

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**Programa Académico de Ingeniería Geológica,  
Minera y Metalúrgica**



**"Fabricación de Acero Naval"**

**Grado "A"**

---

**T E S I S**

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

**Julio Lino Bernal**

**LIMA - PERU**

**1 9 7 9**

# I N D I C E

| CAPITULO                                                                                        | PAG |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| I.- Generalidades .                                                                             | 1   |
| 1.1 Vista Panorámica a Nivel Nacional.                                                          | 1   |
| 1.1.1 Dimensiones Nominales Requeridas .                                                        | 3   |
| 1.2 Tecnología de Fabricación a Nivel Mundial.                                                  | 4   |
| 1.2.1 Materiales para Grandes Barcos .                                                          | 5   |
| 1.2.2 Acero de Gran Resistencia .                                                               | 6   |
| 1.2.3 Soldabilidad de Planchas Navales.                                                         | 7   |
| 1.2.4 Prevención de la Corrosión .                                                              | 9   |
| Sociedades Clasificadoras .                                                                     | 10  |
| 1.4 Fabricación de Acero Naval según Especificaciones Lloyd's Register of Shipping.             | 12  |
| II.- Materiales para Construcción de Buques según Especificaciones Lloyd's Register of Shipping | 15  |
| 2.1 Generalidades                                                                               | 15  |
| 2.2 Requisitos Generales para Productos de Acero Laminado .                                     | 16  |
| 2.2.1 Campos de Aplicación .                                                                    | 17  |
| 2.2.2 Aprobación de las Acerías y método de fabricación .                                       | 17  |
| 2.2.3 Prueba e Inspección .                                                                     | 18  |
| 2.2.4 Identificación de Materiales .                                                            | 18  |
| 2.2.5 Documentación .                                                                           | 20  |

|       | Pag.                                                                             |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 2.2.6 | Certificación del Fabricante. 21                                                 |
| 2.2.7 | Facilidades para la Inspección. 22                                               |
| 2.2.8 | Acero obtenido en sitio distinto al de su laminación . 22                        |
| 2.3   | Acero con Pequeña Proporción de Carbono para estructuras del Casco . 23          |
| 2.3.1 | Ausencia de defectos. 23                                                         |
| 2.3.2 | Probeta Tipificada de Tracción. 25                                               |
| 2.3.3 | Alargamientos en pruebas de tracción. 26                                         |
| 2.3.4 | Pruebas de Doblado. 27                                                           |
| 2.3.5 | Pruebas de Resiliencia. 29                                                       |
| 2.3.6 | Número de Pruebas de Tracción, Doblado y Resiliencia . 30                        |
| 2.3.7 | Pruebas adicionales antes del rechazo. 32                                        |
| 2.3.8 | Tratamiento Térmico. 34                                                          |
| 2.4   | Acero de Gran Resistencia a la Tracción para estructuras del casco. 35           |
| 2.4.1 | Aprobación del Acero. 35                                                         |
| 2.4.2 | Manufactura. 37                                                                  |
| 2.4.3 | Composición Química. 37                                                          |
| 2.4.4 | Tratamiento Térmico. 38                                                          |
| 2.4.5 | Número de Pruebas. 38                                                            |
| 2.4.6 | Propiedades Mecánicas. 39                                                        |
| III.- | Análisis Metalúrgico de Factibilidad de Fabricación de Acero Naval Grado "A". 50 |

|         | Pág.                                                                              |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 3.3.3   | Efecto de la temperatura de acabado. 69                                           |
| 3.3.4   | Efecto de la temperatura de bobinado. 70                                          |
| <br>    |                                                                                   |
| IV.-    | Especificaciones de Fabricación y Normas<br>Técnicas de Acero Naval Grado "A". 81 |
| 4.1     | Práctica Standard de fabricación en Acería. 81                                    |
| 4.2     | Práctica standard de Hornos de Calentamiento. 83                                  |
| 4.3     | Práctica standard de Laminación. 87                                               |
| 4.3.1   | Laminación a planchones largos. 87                                                |
| 4.3.2   | Laminación a planchones cortos. 87                                                |
| 4.3.3   | Laminación a bobina. 88                                                           |
| 4.3.4   | Laminación a planchas gruesas . 89                                                |
| 4.4     | Ensayos Mecánicos. 90                                                             |
| 4.4.1   | Ensayo de Tracción. 90                                                            |
| 4.4.2   | Ensayo de Doblado. 90                                                             |
| 4.4.3   | Ensayo de Resiliencia. 90                                                         |
| 4.5     | Especificaciones garantizadas según Catálogo Interno. 90                          |
| 4.5.1   | Composición Química. 90                                                           |
| 4.5.2   | Propiedades Físicas. 91                                                           |
| 4.5.3   | Planchas delgadas laminadas en caliente. 92                                       |
| 4.5.3.1 | Dimensiones de producción normal. 93                                              |

|         | Pág.                                                                               |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 4.5.3.2 | Tolerancias dimensionales. 93                                                      |
| 4.5.3.3 | Falta de aplanado. 94                                                              |
| 4.5.3.4 | Flecha ( curvado ) . 95                                                            |
| 4.5.3.5 | Fuera de escuadra. 95                                                              |
| 4.5.4   | Planchas gruesas laminadas en caliente. 95                                         |
| 4.5.4.1 | Dimensiones de producción normal . 95                                              |
| 4.5.4.2 | Tolerancias dimensionales. 96                                                      |
| 4.5.4.3 | Falta de aplanado. 98                                                              |
| 4.5.4.4 | Flecha ( curvado ). 98                                                             |
| <br>    |                                                                                    |
| V.-     | Optimización en la Fabricación de Bobinas y Planchas Gruesas. 100                  |
| 5.1     | Evaluación de propiedades mecánicas. 100                                           |
| 5.1.1   | Análisis de resultados : bobinas. 101                                              |
| 5.1.2   | Análisis de resultados : planchas gruesas. 101                                     |
| 5.2     | Estandarización de los parámetros influ - yentes en las propiedades mecánicas. 105 |
| 5.2.1   | Bobinas. 106                                                                       |
| 5.2.2   | Planchas Gruesas. 107                                                              |
| 5.3     | Estandarización de la microestructura. 110                                         |
| 5.4     | Análisis del bajo porcentaje de alargamiento. 112                                  |
| 5.4.1   | Efecto de la perlita esferoidizada. 112                                            |
| 5.4.2   | Efecto del bandeamiento. 113                                                       |

|        | Pág. |
|--------|------|
|        | 114  |
| 5.5.1  | 114  |
| 5.5.2  | 115  |
| 5.6    | 117  |
| <br>   |      |
| VI .-  | 127  |
| 6.1    | 127  |
| 6.2    | 130  |
| 6.2.1  | 131  |
| 6.2.2  | 132  |
| 6.2.3  | 132  |
| 6.2.4  | 133  |
| 6.2.5  | 133  |
| 6.2.6  | 136  |
| 6.2.7  | 143  |
| 6.2.8  | 144  |
| 6.2.9  | 144  |
| 6.2.10 | 144  |
| 6.3    | 145  |
| 6.3.1  | 145  |
| 6.3.2  | 146  |
| <br>   |      |
| VII .- | 157  |
|        |      |
|        |      |

## P R O L O G O

El tema presentado tiene por finalidad, dar a conocer el proceso seguido en la fabricación, desde un inicio, de Acero Naval Grado "A" .

Los pasos seguidos y enunciados aquí, sirven igualmente para poder fabricar otros tipos de aceros estructurales parecidos; ya que este acero no se producía en el país.

Se citan las etapas iniciales superadas, hasta la obtención final de los productos acabados. Se citan también, una vez conseguido el acero con óptimas propiedades físicas, los estudios tendientes a mejorar la calidad del acero y asegurar un buen comportamiento en las peores condiciones de los astilleros.

Debo agradecer a la Empresa Siderúrgica del Perú - SIDERPERU - por darme la oportunidad de ser el responsable de esta calidad hasta su aprobación, ante Lloyd's Register of Shipping lo que se logró el 15 de setiembre de 1977, según está fecha do en el certificado que esta sociedad hace ha SIDERPERU, garantizando la calidad de nuestro acero, el cual puede competir en el mercado internacional .

Agradezco igualmente a todo el personal que elabora este producto, sin cuyos aportes habría sido imposible haber logrado tal distinción, que es precisamente un justo premio al esfuerzo y dedicación en sus obras.

Así mismo, debo agradecer a mis profesores del Departamento de Metalurgia de la Universidad Nacional de Ingeniería por todas las enseñanzas y consejos que supieron impartir durante mi permanencia por dicho Centro de Estudios e Investigación.

Julio Lino Bernal

Lima , Mayo 1979 , Perú .



## CAPITULO I

### GENERALIDADES

#### 1.1 Vista Panorámica a Nivel Nacional .

La Empresa Siderúrgica del Perú ( SIDERPERU ), durante el año 1974 llegó a producir la cifra record de 300,000 toneladas de acero líquido; sus principales productos eran, en orden de mayor volumen de producción los siguientes : acero de construcción, acero comercial y aceros estructurales; dentro de éstos últimos estaban fabricándose las calidades de códigos internos : 16C para tanques de almacenaje , 40A acero para herramientas ( SAE 1040 ) y 45A también acero para herramientas ( SAE 1045 ), todos dentro de la producción de productos planos. La primera calidad es de grado de desoxidación semicalmado, siendo los dos últimos calmados .

Dentro de los productos No - Planos se fabrican principalmente : acero para alambón de grado de desoxidación efervescente, acero para perfiles comerciales, semicalmado, y barra de construcción grado 40 de grado de desoxidación calmado .

El acero naval no se fabricaba y los datos oficiales - diario "EL PERUANO" 1974 - arrojaban las siguientes cifras de importación de acero naval grado "A" .

TONELAJE DE ACERO NAVAL GRADO "A"

| ITEM | RAZON SOCIAL           | T.M    |
|------|------------------------|--------|
| 1    | SELVAMEC               | 3,920  |
| 2    | ASTILLEROS CALLAO      | 2,500  |
| 3    | PICSA                  | 2,500  |
| 4    | PESCA PERU             | 300    |
| 5    | ASTILLEROS J. LABARTHE | 1,110  |
| 6    | MECA SERVICE           | 300    |
| 7    | METAL EMPRESA          | 10,400 |
| 8    | TRADECO                | 1,020  |
| 9    | INTERMAR               | 2,035  |
| 10   | ASTILLEROS GUIAR       | 5,860  |
| 11   | SIMA                   | 1,718  |
| 12   | FABRIMET               | 2,689  |
| 13   | INVERSIONES NAVALES    | 7,357  |
| 14   | SOTOSA                 | 565    |
| 15   | TENNECO                | 13     |
|      |                        | -----  |
|      | TOTAL                  | 42,227 |

Teniendo en cuenta el rendimiento máximo de lingote a plancha de 75% - es decir 25% de chatarra en los procesos intermedios - se necesita como mínimo 56,303 T.M de acero líquido para producir 42,227 T.M. como producto acaba-

do.

Este tonelaje de acero líquido que viene a corresponder a cerca del 20% de la producción actual - nos obligó a realizar los estudios de orden técnico para su producción oficial.

### 1.1.1. Dimensiones Nominales Requeridas.

Los datos de importancia arrojan los siguientes valores :

#### Espesores (m m)

|   |    |    |     |
|---|----|----|-----|
| 3 | 10 | 18 | 38  |
| 5 | 11 | 19 | 44  |
| 6 | 12 | 22 | 51  |
| 7 | 13 | 25 | 64  |
| 8 | 15 | 28 | 76  |
| 9 | 16 | 32 | 102 |

#### Anchos (m m)

|       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|
| 1,100 | 1,700 | 1,900 | 2,438 |
| 1,219 | 1,800 | 2,000 | 3,048 |
| 1,524 | 1,828 | 2,134 | 3,948 |

## Largos ( III )

|       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|
| 2,438 | 4,267 | 6,500 | 9,144 |
| 3,048 | 5,000 | 6,705 | 9,146 |
| 3,657 | 6,000 | 7,315 | 9,400 |
| 4,100 | 6,096 | 8,000 |       |

Las dimensiones nominales de las planchas se observan en el Cuadro N° 1 .

Del Cuadro N° 1 se observa que solo 39 T.M. son mayores de 51 mm de espesor, lo cual representa el 0.09% del total. Otro dato importante de este cuadro es que el 87,38% del total requerido corresponde a espesores menores a 11 mm . Se toman éstas observaciones desde el punto de vista práctico de producción de la planta, la experiencia nos ha mostrado -como se verá mas adelante- que para una misma calidad de producción de acero es muy importante ver la factibilidad de producción respecto a los espesores .

### 1.2 Tecnología de Faricación a nivel Mundial .

Son los países más industrializados del mundo los mayores productores de acero naval .

Desde 1956 la industria japonesa de la construcción naval se ha constituido en el mayor constructor del mundo ; es de resaltar el importante papel que ha desempeñado la industria del acero suministrando productos de óptima calidad a precios convenientes, ya que el acero representa cerca del 30% del costo total de construcción de barcos. Esta industria consume más del 30% de la producción de chapas de acero de la industria siderúrgica .

Las chapas a su vez representan el 20% de la producción japonesa anual de acero líquido, que llega a unos 120 millones de toneladas métricas, ocupando el mayor porcentaje en la producción mundial .La Nippon Steel participa con el 36% de la producción total japonesa de chapas de su fábrica Kimitsu con una producción mensual record de 240,000 toneladas .

#### 1.2.1 Materiales para Grandes Barcos .

El desarrollo de sistemas de construcción y el progreso de las técnicas de soldadura han hecho posible la construcción de barcos cisternas "Jumbo" de gran eficiencia. El acero de óptima calidad también ha desempeñado un rol

importantísimo .

Actualmente se usan grandes barcos de 4.5 m de ancho, 25m de largo y 25 tons de peso, las cuales satisfacen los más estrictos requerimientos sobre formas y dimensiones . El espesor máximo para las chapas del casco se estima en 35 mm para las cisternas de un millón de toneladas. Además, las chapas de acero que tienen diferente espesor longitudinal ( en varias partes de su largo ) y las chapas biseladas se producen para responder a la demanda de chapas de forma especial, se usan generalmente en los mámparos para reducir el peso de la embarcación y el número de horas/hombre en soldadura .

#### 1.2.2 Acero de Gran Resistencia .

El espesor de las chapas para cascos puede reducirse usando acero de gran resistencia que reducen el peso de los cascos y los costos de producción .

El uso de acero de gran resistencia está determinado por la evaluación general de la forma del casco, elementos de diseño y ventaja económica. Con el reciente aumento en

el tamaño de las embarcaciones, el acero de gran resistencia está siendo usado en gran cantidad alrededor del puente, la carena y en sus áreas adyacentes .

Los elementos que actualmente se utilizan como microaleantes en la elaboración de acero de gran resistencia son titanio, vanadio y niobio .

### 1.2.3 Soldabilidad de Planchas Navales .

En Japón el acero con un límite aparente de elasticidad de  $32 \text{ Kg/mm}^2$  es ampliamente utilizado por su soldabilidad .

Los problemas en el uso de acero de gran resistencia en la construcción de cascos son la aplicación de soldadura de gran eficiencia con elevado gasto calorífico, prevención de la fisuración de la soldadura y el asegurar la tenacidad en las uniones soldadas .

Los últimos progresos en la técnica de soldadura han sido significativos . Muchos procesos de soldadura automática de gran eficiencia, tales como la soldadura electro-oxia-

cetilena, el soldeo con escoria eléctricamente conductora y soldadura de arco sumergido unilateral con electrodos múltiples, han sido desarrollados.

Se están haciendo estudios sobre el mejoramiento de la tenacidad de las uniones de aceros de gran resistencia soldadas con gran gasto calorífico y en las características de las roturas. Por ahora se evita la formación de granos ásperos de cristal en la zona termoafectada mediante la precipitación de nitruro de aluminio fino en el acero que se usa, lo que dá resultados óptimos, pues permite lograr, en la parte afectada por el calor, una estructura ferrita perlítica muy fina.

De ahí que este acero tenga una excelente tenacidad a la entalla.

Uno de los problemas relacionados con la fisuración de la soldadura es la fisura del borde de los ángulos internos que se produce en la soldadura ortogonal de las vigas longitudinales de la cubierta.

Para las partes en que las condiciones de soldadura tales



como el gasto calorífico, restricciones de trabajo y la forma del cordón, no son favorables, resulta eficiente el uso de un tipo de electrodo muy bajo en hidrógeno o el precalentamiento de las chapas. Además se están tomando otras medidas para disminuir la endurecibilidad de las chapas .

Un ejemplo típico de estas medidas es el uso de aceros en el cual el carbono equivalente se ha reducido considerablemente y la merma en su resistencia se ha compensado con el tratamiento en frío. La soldabilidad de este acero es considerada mayor a la del acero bajo en carbono, su nombre comercial es "Crack Free Steel" que resalta sus características libres de fisura al soldarse. La composición química de este acero es 0.06% C, 1.3% Mn, 0.03% V.

#### 1.2.4 Prevención de la Corrosión

Durante las inspecciones realizadas en los barcos en servicio se han constatado casos de expansión de corrosión anormal en los elementos estructurales de los tanques de lastre .

Esta corrosión varía de acuerdo con el tamaño del tanque, las condiciones del servicio y las condiciones ambientales. Es especialmente severa en la zona interior superior del recipiente. Además, en esta parte de los barcos la protección catódica no es tan efectiva y en casos extremos, la corrosión da lugar al inicio de fisuras. En vista de lo cual se realizan estudios para encontrar métodos de prevención.

El medio más efectivo para evitarla es la pintura de gran calidad, desgraciadamente su costo se ha elevado considerablemente.

Para los productos de acero que son menos corroídos por el agua de mar, hay ahora en el mercado un acero soldable redistente a la corrosión. Este acero contiene cromo como un elemento aleatorio para reforzar su resistencia y es desarrollado por la industria siderúrgica japonesa. Sin embargo, su aplicación comercial a la construcción naval es todavía cosa del futuro.

### 1.3 Sociedades Clasificadoras .

Estas sociedades son entidades particulares cuya finalidad es obtener una clasificación completa del comercio y transporte marítimo, para uso de los propietarios de barcos, comerciantes y aseguradores. Efectúan, por consiguiente una serie de actividades que los podemos agrupar :

a) Aprobación de diseños, investigaciones e informes en lo que se refiere a :

barcos mercantes o no, yates y embarcaciones pequeñas, estructuras, plantas, instalaciones anfibia, marítimas, terrestres. o ancladas; etc. maquinaria, aparatos, materiales componentes, equipo, métodos y procesos de producción con la finalidad de verificar su conformidad con diseños, especificaciones, reglas códigos de práctica, etc, o su ajuste a requerimientos particulares .

b) Otras inspecciones técnicas y servicios de auditoría referentes a barcos y a la industria marítima en general y también con respecto a agentes marítimos .

Los barcos construídos de acero con los Reglamentos y Reglas de la Sociedad, reciben una designación en un Libro

de Refistros. Continuarán siendo clasificadas si después del examen manual prescrito u otras inspecciones periódicas, se mantienen en condiciones apropiadas y eficientes de acuerdo a los requerimientos de las reglas .

Entre las principales Sociedades Clasificadoras tenemos :

Lloyd's Register of Shipping .

American Bureau of Shipping .

Bureau Veritas .

Germanischer Lloyd's .

1.4 Fabricación de Acero Naval según especificaciones Lloyd's Register of Shipping .

En la construcción de buques, reparaciones, diseños , etc, en los diversos astilleros del país, es la Sociedad Lloyd's Register of Shipping la que supervisa y clasifica estos trabajos según su "Reglamento para la Construcción y Clasificación de aceros para Buques ".

Fué entonces que desde un inicio nuestro objetivo fue desarrollar una serie de pruebas con el fin de conseguir "Prácticas Standars" adecuadas para las áreas de acería, laminación y pruebas e inspección para luego iniciar las gestiones de aprobación de la Planta Siderúrgica de Chimbote por Lloyd's Register of Shipping" .

CUADRO N° 1

TONELAJE DE PLANCHAS NAVALES GRADO "A"

| %    | (mm)  |       | E S P E S O R (mm) |      |      |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |    |    |        |
|------|-------|-------|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|--------|
|      | ANCHO | LARGO | 3                  | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12  | 13  | 16  | 19  | 25  | 32  | 38 | 44 | 51/102 |
| 7.32 | 1524  | 6096  | 30                 | 291  | 1702 |      |      |      | 231  |      |     | 495 |     | 90  | 130 | 30  | 30 | 30 | 30     |
| 9.41 | 1828  | 3657  | 400                | 700  | 900  |      | 1400 |      | 300  |      |     | 100 | 20  | 50  | 103 |     |    |    |        |
| 4.63 | 1800  | 6000  | 100                | 1200 | 800  | 2000 | 1000 | 1000 | 2000 | 1000 | 800 |     | 100 | 100 | 200 | 100 |    |    |        |
| 8.03 | 1828  | 6096  | 1391               | 1300 | 4560 |      | 2750 |      | 2385 | 200  |     | 100 | 100 |     | 50  |     |    |    |        |
| 0.71 | 2000  | 8000  |                    |      | 100  |      | 100  |      | 100  |      |     |     |     |     |     |     |    |    |        |
| 0.14 | 2134  | 6096  | 61                 |      |      |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |    |    |        |
| 5.08 | 2438  | 6096  | 389                | 439  | 350  |      | 885  |      |      |      |     |     | 37  | 44  |     |     |    |    |        |
| 0.10 | 1219  | 2438  | 1                  | 1    | 1    |      |      |      | 1    |      |     | 2   |     | 30  | 2   |     |    |    | 4      |
| 5.28 | 1828  | 9144  | 45                 | 778  | 1608 |      | 2571 |      | 1050 |      |     | 300 |     | 100 |     |     |    |    |        |
| 0.72 | 1524  | 3048  |                    |      |      |      |      |      |      | 40   |     | 20  |     | 25  | 80  | 20  | 45 |    | 75     |
| 0.24 | 1219  | 4267  | 100                |      |      |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |    |    |        |
| 0.31 | 2438  | 9144  |                    | 133  |      |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |    |    |        |
| 3.46 | 3948  | 9146  |                    |      | 278  |      | 330  |      | 377  | 122  |     | 167 | 87  | 71  | 33  |     | 8  |    |        |
| 0.12 | 3048  | 3048  |                    |      |      |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |    |    | 49     |
| 3.22 | 2438  | 7315  |                    |      | 711  |      | 445  |      | 133  |      |     | 72  |     |     |     |     |    |    |        |
| 0.60 | 1828  | 7315  |                    |      | 250  |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |    |    |        |
| 0.47 | 1524  | 6705  | 200                |      |      |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |    |    |        |
| 0.02 | 1900  | 6500  |                    |      |      |      |      |      | 10   |      |     |     |     |     |     |     |    |    |        |
| 0.03 | 1700  | 4100  |                    |      |      |      |      |      | 12   |      |     |     |     |     |     |     |    |    |        |
| 0.07 | 1800  | 9400  |                    |      |      |      |      |      |      |      |     | 26  |     |     |     |     |    |    |        |
| 0.03 | 1100  | 5000  |                    |      |      |      |      |      |      |      |     |     |     |     | 11  |     |    |    |        |

|      |       |       |      |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|-------|-------|------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 2717 | 4842  | 11260 | 2000 | 9481  | 1000 | 5599  | 1362 | 800  | 982  | 644  | 410  | 709  | 150  | 83   | 30   | 158  |
| 6.43 | 11.47 | 26.66 | 4.74 | 22.45 | 2.37 | 13.26 | 3.22 | 1.90 | 2.33 | 1.53 | 0.97 | 1.67 | 0.36 | 0.20 | 0.07 | 0.37 |

## CAPITULO II

### MATERIALES PARA CONSTRUCCION DE BUQUES SEGUN ESPECIFICACIONES LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING.

#### 2.1. Generalidades.

Los materiales empleados en la construcción y para el equipo de buques deben fabricarse y probarse de acuerdo con los requisitos indicados en las siguientes secciones:

Sección 1. Requisitos generales para productos de acero laminado.

Sección 2. Acero de pequeña proporción de carbono para estructuras del casco.

Sección 3. Acero de gran resistencia a la tracción para estructuras del casco.

Sección 4. Redondos de acero para remaches y remaches ya fabricados.

Sección 5. Piezas de acero moldeado.

Sección 6. Piezas de acero forjado.

Sección 7. Anclas de acero.

Sección 8. Cadenas de anclas y cadenas de guardines.

Sección 9. Cables de alambre de acero para jarcia firme estachas de remolque y estachas de amarre.

Sección 10. Estachas de fibra.

Sección 11. Aprobación de electrodos y combinaciones varilla - fundente para soldeo en la construcción del casco

Sección 12. Chapas, barras y perfiles laminados de aleación de aluminio.

Sección 13. Redondos de aleación de aluminio para remaches y remaches ya fabricados.

Sección 14. Soldero de aleaciones de aluminio.

Trataremos acerca de las tres primeras secciones que son de intererés para el desarrollo del tema tratado.

2.2. Requisitos Generales para Productos de Acero Laminado.



### 2.2.1. Campos de Aplicación.

Esta sección indica los requisitos generales para chapas, perfiles laminados, barras, tubos y otras estructuras huecas de acero, empleadas en la construcción del casco.

### 2.2.2. Aprobación de las acerías y método de fabricación.

El acero debe estar fabricado por los procesos Martin - Siemens, horno eléctrico o al oxígeno o por otros procedimientos aprobados por el comité. La práctica empleada en la fabricación del acero debe ser tal que minimice el contenido no metálico incluido del acero terminado. Mas adelante se indican los requisitos específicos para las prácticas aceptables de desoxidación.

El acero debe colarse en lingoteras metálicas o por un proceso aprobado de colada continua. El tamaño del lingote, de los tochos ó desbastes planos colados en proceso continuo debe ser proporcional a las dimensiones del producto final a fin de que la cantidad de trabajo mecánico sea la adecuada para conseguir una estructura aceptable del acero en el producto terminado. También se proveerá lo conveniente para quitar la suficiente mazarota de la cabeza y pie del lingote para asegurarse de la sanidad de

la porción destinada a nuevos procesos. Periódicamente y a discreción del Inspector, se podrá requerir pruebas de segregación de azufre u otras pruebas para demostrar que esto se ha conseguido.

### 2.2.3 Prueba e Inspección .

Las pruebas e inspecciones prescritas se harán en el lugar de fabricación, antes de la expedición del material ; pero si cualquier material no resultara satisfactorio durante su elaboración ó prefabricación, será rechazado, no obstante una certificación anterior, y el Inspector podrá exigir pruebas adicionales de otros materiales de la misma remesa. Todas las probetas serán seleccionadas y selladas por el Inspector o por un delegado autorizado, y probadas en su presencia .

La inspección de las superficies y verificación de dimensiones son de la responsabilidad del fabricante del acero y la aceptación por el Inspector, de material que más tarde se encuentre defectuoso no absolverá al fabricante del acero de esta responsabilidad .

### 2.2.4 Identificación de Materiales .

El fabricante del acero debe adoptar un sistema de identificación de lingotes, desbastes planos y piezas acabadas que permita saber la colada de origen del material y se darán todas las facilidades a los Inspectores para averiguarlo cuando sea preciso .

Cada pieza terminada será marcada con claridad por los fabricantes por lo menos en un sitio con la marca de la Sociedad y los datos siguientes :

- I) Marca de Identificación convenida para el tipo de acero .
- II) Nombre o iniciales de la acería .
- III) Número y/o iniciales para identificar la colada .
- IV) Marca de identificación del cliente, si éste lo desea .

Cuando se trate de lotes o paquetes atados de material liviano, el fabricante, con la aprobación del Inspector , puede marcar una pieza exterior de cada paquete o, como variante, atar fuertemente a cada paquete un marbete duradero con las marcas .

En el caso de que cualquier material que lleve la marca de la Sociedad no cumpliera las pruebas prescritas, tal

marca será claramente inutilizada.

Las marcas distintivas serán pintadas claramente con colores como sigue :

Acero Tipo A.....Blanco  
Acero Tipo B.....Verde  
Acero Tipo C.....Azul  
Acero Tipo D.....Rojo  
Acero Tipo E.....Amarillo.

#### 2.2.5. Documentación.

Se proveerá al Inspector de dos copias, por lo menos, de cada lista de laminación o lista de embarque de todo el material aceptado, los cuales deben ser separados para cada tipo de acero. Estos documentos indicarán, además de la descripción, dimensiones, etc, del material, los datos siguientes :

Marcas de identificación del cliente,  
Identificación de la colada,  
Identificación de la acería,  
Identificación del grado de acero,  
Análisis de cuchara el que incluirá por lo menos C, Mn

Si, S, P .

- Si el material es de acero efervescente , esto debe ser indicado ,

- Para acero de gran resistencia a la tracción, el límite elástico mínimo especificado y la variación específica de la carga de rotura a la tracción, deben indicarse juntamente con el valor del carbono equivalente real .

#### 2.2.6 Certificación del Fabricante .

Antes de que sean firmadas por el Inspector las listas de laminación o listas de embarque, el fabricante le facilitará un certificado, manifestando que el material ha sido fabricado por un proceso aprobado y que ha sido sometido satisfactoriamente a las pruebas prescritas en presencia del Inspector o de su delegado autorizado. Se aceptará la siguiente forma de certificado, si está impreso sobre cada lista de laminación, con el nombre de la acería y rubricado por un empleado autorizado :

" Certificamos que el material reseñado a continuación ha sido fabricado por el procedimiento...(se indicará el proceso empleado) de acuerdo con las Reglas de Lloyd's Register of

Shipping, para acero de grado... y ha sido aprobado en presencia del representante de la Sociedad, con resultado satisfactorio" .

#### 2.2.7. Facilidades para la Inspección.

Los fabricantes darán a los Inspectores todas las facilidades y acceso a las partes pertinentes de la fábrica, para que puedan verificar que se cumple el proceso aprobado presenciar la selección y pruebas según está prescrito en las reglas y para la calibración de las máquinas de probar materiales.

#### 2.2.8. Acero obtenido en sitio distinto al de su laminación.

Cuando el acero proceda de distinta fábrica de la que lo lamina se entregará al Inspector en los talleres de laminación, un certificado donde se especifique el proceso por el cual ha sido fabricado, nombre del fabricante suministrador, número de colada correspondiente y análisis de cuchara. La fábrica de donde procede el acero debe estar aprobada por el comité.

#### 2.3. Acero con Pequeña Proporción de Carbono para Es-

estructuras del Casco.

Los requisitos expuestos a continuación son principalmente aplicables a aceros con espesor que no exceda de 50 milímetros. Para espesores mayores pueden permitirse o requerirse ciertas variantes en los requisitos en casos particulares, después de considerar las circunstancias técnicas del caso. Los métodos de desoxidación, composición química, y ensayos mecánicos están dados en la tabla Nº 2.1 .

### 2.3.1. Ausencia de Defectos.

a) La tolerancia en menos en el espesor de chapas y perfiles laminados, en relación con los espesores que figuran en los planos aprobados no debe exceder de lo siguiente :

| Espesor nominal "e" en mm   | Tolerancia en menos en mm |
|-----------------------------|---------------------------|
| Sin exceder de 15           | 0.4                       |
| Más de 15 sin exceder de 45 | (0.02 e + 0.1)            |
| Más de 45                   | 1                         |

El espesor de las chapas debe medirse en posiciones que estén aproximadamente a 40 milímetros de un canto y 100 milí

metros de una esquina .

b) El acero debe estar razonablemente exento de segregaciones, defectos en la superficie y de inclusiones no metálicas. El material terminado estará exento de grietas y exfoliaciones. Además debe tener buen acabado y sin haber sido retocado con martillo.

c) Los defectos en la superficie pueden ser eliminados con muela abrasiva, siempre que el espesor no sea reducido en ningún sitio a menos de 0.93 del espesor nominal, pero en ningún caso no más de 3 milímetros. La extensión de tales reparaciones se hará en cada caso de acuerdo con los Inspectores, y las reparaciones efectuadas bajo su supervisión, si no se acuerda otra cosa .

d) Los defectos en la superficie que no puedan ser tratados como se indicó anteriormente, pueden ser reparados escarpándolos o eliminándolos con muela abrasiva seguido de recrecimiento con soldadura, con el consentimiento del Inspector y bajo su supervisión, y siempre que :

después de eliminar el defecto y antes de recrecer con soldadura, el espesor del producto laminado no esté reducido más del 20 por ciento en ningún sitio ;

que la soldadura sea efectuada por un procedimiento a-



probado, por soldadores competentes, con electrodos aprobados, y que la soldadura sea amolada al espesor nominal inicial; y

que después del amolado final puede ser requerido que la pieza sea normalizada o bien termotratada a discreción del Inspector. Se requerirá siempre volver a normalizar si la pieza ha sido normalizada antes de la reparación .

### 2.3.2 Probeta Tipificada de Tracción .

Esta probeta tendrá sección transversal rectangular, con un espesor igual al del material del que se ha cortado y una anchura de 25 milímetros, con una longitud entre puntos de 200 milímetros. La longitud paralela no será menor de 230 milímetros. Los extremos de la probeta pueden incrementarse en anchura para su adaptación a las mordazas de la máquina y la transición entre las dos anchuras se hará con una curva gradual. Las probetas deben cortarse con sus largos perpendicular a la dirección principal del laminado, excepto en el caso de perfiles y llantas estrechas hasta 610 milímetros inclusive de ancho .

Se podrán emplear probetas rectangulares de tracción de otras dimensiones o de forma cilíndrica, siempre que los alargamientos cumplan con lo mencionado en la sección

2.3.3 siguiente, y que el área de la sección transversal no sea menor de 161 milímetros .

2.3.3 Alargamientos en Pruebas de Tracción .

a) Los alargamientos mínimos requeridos, A , se indican en la tabla N° 2.1 . Estos alargamientos están basados en probetas cuya longitud entre puntos sea igual a 5.65 veces la raíz cuadrada del área de la sección transversal, ó 5 veces el diámetro .

b) Para probetas con una longitud entre puntos que tengan otra relación con el área de la sección, los alargamientos equivalentes se calcularán por la fórmula siguiente :

$$A = \frac{n}{2} \left( L_0 / \sqrt{S_0} \right)^{0.4}$$

siendo :

n = porcentaje medido del alargamiento real de la probeta;

S<sub>0</sub> = área de la sección transversal real de la probeta ;

L<sub>0</sub> = longitud real entre puntos de la probeta ;

A = porcentaje equivalente del alargamiento para una probeta con longitud entre puntos  $5.65 \sqrt{S_0}$

$S_0$  y  $L_0$  pueden expresarse en cualquier sistema de unidades coherentes .

c) Para la probeta normal de tracción ( según sección 2.3.2), los porcentajes de alargamiento mínimo no deben ser menores de :

| Espesor             | Alargamiento mínimo |
|---------------------|---------------------|
| 6 milímetros        | 0.68 A              |
| 30 milímetros y más | 0.95 A              |

Siendo A el porcentaje especificado de alargamiento mínimo para una probeta con longitud entre puntos igual a  $5.65 \sqrt{S_0}$ . Los alargamientos entre 6 y 30 milímetros se obtendrán por interpolación lineal .

#### 2.3.4 Pruebas de Doblado .

La prueba de doblado consistirá en doblar una tira o barra redonda del material hasta quedar los extremos paralelos

entre sí, con una separación que no exceda de tres veces el espesor de la tira ó diámetro del redondo.

Las tiras tendrán una anchura por lo menos igual al espesor, pero con un mínimo de 25 milímetros y un espesor no menor que el del material en prueba, reteniendo ambas originales de laminación. Los cantos vivos de las tiras pueden limarse o maquinarse a un radio que no exceda de 0.1 del espesor de la tira.

Cuando la capacidad de la máquina de prueba es insuficiente para doblar una probeta con todo su espesor, podrá reducirse este espesor por maquinado de una cara de la tira, siempre que el espesor final no sea menor de 25 milímetros o en el caso de un redondo éste puede tornearse a un mínimo de 25 milímetros de diámetro. Las tiras con el espesor reducido serán dobladas en forma que la cara original de laminación quede en tensión.

Las tiras serán cortadas con sus largos perpendiculares a la dirección principal del laminado, excepto en el caso de perfiles laminados y llantas estrechas hasta 610 milímetros inclusive de ancho. El doblado se puede efectuar por presión o percusión.

La prueba de doblado se considerará satisfactoria si no aparecen grietas o exfoliaciones .

### 2.3.5 Pruebas de Resiliencia .

Las probetas para pruebas de resiliencia serán del tipo Charpy con entalla en V, maquinadas a las dimensiones y tolerancias indicadas en la tabla N° 2.2

Se usarán probetas normales cuadradas con lados de 10 milímetros, salvo cuando el espesor del material no permita preparar la probeta con estas dimensiones. En tales casos se preparará la probeta auxiliar rectangular de la dimensiones mayores posibles, con la escotadura cortada en el lado estrecho. Las probetas se cortarán con sus ejes longitudinales paralelos a la dirección de laminación final del material. La entalla se cortará en una cara de la probeta que originalmente era perpendicular a la superficie laminada.

La posición de la entalla estará a una distancia no menor de 25 milímetros de un canto cortado con soplete o cizalla

En el caso de perfiles laminados, las probetas se cortarán en la parte más gruesa .

Las pruebas se efectuarán con las probetas a una temperatura cuidadosamente controlada a  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  de la temperatura prescrita, en una máquina Charpy para pruebas de resiliencia de tipo aprobado, instalada de una manera aprobada, con una abertura de 40 milímetros, una velocidad de choque entre 4.5 y 6 metros/segundo y una energía de choque de no menos de 147 J (15 kilográmetros). El ángulo del borde de choque del péndulo será de  $30^{\circ} \pm 1^{\circ}$  con el canto redondeado a un radio que no exceda de 2.5 milímetros.

#### 2.3.6 Número de Pruebas de Tracción, Doblado y Resiliencia .

##### a) Número de pruebas de tracción .

Por cada partida presentada se hará una prueba de tracción de una pieza matriz laminada de cada colada, si el peso del material terminado no excede de 40 toneladas. Si excede de este peso se hará una prueba más por cada 40 toneladas o fracción de exceso. Se harán también pruebas adicionales para cada variación de 5 milímetros en los espesores de las piezas matrices de la misma colada .

##### b) Número de Pruebas de Doblado .

Se preparará una probeta para prueba de doblado del material adyacente a cada probeta de prueba de tracción .

c) Número de pruebas de resiliencia .(si son requeridas)

Si no se especifica lo contrario para un tipo particular de acero, se seleccionará por lo menos una pieza para pruebas de resiliencia, del lote de mayor espesor de cada colada, a no ser que el peso del material laminado terminado de cada colada exceda de 40 toneladas, en cuyo caso se hará una prueba mas de una pieza diferente por cada 40 toneladas o fracción, siempre que se hallan empleado los mismos procesos de fabricación .

Cuando existen chapas de diferentes anchuras en lotes del mismo espesor, se preferirá para las pruebas la chapa más ancha

De cada pieza así seleccionada se efectuarán tres pruebas de resiliencia, de acuerdo con la sección 2.3.5. La media aritmética de los valores obtenidos de esta prueba cumplirá con los requisitos. Sin embargo si la media obtenida es inferior a un 15 por ciento del valor requerido, pueden hacerse pruebas en tres nuevas probetas adicionales sacadas de la misma pieza y sumar los resultados a los obteni

dos anteriormente para hallar una nueva media que debe cumplir con los requisitos.

Se entenderá que el término pieza, significa la pieza matriz original laminada procedente de un solo desbaste plano o de un solo lingote, si éste se lamina directamente en chapas, barras (redondos, cuadrados, hexagonales) o perfiles laminados. El término " pieza individual " significa cualquier chapa, barra o perfil laminado individual tal como se entrega. El término " probeta ", significa la muestra del material que se está probando.

#### 2.3.7. Pruebas adicionales antes del rechazo.

a) Cuando las pruebas de tracción o doblado en la primera pieza seleccionada, no cumplen los requisitos, se pueden efectuar en la misma pieza dos pruebas adicionales de la misma clase. Si ambas pruebas adicionales son satisfactorias, la pieza y demás piezas de la misma colada pueden ser aceptadas.

b) Si las pruebas adicionales referidas en a) no resultan satisfactorias, la pieza será rechazada, pero las piezas restantes de la misma colada pueden ser aceptadas siempre que dos de éstas piezas, seleccionadas de la misma manera,



sean probadas con resultados satisfactorios .

c) Si las pruebas de resiliencia, efectuadas, de acuerdo a reglas, sobre la misma pieza seleccionada no cumplen los requisitos, la pieza será rechazada, pero las piezas restantes de la misma colada pueden ser aceptadas siempre que dos de éstas piezas , seleccionadas de la misma manera , sean probadas con resultados satisfactorios .

d) Si alguna probeta falla por preparación defectuosa o (en el caso de probetas de tracción) se fractura fuera de la mitad central de la longitud entre puntos, la probeta defectuosa puede ser descartada a discreción del Inspector y sustituida por otra probeta de la misma pieza.

e) A opción de los fabricantes del acero, el material rechazado puede ser sometido de nuevo a aprobación, después de termotratado o termotratado de nuevo, o puede ser sometido de nuevo a aprobación como otro tipo de acero y puede entonces ser aceptado siempre que las pruebas requeridas sean satisfactorias.

Las muestras tomadas del material laminado para la preparación de las probetas deben ser cortadas del extremo de la pieza correspondiente a la cabeza del lingote, excepto en

casos especialmente acordados.

### 2.3.8. Tratamiento Térmico.

Todos los materiales deben ser suministrados en las condiciones que estén de acuerdo con lo siguiente:

#### TRATAMIENTO TERMICO

| Grado y espesor                  | Condición de suministro                             |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------|
| A. Todos los espesores           | Laminado, normalizado ó Lamina-<br>ción controlada. |
| B. Todos los espesores           | Laminado, normalizado ó Lamina-<br>ción controlada. |
| D. Espesor no mayor de<br>35 mm. | Laminado, normalizado ó Lamina-<br>ción controlada. |
| E. Todos los espesores           | Normalizado.                                        |

Nota.- Los aceros de grado D y E pueden ser suministrados al estado laminado, si se proveen con resultados satisfactorios de ensayos de resiliencia.

El tamaño de grano austenítico, cuando sea requerido, se determinará por el método de Mc Quaid - Ehn, de muestras

representativas de cada cuchara de cada colada. Los números del tamaño del grano indicados se refieren a los de la escala ASTM, descritos en ASTM E 112 - 63T, ó cualquier especificación posterior del ASTM que la reemplace.

#### 2.4. Acero de gran resistencia a la tracción para estructuras del casco.

Chapas, perfiles, barras, tubos y otras secciones huecas de aceros de gran resistencia, por ejemplo, con un límite elástico especificado mínimo de  $265 \text{ N/mm}^2$  ó más, los cuales son designados para uso en estructuras del casco, deben estar fabricados y ensayados de acuerdo con los requerimientos de esta sección y los requerimientos generales especificados en las secciones 2.2 y 2.3 .

Los aceros que difieren con los requerimientos de esta sección respecto a composición química, práctica de desoxidación, tratamiento térmico o propiedades mecánicas, pueden ser aceptados sujetos a especiales aprobaciones por el Comité. Tales aceros tendrán designaciones especiales.

##### 2.4.1. Aprobación del acero.

Se someterán a aprobación detalles completos del método de

fabricación, incluyendo la composición química, termotratamiento y propiedades mecánicas . Si se considera necesario se harán pruebas sobre muestras de acero elaborado según la especificación propuesta .

El acero deberá poder ser fabricado y soldado en las condiciones de trabajo del astillero. Si el carbono equivalente calculado del análisis de cuchara y empleando la fórmula indicada a continuación, es mayor de 0.45% , se usarán precalentamiento y electrodos aprobados de gran resistencia a la tracción y con porcentaje bajo de hidrógeno.

Si el contenido de carbono equivalente es menor a 0.45 %, se usarán electrodos aprobados de gran resistencia a la tracción y con porcentaje bajo en hidrógeno; pero en general no se requerirá precalentamiento salvo en condiciones de gran retracción o temperatura ambiente baja. Si el carbono equivalente no es mayor de 0.41 % podrá emplearse cualquier tipo de electrodos aprobados de gran resistencia a la tracción y en general, no se requerirá el precalentamiento, salvo como se indicó anteriormente :

Carbono Equivalente : C. E .

C. E .            C + Mn/6 + ( Cr + Mo + V )/5 + ( Ni + Cu)/15 .

Esta fórmula solo es aplicable a aceros que son básicamente del tipo carbono - manganeso conteniendo pequeñas cantidades de elementos para refinar el grano; por ejemplo, nio bio, vanadio o aluminio, y se considerará especialmente la propuesta para emplear aceros de baja aleación .

#### 2.4.2 Manufactura

Los aceros de grado AH y DH pueden ser manufacturados, a opción del fabricante, de grado de desoxidación semi-cal mado o calmado con aluminio, pero en ningún caso eferves - cente .

El acero de grado EH es de grado de desoxidación calmado con silicio .

#### 2.4.3 Composición Química .

a) La composición química de todos los grados de acero de ben cumplir con todos los requerimientos de la Tabla Nº 2.3 .

b) Para asegurar una soldabilidad satisfactoria en las condiciones de trabajo del astillero, el carbono equivalen te máximo debe ser acordado entre el constructor de buques

y el fabricante del acero cuando el acero es pedido. El máximo especificado por Lloyd's está indicado en la sección 2.4.1

#### 2.4.4 Tratamiento Térmico .

Todos los materiales que son suministrados deben cumplir con los requerimientos dados en la Tabla N° 2.4 .

Donde son permitidas condiciones alternativas, éstas quedan a opción del fabricante a menos que quede especificado en la orden del material .

#### 2.4.5 Número de Pruebas .

El número de pruebas requeridas no será menor que :

Para aceros de grado AH y DH, se harán una prueba de tracción, una prueba de doblado y un grupo de tres pruebas Charpy con entalla en V, de una pieza matriz laminada de cada colada, salvo que el peso del material sea mayor de 40 toneladas, en cuyo caso se hará un conjunto extra de todas las pruebas por cada 40 toneladas o fracción de exceso. Se harán pruebas adicionales para cada variación de 5 milímetros en los espesores de las piezas de la misma cola

da.

Para el acero de grado EH, se harán una prueba de tracción y una prueba de doblado, como anteriormente y, además, se hará un conjunto de tres pruebas Charpy con entalla en V para cada pieza matriz, siempre que todas las piezas individuales cortadas de cada pieza matriz sean termotratadas al mismo tiempo.

Las condiciones de suministro y requerimientos de ensayos de resiliencia, están en la Tabla N° 2.4

#### 2.4.6 Propiedades Mecánicas .

Las propiedades mecánicas de todos los grados de estos aceros se muestran en la Tabla N° 2.5

La provisión de los materiales se hace cumpliendo con valores de límites elásticos mínimos, los cuales se agrupan en 4 niveles de resistencia: 27 S, 32, 34 S, 36. Los niveles de resistencia 27 S y 34 S son adicionales a los requerimientos acordados para aceros de alta resistencia a la tracción para estructuras del casco, y su designación ha sido acordado adicionándole la letra "S".

Cada nivel de resistencia es así subdividida en tres Grados AH, DH y EH.

Para su designación, una completa identidad de un grado de acero y sus propiedades, a los números que indican niveles de resistencia le preceden letras apropiadas tal como se muestra en la tabla Nº 2.5.

- a) La carga de rotura de tracción debe estar comprendida entre los límites indicados en la especificación aprobada.
- b) Los valores del límite elástico no deben ser menores que los dados en la especificación aprobada; y en cualquier ensayo particular no debe exceder el 80% de la carga de rotura actual, excepto en el nivel 34S.
- c) Ensayo de doblado. Las probetas deben poder doblarse en frío sin fractura.
- d) Ensayo de resiliencia. Los valores de la resiliencia para las probetas con entalla en V se determinarán de acuerdo a las tablas Nº 2.2, 2.4 y 2.5. El porcentaje de cristalinidad, basado en el área original, debe ser recopilado como información.



TABLA N°2.1  
COMPOSICION QUIMICA Y PROPIEDADES FISICAS PARA PRODUCTOS  
NO MAYORES DE 50 mm DE ESPESOR

| GRADO                                             | A                                                     | B                                            | D                                                                 | E                                                       |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Desoxidación                                      | Cualquier método (para acero efervescente ver Nota 1) | Cualquier método excepto acero efervescente. | Calmado, práctica de grano fino (tratado al aluminio) ver Nota 2. | Calmado, práctica de grano fino. (tratado al aluminio.) |
| <u>Composición Química (Análisis de cuchara).</u> |                                                       |                                              |                                                                   |                                                         |
| Carbono                                           | 0.23 % max.                                           | 0.21 % max.                                  | 0.21 % max                                                        | 0.18 % max.                                             |
| Manganeso                                         | Ver notas 3 y 5                                       | 0.80 % min } Notas                           | 0.70 % a 1.40% } 5y6                                              | 0.70 % a 1.50% } 5                                      |
| Silicio                                           | 0.50 % max                                            | 0.50 % max } 4 y 5                           | 0.10 % a 0.50% max                                                | 0.10 % a 0.50%                                          |
| Azufre                                            | 0.050% max                                            | 0.040 % max                                  | 0.040 % max                                                       | 0.040 % max                                             |
| Fósforo                                           | 0.050 % max                                           | 0.040 % max                                  | 0.040 % max                                                       | 0.040 % max                                             |
| Aluminio (soluble al ácido).                      | -                                                     | -                                            | 0.015 min<br>Nota 7                                               | 0.015 % min<br>Nota 7                                   |
| <u>Ensayo de tracción</u>                         |                                                       |                                              |                                                                   |                                                         |
| Límite elástico (min) N/mm <sup>2</sup>           | 230 (nota 8)                                          | 230 (Nota 8)                                 | 235                                                               | 235                                                     |

| GRADO                                                              | A         | B         | D         | E         |
|--------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Carga de Rotura<br>N/mm <sup>2</sup>                               | 400 a 490 | 400 a 490 | 400 a 490 | 400 a 490 |
| Alargamiento<br>% min.                                             |           |           |           |           |
| Probeta Standard<br>Espesor (mm)                                   |           |           |           |           |
| Mas que Menor o<br>igual que                                       |           |           |           |           |
| 5                                                                  | 5         | 15        | 15        | 15        |
| 10                                                                 | 10        | 16        | 16        | 16        |
| 15                                                                 | 15        | 17        | 17        | 17        |
| 20                                                                 | 20        | 18        | 18        | 18        |
| 25                                                                 | 25        | 19        | 19        | 19        |
| 35                                                                 | 35        | 20        | 20        | 20        |
|                                                                    |           | 21        | 21        | 21        |
| Probeta proporcional<br>Longitud entre puntos<br>5.65 $\sqrt{S_0}$ | 22        | 22        | 22        | 22        |
| Ensayo de impacto<br>(longitudinal)                                |           |           |           |           |
| Temperatura de ensayo                                              | -         | 0°C       | 0°C       | - 40°C    |
| Energía Mínima promedio                                            |           | J         | J         | J         |

---

| GRADO               | A | B  | D  | E  |
|---------------------|---|----|----|----|
| Ancho de al Probeta |   |    |    |    |
| 10mm                | - | 27 | 47 | 27 |
| 7.5 mm              | - | 23 | 39 | 23 |
| 5.0 mm              | - | 19 | 31 | 19 |
| (ver Nota 9).       |   |    |    |    |

---

Notas de la Tabla Nº 2.1

- 1.- Para el acero grado "A", se puede aceptar como efervescente hasta 12.5 mm de espesor inclusive, estipulando este estado en los certificados de ensayo .
- 2.- Para el acero grado "D" en espesores hasta 35 mm inclusive puede utilizarse cualquier método de desoxidación, excepto el acero efervescente, con tal de que sobre espesores de 25.5 mm las condiciones de suministro de las planchas sea al estado normalizado o laminación controlada. En tales casos, los requerimientos de la práctica de grano fino y los contenidos mínimos de silicio y aluminio no son aplicables .
- 3.- Para el acero grado "A", en espesores sobre 12.5 mm, el contenido de manganeso no debe ser menor a 2.5 veces el contenido de carbono .
- 4.- Para el acero grado "B", cuando el contenido de silicio es 0.10% ó más ( acero calmado ), el contenido mínimo de manganeso puede ser reducido a 0.60 % .
- 5.- Para todos los grados la suma del contenido de carbono más  $1/6$  del contenido de manganeso no deberá exceder de 0.40%.
- 6.- Para el acero grado "D" cuando el espesor es 25.5 mm ó menos, el contenido mínimo de manganeso puede ser reducido a 0.60 % .
- 7.- El contenido total de aluminio puede ser determinado en lugar del soluble al ácido; y no deberá ser menor que 0.02 %.
- 8.- Para los aceros de grado "A" y "B" sobre 25.5 mm de espesor, el límite elástico mínimo es de  $220 \text{ N/mm}^2$ .
- 9.- Al utilizarse probetas de impacto auxiliar no-standar, el valor mínimo puede ser obtenido por interpolación .

T a b l a N° 2.2

DIMENSIONES Y TOLERANCIAS PARA PROBETAS DE IMPACTO  
CHARPY CON ENTALLA EN V

| Dimensiones                                                                           | Dimensión<br>Nominal (mm) | Tol erancia |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------|
| Longitud                                                                              | 55                        | + - 0.60 mm |
| Ancho                                                                                 |                           |             |
| standard                                                                              | 10                        | + 0.11 mm   |
| auxiliar                                                                              | 7.5                       | + 0.11 mm   |
| auxiliar                                                                              | 5.0                       | + 0.05 mm   |
| Espesor                                                                               | 10                        | + 0.11 mm   |
| Angulo de la entalla                                                                  | 45°                       | + 2°        |
| Profundidad debajo<br>de la entalla                                                   | 8                         | + 0.11 mm   |
| Radio de la raiz                                                                      | 0.25                      | + 0.025mm   |
| Distancia de la entalla a los extremos de la probeta                                  | 27.5                      | + 0.42 mm   |
| Angulo entre el plano de simetría de la entalla y el eje longitudinal de la probeta . | 90°                       | + 2°        |

T a b l a N° 2.3

COMPOSICION QUIMICA DE ACEROS DE ALTA RESISTENCIA PARA ESTRUCTURAS DEL CASCO .

|                                 | % Mín. | % Máx. | Notas |
|---------------------------------|--------|--------|-------|
| Carbono                         |        | 0.18   |       |
| Manganeso                       | 0.90   | 1.60   | 1     |
| Silicio                         |        | 0.50   | 2     |
| Azufre                          |        | 0.040  |       |
| Fósforo                         |        | 0.040  |       |
| Elementos refinadores de grano. |        |        |       |
| Aluminio ( soluble al ácido )   | 0.015  |        | 3y4   |
| Niobio                          | 0.015  | 0.05   | 4     |
| Vanadio                         | 0.03   | 0.10   | 4     |
| Elementos residuales .          |        |        |       |
| Cobre                           |        | 0.35   |       |
| Cromo                           |        | 0.20   |       |
| Niquel                          |        | 0.40   |       |
| Molybdeno                       |        | 0.08   |       |

Notas :

1.- Para los aceros grado AH en todos sus niveles de resistencia y para los aceros de grado DH y EH en sus niveles 27 S, el contenido mínimo de manganeso especificado es : 0.70 %

2.- Los aceros de grado EH para todos sus niveles de resistencia deben ser calmados y tener un contenido de silicio no menos que 0.10 % .

3.-Se puede determinar el contenido total de aluminio en vez del contenido soluble al ácido. En tales casos el contenido total de aluminio no debe ser menor que 0.020 % ,

4.- Para todos los aceros AH, y DH en su nivel 27S, la adición de refinadores de grano queda a opción del acerista .

TABLA N° 2.4

CONDICIONES DE SUMINISTRO Y REQUERIMIENTOS DE PRUEBAS DE IMPACTO

| PRACTICA USADA DE REFINACION DE GRANO                                       | ESPESOR                    | CONDICION DE SUMINISTRO | REQUERIMIENTO DE ENSAYO IMPACTO | NOTA        |   |
|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------------|-------------|---|
| AH 275 AH 32 AH 345 AH 36<br>Sin adición de elementos refinadores de grano. | ≤ 12.5 mm                  | Laminado                | No requiere                     | 1           |   |
|                                                                             |                            | Laminación controlada   | No requiere                     | 1           |   |
|                                                                             |                            | Normalizado             | No requiere                     | 1           |   |
|                                                                             | > 12.5 mm                  | ≤ 35 mm                 | Laminado                        | Requiere    | 2 |
|                                                                             |                            |                         | Laminación controlada           | Requiere    | 2 |
|                                                                             | > 35 mm                    | ≤ 35 mm                 | Normalizado                     | Requiere    | 2 |
|                                                                             |                            |                         | Laminación controlada           | Requiere    | 3 |
|                                                                             |                            |                         | (Notas 4 al 7)                  |             |   |
|                                                                             | Niobio ó Aluminio + Niobio | ≤ 12.5 mm               | Laminado                        | No requiere | 1 |
| Laminación controlada                                                       |                            |                         | No requiere                     | 1           |   |
| Normalizado                                                                 |                            |                         | No requiere                     | 1           |   |
| > 12.5 mm                                                                   |                            | ≤ 35 mm                 | Normalizado                     | No requiere | 1 |
|                                                                             |                            |                         | Laminación controlada           | Requiere    | 3 |
|                                                                             |                            |                         | (Nota 7)                        |             |   |

| PRACTICA USADA DE REFINACION DE GRANO                                                                                           | ESPESOR                | CONDICION DE SUMINISTRO | REQUERIMIENTO DE ENSAYO IMPACTO | NOTA |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------|---------------------------------|------|
| Vanadio ó Aluminio ó Aluminio + Vanadio                                                                                         | ≤ 12.5mm               | Laminado                | No requiere                     | 1    |
|                                                                                                                                 |                        | Laminación con trolada  | No requiere                     | 1    |
|                                                                                                                                 |                        | Normalizado             | No requiere                     | 1    |
|                                                                                                                                 | > 12.5mm               | Laminado                | Requiere                        | 2    |
|                                                                                                                                 |                        | Laminación con trolada  | Requiere                        | 2    |
|                                                                                                                                 | ≤ 35 mm                | Laminado                | Requiere                        | 2    |
| Laminación con trolada                                                                                                          |                        | Requiere                | 2                               |      |
| Normalizado                                                                                                                     |                        | No requiere             | 1                               |      |
| > 35mm                                                                                                                          | Normalizado            | No requiere             | 1                               |      |
|                                                                                                                                 | Laminación con trolada | Requiere                | 3                               |      |
|                                                                                                                                 |                        | (Notas 4 al 7)          |                                 |      |
| DH 27S DH 32 DH 34S DH 36<br>Niobio ó Aluminio + Niobio                                                                         | ≤ 12.5mm               | Laminado                | Requiere                        | 2    |
|                                                                                                                                 |                        | Laminación con trolada  | Requiere                        | 2    |
|                                                                                                                                 |                        | Normalizado             | Requiere                        | 2    |
|                                                                                                                                 | > 12.5 mm              | Normalizado             | Requiere                        | 2    |
|                                                                                                                                 |                        | Laminación con trolada  | Requiere                        | 3    |
|                                                                                                                                 |                        |                         | ( Nota 7 )                      |      |
| Vanadio ó Aluminio ó Aluminio + Vanadio<br>ó para el acero DH 27S solamente cuando no se añaden elementos refinadores de grano. | ≤ 25.5mm               | Laminado                | Requiere                        | 2    |
|                                                                                                                                 |                        | Laminación con trolada  | Requiere                        | 2    |
|                                                                                                                                 |                        | Normalizado             | Requiere                        | 2    |
|                                                                                                                                 | > 25.5mm               | Normalizado             | Requiere                        | 2    |
|                                                                                                                                 |                        | Laminación con trolada  | Requiere                        | 3    |
|                                                                                                                                 |                        |                         | (Nota 7 )                       |      |



| PRACTICA USADA DE REFINACION DE GRANO              | ESPESOR              | CONDICION DE SUMINISTRO | REQUERIMIENTO DE ENSAYO IMPACTO | NOTA |
|----------------------------------------------------|----------------------|-------------------------|---------------------------------|------|
| EH 27S EH 32 EH 34S EH 36<br>Todas las prácticas . | Todos los espesores. | Normalizado<br>(Nota 7) | Requiere                        | 6    |

Notas de la T a b l a N° 2.4

- 1.- Los ensayos Charpy con entalla V no se requieren generalmente, ocasionalmente el Supervisor selecciona ensayos de chequeo donde los resultados deben ser satisfactorios.
- 2.- Una serie de tres ensayos Charpy con entalla V debe realizarse del lote de mayor espesor de cada colada , a menos que el peso del material laminado terminado de cada colada exceda de 40 toneladas, en cuyo caso se hará una prueba más de una pieza diferente por cada 40 toneladas o fracción .
- 3.- Los ensayos Charpy con entalla V deben realizarse de acuerdo a la Nota 2, excepto que se requiere una serie de ensayos por cada 20 toneladas o fracción .
- 4.- Para el Grado AH 27S solamente, cuando el espesor exceda 35 mm, la condición de suministro puede ser al estado laminado .
- 5.- Para el Grado AH 27S solamente, cuando se suministra al estado laminado o laminación controlada, en general se requieren ensayos Charpy con entalla V, y será aceptado de acuerdo con la nota 2 .
- 6.- Para planchas, para cada pieza debe realizarse una serie de tres ensayos Charpy con entalla V. Por partes, una serie de tres ensayos debe realizarse de material representativo del producto laminado de cada lingote .
- 7.- Porciones de aceros en todos los grados AH, DH y EH pueden suministrarse al estado laminado proveídos con resultados satisfactorios de ensayos de impacto Charpy con entalla V .

T a b l a N° 2.5

PROPIEDADES MECANICAS PARA PRODUCTOS QUE NO EXCEDEN 50 MM .

DE ESPESOR

| DESIGNACION DE GRADOS Y NIVELES DE RESISTENCIA                  | AH 27S            | AH 32   | AH 34S   | AH 36   |    |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------|---------|----------|---------|----|
|                                                                 | DH 27S            | DH 32   | DH 34S   | DH 36   |    |
|                                                                 | EH 27S            | EH 32   | EH 34S   | EH 36   |    |
| Límite Elástico N/mm <sup>2</sup> (mín)                         | 265               | 315     | 340      | 365     |    |
| Carga de Rotura N/mm <sup>2</sup>                               | 400-510           | 440-590 | 610 máx. | 490-620 |    |
| Ratio . $\frac{\text{Límite elástico}}{\text{Carga de rotura}}$ | -                 | -       | 0.85máx. | -       |    |
| Alargamiento % mín .                                            |                   |         |          |         |    |
| Probeta de Ensayo Standard.                                     |                   |         |          |         |    |
| Espesor ( mm ) .                                                |                   |         |          |         |    |
| Más que                                                         | Menor o igual que |         |          |         |    |
|                                                                 | 5                 | 15      | 15       | 15      | 14 |
| 5                                                               | 10                | 16      | 16       | 16      | 15 |
| 10                                                              | 15                | 17      | 17       | 17      | 16 |
| 15                                                              | 20                | 18      | 18       | 18      | 17 |
| 20                                                              | 25                | 19      | 19       | 19      | 18 |
| 25                                                              | 35                | 20      | 20       | 20      | 19 |
| 35                                                              |                   | 21      | 21       | 21      | 20 |
| Probeta de Ensayo Proporcional.                                 |                   |         |          |         |    |
| Longitud entre puntos $5.65\sqrt{S_0}$                          | 22                | 22      | 22       | 21      |    |
| Ensayo de Impacto (Longitudinal)                                |                   |         |          |         |    |
| Temperatura de ensayo :                                         |                   |         |          |         |    |
| Grado                                                           | AH 0°C            |         |          |         |    |
|                                                                 | DH - 20°C         |         |          |         |    |
|                                                                 | EH - 40°C         |         |          |         |    |
| Energía mínima promedio .                                       | J 27              | J 31    | J 34     | J 34    |    |

## CAPITULO III

### ANALISIS METALURGICO DE FACTIBILIDAD DE FABRICACION DE A - CERO NAVAL GRADO "A"

Las propiedades metalúrgicas de los productos de acero laminados en caliente, son dependientes sobre todo de la composición química, y la historia térmica y mecánica en su paso de desbaste a plancha gruesa ó bobina.

#### 3.1. Análisis teórico de las características químicas y Propiedades Mecánicas de las planchas de Acero.

De acuerdo a las normas Lloyd's, respecto a grado de desoxidación de este acero, y teniendo en cuenta las limitaciones para el acero efervescente establecido en las notas del cuadro Nº 2.1, se optó por fabricar el tipo semicalmado, es así que todas las prácticas, internas de fabricación son aplicadas para este grado de desoxidación.

##### 3.1.1. Posibles desvíos por propiedades mecánicas.

Dada la similitud de las especificaciones, Lloyd's, en lo que se refiere a composición química y propiedades mecáni-

cas, con las especificaciones ASTM A 283°C y ASTM A 36, estos aceros estructurales se tomarán en cuenta para los posibles desvíos .

Las características mecánicas de éstos aceros están dados en la tabla siguiente :

| Ensayo de                      | ESPECIFICACION |             |             |
|--------------------------------|----------------|-------------|-------------|
|                                | ASTM-A 283°C   | LRS °A      | ASTM-A 36   |
| Tracción                       |                |             |             |
| C.R(Kg/mm <sup>2</sup> )       | 38.7 - 45.7    | 41.0 - 50.0 | 40.0 - 56.0 |
| L.E(Kg/mm <sup>2</sup> )       | 21.1           | 24          | 25.3        |
| % A mín.(8'')                  | 22             | -           | 20          |
| % A mín.(2'')                  | 25             | -           | 23          |
| % A mín.(5.65√S <sub>0</sub> ) | -              | 22          | -           |

### 3.1.2 Pronóstico de los Rangos de C y Mn .

De la figura N° 3.1 obtenemos una primera información tendiente a cumplir con la resistencia a la tracción exigida por Lloyd's Register of Shipping. Este gráfico muestra la relación de la resistencia a la tracción en Kg/mm<sup>2</sup> con los

contenidos de C y Mn .

Los datos que se obtienen son :

| % C  | % Mn | C.R (Kg/mm <sup>2</sup> ) |
|------|------|---------------------------|
| 0.16 | 0.60 | 43.6                      |
| 0.23 | 0.90 | 50.0                      |

Estos valores son indicativos, ya que, como se verá más adelante, en las propiedades físicas de las planchas intervienen el P, Si, S respecto a elementos químicos, y % reducción, temperaturas de acabado y/o embobinado en lo que se refiere a factores influyentes del trabajado mecánico .

De igual forma aplicando la fórmula establecida , por QUEST y WASHBURN, para el cálculo de la resistencia a la tracción, se obtienen las tablas N° 3.1 y 3.2

La fórmula es la siguiente :

$$\begin{aligned} \text{C.R (psi)} = & 38,000 + C [800 + 4 ( C - 20 )] + Mn [100 + 2(C-20)] \\ & + P ( 1,000 ) + Si (120) + K \end{aligned}$$

Los valores de K, en psi, están dados mas abajo y es función de los espesores del producto terminado .

| Espesores<br>(mm) | K<br>(psi) |
|-------------------|------------|
| 3.0               | + 5,000    |
| 5.0               | + 4,500    |
| 6.4               | + 4,000    |
| 8.0               | + 3,500    |
| 9.5               | + 3,000    |
| 12.5              | + 2,000    |
| 16.0              | + 1,000    |
| 20.0              | 0          |
| 25.0              | - 2,000    |
| 32.0              | - 4,000    |
| 38.0              | - 6,000    |
| 50.0              | - 10,000   |

$$1 \text{ psi} = 0.0007 \text{ Kg/mm}^2$$

Los valores indicados anteriormente confirman con lo indicado más arriba ya que a mayor % de reducción , es decir a menor espesor de plancha, mayor es el valor de la constan -

te K.

Es por esto que la composición química recomendada en un principio fué :

$$\%C = 0.16/0.23 \quad \text{y} \quad \%Mn = 0.60/0.90$$

Estos rangos son válidos para espesores comprendidos entre 3.0 y 50.0 mm. de producto terminado.

### 3.1.3. Análisis de probabilidad.

Analizando las figuras Nº 3.2 y Nº 3.3 al final de este capítulo, elaborados por SMITH, observamos que la probabilidad de obtener coladas en los intervalos propuestos son los siguientes :

| Intervalo<br>de C | Probabilidad<br>% |
|-------------------|-------------------|
| 0.16/0.20         | 95/90             |
| 0.17/0.21         | 94/88             |
| 0.18/0.22         | 96/90             |
| 0.21/0.23         | 54/47             |



| Intervalo<br>de Mn | Probabilidad<br>% |
|--------------------|-------------------|
| 0.60/0.75          | 91/85             |
| 0.75/0.90          | 85/80             |
| 0.80/0.90          | 64/60             |

3.1.4 Influencia de la composición química en los aceros sobre sus propiedades .

3.1.4.1 Influencia de los metaloides .

a) fósforo.

- tiene una gran solubilidad en el hierro sólido, mayor en caliente que en frío ( 1.7% a 2.0% a 1050°C ),
- aumenta considerablemente la fragilidad del acero,
- no es formador de carburos ,
- segrega fácilmente .

b) azufre .

provoca una fuerte segregación ,

- el azufre, si está bajo la forma de sulfuro de hierro, tiene una influencia desastrosa a las temperaturas de laminado y forjado, el punto de fusión del Fe.S es de 985 °C ,
- con el manganeso forma sulfuro de manganeso donde el punto de fusión es de 1610°C ,
- ejerce una influencia severa sobre la fragilidad del metal que se traduce por la aparición de grietas,
- hace perder la maleabilidad del metal .

c) oxígeno .

- con el silicio y el aluminio principalmente forma, en los aceros, inclusiones que pueden provocar rupturas en el doblado o en el embutido .

d) hidrógeno .

- la solubilidad del hidrógeno disminuye con la baja de la temperatura ,

- forma, durante la solidificación, sopladuras bajo presiones muy elevadas.

#### 3.1.4.2. Influencia de los elementos de aleación.

##### a) Manganeso

- Sirve de desoxidante,
- fija el azufre, quitándole el carácter quebradizo,
- favorece la transformación en caliente, laminación o forjado,
- además
  - afecta favorablemente sobre la capacidad de temple,
  - es un tanto nocivo para la ductilidad,
  - da una resistencia al desgaste muy elevado.

##### b) Silicio

- además de su empleo como desoxidante, el silicio ejerce favorablemente sobre :

- la capacidad de temple (débilmente, y sobre los aceros ya carburados solamente ),

- la variación de la dureza con la temperatura de revenido ,

- la resistencia mecánica,

- la resistencia al desgaste ,

- la resistencia química ,

- al disolverse en la ferrita lo endurece por solución sólida .

### c) Aluminio

- sirve de desoxidante,

- permite controlar la recristalización del metal,

- tiene el mismo efecto que el silicio sobre las propiedades magnéticas,

- mejora la resistencia química ,

- disminuye la capacidad de temple y la fragilidad.

d) Níquel

- actúa fuertemente sobre :

- la capacidad de temple ,

- la ductilidad y resistencia mecánica,

- la resistencia química,

- disminuye la fragilidad a baja temperatura.

e) Cromo

- aumenta la capacidad de temple cuando está asociado al carbono,

- cuando el tratamiento es hecho a temperatura suficientemente elevada, el cromo :

- disminuye sensiblemente la bajada de la dureza por revenido,

- mejora la resistencia mecánica y la ductilidad,
- actúa favorablemente sobre la resistencia al desgaste ,
- aumenta considerablemente la resistencia química.

#### f) Molybdeno

- Como todos los precedentes, mejora la capacidad de temple, la resistencia al revenido y la resistencia al desgaste.

#### g) Vanadio

- disminuye la capacidad de temple y de dureza de los aceros al carbono .

### 3.2 Efecto de las condiciones térmicas en el acabado de aceros estructurales al carbono .

Los productos acabados de acero naval se producen en dos tipos : planchas gruesas y bobinas, por consiguiente las condiciones térmicas de acabado son diferentes para ambos tipos .

El tamaño de grano y estructura de los aceros es controlado mayormente por las temperaturas de acabado (planchas gruesas y bobinas) y de bobinado (bobinas), de tal forma de obtener granos uniformes equiaxiales, ASTM 8-10 con carburos de hierro finamente dispersos. Incrementando la temperatura de acabado, resulta un incremento gradual del tamaño de grano, pero el problema, generalmente, es lograr la mínima temperatura. Muy bajas temperaturas de acabado, debajo de 850°C, resulta también un tamaño de grano mixto, más bajas temperaturas, debajo de 815°C, produce una estructura de laminado en frío.

El problema generalmente con la temperatura de bobinado es el de llevar más bajo que el máximo permisible. Altas temperaturas de bobinado, con correctas temperaturas de acabado resulta un tamaño de grano grande con partículas masivas de carburos de hierro.

### 3.2.1 Influencia de las Temperaturas de Laminación en bandas delgadas en Caliente .

En el proceso de laminación en caliente están incluidas dos temperaturas críticas de transformación de fase . La temperatura de acabado incluye la temperatura crítica superior  $Ac_3$  , la temperatura de bobinado incluye la temperatu-

ra crítica inferior  $Ac_1$  .

Durante el proceso de laminación, ésta se efectúa con el acero al estado austenítico, esto significa, que la temperatura de igualización en hornos; de laminación entre pase y pase; de acabado, están por encima de esta temperatura, garantizando una estructura uniforme.

La velocidad de enfriamiento, que nos dará la temperatura de bobinado, es de especial importancia ya que influirá en la estructura granulométrica, tamaño de los carburos .

La distribución de los Carburos está determinado por la temperatura de acabado.

### 3.2.2. Influencia del Calentamiento entre pases.

En un tren de laminación de bobinas del tipo reversible, como el nuestro - tren Steckel -, durante los sucesivos pases, la banda permanece en los hornos de campana de uno u otro lado, el calor suministrado por éstos tiene por objeto mantener la temperatura del material entre 900 y 1,000 °C.

Estos calentamientos dan lugar a fenómenos estructurales



entre pase y pase, que influirá finalmente en el producto acabado, siendo los más importantes :

a) Recristalización y crecimiento de grano.

En los sucesivos pases de laminación, la estructura cristalina es deformada y quebrada, pero por el fenómeno de recristalización, se regenera una nueva estructura, de tal forma de adquirir su equilibrio termodinámico. La recristalización tiene lugar por la aparición de núcleos que crecen a expensas de la matriz deformada. En el material deformado hay zonas preferenciales para la nucleación durante el proceso de recristalización. Algunos lugares de nucleación preferencial se asocian con bordes de grano, bordes de precipitados, zonas altamente deformadas, etc. Cualitativamente se puede destacar que los lugares más favorables para la nucleación están asociados a zonas de alta energía. Los factores principales que condicionan la recristalización y crecimiento de grano son : Temperatura, tiempo y porcentaje de reducción.

Debido al calentamiento en los hornos de campana y a la baja velocidad de laminación, entre cada pase la pérdida de Temperatura de la banda es mínima. Además, debido al mayor tiempo de permanencia a altas temperaturas dentro de

los hornos, esto favorece la recristalización y el crecimiento de grano, lo que origina una estructura con tamaños de grano mas grueso que la obtenida en otros trenes más rápidos.

Los porcentajes de reducción entre pases tienen algunas veces similitud entre el tren Steckel y otros trenes de laminación.

### 3.2.3. Estructura Bandeada.

La causa fundamental del bandeo de la estructura es debido a las segregaciones cristalinas producidas durante la solidificación del acero. Debido a la segregación de carbono en presencia de fósforo se puede explicar el mecanismo de formación de bandas. Después de la solidificación, ambos elementos se encuentran en mayor proporción en los espacios interdendríticos que en los ejes de dicho dendrito. La segregación de ambos elementos y la deformación producida durante la laminación, dan lugar a zonas alargadas de ferrita que da origen a la estructura bandeada.

El sistema de laminación reversible en el steckel favorece la formación de estas bandas, debido a que el material permanece mayor tiempo sobre el punto crítico, permitiendo u

na mayor segregación del carbono .

Las dificultades producidas por las bandas en la maquinabilidad y su desfavorable influencia en las propiedades transversales se explica por la ferrita bandeada ya que esta es débil y frágil .

La estructura de bandas se ha observado en aceros con 0.12 - 0.50 %C, pero tiene un especial interés en los aceros de cementación, de 0.12 a 0.25 %C.

3.3 Efecto de microaleantes en las propiedades de planchas gruesas y bobinas .

La técnica de laminado controlado permite la obtención de aceros de grano ferrítico fino, haciendo uso de la propiedad de ciertos microaleantes de interferir los procesos de recristalización. Estos microaleantes, por ejemplo Nb y V posibilitan también un cierto endurecimiento por precipitación .

Las propiedades mostradas por éstos aceros después de laminados en caliente son muy dependientes de las condiciones finales de laminación, y especialmente reducción y temperatura .

A temperaturas de acabado relativamente bajas, el Nb previamente disuelto inhibe la recristalización de austenita. La subsecuente transformación de esta austenita fina y deformada da lugar a tamaños de granos finos en la ferrita resultante. El Nb que pudiera haber permanecido en solución al final de la laminación es capaz de precipitar durante el enfriamiento, dando lugar a un aumento extra de resistencia debido al endurecimiento por precipitación.

Se desprende así la limitación de poner en práctica de éste proceso a plantas que disponen de equipos laminadores capaces de introducir altas deformaciones a bajas Temperaturas.

La relación LE/CR en aceros al C-Mn en un acero naval varía en el rango 0.60 a 0.63. Con pequeñas adiciones de V, Nb, como por ejemplo 0.02 a 0.06%V ó 0.01 a 0.03% Nb, ésta relación aumenta alrededor de 0.70 a 0.73 . Este aumento se debe principalmente al aumento del límite elástico (L.E) con respecto a los aceros al C-Mn.

Con respecto al análisis metalográfico cuantitativo y con las cantidades de V y Nb anteriores se tiene que los aceros conteniendo alrededor de 0.1% C tienen de 7 a 21% de perlita, mientras que con 0.2% C de 17 a 40% de perlita.

### 3.3.1. Solubilidad del Niobio y Vanadio a altas Temperaturas.

La máxima efectividad del Nb como retardador de la recristalización es cuando éste se encuentra disuelto al comienzo de la deformación, lo que significa austenitizado a altas Temperaturas. La figura Nº 3.4. muestra la cantidad de Nb en solución a distintas temperaturas para diversos contenidos de C y Nb. En términos generales y para las composiciones usuales la disolución completa del Nb requiere temperaturas superiores a los 1,200°C mientras que el V disuelve a temperaturas menores; alrededor de 900°C.

En términos generales, puede decirse que las altas temperaturas de austenitizado se utilizan cuando se desea obtener altos valores de resistencia, mientras que las bajas temperaturas, que restringen la precipitación, se utilizan cuando se requiere mayor ductilidad.

### 3.3.2. Tipos de transformación de Austenita a Ferrita.

Los modos de transformación de austenita a ferrita durante el laminado en caliente han sido estudiados y se muestran en la figura 3.5. Desde que han sido observados dos tipos de transformación (Tipo I y II), el refinamiento del grano

puede realizarse por dos caminos diferentes.

1) Donde la transformación austenita a ferrita tiene lugar principalmente en el límite de grano austenítico (transformación tipo I - figura 3.5) se obtienen granos ferríticos finos por el refinamiento del grano austenítico por medio del proceso de recristalización, usando laminación controlada encima de la temperatura de recristalización de la austenita (Tipo I B).

2) Donde la transformación austenita a ferrita es fuertemente acelerada por baja temperatura de laminado y la nucleación es en regiones defectuosas de granos de austenita no-recristalizada, tales como bandas deformadas (transformación Tipo II), se obtienen granos ferríticos ultra-finos a grandes reducciones debajo de la temperatura de recristalización de la austenita.

Comparando la estructura final del tipo IB y tipo II en la figura 3.5, es evidente que la estructura de grano fino obtenido por la transformación tipo I es homogénea, mientras que la estructura resultante de la transformación tipo II es algo heterogénea. La estructura tipo transición, el cual tiene muchas regiones gruesas heredado de la austenita no recristalizada, exhibe aún heterogeneidad muy grande

el tamaño de grano ferrítico es más grande que de los tipos I y II. Se desarrolla esta estructura si la laminación controlada es llevada a cabo en una región de temperatura intermedia resultando solo en recristalización parcial de la austenita y nucleación insuficiente situada por efectiva transformación tipo II.

La relación entre el tipo de transformación austenita-ferrita y la temperatura de trabajado en caliente en varios aceros, deformado 75% en un solo golpe, se muestra en la figura Nº 3.6. Los aceros al Nb tienen preferencia por la transformación tipo II, porque el Nb suprime fuertemente la recristalización de los granos austeníticos.

### 3.3.3. Efecto de la temperatura de acabado.

En la práctica industrial de laminado en caliente, la reducción del espesor tiene lugar en muchos pases y progresivamente menores temperaturas. Las reducciones pequeñas durante cada pase es menos que 30%, pero los pases consecutivos ejercen un efecto aditivo. Consecuentemente, el efecto de la temperatura de acabado en la microestructura no es necesariamente similar al mostrado en la figura Nº 3.6, pero está compuesto por el efecto del refinamiento de grano austenítico de las deformaciones precedidas a altas tem

peraturas.

El efecto de la temperatura de acabado en el tamaño promedio de grano ferrítico en la laminación en caliente de planchas y bobinas de acero con la estructura ferrítica-perlítica se muestra en la figura Nº 3.7, la misma que, para el caso de bobinas, tiene una temperatura alta de bobinado de 680°C para obtener estructura ferrítica-perlítica, sin tomar en cuenta las condiciones de laminado ó composición del acero.

Para los aceros al carbono (figura Nº 3.7 a), la estructura tipo transición aparece a temperaturas de acabado entre 750 y 800°C. Esta microestructura es mas pronunciada en bobinas porque los heterogéneos granos ferríticos groseros son agravados por el bajo enfriamiento después del bobinado.

Para los aceros al Nb (figura Nº 3.7 b), el ligero retardo en el refinamiento de grano y la aparición de la estructura tipo transición puede ser reconocido cuando la temperatura de acabado es mucho menor que 800°C.

#### 3.3.4. Efecto de la temperatura de Bobinado.



Para bandas laminadas en caliente, el principal parámetro del proceso que controla el ciclo de enfriamiento es la temperatura de bobinado. Para un ancho dado, se fija la velocidad de laminado, el que depende de la longitud de la tabla de enfriamiento. Bajo estas condiciones, la temperatura de bobinado depende de la intensidad de enfriamiento.

La figura Nº 3.8 muestra el efecto de la temperatura de bobinado en las propiedades mecánicas de tres tipos de aceros que tienen un carbono equivalente de 0.38% a excepción del tercero que tiene 0.31% .

## RESISTENCIA A LA TRACCION EXPRESANDO PSI (libras por pulgada cuadrada)

| % C  | % Mn    |         |         |         |         |         |         |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|      | 0.60    | 0.65    | 0.70    | 0.75    | 0.80    | 0.85    | 0.90    |
| 0.16 | 61024+K | 61484+K | 61944+K | 62404+K | 62864+K | 63324+K | 63784+K |
| 0.17 | 61996+K | 62466+K | 62936+K | 63406+K | 63876+K | 64346+K | 64816+K |
| 0.18 | 62976+K | 63456+K | 63936+K | 64416+K | 64896+K | 65376+K | 65856+K |
| 0.19 | 63964+K | 64454+K | 64944+K | 65434+K | 65924+K | 66414+K | 66904+K |
| 0.20 | 64960+K | 65460+K | 65960+K | 66460+K | 66960+K | 67460+K | 67960+K |
| 0.21 | 65964+K | 66474+K | 66984+K | 67494+K | 68004+K | 68514+K | 69024+K |
| 0.22 | 66976+K | 67496+K | 68016+K | 68536+K | 69056+K | 69576+K | 70096+K |
| 0.23 | 67996+K | 68526+K | 69056+K | 69586+K | 70116+K | 70646+K | 71176+K |

T a b l a N° 3.2

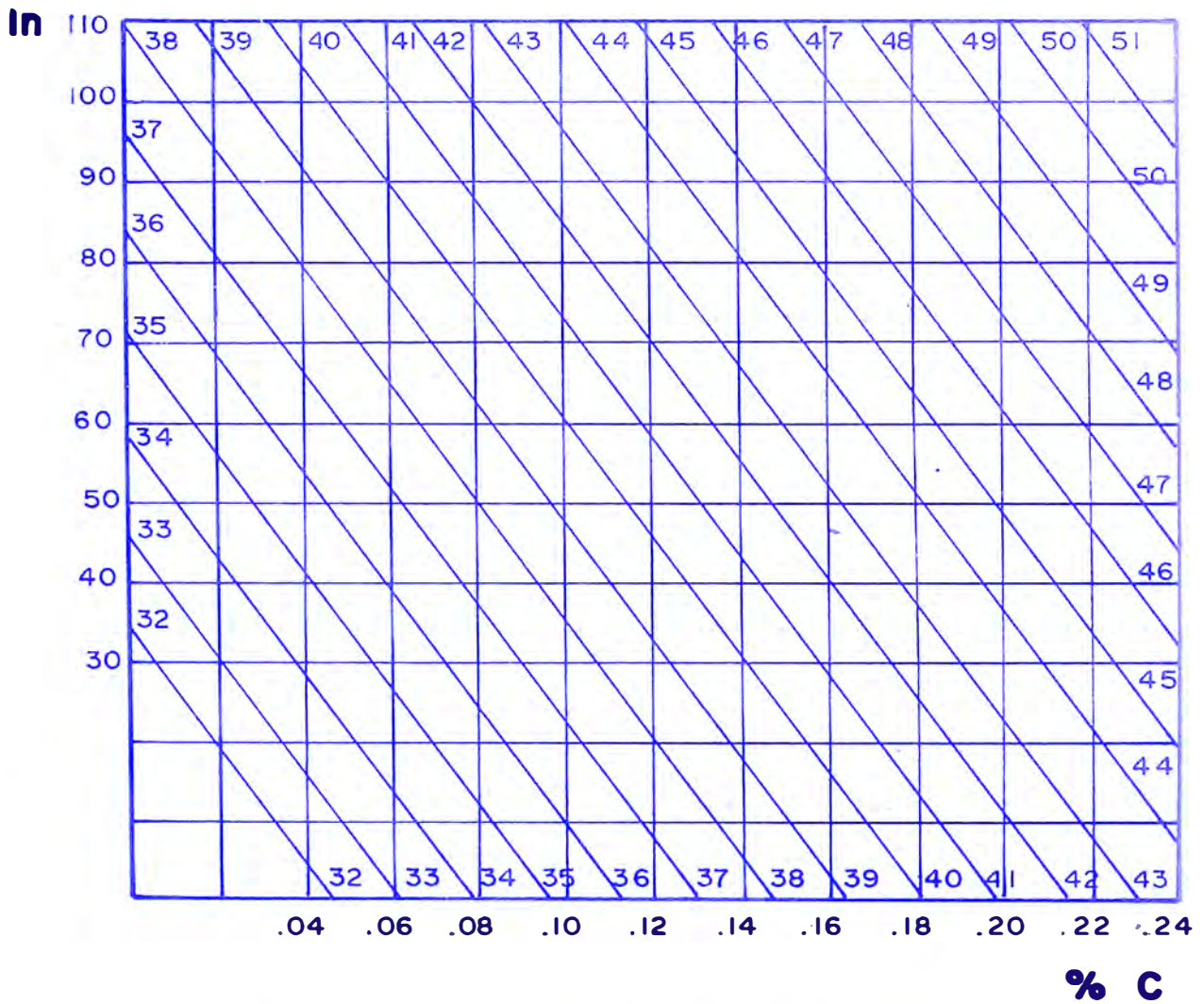
RANGOS DE CARBONO Y MANGANESO MAS RECOMENDABLES

| Espesor<br>( mm ) | Demanda Nacional % | % C       | % Mn      | % C + % Mn/6 |
|-------------------|--------------------|-----------|-----------|--------------|
| 3.0               | 6.4                | 0.16/0.20 | 0.60/0.75 | 0.26/0.33    |
| 5.0               | 11.4               | 0.16/0.20 | 0.60/0.75 | 0.26/0.33    |
| 6.4               | 31.4               | 0.16/0.20 | 0.60/0.75 | 0.26/0.33    |
| 8.0               | 22.5               | 0.16/0.20 | 0.60/0.75 | 0.26/0.33    |
| 9.5               | 15.6               | 0.16/0.20 | 0.60/0.75 | 0.26/0.33    |
| 12.5              | 7.5                | 0.17/0.21 | 0.75/0.90 | 0.29/0.36    |
| 16.0              | 1.5                | 0.17/0.21 | 0.75/0.90 | 0.29/0.36    |
| 20.0              | 1.3                | 0.17/0.21 | 0.75/0.90 | 0.29/0.36    |
| 25.0              | 1.6                | 0.17/0.21 | 0.75/0.90 | 0.29/0.36    |
| 32.0              | 0.2                | 0.17/0.21 | 0.75/0.90 | 0.29/0.36    |
| 38.0              | 0.3                | 0.18/0.23 | 0.75/0.90 | 0.31/0.38    |
| 50.0              | 0.3                | 0.21/0.23 | 0.80/0.90 | 0.34/0.38    |
|                   | -----              |           |           |              |
|                   | 100.0              |           |           |              |

### CONSTANTES

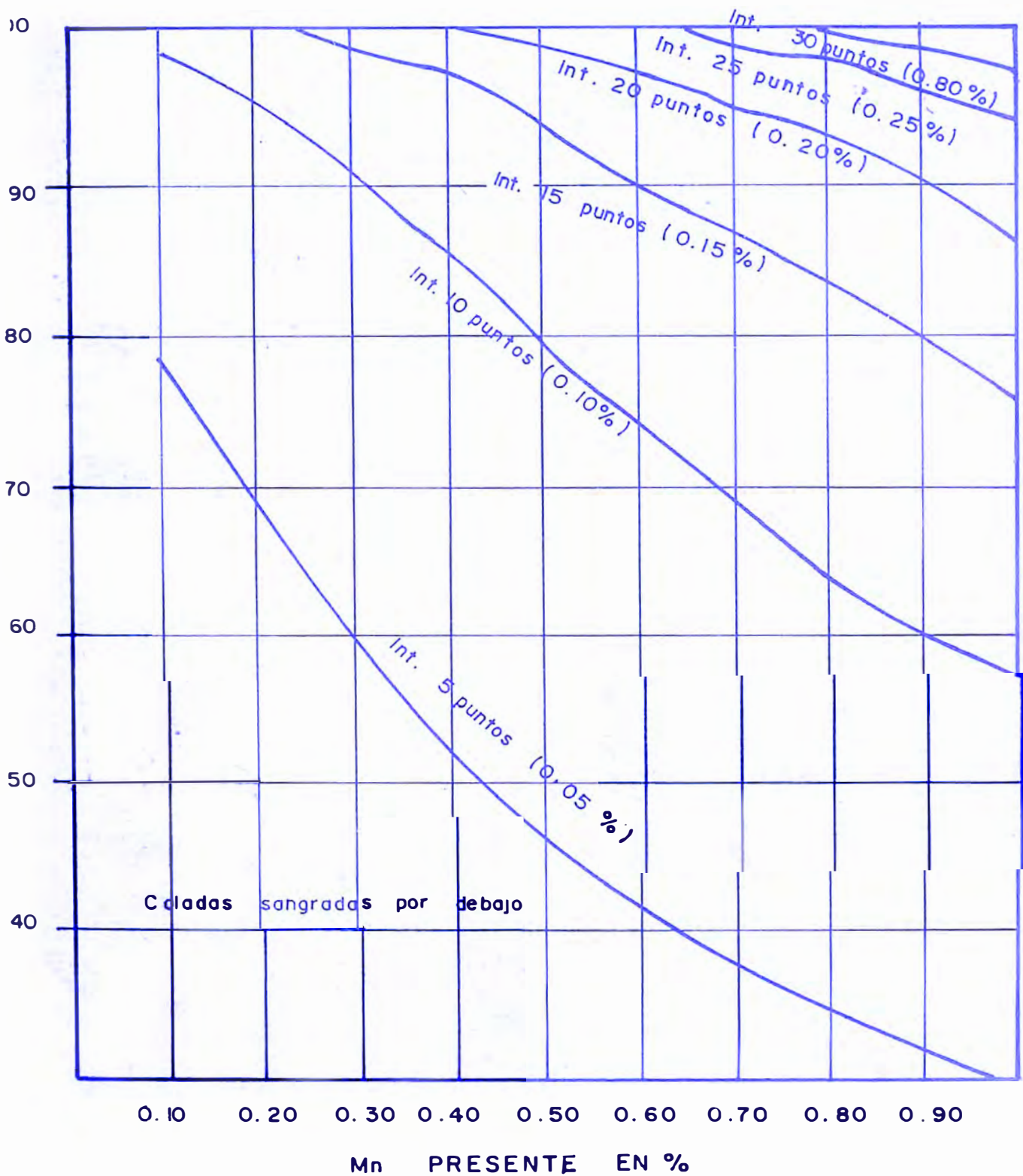
S = 0.05 %

P = 0.04 %



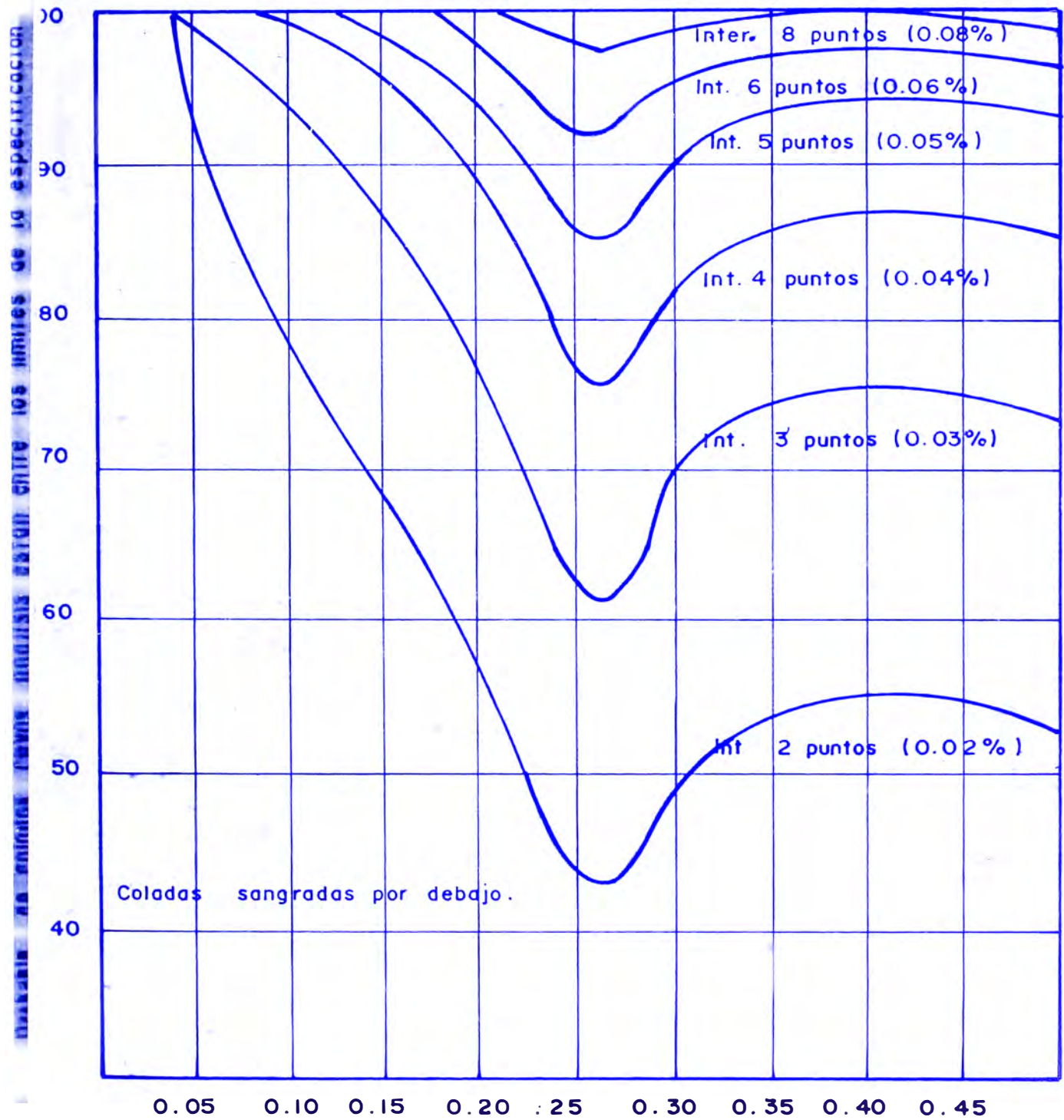
RELACION DE LA RESISTENCIA A LA TRACCION ( $\text{Kg}/\text{mm}^2$ ) CON LOS CONTENIDOS DE C y Mn

FIGURA N° 3.1



Nº de coladas q probablemente se obtienen entre limites en funcion del contenido en manganeso y de la amplitud de los limites especificados

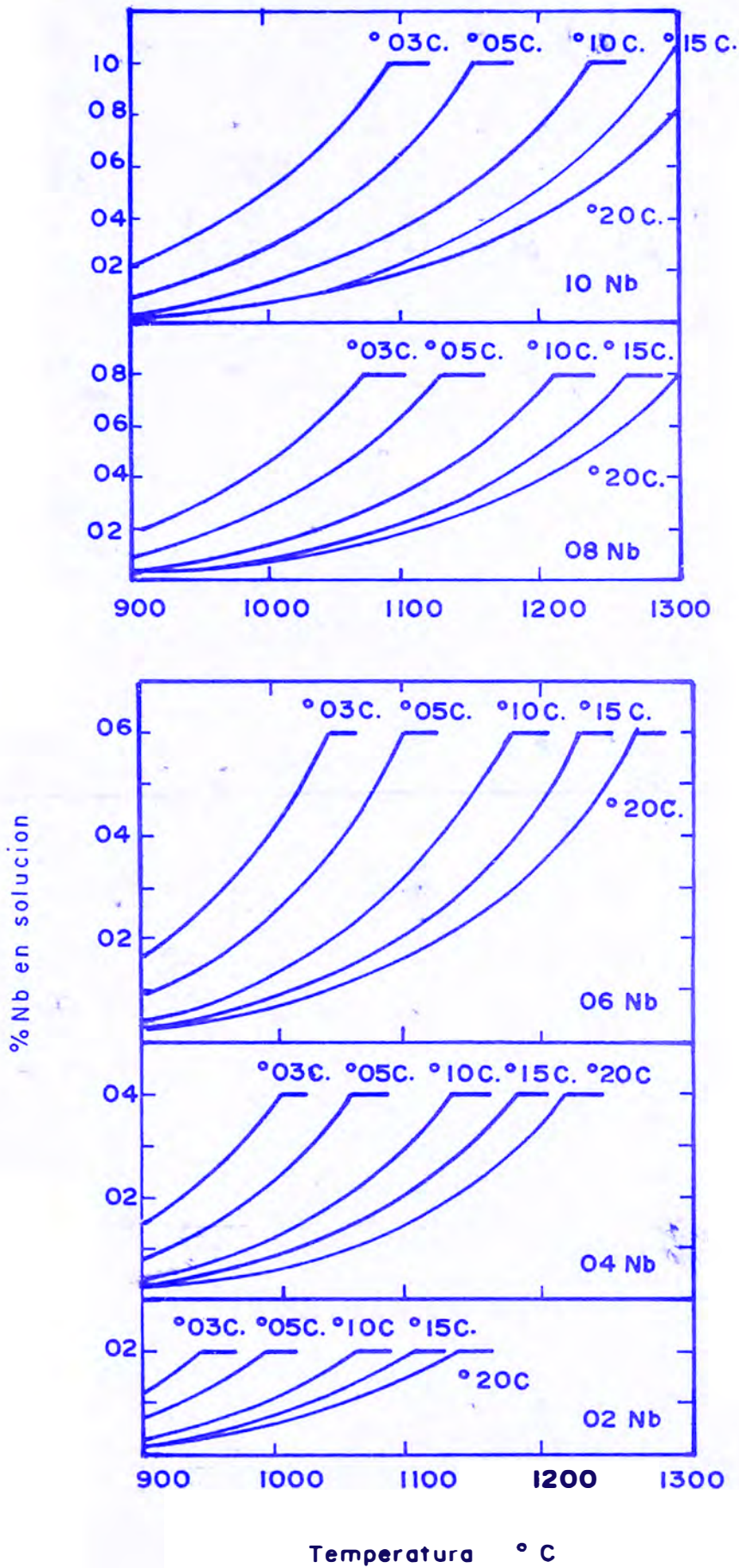
FIGURA Nº 3.3



C PRESENTE EN %

Nº de coladas que probablemente se obtienen entre límites en función del contenido de C. y de la amplitud de los límites especificados

FIGURA Nº 3.2



Cantidad de Nb en solución a distintas temperaturas para diversos contenidos de C y Nb

FIGURA N° 3.4

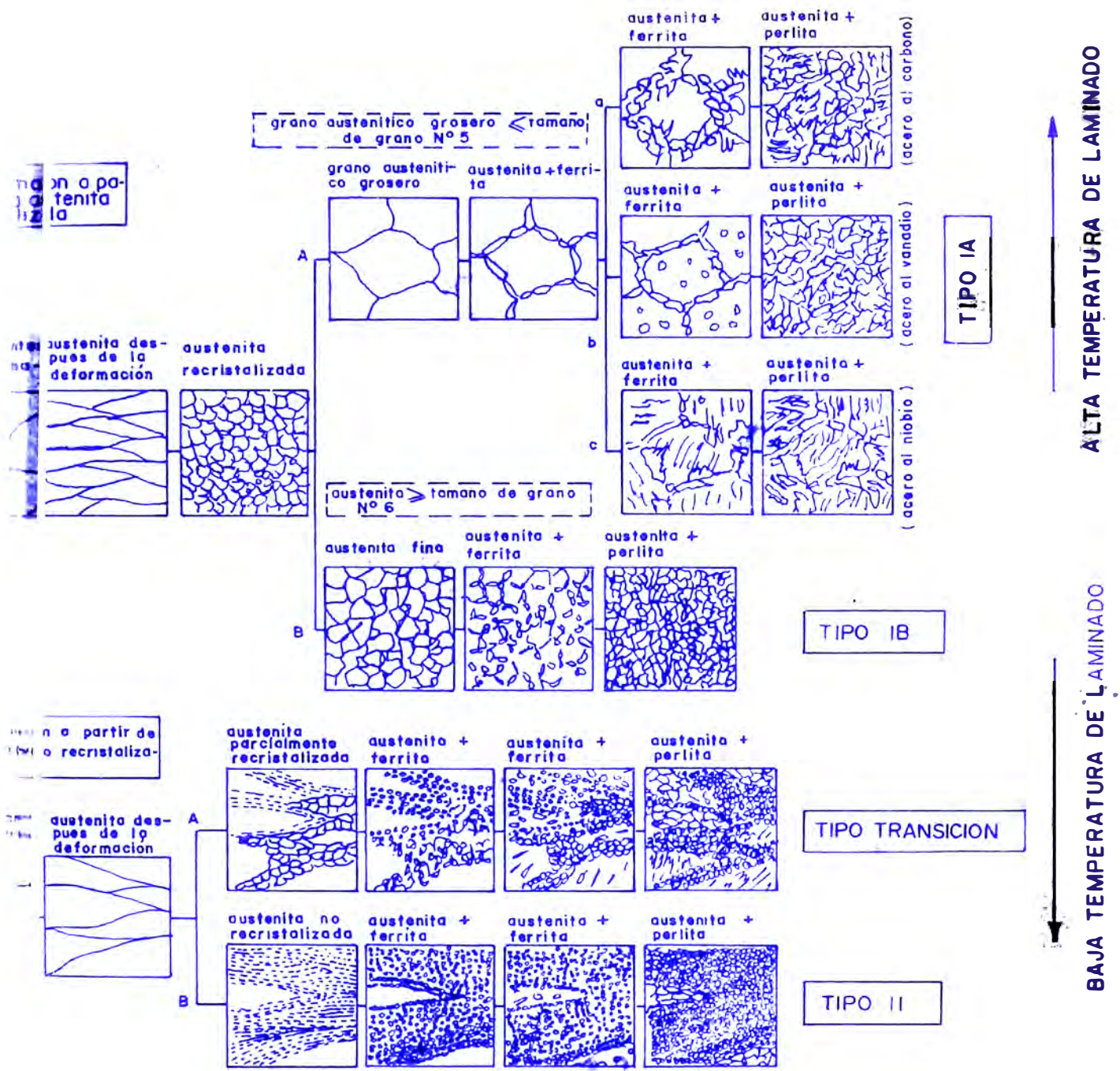
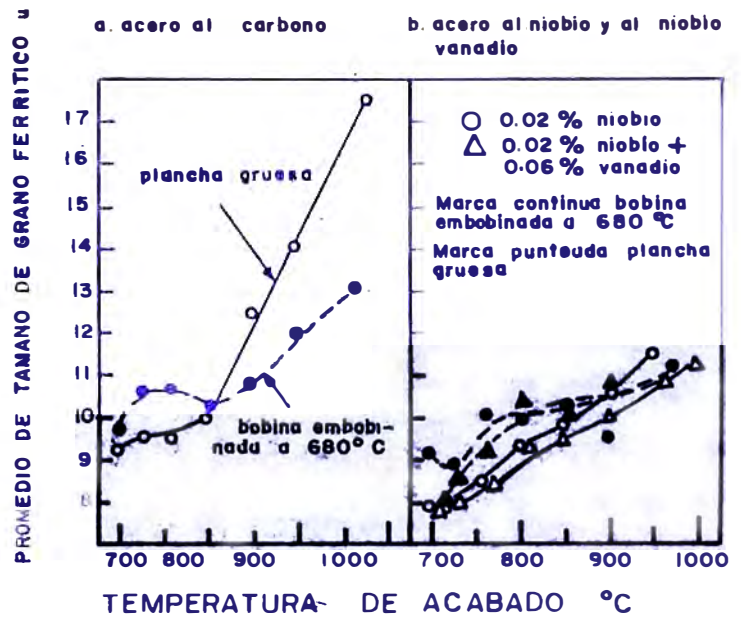


Diagrama esquemático de tipos de transformación de la ferrita para el trabajado en caliente de aceros.

FIGURA N° 3.5



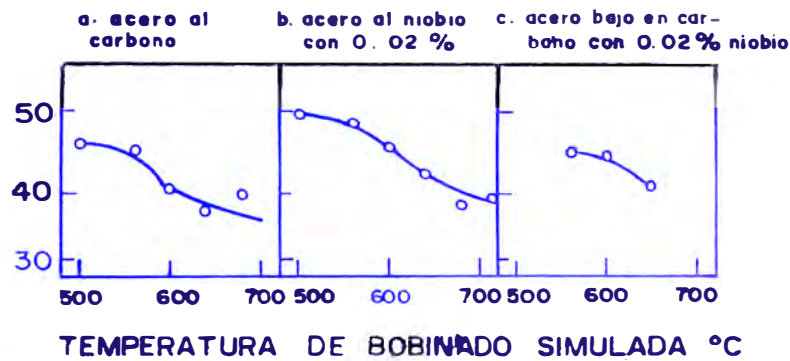


**FIGURA N° 3.7** - Efecto de la temperatura de acabado en el promedio de grano ferrítico en plancha gruesa y alta temperatura de bobinado en bobina

|                                           |      | TEMPERATURA DE TRABAJADO EN CALIENTE $^{\circ}\text{C}$ |      |                 |      |                 |                 |     |     |     |     |
|-------------------------------------------|------|---------------------------------------------------------|------|-----------------|------|-----------------|-----------------|-----|-----|-----|-----|
|                                           |      | 1220                                                    | 1150 | 1080            | 1010 | 940             | 870             | 800 | 750 | 700 | 670 |
| TEMPERATURA DE ACABADO $^{\circ}\text{C}$ | 1200 | IA                                                      | IB   |                 |      |                 | TIPO Transición |     | II  |     |     |
|                                           | 1100 | IA                                                      | IB   |                 |      | TIPO Transición |                 | II  |     |     |     |
|                                           | 1000 | IA                                                      | IB   | TIPO Transición |      | II              |                 |     |     |     |     |
|                                           | 900  | IA                                                      | IB   | TIPO Transición |      | II              |                 |     |     |     |     |

**3.6** Relación entre el tipo de transformación austenita - ferrita y la temperatura de acabado en caliente en varios aceros. Los aceros fueron calentados a la temperatura de  $1250^{\circ}\text{C}$  y deformados 75 % a las temperaturas mostradas.

LIMITE ELASTICO Kg/mm<sup>2</sup>



Efecto de la temperatura de bobinado, simulada, sobre el limite elastico de tre aceros teniendo como base 0.12% C 1.3% Mn excepto el acero al niobio de bajo carbono que tiene 0.05% C todos los aceros fueron acabados a 800 °C

FIGURA N° 3.8

## CAPITULO IV

### ESPECIFICACIONES DE FABRICACION Y NORMAS TECNICAS DE ACERO NAVAL GRADO "A"

De acuerdo a las especificaciones presentadas y exigidas por Lloyd's Register of Shipping, se confeccionó las especificaciones de fabricación y normas técnicas para la planta siderúrgica en todos y cada uno de los diferentes procesos y operaciones, de tal forma de poder cumplir con tales exigencias y abastecer nuestros productos planos al mercado. Este acero se designa con el código interno 19 B .

Es así que se presentan cinco secciones que son :

- a) Práctica standard de fabricación en Acería ,
- b) Práctica standard de calentamiento de hornos ,
- c) Práctica standard de Laminación ,
- d) Ensayos y ,
- e) Especificaciones garantizadas según catálogo interno.

#### 4.1 Práctica Standard de Fabricación en Acería .

Como se ha indicado anteriormente, la fabricación que se presenta y la aprobación que finalmente hace la Sociedad Lloyd's Register of Shipping es por método de los hornos eléctricos .

Esta práctica comprende :

- 1.- Fabricación : Hornos eléctricos-Nave de Colada .
- 2.- Grado de desoxidación : Semicalmado.
- 3.- Uso : Acero Naval .
- 4.- Composición Química :

|       | % C       | % Mn      | % Si     | % S       | % P       |
|-------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| 19B-1 | 0.17/0.21 | 0.73/0.85 | 0.10máx. | 0.035máx. | 0.035máx. |
| 19B-2 | 0.18/0.22 | 0.86/1.00 | 0.10 máx | 0.035máx. | 0.035máx. |

- 5.- Carga :  
Metálica : Para obtener el acero programado .  
Cal : Para obtener la basicidad mínima 2.5  
Espatofluor : Para fluidizar la escoria .
- 6.- Carbono preliminar .  
Fin de fusión : 0.25 % mínimo.  
Antes de colar : 0.10 % mínimo.
- 7.- Temperaturas  
Antes de colar : 1620/1630 °C  
En la cuchara : 1545/1555 °C
- 8.- Afino  
Decarburar con oxígeno y/o pellets .

9.- Condiciones en la cuchara .

Caliente y sin fondo metálico .

Diámetro de tobera : 50 mm

10.- Tiempo de colada del horno .

De 3 a 5 minutos .

En lo que respecta a la desoxidación se tiene :

1.- Desoxidación en la cuchara.

a) Se adiciona 45 Kgs. de Fe.Si de 45 % al tener 3 toneladas de acero en la cuchara .

b) Se adiciona Fe.Mn standard o refinado según análisis preliminar entre 1/3 y 2/3 de altura de la cuchara (aproximadamente al tener entre 10 tons. y 20 tons. de acero en la cuchara).

2.- Desoxidación en la lingotera :

Para completar la desoxidación del acero se adiciona aluminio en granallas lo necesario como para obtener un tope ligeramente convexo en el lingote .

4.2 Práctica Standard de Hornos de Calentamiento .

El acero naval se lamina en dos etapas :

1a.- Etapa :

Laminación de lingote a planchón corto o largo. Los planchones cortos son destinados a la fabricación de planchas gruesas de 6.4 a 50 mm de espesor, y los planchones lar-

gos a la fabricación de planchas delgadas, en forma de bobinas, de 2 a 5 mm de espesor .

El calentamiento de lingotes se realiza en los hornos de foso de 90 toneladas de capacidad por una carga completa.

2a.- Etapa :

Laminación de planchón - corto o largo a planchas gruesas o bobinas .

El calentamiento de planchones se realiza en los hornos de planchones; dependiendo de la calidad y dimensiones de los planchones, la capacidad del horno llega hasta 100 tons/Hr.

Las prácticas de calentamiento en hornos son:

a) Hornos de Foso

carga fría :

temperatura máxima de carga : 1150 °C

temperatura de fin de carga : 850 °C

mantenimiento 1/2 hora a : 850 °C

velocidad de calentamiento a 1100 °C : 90 °C/Hr. maximo

mantenimiento 1/2 Hr a : 1100 °C

velocidad de calentamiento a 1300 °C : 120 °C/hr maximo

temperatura de igualización : 1290-1300 °C

tiempo de igualización;

lingote tipo A : 5 - 5 1/2 horas

lingote tipo G : 5 1/2 - 6 horas

|                                      |   |                  |
|--------------------------------------|---|------------------|
| lingote tipo B                       | : | 6 - 6 1/2 horas  |
| Carga caliente                       |   |                  |
| temperatura máxima de carga          | : | 1200 °C          |
| temperatura de fin de carga          | : | 1000 °C          |
| mantenimiento 1/2 Hr. a              | : | 1000 °C          |
| velocidad de calentamiento a 1300 °C | : | 120 °C/Hr max    |
| temperatura de igualización          | : | 1290 - 1300 °C   |
| tiempo de igualización ;             |   |                  |
| lingote tipo A, G y B                | : | 2 a 4 1/2 horas. |

Nota .-

El ciclo se aplica a :

lingotes con tiempo-de tránsito (T.T) menor a 5 Hrs ;  
 lingotes mantenidos en hornos de campana a 1000 °C ;  
 el tiempo de igualización es función del tiempo de tránsito .

En ambos ciclos de calentamiento se observan también los siguientes datos :

- consumo máximo de combustible para iniciar la laminación:  
20 % de petróleo .
- atmósfera del horno : ligeramente oxidante ( 2 % de exceso de oxígeno máximo ) .
- presión del horno : 0.8 mm de agua .

#### b) Horno de Planchones

Los parámetros de calentamiento se realizan en las tres

zonas de éste , que son :

Zona alta ,

Zona baja y

Zona de Igualización .

Práctica Standard :

#### 1.- De temperaturas

Zona alta : 1300 - 1360 °C

Zona baja : 1270 - 1300 °C

Zona de Igualización : 1260 - 1280 °C

#### 2.- Tiempo

De 1 Hr 30' a 2 Hr 30' para espesores de planchón de 100 y 200 mm respectivamente .

El tiempo total estará de acuerdo a la ecuación :

$$T.t = e / 0.8 \text{ (mm/min)} + 30' \text{ ( igualización )}$$

donde :

T.t = tiempo total

e = espesor del planchón en mm .

30' = tiempo de igualización en minutos; es constante para todos los espesores .

#### 3.- Presión

Entre 0.2 y 0.5 mm de agua .

#### 4.- Atmósfera

El exceso de oxígeno debe estar comprendido entre 1 y 2 %



### 4.3 Práctica Standard de Laminación .

En la laminación de lingote a planchón en el Dúo, se utilizan tres tipos de lingote de las siguientes características :

| Tipo de lingote | Dimensiones (mm) |       | Peso (tons) |
|-----------------|------------------|-------|-------------|
|                 | espesor          | ancho |             |
| A               | 500              | 1260  | 7.5         |
| B               | 610              | 1140  | 8.0         |
| G               | 570              | 1260  | 10.0        |

Los tipos A y B se utilizan para obtener planchones largos y los tipos A y G para planchones cortos

#### 4.3.1 Laminación a planchones largos

a) espesores :

| Tipo de lingote | Dimensiones del planchón ( mm ) | % reducción |
|-----------------|---------------------------------|-------------|
| A               | 130 x 1245                      | 74          |
| B               | 180 x 940                       | 70          |

b) temperatura de acabado :  
mínima : 1050 °C

#### 4.3.2 Laminación a planchones cortos .

a) espesores :

| Tipo de lingote | Dimensiones del planchón (mm) |      | reduccion |
|-----------------|-------------------------------|------|-----------|
|                 | e                             | A    |           |
| A               | 90-100                        | 1245 | 82-80     |
|                 | 125-135                       | 1245 | 75-73     |
|                 | 125-165                       | 1245 | 75-67     |
|                 | 160-170                       | 1245 | 68-66     |
| G               | 160-170                       | 1245 | 72-70     |
|                 | 170-190                       | 1245 | 70-67     |
|                 | 190-200                       | 1245 | 67        |
|                 | 200-210                       | 1245 | 65        |

b) temperatura de acabado :  
mínima : 1050 °C

#### 4.3.3 Laminación a bobina .

a) espesores :

Se obtienen generalmente los espesores de 3.0 y 5.0 mm y en algunos casos 6.4 mm .

b) temperatura de entrada al Steckel : 1000-1050 °C mín.

c) temperatura de acabado y bobinado :

|             |           |          |
|-------------|-----------|----------|
| espesor mm. | T°C acab. | T°C bob. |
| 6.4 a menos | 870/910°  | 620/640° |

#### 4.3.4 Laminación a planchas gruesas

En la laminación a planchas gruesas se utiliza el laminador en forma de cuarto, es decir, dos cilindros de apoyo y dos cilindros de trabajo; este laminador es reversible .

a) espesores :

| Espesor Plancha<br>Gruesa ( mm ) | Espesor de<br>planchón(mm) | %<br>reducción |
|----------------------------------|----------------------------|----------------|
| 6.4                              | 90 - 100                   | 92.8 - 94.6    |
| 8.0 - 9.5                        | 125 135                    | 93.6 - 93.0    |
| 12.5                             | 125 - 165                  | 90.0 - 92.4    |
| 16.0                             | 160 - 170                  | 90.0 - 90.6    |
| 20.0                             | 170 190                    | 88.2 - 89.5    |
| 25.0                             | 190                        | 86.8           |
| 32.0                             | 190 - 200                  | 83.1 - 84.0    |
| 38.0                             | 200 210                    | 81.0 - 82.0    |
| 50.0                             | 210                        | 76.2           |

b) temperatura de acabado :

|              |            |
|--------------|------------|
| espesor (mm) | T°C acab . |
| 5.0          | 860/900°   |
| 5.1 10.0     | 880/930°   |
| 10.1 - 50.0  | 880/940°   |

#### 4.4 Ensayos Mecánicos.

Como ya se ha indicado en el capítulo II, los ensayos mecánicos y metalográficos se hacen cumpliendo las normas Lloyd's y/o sus equivalencias con Normas Internacionales, en este caso se realizan en nuestros laboratorios los ensayos correspondientes cumpliendo las normas ASTM.

##### 4.4.1. Ensayo de Tracción.

De acuerdo a la norma ASTM. Designación 370 ver figura Nº 4.1 .

##### 4.4.2. Ensayo de Doblado.

De acuerdo a la norma ASTM. Designación 370 ver figura Nº 4.1 .

##### 4.4.3. Ensayo de resiliencia.

De acuerdo a la Norma ASTM. Designación 370 ver figura Nº 4.1 .

#### 4.5. Especificaciones Garantizadas según Catálogo Interno.

##### 4.5.1. Composición Química.

Se garantiza de acuerdo al cuadro siguiente.

### Calidad Naval

| Designación | EQUIVALENCIA | C    | Si   | Mn   | P    | S    | C+   | $\frac{Mn}{6}$ |
|-------------|--------------|------|------|------|------|------|------|----------------|
| SIDERPERU   |              | max  | max  | min  | max  | max  | max  | max            |
| PG - NA     | LRS - °A     | 0.23 | 0.50 | 2.5C | 0.04 | 0.04 | 0.40 |                |
| PDC - NA    |              |      |      | (1)  |      |      |      | (2)            |

#### Notas:

(1) Para espesores mayores de 12.5 mm, el contenido de manganeso no debe ser menos que 2.5 veces el contenido de carbono.

(2) En todos los espesores el contenido de carbono mas  $\frac{1}{6}$  del contenido de manganeso no debe exceder de 0.40% .

#### 4.5.2. Propiedades Físicas.

a) Planchas delgadas laminadas en caliente (Bobinas).

| L. E                    | C. R                    | A    | Probeta |
|-------------------------|-------------------------|------|---------|
| kg / mm <sup>2</sup>    | Kg / mm <sup>2</sup>    | %    | ( mm )  |
| ( N / mm <sup>2</sup> ) | ( N / mm <sup>2</sup> ) | mín. |         |
| mín.                    |                         |      |         |
| 24                      | 41 - 50                 | 15   | 50      |
| (230)                   | (400 - 490)             |      |         |

b) Planchas Gruesas .

| L. E                    | C. R                    | A       | Probeta |
|-------------------------|-------------------------|---------|---------|
| Kg / mm <sup>2</sup>    | Kg / mm <sup>2</sup>    | %       | ( mm )  |
| ( N / mm <sup>2</sup> ) | ( N / mm <sup>2</sup> ) | esp(mm) | %mín.   |
| 24                      | 41 - 50                 | - 10    | 16      |
| (230)                   | (400 - 490)             | 10 - 15 | 17      |
| (1)                     |                         | 15 - 20 | 18      |
|                         |                         | 20 - 25 | 19      |
|                         |                         | 25 - 35 | 20      |
|                         |                         | 35      | 21      |

Nota :

(1) Para espesores mayores a 25.4 mm ( 1" ) el valor del L. E es 23 Kg/mm<sup>2</sup> ( 220 N/mm<sup>2</sup> ) mínimo .

4.5.3 Planchas delgadas laminadas en Caliente .

#### 4.5.3.1 Dimensiones de producción normal .

a) Espesor / Ancho .

| Espesor<br>( mm ) | Ancho ( mm ) |      |
|-------------------|--------------|------|
|                   | 920          | 1220 |
| 2.5               | /            | /    |
| 3.0               | /            | /    |
| 5.0               | /            | /    |

b) Longitud ( mm ) .

2400 ; 3000 ; 4800 ; 6000

Se suministran en paquetes de 2 T.M aproximadamente .

#### 4.5.3.2 Tolerancias Dimensionales .

a) En el espesor .

| Espesor<br>nominal<br>( mm ) | Discrepancias admisibles para anchos<br>nominales ( mm ) . |      |      |      |
|------------------------------|------------------------------------------------------------|------|------|------|
|                              | 920                                                        |      | 1220 |      |
|                              | +                                                          | -    | +    | -    |
| 2.5                          | 0.24                                                       | 0.24 | 0.25 | 0.25 |
| 3.0                          | 0.26                                                       | 0.26 | 0.29 | 0.29 |
| 5.0                          | 0.33                                                       | 0.33 | 0.36 | 0.36 |

b) En el ancho .

| Ancho nominal<br>( mm ) | Discrepancia admisible ( mm ) |   |
|-------------------------|-------------------------------|---|
|                         | +                             | - |
| 920                     | 6                             | 0 |
| 1220                    | 8                             | 0 |

c) En la longitud .

| Longitud nominal<br>( mm ) | Discrepancia admisible ( mm ) |   |
|----------------------------|-------------------------------|---|
|                            | +                             | - |
| 2400                       | 25                            | 0 |
| 3000                       | 25                            | 0 |
| 4800                       | 38                            | 0 |
| 6000                       | 45                            | 0 |

4.5.3.3 Falta de aplanado .

| Ancho nominal<br>( mm ) | Desviación de aplanado<br>admisible (mm) |
|-------------------------|------------------------------------------|
| 920                     | 15                                       |
| 1220                    | 18                                       |

4.5.3.4 Flecha ( curvado )



| Longitud nominal<br>(mm) | Flecha máxima<br>admisible (mm) |
|--------------------------|---------------------------------|
| 2400                     | 8                               |
| 3000                     | 8                               |
| 4800                     | 16                              |
| 6000                     | 22                              |

#### 4.5.3.5. Fuera de escuadra ( descuadrado)

| Ancho nominal<br>(mm) | Discrepancia máxima<br>admisible (mm) |
|-----------------------|---------------------------------------|
| 920                   | 9.0                                   |
| 1220                  | 12.0                                  |

#### 4.5.4. Planchas Gruesas laminadas en Caliente.

##### 4.5.4.1. Dimensiones de producción normal

##### a) Espesor/Ancho

| espesor<br>(mm) | Ancho (mm) |      |      |
|-----------------|------------|------|------|
|                 | 1220       | 1520 | 1800 |
| 6.4             | /          | /    | /    |
| 8.0             | /          | /    | /    |
| 9.5             | /          | /    | /    |
| 12.5            | /          | /    | /    |
| 16.0            | /          | /    | /    |
| 20.0            | /          | /    | /    |

|      |   |   |   |
|------|---|---|---|
| 25.0 | / | / | / |
| 32.0 | / | / | / |

b) Longitud (mm)

2400 ; 3000 ; 3600 ; 4800 ; 6000

Se pueden suministrar en espesores mayores a 32mm hasta 100mm. previa consulta con la planta.

También se suministrarán con bordes de laminación.

El embalaje para espesores entre 5.0 y 9.5 será por paquetes.

Las planchas con espesores mayores a 9.5 mm. se suministrarán sueltas.

4.5.4.2. Tolerancias dimensionales.

a) En el espesor

| Espesor nominal<br>( mm ) | Discrepancias admisibles para anchos nominales (mm) |      |      |      |      |      |
|---------------------------|-----------------------------------------------------|------|------|------|------|------|
|                           | 1220                                                |      | 1520 |      | 1800 |      |
|                           | +                                                   | -    | +    | -    | +    | -    |
| 6.4                       | 0.60                                                | 0.25 | 0.64 | 0.25 | 0.64 | 0.25 |
| 8.0                       | 0.64                                                | 0.25 | 0.72 | 0.25 | 0.72 | 0.25 |
| 9.5                       | 0.67                                                | 0.25 | 0.76 | 0.25 | 0.76 | 0.25 |
| 12.5                      | 0.69                                                | 0.40 | 0.76 | 0.40 | 0.76 | 0.40 |
| 16.0                      | 0.88                                                | 0.40 | 0.88 | 0.40 | 0.88 | 0.40 |
| 20.0                      | 1.10                                                | 0.40 | 1.10 | 0.40 | 1.10 | 0.40 |
| 25.0                      | 1.38                                                | 0.40 | 1.38 | 0.40 | 1.38 | 0.40 |
| 32.0                      | 1.60                                                | 0.40 | 1.60 | 0.40 | 1.60 | 0.40 |

b) En el ancho

| Espesor nominal<br>( mm ) | Discrepancia admisible (mm) |    |
|---------------------------|-----------------------------|----|
|                           | +                           | -  |
|                           | 6.4-8.0                     | 13 |
| 9.5-32.0                  | 13                          | 0  |

c) En la longitud

| Ancho nominal<br>( mm ) | Longitud nominal<br>( mm ) | Discrepancias admisibles para espesores nominales ( mm ) |   |              |   |
|-------------------------|----------------------------|----------------------------------------------------------|---|--------------|---|
|                         |                            | e ≤ 8.0                                                  |   | 8.0 < e ≤ 32 |   |
|                         |                            | +                                                        | - | +            | - |
| 1220                    | 2400; 3000                 | 13                                                       | 6 | -            | - |
|                         | 3600; 4800; 6000           | 19                                                       | 6 | -            | - |
| 1520                    | 2400; 3000; 3600           |                                                          |   |              |   |
| 1800                    | 4800; 6000                 | 13                                                       | 0 | 13           | 0 |

#### 4.5.4.3 Falta de aplanado

| Espesor nominal<br>(mm) | Desviación de aplanado admisible para<br>anchos nominales (mm) |      |      |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------|------|------|
|                         | 1220                                                           | 1520 | 1800 |
| 6.4; 8.0; 9.5           | 22                                                             | 27   | 27   |
| 12.5                    | 18                                                             | 19   | 19   |
| 16.0; 20.0; 25.0        | 16                                                             | 18   | 18   |
| 32.0                    | 14                                                             | 16   | 16   |

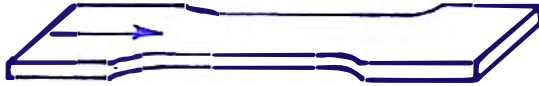
#### 4.5.4.4 Flecha ( curvado )

La flecha máxima admisible será igual al 0.21 % de la longitud nominal .

ASTMA 370



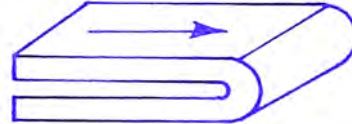
Muestra longitudinal



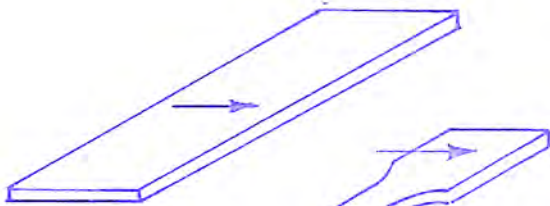
Prueba de tension plano longitudinal



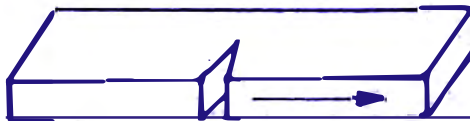
Prueba de tension redonda longitudinal



Prueba de doblado longitudinal



Muestra transversal

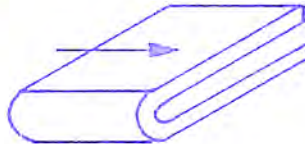


Prueba al impacto longitudinal

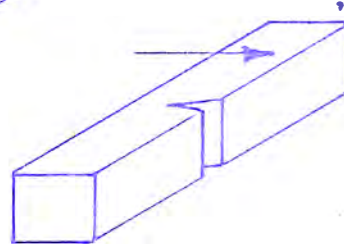
Prueba de tension plana transversal



Prueba de doblado transversal



Prueba de impacto transversal



La Relación de las muestras para ensayos, y los muestras de prueba en direccion de la laminacion o extension (aplicables a productos brutos en general)

FIGURA N° 4.1

## CAPITULO V

### OPTIMIZACION EN LA FABRICACION DE BOBINAS Y PLANCHAS GRUESAS.

Se analizan los primeros resultados obtenidos con respecto a propiedades mecánicas- límite elástico, carga de rotura, porcentaje de alargamiento y doblado - mínimas exigidas por Lloyd's .

En el Capítulo IV hemos visto que el espesor máximo de producción según catálogo es de 32 mm, sin embargo son solicitados espesores mayores - 38 y 50 mm - especialmente 50 mm cuya necesidad fué de aproximadamente 800 toneladas.

Se confeccionó una tabla de fabricación inicial , teniendo en cuenta este espesor, según la composición química y tal como se muestra en la Tabla Nº 5.1

#### 5.1 Evaluación de propiedades mecánicas .

Esta primera evaluación de pruebas físicas se realizaron durante el periodo de enero-agosto de 1975 donde se analizaron las causas de los materiales defectuosos. Se separaron en dos grupos .

- a) Espesores menores a una pulgada .
- b) Espesores mayores a una pulgada .

Según se muestra en la tabla Nº 5.2, para el primer grupo el promedio de defectuosos fué 9.9 % ( 27 pruebas defectuosas de un total de 273 ); para el segundo grupo el promedio

de defectuosos fué 29 % ( 11 pruebas de un total de 38)

El total de defectuosos sobre un total de 311 pruebas fué 12.2 % ( 38 pruebas ).

#### 5.1.1 Análisis de resultados : bobinas

a) Espesor : 3 mm . Tabla Nº 5.2 (a)

Se realizaron cuatro ensayos fallando uno por carga de rotura alta. El análisis químico de chequeo, reportó alto % de carbono ( 0.21 % ), lo que fué motivo de la falla .

b) Espesor : 5 mm . Tabla Nº 5.2 (a)

Se realizaron 23 ensayos, cuatro fueron defectuosos por carga de rotura y uno por límite elástico. Un mismo ensayo falló en carga de rotura y límite elástico, ambos en menos, el análisis químico reportó bajo carbono y manganeso, 0.16 % y 0.65 % respectivamente . Los tres ensayos restantes fallados por C.R mostraron una evidente alta temperatura de bobinado 670 - 690 °C .

#### 5.1.2 Análisis de resultados : planchas gruesas

a) Espesor : 6.4 mm . Tabla Nº 5.2 (a)

Total de ensayos : 133 ; defectuosos 11 por carga de rotura en más . El motivo fué alto carbono ( mayor de 0.20 %) Se observa que el promedio de C.R es alto - 49 Kg/ mm<sup>2</sup> - esto se controlará especificando carbono y manganeso máximos. El problema con el alargamiento fué falla del material.

b) Espesor : 8.0 mm . Tabla Nº 5.2 (a)

Total de ensayos : 26 ; defectuosos 2 por C.R. en más, motivado por carbono alto ( 0.20 % ). El promedio de L.E y % de alargamiento es satisfactorio; en cambio el de C.R está un poco elevado -  $48 \text{ Kg/mm}^2$  - lo que se controlará estableciendo carbono y manganeso máximos.

c) Espesor : 9.5 mm . Tabla Nº 5.2 (a)

Total de ensayos : 35 ; defectuosos 4 por C.R. en mas, motivado por carbono y manganeso alto. Este problema es idéntico a los anteriores y de igual forma su corrección. Los promedios de L.E y % de alargamiento son satisfactorios, siendo el de C.R :  $47 \text{ Kg/mm}^2$  el cual ya está próximo al requerido por Lloyd's que viene a ser  $45.5 \text{ Kg/mm}^2$ .

d) Espesor : 12.5 mm . Tabla Nº 5.2 (a)

Total de ensayos : 25 . No hay defectuosos. Los promedios de L.E , C.R, y % A al igual que para 9.5 mm son satisfactorios . El análisis químico de comprobación para éste espesor estuvo comprendido entre 0.17/0.19 % C y 0.74/0.82 % Mn .

e) Espesor : 16.0 mm . Tabla Nº 5.2 (a)

Total de ensayos : 7 ; defectuosos 1 por L.E en menos. Este límite elástico fué calculado, ya que durante la prueba no se observó. De igual forma los promedios de L.E , C.R y %A son excelentes, el porcentaje de alargamiento es el mayor



promedio de todos los espesores de este grupo : 29% . El análisis metalográfico reporta estructura ferrítica de tamaño de grano 7.0 ASTM con buena proporción de perlita situada entre los granos ferríticos. Inclusiones : despreciable. La temperatura de acabado estuvo en el rango 850/880°C

f) Espesor : 20.0 mm . Tabla Nº 5.2 (a)  
Total de ensayos : 20, defectuosos 4, por L.E. (3) y por C. R. (1) en menos y en más respectivamente. Dos límites elásticos fueron ocasionados por alta temperatura de acabado ( 1010°C ). Un límite elástico bajo por bajo manganeso y la carga de rotura alta por estructura Widmanstätten

g) Espesor : 25.0 mm. Tabla Nº 5.2 (b)  
Total ensayos : 16, defectuosos 6, motivado por L.E. bajos por temperatura de acabado alta ( 980°C ). Los promedios de C.R. y %A son satisfactorios , el de L.E. es bajo ( 24 Kg/mm ). El bajo L.E. se deberá solucionar con menor temperatura de acabado ( 900 - 920°C ).

h) Espesor : 32.0 mm. Tabla Nº 5.2 (b)  
Total ensayos : 8; defectuosos ninguno. Los promedios de C.R. y %A son satisfactorios, sin embargo el del L.E. es bajo ( 24 Kg/mm<sup>2</sup> ), lo que solucionará con menor temperatura de acabado ( 900 - 920°C ). Es necesario aclarar que

la temperatura de acabado, inicialmente, estaba establecido en el rango de 900 a 980°C para los espesores entre 16.0 y 50.0 mm .

i) Espesor : 38.0 mm. Tabla Nº 5.2 (b)

Sólo se hizo un solo ensayo, fallando por L.E bajo motivado como los anteriores : Temperatura alta de acabado.

l) Espesor : 50.0 mm. Tabla Nº 5.2 (b)

Total de ensayos : 13; defectuosos 4, por L.E. bajo (3) y por alargamiento bajo (2) . La causa del bajo L.E. se debió a alta temperatura de acabado, bajo porcentaje de manganeso y bajo porcentaje de reducción. Este espesor es el más crítico de fabricar dada las limitaciones de equipo. Como se vé en la parte 4.3.4. el % de reducción de planchón a plancha gruesa es baja 76% lo que no permite un mayor afinamiento de grano y lo que favorece una temperatura de acabado alta, lo que influye también en el bajo porcentaje de alargamiento. Sin embargo con un mayor control de los parámetros enunciados, es posible cumplir con las propiedades exigidas por Lloyd's. Fué en base a esta experiencia y resultados que se propuso un ajuste en los parámetros principales que gobiernan las propiedades físicas de un acero al C - Mn, tal como figura en el Capítulo IV que trata sobre especificaciones de fabricación.

La composición química se hizo en base a dos rangos críti-

cos : menores y mayores a una pulgada de espesor ( 19B - 1 y 19B - 2 respectivamente, según códigos internos ) . El análisis estadístico arrojó :

1) Composición química : Capítulo IV - sección 4.1

|         | % C     | % Mn     |
|---------|---------|----------|
| 19B - 1 | .17/.21 | .73/.85  |
| 19B - 2 | .18/.22 | .86/1.00 |

2) Laminación : Capítulo IV - sección .4.3.4

3) Temperaturas de laminación en caliente .

- bobinas : Temperatura de acabado y bobinado . Capítulo IV - sección 4.3.3

- Planchas gruesas : Temperaturas de acabado .  
Capítulo IV - sección 4.3.4

5.2 Estandarización de los parámetros influyentes en las propiedades mecánicas .

De acuerdo a los primeros resultados evaluados en la sección 5.1 , y cumpliendo los parámetros anteriormente propuestos (puntos 1,2 y 3 de la sección 5.1.2) se realiza-

ron en un periodo de 6 meses, las pruebas físicas correspondientes incluyendo doblado. Los ensayos se realizaron a espesores 5, 6.4, 25 y 50 mm. en vista al mayor volumen de producción y espesores críticos. Todos los ensayos fueron en dirección transversal a la de laminado.

### 5.2.1. Bobinas.

| Datos       | 1º Evaluación |      |    | 2º Evaluación |     |    |                       |
|-------------|---------------|------|----|---------------|-----|----|-----------------------|
|             | Ensayos : 23  |      |    | Ensayos : 45  |     |    |                       |
|             | L.E           | C.R  | %A | L.E           | C.R | %A | Doblado <sup>3º</sup> |
| Promedio    | 28            | 44   | 26 | 32            | 47  | 26 | Bueno                 |
| defectuosos | 1             | 4    | -  | -             | -   | -  | -                     |
| ( % )       | 4.3           | 17.4 | -  | -             | -   | -  | -                     |

L.E. Y C.R. en Kg/mm<sup>2</sup> .

Los valores alcanzados son óptimos y los parámetros principales fueron :

|                            | % C       | % Mn     |
|----------------------------|-----------|----------|
| Anál. Químico Cuchara      | : .17/.18 | .80/.84  |
| Anál. Químico Comprobación | : .18/.20 | .82/.86  |
| Rango especificado (19B-1) | : .17/.21 | .73/.85  |
|                            | 1º Eval.  | 2º Eval. |
| T °C acabado               | :860/900  | 850/890  |
| T °C bobinado              | :650/690  | 610/620  |

El efecto de la temperatura de bobinado se muestra en las micrografías N° 2a y 2b correspondientes a 5 mm de espesor de bobina .

### 5.222 Planchas Gruesas .

a) Plancha Gruesa de 6.4 mm de espesor

1a. Eval. : 133 Ensayos                      2a. Eval. : 127 Ensayos

| Datos       | L.E | C.R | % A | L.E | C.R | %A Doblado |
|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|------------|
| Promedio    | 34  | 49  | 24  | 31  | 47  | 28 Bueno   |
| Defectuosos | -   | 11  | 1   | -   | 1   | - -        |
| ( % )       | -   | 8.3 | 0.8 | -   | 0.8 | - -        |

El control en las propiedades físicas especialmente en carga de rotura ( C.R ) se debe principalmente al rango máximo fijado para el %C y %Mn.

1a. Evaluación

2a. Evaluación

%C                      %Mn

%C                      %Mn

|                             |         |         |         |         |
|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Análisis Químico cuchara :  | .17/.21 | .75/.90 | .17/.19 | .75/.80 |
| Análisis Químico comprob. : | .16/.23 | .70/.97 | .17/.20 | .76/.83 |
| Rango especificado 19B-1 :  | .17/.21 | .75/.95 | .17/.21 | .73/.85 |

El carbono equivalente máximo en ambas evaluaciones fueron: 0.39 % para la primera evaluación y 0.35 % para la segunda evaluación, lo que es motivo de la disminución de los promedios de L.E y C.R y aumento del porcentaje de alargamiento .

b) Plancha Gruesa de 25.0 mm de espesor

| Datos       | 1a. Eval. : 16 ensayos |     |     | 2a. Eval. : 39 ensayos |     |    |            |
|-------------|------------------------|-----|-----|------------------------|-----|----|------------|
|             | L.E                    | C.R | % A | L.E                    | C.R | %A | Doblado 3e |
| Promedio    | 24                     | 45  | 30  | 26                     | 46  | 25 | Bueno      |
| Defectuosos | 6                      | 1   | -   | -                      | -   | -  | -          |
| ( % )       | 37.5                   | 6.3 | -   | -                      | -   | -  | -          |

Propiedades exigidas por Lloyd's :

|     |                              |
|-----|------------------------------|
| L.E | : 23 Kg/mm <sup>2</sup>      |
| C.R | : 41 - 50 Kg/mm <sup>2</sup> |
| % A | : 20 %                       |

El promedio del límite elástico es un poco superior a la primera evaluación, sin embargo todavía es necesario aumentarlo. Las micrografías N° 4a y 4b - al final del Capítulo VI - nos arrojan un dato respecto al tamaño de grano. Con la composición química especificada, es posible aumentar el límite elástico y carga de rotura con un mejor control en la temperatura de acabado. El tamaño de grano óptimo se estima entre 7.0 y 7.5 ASTM

T° C acabado

|                    |             |
|--------------------|-------------|
| Primera evaluación | : 900 / 980 |
| Segunda evaluación | : 920 / 940 |
| Ajuste             | : 900 / 920 |

c) Plancha Gruesa de 50.0 mm de espesor.

1a. Eval. : 13 ensayos      2a. Eval. : 21 ensayos

| Datos       | L.E | C.R | %A   | L.E | C.R | %A | Doblado 3e |
|-------------|-----|-----|------|-----|-----|----|------------|
| Promedio    | 23  | 43  | 31   | 25  | 43  | 32 | Bueno      |
| Defectuosos | 3   | --  | 2    | 1   | --  | -- | 1          |
| (%)         | 23  | --  | 15.4 | 5   | --  | -- | 5          |

Propiedades exigidas por Lloyd's :

|     |   |                              |
|-----|---|------------------------------|
| L.E | : | 23 Kg/mm <sup>2</sup> .      |
| C.R | : | 41 - 50 Kg/mm <sup>2</sup> . |
| % A | : | 21 %.                        |

Se superó enormemente el problema del límite elástico bajo con el rango de carbono y manganeso especificados .

|                            | 1a. Evaluación |         | 2a. Evaluación |         |
|----------------------------|----------------|---------|----------------|---------|
|                            | % C            | % Mn    | % C            | %Mn     |
| Análisis químico cuchara : | .18/.21        | .75/.90 | .19/.21        | .85/.92 |
| Análisis químico comprob : | .19/.22        | .80/.87 | .20/.23        | .83/.96 |
| Rango especificado 19B-2 : | .17/.21        | .75/.95 | .18/.22        | .86/.98 |

El carbono equivalente mínimo en ambas evaluaciones fueron : 0.33 % para la primera y 0.36 % para la segunda. El mínimo que se puede esperar es 0.35 % siendo el máximo 0.40 % ( según especificación Lloyd's )

Sin embargo los promedios de L.E y C.R son bajos y están próximos a los mínimos especificados, por lo que para asegurar buenas propiedades físicas es necesario realizar:

- un riguroso análisis de carbono y manganeso - realizando dos análisis de cuchara ,
- máximo porcentaje de reducción, lo que se obtiene con un espesor de planchón de 220 mm que es el máximo que el equipo ( cizalla ) puede procesar en la planta de Lamina - ción en Caliente ,
- control de la temperatura de acabado.

Lo más crítico es el control de la temperatura de acabado dado el bajo porcentaje de reducción que se realiza para la obtención de éste espesor, la temperatura de acabado resulta ser alta - mayor de 950 °C - lo que produce un grano grueso y grosero que en la designación ASTM corresponde a 6.0 a menos .

No hay otra solución para fabricar este espesor ( por la vía de acero al carbono, sin microaleantes), que demorar la laminación entre pase y pase, de tal forma de dejar que el planchón en proceso se enfríe y llegar a una temperatura de acabado de 920 °C como máximo, lo que nos asegura un tamaño de grano de 6.5 a 7.0 ASTM que es el óptimo esperado para este espesor .

### 5.3 Estandarización de la microestructura .



En base a los numerosos ensayos realizados a todos los espesores, tanto en bobinas como en planchas gruesas, se ha podido determinar cuales son, metalográficamente, los parámetros que garantizan buenas propiedades mecánicas en lo que se refiere a límite elástico, carga de rotura, alargamiento y doblado en un acero naval grado "A" .

En la Tabla 5.3 se muestra el tamaño de grano y porcentajes de fases ferríticas y perlíticas óptimas por espesores en bobinas y planchas gruesas . En general a mayor espesor el tamaño de grano también es mayor, de igual forma el porcentaje de perlita .

De 3.0 a 5.0 mm de espesor de plancha el tamaño de grano varía de 9.0 a 6.5 ASTM; el porcentaje de ferrita de 75 a 60 % y el porcentaje de perlita de 25 a 40 % .

Para espesores menores, cuando el carbono equivalente es 0.35 % ó más se obtiene un incremento en el porcentaje de perlita que hace mas resistente al acero; pero si a la vez su textura está alineada el valor de la resistencia a la tracción sobrepasa el máximo especificado por la Norma. Así mismo no es recomendable la presencia de perlita esferoidizada, ya que esta produce una disminución en el porcentaje de alargamiento

En general en un tipo de acero naval se presenta :

- matriz ferrítica ,
- perlita lamelar fina ,
- Inclusiones como óxidos, silicatos y sulfuros finos .

## 5.4 Análisis del bajo porcentaje de alargamiento .

Según los resultados anteriores para los espesores de 3.0 mm, el promedio de alargamiento es bajo en relación a los otros espesores. En los espesores de 6.4 y 8.0 mm también se han tenido defectuosos por alargamiento fuera de Norma. Se estudió el problema metalográficamente .

### 5.4.1 Efecto de la perlita esferoidizada.

En la tabla 5.3 se menciona la microestructura óptima respecto a porcentajes de ferrita y perlita. Si embargo, en el caso de bobinas, cuando se cumple con este requerimiento de proporción de fases, y si la perlita tiende ó está esferoidizada, el alargamiento sufre una fuerte caída tal como lo muestra el cuadro siguiente :

| Esp.<br>(mm) | Temp. °C |     | %C<br>Eq | Pruebas Físicas |     |    | %<br>Perlit. | Observaciones                              |
|--------------|----------|-----|----------|-----------------|-----|----|--------------|--------------------------------------------|
|              | Acab     | Bob |          | L.E             | C.R | %A |              |                                            |
| 3.0          | 910      | 630 | .34      | 31              | 45  | 20 | 15           | perlita algo esferoidizada .               |
| 3.0          | 910      | 640 | .36      | 30              | 43  | 21 | 15           | perlita algo esferoidizada                 |
| 5.0          | 900      | 690 | .31      | 34              | 47  | 20 | 15           | perlita completa -<br>mente esferoidizada. |
| 5.0          | 920      | 660 | .30      | 32              | 44  | 20 | 20           | perlita completa -<br>mente esferoidizada. |
| 5.0          | 880      | 640 | .35      | 33              | 47  | 25 | 15           | perlita lamelar.                           |
| 5.0          | 870      | 660 | .30      | 28              | 42  | 28 | 15           | perlita lamelar.                           |

Se ha determinado que este tipo de estructura es consecuencia de un enfriamiento brusco, partiendo de una alta temperatura de acabado ( mayor a 900°C ) en la laminación a bobina .

#### 5.4.2 Efecto del bandeamiento .

En el caso de planchas gruesas, particularmente para los espesores de 6.4 y 8.0 mm se ha llegado a establecer lo siguiente :

Para el caso de aceros con 25 % de perlita o menos , el efecto del bandeamiento sobre la disminución del porcentaje de alargamiento es mínimo, pero si este porcentaje es 30 % o más y si hay un fuerte bandeamiento de los constituyentes este porcentaje se ve fuertemente afectado .

El cuadro siguiente nos informará sobre este efecto :

| ESP. (mm) | PRUEBAS FISICAS | TAMAÑO PERLITA | OBSERVACIONES                                                                 |
|-----------|-----------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------|
|           | L.E C.R %A      | GRANO ( % )    |                                                                               |
| 8.0       | 30 47 22        | 8.0 35         | microconstituyentes bandeados.                                                |
| 8.0       | 28 49 17        | 7.5 30         | severo bandeamiento de ferrita y perlita .                                    |
| 9.5       | 33 48 34        | 8.0 25         | en determinadas zonas los microconstituyentes presentan ligero bandeamiento . |
| 6.4       | 35 50 23        | 7.5 35         | microconstituyentes bandeados.                                                |
| 6.4       | 35 49 22        | 8.5 30         | microconstituyentes bandeados.                                                |
| 6.4       | 32 49 16        | 7.5 33         | severo bandeamiento .                                                         |

Como puede apreciarse, con 25 % de perlita que se observan con bandeamiento, el valor del alargamiento fué 34 %. En cambio las estructuras que muestran los microconstituyentes bandeados y con 30 a 35 % de perlita los alargamientos tienen un valor máximo de 22 % .

## 5.5 Análisis del doblado defectuoso .

Este defecto que tienen los aceros en no resistir el doblado se presentan en muchos casos, generalmente en aceros estructurales de baja a alta resistencia . En el caso del acero naval este defecto se estudió desde el punto de vista químico y metalográfico .

Desde el punto de vista químico afecta principalmente el azufre; desde el punto de vista metalográfico influye el alto porcentaje de perlita, que en cierto modo es consecuencia de un mayor contenido de carbono; y la microestructura bandeadada de los microconstituyentes ferrita y perlita .

### 5.5.1 Efecto de contenido de azufre .

En el Capítulo IV figura el contenido máximo de azufre que se garantiza a los usuarios ( 0.040 % máx); inicialmente este porcentaje era 0.050 % máximo . Sin embargo en las prácticas con que se trabaja en el área de acería, este máximo es solo 0.035 % . Uno de los motivos que obligó a dis-

minuir el contenido de azufre fué precisamente el resultado negativo de algunos ensayos de doblado. La explicación de este fenómeno está en la formación del sulfuro de manganeso el que tiene diferencia de contracción de volumen respecto al acero; y la formación del sulfuro de fierro que es frágil .

El cuadro siguiente nos explica la influencia del contenido de azufre :

|                         | % S cuch.   | % S comp.   |
|-------------------------|-------------|-------------|
| Ensayos defectuosos; 16 | 0.038/0.047 | 0.035/0.050 |
| Ensayos buenos : 21     | 0.015/0.027 | 0.016/0.030 |

Se comprueba así el efecto nocivo de este elemento que es indeseable en los aceros en general .

Así mismo el máximo contenido que se garantiza a los usuarios es 0.035 % trabajándose en la práctica con 0.030 % en el área de acería .

El otro efecto que cabe mencionar aquí es que el excesivo contenido de azufre produce fuertes grietas superficiales y de borde en los productos terminados y semiterminados , llegando muchas veces a desviar el acero a otra calidad o su eliminación. Estas grietas, si no han sido desarrollados de tal forma que no es perceptible a la vista , puede, en muchos casos, desarrollarse en los otros procesos originando que el producto ensayado no resista al doblado .

#### 5.5.2 Efecto del bandeamiento

En la sección 5.3 se especifican las proporciones de fases ferrita - perlita para espesores diferentes. En la tabla Nº 5.3 se muestra el cuadro correspondiente .

Sin embargo hay un hecho muy importante para el caso de bobinas de 3 a 5 milímetros de espesor. Se ha comprobado que a pesar de cumplirse con las proporciones óptimas de fases, hay un efecto negativo sobre el doblado de las planchas, si éstas fases están bandeadas - textura alineada de ferrita y perlita .

El siguiente cuadro no informará al respecto :

| Bob. | Esp.<br>(mm) | Doblado | ferrita<br>(%) | perlita<br>(%) | Tamaño<br>Grano<br>(ASTM) | Observaciones                                        |
|------|--------------|---------|----------------|----------------|---------------------------|------------------------------------------------------|
| 1    | 3            | Bueno   | 80             | 20             | 7.5                       | ferrita de grano equiaxial, perlita distribuída.     |
| 2    | 3            | Bueno   | 75             | 25             | 7.5                       | ferrita de grano equiaxial, perlita distribuída.     |
| 3    | 5            | Bueno   | 75             | 25             | 8.0                       | ferrita de grano equiaxial, perlita distribuída.     |
| 4    | 3            | Malo    | 75             | 25             | 7.5                       | textura alineada, bandas ricas en perlita y ferrita. |

| Bob. | Esp.<br>(mm) | Doblado | ferrita<br>(%) | perlita<br>(%) | Tamaño<br>Grano<br>(ASTM) | Observaciones                          |
|------|--------------|---------|----------------|----------------|---------------------------|----------------------------------------|
| 5    | 3            | Malo    | 75             | 25             | 8.0                       | Textura alineada de ferrita y perlita. |
| 6    | 5            | Malo    | 75             | 25             | 7.5                       | textura alineada de ferrita y perlita. |
| 7    | 5            | Malo    | 70             | 30             | 7.5                       | textura alineada de ferrita y perlita. |
| 8    | 4            | Malo    | 70             | 30             | 7.5                       | textura alineada de ferrita y perlita. |

El hecho es motivado principalmente por la segregación del carbono, el cual es favorecido además cuando se laminan bobinas, ya que este material permanece más tiempo a mayor temperatura que las planchas gruesas debido al mismo sistema de laminación.

Dado que la ferrita es débil y frágil, el efecto del bandeamiento es mas significativo en los espesores delgados. No se observa en las planchas de espesores gruesos.

#### 5.6. Acero de baja aleación.

A fin de tener información acerca del uso de microaleantes para la producción de acero naval, en el futuro, de espesores mayores a 50 milímetros hasta 100 mm, y también con el

fin de poder fabricar otros grados de acero naval, se presentan datos que nos ilustran al respecto.

En el caso de aceros al niobio y vanadio, es necesario conocer el efecto del niobio en el control del tamaño de grano austenítico y el retardo de la recristalización, así como el efecto del vanadio en endurecimiento por precipitación.

Ha sido confirmado que el carbonitruro de niobio precipita generalmente en la austenita, mientras que las partículas de nitruro de vanadio precipitan principalmente durante ó después de la transformación alotrópica. Generalmente éstos dos tipos de precipitados no interactúan. En la mayoría de los casos, sin embargo, las propiedades del producto final son controlados por la precipitación del nitruro de vanadio.

Los espesores en planchas gruesas fueron 18 y 12 mm. Las temperaturas de acabado fueron : 890/950°C para los aceros con 0.15% C y 920/975°C para los aceros con 0.07% C . Después de laminación los productos fueron enfriados al aire libre.

El tratamiento térmico de Normalizado se realizó a 900°C por espacio de 30 minutos.



En la tabla Nº 5.4 se dá a conocer la composición química de los aceros al niobio - vanadio así como dos aceros de referencia ; R - 1 acero al carbono de grado de desoxidación calmado; y Cb11 acero al columbio también calmado. Todos los aceros son calmados al silicio. El carbono equivalente de todos los aceros varía de 0.32 a 0.42% .

En la tabla Nº 5.5 se muestra las características de microestructura fina caracterizado por el tamaño de grano ferrítico y contenido de perlita. El tamaño de grano ferrítico varía de 8.0 a 10.5  $\mu\text{m}$  para los aceros al Nb-V, es decir de 11 a 10 en la escala ASTM. el contenido de perlita varía de 9.5 a 27%, todo referido a planchas al estado laminado. Al estado normalizado se tiene que el tamaño de grano ferrítico varía de 4.8 a 7.4  $\mu\text{m}$ . o sea de 12.5 a 11.5 en la escala ASTM, el contenido de perlita varía de 11.4 a 29.7% .

En la tabla Nº 5.6 se muestra las propiedades de tracción de los aceros al niobio - vanadio y los aceros de referencia; las tres propiedades : límite elástico, carga de rotura y % de alargamientos están referidos a la sección transversal de la dirección de laminado. Se dan así mismo estas propiedades al estado laminado y normalizado.

Las propiedades de estos aceros varían en los siguientes rangos :

|                        |     | Estado Laminado           | Estado Normalizado        |
|------------------------|-----|---------------------------|---------------------------|
| Aceros de referencia : | L.E | 350/377 N/mm <sup>2</sup> | 352/344 N/mm <sup>2</sup> |
|                        | C.R | 504/517 N/mm <sup>2</sup> | 495/469 N/mm <sup>2</sup> |
|                        | % A | 26/25 %                   | 28/27 %                   |
| Aceros al Nb-V :       | L.E | 396/567 N/mm <sup>2</sup> | 322/440 N/mm <sup>2</sup> |
|                        | C.R | 503/768 N/mm <sup>2</sup> | 431/575 N/mm <sup>2</sup> |
|                        | % A | 24/16 %                   | 32/22 %                   |

### Exigencia Lloyd's

|           |     |                                                          |
|-----------|-----|----------------------------------------------------------|
| Grado "A" | L.E | 230 (mín) N/mm <sup>2</sup>                              |
|           | C.R | 400 - 490 N/mm <sup>2</sup>                              |
|           | % A | 18 % mín.                                                |
| Grado "E" | L.E | 235 (mín) N/mm <sup>2</sup><br>400/490 N/mm <sup>2</sup> |
|           | % A | 18 % mín.                                                |

De acuerdo a estos resultados podemos asegurar con toda firmeza la factibilidad de fabricar acero naval de grado "A" microaleado y de espesores mayores a 50 mm . Es conocido que planchas de espesores diferentes y con una misma composición química; el de mayor espesor tiene menores valores en las propiedades de tracción, así como el tratamiento térmico de normalizado disminuye considerablemente los valores del límite elástico y carga de rotura; aumentando el de alargamiento tal como se aprecia en el resumen arriba mencionado .

T a b l a N° 5.1

CRITERIOS DE PROGRAMACION TENTATIVO DE ACERO NAVAL POR  
 ESPESORES - CALIDAD 19 B - SEGUN ANALISIS FINAL

| % C  | % Mn      |           |           |           |           |
|------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|      | 0.75/0.80 | 0.81/0.85 | 0.86/0.90 | 0.91/0.95 | 0.96/1.02 |
| 0.17 | - 50      | - 50      | - 50      | - 50      | 50        |
| 0.18 | - 50      | - 50      | - 50      | - 50      | 50        |
| 0.19 | - 50      | - 50      | - 50      | - 50      | 50        |
| 0.20 | - 50      | - 50      | - 50      | 50        | 50        |
| 0.21 | - 50      | - 50      | 50        | 50        | 50        |
| 0.22 | - 50      | 50        | 50        | 50        | 50        |
| 0.23 | 50        | 50        | 50        | 50        | 50        |

Nota : - 50 y 50 en mm .

para la programación de planchas gruesas de  
 50 mm, el planchón debe programarse a 200 mm  
 de espesor mínimo .

## EVALUACION DE PRUEBAS FISICAS . ESPESOR &lt; 1 "

| ESPESOR<br>(mm) | ENSAYO<br>TRACCION | TOTAL<br>ENS. | PROMEDIO             | DEFECTUOSOS<br>TOTAL | %    | OBSERVACIONES                |
|-----------------|--------------------|---------------|----------------------|----------------------|------|------------------------------|
| 3.0             | L.E                | 4             | 29Kg/mm <sup>2</sup> |                      |      |                              |
|                 | C.R                | 4             | 46Kg/mm <sup>2</sup> | 1                    | 25   | CR = 51 Kg/mm <sup>2</sup>   |
|                 | A                  | 4             | 22 %                 |                      |      |                              |
|                 | Total              | 4             | --                   | 1                    | 25   | Por CR en más.               |
| 5.0             | L.E                | 23            | 28Kg/mm <sup>2</sup> | 1                    | 4.3  | LE = 23 Kg/mm <sup>2</sup> . |
|                 | C.R                | 23            | 44Kg/mm <sup>2</sup> | 4                    | 17.4 | CR en -:3 ; en + : 1         |
|                 | A                  | 23            | 26 %                 |                      |      |                              |
|                 | Total              | 23            | --                   | 4                    | 17.4 | Una prueba falló CR,LE       |
| 6.4             | L.E                | 133           | 34Kg/mm <sup>2</sup> |                      |      |                              |
|                 | C.R                | 133           | 49Kg/mm <sup>2</sup> | 11                   | 8.3  | CR en más.                   |
|                 | A                  | 133           | 24 %                 | 1                    | 0.8  | A = 15 %                     |
|                 | Total              | 133           | --                   | 11                   | 8.3  | Una prueba falló CR,A        |
| 8.0             | L.E                | 26            | 31Kg/mm <sup>2</sup> |                      |      |                              |
|                 | C.R                | 26            | 48Kg/mm <sup>2</sup> | 2                    | 7.7  | CR en más.                   |
|                 | A                  | 26            | 25 %                 |                      |      |                              |
|                 | Total              | 26            | --                   | 2                    | 7.7  |                              |
| 9.5             | L.E                | 35            | 29Kg/mm <sup>2</sup> |                      |      |                              |
|                 | C.R                | 35            | 47Kg/mm <sup>2</sup> | 4                    | 11.4 | CR en más.                   |
|                 | A                  | 35            | 25 %                 |                      |      |                              |
|                 | Total              | 35            | --                   | 4                    | 11.4 |                              |
| 12.5            | L.E                | 25            | 29Kg/mm <sup>2</sup> |                      |      |                              |
|                 | C.R                | 25            | 47Kg/mm <sup>2</sup> |                      |      |                              |
|                 | A                  | 25            | 25 %                 |                      |      |                              |
|                 | Total              | 25            | --                   | -                    |      |                              |
| 16.0            | L.E                | 7             | 27Kg/mm <sup>2</sup> | 1                    | 14.3 | LE = 23 Kg/mm <sup>2</sup>   |
|                 | C.R                | 7             | 46Kg/mm <sup>2</sup> |                      |      |                              |
|                 | A                  | 7             | 29 %                 |                      |      |                              |
|                 | Total              | 7             | --                   | 1                    | 14.3 |                              |
| 20.0            | L.E                | 20            | 25Kg/mm <sup>2</sup> | 3                    | 15.0 | LE en menos.                 |
|                 | C.R                | 20            | 46Kg/mm <sup>2</sup> | 1                    | 5.0  | CR = 54 Kg/mm <sup>2</sup>   |
|                 | A                  | 20            | 27 %                 |                      |      |                              |
|                 | Total              | 20            | --                   | 4                    | 20.0 | Por LE y CR.                 |
| T O T A L       |                    | 273           | --                   | 27                   | 9.9  |                              |

T a b l a N° 5.2 (b)

EVALUACION DE PRUEBAS FISICAS . ESPESOR > 1"

| Espesor (mm) | Ensayo Tracción | Total Ensayos | Promedio             | Defectuosos Total | %    | Obeservaciones                                                |
|--------------|-----------------|---------------|----------------------|-------------------|------|---------------------------------------------------------------|
| 25.0         | L.E             | 16            | 24Kg/mm <sup>2</sup> | 6                 | 37.5 | L.E; 21 y 22 Kg/mm <sup>2</sup><br>C.R = 40Kg/mm <sup>2</sup> |
|              | C.R             | 16            | 45Kg/mm <sup>2</sup> | 1                 | 6.3  |                                                               |
|              | A               | 16            | 30 %                 |                   |      |                                                               |
|              | Total           | 16            | -                    | 6                 | 37.5 | Una prueba falló CR,LE                                        |
| 32.0         | L.E             | 8             | 24Kg/mm <sup>2</sup> |                   |      |                                                               |
|              | C.R             | 8             | 46Kg/mm <sup>2</sup> |                   |      |                                                               |
|              | A               | 8             | 30 %                 |                   |      |                                                               |
|              | Total           | 8             | -                    |                   |      |                                                               |
| 38.0         | L.E             | 1             | 21Kg/mm <sup>2</sup> | 1                 | 100  | L.E = 21Kg/mm <sup>2</sup>                                    |
|              | C.R             | 1             | 45Kg/mm <sup>2</sup> |                   |      |                                                               |
|              | A               | 1             | 32 %                 |                   |      |                                                               |
|              | Total           | 1             | -                    | 1                 | 100  | Por L.E                                                       |
| 50.0         | L.E             | 13            | 23Kg/mm <sup>2</sup> | 3                 | 23   | LE: 19, 20y22Kg/mm <sup>2</sup>                               |
|              | C.R             | 13            | 43Kg/mm <sup>3</sup> |                   |      |                                                               |
|              | A               | 13            | 31 %                 | 2                 | 15.4 | A: 18 y 19 %                                                  |
|              | Total           | 13            | -                    | 4                 | 31   | Una prueba falló LE,                                          |
| T O T A L    |                 | 38            | -                    | 11                | 29   |                                                               |

T a b l a N° 5.2 (c)

RESUMEN

| Espesor de Plancha Gruesa | Total Ensayos | Defectuosos Total | %    |
|---------------------------|---------------|-------------------|------|
| menor o igual a 1"        | 273           | 27                | 9.9  |
| mayor a 1"                | 38            | 11                | 29.0 |
| T O T A L                 | 311           | 38                | 12.2 |

T a b l a N° 5.3

MICROESTRUCTURA OPTIMA POR ESPESORES

| Espesor<br>(mm) | Tamaño<br>grano<br>ASTM | Ferrita<br>(%) | Perlita<br>(%) | Observaciones                                                                                                               |
|-----------------|-------------------------|----------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3.5             | 9.0                     | 75             | 25             | Grano de tamaño uniforme y equiaxial con perlita lamelar fina .                                                             |
| 6.4             | 8.0                     | 75             | 25             | Grano de tamaño uniforme y equiaxial con perlita lamelar fina .                                                             |
| 8 a 9.5         | 8.0                     | 75             | 25             | Estructura ferrítica de grano fino y uniforme, con perlita lamelar fina .                                                   |
| 12.5a16         | 7.5                     | 75             | 25             | Estructura ferrítica de grano fino y uniforme, con perlita lamelar fina .                                                   |
| 20 a 25         | 7.0                     | 70             | 30             | Estructura ferrítica de grano fino y uniforme, con perlita lamelar fina .                                                   |
| 30 a 50         | 6.5/7.0                 | 60             | 40             | Estructura ferrítica de grano fino y uniforme con buena proporción de perlita lamelar situada entre los granos ferríticos . |

COMPOSICION QUIMICA DE ACEROS AL NIOBIO-VANADIO

| Acero     | % Carbono | % Manganeso | % Silicio | % Azufre | % Fósforo | % Aluminio total | % Niobio | % Vanadio | % Nitrógeno total |
|-----------|-----------|-------------|-----------|----------|-----------|------------------|----------|-----------|-------------------|
| Nb - V 9  | 0.077     | 1.200       | 0.270     | 0.012    | 0.015     | 0.061            | 0.025    | 0.025     | 0.005             |
| Nb - V 10 | 0.075     | 1.185       | 0.240     | 0.011    | 0.013     | 0.048            | 0.018    | 0.036     | 0.018             |
| Nb - V 11 | 0.077     | 1.270       | 0.210     | 0.014    | 0.015     | 0.054            | 0.020    | 0.073     | 0.005             |
| Nb - V 12 | 0.074     | 1.230       | 0.235     | 0.012    | 0.014     | 0.056            | 0.019    | 0.071     | 0.020             |
| Nb - V 13 | 0.170     | 1.120       | 0.200     | 0.009    | 0.016     | 0.060            | 0.018    | 0.035     | 0.006             |
| Nb - V 14 | 0.158     | 1.255       | 0.280     | 0.010    | 0.016     | 0.059            | 0.018    | 0.035     | 0.021             |
| Nb - V 15 | 0.165     | 1.170       | 0.175     | 0.010    | 0.015     | 0.054            | 0.018    | 0.065     | 0.005             |
| Nb - V 16 | 0.170     | 1.230       | 0.250     | 0.011    | 0.014     | 0.058            | 0.018    | 0.065     | 0.017             |
| Nb - V 17 | 0.148     | 1.251       | 0.207     | 0.015    | 0.015     | 0.034            | 0.003    | 0.062     | 0.014             |
| Nb - V 18 | 0.154     | 1.192       | 0.254     | 0.007    | 0.015     | 0.028            | 0.015    | 0.082     | 0.011             |
| Nb - V 19 | 0.158     | 1.125       | 0.150     | 0.014    | 0.014     | 0.029            | 0.022    | 0.144     | 0.012             |
| Nb - V 20 | 0.142     | 1.176       | 0.254     | 0.018    | 0.015     | 0.033            | 0.032    | 0.165     | 0.014             |
| Nb - V 21 | 0.150     | 1.243       | 0.320     | 0.010    | 0.015     | 0.040            | 0.040    | 0.226     | 0.013             |
| Nb - V 22 | 0.162     | 1.243       | 0.301     | 0.008    | 0.012     | 0.041            | 0.064    | 0.234     | 0.011             |
| R 1       | 0.167     | 1.268       | 0.227     | 0.006    | 0.009     | -                | -        | -         | 0.006             |
| Nb 1      | 0.147     | 0.992       | 0.220     | 0.006    | 0.009     | 0.034            | 0.020    | -         | 0.010             |

T a b l a N° 5.5

TAMAÑO DE GRANO FERRITICO Y CONTENIDO DE PERLITA DE LOS  
ACEROS ESTUDIADOS

| ACERO   | Estado Laminado               |                         | Estado Normalizado            |                          |
|---------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------------|--------------------------|
|         | Tamaño de grano $\mu\text{m}$ | Contenido de perlita(%) | Tamaño de grano $\mu\text{m}$ | Contenido de perlita (%) |
| Nb-V 9  | 10.0                          | 10.5                    | 6.6                           | 13.0                     |
| Nb-V 10 | 10.5                          | 9.5                     | 6.1                           | 13.2                     |
| Nb-V 11 | 10.0                          | 11.0                    | 7.4                           | 12.5                     |
| Nb-V 12 | 9.0                           | 13.0                    | 5.6                           | 11.4                     |
| Nb-V 13 | 9.5                           | 26.0                    | 6.0                           | 27.7                     |
| Nb-V 14 | 9.5                           | 21.3                    | 4.8                           | 23.8                     |
| Nb-V 15 | 10.0                          | 26.8                    | 6.5                           | 25.3                     |
| Nb-V 16 | 8.0                           | 25.0                    | 4.8                           | 24.4                     |
| Nb-V 17 | 9.1                           | 23.4                    | 5.9                           | 25.6                     |
| Nb-V 18 | 8.4                           | 22.5                    | 6.4                           | 28.0                     |
| Nb-V 19 | 8.8                           | 27.0                    | 5.8                           | 29.7                     |
| Nb-V 20 | 8.3                           | 24.0                    | 5.1                           | 23.1                     |
| Nb-V 21 | 8.1                           | 22.5                    | 5.6                           | 23.4                     |
| Nb-V 22 | 8.2                           | 22.3                    | 5.5                           | 24.0                     |
| R 1     | 9.3                           | 23.7                    | -                             | -                        |
| Nb 1    | 11.6                          | 20.3                    | 6.9                           | 17.8                     |



T a b l a N° 5.6

ENSAYOS DE TRACCION DE LOS ACEROS AL NIOBIO-VANADIO Y DE  
REFERENCIA

| ACERO   | ESTADO LAMINADO       |                       |       | ESTADO NORREALIZADO   |                       |       |
|---------|-----------------------|-----------------------|-------|-----------------------|-----------------------|-------|
|         | L. E                  | C. R                  | A     | L. E                  | C. R                  | A     |
|         | ( N/mm <sup>2</sup> ) | ( N/mm <sup>2</sup> ) | ( % ) | ( N/mm <sup>2</sup> ) | ( N/mm <sup>2</sup> ) | ( % ) |
| Nb-V 9  | 400                   | 503                   | 24    | 322                   | 431                   | 32    |
| Nb-V 10 | 414                   | 524                   | 22    | 335                   | 440                   | 28    |
| Nb-V 11 | 396                   | 504                   | 24    | 328                   | 432                   | 30    |
| Nb-V 12 | 430                   | 537                   | 21    | 331                   | 439                   | 29    |
| Nb-V 13 | 408                   | 569                   | 23    | 345                   | 478                   | 28    |
| Nb-V 14 | 456                   | 606                   | 21    | 382                   | 508                   | 27    |
| Nb-V 15 | 435                   | 592                   | 20    | 364                   | 489                   | 28    |
| Nb-V 16 | 472                   | 622                   | 22    | 387                   | 520                   | 26    |
| Nb-V 17 | 423                   | 569                   | 23    | 371                   | 497                   | 26    |
| Nb-V 18 | 462                   | 622                   | 20    | 384                   | 515                   | 26    |
| Nb-V 19 | 472                   | 622                   | 19    | 381                   | 500                   | 27    |
| Nb-V 20 | 518                   | 671                   | 16    | 395                   | 518                   | 22    |
| Nb-V 21 | 546                   | 726                   | 17    | 440                   | 575                   | 25    |
| Nb-V 22 | 567                   | 768                   | 16    |                       |                       |       |
| R 1     | 350                   | 504                   | 26    | 352                   | 495                   | 28    |
| Nb 1    | 377                   | 517                   | 25    | 344                   | 469                   | 27    |

## CAPITULO VI

### APROBACION DE LA PLANTA SIDERURGICA DE CHIMBOTE POR LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING .

#### 6.1 Detalles exigidos por la Sociedad .

En producto acabado, planchas gruesas y delgadas ( BOBINAS ) se solicitó la aprobación a nuestra planta siderúrgica por la Sociedad Lloyd's Register of Shipping .

La aprobación corresponde por separado a planchas gruesas y delgadas, los puntos exigidos por la Sociedad fueron los que se detallan más abajo. Los resultados de los mismos fueron recopilados por un Inspector Oficial de la Sociedad .

Con fecha 4 de agosto de 1977 éstos resultados fueron enviados a Londres -oficina principal de la Sociedad - y con fecha 15 de setiembre de 1977, según figura en el certificado correspondiente adjunto al final del Capítulo VII, fué confirmada la aprobación .

a) Aprobación : Planchas Gruesas Grado "A" .  
Horno Eléctrico .

Colada Nº1 - se fabricará P.G de espesor : 8 mm del lingote A .

Colada Nº2 - se fabricará P.G de espesor : 25mm del lingote A ; se fabricará P.G de 32 mm de espesor del lingote B .

Se sacarán probetas de ensayo del tope (T) y base del

lingote .

Probetas de ensayo .

- Ensayo de tracción .

- . dos probetas sentido longitudinal ,
- . dos probetas sentido transversal .

- Ensayo de doblado .

- . dos probetas sentido longitudinal ,
- . dos probetas sentido transversal .
- . doblado a  $180^{\circ}$  ; diámetro de mandril 3 e .

- Ensayo de resiliencia .

- . temperatura de prueba :  $+20^{\circ}\text{C}$  ,  $0^{\circ}\text{C}$  ,  $-20^{\circ}\text{C}$  y  $-40^{\circ}\text{C}$ .
- . tres probetas sentido longitudinal para cada temperatura.
- . tres probetas sentido transversal para  $0^{\circ}\text{C}$  .
- . se indicarán la energía absorbida y porcentaje de cristalinidad.
- . Probetas de 10 mm .

- Impresión de Azufre .

- . muestra de 600 mm perpendicular al eje principal del lingote para los tres espesores .

- Análisis Químico de comprobación .

- Análisis Metalográfico ( base y tope ) 100 X .

**Análisis de cuchara . (incluyendo elementos residuales y aluminio soluble )**

**- Práctica Standard Procesos Acería : Desoxidación .**

**- Indicar dimensiones de los productos : lingotes, planchones y plancha gruesa .**

**b) Aprobación : Plancha delgada Grado " A " . .  
Horno Eléctrico .**

**Colada Nº 3 - se fabricará bobina de espesor : 3 mm del lingote A .**

**Colada Nº 4 - se fabricará bobina de espesor : 5 mm del lingote A .**

**Se sacarán probetas de ensayo de la punta, centro y cola de la bobina**

**Probetas de ensayo :**

**- Ensayo de tracción .  
igual que plancha gruesa .**

**- Ensayo de doblado .  
igual que plancha gruesa .**

**- Ensayo de resiliencia .  
igual que plancha gruesa; probetas de 5 mm .**

- Impresión de Azufre .
- Análisis Químico de Comprobación .
- Análisis Metalográfico .
- Análisis de cuchara.
- Práctica standard - Procesos Acería : Desoxidación.
- Indicar dimensiones de los productos : Lingotes, planchón y bobinas .

6.2 Informe del Inspector Oficial de Lloyd's Register of Shipping:

COPIA

LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING.

Reporte : N° 700171

Puerto : Callao

Fecha : 4 - Agosto - 1977.

Este reporte es para certificar que, a solicitud de la Empresa Siderúrgica del Perú, ( SIDERPERU ), Chimbote, Perú; el Inspector que suscribe atendió en su planta de Chimbote el 14 - setiembre - 1977 y posteriormente con el propósito de conducir los procedimientos de las pruebas para extender la aprobación de su fábrica que incluye :

**ACERO GRADO "A" :** Lingotes, palanquillas, planchones, planchas (chapas) y bobinas, manufacturados de aceros producidos en los hornos eléctricos.

La planta manufacturera y métodos de producción fueron examinados y se encontraron trabajando eficientemente. El laboratorio y equipos de laboratorio se encontró satisfactorio y todos los ensayos de tracción se llevaron a cabo en máquinas calibradas. El acero usado para las pruebas del material fueron examinados en las diversas etapas de fabricación y se atestiguaron y verificaron las marcas de identificación.

#### 6.2.1. Producción del Acero.

El acero producido para los ensayos fué utilizando los hornos eléctricos N° 1 y 2, tal como lo indica el primer dígito del número de la colada. Cada colada pesa 30 Tons. En el cuadro N° 6.1 figura el historial de cada una de ellas.

a) Para bobinas : 3 mm y 5 mm.

| N° Colada | Lingotes | Peso<br>(tons) | Dimensiones (mm) |               |          |
|-----------|----------|----------------|------------------|---------------|----------|
|           |          |                | Lingote          | Planchón      | Bobinas  |
| 170513    | A        | 7.5            | 500x1360x1800    | 130x1245x5500 | 3x1200xL |
| 170157    | A        | 7.5            | 500x1360x1800    | 130x1245x5500 | 5x1200xL |

b) Para planchas gruesas : 8mm , 25mm y 32 mm .

| Colada | Lingote | Peso | Dimensiones ( mm ) |               |               |
|--------|---------|------|--------------------|---------------|---------------|
|        |         |      | T.M                | Lingotes      | Planchones    |
| 270085 | A       | 7.5  | 500x1360x1800      | 100x1245x1800 | 8x1800x15000  |
| 170019 | A       | 10.0 | 570x1360x1830      | 180x1245x2200 | 25x1800x11000 |
| 170019 | B       | 10.0 | 570x1360x1830      | 180x1245x2200 | 32x1800x9000  |

### 6.2.2 Análisis de cuchara .

Por no contar con el equipo de laboratorio químico necesario para el análisis de nitrógeno, no se reportó dicho análisis.

| Colada | %C   | %Mn  | %Si  | %S    | %P    | %Cr   | %Ni   | %Cu   | %Al   |
|--------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 170513 | 0.17 | 0.76 |      | 0.025 |       | 0.088 | 0.050 | 0.096 | 0.001 |
| 170157 | 0.18 | 0.84 |      | 0.022 |       | 0.064 | 0.048 | 0.092 | 0.001 |
| 270085 | 0.17 | 0.76 | 0.06 | 0.024 | 0.014 | 0.104 | 0.074 | 0.148 | 0.001 |
| 170019 | 0.20 | 0.90 |      | 0.028 |       | 0.104 | 0.068 | 0.148 | 0.001 |

### 6.23.- Detalles de la práctica de desoxidación .

Las adiciones para obtener 30 tons. de acero en la cuchara fueron las siguientes :

1.- Fe Si ( 45% ) . Se añade 45 Kg. al tener 3 tons. de acero en la cuchara.

2.- Coke . El necesario para obtener el análisis de carbono requerido.

3.- Fe Mn Std. ó refinado . Se añade según el análisis preliminar entre 1/3 y 2/3 de acero en la cuchara.

En el cuadro Nº 6.1 se observan los parámetros reales de cada colada.

Nave de colada.

1.- Usar el tipo de lingotera programado.

2.- Usar planchas de 0.7/0.9 mm. de espesor de protección contra las exfoliaciones.

3.- Adicionar lo necesario de granallas de aluminio en la lingotera para obtener tope ligeramente convexo.

4.- En el caso de sangrado, cubrir el tope con una placa y vertir agua.

5.- Mover la plataforma 30 minutos mínimo después de lingotear el último lingote.

6.2.4. Examinación visual de los productos laminados.

Todas las planchas y bobinas fueron examinadas visualmente, encontrándose la superficie y bordes libres de defectos.

6.2.5. Ensayos de tracción y doblado.

Dos ensayos de tracción y doblado fueron llevados a cabo en las direcciones transversal y longitudinal del tope y base de cada lingote. Los resultados fueron reportados en Kg/mm<sup>2</sup>



y convertidos a  $N/mm^2$  y son los siguientes :

| Colada N° | Posición | espes. (mm) | Doblado $3e, 180^\circ$ | A contact  | L.E $N/mm^2$ | C.R $N/mm^2$ | A %      |
|-----------|----------|-------------|-------------------------|------------|--------------|--------------|----------|
| 170513A   | BT /     | 3           | Bu eno                  | Bu eno     | 333          | 412          | 7.5 / /  |
|           | BT       | 3           | Bu eno                  | Bu eno     | 332          | 417          | 11.5 / / |
|           | BL       | 3           | Bu eno                  | Bu eno     | 293          | 427          | 25.0     |
|           | BL       | 3           | Bu eno                  | Bu eno     | 287          | 425          | 23.5     |
|           | TT       | 3           | Bu eno                  | Bu eno     | 300          | 425          | 26.0     |
|           | TT       | 3           | Bu eno                  | Bu eno     | 308          | 427          | 26.5     |
|           | TL       | 3           | Bu eno                  | Bu eno     | 284          | 432          | 26.0     |
|           | TL       | 3           | Bu eno                  | Bu eno     | 282          | 430          | 26.5     |
| 170157A   | BT       | 5           | Bu eno                  | Bu eno     | 339          | 464          | 7.8 / /  |
|           | BT       | 5           | Bu eno                  | Bu eno     | 336          | 468          | 9.5 / /  |
|           | BL       | 5           | Bu eno                  | Grietas L. | 332          | 497          | 20.0     |
|           | BL       | 5           | Bu eno                  | Bu eno     | 333          | 497          | 18.5     |
|           | TT       | 5           | Bu eno                  | Grietas L. | 332          | 480          | 23.5     |
|           | TT       | 5           | Bu eno                  | Bu eno     | 341          | 486          | 26.5     |
|           | TL       | 5           | Bu eno                  | Bu eno     | 318          | 482          | 26.0     |
|           | TL       | 5           | Bu eno                  | Bu eno     | 314          | 484          | 24.0     |
| 270085A   | BT       | 8           | Bu eno                  | Bu eno     | 337          | 475          | 24.0     |
|           | BT       | 8           | Bu eno                  | Bu eno     | 348          | 477          | 24.0     |
|           | BL       | 8           | Bu eno                  | Bu eno     | 347          | 478          | 24.5     |
|           | BL       | 8           | Bu eno                  | Bu eno     | 344          | 482          | 25.0     |

va ...

viene ...

| Colada<br>Nº | Posición | Esp.<br>(mm) | Doblado<br>3e, 180° | A<br>contact | L. E<br>N/mm <sup>2</sup> | C. R<br>N/mm <sup>2</sup> | A<br>% |
|--------------|----------|--------------|---------------------|--------------|---------------------------|---------------------------|--------|
| 270085A      | TT       | 8            | Bueno               | Bueno        | 313                       | 449                       | 24.0   |
|              | TT       | 8            | Bueno               | Bueno        | 327                       | 465                       | 24.5   |
|              | TL       | 8            | Bueno               | Bueno        | 312                       | 453                       | 25.5   |
|              | TL       | 8            | Bueno               | Bueno        | 304                       | 453                       | 25.5   |
| 170019A      | BT       | 25           | Bueno               | Grietas L    | 264                       | 471                       | 27.5   |
|              | BT       | 25           | Bueno               | Bueno        | 266                       | 465                       | 25.0   |
|              | BL       | 25           | Bueno               | Bueno        | 248                       | 469                       | 27.5   |
|              | BL       | 25           | Bueno               | Bueno        | 261                       | 462                       | 28.0   |
|              | TT       | 25           | Bueno               | Grietas L    | 276                       | 489                       | 23.5   |
|              | TT       | 25           | Bueno               | Bueno        | 261                       | 471                       | 26.0   |
|              | TL       | 25           | Bueno               | Bueno        | 262                       | 474                       | 26.5   |
|              | TL       | 25           | Bueno               | Bueno        | 262                       | 471                       | 27.0   |
| 170019B      | BT       | 32           | Bueno               | Grietas L    | 272                       | 488                       | 27.0   |
|              | BT       | 32           | Bueno               | Bueno        | 279                       | 492                       | 25.0   |
|              | BL       | 32           | Bueno               | Bueno        | 286                       | 492                       | 28.0   |
|              | BL       | 32           | Bueno               | Bueno        | 284                       | 492                       | 27.0   |
|              | TT       | 32           | Bueno               | Bueno        | 263                       | 473                       | 29.0   |
|              | TT       | 32           | Bueno               | Bueno        | 260                       | 478                       | 26.5   |
|              | TL       | 32           | Bueno               | Bueno        | 264                       | 484                       | 29.0   |
|              | TL       | 32           | Bueno               | Bueno        | 268                       | 475                       | 28.5   |

∕ Posición : Primera letra, Base o Tope (B o T); segunda letra, transversal o longitudinal (T o L)

∕ ∕ Roto fuera de puntos y en la marca estampada. Los en -

sayos de comprobación arrojaron los siguientes valores :

| Colada<br>Nº | Posición | Esp.<br>(mm) | L.E<br>N/mm <sup>2</sup> | C.R<br>N/mm <sup>2</sup> | A<br>% |
|--------------|----------|--------------|--------------------------|--------------------------|--------|
| 170513A      | BT       | 3            | 284                      | 401                      | 23.5   |
| 170513A      | BT       | 3            | 287                      | 406                      | 25.5   |
| 170157A      | BT       | 5            | 321                      | 450                      | 24.0   |
| 170157A      | BT       | 5            | 326                      | 457                      | 26.0   |

#### 6.2.6 Ensayo de Resiliencia - Charpy con entalla V .

Se llevaron a cabo tres ensayos de cada pieza del material de prueba cortadas en la dirección longitudinal a -40,-20, 0, y + 20°C; así como también en la dirección transversal a 0°C. Los resultados fueron registrados en KPM y convertidos a Joules .

| Colada<br>Nº | Posición | Espesor(mm) |      | Temp.<br>°C | Energía<br>Joules | Cristalinidad<br>% |
|--------------|----------|-------------|------|-------------|-------------------|--------------------|
|              |          | Nominal     | Real |             |                   |                    |
| 170513A      | BL       | 3           | 2.53 | +20         | 18.6              | 0.00               |
|              | BL       | 3           | 2.51 | +20         | 20.1              | 0.00               |
|              | BL       | 3           | 2.51 | +20         | 20.6              | 0.00               |
|              | BL       | 3           | 2.49 | 0           | 19.6              | 0.00               |
|              | BL       | 3           | 2.52 | 0           | 17.2              | 0.00               |
|              | BL       | 3           | 2.52 | 0           | 20.6              | 2.50               |
|              | BL       | 3           | 2.53 | -20         | 21.6              | 0.00               |
|              | BL       | 3           | 2.50 | -20         | 17.7              | 0.00               |
|              | BL       | 3           | 2.52 | -20         | 20.1              | 2.50               |

va ...

viene ..

| Colada<br>Nº | Posición | Espesor (mm) |      | Temp.<br>°C | Energía<br>Joules | Cristalinidad<br>% |
|--------------|----------|--------------|------|-------------|-------------------|--------------------|
|              |          | Nominal      | Real |             |                   |                    |
| 170513A      | BL       | 3            | 2.51 | -40         | 19.6              | 10.00              |
|              | BL       | 3            | 2.53 | -40         | 19.1              | 10.00              |
|              | BL       | 3            | 2.53 | -40         | 19.6              | 10.00              |
|              | BT       | 3            | 2.53 | 0           | 10.8              | 0.00               |
|              | BT       | 3            | 2.53 | 0           | 10.8              | 0.00               |
|              | BT       | 3            | 2.52 | 0           | 10.3              | 0.00               |
| 170513A      | TL       | 3            | 2.52 | +20         | 21.6              | 0.00               |
|              | TL       | 3            | 2.52 | +20         | 21.6              | 0.00               |
|              | TL       | 3            | 2.53 | +20         | 22.6              | 0.00               |
|              | TL       | 3            | 2.53 | 0           | 20.6              | 0.00               |
|              | TL       | 3            | 2.52 | 0           | 21.6              | 0.00               |
|              | TL       | 3            | 2.53 | 0           | 19.6              | 0.00               |
|              | TL       | 3            | 2.53 | - 20        | 20.6              | 5.00               |
|              | TL       | 3            | 2.52 | - 20        | 20.6              | 5.00               |
|              | TL       | 3            | 2.53 | - 20        | 20.6              | 5.00               |
|              | TL       | 3            | 2.52 | - 40        | 17.7              | 17.50              |
|              | TL       | 3            | 2.52 | - 40        | 19.1              | 17.50              |
|              | TL       | 3            | 2.53 | - 40        | 18.1              | 12.50              |
|              | TT       | 3            | 2.54 | 0           | 12.7              | 2.50               |
|              | TT       | 3            | 2.52 | 0           | 13.2              | 2.50               |
|              | TT       | 3            | 2.52 | 0           | 12.3              | 2.50               |

va ...

| Colada<br>Nº | Posición | Espesor(mm) |      | Temp.<br>°C | Energía<br>Joules | viene ..           |
|--------------|----------|-------------|------|-------------|-------------------|--------------------|
|              |          | Nominal     | Real |             |                   | Cristalinidad<br>% |
| 170513A      | BL       | 5           | 5.01 | +20         | 54.9              | 0.00               |
|              | BL       | 5           | 5.01 | +20         | 62.3              | 0.00               |
|              | BL       | 5           | 5.02 | +20         | 54.4              | 0.00               |
|              | BL       | 5           | 5.03 | 0           | 56.4              | 0.00               |
|              | BL       | 5           | 5.02 | 0           | 54.4              | 0.00               |
|              | BL       | 5           | 5.02 | 0           | 51.5              | 0.00               |
|              | BL       | 5           | 5.04 | -20         | 54.4              | 1.25               |
|              | BL       | 5           | 5.03 | -20         | 56.4              | 0.00               |
|              | BL       | 5           | 5.02 | -20         | 53.6              | 0.00               |
|              | BL       | 5           | 5.03 | -40         | 49.0              | 87.50              |
|              | BL       | 5           | 5.03 | -40         | 50.0              | 57.50              |
|              | BL       | 5           | 5.01 | -40         | 55.4              | 90.00              |
|              | BT       | 5           | 4.98 | 0           | 19.6              | 1.25               |
|              | BT       | 5           | 5.03 | 0           | 19.6              | 0.00               |
|              | BT       | 5           | 5.01 | 0           | 19.6              | 1.25               |
| 170157A      | TL       | 5           | 5.04 | +20         | 51.5              | 0.00               |
|              | TL       | 5           | 4.95 | +20         | 49.0              | 0.00               |
|              | TL       | 5           | 5.03 | +20         | 52.0              | 0.00               |
|              | TL       | 5           | 5.03 | 0           | 46.1              | 0.00               |
|              | TL       | 5           | 5.02 | 0           | 52.0              | 0.00               |
|              | TL       | 5           | 5.01 | 0           | 48.5              | 7.50               |

va ...

| Colada<br>Nº | Posición | Espesor (mm) |      | Temp.<br>°C | Energía<br>Joules | viene ..           |
|--------------|----------|--------------|------|-------------|-------------------|--------------------|
|              |          | Nominal      | Real |             |                   | Cristalinidad<br>% |
| 170157A      | TL       | 5            | 5.02 | -20         | 27.5              | 62.50              |
|              | TL       | 5            | 5.01 | -20         | 35.8              | 22.50              |
|              | TL       | 5            | 5.00 | -20         | 45.1              | 10.00              |
|              | TL       | 5            | 5.03 | -40         | 19.1              | 100.00             |
|              | TL       | 5            | 5.00 | -40         | 19.1              | 92.50              |
|              | TL       | 5            | 5.01 | -40         | 9.3               | 95.00              |
|              | TT       | 5            | 5.03 | 0           | 19.6              | 12.50              |
|              | TT       | 5            | 5.02 | 0           | 19.6              | 15.00              |
|              | TT       | 5            | 5.03 | 0           | 18.6              | 15.00              |
| 270085A      | BL       | 8            | 7.55 | +20         | 82.9              | 0.00               |
|              | BL       | 8            | 7.56 | +20         | 83.4              | 0.00               |
|              | BL       | 8            | 7.55 | +20         | 81.4              | 0.00               |
|              | BL       | 8            | 7.56 | 0           | 78.9              | 16.67              |
|              | BL       | 8            | 7.55 | 0           | 67.2              | 16.67              |
|              | BL       | 8            | 7.56 | 0           | 82.4              | 1.67               |
|              | BL       | 8            | 7.55 | -20         | 58.8              | 40.00              |
|              | BL       | 8            | 7.57 | -20         | 51.5              | 73.33              |
|              | BL       | 8            | 7.55 | -20         | 65.2              | 31.67              |
|              | BL       | 8            | 7.54 | -40         | 7.8               | 100.00             |
|              | BL       | 8            | 7.56 | -40         | 9.3               | 100.00             |
|              | BL       | 8            | 7.55 | -40         | 9.8               | 100.00             |

va ...

viene ..

| Colada<br>Nº | Posición | Espesor (mm) |       | Temp.<br>°C | Energía<br>Joules | Cristalinidad<br>% |
|--------------|----------|--------------|-------|-------------|-------------------|--------------------|
|              |          | Nominal      | real  |             |                   |                    |
| 270085A      | BT       | 8            | 7.54  | 0           | 36.8              | 13.33              |
|              | BT       | 8            | 7.54  | 0           | 35.3              | 15.00              |
|              | BT       | 8            | 7.56  | 0           | 37.3              | 3.33               |
| 270085A      | TL       | 8            | 7.56  | +20         | 64.7              | 13.33              |
|              | TL       | 8            | 7.56  | + 20        | 75.0              | 0.83               |
|              | TL       | 8            | 7.57  | + 20        | 75.5              | 0.00               |
|              | TL       | 8            | 7.56  | 0           | 63.3              | 30.00              |
|              | TL       | 8            | 7.56  | 0           | 61.3              | 21.67              |
|              | TL       | 8            | 7.53  | 0           | 57.4              | 31.67              |
|              | TL       | 8            | 7.55  | - 20        | 19.1              | 91.67              |
|              | TL       | 8            | 7.55  | - 20        | 19.6              | 85.00              |
|              | TL       | 8            | 7.55  | - 20        | 25.0              | 86.67              |
|              | TL       | 8            | 7.55  | - 40        | 3.4               | 100.00             |
|              | TL       | 8            | 7.56  | - 40        | 4.9               | 100.00             |
|              | TL       | 8            | 7.56  | - 40        | 4.9               | 100.00             |
|              | TT       | 8            | 7.54  | 0           | 26.0              | 28.33              |
|              | TT       | 8            | 7.55  | 0           | 28.4              | 26.67              |
|              | TT       | 8            | 7.53  | 0           | 21.1              | 35.00              |
| 170019A      | BL       | 25           | 10.03 | + 20        | 54.9              | 71.25              |
|              | BL       | 25           | 10.01 | + 20        | 53.4              | 62.50              |
|              | BL       | 25           | 10.01 | + 20        | 58.8              | 73.25              |

va ...

viene ..

| Colada<br>Nº | Posición | Espesor (mm) |       | Temp.<br>°C | Energía<br>Joules | Cristalinidad<br>% |
|--------------|----------|--------------|-------|-------------|-------------------|--------------------|
|              |          | Nominal      | Real  |             |                   |                    |
| 170019A      | BL       | 25           | 10.01 | 0           | 23.0              | 88.75              |
|              | BL       | 25           | 10.00 | 0           | 31.4              | 91.25              |
|              | BL       | 25           | 10.02 | 0           | 30.4              | 91.25              |
|              | BL       | 25           | 10.02 | -20         | 6.9               | 100.00             |
|              | BL       | 25           | 10.01 | -20         | 14.7              | 95.00              |
|              | BL       | 25           | 10.02 | -20         | 6.4               | 100.00             |
|              | BL       | 25           | 10.00 | -40         | 5.9               | 100.00             |
|              | BL       | 25           | 10.01 | -40         | 4.9               | 100.00             |
|              | BL       | 25           | 10.00 | -40         | 4.9               | 100.00             |
|              | BT       | 25           | 10.01 | 0           | 20.6              | 95.00              |
|              | BT       | 25           | 10.00 | 0           | 17.7              | 91.25              |
|              | BT       | 25           | 10.01 | 0           | 22.1              | 88.75              |
| 170019A      | TL       | 25           | 10.00 | +20         | 56.9              | 55.00              |
|              | TL       | 25           | 9.95  | +20         | 51.0              | 67.50              |
|              | TL       | 25           | 10.01 | +20         | 49.0              | 81.25              |
|              | TL       | 25           | 9.99  | 0           | 20.6              | 88.75              |
|              | TL       | 25           | 10.01 | 0           | 57.9              | 78.75              |
|              | TL       | 25           | 10.01 | 0           | 23.0              | 87.50              |
|              | TL       | 25           | 10.01 | -20         | 9.8               | 96.00              |
|              | TL       | 25           | 10.02 | -20         | 12.7              | 90.00              |
|              | TL       | 25           | 10.00 | -20         | 5.9               | 100.00             |

va ...



viene ..

| Colada<br>Nº | Posición | Espesor(mm) |       | Temp.<br>°C | Energía<br>Joules | Cristalinidad<br>% |
|--------------|----------|-------------|-------|-------------|-------------------|--------------------|
|              |          | Nominal     | Real  |             |                   |                    |
| 170019A      | TL       | 25          | 10.00 | -40         | 4.9               | 100.00             |
|              | TL       | 25          | 10.00 | -40         | 4.9               | 100.00             |
|              | TL       | 25          | 10.00 | -40         | 4.4               | 100.00             |
|              | TT       | 25          | 10.01 | 0           | 23.0              | 90.00              |
|              | TT       | 25          | 10.00 | 0           | 22.6              | 92.50              |
|              | TT       | 25          | 10.01 | 0           | 17.7              | 88.75              |
| 170019B      | BL       | 32          | 10.00 | +20         | 55.4              | 52.50              |
|              | BL       | 32          | 10.00 | +20         | 56.9              | 75.00              |
|              | BL       | 32          | 10.00 | +20         | 47.1              | 74.37              |
|              | BL       | 32          | 10.01 | 0           | 33.8              | 90.00              |
|              | BL       | 32          | 10.02 | 0           | 41.2              | 87.50              |
|              | BL       | 32          | 10.01 | 0           | 17.2              | 91.25              |
|              | BL       | 32          | 9.95  | -20         | 9.8               | 100.00             |
|              | BL       | 32          | 9.75  | -20         | 8.8               | 97.50              |
|              | BL       | 32          | 10.01 | -20         | 9.8               | 97.50              |
|              | BL       | 32          | 10.01 | -40         | 5.4               | 100.00             |
|              | BL       | 32          | 10.01 | -40         | 4.4               | 100.00             |
|              | BL       | 32          | 10.00 | -40         | 4.4               | 100.00             |
|              | BT       | 32          | 10.01 | 0           | 19.6              | 83.75              |
|              | BT       | 32          | 10.00 | 0           | 16.7              | 90.00              |
|              | BT       | 32          | 9.99  | 0           | 22.6              | 91.25              |

va ...

viene ..

| Colada<br>Nº | Posición | Espesor(mm) |       | Temp.<br>°C | Energía<br>Joules | Cristalinidad<br>% |
|--------------|----------|-------------|-------|-------------|-------------------|--------------------|
|              |          | Nominal     | Real  |             |                   |                    |
| 170019B      | TL       | 32          | 10.01 | +20         | 58.3              | 90.00              |
|              | TL       | 32          | 10.01 | +20         | 50.5              | 67.50              |
|              | TL       | 32          | 10.02 | +20         | 64.7              | 61.25              |
|              | TL       | 32          | 10.00 | 0           | 16.2              | 77.50              |
|              | TL       | 32          | 10.01 | 0           | 14.7              | 81.25              |
|              | TL       | 32          | 10.00 | 0           | 22.6              | 75.00              |
|              | TL       | 32          | 10.01 | -20         | 5.9               | 95.00              |
|              | TL       | 32          | 10.00 | -20         | 6.4               | 97.50              |
|              | TL       | 32          | 10.04 | -20         | 4.9               | 97.50              |
|              | TL       | 32          | 10.00 | -40         | 4.9               | 100.00             |
|              | TL       | 32          | 10.01 | -40         | 4.9               | 100.00             |
|              | TL       | 32          | 10.02 | -40         | 4.9               | 100.00             |
|              | TT       | 32          | 10.01 | 0           | 19.6              | 85.00              |
|              | TT       | 32          | 10.02 | 0           | 10.8              | 86.25              |
|              | TT       | 32          | 10.02 | 0           | 24.8              | 81.25              |

#### 6.2.7 Impresión de Azufre .

Las muestras para impresión de azufre, de dimensiones : 600 mm de ancho por el espesor de la plancha, se sacaron del centro a un extremo de cada lingote, en el tope y base del mismo . Los resultados se muestran en las figuras al final de éste capítulo

## 6.2.8 Análisis Químico de Comprobación .

Los análisis correspondientes se hicieron de cada pieza de material ensayada, siendo los resultados los siguientes:

| Nº     | Colada Posi-Esp.<br>ción (mm) | A n á l i s i s ( % ) |      |      |       |       |       |       |       |      |
|--------|-------------------------------|-----------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
|        |                               | C                     | Mn   | Si   | S     | P     | Cr    | Ni    | Cu    | Al   |
| 170513 | Base 3                        | 0.15                  | 0.82 | 0.08 | 0.025 | 0.012 | 0.088 | 0.050 | 0.096 | .001 |
|        | Tope 3                        | 0.15                  | 0.80 | 0.07 | 0.024 | 0.012 | 0.088 | 0.052 | 0.120 | .001 |
| 170157 | Base 5                        | 0.19                  | 0.84 | 0.05 | 0.027 | 0.010 | 0.064 | 0.048 | 0.092 | .001 |
|        | Tope 5                        | 0.21                  | 0.86 | 0.05 | 0.027 | 0.010 | 0.064 | 0.048 | 0.080 | .001 |
| 270085 | Base 8                        | 0.17                  | 0.86 | 0.04 | 0.027 | 0.010 | 0.052 | 0.078 | 0.184 | .001 |
|        | Tope 8                        | 0.17                  | 0.84 | 0.06 | 0.028 | 0.010 | 0.104 | 0.074 | 0.148 | .001 |
| 170019 | Base 25                       | 0.22                  | 0.83 | 0.04 | 0.027 | 0.010 | 0.104 | 0.068 | 0.148 | .001 |
| A      | Tope 25                       | 0.23                  | 0.84 | 0.04 | 0.030 | 0.010 | 0.104 | 0.068 | 0.148 | .001 |
| 170019 | Base 32                       | 0.22                  | 0.96 | 0.06 | 0.028 | 0.010 | 0.096 | 0.070 | 0.172 | .001 |
| B      | Tope 32                       | 0.20                  | 0.95 | 0.06 | 0.027 | 0.010 | 0.096 | 0.070 | 0.172 | .001 |

## 6.2.9 Micrografía .

En todas las coladas se realizaron los análisis metalográficos. Las microfotografías representativas a 100 X se realizaron a la muestras ensayadas de cada lingote ( base y tope) . Los resultados se adjuntan al final del presente Capítulo .

## 6.2.10 Conclusiones .

En vista de los resultados obtenidos en los ensayos, es re-

comendable extender la aprobación a la fábrica considerando los méritos favorables; el cual debe incluir :

Acero Naval Grado "A" : lingotes, palanquillas, planchones, planchas gruesas (chapas) y bobinas; acero manufacturado en Hornos Eléctricos .

Inspector Oficial de Lloyd's Register of Shipping .  
D.G.Monks .

### 6.3 Parámetros de control adicionales .

Además de los requisitos exigidos por Lloyd's Register of Shipping, internamente es necesario el control riguroso de los parámetros de calentamiento en hornos y control de temperaturas en el área de laminación . El control de éstos parámetros aseguran la buena calidad de los productos laminados .

#### 6.3.1 Laminación de Lingotes .

|                 | L i n g o t e s |         |         |         |         |
|-----------------|-----------------|---------|---------|---------|---------|
| Controles       | 170513A         | 170157A | 270085A | 170019A | 170019B |
| Hornos de Foso  |                 |         |         |         |         |
| Tiempo en foso  | 13h30'          | 13h10'  | 12h20'  | 13h10'  | 13h10'  |
| temp. Igualiz°C | 1300°           | 1300°   | 1300°   | 1300°   | 1300°   |
| defectos sup .  | GrM,2           | -       | EM 1,2  | -       | -       |
|                 |                 |         |         |         | va ...  |

... viene

Controles            170513A   170157A   270085A   170019A   170019B

### Cizalla

|                |       |       |       |       |       |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| dimensiones(e) | 130mm | 130mm | 95mm  | 200mm | 200mm |
| rendimiento(R) | 88.8% | 87.6% | 89.5% | 85.0% | 85.0% |

Los defectos de grietas (Gr) y exfoliaciones (E) fueron escarpados a los planchones correspondientes y eliminados, quedando en óptimo estado de calidad superficial para los posteriores procesos. El máximo de temperatura del horno de 1300°C, nos garantiza cumplimiento normal del ciclo de calentamiento y evita el quemado de los lingotes.

Los rendimientos son óptimos a excepción de los lingotes 170019A y B, lo que se debe a un exceso en el peso del lingote. En resumen hubo una buena práctica de desoxidación en Acería y garantiza ausencia de rechupe.

### 6.3.2 Laminación a planchas gruesas y bobinas.

#### a) Planchas gruesas.

| Nº Colada | Nº Plancha | Esp (mm) | % R | T°C Acab. |
|-----------|------------|----------|-----|-----------|
| 270085 A  | 2418-7     | 8        | 92  | 900       |
| 170019 A  | 2234-7     | 25       | 87  | 920       |
| 170019 B  | 2295-7     | 32       | 82  | 950       |

b) Bobinas .

| Nº Colada | Nº Bobina | Esp. (mm) | T°C Acab. | T°C Bob. |
|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| 170513 A  | 4684-7    | 3         | 890       | 610      |
| 170157 A  | 4387-7    | 5         | 850       | 620      |

Todas las temperaturas de acabado ( Acab.) y bobinado (Bob.) están dentro de los rangos especificados, garantizando, por éstos parámetros, propiedades mecánicas óptimas .

C u a d r o N ° 6 . 1

|                              |            |           |           |           |
|------------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| Nº Colada                    | 170513     | 170157    | 270085    | 170019    |
| Control es                   |            |           |           |           |
| Calidad                      | 19B-1      | 19B-1     | 19B-1     | 19B-2     |
| Análisis Prel.               |            |           |           |           |
| % C                          | 0.20       | 0.11      | 0.16      | 0.20      |
| % Mn                         | 0.43       | 0.25      | 0.30      | 0.40      |
| % S                          | -          | -         | 0.32      | -         |
| % Fe.O                       | -          | -         | -         | -         |
| Tº C Cuchara                 | 1560/1555º | 1555º     | 1550º     | 1555º     |
| Adiciones en<br>cuchara(Kgs) |            |           |           |           |
| Fe.Si                        | 45         | 45        | 45        | 40        |
| Coque                        | 4          | 40        | -         | 28        |
| Fe.Mn Ref.                   | 200        | -         | -         | -         |
| Fe.Mn St.                    | -          | 200       | 250       | 190       |
| Análisis Final               |            |           |           |           |
| % C                          | 0.17/0.17  | 0.18/0.17 | 0.17/0.18 | 0.20/0.21 |
| % Mn                         | 0.76/0.78  | 0.84/0.82 | 0.76/0.78 | 0.90/0.90 |
| % S                          | 0.025      | 0.022     | 0.024     | 0.028     |
| % Si                         | -          | -         | 0.06      | -         |
| % P                          | -          | -         | 0.014     | -         |

170513/A  
3 MM Bot.

170513/A  
3 MM TOP

170157/A  
5 MM TOP

170157/A  
5 MM Bot

270085/A  
8 MM TOP

270085/A  
8 MM Bot.



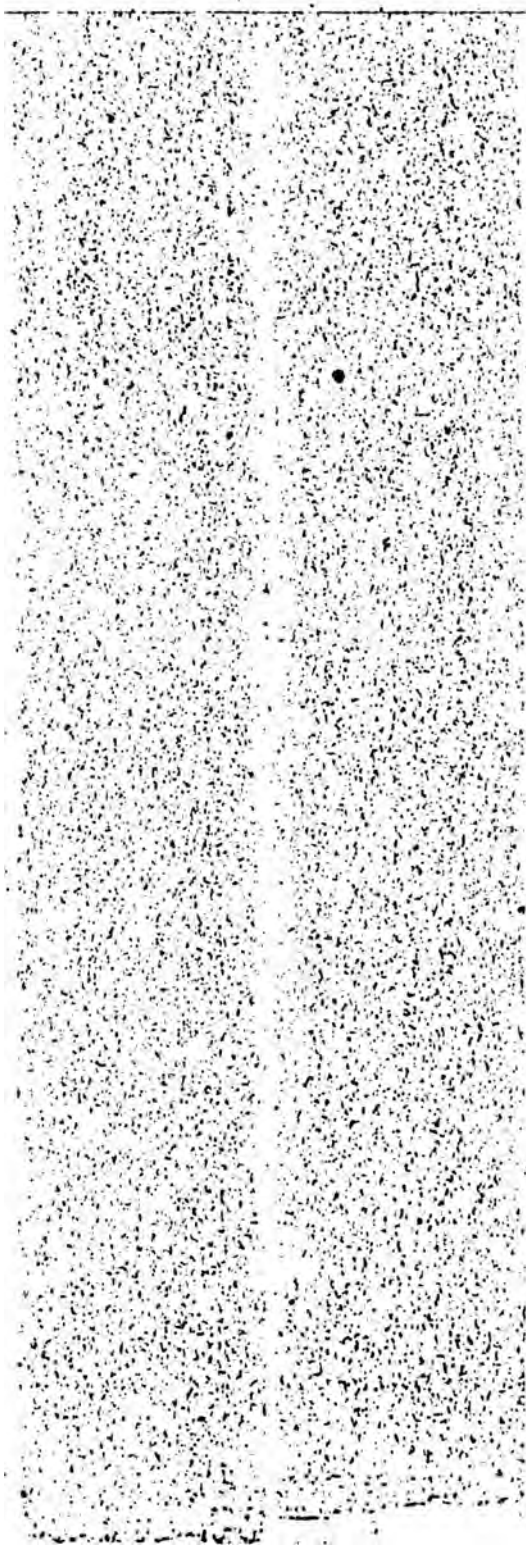


170019/A  
25mm Top



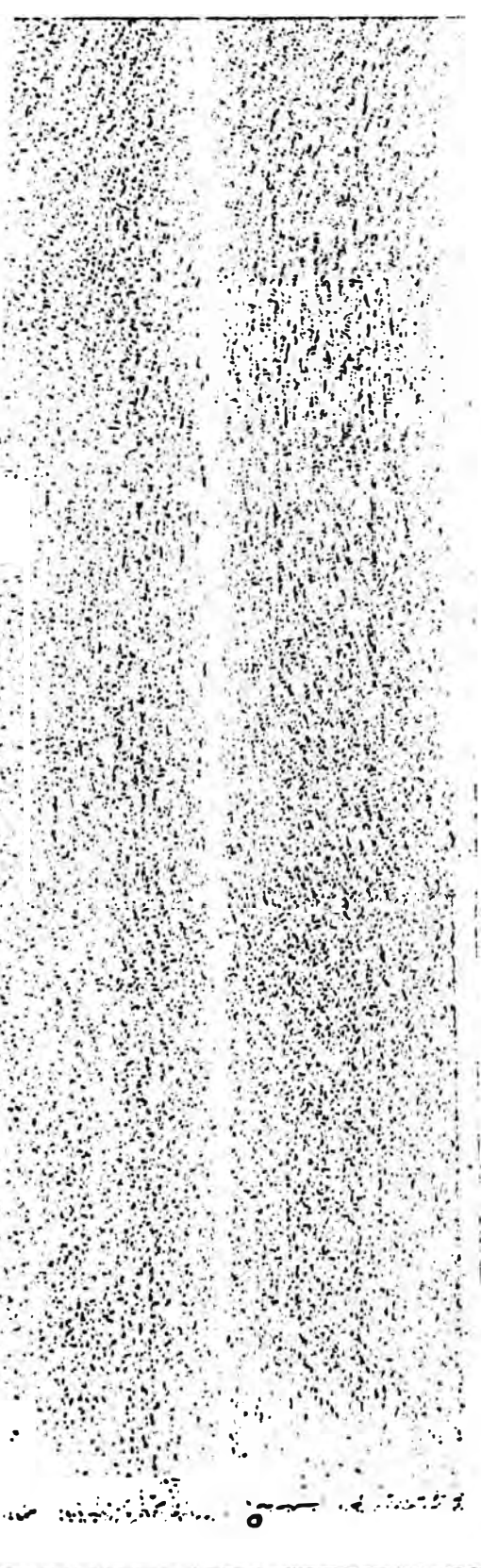
170019/A  
25mm Bot

1700 9/B  
32MM TOP



x

170019/B  
32MM BOT.



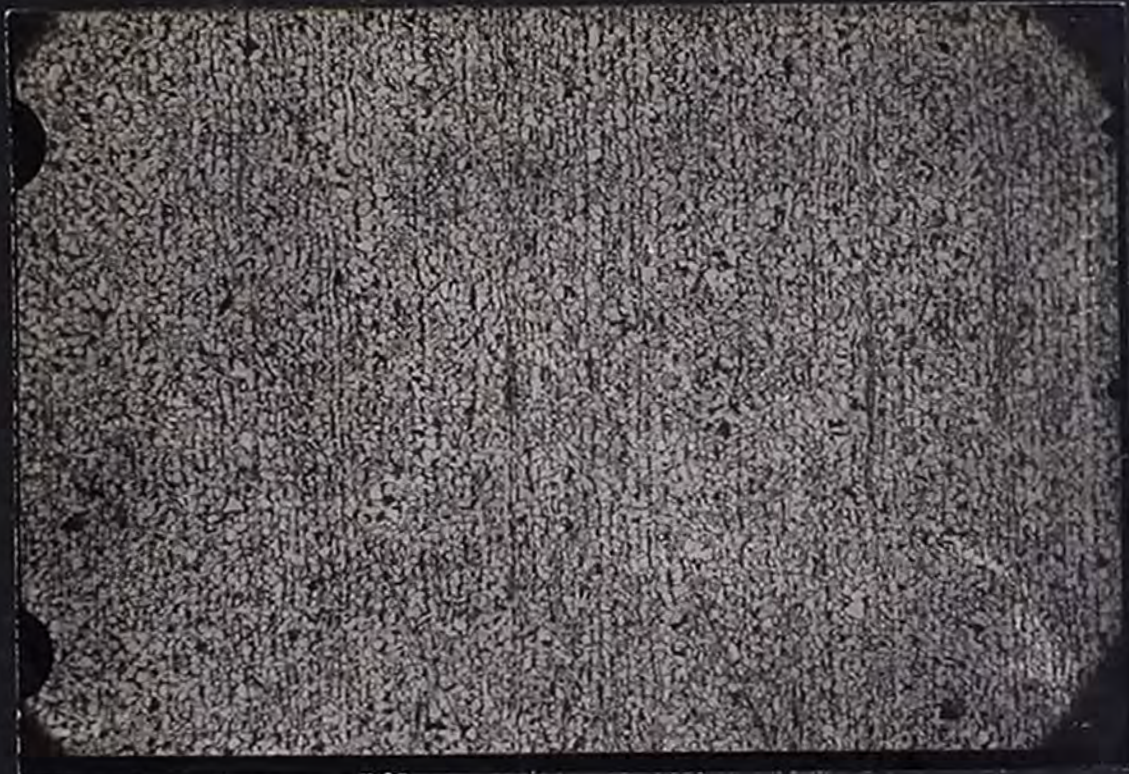
ANALISIS METALOGRAFICO DE LAS MICROFOTOGRAFIAS ADJUNTAS

| Micro | Posición | Colada   | Espesor | Tamaño Grano ASTM | % Perlita | Observaciones                                                                                                      |
|-------|----------|----------|---------|-------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1a    | Tope     | 170513 A | 3 mm    | 10.0              | 20        | Textura alineada.                                                                                                  |
| 1b    | Base     | 170513 A | 3 mm    | 8.5               | 15        | Textura ligeramente alineada.                                                                                      |
| 2a    | Tope     | 170157 A | 5 mm    | 9.0               | 25        | Textura alineada de granos ferríticos y perlíticos, éstos últimos de forma irregular.                              |
| 2b    | Base     | 170157 A | 5 mm    | 9/10              | 30        | Textura alineada de granos ferríticos no uniformes. Perlita con tendencia a esferoidizarse y tener forma acicular. |
| 3a    | Tope     | 270085 A | 8 mm    | 8.0               | 20        | Perlita intergranular.                                                                                             |
| 3b    | Base     | 270085 A | 8 mm    | 8.0               | 30        | Perlita de grano irregular.                                                                                        |
| 4a    | Tope     | 170019 A | 25 mm   | 6.5               | 35        | Perlita lamelar fina (10% globulizada). Un 25% corresponde a estructura acicular tipo widmanstatten.               |
| 4b    | Base     | 170019 A | 25 mm   | 6.5               | 30        | Textura acicular (widmanstatten corresponde al 20%).                                                               |
| 5a    | Tope     | 170019 B | 32 mm   | 6.0               | 35        | Perlita lamelar 20% y esferoidizada 15%. Textura acicular (widmanstatten 40%).                                     |
| 5b    | Base     | 170019 B | 32 mm   | 6.0               | 35        | Perlita lamelar 20% y esferoidizada 15%. Textura acicular (widmanstatten 45%).                                     |

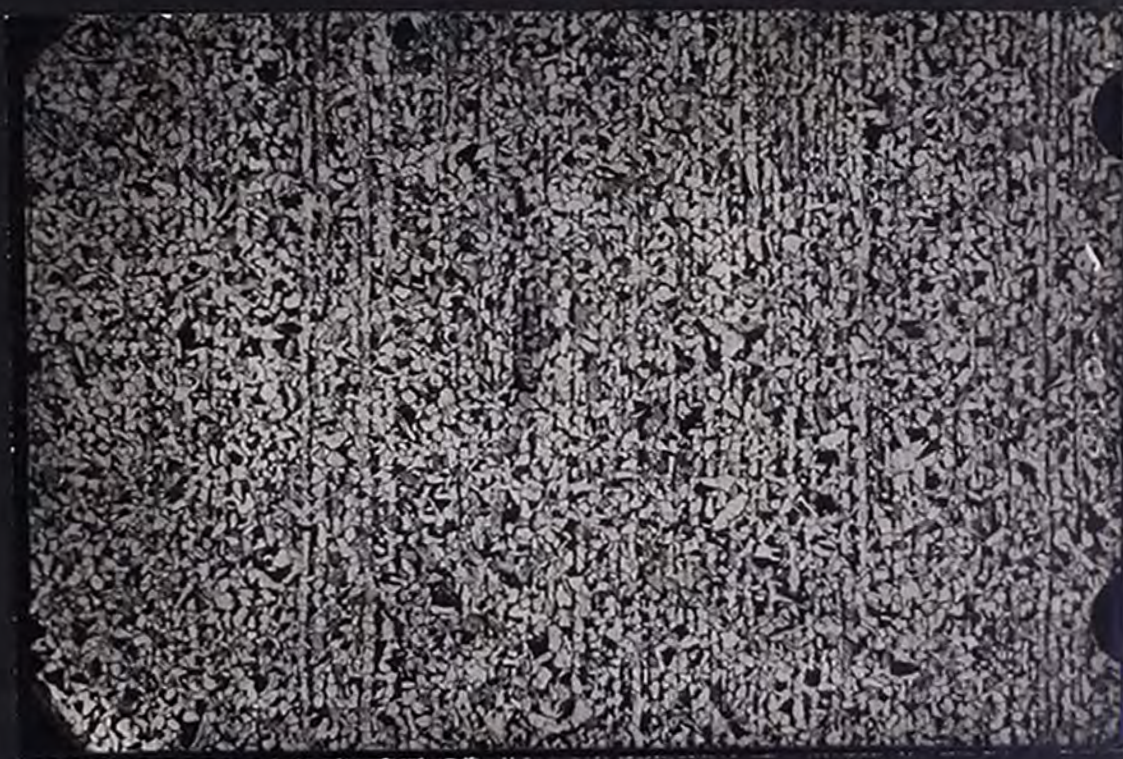
Nota.-

Respecto a inclusiones :

Los silicatos, en cantidad, aparecen en los niveles N° 1 al 4,  
 Los sulfuros aparecen en los niveles 1 y 2,  
 Las alúminas y óxidos globulares son despreciables.



Microfotografía N° 1 a



Microfotografía N° 1 b



Microfotografía N° 2 a



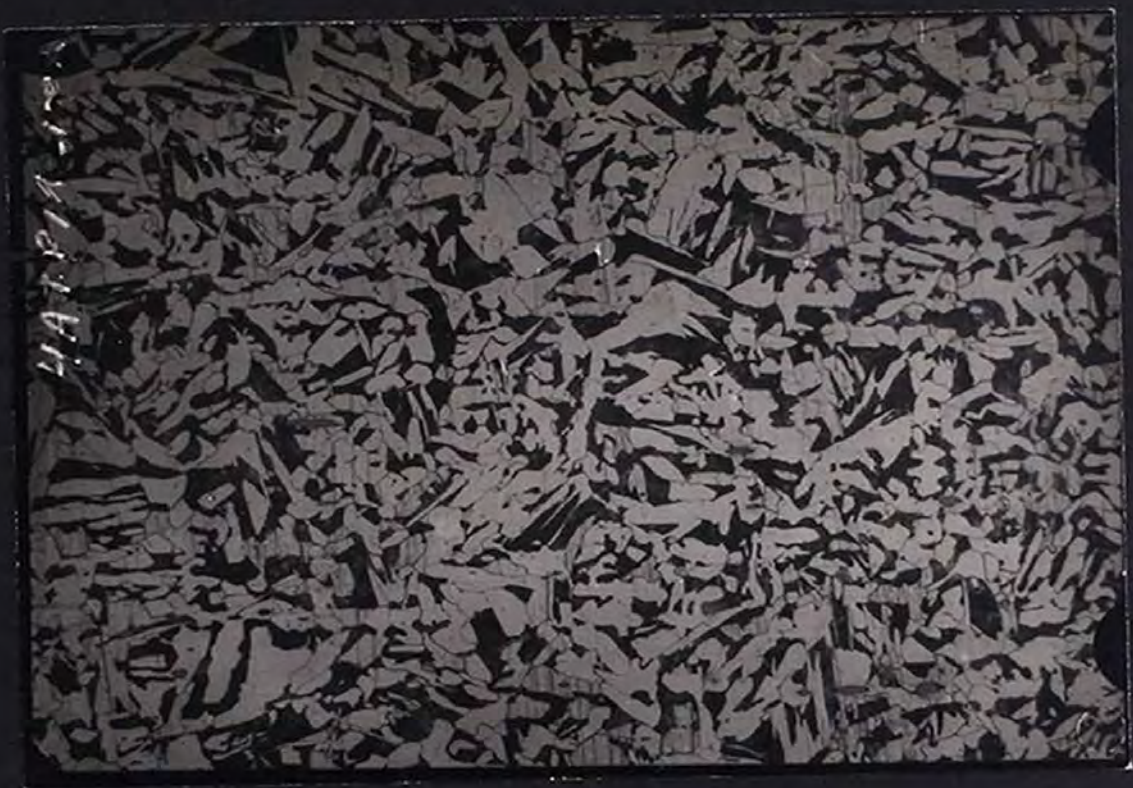
Microfotografía N° 2 b



Microfotografía N° 3 a



Microfotografía N° 3 b



Microfotografia N° 4 a



Microfotografia N° 4 b

## CAPITULO VII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al iniciar nuestros estudios de factibilidad de producción de acero naval grado "A" , nos planteamos dos objetivos principales que eran :

Que la Industria Siderúrgica del Perú (SIDERPERU) produzca este tipo de acero y que el mismo sea de tal calidad que pueda competir en el mercado internacional, para lo cual era necesario la certificación de una Sociedad Clasificadora de la Industria Naval. Fué la Sociedad Inglesa Lloyd's Register of Shipping finalmente la encargada de verificar la calidad de nuestros productos. El certificado que aparece al final de este Capítulo, es un justo premio al trabajo, dedicación y calidad de los que en nuestra Industria Siderúrgica, en una u otra forma, tienen que ver con la fabricación de este acero.

Así mismo este certificado nos garantiza poder comercializar este producto a nivel internacional poniendo a disposición de los usuarios garantía y calidad de los mismos .

En el Capítulo IV figuran las prácticas de fabricación de este acero, que es lo que actualmente rige en el complejo siderúrgico; el cumplimiento de estas prácticas nos garantizarán buenas propiedades de nuestros productos laminados



es necesario poner mucho énfasis en el control riguroso en los análisis químicos del acero y las temperaturas de trabajo en las áreas de acería y laminación en caliente.

En el capítulo V se analizan en detalle los parámetros que garantizan una buena calidad del acero. Después de la obtención del acero se analizan los factores determinantes para asegurar al usuario un buen comportamiento del producto. Es necesario controles esporádicos de la microestructura en espesores diferentes aún cuando los resultados de las pruebas físicas y superficiales sean óptimos en los laboratorios.

De igual forma chequeos esporádicos de la composición química son necesarios, este chequeo debe hacerse principalmente para el carbono, manganeso y azufre.

En el Capítulo VI figuran los resultados completos de los datos exigidos por Lloyd's Register of Shipping para la aprobación del acero naval. Los resultados fueron satisfactorios en su totalidad. Es necesario hacer algunos comentarios sobre el éxito de los ensayos.

Ensayo de Tracción :

| espesor      | LE(N/mm <sup>2</sup> ) | CR(N/mm <sup>2</sup> ) | A (%)                    | Doblado (3e) |
|--------------|------------------------|------------------------|--------------------------|--------------|
| menos que 1" | 261/348<br>(230)mín.   | 412/497<br>(400/490)   | 19/27<br>(16)mín. 3a8 mm | Bueno        |
|              |                        |                        | 24/28<br>(19)mín. 25 mm  | Bueno        |
| mas que 1"   | 260/284<br>(220)mín.   | 473/492<br>(400/490)   | 25/29<br>(20)mín. 32 mm  | Bueno        |

Los números entre paréntesis son los exigidos por Lloyd's.

Tal como figura en el análisis de cuchara y análisis químico de comprobación (secciones 6.2.2. y 6.2.8. respectivamente), los rangos de carbono y manganeso nos aseguran los cumplimientos de límite elástico (LE), carga de rotura (CR) y alargamiento (A).

Los resultados de doblado, todos fueron buenos, esto se debe principalmente al bajo contenido de azufre de las coladas.

Contenido de Azufre

|        | A. Cuchara | A. Q. Comprobación |
|--------|------------|--------------------|
| 170513 | 0.025 ‰    | 0.025/0.024 ‰      |
| 170157 | 0.022 ‰    | 0.027/0.027 ‰      |
| 270085 | 0.024 ‰    | 0.027/0.028 ‰      |
| 170019 | 0.028 ‰    | 0.027/0.030 ‰      |

Estos bajos porcentajes de azufre, se manifiestan en la impresión de azufre (sección 6.2.7). En las figuras correspondientes de impresión de azufre, no se notan segregaciones de este elemento lo cual nos indica que la desulfuración en el momento de la fabricación del acero (área de acería) ha sido excelente. De igual forma (tal como se observa de la sección 6.2.5) los doblados más exigentes, o sea al contacto, han sido satisfactorios; notándose solo fisuras leves que no afectan la calidad del producto y que son normales.

Una buena práctica de desulfuración y bajos contenidos de azufre nos garantizan un buen comportamiento del doblado de éste acero.

En la sección 6.2.6 se reportan los resultados de ensayo de resiliencia. Tomando como base lo exigido por Lloyd's para el acero naval grado "B" se tiene:

Ensayo de impacto longitudinal.

Temperatura de ensayo : 0°C  
 Posición del ensayo : base del lingote (B)  
 tope del lingote (T)

| Espesor | Energía promedio en Joules (J). |         |
|---------|---------------------------------|---------|
|         | Base                            | Tope    |
| 3 mm    | 17 / 21                         | 20 / 21 |
| 5 mm    | 52 / 56                         | 46 / 52 |

va ...

... viene

| Espesor | Energía promedio en Joules (J) |       |
|---------|--------------------------------|-------|
|         | Base                           | Tope  |
| 8 mm    | 67/82                          | 57/63 |
| 25 mm   | 23/31                          | 21/58 |
| 32 mm   | 17/34                          | 15/23 |

Mínimo exigido Grado "B" : 27 J

Mínimo exigido Grado "D" : 47 J

Si bien es cierto que para el grado "A" no se exige ensayo de resiliencia, los valores anteriores nos muestran que también estamos en condiciones de fabricar el grado superior de éstos aceros, es decir el grado "B". Los resultados de los espesores de 5 y 8 mm cumplen en forma muy superior el mínimo de 27 J exigido para el grado "B", los espesores de 25 y 32 mm solo lo cumplen parcialmente, y los de 3 mm no cumplen con este requisito. Si tomamos en cuenta que estos ensayos fueron hechos a planchas al estado laminado, con un tratamiento térmico de normalizado es posible cumplir con el mínimo exigido.

Finalmente, estamos también en condiciones de suministrar aceros microaleados grado "A" a la industria naval, tal como lo muestran los resultados de la sección 5.6. En este caso sólo se recomienda producir estos tipos de acero pa-

ra los espesores mayores de 50 mm. ya que, como se ha manifestado en la sección 5.2 por limitaciones del equipo no podemos fabricar espesores mayores con aceros al carbono simplemente. Para este fin se recomienda la siguiente composición química.

|           |           |           |          |          |     |
|-----------|-----------|-----------|----------|----------|-----|
| %C        | %Mn       | %Si       | %S       | %P       | ... |
| 0.07/0.10 | 0.90/1.05 | 0.50máx   | 0.035máx | 0.035máx | ... |
| ...       | %Nb       | %V        |          |          |     |
|           | 0.02/0.04 | 0.04/0.06 | .        |          |     |



# Lloyd's Register of Shipping

71 Fenchurch Street, London, EC3M 4BS

Telephone 01-709 9166

Telex, 888379

Cables Committee, London EC3

Empresa Siderurgica del Peru,<sup>7</sup>  
(Siderperu), Chimbote,  
PERU.

Please address further communications to The Secretary, and quote

Our Ref TSG/H/478/JCH

Your Ref

Date 15th September 1977

c. c. LR Callao

Dear Sirs,

The Society's Surveyors at Callao have reported to this office on your works at Chimbote.

In view of the satisfactory nature of their report, I have pleasure in advising you that it has been decided to accept coils in Grade A steel and also plates in Grade A steel manufactured at these Works by the electric steelmaking process, for use in vessels classed or intended to be classed by the Society.

The name of your Works will; therefore, be added to the List of Steel Manufacturers who have satisfied the Committee as to the reliability of the material produced by them, the entry to read as follows:

Empresa Siderurgica del Peru,  
(Siderperu),  
Chimbote,  
Peru,  
(Strip)

It is a requirement that your Works should be inspected and reported upon by the Surveyors, at intervals not exceeding three years. Should you make any alterations to your plant or procedure which may affect the Society's approval, we rely upon your advising our Surveyors immediately such alterations are contemplated.

It is also a requirement that the tensile testing of material coming under the inspection of Lloyd's Register is to be carried out on a testing machine approved by the Society and examined and calibrated at approximately annual intervals with satisfactory results.

I have formally to advise you that the retention of the name of your Works in the List is subject to full compliance with the Society's Rules and the foregoing conditions.

Yours faithfully,

Assistant Secretary

GRO/JB

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

### L i b r o s .

1.- Rules for the Construction and Classification of Steel Ships.

Lloyd's Register of Shipping. 1972

2.- Rules for the Construction and Classification of Steel Ships.

Lloyd's Register of Shipping. 1976

3.- Transformaciones de fase en estado sólido.

Dr. A . Cabo

Noveno Curso Panamericano de Metalurgia . 1973

4.- The Making, Shapping and Treating of Steel.

By Harold E. Mc. Gannon - 8a Edition.

Capítulos : 19 , 20 , 21 , 22 , 23 .

5.- Metals Handbook Heat Treating Cleaning and Finishing.

American Society for Metals. 8a Edition .

6.- Heat Treatment of Metals .

By . B. Zakharov .

### R e v i s t a s .

1.- Metals Technology .

July - August. 1975

2.- Effects of Controlled Rolling and Microalloying on Properties of Strips and Plates.

Microalloying 75.

3.- The combined Effect of Microalloying Steels with Columbium and Vanadium .

Microalloying. 75

4.- Method for Converting Elongation Values for Steel British Standard 3894 : Part 1 : 1965

5.- Tensile Strength and Composition of Hot - rolled Plains Carbon Steels, for Quest, C. F ; and T. S . Washburn .

6.- Laminación controlada de aceros con dispersoides para la producción de planchas medianas y gruesas con tenacidad y alta resistencia .

Congreso Internacional Científico y Tecnológico sobre el arrabio y el acero. Tokio 1970 .

7.- Efectos de algunas variaciones en la composición sobre las propiedades mecánicas del acero al vanadio en condiciones de normalizado y de laminación controlada en planchas de 12 mm de espesor.

Metals Technology .L.M. Sage; D.M. Hayes.

July 1976 - Volume 3 , Part 7.

8.- Algunas consideraciones sobre el laminado controlado de aceros .

Alfredo M. Hey

Siderurgia . Año 2 - Octubre/Diciembre 1975 .

1974 Annual Book of ASTM STANDARDS Part 4.

Apuntes de clase .