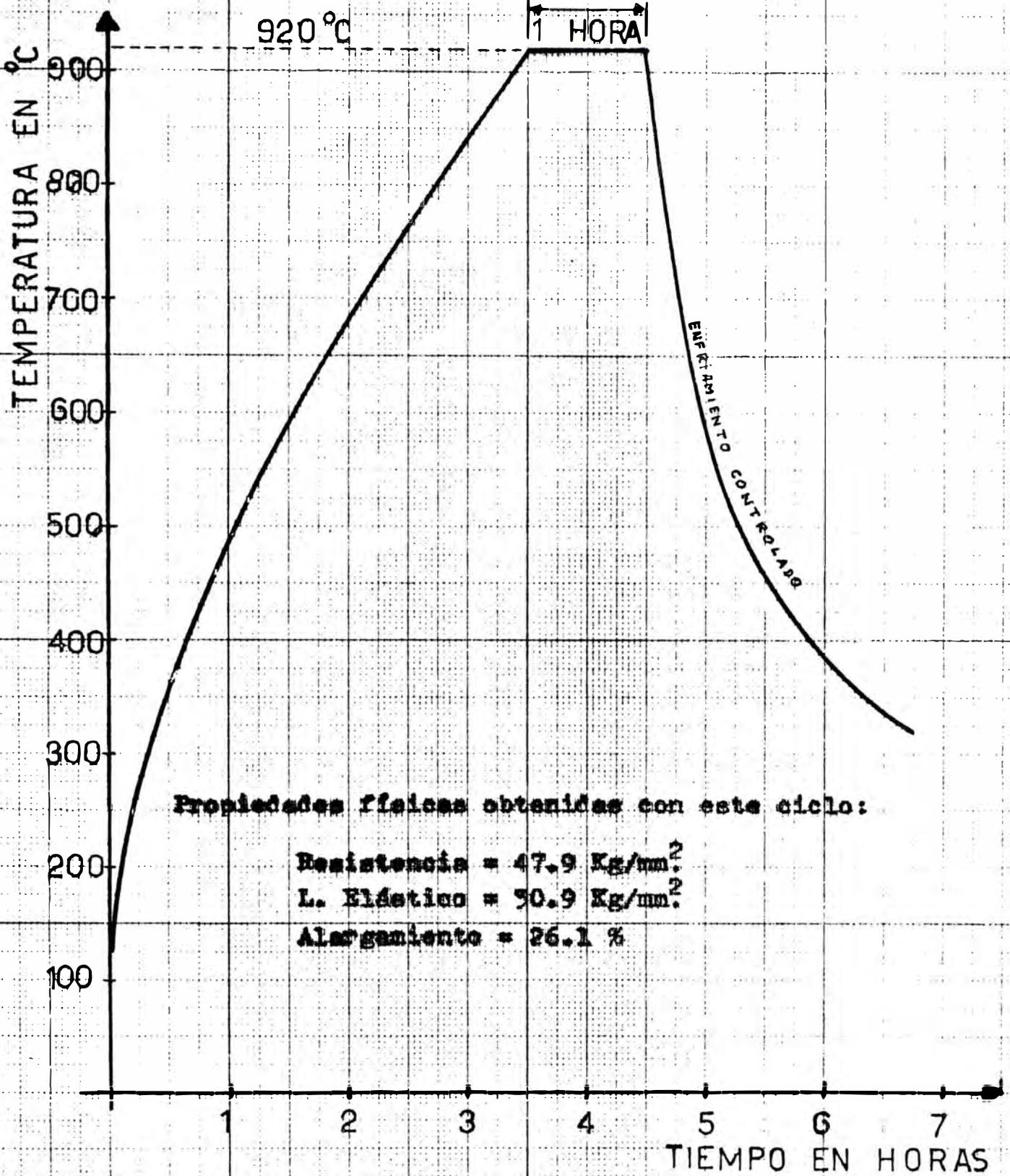
CUADRO N° 12

RESULTADO DE NORMALIZADO EN LABORATORIO

% C	% Mn	Resist. a la Tracc.	Límite Elástico	% Alargamien.	Doblado a 120°
.13	.99	45.4	31.7	28.8	BUENO
.15	1.00	47.0	30.7	26.4	BUENO
.18	1.06	48.3	31.0	25.7	BUENO

FIGURA N° 27

CICLO TERMICO DE NORMALIZADO EN LABORATORIO



5.4.- APLICACION DEL TRATAMIENTO TERMICO A NIVEL INDUSTRIAL .-

5.4.1.- EQUIPO.- HORNOS DE FCSO.-

Ubicado en la Planta de Laminación Planos en un número de 3 celdas, cada una de las cuáles tiene 2 fosas, siendo la capacidad de cada fosa de 90 Ton. por cada 12 - 13 horas, cuando la carga está constituida por lingotes fríos; si se procesa lingotes calientes, las 90 Ton. son tratadas en 6 - 8 horas. Tiene un sistema de compuerta para carga y descarga con deslizamientos frontales y que permite un fácil manipuleo. Consta de dos quemadores por fosa que permite llevar el material hasta la temperatura deseada, bajo atmósfera controlada.

Durante el proceso de tratamiento térmico se tiene dos etapas y son:

Primera Etapa.- Con la existencia de dos variables importantes que son:

- a) El inicio de la carga, con su respectivo control de temperatura de carga. y
- b) Velocidad de calentamiento.

Segunda Etapa.- Con la existencia, también de dos variables:

- a) Temperatura de igualización, que durante el tratamiento térmico, es equivalente a la temperatura de austenización.
- b) Tiempo de igualización, que durante el tratamiento térmico, es equivalente al tiempo de mantenimiento o permanencia a temperatura constante de la pieza.

5.4.2.- NORMALIZADO DE LAS ANCLAS EN LOS HOR- NOS DE FOSO .-

Debido a que SIDERPERU no cuenta en la actualidad con hornos de tratamiento térmico para piezas de dimensiones iguales o mayores a la de las anclas, se eligió los Hornos de FOSO de Productos Planos para la aplicación del tratamiento térmico de normalizado a las anclas, que en buena cuenta viene a ser una repetición del normalizado realizado en laboratorio.

A continuación citamos las condiciones bajo las cuales, se lleva acabo el tratamiento térmico y son:

- a).- La temperatura de carga de las piezas es de 400°C como máximo. Esto obedece a que no es recomendable introducir piezas frías de espesor tan variado como las anclas, en hornos cuya temperatura sea superior a 400°C, por que el acero relati-

vamente frío es poco plástico, no admite deformaciones y las tensiones que se crean pueden originar grietas.

- b).- El calentamiento de las piezas, desde la temperatura de carga al horno, hasta alcanzar la temperatura de austenización de 920°C , se hace con una velocidad de calentamiento de 86°C por hora.
- c).- El tiempo de Mantenimiento de la pieza a temperatura constante de 920°C es de 10 horas. Valor que resulta de hacer el cálculo, teniendo en cuenta el espesor máximo de la pieza, que es de 10 pulgadas y la relación de permanencia a temperatura de tratamiento de una hora por pulgada.
- d).- Enfriamiento de las piezas.- Como las anclas presentan formas complicadas y diversidad de espesores que oscilan entre 2 y 10 pulgadas, entonces se tiene que proporcionar una velocidad de enfriamiento adecuada, esto significa, que se tiene que conseguir durante el enfriamiento de la pieza, diferencias de temperatura entre la periferie y el centro, sea la menor posible, a fin de que todas las partes se transformen casi al mismo tiempo,

en ausencia de peligro de grietas y deformaciones.

Teniendo en cuenta lo antes dicho se optó - por realizar el enfriamiento de las anclas en dos etapas - La primera etapa de enfriamiento, comprende desde la temperatura de austenización hasta 500°C, utilizando una velocidad de 105°C por hora, lo que se consigue aplicando un sistema de ventilación forzada de aire frío en el interior de la celda de tratamiento. La segunda etapa de enfriamiento, a partir de los 500°C, se realiza en el aire libre.

Con la forma de enfriamiento aplicado al ancla, se consigue que la estructura del acero esté constituida de perlita fina y globular (que es más dura que la perlita gruesa del recocido) característica del normalizado.

Los resultados que se han obtenido con el normalizado en el horno de FOSO son similares a los obtenidos en laboratorio esto es: microestructurales como la figura 24 y en propiedades físicas como los del cuadro 12. Esto nos demuestra lo óptimo que ha sido el normalizado en el horno de FOSO.

En la figura 28 se presentan los ciclos térmicos; tanto el teórico (calculado) como el práctico-

(desarrollado en el FOSO). Nótese la gran eficiencia desarrollada por el ciclo práctico que prácticamente coincide con el ciclo teórico.

5.4.3.- EFECTO DE LA ATMOSFERA DEL HORNO DE FOSO .-

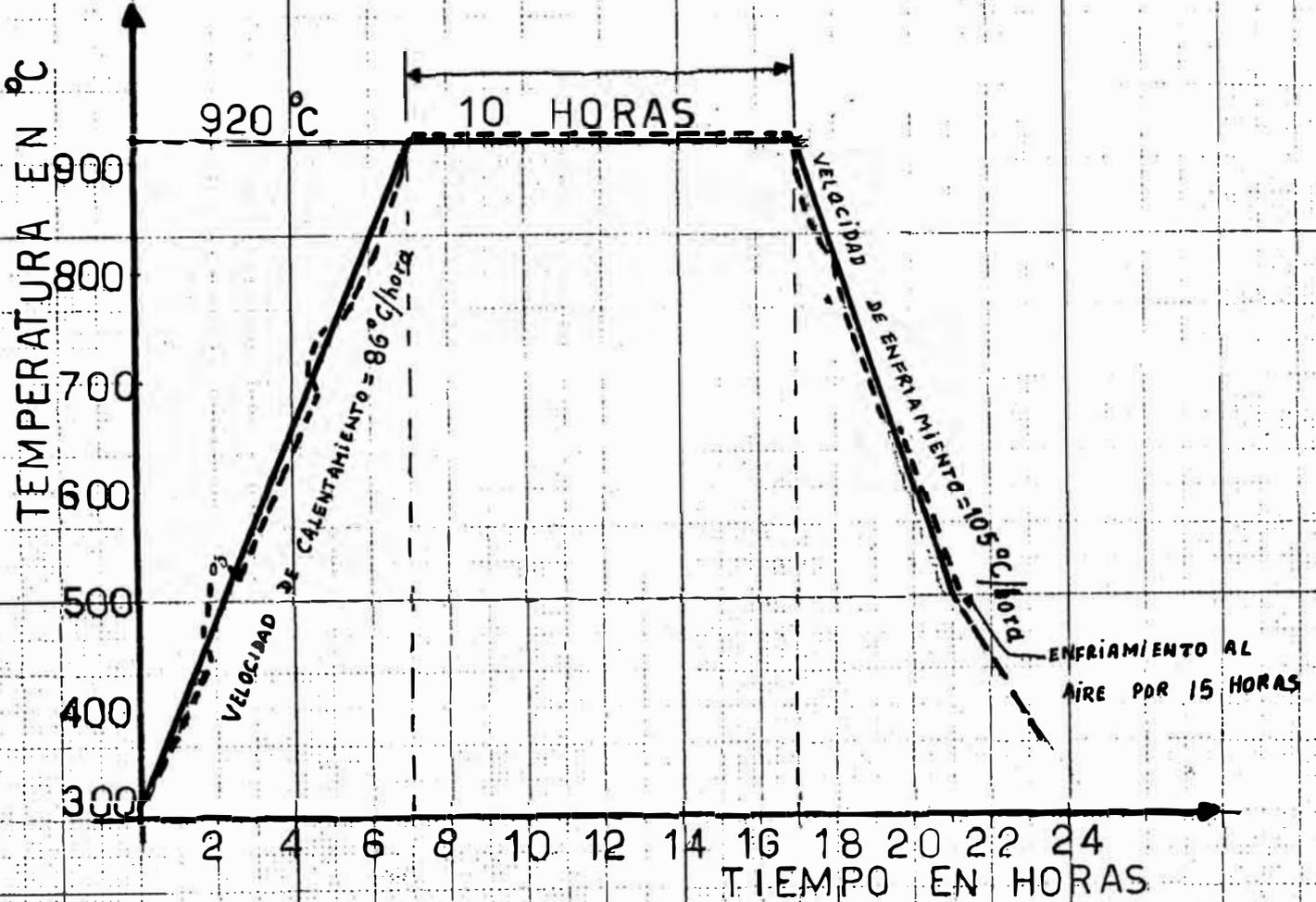
Los Hornos de FOSO han sido diseñados para el calentamiento de lingotes, en los cuáles se aceptan ligeras oxidaciones superficiales, puesto que los lingotes van a ser laminados posteriormente, eliminándose de esta forma la capa oxidada. En cambio en piezas tratadas térmicamente la oxidación es perjudicial, razón por la cual se tiene que ajustar al máximo la atmósfera del horno a fin de minimizar su influencia en la superficie de las piezas, pero, sin embargo, siempre se va a producir oxidación superficial en el ancla puesto que la instalación ha sido diseñada para calentamiento de lingotes y no para tratamiento térmico de piezas, La razón de que se le use para tal fin, obedece a la falta de hornos de tratamientos térmicos a escala industrial en SIDERPERU.

A.- MECANICA DE LA OXIDACION.-

A la temperatura de mantenimiento de la pieza (920°C) se va a producir la oxidación del hierro (reacción del oxígeno con la ferrita), operándose las siguientes --

FIGURA N° 28

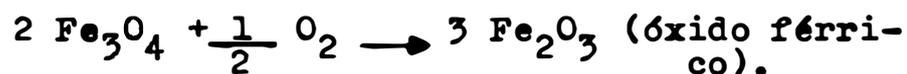
CICLO DE TRATAMIENTO TERMICO DEL ANCLA A NIVEL INDUSTRIAL
(HORNO DE FOSO)



LEYENDA

- Tratamiento teórico
- - - Tratamiento práctico

reacciones:



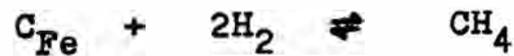
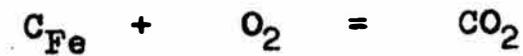
- La Wustita u óxido ferroso, es la capa que está en contacto con el metal (85 - 90% del espesor total de la cascarilla)
- La Magnetita u óxido Ferroso - Férrico, es la capa intermedia entre el óxido ferroso y férrico (15 - 10% del espesor total de la cascarilla).
- La Hematita u óxido férrico, es la capa que está en contacto con la atmósfera del horno (0.5 a 2% del espesor total de la cascarilla).

El grado de oxidación presente en el ancla, no llega a afectar el dimensionado de la pieza, puesto que la cascarilla alcanza hasta 1.5 mm. de espesor como máximo.

B.- MECANICA DE LA DESCARBURACION.-

Durante el calentamiento, no solamente se

oxida el fierro para dar cascarilla, sino también el oxígeno, el hidrógeno se combinan con el carbono del acero y originan la descarbonación de la pieza, pero que en el tratamiento de las anclas se produce en una forma no de consideración. Las reacciones son las siguientes :



C A P I T U L O V I

ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FISICAS DE LAS

ANCLAS

6.1.- GENERALIDADES.-

En el presente capítulo, se estudia la influencia que tiene la composición química en las propiedades mecánicas del ancla. Para ésto, se ha elaborado diferentes gráficas que relacionan, los contenidos de Carbono y Manganeso, con la resistencia a la tracción y el porcentaje de alargamiento. Así mismo se establecen ecuaciones matemáticas empíricas que correlacionan las propiedades mecánicas con la composición química.

6.2.- COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS SEGUN LA COMPOSICION QUIMICA.-

6.2.1.- INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE CARBONO.-

La influencia del contenido de carbono, que determina la estructura y, por tanto, las propiedades mecánicas de un acero moldeado, es bien conocida; sin embargo, no es aconsejable alcanzar valores de resistencia a la tracción por encima de 70 Kgms/mm^2 aumentando exclusivamente al contenido de carbono, porque bajaría excesivamente el valor del alargamiento. Esto es una de las razones fundamentales, por las que se recurre al empleo de aceros moldeados de baja aleación, sometido al tratamiento térmico para la obtención de piezas de alta resistencia.

La influencia del contenido de carbono, sobre

las propiedades mecánicas, cuando los elementos de aleación se mantienen a niveles semejantes, pueden observarse fácilmente. Con contenidos de carbono crecientes aumentan las propiedades tenaces, resistencia a la tracción, límite elástico y dureza, para la misma condición de tratamiento y disminuyen las propiedades dúctiles, -alargamiento, estricción y resiliencia..

En forma gráfica (figuras 29 y 30), se presenta la evolución de la resistencia a la tracción y alargamiento en función del contenido de carbono creciente para el acero tipo ancla tratado térmicamente, deduciendo de las gráficas lo siguiente :

- a)- En la gráfica de la figura 29, se presenta la resistencia a la tracción en función del contenido de carbono creciente; obteniéndose una curva que es característica para los aceros de baja aleación (en los aceros al carbono la gráfica muestra la tendencia de una recta).

- b)- Como la especificación de la LLOYD'S requiere para las anclas 42 Kgms/mm^2 de resistencia a la tracción, como mínimo, se deduce a partir de la gráfica figura 29 - que para obtener valores en resistencia - aceptados por la norma LLOYD'S REGISTER OF

SHIPPING, debemos colar las piezas con un contenido de 0.12% de Carbono como mínimo y manteniendo los demás elementos en el rango que se estipula en el cuadro número 13.

c)- En la gráfica de la figura 30 tenemos al porcentaje de alargamiento en función del contenido creciente de carbono, notándose una marcada disminución de alargamiento a medida que incrementa el carbono. Para las anclas las normas exigen 20% de alargamiento como mínimo, valor que está muy por debajo de los valores que se obtiene en la gráfica de la figura 30 perteneciente al ancla; esto quiere decir que con la composición química actual del acero tipo ancla no tenemos ningún riesgo, a que las piezas fallen por bajo alargamiento.

En el cuadro número 13 presentamos tabulados los porcentajes de carbono crecientes; rangos de variación de los elementos : Manganeso, silicio, fósforo, - azufre, columbio, vanadio; resistencia a la tracción y alargamiento, datos que se ha utilizado en la obtención de las gráficas de las figuras 29 y 30.

CUADRO N° 13

INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE CARBONO EN LA RESISTENCIA
A LA TRACCION Y ALARGAMIENTO

% C	\bar{R} (1)	%A (2)	%Mn	% Si	% P	% S	% Cb	% V
0.09	37.8	39.6	RANGO	RANGO	RANGO	RANGO	RANGO	RANGO
0.11	41.7	35.2	DE:	DE:	DE:	DE:	DE:	DE:
0.12	42.5	34.3						
0.15	45.3	32.0	<u>0.82</u>	<u>0.17</u>	<u>0.010</u>	<u>0.018</u>	<u>0.023</u>	<u>0.024</u>
0.17	46.3	31.3	1.12	0.26	0.018	0.034	0.028	0.049
0.18	47.0	30.5						

(1) .- \bar{R} = Resistencia a la tracción en Kgms/mm²

(2) .- \bar{A} = Alargamiento en porcentaje.

NOTA.- Para cada contenido de carbono le corresponde un promedio de valores de resistencia a la tracción y alargamiento.

6.2.2.- RELACION ALARGAMIENTO - RESISTENCIA A LA TRACCION EN EL ANCLA.-

De todas las propiedades que la norma LLOYD'S-REGISTER OF SHIPPING le exige al ancla, son la resisten-

INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE CARBONO SOBRE LA RESISTENCIA A LA TRACCION DEL ACERO TIPO ANCLA (NORMALIZADO A 920°C)

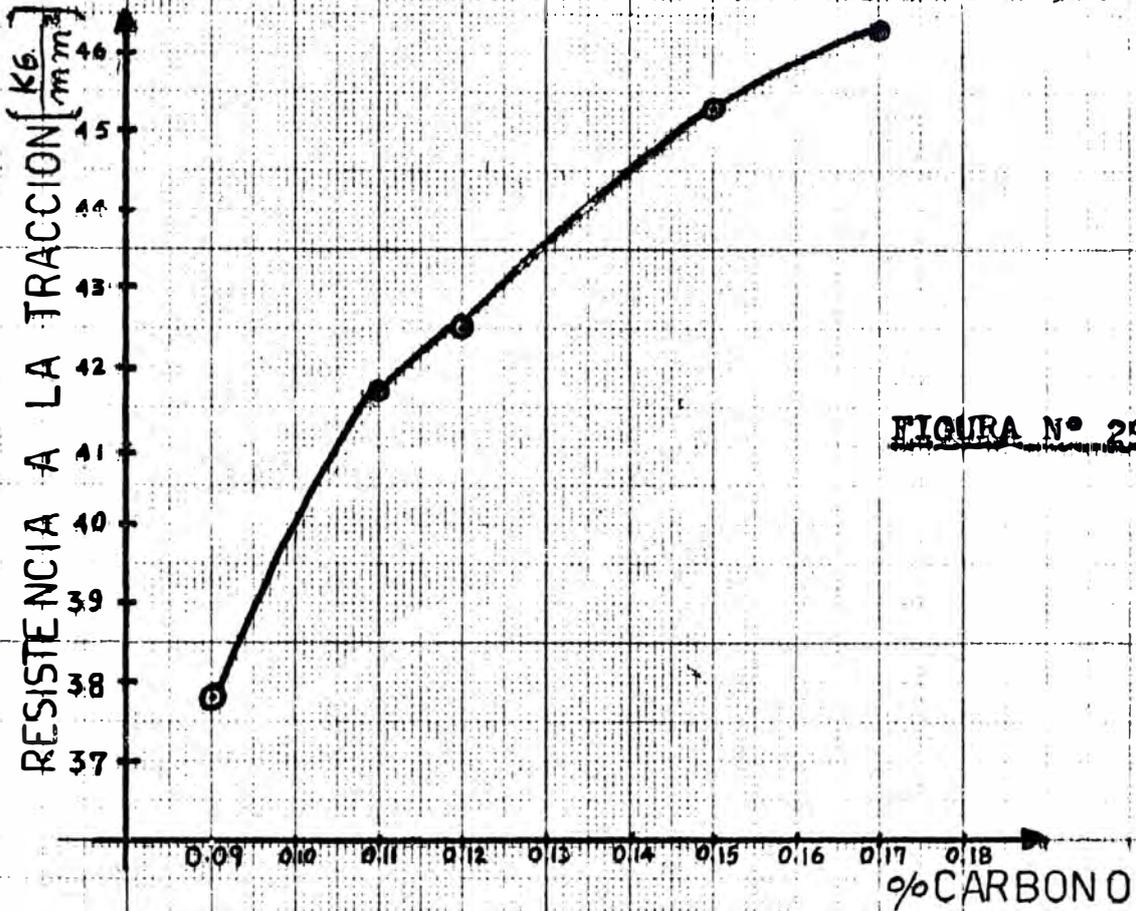


FIGURA N° 29

INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE CARBONO SOBRE EL ALARGAMIENTO DEL ACERO TIPO ANCLA (NORMALIZADO A 920°C)

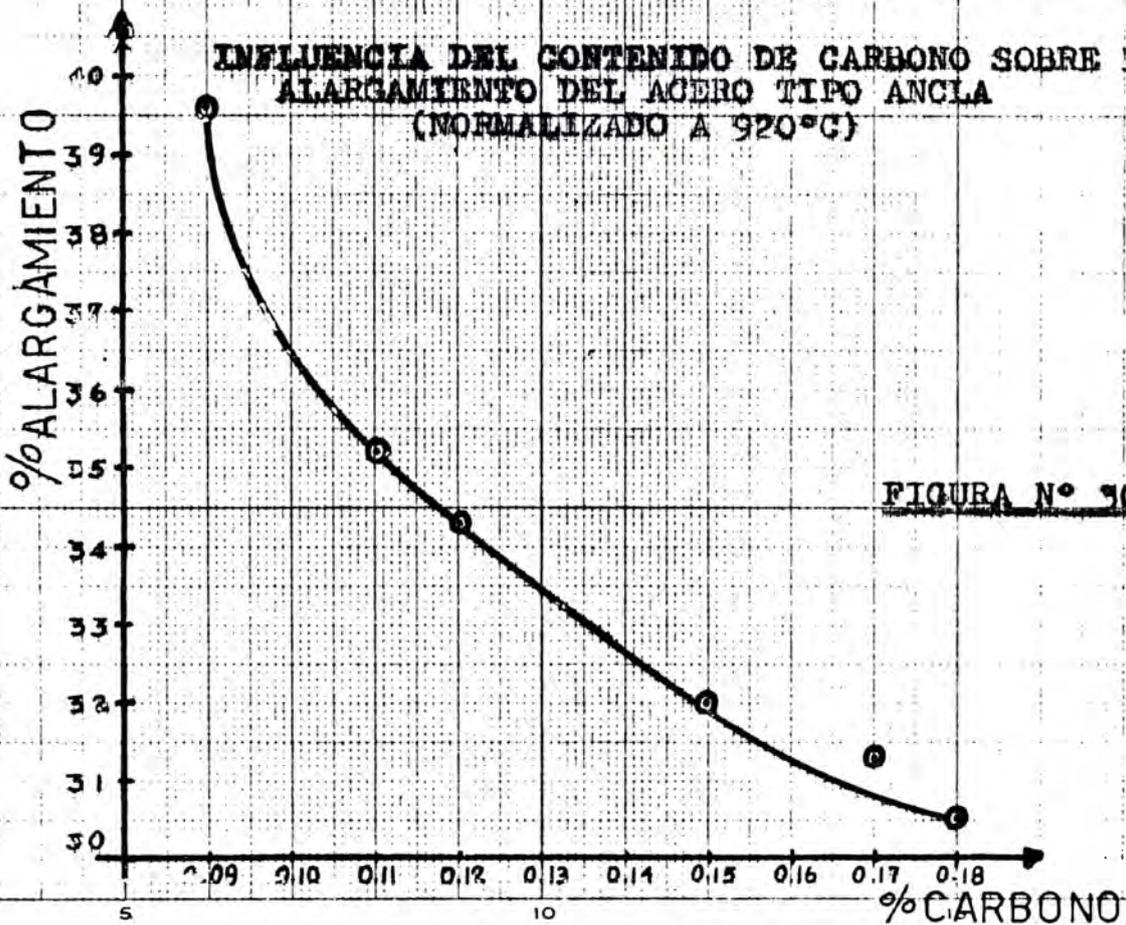


FIGURA N° 30

cia a la tracción y el alargamiento, las dos propiedades que sirven como un prerequisite para que la pieza sea sometida a las otras pruebas como : prueba de caída, prueba de peso, etc.

Los resultados experimentales de las anclas normalizadas a 920°C (temperatura de mantenimiento) han sido recogidos en la gráfica de la fig. 31, la cual fue elaborada con los datos del cuadro número 13 observándose en la gráfica respectiva, que a resistencias de tracción, solicitadas por la Norma LLOYD'S REGISTER los valores de alargamiento también se mantienen en norma.

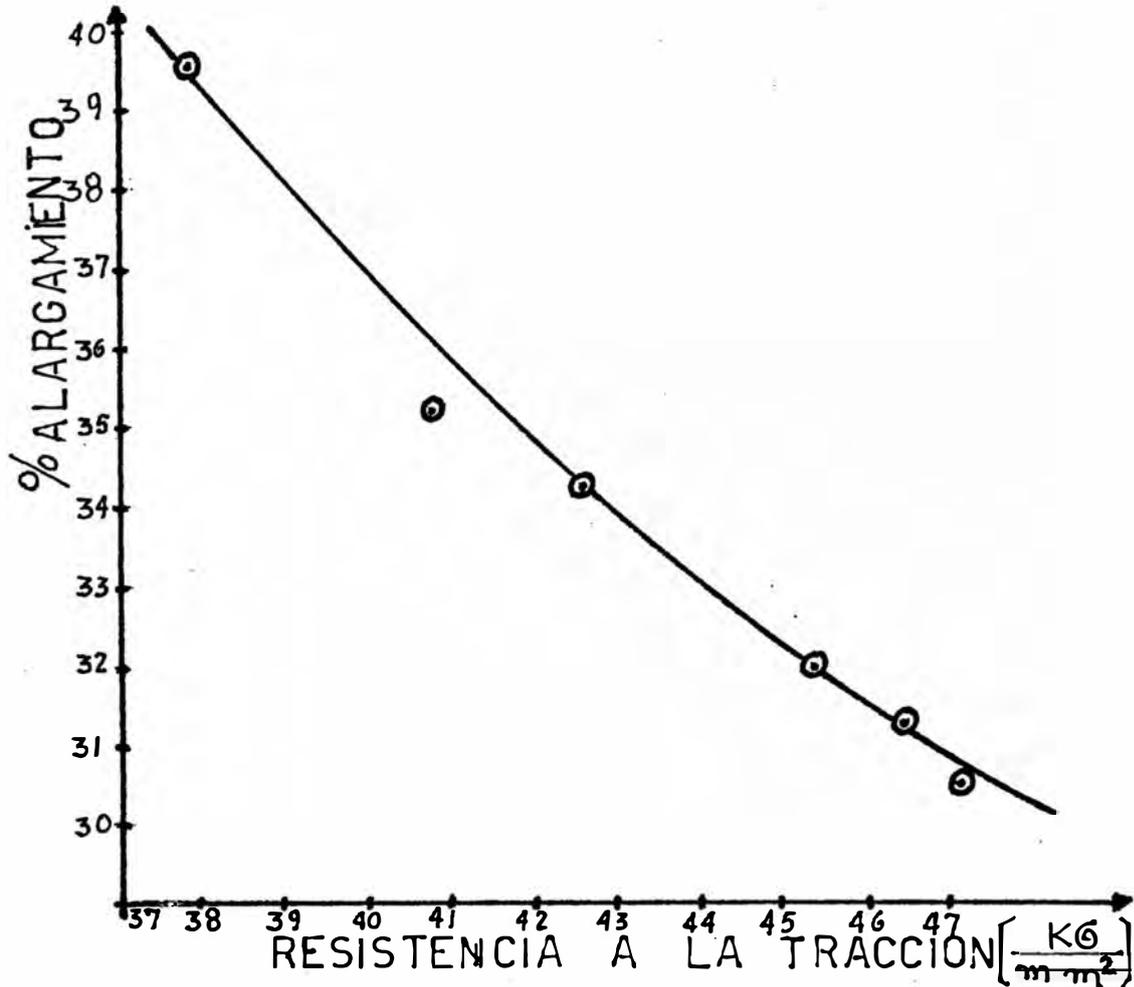
6.2.3.- INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE MANGANESO.-

En los aceros al carbono, se cumple, que el manganeso después del carbono es el elemento que normalmente ejerce mayor influencia sobre la resistencia de los aceros. En forma experimental se encuentra de que el manganeso va a originar un incremento de la resistencia a la tracción como se puede apreciar en la gráfica de la figura 32, que corresponde a un acero tipo ancla normalizado a 920°C (temperatura de Mantenimiento). Cada 10 puntos de manganeso (0.1%) aumenta la resistencia a la tracción en 4.1 Kgm/mm².

Por otro lado el incremento de manganeso lleva consigo una disminución del alargamiento, pero lo ha

FIGURA N° 31

RELACION ENTRE LA RESISTENCIA A LA TRACCION Y EL ALARGAMIENTO (ACERO TIPO ANCLA NORMALIZADO A 920°C).



ce en forma menos notable que el carbono. En la figura 33 presentamos la gráfica correspondiente al porcentaje de alargamiento Vs. porcentaje de manganeso para un acero colado, tipo ancla normalizado a 920°C.

Las gráficas de las figuras 32 y 33 han sido obtenidas a partir de los datos del cuadro número 14.

CUADRO N° 14

INFLUENCIA DEL MANGANESO EN LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y ALARGAMIENTO :

% Mn	\bar{R} (1)	\bar{A} (2)	% C	% Si	% P	% S	% Cb	% V
0.82	37.6	39.5	RANGO	RANGO	RANGO	RANGO	RANGO	RANGO
0.94	42.5	32.7	DE:	DE:	DE:	DE:	DE:	DE:
1.00	45.0	28.4						
1.05	47.0	30.0	<u>0.09</u>	<u>0.17</u>	<u>0.010</u>	<u>0.018</u>	<u>0.023</u>	<u>0.024</u>
1.06	48.0	30.5	6.18	0.26	0.018	0.034	0.028	0.049
1.10	47.3	29.1						

(1) .- \bar{R} = Resistencia a la tracción en Kgms/mm²

(2) .- \bar{A} = Alargamiento expresado en porcentaje.

NOTA.- Para cada contenido de manganeso le corresponde un promedio de varios valores de resistencia a la tracción y alargamiento.

6.2.4.- INFLUENCIA DEL COLUMBIO Y VANADIO COMO MICROALEANTES.-

La adición asociada de columbio, y vanadio - permiten combinar el afinamiento de grano y el endureci

INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE MANGANESO SOBRE LA RESISTENCIA A LA TRACCION DEL ACERO TIPO ANCLA (NORMALIZADO A 920°C)

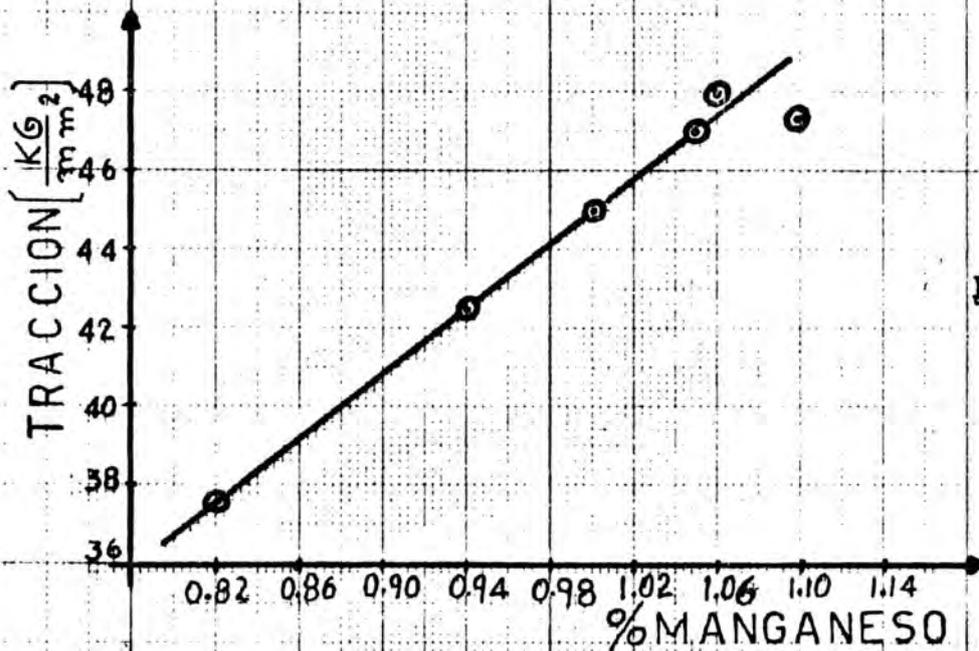


FIGURA N° 32

INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE MANGANESO SOBRE EL ALARGAMIENTO EN UN ACERO TIPO ANCLA (NORMALIZADO A 920°C)

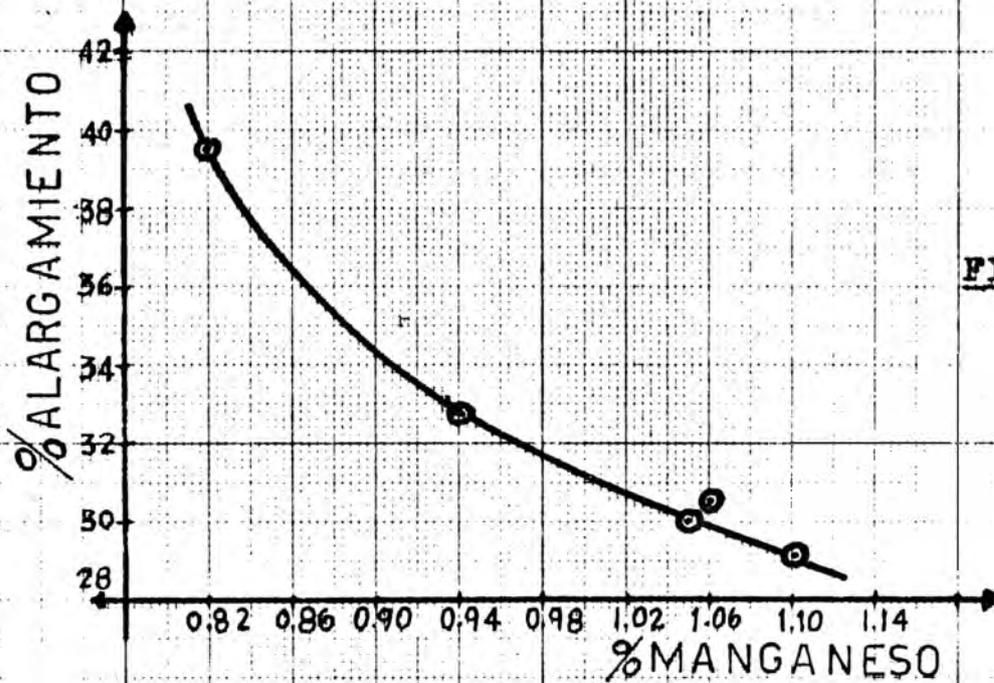


FIGURA N° 33

miento por precipitación, debido a los carburos de columbio y vanadio.

El columbio y Vanadio en solución en la austenita han mostrado que retardan la transformación de austenita a ferrita y perlita, por lo tanto, para una velocidad de enfriamiento dada, puede obtenerse un acero con una matriz ferrítica de tamaño de grano fino con la consiguiente mejora en la resistencia y tenacidad.

El Vanadio inhibe la formación de las estructuras Widmanstätten y al refinar la estructura de los granos y formación de carburos y nitruros, aumenta la resistencia sin sacrificar la ductilidad..

Los carburos V_4C_3 actúan de núcleos de cristalización durante la solidificación produciendo estructuras de grano fino.

La influencia del columbio en la resistencia se debe a la gran tendencia que tiene a formar carburos y nitruros.

6.3.- COMPARACION DE PROPIEDADES FISICAS OBTENIDAS POR LAMINACION Y TRATAMIENTO TERMICO PARA UN MISMO ACERO.-

Con una misma colada de acero, se colaron un

grupo de anclas y un grupo de lingotes. Luego que las anclas fueron sometidas a tratamiento térmico y los lingotes laminados a planchas, se evaluó las propiedades - en ambos casos, teniéndose que :

" Las propiedades físicas obtenidas por tratamiento térmico no se alejan considerablemente de las propiedades obtenidas por laminación ".

Los resultados de la evaluación antes dicha, se presenta en el cuadro número 15. En donde se puede apreciar, que la resistencia a la tracción y el límite-elástico resulta un poco superior por laminación, mas no sucede así, con el porcentaje de alargamiento.

CUADRO N° 15

EVALUACION DE PROPIEDADES FISICAS PARA UN MISMO ACERO -
POR LAMINACION Y TRATAMIENTO TERMICO :

PROPIEDAD FISICA	POR TRATAMIENTO - TERMICO	POR LAMINACION A PLANCHA
Tracción Kgm / mm ²	47.0	54.0
Límite Elástico Kgm / mm ²	31.0	39.0
Alargamiento %	34.0	26.5

Continúa...

Viene...

NOTAS :

- 1.- Para ambos casos los valores de las propiedades son promedios de varios ensayos.
- 2.- Las propiedades obtenidas por laminación es en el sentido longitudinal (sentido de la laminación).

6.4.- MODELOS MATEMATICOS DE LAS PROPIEDADES FISICAS.-

Tomándose como base, varias campañas de fabricación de anclas, se efectuó Regresiones Lineales Múltiples, con el fin de calcular teóricamente las propiedades físicas, en función de las variables más importantes, resultándonos en una primera aproximación los tres modelos matemáticos siguientes :

A.- Modelo Matemático de la Resistencia a la Tracción.

$$R = 48.59 + 3.35\%C + 0.24\%Mn + 4.82\%Si + 4.74\%S + 107.55\%P - 271.65\%Cb + 5.23\%V.$$

B.- Modelo Matemático para el alargamiento.

$$\%A = -24.62 + 34.56\%C + 58.60\%Mn - 83.23\%Si + 109.79\%S - 1778.15\%P + 1258.18\%Cb - 54.16\%V.$$

C.- Modelo Matemático de la Resistencia a la Tracción en función de Alargamiento y Carbono equivalente.

$$R = 33.42 + 0.16\%A + 23.06C_E .$$

Los tres modelos matemáticos han sido elaborados con la ayuda de la computadora, que utilizó como datos de entrada, los señalados en el cuadro número 16.

La importancia de este tipo de regresiones, - es permitir visualizar, los posibles valores en las propiedades físicas con datos obtenidos durante el proceso, sin tener que recurrir a los ensayos del producto final.

Nótese, en los resultados de las propiedades físicas estipuladas en el cuadro número 16, que no existe una diferencia significativa, entre las propiedades reales (ensayadas) y las obtenidas a partir de los respectivos modelos matemáticos.

C A P I T U L O V I I

ESPECIFICACIONES DE LA COMPAÑIA CLASIFICADORA LLOYD'S
REGISTER OF SHIPPING Y EL CONTROL DE CALIDAD DEL AN-
CLA .

7.1.- GENERALIDADES.-

En principio, todas las Compañías Clasificadoras de embarcaciones navales, son bastante exigentes en la calidad de los diferentes componentes del barco; para ello, desarrollan un control de calidad a lo largo de todas las etapas de fabricación de las piezas.

LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING, que es la Compañía Aseguradora con la que trabaja SIDERPERU, cuando se fabrica las anclas, ejerce un control de calidad en la composición química y en las propiedades mecánicas. A continuación se hace un comentario de las especificaciones químicas del acero tipo ancla, así como de la forma como se realizan las diferentes pruebas físicas, que en su totalidad se hacen en presencia del Inspector de LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING.

7.2.- ESPECIFICACION DE LA COMPOSICION QUÍMICA SEGUN LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING Y SIDERPERU.-

En el cuadro número 17 presentamos la especificación química fijada por LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING, así como las diferentes especificaciones químicas adoptadas por SIDERPERU.

El hecho de que SIDERPERU, tenga más de una especificación química, obedece a la política de produc

ción de la Empresa, puesto que, existen circunstancias en que fabricar una especificación, resulta más económica que otra.

CUADRO N° 17

ESPECIFICACIONES QUIMICAS

ESPECIFICACION	% C	% Mn	% Si	% S	% P	OTROS ELEMENTOS
LLOYD'S	0.23 Max.	1.60 Max.	0.60 Max.	0.05 Max.	0.05 Max.	Ni+Cr+Mo+ Cu ≤ 0.8%
SIDER- 1	0.14/0.18	0.90/1.10	0.10/0.20	0.03 max.	0.015 max.	<u>%Cb</u> 0.02/0.04 <u>%Cu</u> 0.15 max. <u>%Ni</u> 0.10 max.
SIDER- 2	0.10/0.12	0.90/1.05	0.15/0.20	0.035 max.	0.03 max.	<u>%Cb</u> 0.015 0.025 <u>% V</u> 0.04/0.05
SIDER- 3	0.15/0.19	1.10/1.25	0.20/0.30	0.030 max.	0.025 max.	<u>% V</u> 0.04/0.06

La norma LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING en su capítulo P sección 5, ítem 501, permite el empleo de piezas de acero moldeado de baja aleación, pero previamente se someterán a aprobación de detalles de la composición química, propiedades mecánicas y tratamiento térmico por parte del

Inspector de LLOYD'S REGISTER. Amparado en este criterio de la norma en mención, SIDERPERU inició la fabricación de anclas con acero de alta resistencia y baja aleación (ARBA); después de cumplir con los requisitos estipulados por la norma.

7.3.- PROPIEDADES MECANICAS.-

En el capítulo P, sección 5, referente a MATERIALES PARA CONSTRUCCION DE BUQUES de la Norma LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING se fija las condiciones que deben reunir las probetas, y sus respectivos ensayos, tal como veremos a continuación.

7.3.1.- MATERIAL PARA PROBETAS.-

a)- Las probetas se funden íntegramente, con cada pieza de acero moldeado (cuerpo o brazo de ancla), en posiciones convenidas entre el fabricante y el Inspector; en cantidad y dimensiones suficientes para preparar por lo menos una probeta para prueba de tracción y una probeta para prueba de doblado.

Las probetas son separadas de las piezas moldeadas después el tratamiento térmico y después que el Inspector la haya identi

ficado con su sello.

7.3.2.- DIMENSIONES DE LAS PROBETAS PARA LOS ENSAYOS FISICOS.-

- a)- Las probetas de tracción se maquinan a un diámetro de 14 mm. (0.560 pulgadas),- con una longitud entre puntos de 70mm. - (2.8 pulgadas), (Véase figura 34-a).

- b)- Las probetas de doblado se maquinan sea con sección rectangular de 25 mm. (1 pulgada) de ancho por 20mm. (0.80 pulgadas) de espesor, o con sección redonda de 25mm (1 pulg.) de diámetro. Los cantos vivos de las probetas de sección rectangular - se redondean por medios mecánicos a un radio que no exceda de 1.5mm. (0.0625 pulgadas).

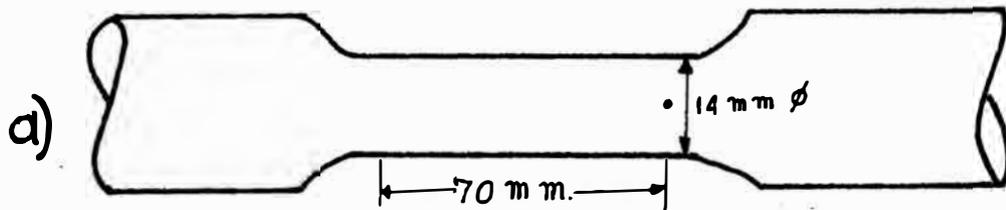
- c)- En la figura 34-a-b-c están las formas y dimensiones de las probetas que usualmente se emplea en las anclas tanto para tracción como para doblado.

7.3.3.- ENSAYOS DE TRACCION, ALARGAMIENTO Y DOBLADO.-

En principio, todas las pruebas se efectúan

FIGURA N° 34

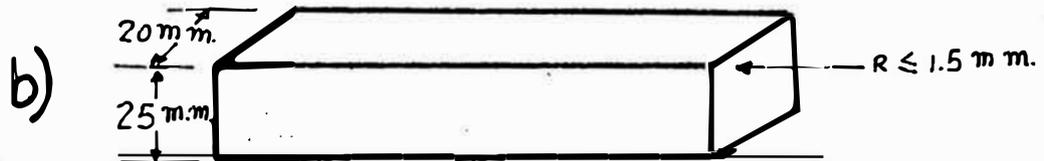
DIMENSIONES DE LAS PROBETAS
PARA TRACCION



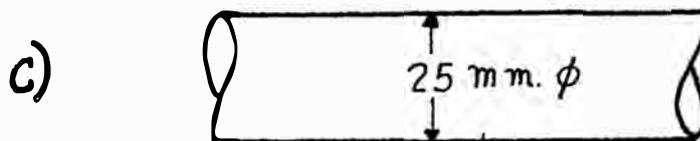
DIMENSIONES DE LAS PROBETAS PARA DOBLADO.

Pueden ser de dos tipos:

RECTANGULAR



REDONDO



en presencia del Inspector de LLOYD'S REGISTER.

- a)- La resistencia a la tracción debe estar comprendida entre los límites de 41 y 55 Kgms/mm² (26 y 35 Ton/pulg²).

- b)- Los valores del alargamiento se refieren a una distancia entre puntos igual a $5.65 \sqrt{S_0}$, siendo S_0 el área de la sección transversal de la probeta. El alargamiento debe ser mayor o igual al 20%.

- c)- La probeta de doblado debe resistir un plegado en frío a un ángulo de 120° grados con un punzón de diámetro no mayor de 60mm. (2.25 pulgadas).

En resumen las características mecánicas que deben reunir las anclas son las siguientes :

Resistencia a la tracción = 41 - 55 Kgmm/mm²

Alargamiento .. \geq 20%

Angulo de doblado = 120 grados

Diámetro de mandril \leq 60 mm.

7.3.4.- PRUEBA DE PESO Y CAIDA.-

Una vez que las piezas aprueban los ensayos de resistencia a la tracción, alargamiento y doblado; se realizan dos ensayos más que son: la PRUEBA DE PESO y la PRUEBA DE CAIDA.

Para la realización de éstas dos últimas pruebas es menester que el cuerpo del ancla esté ensamblado con su respectivo brazo tal y conforme va a trabajar la pieza en la embarcación.

a).- La prueba de peso consiste en lo siguiente:

Estando el ancla suspendida a una altura de seis metros respecto al nivel del piso se le aplica un peso de 18.6 Ton., de tal forma que el peso quede sujeto íntegramente del ancla. El conjunto ancla-peso quedan suspendidos totalmente en el aire por espacio de 3 minutos, al cabo de los cuáles, la prueba se da por óptima si el ancla ha soportado el peso, sin que se produzca deterioro en ella.

b).- La prueba de caída consiste en lo siguiente:

El ancla se levanta hasta una altura de

20 pies, a partir de la cual se deja caer libremente sobre una superficie ondulada de acero. Esta prueba según la norma debe realizarse por lo menos en tres fondos diferentes: blando, barroso, fangoso, arenoso, ripio, arcilla dura; sin embargo en las anclas se realiza un solo ensayo, éste obedece a que el fondo utilizado es acero, que es un fondo mucho más exigente que los anteriormente enumerados. Es satisfactoria la prueba si no se ha producido deterioros en la pieza como consecuencia del impacto con la superficie del piso de acero.

7.3.5.- CONSIDERACIONES COMPLEMENTARIAS A LOS ENSAYOS MECANICOS.-

- a).- Si por cualquier razón, después de realizado los ensayos mecánicos, la pieza sufre un nuevo tratamiento térmico, después de reparación con soldadura por ejemplo, entonces las pruebas originales se anularán y deberán efectuarse nuevas pruebas mecánicas completas.

- b).- Cuando la prueba de tracción, o de doblado, o ambas, no cumplen con los requisi-

tos especificados, y el Inspector estime que la probeta o probetas fracturadas, o los resultados obtenidos no reflejan bien la calidad de la pieza, se sacarán dos - nuevas probetas del mismo tipo por cada prueba original que ha fallado. En tales casos, se juzgará de la calidad de la pieza moldeada por el resultado de las - dos nuevas probetas y no por la prueba o pruebas originales que fallaron.

Si una o ambas de éstas dos nuevas pruebas fallasen, se rechazará la pieza - moldeada.

c).- Cuando las pruebas mecánicas de la pieza, no cumplen con los requisitos especificados, la pieza puede ser tratada térmica-mente otra vez y presentada de nuevo pa-
ra pruebas; siempre que no sea calentada sobre la temperatura crítica superior -- más de tres veces, es decir, el tratamiento original y dos nuevos tratamientos tér-
micos.

7.4.- INSPECCION DE LAS PIEZAS.-

A toda las piezas moldeadas se les somete a

una inspección previa al tratamiento térmico, con la finalidad de determinar todas las piezas que están aptas para el normalizado.

La inspección de piezas está a cargo de personal de Control de Calidad de SIDERPERU y el Inspector de LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING. Los aspectos del control de calidad se orientan a los siguientes puntos:

- a).- Verificación de la composición química.
- b).- Inspección superficial de la pieza, para determinar los rechupes, porosidades, grietas u otros defectos que pudieran estar presente en la pieza, a fin de evaluar todos los defectos que son susceptibles a reparación con soldadura en forma eficiente.
- c).- La inspección interna de la pieza se hace con equipo de Ultrasonido. Dicho examen se efectúa en sitios donde la experiencia enseña, que es más probable las formaciones de cavidades, grietas de contracción u otros defectos.

El tratamiento térmico, solamente, se les hace a las piezas que tienen la composición química en norma y están libre de defectos tanto internos, como ex

ternos (tener en cuenta que externamente se acepta pequeñas reparaciones con soldadura).

7.5.- CERTIFICACION FINAL DE LA CALIDAD.-

Después que las piezas cumplen satisfactoriamente con todas las pruebas mecánicas, se procede a la identificación y emisión del certificado final de la calidad, que va amparado con las firmas del DIRECTOR DE CONTROL DE CALIDAD DE SIDERPERU y el INSPECTOR DE LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING.

7.5.1.- IDENTIFICACION.- Las piezas aceptadas por LLOYD'S REGISTER, llevan una identificación conteniendo los siguientes datos:

- a).- " L.R " .- Que es nombre abreviado de LLOYD'S REGISTER.
- b).- " S.P " .- Correspondiente al nombre abreviado de SIDERPERU.
- c).- Número de colada de la pieza que permite seguir el historial completo de la pieza moldeada.
- d).- Fecha de inspección final.
- e).- Sello personal del Inspector responsable, de la inspección final.

7.5.2.- DOCUMENTACION.-

SIDERPERU suministra al INSPECTOR un documento escrito donde se indica lo siguiente:

- a).- Proceso de fabricación del acero.
- b).- Número y análisis químico de la colada.
- c).- Resultados de las pruebas mecánicas.
- d).- Detalles generales del tratamiento térmico.
- e).- Detalles de comprador, en este caso PICSA
ASTILLEROS S. A.

C A P I T U L O V I I I

C O S T O S

8.1.- GENERALIDADES.-

Las anclas son fabricadas, con acero procedente de los Hornos Eléctricos de la Planta de Acero. Estos hornos, cuando fabrican acero en calidad adecuada para el ancla, lo hacen a partir de lingotes de arrabio sólido procedente de la Planta de Hierro. Entonces para los efectos del cálculo del costo total de la pieza, previamente, se ha tenido que costear a la materia prima en las Plantas de Hierro y Acero; y luego éstos costos, añadidos al costo de la Planta de Fundición nos va a generar el costo total de la pieza.

8.2.- COSTO DEL ARRABIO DE ALTO HORNO.-

Según cuadro N° 18, presentamos los cálculos efectuados para determinar el costo total de producción de arrabio en Alto Horno, resultándonos éste, por un valor de 9,985 soles por tonelada.

8.3.- COSTO DEL ACERO CALIDAD ANCLA EN LOS HORNOS ELECTRICOS.-

Producir una tonelada de acero calidad ancla, nos significa un costo total de producción de 11,574.18 soles por tonelada. En el cuadro N° 19 figura en forma detallada los cálculos efectuados para determinar el costo del acero.

8.4.- COSTO DE LAS PIEZAS COMPONENTES DEL AN-
CLA EN FUNDICION.-

Por separado se ha calculado los costos de ca-
da una de las piezas componentes del ancla; resultando-
un costo total de 48,289.00 soles para el cuerpo del an-
cla (Véase cuadro 20) y 28,479.36 soles para el brazo -
del ancla (Véase cuadro 21).

8.5.- COSTO TOTAL DEL ANCLA.-

El costo total de cada ancla, asciende a \$
76,768.36 soles, distribuyéndose de la siguiente manera:

Cuerpo de ancla	\$ 48,289.00	.-	(Véase cuadro N°20)
Brazo de ancla	<u>28,479.36</u>	.-	(Véase cuadro N°21)
Costo por ancla	\$ 76,768.36		

El costo total de la pieza engloba los costos
del sector productivo, sector auxiliar y los gastos de
Administración y Depreciación de la moneda.

GOSTO DE PRODUCCION DE ARRABIO EN ALTO HORNO

CUADRO N° 18

MATERIAS PRIMAS	RATIO Kg. de material Ton. de arrabio	PRECIO ACTUAL POR TON.	%	INCREMENTO PRE CIO POR TON.	%	NUEVO TIPO CAM- BIO POR TON.	COSTO/TON ARRABIO (Soles)
Coke Metalúrgico	596.45	6,607.68	20	7,929.22	44.44	11,452.96	6,831.12
Pellets (1)	1,437.66	1,054.35	44	1,518.26			2,182.74
Caliza (1)	175.75	108.36	30	140.86			24.76
Cuarcita (1)	39.97	2.23		2.23			0.09
TOTAL MATERIAL DE CARGA	2,249.83	7,772.62					9,038.71

M. O. Directa	141.72
Materiales	111.82
Repuestos	8.40
Refractarios	171.70
Equipos Pesados	18.35
Servicios y Mantenimientos	425.60
Jefatura y Supervisión	68.70
TOTAL COSTO DE OPERACION	946.29
TOTAL COSTO DE PRODUCCION (Total Costo Material + Total Costo Operación)	9,985.00

(1) Material que no sufre fluctuación monetaria.

C O S T O D E P R O D U C C I O N

CUADRO N° 19

A C E R O C A L I D A D A N C L A : H O R N O S E L E C T R I C O S

MATERIAL DE CARGA	RATIOS KGM/TON A CERO	PRECIO ACTUAL POR TON.	%	INCREMENTO DE PRECIO POR TON.	%	NUEVO TIPO CAMBIO POR TONELADA.	COSTO/TON ACERO
Arrabio Sólido	125.000	9,985.00 (2)					1,248.00
Chatarra	941.700	4,257.97	20%	5,109.56	44.44	7,380.25	6,949.98
Fe - Mn Standard	4.500	18,477.01	20%	22,172.41	44.44	32,025.83	144.12
Fe - Silicio (45%)	1.600	36,318.64	10%	39,950.50	44.44	57,704.50	92.33
Pellets (1)	1.000	598.37	44%	861.65			0.86
Coke	0.500	6,294.86	20%	7,553.83	44.44	10,910.75	5.46
Cal (1)	35.000	1,758.24	20%	2,109.89			73.85
Espato Fluor	0.100	7,090.26	20%	8,508.31	44.44	12,289.40	1.23
TOTAL MATERIAL DE CARGA							8,515.830
Mano de Obra Directa							127.050
Materiales							1,028.070
Repuestos							46.81
Grampas de Cobre							40.56
Servicios Comprados							26.72
Servicios y Mantenimiento							1,755.91
Jefatura y Supervisión							33.23
TOTAL COSTO DE OPERACION							3,058.35
TOTAL COSTO DE PRODUCCION (CostoMaterial + Costo Operación)							11,574.18

(1) Material que no sufre fluctuación monetaria

(2) Costo de la tonelada de Arrabio .- Calculado según Cuadro N° 18

C O S T O D E P R O D U C C I O N :

CUADRO N° 20

C U E R P O D E L A N C L A (F U N D I C I O N)

ACERO TIPO ANCLA .- FABRICACION : HORNOS ELECTRICOS

S E C T O R E S	RATIO x PIEZA	P R E C I O S	COSTOS/UNITARIOS	NOTA
A.- SECTOR PRODUCTIVO				(1) Este costo ha sido calculado según Cuadro N° 19.
1.- <u>CARGA METALICA</u> Acero tipo Ancla	1.023 Ton.	11,574.18 \$/Ton. (1)	11,840.38	
2.- <u>FUSION</u> Peso bruto	0.914 Ton.	3,516.00 \$/Ton.	3,213.62	
3.- <u>COLADO</u> Mano de Obra	0.914 Ton.	3,243.00 \$/Ton.	2,964.10	
4.- <u>MOLDEO</u> 16 Hrs./Hombre	—	251.66 \$/Hora	4,026.56	
5.- <u>ARENA</u> Arena de Moldeo	1.166 Ton.	3,170.00 \$/Ton.	3,696.22	
6.- <u>LIMPIEZA</u> Peso Neto	0.707 Ton.	680.00 \$/Ton.	480.76	
7.- <u>ACABADO</u> 16 Hrs./Hombre	—	120.18 \$/Hora	1,922.88	
8.- <u>TRATAMIENTO TERMICO</u> 10Hrs./Hombre (mano de obra) Petróleo	14 Galones	628.70 \$/Hora 4.33 \$/Galón	6,287.00 60.62	
TOTAL SECTOR PRODUCTIVO			34,492.14	
B.- SECTOR AUXILIAR PICSA envía su propio modelo y cajas además de su mantenimiento.				
TOTAL SECTOR AUXILIAR			— . —	
TOTAL COSTO DE PRODUCCION			34,492.14	
C.- GASTOS DE ADMINISTRACION Y DEPRECIACION .- 40%			13,796.86	
COSTO TOTAL DEL CUERPO DEL ANCLA			48,289.00	

C O S T O D E P R O D U C C I O N :

CUADRO N° 21

B R A Z O D E L A N C L A (F U N D I C I O N)

ACERO TIPO ANCLA .- FABRICACION : HORNOS ELECTRICOS

S E C T O R E S	R A T I O x P I E Z A	P R E C I O S	C O S T O S / U N I T A R I O S	N O T A
A.- SECTOR PRODUCTIVO				
1.- <u>CARGA METALICA</u> Acero tipo Ancla	0.350 Ton.	11,574.18 \$/Ton. (1)	4,050.96	(1) Este costo ha sido calculado según Cuadro N° 19.
2.- <u>FUSION</u> Peso bruto	0.3125 Ton.	3,516.00 \$/Ton.	1,098.75	
3.- <u>COLADO</u> Mano de Obra	0.283 Ton.	3,243.00 \$/Ton.	917.77	
4.- <u>MOLDEO</u> 16 Hrs./Hombre	—	251.66 \$/Hora	4,026.56	
5.- <u>ARENA</u> Arena de moldeo	0.810 Ton.	3,170.00 \$/Ton.	2,567.70	
6.- <u>LIMPIEZA</u> Peso Neto	0.193 Ton.	680.00 \$/Ton.	131.24	
7.- <u>ACABADO</u> 10 Hrs./Hombre	—	120.18 \$/Hora	1,201.80	
8.- <u>TRATAMIENTO TERMICO</u> 10 Hrs./Hombre (mano de obra) Petróleo	14 Galones	628.70 \$/Hora 4.33 \$/Galón	6,287.00 60.62	
TOTAL SECTOR PRODUCTIVO			20,342.40	
B.- SECTOR AUXILIAR				
PICSA envía su propio modelo y cajas además de su mantenimiento				
TOTAL SECTOR AUXILIAR			— . —	
TOTAL COSTO DE PRODUCCION			20,342.40	
C.- GASTOS DE ADMINISTRACION Y DEPRECIACION .- 40%			8,136.96	
COSTO TOTAL DEL BRAZO DEL ANCLA			28,479.36	

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

1.- Para evitar la reacción metal-molde en el acero moldeado, se debe emplear en la fabricación de moldes, arenas de contacto a base de Zirconio, Cromita u Olivinos. En el proceso de fabricación de moldes de anclas, al no contarse con las arenas mencionadas - por ser importadas, se procedió a utilizar un módulo a base de arena de sílice nueva, con 98% de SiO_2 como mínimo, y que acompañada de una permeabilidad de 170 A.F.S., se consigue una gran evacuación de gases durante la colada, haciendo que la zona límite del metal con el molde se mantenga lo suficientemente ventilada, como para no originar reacción metal-molde.

El módulo en mención, es utilizado como arena de relleno y contacto y su composición es la siguiente:

Arena de Sílice nueva	:	87.71	(98% de SiO_2 mínimo)
Aglomerante	:	8.77	(Bentonita Nacional)
Aglutinante	:	1.76	(Mogul y/o Dextril)
Material carbonoso ..	:	1.76	(Aserrín de madera)

2.- El hecho de fabricar el acero de la calidad del ancla en los Hornos Eléctricos, en lugar de los Hornos de Inducción, nos significa un ahorro, en el costo de la pieza, del orden 30%.

- 3.- Las altas propiedades mecánicas de resistencia a la tracción, alargamiento, impacto, etc., que requieren las anclas, hacen que éstas, sean fabricadas a partir de aceros aleados, a fin de garantizar las propiedades, y fue por ello que se decidió colar las piezas con Acero de Alta Resistencia y Baja aleación (ARBA).
- 4.- El método de la Regla de los Módulos de solidificación, empleado en el diseño de colada de la pieza, nos ha permitido obtener una buena SOLIDIFICACION DIRIGIDA, con lo que se ha logrado piezas exentas de defectos internos.
- 5.- La adecuada temperatura de austenización (920°C) -- utilizada en el normalizado de las anclas, nos ha permitido obtener una estructura de grano fino, distribuido uniformemente y con un tamaño de grano de 8.0 (Designación A.S.T.M.) lo que ha dado como resultado que se tenga buenas propiedades físicas en la pieza.
- 6.- No existe ninguna diferencia en propiedades físicas, entre las probetas normalizadas en laboratorio y las anclas normalizadas en los Hornos de FOSO; con lo que queda demostrado, que si la experimentación del tratamiento térmico, a nivel de laboratorio es correcta, los resultados a nivel industrial son plena

mente satisfactorios.

7.- La fabricación de anclas, nos ha permitido desarrollar nuestra propia tecnología, en el moldeado de piezas de aceros especiales al Columbio - Vanadio ; al mismo tiempo se ha logrado la suficiente experiencia, para generar tecnología, a otras calidades de aceros especiales.

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

- APRAIS, JOSE .- "Tratamientos Térmicos de los Aceros"
Sexta Edición - 1,968
- APRAIS, JOSE .- "Aceros Especiales" - Cuarta Edición
- 1,971
- ALONZO SCHUTZE. O.- "Moldeo y Fundición".
Editorial Gustavo GILI S. A.
- BIDULYA P. .- "Steel Foundry Practice"
MIR Publishers - 1,968
- CAMACHO, CARLOS.- "Determinación de Planchas Navales
Grado A".
I Forum de Metalurgia del Hierro y
el Acero - 1,975
- CABO. A. .- "Transformaciones de Fase en estado
Sólido".
IX Curso Panamericano de Metalurgia
- 1,973
- DESLANDES FERNAND.- "Modelos y Moldes para Fundición"
UTEHA.

- DUPONCHELLE. J. .- "Manual del Fundidor"
Sexta Edición - Editorial Gustavo
GILI S. A.

- ELECTRODOS OERLIKON.- "Manual de Soldadura"
3era. Edición

- GROSSMAN M. A. .- "Principios del Tratamiento Térmico"
Editorial Blume - 1,972

- GUY ALBERT G. .- "Metalurgia FISICA para Ingenieros"
ADDISON - Wesley Publishiny Company
ING. Reading, Massachusetts.

- HOLZMULLER, ALFRED.- "Atlas de Sistemas de Colada y Ali
mentación para Fundiciones"
Editecnia - Madrid.

- HEINE W. RICHARD .- "Principles of Metal Casting".
MC GRAW-HILL BOOK COMPANY

- KUYENG ARMANDO .- "Acero de Alta Resistencia y Baja
Aleación".
I Forum de Metalurgia del Hierro y
el Acero - 1,975

- KITTL. J., LOPEZ A. - "Transformaciones de Fase Masivas
y Martensíticas".

IX Curso Panamericano de Metalurgia - 1,970

- LINO BERNAL .- "Control de Procesos en Hornos de FOSO".
I Forum de Metalurgia del Hierro y el Acero - 1,975

- LASHERAS y ESTEBAN.- "Tecnología del Acero"
Segunda Edición - 1,967

- LAJTIN YU. M. .- "Metalografía y Tratamiento Térmico de los Metales"
Editorial MIR - MOSCU - 1,973

- LUCCHESI DOMENICO.- "Tratamientos Térmicos"
Editorial Labor S. A. Junio - 1,973

- PAREDES ZAVALA, Luis A. - "Trabajos diversos de investigación en Laboratorio".

- PASCUAL J. .- "Técnica y Práctica del Tratamiento Térmico de los Metales Ferreos".
Editorial Blume - 1,970

- ROPOV A. D. .- "El Vanadio en Aceros para Fundición"

- ROESH y ZIMMERMANN .- "Acero Moldeado"
Editecnia - Revista de Fundición.

- REVISTAS DE LA ASOCIACION TECNICA Y DE INVESTIGACION
DE FUNDICION:

Colada Vol - 8 - Num. 12 - Diciembre 1,975

Colada Vol - 9 - Num. 8 - Marzo 1,976

Colada Vol - 7 - Num. 2 - Febrero 1,974

Colada Vol - 8 - Num. 12 - Setiembre 1,975

Colada Vol - 7 - Num. 12 - Diciembre 1,974

Colada Vol - 9 - Num. 6 - Junio 1,976

Colada Vol - 9 - Num. 7 - Agosto 1,976