

Universidad Nacional de Ingeniería

**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA GEOLOGICA,
MINERA Y METALURGICA**



**ACEROS ESTRUCTURALES AL CARBONO EN SIDERPERU
Su Optimización en Base a Modelos Matemáticos**

T E S I S

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

**WALTER HINOJOSA GONZALES
PROMOCION 1973 - 1**

LIMA - PERU - 1977

A MIS PADRES :

Por sus admirables sacrificios que hicieron posible el logro de mi profesión.

A MI ESPOSA E HIJOS :

Que son el complemento ideal de mi existencia.

I N T R O D U C C I O N

La Industria Siderúrgica por su significado técnico, por su magnitud creciente y por la naturaleza de los problemas que la afectan, tiene caracteres propios que le otorgan una definida personalidad.

Así como en la construcción de puentes y estructuras, maquinarias y herramientas todas de gran precisión y eficiencia, la prolongación de la vida humana y el logro de un mejor bienestar para la sociedad, serían metas imposibles de alcanzar sin la participación cada vez más importante de los productos Siderúrgicos.

Un análisis de la economía peruana nos indica que la expansión del sector Energía y Minas, prevista en el plan de desarrollo del sector, implicará un aumento considerable de la demanda de perfiles soldados y de tubos con ó sin costura. Las actuales y futuras exigencias de productos Siderúrgicos, para los sectores Pesca y Transportes son considerables, es decir que en un gran porcentaje de los barcos pesqueros que abastecen la producción de harinas de pescado son construídas metálicamente.

Así mismo, nuestros cuatro principales Astilleros producen..

embarcaciones de transporte y de pesca por una capacidad total de 95,000 toneladas, y se espera que alcancen las 150,000 toneladas de producción anual para el consumo interno, así como una expansión considerable de la producción para exportación.

El Servicio Industrial de la Marina (SIMA), por su parte ya es capaz de producir embarcaciones de 50,000 toneladas de capacidad, las que demandarían un promedio anual de 30,000 toneladas de productos planos calidad estructural para embarcaciones; algo similar acontece en la actualidad para la construcción de puentes reticulares metálicos proyectados en el plan de intercomunicaciones.

El sector de la construcción puede también ser considerado como uno de los consumidores de productos Siderúrgicos; existiendo una utilización casi exclusiva de tubos y perfiles livianos que va en aumento gradual.

La Industrialización requerirá aún más acero no solo para fabricar productos industriales sino para los infraestructuras sociales tales como vivienda, silos, obras de alcantarillado y puentes, que constituyen una condición previa para el proceso de industrialización.

Considerando estas necesidades y otras posibles, se puede agrupar todo este conjunto de aplicaciones en determinado tipos de aceros, encontrando con satisfacción que la mayor parte de ellas están involucradas dentro de los ACEROS ESTRUCTURALES AL CARBONO (Tema del estudio).

La fabricación de este tipo de aceros constituye un esfuerzo más de SIDERPERU por la aplicación de una nueva Tecnología que con ella nos permita cumplir con las exigencias del mercado con nuevos tipos de acero tanto en cantidad, oportunidad y más que nada con productos de buena calidad, de tal manera de que estos productos puedan competir en el mercado internacional provenientes de países que poseen una tecnología más avanzada.

Con este objetivo, se desarrolla el presente trabajo que consiste en la optimización de los aceros estructurales al carbono fabricados por SIDERPERU tomando como base MODELOS MATEMATICOS, la cual nos permitirá obtener ciertos beneficios económicos en razón de un mejor sistema de fabricación y por consiguiente de una optimización de materias primas requeridas en el proceso.

Teniendo en cuenta las circunstancias anotadas, el presente trabajo consta primeramente de un esbozo general relacionado

con los aceros estructurales, su importancia y ubicación dentro del amplio campo siderúrgico.

Seguidamente se enfocan algunos aspectos importantes en el desarrollo de los aceros estructurales al carbono fabricados por SIDERPERU : 16D - E21, 16D-EC24 y 19B - ES24.

Se efectuó así mismo un análisis del mercado nacional determinando el volumen del consumo histórico y su demanda proyectada.

En la parte técnica se describen las principales instalaciones y procesos de elaboración del producto seguido del Control de Calidad que es aplicado en cada uno de estos procesos y el producto final.

Las principales características que se obtienen en los aceros estructurales que actualmente se fabrican en SIDERPERU son resumidas estadísticamente y además se presentan en forma gráfica mediante histogramas de frecuencia respectivas.

Los modelos Matemáticos desarrollados para los aceros 16C, 16D, y 19B producidos por SIDERPERU, fueron útiles para lograr la optimización en sus características principales : Composición química - propiedades mecánicas. Justificando este estudio con una disminución en el costo del producto y por ende un considerable ahorro anual por este concepto,

.....

cuya magnitud es estimada en la parte de la Evaluación Económica aplicada a las diferentes alternativas propuestas en el presente trabajo.

Antes de esta evaluación presentamos un resumen de las principales Normas Nacionales Internacionales que en algunos casos fueron tomadas como base para la fabricación de los aceros ó que por su similitud en las características especificadas pueden aplicarse bajo otras Normas.

Finalmente se extraen algunas conclusiones y recomendaciones.

Creemos que al concluir el presente trabajo, habremos apartado en algo a la investigación tecnológica que reclama un país en vías de desarrollo, como es el nuestro, para disminuir la dependencia tecnológica que nos hace estar supeditados a los países altamente industrializados.

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

A la Empresa Siderúrgica del Perú -SIDERPERU- por permitir la presentación de los datos concernientes a la fabricación de los Aceros Estructurales al Carbono y por las facilidades prestadas a la ejecución del presente trabajo.

A los colegas, compañeros de trabajo, que en alguna medida contribuyeron a la mejor realización y culminación del estudio.

A los Docentes del Programa Académico de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica de la UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA que me inculcaron los conocimientos de base que sustentan mi desarrollo profesional, y de igual modo al Ing^o Oscar Medina B. por la orientación brindada en el desarrollo de la presente Tesis.

EL AUTOR

I N D I C E

Pag.

CAPITULO I GENERALIDADES

1.1.	Aceros Estructurales -----	1
1.1.1	Aceros al Carbono para Estructuras -----	2
1.1.2	Aceros de Alta Resistencia y Baja Aleación	5
1.1.3	Función de los Elementos Químicos -----	6
1.1.4	Aplicación -----	10
1.2.	Aceros Estructurales Fabricados por SIDER_	
	PERU -----	13
1.2.1	Introducción -----	13
1.2.2	Acero 16C-E21 (ASTM aA283 °C) -----	16
1.2.3	Acero 16D-EC24 (DIN 17100 RSt 37-2) -----	17
1.2.4	Acero 19B-ES24 (LRS °A) -----	20

CAPITULO II ESTUDIO DE MERCADO

2.1.	Proyección Macroeconómica de la Demanda de	
	Acero Líquido -----	23
2.1.1	Consumo Aparente de Acero Líquido -----	26
2.1.2	Pronosticos de la Demanda Aparente -----	27
2.2.	Importación de Productos Planos -----	29
2.2.1	Análisis del Comportamiento de las Impor -	
	taciones -----	29
2.2.2	Importación 1975 por Dimensiones -----	33
2.2.3	Resumen de Productos Importados por Cali -	
	dades -1975 -----	34
2.4.	Demanda de Productos Planos LAC que será	
	Cubierta por SIDERPERU y necesidades de Ace	
	ro Líquido -----	34
2.5.	Tipo de Consumidor -----	37

CAPITULO III TECNOLOGIA DE FABRICACION

3.1. Materias Primas -----	39
3.1.1. Chatarra -----	40
3.1.2 Arrabio Sólido -----	41
3.1.3 Ferroaleaciones -----	42
3.1.4 Coque Metalúrgico -----	43
3.1.5 Fundentes y Otros -----	44
3.2. Fabricación del Acero -----	45
3.2.1 Hornos Eléctricos -----	45
3.2.2 Etapas del Proceso -----	47
3.2.3 Tipos de Acero -----	58
3.2.4 Prácticas Standard de Fabricación -----	62
3.2.5 Cálculo Teórico de Carga para la Obtención de los Aceros Estructurales al Carbono ---	67
3.3. Laminación Planos -----	75
3.3.1 Hornos de Foso -----	76
3.3.2 Horno de Planchones -----	82
3.3.3 Laminador Duo-Cuarto -----	85
3.3.4 Laminador Terminador Steckel -----	89
3.3.5 Oxicorte -----	92
3.4. Tratamiento Térmico de Normalizado -----	92
3.4.1 Equipo -----	92
3.4.2 Principios Generales -----	93

CAPITULO IV CONTROL DE CALIDAD

4.1. Introducción -----	95
4.2. Control en la Materia Prima -----	95
4.3. Control en el Proceso -----	96
4.3.1 Control en Hornos Eléctricos -----	96
4.3.2 Control Metalúrgico en Nave de Colada ----	96

4.3.3	Control Metalúrgico en Laminación -----	100
4.4.	Inspección en el Producto Final -----	102
4.4.1	Control Dimensional y de Superficie -----	102
4.4.2	Control de las Propiedades Mecánicas -----	104
4.4.3	Control de la Composición Química -----	113
4.4.4	Control de la Microestructura -----	114

CAPITULO V CARACTERISTICAS ACTUALES DEL PRODUCTO

5.1.	Introducción -----	118
5.2.	Características Químicas -----	119
5.3.	Propiedades Mecánicas -----	120
5.4.	Análisis Metalográfico -----	136
5.5.	Cuadros Resumen -----	137

CAPITULO VI MODELOS MATEMATICOS

6.1.	Objetivo -----	149
6.2.	Modelos Matemáticos -----	149
6.2.1	Ecuación Fundamental -----	149
6.2.2	Estimado de los Coeficientes -----	151
6.2.3	Análisis de Variancia -----	154
6.2.4	Intervalos de Confianza -----	157
6.2.5	Correlación Lineal -----	158
6.3.	Resultados -----	159
6.4.	Empleo de los Modelos Matemáticos -----	173

CAPITULO VII NORMAS TECNICAS APLICABLES

7.1.	Normas Nacionales -----	175
7.1.1	Norma ITINTEC 1:03-004 -----	175
7.1.2	Norma ITINTEC 1:03-009 -----	178

7.2. Normas Internacionales -----	182
7.2.1 Norma ASTM -----	183
7.2.2 Norma LRS -----	193
7.2.3 Norma DIN 17100	196

CAPITULO VIII EVALUACION ECONOMICA

8.1. Costos Actuales del Producto -----	200
8.1.1 Costos Standard de Fabricación, Calidad 16C-E21 -----	201
8.1.2 Costos Standard de Fabricación, Calidad 16D-EC24 -----	203
8.1.3 Costos Standard de Fabricación, Calidad 19B-ES24 -----	205
8.2. Costos. para las Calidades Propuestas -----	207
8.3. Comparación Económica de Alternativas -----	207
8.4. Presupuesto de Ventas -SIDERPERU- -----	210
8.5. Evaluación Económica Final -----	212

CONCLUSIONES -----	214
--------------------	-----

RECOMENDACIONES -----	219
-----------------------	-----

BIBLIOGRAFIA

CAPITULO I

GENERALIDADES1.1 ACEROS ESTRUCTURALES.

Dentro de la clasificación general de los aceros según sus propiedades y utilización donde encontramos los aceros de construcción, herramientas, inoxidable y resistentes al calor (refractarios), los aceros estructurales pertenecen al primero de ellos, como aceros que se usan en estado de laminación o forja, sin tratamiento térmico.

Como es de conocimiento general, entre los materiales de construcción el acero tiene una posición de relieve: combina la resistencia mecánica, trabajabilidad, disponibilidad y bajo costo.

Igualmente es fácil comprender la importancia y la amplia aplicación de los aceros en todos los campos de la Ingeniería en las estructuras, ya sea aquellas fijas, como edificios, puentes, etc. o en aquellas móviles, la industria ferroviaria, automovilística, naval, aeronáutica, etc.

Para la mayoría de las aplicaciones consideradas, la importancia de la resistencia mecánica es de cierto modo relativamente pequeña, del mismo modo que el factor peso no es primordial.

Además, los aceros al carbono comunes, simplemente laminados, sin ningún tratamiento térmico son plenamente satisfactorios y constituyen un porcentaje considerable dentro del grupo de los aceros estructurales (en realidad cerca del 80 % del acero usado es común de bajo carbono, laminado en caliente).

En otras aplicaciones, entre tanto, se exige una relación más satisfactoria resistencia-peso.

Es el caso de la Industria de Transporte donde el equipamiento utilizado, camiones, ómnibus, aviones, equipamiento ferroviario, rodaviario, navíos, etc. debido a las condiciones propias del servicio, se debe caracterizar por peso relativamente bajo y alta resistencia por estar sujeto a esfuerzos severos y choques repentinos, además de resistencia adecuada a la corrosión, puesto que en las secciones delgadas la pérdida de resistencia, por la acción corrosiva podría ser fatal.

En estas aplicaciones, los aceros indicados son de bajo contenido en aleación, conocidos como "alta resistencia y baja aleación".

Igualmente se podría establecer inicialmente la siguiente clasificación de los aceros utilizados en estructuras:

Aceros Estructurales al Carbono.

Aceros Estructurales de alta resistencia y baja aleación.

1.1.1 Aceros al Carbono para Estructuras.- Los requisitos fundamentales a la que deben obedecer estos aceros son los siguientes:

Ductilidad y homogeneidad.

Elevado valor de la relación entre la carga de ruptura y el límite de fluencia.

Soldabilidad.

Suceptibilidad de corte por llama, sin endurecimiento.

- Resistencia razonable a la corrosión.

Con excepción de la resistencia a la corrosión, todos los otros requisitos son satisfechos en mayor o menor grado por los aceros al carbono, de

bajo a medio carbono, obtenidos por laminación, cuyos límites de resistencia a la tracción varían de 40 a 50 Kg/mm². y cuyo alargamiento oscila al rededor del 20 %.

De hecho, el contenido de carbono relativamente bajo y el trabajo en caliente proporcionado por la laminación de los perfiles estructurales garantizan una ductilidad necesaria, además de producir una homogeneidad bastante buena en toda la extensión de las piezas, con pequeñas variaciones de resistencia a la tracción y a la compresión, variaciones que entre tanto, no llegan a perjudicar. La ductilidad que presentan estos aceros, por otro lado, garantizan excelente trabajabilidad en operaciones tales como corte, doblamiento, etc., sin que se originen fisuras u otros defectos.

El límite de fluencia, igualmente el módulo de elasticidad, características de mayor importancia en el diseño y cálculo de las estructuras, son perfectamente satisfactorios en los aceros referidos, sobre todo considerando que su resistencia no debe ser muy elevada.

La soldabilidad es una característica muy importante para este tipo de material de construcción, es sabido que la soldadura de piezas estructurales es común.

Los aceros al carbono comunes también satisfacen plenamente este requisito, puesto que pueden ser soldados sin alteración de la estructura. De la misma manera, el corte por fuego, muy empleado en piezas estructurales, poco afecta a los aceros en estudio, bajo el punto de vista de alteraciones, en los alrededores de la zona de corte.

Finalmente, la resistencia a la corrosión sólo es alcanzada con adición de

pequeños contenidos de cobre, elemento que adicionado en contenidos muy bajos, del orden de 0.25 %, mejora aquella propiedad en más o menos dos veces en relación al mismo acero sin cobre.

Para la mayoría de las aplicaciones estructurales el contenido de carbono de estos aceros varía de 0.15 % a 0.40 % con los otros elementos (Mn, Si, P y S) en los contenidos considerados normales. El acero con carbono y manganeso alrededor del 0.20 % y 0.50 % respectivamente, presenta el límite de fluencia de cerca de 24,5 Kg/mm², y resistencia a la tracción de 42.0 Kg/mm².

Una elevación del contenido de carbono aumenta estos límites, la elevación del contenido de manganeso actúa en el mismo sentido aunque en menor grado. La mejora de estas características es efectuada, no obstante, a costa de la trabajabilidad o deformabilidad y soldabilidad del acero que decrecen, de modo que es necesario tener en cuenta estos factores cuando se proyecta la utilización de un acero de mayor resistencia mecánica.

En las estructuras, los perfiles utilizados de acero al carbono, son más diversos, sobresaliendo los siguientes: barras redondas (inclusive las empleadas en concreto armado) cuadrados, hexagonales, térs, eles, doble térs, etc.

Todos estos perfiles son producidos por laminación y empleados en ese estado, generalmente sin tratamiento térmico o mecánico posterior.

Los aceros de alto carbono alrededor del eutectoide o encima del mismo ya son considerados materiales de naturaleza y aplicaciones especiales, puesto que son utilizados en forma de ejes o barras, generalmente con tratamiento térmico particular o en estado endurecido, en estructuras de puentes, concreto pretensado, etc.

1.1.2 Aceros de Alta Resistencia y Bajo Contenido de Aleación.- La tendencia moderna en el sentido de utilizar estructuras modernas cada vez mayores han conducido a los ingenieros proyectistas y constructores a considerar el empleo de aceros cada vez más resistentes, para evitar el uso de estructuras cada vez más pesadas.

Tales consideraciones no se aplican solamente al caso de estructuras fijas, como edificios o puentes, sino también y principalmente en estructuras móviles, en el sector transporte, donde el mayor interés se concentra en la reducción del peso muerto de la estructura. En resumen, tales aceros son de gran utilidad cuando es objetivo lo siguiente:

Aumentar la resistencia mecánica, permitiendo una disminución sustancial de la carga unitaria de la estructura o tornando posible una disminución proporcional de la sección, o sea al empleo de secciones más leves.

Mejorar la resistencia a la corrosión atmosférica. Este es un factor muy importante a considerar porque el uso de secciones más finas puede significar vida más corta de la estructura, a no ser que la reducción de la sección sea acompañada por un aumento correspondiente de la resistencia a la corrosión del material.

- Mejorar la resistencia al impacto y el límite de fatiga.

Elevar la relación del límite de fluencia sobre el límite de resistencia a la tracción sin pérdida apreciable de ductilidad.

Los efectos indicados arriba deben ser conseguidos sin afectar apreciablemente la trabajabilidad y la soldabilidad del acero.

Realmente, las aplicaciones de estos materiales en estructuras fijas de

edificios o puentes, o reservorios, o en empleos idénticos, y en estructuras móviles, en el campo del transporte (industria automovilística, aeronáutica, ferroviaria, etc.) exigen:

- Que los aceros posean la cualidad de ser fabricados fácilmente y económicamente por deformación mecánica en frío o en caliente, además de poder sufrir rápidamente deformaciones y operaciones tales como doblamiento, corte, remache, y cualquier otro tipo de uso.
- Que puedan ser fácilmente soldados por los procesos normales de soldadura, debiendo aún presentar la soldadura resultante suficiente resistencia y ductilidad, correspondiente por lo menos a la del acero.

Los requisitos indicados anteriormente-mayor resistencia mecánica, mayor resistencia a la corrosión atmosférica, relación mas elevada de resistencia a la tracción hacia el límite de fluencia - con adecuada trabajabilidad y soldabilidad, son obtenidos en los llamados "Aceros de alta resistencia y baja aleación" que se caracterizan por presentar los elementos que entran en su composición dentro de los siguientes rangos:

C	:	0.10	á	0.25 % (máx.)
Mn	:	0.20	á	1.75 % (máx.)
Si	:	0.05	á	0.90 % (máx.)
S	:	0.05	%	(máx.)
P	:	0.04	á	0.15 %
V	:	0.00	á	0.20
Cr	:	0.20	á	1.25 %
Ni	:	0.30	á	2.00 % (máx.)
Mo	:	0.06	á	0.25 %
Al	:	0.00	á	0.27 % (máx.)

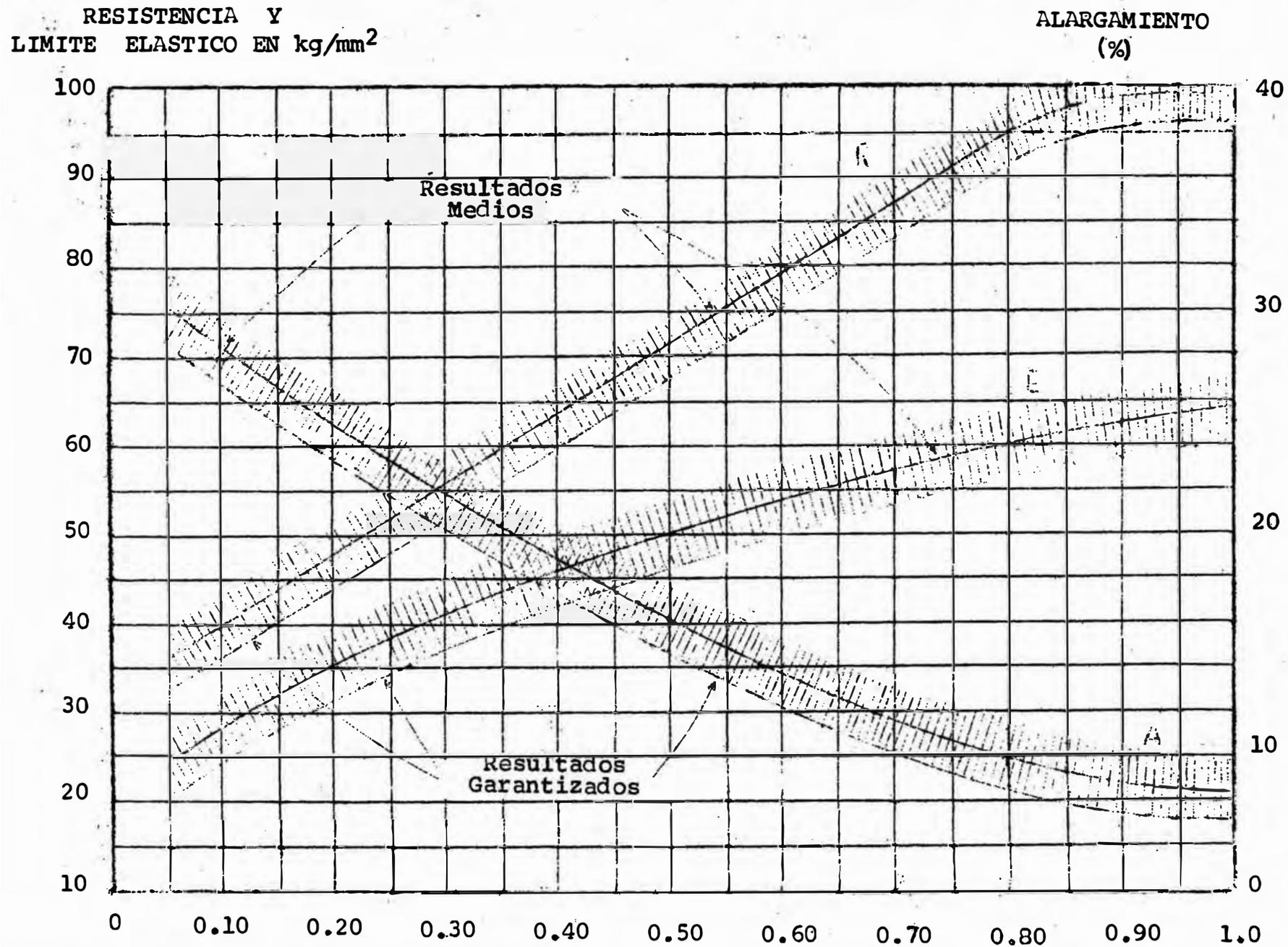
1.1.3 Función de los Elementos Químicos en los Aceros Estructurales.- La función de los elementos presentes en el acero es ya conocida en mayor o menor grado. Sin embargo, se efectúa una rápida recapitulación del asunto:

Carbono.- Es el elemento principal responsable por el aumento de la resistencia mecánica y por la caída de la ductilidad, trabajabilidad, resistencia al impacto y soldabilidad. Por sus efectos negativos se mantiene en porcentajes bajos. El gráfico N° 1.1 muestra el efecto del carbono en las propiedades mecánicas en aceros al carbono normalizados. El manganeso se mantiene en contenidos normales para estos aceros comunes.

Manganeso.- Actúa como el carbono, no obstante en escala menor. Generalmente, en los aceros aleados de alta resistencia para estructuras, el manganeso aparece en contenidos mas elevados que en los aceros estructurales al carbono, debido justamente al hecho de su efecto sobre la resistencia mecánica menos acentuada que el carbono y tambien porque, en los aceros estructurales con bajo contenido de elementos de aleación, el carbono preferiblemente es mantenido bajo. Cuando en estos aceros, el manganeso se introduce en contenidos mayores de 1.0 %, no hay necesidad de adicionar otros elementos de aleación con el objeto de mejorar la resistencia mecánica. El manganeso por si solo posibilita esa mejora, quedando entonces los otros elementos de aleación, cuando tambien son introducidos con la finalidad de controlar el tamaño de grano del acero.

Fósforo.- Aumenta la resistencia mecánica, perjudica más la ductilidad del acero produciendo la llamada "fragilidad en frio" sobretodo cuando el carbono es alto. Como en los aceros estructurales el carbono se mantiene preferiblemente bajo, el peligro de fragilidad es muy débil y, en estas condiciones, el fósforo en cantidades mayores al contenido normal considerado - esto es hasta 0.15 % - beneficia el acero respecto a su resistencia mecánica, además de contribuir para mejorar su resis -

CARACTERÍSTICAS MECANICAS EN ACEROS AL CARBONO NORMALIZADOS



tencia a la corrosión atmosférica, sobre todo cuando el cobre también está presente en pequeñas cantidades. Del mismo modo que el carbono y manganeso, el fósforo también mejora el límite de fatiga de los aceros, aproximadamente en la misma proporción que el aumento de la re + sistencia.

Silicio.- Aumenta la resistencia mecánica y la resistencia a la co rrosión atmosférica. En los aceros en consideración, entre tanto, se mantiene bajo, adicionando en las cantidades suficientes para calmar los aceros.

El Silicio se combina con el oxígeno y al formar sílices y silicatos es eliminado en la escoria. El silicio residual puede estar presente como inclusiones de óxidos, en solución sólida en la ferrita o como compuesto intermetálico.

Vanadio.- Añadido en relativamente pequeñas cantidades (0.02 á 0.20%) incrementa las propiedades de resistencia notablemente. En el acero forma partículas finísimas de carburo de vanadio, V_4C_3 , que quedan repartidas en toda la masa, y esos carburos actúan de núcleos de cris talización durante la solidificación, produciendo estructuras de gra no fino y alta resistencia. Además, es un fuerte desoxidante y tiene una gran tendencia a formar carburos.

Cromo.- En contenidos bajos aumenta la resistencia, el límite elásti co, la tenacidad y resistencia al impacto del acero. En contenidos más elevados, aumenta la resistencia al desgaste, por formar carbu ros duros. Generalmente está asociado al níquel y al cobre.

Níquel.- La introducción del níquel beneficia el acero en el sentido de que mejora sus propiedades mecánicas, la resistencia a la corrosión

atmosférica, además de refinar la granulación. Desde el punto de vista de resistencia a la corrosión atmosférica, el níquel beneficia tanto como el cobre, sin los inconvenientes de éste que tiende a concentrarse en la superficie del acero, debajo de la escama de óxido que se forma durante el calentamiento en atmósfera oxidante. De hecho, cuando el acero está siendo calentado para la laminación, a una temperatura que es generalmente superior a la de fusión del cobre, este material se halla presente y concentrado en la superficie del acero, puede fundir y penetrar en sus contornos del grano, causando fisuras por acción del trabajo mecánico. Tal fenómeno limita las adiciones de cobre a 0.40 % - 0.50 % a no ser que se tomen cuidados especiales en el calentamiento o que un contenido de cobre más elevado sea acompañado por la introducción de níquel, en cantidades de por lo menos 1/3 de la del cobre. El níquel se alea al cobre y la aleación formada es de punto de fusión más alto, manteniéndose sólida durante el calentamiento del acero para la laminación, evitándose asimismo su penetración entre los contornos de los granos.

Molibdeno.- Además de aumentar la resistencia mecánica, su acción cuando es adicionado, en el sentido de reducir la susceptibilidad a la "fragilidad de revenido", además de mejorar las propiedades a temperaturas más elevadas.

Aluminio.- Utilizado para desoxidar y refinar el grano.

1.1.4. APLICACION DE LOS ACEROS ESTRUCTURALES.- Como ya se ha mencionado estos aceros, perteneciendo a la categoría de los aceros estructurales, encuentran su principal campo de aplicación en los sectores de transporte, principalmente

ferroviarios y de construcción civil.

En el primer caso, el interés reside en el hecho de que, en la construcción del equipamiento de transporte, puedan ser adoptadas las dos soluciones siguientes:

- Reducción de las dimensiones de los perfiles de las piezas, con la consiguiente reducción del peso muerto de las estructuras de transporte, principalmente para transporte de carga.

Aumento de la capacidad de carga y de la vida del equipamiento de transporte, sin disminución del peso-muerto, más con la mejora de la resistencia mecánica y de la resistencia a la corrosión atmosférica.

Tales soluciones se pueden aplicar no solo al equipamiento de transporte ferroviario, sino también en transporte rodoviario, en equipamiento pesado para movimiento de tierras y otras aplicaciones de maquinaria para la construcción.

El segundo sector mencionado - de la Ingeniería Civil - comprende la construcción de edificios, puentes, torres metálicas y estructurales análogas.

Se recuerda que el cálculo de las estructuras es hecho dividiendo un valor relativo a la resistencia mecánica-límite de fluencia o el límite convencional η , generalmente por un conveniente factor de seguridad. Si comparamos algunos valores de propiedades mecánicas de los tipos de aceros al carbono estructurales con aceros típicos de alta resistencia y baja aleación, podemos notar las ventajas de la utilización de estos últimos tipos de acero. La relación entre los límites de fluencia, es aproximadamente de 1.5 a 1.0, por lo que se concluye que la tasa de trabajo en tensión será aumentada en 50 %.

La ventaja inicial, como además ya fué mencionado, es la economía de peso, se vé luego que solamente 2/3 de acero de alta resistencia son necesarias para conferir a la estructura la misma resistencia de un acero al carbono común.

Es conveniente recordar la característica de la buena soldabilidad que estos aceros presentan, pudiendo ser fácilmente soldables por los procesos a arco, a resistencia, a al gas, sin ningún endurecimiento superficial, desde que el carbono se ha mantenido bajo de 0.20 - 0.25 %.

Finalmente la resistencia a la corrosión es muy superior a la de los aceros al carbono para estructuras.

CONCLUSIONES GENERALES.- La mayoría de las aplicaciones comunes de la ingeniería requiere aceros estructurales de costo moderado y resistencia mecánica razonable; tales requisitos son cumplidos satisfactoriamente por los aceros al carbono comunes.

Para mejores propiedades mecánicas y cierta resistencia a la corrosión atmosférica, son utilizados los llamados "aceros de alta resistencia y baja aleación", que se caracterizan por la presencia en contenidos relativamente bajos de los elementos cobre, vanadio, niobio, cromo, níquel y molibdeno principalmente, además de la elevación por encima de los porcentajes normales de los elementos fósforo, silicio y manganeso, procurando mantener siempre el contenido de carbono a niveles relativamente bajos.

La alta resistencia mecánica y resistencia superior a la corrosión permiten:

Diseñar la estructura con la misma vida que el acero común, con apreciable reducción de peso.

Diseñar la estructura con el mismo peso que la del acero al carbono, con mayor resistencia y vida más larga.

Diseñar la estructura con el menor peso muerto que asegure las mayores ventajas económicas, pero con el riesgo de obtener una vida un tanto más corta.

Estas características, aliadas a los menores gastos de manutención necesarias, como se puede comprender fácilmente, hacen estos aceros de empleo importante en las estructuras del tipo móvil, tales como vagones de pasajeros y carga, remolques, camiones, ómnibus, navíos, botes y lanchas, además del equipamiento utilizado en el manipuleo de carga, carretera, explotación de minerales, etc. Además de estas, otras aplicaciones de estos tipos de aceros incluyen estructuras de puentes, depósitos, maquinarias agrícolas, etc.

En cualquiera de estas aplicaciones, se tendrá provecho no solo de la alta resistencia mecánica, como igualmente de la reducción de peso, de la mayor resistencia a la corrosión y del costo de manipuleo mas bajo, estas características que no se encuentran en otros tipos de aceros ú otros metales aleados a un costo comparable.

1.2. ACEROS ESTRUCTURALES FABRICADOS POR SIDERPERU.-

1.2.1. INTRODUCCION.- La Planta de Laminación de Productos Planos de SIDERPERU inició sus operaciones a fines del año 1971. Como es lógico suponer, la calidad comercial fue la primera en fabricarse por sus requerimientos menos exigentes que otras calidades y considerando que representa un 80 % en el consumo de productos planos. Sin embargo, cubierto el mercado potencial que tenía esta calidad se abren las perspectivas de fabricar otras más exigentes en cuanto a calidad y

propiedades mecánicas por los usos especiales a que se destinan.

Los aceros estructurales constituyen un rubro que en consumo sigue en importancia a la calidad comercial. Estos a su vez se dividen en dos categorías; aceros estructurales al carbono y aceros estructurales de alta resistencia y baja aleación. Dentro del primer grupo cabe hacer subdivisión en cuanto a su resistencia en aceros estructurales de baja y los de resistencia media.

A medida que se iba adquiriendo mayor experiencia y en base a un desarrollo tecnológico propio se consigue entrar progresivamente a la fabricación de estos aceros estructurales tomando como referencia Normas reconocidas mundialmente.

Así tenemos, en primer lugar: el acero estructural al carbono de baja resistencia con designación SIDERPERU 16C-E21 y Según ASTM A 283°C; aceros estructurales al carbono de mediana resistencia como el acero estructural para puentes 16D-EC24 fabricado según DIN 17100 RST 37-2 y el acero estructural para embarcaciones 19B-ES24 según LRS °A; finalmente en el grupo de aceros estructurales de alta resistencia y baja aleación tenemos el Acero para la fabricación de Tubos para la Conducción de Fluidos a Alta Presión en SIDERPERU como 15E-X-52 fabricado bajo la Norma API 5LS X-52, y también el acero estructural según DIN 17100 St 52-3 con designación interna 17B-EC35.

El Cuadro N°1.1 presenta algunos usos generalizados para estos aceros y luego se presenta una breve descripción de los aceros que nos ocupa en el presente trabajo: Aceros Estructurales al Carbono en SIDERPERU.

La codificación de los aceros en SIDERPERU obedece a las siguientes reglas:

(a) Código de la Calidad de Acero.

- Dos dígitos - tomados en base a la media aritmética de los límites de carbono que van a ser considerados en la práctica standard inicial.
- Una letra - "A", que se designa cuando la composición química está de acuerdo a la Norma SAE; y con las letras B, C, D ó E para aquellos aceros que tengan valores iguales los dos primeros dígitos.

En el caso que surgan modificaciones en las composiciones químicas, siempre prevalecerá el código original.

(b) Código del Producto.

- Una letra característica "E" de acuerdo al uso "Estructural" del producto.
- Dos dígitos referidos al valor mínimo del límite de fluencia.

CUADRO N° 1.1

ACEROS ESTRUCTURALES EN SIDERPERU

A. Aceros al Carbono.

C O D I G O		NORMA EQUIVALENTE	U S O S.
CALID.	PRODUCTO		
16C	E21	ASTM A 283 °C.	Locomotoras, vagones, máquinas, silos, tanques de almacenamiento, etc.
16D	EC24	DIN 17100 RST 37-2	Puentes, edificios, perfiles soldados, recipientes tipo caldero, todo tipo de estructuras, etc.
19B	ES24	IRS °A	Embarcaciones y estructuras navales.

B. Aceros de Alta Resistencia y Baja Aleación.

C O D I G O		NORMA EQUIVALENTE	U S O S
CALID.	PRODUCTO		
17B	EC35	DIN 17100 St 52-3	Construcción de puentes, edificios, estructuras soldadas y otros tipos de estructura que requieren alta resistencia.
15E	X-52	API 5LS X-52	Fabricación de tubos para la conducción de fluidos a alta presión (gaseoductos y oleoductos).

1.2.2. CALIDAD 16C-E21 (ASTM A 283 °C).- Fué el primer acero estructural en desarrollarse en la Planta de Productos Planos de SIDERPERU. Su fabricación en acería se inició en Agosto de 1972.

En esa fecha nuestro principal consumidor fué PETROPERU quien a su vez motivó su fabricación.

Como acero estructural común tiene múltiples aplicaciones en estructuras en general, así como tanques de almacenamiento en particular. Su consumo es mayoritario con respecto a los otros grados de acero estructural, habiendo de por medio otros grandes proyectos para su utilización, como ejemplo, la nueva refinería de Petróleo de Bayóvar en la construcción de tanques verticales de almacenamiento de productos combustibles.

Además, en su utilización como perfiles soldados encuentra una amplia gama de aplicaciones.

Las características principales de este acero se resumen en el siguiente cuadro:

CUADRO N°1.2

CALI- DAD.	% COMP.QUIMICA EN CUCHARA.		ENSAYO DE TRACCION.			ENSAYO DE DOBLADO.	
	P máx.	S máx.	R Kg/mm ² mín.	F Kg/mm ² mín.	A * % mín.	ANGULO	∅ MANDRIL
16C-E21	0.045	0.050	37-45	21	23	180°	2 e.

* Probeta = 200 mm. Los Valores de Alargamiento se disminuirán en 1.5 % para espesores menores de 8.0 mm y en 2 % para espesores de 25 mm. o más.

1.2.3. CALIDAD ESTRUCTURAL 16D-EC24.- A mediados de 1974 se inician las conversaciones entre el SIMA y SIDERPERU con la finalidad de ver la posibilidad de fabricarles acero estructural especial para la construcción de puentes por encargo del Ministerio de Transportes.

Estos aceros deberían reunir propiedades especiales aparte de su resistencia mecánica, otras como soldabilidad adecuada y resistencia al impacto.

Paralelamente se establece contrato con SIMA para la ampliación de tres naves de Laminación Planos y ampliación del Parque de Lingotes de Planos.

Para llevar a cabo estos trabajos el SIMA decide instalar un Taller de Fabricación de Estructuras Metálicas, tales como naves industriales, puentes, estructuras en general, todas ellas en base a perfiles soldados.

El personal técnico del SIMA establece que el acero indicado es el RST-37-2 según Norma DIN 17100.

Vista la solicitud de consulta, SIDERPERU decide fabricar este acero, siem

pre de acuerdo a su política de producir acero para el desarrollo integral del país, evitando así la fuga de divisas que derivan de este concepto.

El 20 de Marzo de 1975 se inicia la etapa de prueba en la fabricación. Su Código interno es 16D y EC24 como código de producto. Al obtenerse un producto de buena calidad, que cumplía con todas las exigencias de la Norma se procede a su fabricación masiva apta para la venta.

El consumo potencial para el bienio 1976/1977 está estimado en 22,000 TM. incluyendo 6,600 TM para la fabricación de los Talleres del Complejo Calderero-Estructural de Chimbote y 2,200 TM. para grúas.

Actualmente con este material, en las instalaciones de SIMA-CHIMBOTÉ se vienen construyendo tres puentes reticulares metálicos de 60 metros de longitud que conforman el programa ILAVE para ser instalados en diversos puntos del Departamento de Puno. SIMA-CHIMBOTE los construye por encargo del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. En su fabricación se utilizan 98 % de nuestro acero estructural, el 2 % restante lo constituye material importado en forma de pernos, arandelas, soldadura, etc.

Así como este programa, ya están asegurados otros como el Proyecto BLANCO, SERRAMAYUCO, ALTAHUACO, COCABAMBILLA, HUABICO y CHIPILLICO, que ya están en proceso de fabricación, haciendo un total 27 puentes cuya longitud fluctúa entre 40 a 100 metros con pesos de 50 a 260 toneladas los que hacen un total de 5,000 TM.

La Tabla N°1.3 presenta un resumen de las principales características de este acero.

TABLA N° 1.3

PROPIEDADES DE RESISTENCIA

CALI- DAD:	ENSAYO DE TRACCION:					RESILIENCIA EN PROB. ISO.				ENSAYO DE DOBLADO			
	R Kg/mm ² (1)	F		A (2)		Probeta	e mm.	Prome- dio de 3 pro- betas Kg/cm ² mín.	Valor indi- vi- dual ² Kg/cm ² mín.	Temp. °C.	e mm	An- gu- lo	∅ Man- dril.
		e mm	Kg/mm ² mín.	e mm.	% mín.								
RST37-2	37-45	≤ 16	24	≤ 100	25	Lo=5.65 √So	≤ 30	3.5	2.0	10	≤ 100	180	1.0 e
		> 16											
		≤ 40	23										
		> 40 ≤ 100	22				> 30	3.5	2.0	20			

(1) Los Valores Límites pueden ser Superiores ó Inferiores, en 2Kg/mm².

(2) Probetas Longitudinales. En planchas pueden ser probetas transversales en condición normalizada inferiores en 2 puntos y en condición laminada en caliente inferiores en 4 puntos.

NOTA.- El ensayo de tracción en planchas deberá ser transversal, en cambio doblado y resiliencia longitudinal.

COMPOSICION QUIMICA

CALIDAD	ESPESOR mm.	ANALISIS DE CUCHARA.						ANALISIS DE PRODUCTO.					
		C máx.	Mn máx.	S máx.	Si máx.	P máx.	N máx. (1)	C máx.	Mn máx.	S máx.	Si máx.	P máx.	N máx. (1)
RST37-2	≤ 100	0.17	-	0.050	-	0.050	0.007	0.19	-	0.055	-	0.055	0.008

(1) Para Acero al Horno Eléctrico es admisible en el análisis de cuchara un contenido de Nitrógeno hasta 0.012 %.

1.2.4. ACERO ESTRUCTURAL NAVAL (19B-ES-24).- Lloyd's Register of Shipping - Grado A.

Al considerarse a la Industria de la Construcción Naval como un pilar básico dentro de los planes de Desarrollo Industrial del País, SIDERPERU asumió la responsabilidad del suministro del insumo fundamental para esta industria: Las Planchas Estructurales de Calidad Naval.

Como quiera que la construcción de barcos se hace bajo la supervisión de Sociedades ó Entidades aseguradoras como la "Lloyd's Register of Shipping", se requiere que las Siderúrgicas que suministran las planchas cuenten tan bien con la aprobación de estas Sociedades, sin cuyo requisito no se conseguiría el aseguramiento del barco.

Es así como SIDERPERU en Abril de 1972 establece contacto con la Sociedad Inglesa renombrada mundialmente como aseguradora de barcos, la Lloyd's Register of Shipping, con el objeto de obtener la aprobación para la manufactura de planchas de acero de Calidad Naval Grado "A". En Diciembre de aquel año los técnicos de Lloyd's revisaron las instalaciones, procesos de producción y sistemas de control de calidad de SIDERPERU en el Complejo de Chimbote.

Con fecha 3 de Mayo de 1973, Lloyd's Register of Shipping aceptó y aprobó la calidad de la plancha naval de SIDERPERU mencionando en su comunicación: "El nombre de vuestra Planta, por tal razón, será incluida en la lista de fabricantes de acero que han rendido las pruebas de satisfacción del comité, en cuanto a la confianza del material".

Durante los años de 1973 y 1974 se realizan algunas campañas de producción de este acero con el exclusivo propósito de afrontar y resolver los

problemas que una producción masiva implica y recién en 1975 se suministra al Mercado Nacional aproximadamente 20,000 TM. de acero Calidad Naval Grado "A" con lo cual se está cubriendo más del 80 % de la demanda nacional para este tipo de acero.

Los aceros de calidad naval son aceros estructurales al carbono de mediana resistencia que se utilizan en la construcción del casco de un barco.

Además de la resistencia mecánica el acero debe reunir condiciones de fácil soldabilidad que permitan el formado de estructuras de gran volumen como son los barcos de gran tonelaje.

La composición química tiene un porcentaje de carbono máximo de 0.23 %, un sexto del % de Manganeso más el % de Carbono conocido como Carbono equivalente, debe ser igual o menor que 0.4 %. El porcentaje de Silicio no debe exceder de 0.50 %, mientras que el azufre se admite en % máximo de 0.05 y el fósforo en 0.04 % máximo.

Las propiedades mecánicas mínimas de este acero son un límite de fluencia de 24 Kg/mm²., una resistencia a la tracción de 41 á 50 Kg/mm².. y un porcentaje de alargamiento por encima de 15 %, variando este mismo hasta 21 % según sea el espesor.

Si bien es cierto que estas son las especificaciones limitantes que establecen las Normas de Lloyd's, SIDERPERU ha establecido unos rangos más reducidos en la composición química que permiten cumplir a satisfacción con las propiedades mecánicas.

Este acero estructural naval se diferencia del acero estructural común por tener propiedades físicas superiores que son garantizadas por un estricto control de calidad en todas las etapas de fabricación, inspección

y calificación final del producto terminado.

La siguiente Tabla (N° 1.4) resume las características de este acero.

TABLA N° 1.4

CALI- DAD.	% COMPOSICIÓN QUIMICA EN CUCHA- RA.						ENSAYO DE TRACCION.			
	C máx	Si max	Mn mín	P máx	S máx	C + $\frac{1}{6}$ Mn máx.	R Kg/mm ²	F Kg/mm ² mín.	A % mín.	PROBE- TA (mm)
19B-ES24	0.23	0.50	2.50 % C	0.040	0.040	0.40	41-50	23.5	16-21	200

CAPITULO II

=====

ESTUDIO DE MERCADO

2.1. PROYECCION MACROECONOMICA DE LA DEMANDA APARENTE DE ACERO LIQUIDO.

Los conceptos que se han utilizado para realizar el análisis son el consumo de acero por habitante, el PBI por habitante, la elasticidad consumo-producto y la intensidad; que se definen como:

- Consumo por Habitante.- Es la relación entre el consumo aparente de acero (producción + importación - exportación) y la población del país.
- Producto Bruto Interno por Habitante.- Es la relación entre el producto Bruto Interno del país y la población en un determinado año.
- Elasticidad-Consumo-Producto Bruto.- Es la relación entre la tasa de crecimiento del consumo de productos siderúrgicos y la tasa del crecimiento del PBI.
- Intensidad.- Es la relación entre los kilos de consumo de acero y cada dolar del PBI.

La cuantificación de los conceptos empleados, tanto en el análisis de la proyección del estudio técnico económico, se han obtenido del análisis del comportamiento histórico de estos parámetros en el país durante los últimos 20 años.

Se destaca que existen momentos o etapas de desarrollo en los que el paso de un nivel de PBI a otro paso más elevado exige un crecimiento más rápido en el consumo de acero. En el año 1975, el Perú, con un PBI por habitante de 522 dolares USA; tuvo un consumo de acero por habitante de 58 kilos. Para pasar, en virtud de un real progreso econó-

mico, al nivel de 1,400 dolares o sea el que corresponde en la actualidad a los países medianamente desarrollados, necesitaríamos mas integrar nuestra economía, lo cual tendería a llevar la cifra del consumo de acero alrededor de 400 kilos por habitante.

Para lograr dichos objetivos tendríamos que desarrollarnos con una elasticidad consumo-producto del orden del 1.7, característica de los países en pleno progreso de desarrollo. Es de notar que la elasticidad promedio en el mundo es de 1.5.

En el Cuadro N° 1 se presenta el consumo aparente de acero líquido en el país en el período 1955-1975, asimismo se presenta el crecimiento del PBI y la elasticidad resultante para cada año del período.

Al final del cuadro se presentan la tasa de incremento equivalente del período, tanto para el consumo de acero y el crecimiento del PBI; relacionando estas 2 tasas se obtiene la elasticidad del período.

Al analizar el incremento del consumo de acero y el crecimiento del PBI durante el período 1956-1975 se observa que el consumo se ha incrementado con una tasa equivalente de 9.6 % y el PBI con una tasa equivalente de 6 %. Esto significa que el país, en dicho período se desarrolló con una elasticidad consumo producto de 1.6 que es ligeramente inferior al promedio mundial de los países en proceso de desarrollo que es de 1.7.

CUADRO N° 2.1

PROYECCION MACROECONOMICA DE LA DEMANDA DE ACERO LIQUIDO DEMANDA PROBABLE.

AÑO	TASA CRECIMIENTO PBI.	ELASTICIDAD.	TASA CRECIMIENTO DEMANDA.	PROYECCION DE LA DEMANDA ACERO LIQUIDO TONS.	CONSUMO Kg/Habitante.	TASA	PBI USA \$/Habitante.	TASA	INTENSIDAD	INVESTIGACION DE MERCADO	
										PROYECCION: DEMANDA MEDIA ACERO LIQUIDO.	TASA
1973	-	-	-	635000	43	-	490	-	0.087	668000	-
1974	6.5	3.7	24	789600	52	20.5	507	3.5	0.102	945000	41
1975	6.0	2.5	15	909900	58	11.7	522	3.0	0.111	1076000	13
1976	6.0	2.3	14	1034200	64	10.7	538	3.0	0.118	1191000	10
1977	6.0	2.2	13	1172800	70	9.8	554	3.0	0.128	1326000	11
1978	6.0	1.8	11	1297800	76	7.8	570	3.0	0.133	1436000	8
1979	6.0	1.0	6	1380600	78	3.0	588	3.0	0.132	1527000	6
1980	6.0	2.0	12	1553000	85	8.8	606	3.0	0.140	1667000	9
1981	6.0	1.3	8	1680200	89	4.9	624	3.0	0.142	1755000	5
1982	6.0	1.5	9	1836900	94	5.9	643	3.0	0.146	1891000	7
1983	6.0	1.3	8	1985700	99	4.9	662	3.0	0.149	2013000	6
1984	6.0	1.3	8	2137900	104	4.9	682	3.0	0.152	2144000	6
1985	6.0	1.3	8	2306500	109	4.9	702	3.0	0.155	2302000	7
1986	6.0	1.5	9	2524700	115	5.9	723	3.0	0.159	2463000	7
1987	6.0	1.5	9	2760700	122	5.9	745	3.0	0.163	2646000	7
1988	6.0	1.5	9	3025600	130	5.9	767	3.0	0.169	2847000	7
1989	6.0	1.5	9	3306800	137	5.9	790	3.0	0.173	3046000	7
1990	6.0	1.5	9	3617800	145	5.9	814	3.0	0.178	3259000	7
1991	6.0	1.5	9	3964000	154	5.9	838	3.0	0.183	3487000	7
1992	6.0	1.5	9	4341500	163	5.9	863	3.0	0.188	3781000	7
1993	6.0	1.5	9	4757200	173	5.9	889	3.0	0.194	3992000	7
1994	6.0	1.5	9	5212000	183	5.9	916	3.0	0.199	4270000	7
1995	6.0	1.5	9	5709300	194	5.9	943	3.0	0.205	4570000	7
EQUIVALLENTE.	6.0	1.6	9.6								

FUENTE PLAN SIDERURGICO NACIONAL - SIDERPERU.

CUADRO N° 2.2

=====

2.1.1 CONSUMO APARENTE DE ACERO LIQUIDO PERIODO (1955-1975).

AÑO	Consumo Apa rente de Acero Líqui do.	Tasa de Incremen- to del Con sumo Apa - rente.	PBI en mi llones de soles a precios de 1963.	Tasa de Incre- mento del PBI	Elastici- dad.
1955	171800	-	52065	-	-
1956	230000	33.9	54439	4.5	7.5
1957	214000	- 7.0	54968	0.9	-7.7
1958	175800	-17.9	56819	3.4	-5.3
1959	180000	2.4	58834	3.5	0.7
1960	224200	24.6	64175	9.1	2.7
1961	286300	27.7	69411	8.2	3.4
1962	298800	4.4	75836	9.2	0.5
1963	294700	-1.4	78710	3.4	-0.4
1964	316800	7.5	84098	6.8	1.1
1965	316800	33.0	88146	4.8	6.9
1966	430800	3.0	93186	5.7	0.4
1967	441700	2.5	94711	1.6	1.6
1968	324000	-24.6	95353	0.6	-41.0
1969	403900	24.7	99556	4.4	5.6
1970	400500	-0.8	108590	9.0	-0.1
1971	502800	25.5	115690	6.5	3.9
1972	517600	2.9	122697	6.0	0.5
1973	635000	22.7	130108	6.1	3.7
1974	789600	24.4	138000	6.5	3.8
1975	909900	15.0	146280	6.0	2.5
TASA EQUIVALENTE		9.6		6.0	1.6

FUENTE: Banco Central de Reserva del Perú.

2.1.2 PRONOSTICO DE LA DEMANDA APARENTE PERIODO 1976 - 1979.

1. En el año 1975 SIDERPERU inició el abastecimiento del mercado nacional de productos estructurales para SIMA-CHIMBOTE, Naval para Astilleros Naval y Bobinas (API-X-52) para la construcción del Oleoducto Nor-Peruano (PETROPERU), cuyos consumos representan el 90 % de la demanda.

La producción se incrementó en un 65.9 %.

2. Para el año 1976 se ha considerado el programa de producción de productos planos laminados en caliente de SIDERPERU, el cual provee un crecimiento de 30 %, justificado por lo siguiente:

Complejo Estructural SIMA-CHIMBOTE de 7,000 T.M. á 14,000 T.M., incrementándose la producción en un 100 %.

3. Para el año 1977 la producción de productos planos LAC se incrementaría en un 20 % como consecuencia de los siguientes incrementos:

SIMA BARCOS. de 2,000 T.M. á 6,000 T.M.

SIMA CHIMBOTE. de 14,000 T.M. á 20,000 T.M.

4. Para el año 1978, la producción de productos planos laminados en caliente tendría un incremento normal del orden de 11.7 %. La importación tendría un incremento del 10 %.
5. Para el año 1979, la producción de estos productos se incrementaría en un 17.3 %. Se espera que la importación tenga un incremento normal del orden del 10 %.

CUADRO N° 2.3.

=====

PROGRAMA DE PRODUCCION PROYECTADO DE SIDERPERU (1975-1979) PRODUCTOS PLANOS LAC.

PRODUCTOS.	1974	1975	1976	1977	1978	1979
SIMA CHIMBOTE ESTRUCTURAL.		7000	14000	20000	21000	25000
SIMA BARCOS.		-	2000	6000	8000	16000
ESTRUCTURAL.		13700	21000	22000	23000	24000
COMERCIAL.		21100	22000	24000	25000	26000
NAVAL ASTILLEROS.		9000	10000	11000	12000	13500
TOTAL PLANCHAS GRUESAS LAC.	29300	50800	69000	83000	89000	104500
COMERCIAL DELGADAS LAC.		10200	13000	16000	17000	19000
ESTRUCTURAL DELGADAS LAC.		9750	11500	13000	14500	16000
NAVAL DELGADAS LAC.		1500	2000	3000	4000	4500
ESTRUCTURAL HERRAMIENTAS.		800	1500	2000	2200	2500
CILINDROS DE GAS.		2500	2500	2500	3000	3000
BOBINAS CALIDAD TUBOS.		-	3000	4000	4500	5000
BOBINAS CALIDAD COMERCIAL.		8100	9000	10000	12000	15000
BOBINAS CALIDAD ESTRUCTURAL.		850	1500	2000	2700	3000
FLEJES PARA TUBOS.		20000	22000	23000	25000	27000
API-X-52.		7000	10000	15000	20000	25000
TOTAL DELGADAS LAC.	37900	60700	76000	90500	104900	123000
TOTAL PRODUCTOS PLANOS LAC.	67200	111500	145000	173500	193900	227500
T A S A.		65.9	30.0	19.6	11.7	17.3

FUENTE : INVESTIGACION DE MERCADO SIDERPERU.

2.2 IMPORTACIONES DE PRODUCTOS PLANOS.

A fines de 1971, la Empresa Siderúrgica del Perú comenzó a abastecer al Mercado Nacional de productos planos (planchas gruesas, planchas delgadas, flejes, bobinas, etc.) sustituyendo parte de la importación que hasta ese momento se efectuaba.

Uno de los mayores problemas que afronta la Empresa Siderúrgica al colocar en el mercado sus productos planos, fué la de abastecer en oportunidad y calidad una gran variedad de productos, llegándose a solicitar alrededor de 3,000 items, ésta situación continuó durante el año 1972, para luego a partir de 1973, establecer políticas de estandarización y racionalización de la producción, reduciéndose a 300 items sin afectar el volumen total de despachos lográndose implementar en Enero de 1974. Esta decisión permite satisfacer plenamente al mercado en las cantidades, calidades y oportunidades requeridas por el Cliente, así como, disminuir los costos de producción.

2.2.1 ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS IMPORTACIONES - 1964 - 1975.-

El consumo aparente de productos planos para los años 1964-1975 se ha incrementado en 235.44 % de 80,455 T.M. en 1964 á 269,875 T.M. en 1975; mientras que las importaciones aumentaron en un 24.46 % para el mismo período.

A partir de 1972 SIDERPERU inicia el abastecimiento de productos planos, satisfaciendo el 39.45 % del consumo aparente y llegando en 1975 al 64.10 %:

La retracción de las importaciones ocurridas en 1968 fué consecuencia de la devaluación monetaria de Setiembre de 1967, motivando que en ese mismo

año incrementaran fuertemente su existencia.

El notable incremento de las importaciones del año 1971 se explica por la precaución mostrada por los usuarios de productos planos de mantener fuertes inventarios de seguridad, debido al conocimiento de que SIDERPERU, iniciaba el normal abastecimiento de estos productos. Estas razones explican, a su vez, el gran decrecimiento de las importaciones para el año 1972.

En 1974 las importaciones sufren un fuerte incremento motivado por el auge de la industria naval, para lo cual se importó 15,003 T.M. de planchas calidad naval para la construcción de embarcaciones, orientadas principalmente para el mercado de exportación. Otras de las causas que inciden en el incremento es el aumento de la producción de productos lácteos y conservas originando un crecimiento en el consumo de hojalata de un 23% con respecto a 1973, además, por política de SIDERPERU en 1974, se dió autorización para la importación de planchas para embutido, embutido profundo y enlozado.

En 1975 el consumo aparente de productos planos fué de 269,875 T.M. de las cuales SIDERPERU abasteció el 64.10 % (173,000 Tons.); el resto se importa por constituir calidades que actualmente no fabricamos, pero que en el futuro, deberán integrarse a la producción nacional.

Este mismo año se importaron 13,787 T.M. de productos planos, laminados en caliente de los cuales el 77.1 % corresponde a las calidades estructural y naval.

En los gráficos adjuntos se muestran el comportamiento de la demanda y las importaciones para los períodos 1964-1975.

CUADRO N° 24

IMPORTACION AL MERCADO NACIONAL DE PRODUCTOS PLANOS.

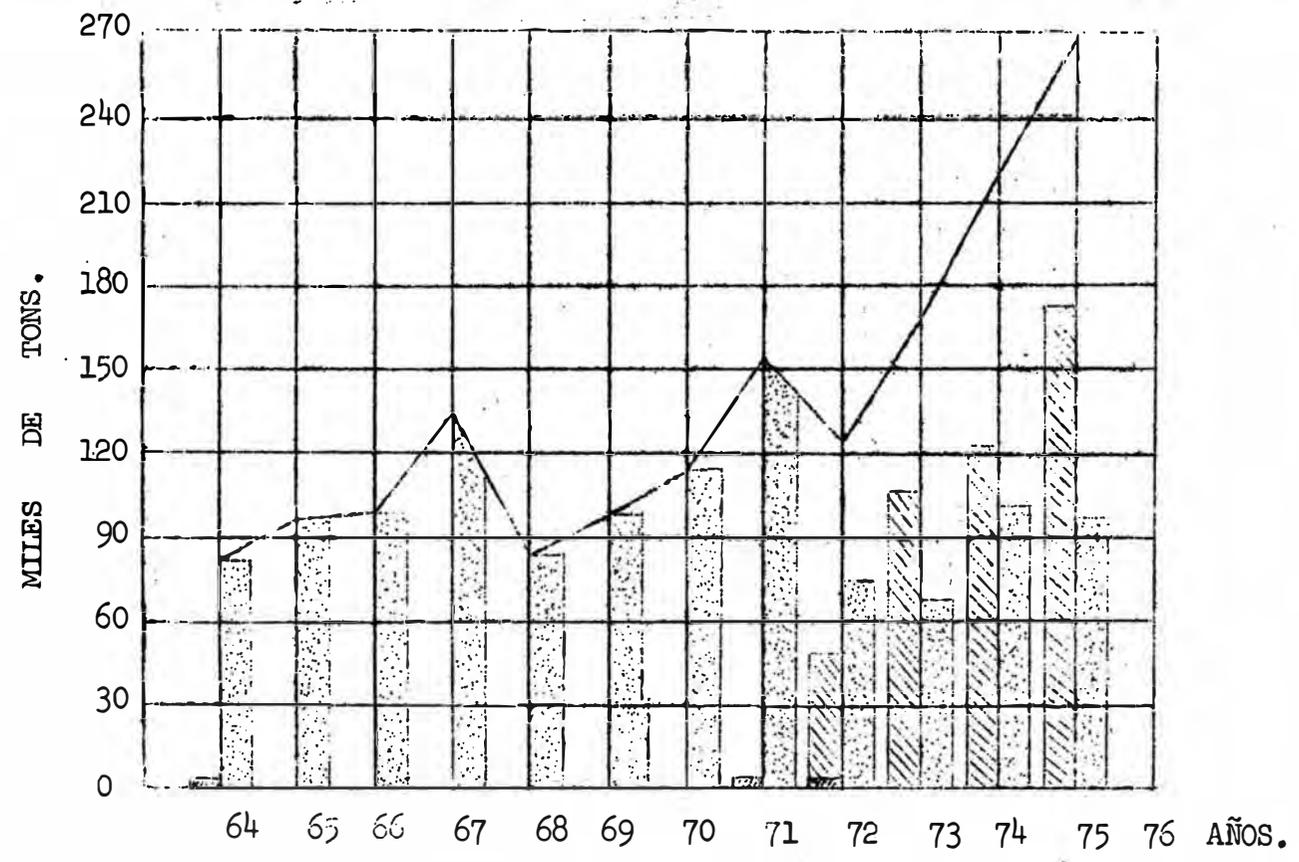
PRODUCTOS PLANOS.	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975
Planchas Gruesas lam. en cal.*	10559	22712	26948	34544	17114	33102	37275	40815	5377	12791	16873	12872
Planchas Delg. lam. en cal.	1730	4039	2994	3675	3194	6086	4135	4949	794	1758	4618	3915
Bobinas laminadas en caliente	-	-	-	-	-	-	152	320	411	-	92	-
Flejes laminados en caliente.	7933	10272	12461	17005	7228	8105	5405	10583	-	-	-	-
TOTAL LAMINADOS EN CALIENTE.	20222	37023	42403	55224	27536	47293	46967	56667	6582	14549	21583	18787
Planchas Delg. lam. en frio.	13597	19164	16639	28680	16878	20898	17572	31754	6828	285	9740	11015
Bobinas lam. en frio. **	851	807	520	489	853	589	1918	2347	4076	2022	3913	3920
TOTAL LAMINADOS EN FRIO.	14448	19971	17159	29169	17731	21487	19490	34101	10904	2307	13653	14935
Planchas Galv. lisas,	1400	1500	1481	2426	1961	1809	1903	2656	732	642	1032	1183
Planchas Galv. onduladas.	16212	16953	11612	15910	7789	6101	10349	13161	6169	4816	6190	6588
TOTAL GALVANIZADOS.	17612	18453	13093	18336	9750	7910	12252	15817	6901	5458	7222	7771
Hojalata Electrolítica.	23393	23643	24495	23337	25785	22044	30757	32630	36646	33069	40282	43322
Hojalata Cromada.	-	260	1324	2745	2241	3153	3778	5862	7830	5594	7373	4218
Flejes de Hojalata Estañada.	30	50	127	192	347	163	230	232	255	227	276	282
TOTAL HOJALATA.	23423	23953	25946	26274	28373	25360	34765	38724	44731	38890	47931	47822
Planchas Magnéticas.	215	402	361	374	242	389	318	550	965	1135	1388	1438
Planchas Revestidas.	462	323	660	1389	793	1211	1391	1867	2611	2849	1784	1515
Planchas Agujereadas y otras.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	740	1024
Planchas aleadas.	1454	1142	5287	2325	1860	1932	2418	2332	1955	5253	4709	4583
TOTAL PLANCHAS ESPECIALES.	2131	1867	6308	4088	2895	3532	4127	4749	5531	9237	8621	8560
TOTAL IMPORTACIONES.	77836	101267	104909	133091	86285	105582	117601	150058	74659	70441	99010	96875

* No incluye las importaciones del SIMA.

** Incluye flejes.

VENTAS SIDERPERU.	2619	396	342	18	-	-	-	2329	48655	108322	121539	173000
IMPORTACION.	77836	101267	104909	133091	86285	105582	117601	150058	74659	70441	99010	96875
TOTAL CONSUMO APARENTE.	80455	101663	105251	133109	86285	105582	117601	152387	123314	178763	220549	269875

CONSUMO APARENTE PRODUCTOS PLANOS.



LEYENDA.
 VENTAS SIDERPERU.
 IMPORTACIONES.

FUENTE DE INFORMACION: DIRECCION GENERAL DE ADUANA (CALLAO).

2.2.2

IMPORTACION 1975 POR DIMENSIONES.

PLANCHAS GRUESAS ESTRUCTURALES ASTM A 36

5.0	x	1220	x	3000	8
5.0	x	1830	x	4880	196
6.4	x	1520	x	6000	30
6.4	x	1830	x	6000	31
8.0	x	1520	x	3000	2
8.0	x	1830	x	6000	54
8.0	x	2135	x	6000	70
9.5	x	1520	x	3000	31
9.5	x	1520	x	6000	70
9.5	x	1830	x	6000	28
9.5	x	2135	x	6000	49
12.5	x	1520	x	3000	15
12.5	x	1520	x	6000	174
12.5	x	1830	x	6000	24
12.5	x	2135	x	6000	93
				TOTAL:	875

PLANCHAS ESTRUCTURALES GRUESAS ASTM 283°C.

5.0	x	1830	x	4880	180
6.4	x	1830	x	4880	425
6.4	x	2400	x	5490	215
9.5	x	1830	x	4880	117
38.0	x	1220	x	2400	25
38.0	x	1830	x	6000	50
38.0	x	1520	x	3000	25
50.0	x	1220	x	2400	14
50.0	x	1520	x	3000	15
				TOTAL:	1,066 TM.

2.2.3 RESUMEN DE PRODUCTOS IMPORTADOS POR CALIDADES 1975

1.- PRODUCTOS LAMINADOS EN CALIENTE - PLANCHAS GRUESAS T.M.-

- Calidad ASTM A 36/JIS G 3101
- Calidad ASTM 283°C.
- Calidad ASTM A 36 estriada.
- Calidad Naval.
- Calidad ASTM - 285°C.
- Calidad SAE 1060.
- Calidad ASTM 515.
- Calidad 17MN-4.

2.- PRODUCTOS LAMINADOS EN CALIENTE - PLANCHAS Y BOBINAS DELGADAS T.M.-

- Calidad Naval.	1,528
- Calidad ASTM A 36.	513
- Calidad Cilindros de Gas.	527
- Calidad embutido profundo.	123
- Calidad SAE 1060.	5
- Calidad ASTM-AT.	377
- Calidad Cilindros de Gas (bobinas).	94
- Calidad Comercial.	748
	3,915

2.4 DEMANDA DE PRODUCTOS PLANOS LAC QUE SERA CUBIERTA POR SIDERPERU Y
NECESIDADES DE ACERO LIQUIDO.-

Respecto a planchas gruesas y delgadas laminadas en caliente, se ha tomado como referencia su consumo en los años 1973 y 1975, se ha incluido el pronóstico de 1976 y se ha proyectado hasta el año 1979, en base a encuestas, informaciones oficiales y proyectos aprobados.

A partir de 1980 se realiza la proyección empleando la tasa de incremento del consumo de acero que ha sido empleada para elaborar la proyección macroeconómica probable del período 1980-1995 que se presenta en el Cuadro N° 1 y que ya ha sido analizada. Dicha tasa que en promedio es del 10 % ha sido empleada para planchas gruesas y para productos delgados laminados en caliente se ha considerado una tasa ligeramente superior de 11 %.

CUADRO N° 2.5

=====

DEMANDA DE PRODUCTOS PLANOS LAC QUE SERA CUBIERTA POR SIDERPERU Y NECESIDAD DE ACERO LIQUIDO (EXPRESADO EN T. M.).

AÑO	PRODUCTOS PLANCHAS GRUESAS.	TASA	ACERO LI- QUIDO PLANCHAS GRUESAS.	PRODUCTOS DELGADOS LAC.	TASA	ACERO LI - QUIDO DELGA- DAS LAC.
1973	19200	-	23100	31100	-	36400
1974	29500	-	36500	37900	-	44300
1975	50800	-	62400	60700	-	71100
1976	69000	38	86100	76000	60	89000
1977	83000	20	103500	90500	25	10600
1978	89000	7	111000	104900	19	122800
1979	104500	17	130400	123000	16	144000
1980	115000	10	143500	136500	18	159800
1981	126400	10	157700	151500	11	177400
1982	139100	10	173500	168200	11	196900
1983	153000	10	190900	186700	11	218600
1984	168300	10	210000	207200	11	242600
1985	185100	10	231000	230000	11	269300
1986	203600	10	254000	255300	11	298900
1987	224000	10	279500	283400	11	331800
1988	246400	10	307500	314600	11	368300
1989	271000	10	338200	349200	11	408900
1990	298100	10	372000	387600	11	453800
1991	328000	10	409300	430300	11	503800
1992	360700	10	450100	477600	11	559200
1993	396800	10	495200	530100	11	620700
1994	436500	10	544700	588400	11	689000
1995	480100	10	599100	653200	11	764800

25. TIPOS DE CONSUMIDORES.

A continuación se detalla los principales consumidores de aceros estructurales:

ASTILLEROS.- CONSTRUCCION Y REPARACION DE BARCOS.

SIMA CALLAO.

SIMA CHIMBOTE.

METAL EMPRESA.

TRADECO S. A.

YOHERSA.

SERTONI S. A.

ANGULOS Y PERFILES.

SIMA CHIMBOTE.

NORMETAL.

TANQUES DE ALMACENAMIENTO.

INDUSTRIAL TUBOS S. A.

MAESTRANZA GENERAL S. A.

PETROPERU.

INDUSTRIA CALDERERA.

SIMA CHIMBOTE.

AUTOPARTES.

MORAVECO.

CONSTRUCCIONES METALICAS UNION S. A.

CAMENA.

FABRICACION DE BRIDAS.

EQUIPOS HIDRAULICOS.

CAPITULO III

=====

TECNOLOGIA DE FABRICACION

3.1. MATERIAS PRIMAS.

La composición y calidad del acero a obtenerse depende de la proporción y selección de las materias primas a emplearse, así como de las prácticas de control del horno.

Existen tipos y composiciones variadas de materias primas, pero la selección se hace en base al control que se realiza de ciertos elementos limitantes.

Cuando se emplea arrabio de Alto Horno de un ratio elevado primeramente se establece el balance entre el flujo de oxígeno y los elementos que están sujetos a la oxidación, para lo cual generalmente se adiciona además un material que es portador de oxígeno (todo esto en el afino) para eliminar el exceso de carbono y silicio que se encuentran presentes en el metal fundido.

Por este motivo es más recomendable emplear como carga metálica la chatarra de acero con el cual se sustituye el uso de la caliza por la cal viva como fundente y el de cargar algunos materiales carboníferos como el coque de manera tal que se evita el exceso de oxígeno en relación a los elementos de la carga que están sujetos a la oxidación.

Los elementos tales como el cobre y níquel, los cuales no son oxidados o eliminados por alguna otra reacción, puede considerarse como componente de la carga siempre y cuando sean estos permisibles en el producto final.

El control de la composición química y el mínimo volumen de escoria son

conducentes de un afino eficiente del acero.

La composición de la escoria es conducida por los elementos de la carga metálica que entran en la escoria en forma de óxidos.

MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS.

Como materias fundamentales para la producción del acero se consideran:

- Carga metálica.

Ferro aleaciones.

Coque metalúrgico.

- Fundentes y otros.

Carga Metálica.- La carga metálica está constituida por la chatarra de acero y el arrabio sólido.

3.1.1. CHATARRA.- La chatarra se clasifica según su origen en 2 fuentes como chatarra de fábrica producida durante el mismo proceso de fabricación del acero y la chatarra comprada que puede ser nacional o importada.

En la composición química de la chatarra ciertos elementos son los constituyentes deseables, debiendo la chatarra estar libre de elementos desconocidos y no deseables. Cuando se trata de chatarra de composición química desconocida o sea muy variable (caso que con frecuencia se presenta) se practica el análisis químico sobre muestras seleccionadas de lotes individuales y cuando se conoce la composición química se realiza un análisis de comprobación; todo esto se hace con la finalidad de conocer el porcentaje de elementos aleantes necesitados en la producción del acero.

El tamaño es variable presentándose desde lingotes de varios tamaños hasta virutas, es así que se hace considerable conocer el tamaño y la densi

dad bruta de la chatarra que son factores importantes en la capacidad de producción, es así que la chatarra pesada (lingotes) tiene su peso por unidad de volumen considerable, mientras que el peso por unidad de volumen de la chatarra ligera es menor. En base a estas consideraciones, si hay demasiada cantidad de chatarra ligera en la carga, el volumen total de la chatarra ligera y la pesada excederá el volumen del horno y parte de la chatarra no podrá ser cargada hasta que una porción de la carga sea fundida, mientras que si la carga es enteramente de chatarra pesada esto también tiene inconveniente, debido a que este no permite la protección del lecho de fusión y paredes del horno durante el período de fusión. Generalmente debe tomarse chatarra de diferentes densidades de tal manera que se reduzca el número de sobrecargas, así aproximadamente con la siguiente proporción de densidades en %.

40 % de chatarra pesada.

40 % de chatarra media.

20 % de chatarra ligera.

3.1.2. ARRABIO SOLIDO.- También usado como carga metálica, es el exceso de la producción o material fuera de especificación del Alto Horno, este exceso es moldeado en lingotes de 30 Kg. La especificación típica del arrabio es:

Composición Química % :

C	:	3.0 - 5.0
Si	:	1.2 máx.
Mn	:	0.4 - 1.2
P	:	0.050 máx.
S	:	0.050 máx.

3.1.3. FERROALEACIONES.- Las ferroaleaciones que se emplean son consideradas como condimentos del acero debido a que agregando en pequeñas cantidades sirven para darles propiedades especiales o para desoxidar al acero.

Según su uso se clasifican en 2 grupos, comunes y especiales. Las primeras son las que se usan como desoxidantes en el proceso de elaboración de todo tipo de aceros y son el FeMn, Fe Si y Si-Mn; mientras que las ferroaleaciones especiales son las que se usan como elementos de aleación, siendo los principales el FeCr, Si-Cr, FeW, FeNi, FeNb, FeMo, FeTi, FeV, etc.

Las especificaciones de las ferroaleaciones empleadas se describen mas adelante. Dichas especificaciones se han elegido de los diferentes grados contenidos en las Normas Internacionales las cuales se requieren para la obtención de nuestros aceros que son materia de estudio (aceros estructurales).

a) Ferromanganeso Standard (FeMn):

Según Norma ASTM A 99 Grado 3.

Es usado para determinar el tenor de manganeso en el acero, su adición se hace unicamente en la cuchara.

Composición Química % :

Mn	:	76 - 78.	As	:	0.30 máx.
C	:	7.5 máx.	Sn	:	0.020 máx.
Si	:	1.2 máx.	Pb	:	0.050 máx.
P	:	0.35 máx.	Cr	:	0.50 máx.
S	:	0.050 máx.			

Granulometría: La granulometría requerida es de 25.4 mm. a 101.6 mm. en un 80 % como mínimo.

b) Ferro Silicio (FeSi):

Según Norma ASTM A-100 Grado C.

Es usado como desoxidante y como regularizador del tenor del silicio en el acero, su adición se hace también en la cuchara.

Composición Química % :

Si	:	74.0 - 79.0	Mn	:	0.40 máx.
C	:	0.10 máx.	Cr	:	0.30 máx.
S	:	0.025 máx.	Ni	:	0.10 máx.
P	:	0.035 máx.	Cu	:	0.10 máx.
Al	:	1.50 máx.	Ti	:	0.20 máx.

Granulometría: La granulometría requerida es de 17.7 mm. a 76.2 mm. en un 75 % como mínimo.

3.1.4. COQUE METALURGICO.- En el caso de que sea necesario una recarburación del acero se hace la adición de coque en la cuchara de tal manera que se haya conseguido un ajuste del contenido de carbono correspondiente a las especificaciones del acero a obtenerse.

Composición Química % :

Según Norma JIS K 2151.

Carbón fijo	:	89.0 mín.	Materia volátil	:	1.0 aprox.
S	:	0.9 máx.	Humedad	:	4.0 máx.
Cenizas	:	10.0 máx.			

Granulometría : La granulometría requerida es entre 25 mm. y 100 mm. en un 95 % como mínimo.

3.1.5. FUNDENTES Y OTROS.- Se emplean como fundentes la cal viva y el espato fluor (CaF_2).

La adición de la cal viva se hace juntamente con la carga metálica y si es necesario después durante el afino del baño, esta adición tiene influencia tanto en la vida del revestimiento refractario del horno, en el control de formación de la escoria (desulfuración, defosforación del acero) y en la misma calidad del acero, todas estas variables se controlan mediante el índice de basicidad.

$$(\text{IB} = \text{CaO}/\text{SiO}) \text{ de } 2.5 \text{ á } 3.0$$

Composición Química % :

CaO : 85.0 mín.

SiO₂ : 5.0 máx.

Al₂O₃ : 4.0 máx.

MgO : 4.0 máx.

Al₂O₃ + Mg : 6.0 máx.

Fe₂O₃ + Fe₃O₄ : 5.0 máx.

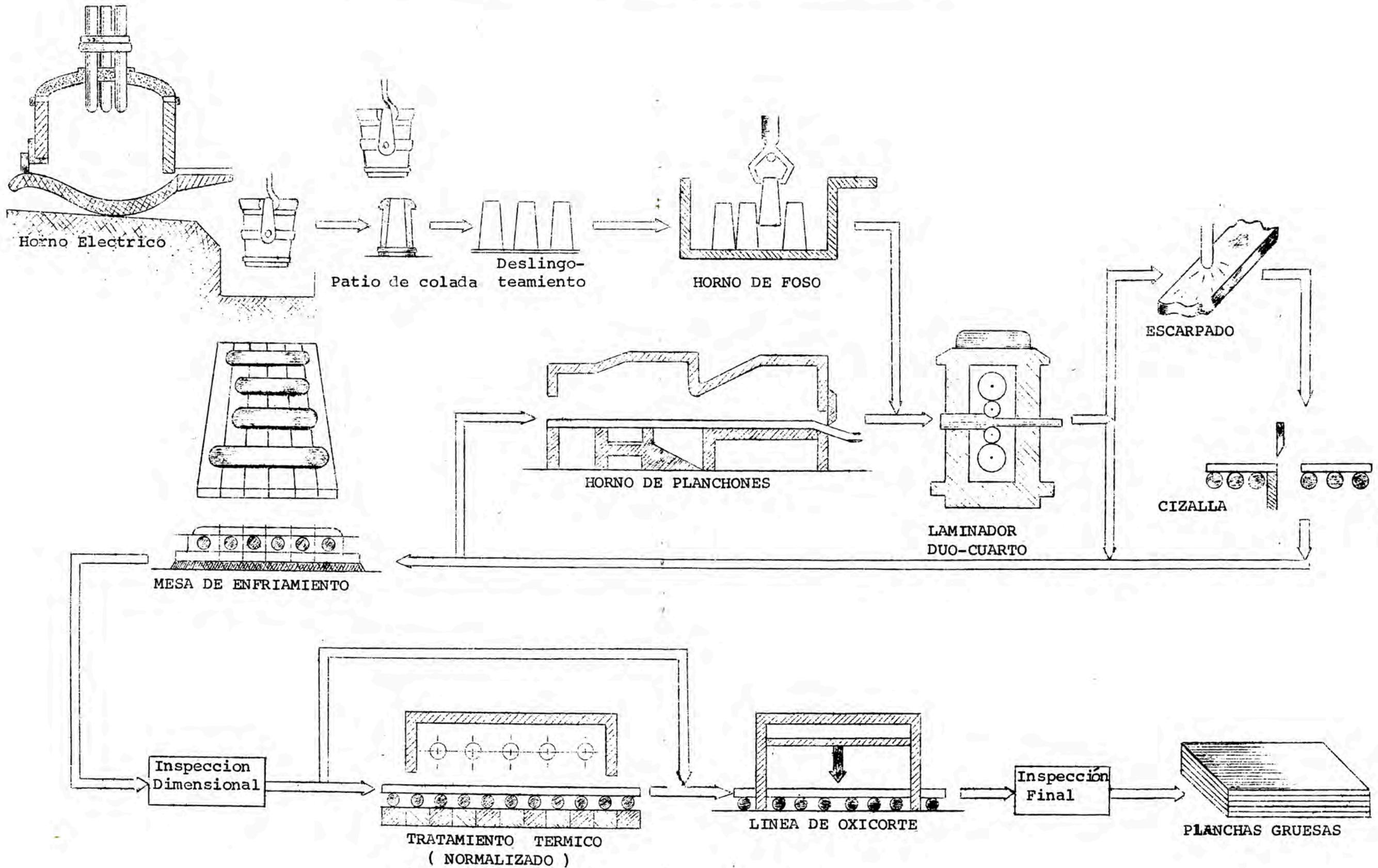
Pérdida por calcinación : 6.0 máx.

Granulometría.- El tamaño de grano requerido es entre 19.0 mm. a 50.8 mm. en un 95 % como mínimo.

El espato fluor se adiciona durante el período de afino del acero para formar una nueva escoria actuando este como fluidizador de la escoria formada, de tal manera que juntamente con la cal se desulfura el acero.

PLANO 01

DIAGRAMA DE FLUJO EN LA FABRICACION DE PLANCHAS-GRUESAS



Composición Química %.

CaF ₂	:	75.0 mín.
SiO ₂	:	6.0 máx.
P	:	0.05 máx.
S	:	0.05 máx.

Granulometría.- El tamaño de grano requerido es entre 12.7 mm. a 76.2 mm. en un 95 % como mínimo.

3.2. FABRICACION DEL ACERO.

3.2.1. HORNOS ELECTRICOS.- La función del Horno Eléctrico es fundir la chatarra, arrabio sólido y sus adiciones para lograr baño líquido del que se obtiene el acero programado, siendo necesario regular el C, Mn, S, Si y P para obtener el acero requerido dentro de las especificaciones.

El horno eléctrico es usado por las siguientes razones:

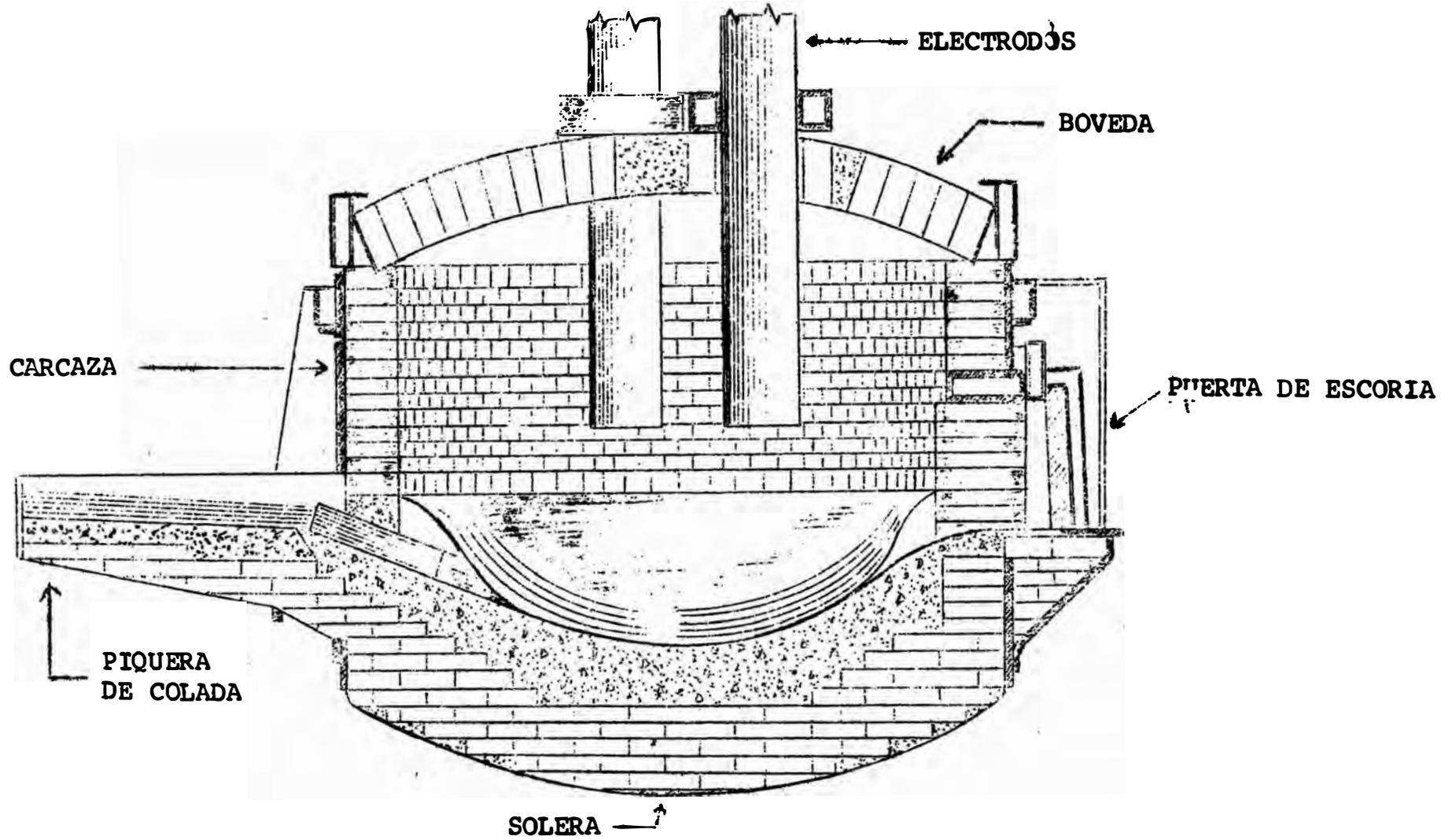
Las instalaciones son simples y pueden operar independientemente de las otras unidades del complejo siderúrgico clásico.

En tal sentido, es el que produce de la manera más económica posible y cualitativamente con ventajas aceros refractarios, inoxidable, austeníticos de alto manganeso, aceros rápidos, etc. pudiéndose trabajar ventajosamente con grandes variedades de materias primas.

La Acería Eléctrica de SIDERPERU consta de dos Hornos Eléctricos de arco construidos por STEIN y ROUBAIX, según patente LECTROMELT de las siguientes características:

FIG. 3.1

HORNO ELECTRICO



- Tipo de Horno : M.T. a bóveda giratoria.
- Basculamiento : Sistema hidráulico.
- Capacidad Nominal : 25 Tons/colada (máximo 3¹/₄ Tons).
- Diámetro de la cuba : 4,570 mm.
- Profundidad del baño : 622 mm.
- Densidad del metal líquido : 7.5 Kg/dm³.
- Volumen útil del Laboratorio : 26 m³ más ó menos.
- Cargamento : Por la parte alta luego del basculamiento de la bóveda con cucharas o canastas a dos arquillos con gancho auxiliar de abertura.
- Electrodo de grafito : 450 mm ϕ , 1850 mm. longitud, 412 Kg. de peso.
- Consumo de electrodos : 3.5 á 8 Kg/Ton.
- Tensión primaria : 13,200 voltios.
- Tensión secundaria : Variable de 350 á 98 voltios.
- Basculamiento : 40° lado de colada y 15° lado de escoriar.
- Revestimiento de las cubas y las paredes del horno : Refractarios bálicos.
- Bóveda : Ladrillos refractarios de alta alúmina y sílico aluminosos.

3.2.2. ETAPAS DEL PROCESO.- El área de Hornos Eléctricos está formado por dos unidades siendo cada unidad del tipo tanque, trabajando por lotes (batch) y en iguales condiciones de operación. Cada unidad trabaja independientemente. Las etapas del trabajo son las siguientes:

- a) Carga al Horno.- La mezcla a fundir se compone de chatarra, arrabio sólido, mineral, fundentes, desoxidantes y ferroaleaciones.

El arrabio sólido sirve para carburizar el metal y el mineral se agrega

con el fin de oxidar las impurezas, como fundente se utiliza la cal, que produce escorias de carácter básico. Como desoxidante se emplean el ferrosilicio y el ferromanganeso.

La preparación de la carga es de suma importancia para la buena marcha de la operación. Para evitar tiempos de operación demasiado largos se toman ciertas consideraciones, siendo las principales:

- La carga metálica debe ser seleccionada de tal manera que al final de fusión se pueda oxidar por lo menos 0.20 % de carbono hasta el análisis antes de colar.
- Efectuar la carga metálica al horno en dos etapas; en la primera carga se debe colocar primero la chatarra y arrabio sólido en la canasta, variando la cantidad de 10 á 20 tons. dependiendo del peso y volumen, sobre esto se carga la cal 800 Kgs.; la segunda carga se efectúa dentro del intervalo de aproximadamente 50 minutos para completar la carga total.
- Si la chatarra esta muy oxidada se debe colocar al fondo una parte de cal para que el FeO de la chatarra no ataque la solera.

Los componentes de la carga son:

- Carga Metálica: Chatarra importada, chatarra nacional, chatarra de fábrica de bajo y mediano carbono.
- Carga No Metálica: Cal y espato fluor.
- Ferroaleaciones: Ferromanganeso y ferrosilicio.

b) Fusión.- En esta etapa es muy importante que la chatarra esté bien

compartida en el horno. En los primeros minutos del arranque es mejor no trabajar con toda la capacidad del transformador porque se pueden presentar algunas dificultades en el inicio del arco voltaico. Los orígenes de estas dificultades son en su mayoría porque la chatarra no está bien repartida o que hay cal que forma aislamiento.

En el inicio de la fusión es conveniente que los electrodos descien - dan con cuidado para que no se rompan y si se han roto es necesario sacar las puntas para evitar sobrecarburación de la carga.

En esta etapa del proceso, a fin de fusión se debe tener un análisis preliminar por lo menos un contenido de carbono del orden de 0.30 %. Este contenido de carbono se alcanza cargando arrabio sólido en la carga metálica; en caso de no efectuarse se deberá adicionar el horno coque para alcanzar el contenido de carbono requerido.

El contenido de carbono de 0.30 % se requiere con el fin de que durante la oxidación se pueda oxidar por lo menos el carbono en 0.20 %.

- c) Oxidación.- Al final del período de fusión se comienza con la oxidación del baño con ayuda del oxígeno gaseoso.

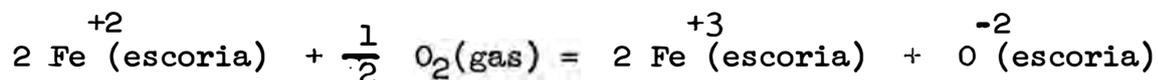
Los gases pueden ser absorbidos por el metal fundido produciendo varias reacciones entre el metal y la escoria que esta formándose durante este período y donde el carbono es oxidado por lo menos a 0.20 % efectuándose una disminución por la reacción con el oxígeno generalmente en forma gaseosa. El hidrógeno y el nitrógeno son eliminados (hasta cierto punto) por esta reacción de oxígeno-carbono denominada ebullición del carbono. Otras reacciones se producen entre el metal y la escoria que pueden eliminar el azufre y el fósforo.

La escoria juega dos roles simultaneamente:

→ En la interfase escoria-metal la escoria suministra el metal con oxígeno para oxidar las impurezas.

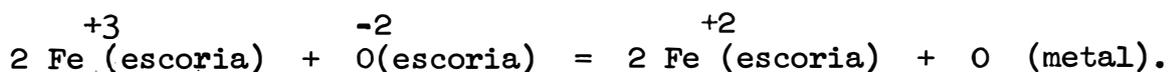
Como un solvente, la escoria absorbe la reacción de los productos MnO, SiO₂, P₂O₅, etc.

En la interfase gas-escoria se llevan a cabo las siguientes reacciones:



Como un resultado de esta reacción, la concentración del hierro trivalente y los iones óxido en la interfase gas-escoria se incrementan con respecto a aquellas en la interfase escoria-metal.

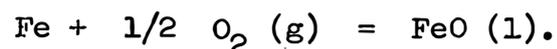
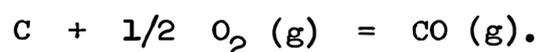
Debido a la convección forzada en el baño de escoria, estos iones se difunden rápidamente a la interfase escoria-metal donde ocurre la reacción:

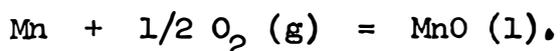
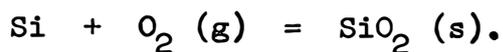


El oxígeno así transferido al metal oxida al carbono, manganeso, fósforo, hierro, etc.

Al final del período de oxidación se evacua la escoria y se saca la primera muestra.

Las reacciones que ocurren son:





- d) Reducción o Afino.- El período de afino comienza con una predesoxidación del baño, luego después que se ha escoriado adicionando ferro-manganeso, en caso de requerir un acero con mayor contenido de silicio en el análisis final se puede también trabajar con ferrosilicio.

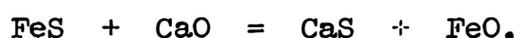
Después de estas adiciones se forma una nueva escoria. Esta escoria tiene la función principal de desulfurar, para esto debe adicionarse cal al horno acompañada de espato fluor (fluorita) para dar mayor fluidez a la escoria. Si hay mucho azufre en la carga se debe trabajar con escoria reductora, la cual puede ser de dos tipos:

Escoria blanca : CaO : CaF₂ : C = 6:2:1.

Escoria negra : CaO : CaF₂ : C = 6:4:2.

La escoria blanca siempre debe ser utilizada en aceros con bajo contenido de carbono.

La cantidad de escoria reductora debe ser más o menos 4 % de la carga. De esta manera el azufre del baño forma el sulfuro de calcio según la siguiente reacción:



La temperatura final deseada debe alcanzarse en forma gradual y no en forma brusca para no malograr el revestimiento refractario del horno.

En la escoria debe tratarse de obtenerse una proporción de $\text{CaO}/\text{SiO}_2=3$, esta relación es más conocida como basicidad y debe ser alrededor de

3 debido a que en caso de trabajar con exceso de cal, la solubilidad de la escoria por la cal tiene su límite."

La cal que se encuentra en exceso en la escoria queda en forma sólida y por esta razón la escoria es densa y no reactiva.

Los porcentajes de FeO en la escoria estan entre 10 a 25 %, los otros componentes son el resultado del proceso de afino, como el P_2O_5 , SiO_2 y MnO. El MgO que se encuentra en la escoria es del orden de 3 % que proviene de los revestimientos, este MgO sale del revestimiento por ataque químico de la escoria.

Para que la escoria sea fluida se adiciona fluorita al comienzo del soplo. Normalmente se adiciona de 1 á 3 Kgs. de espato fluor por tonelada de acero con el objeto de que la escoria se forma más rápido y por este motivo la desfosforización puede llegar a 95 %.

En resumen, el trabajo fundamental de las acerías es bajar el porcentaje de los elementos de carga hasta un cierto límite que permitan al acero su posterior utilización en laminación o forja. Esta transformación se efectúa por oxidación, esto implica que los elementos (en primer lugar carbono, silicio y fósforo) se transforman en óxidos por medio del oxígeno, se eliminan en forma gaseosa o líquida durante la colada. El proceso de oxidación mismo se explica por eso como el afino.

e) Adiciones al Horno y la Cuchara.-

El Manganeso.- Se adiciona una parte al horno conjuntamente con la carga metálica como mineral de manganeso con el fin de incrementar el

contenido de manganeso en el baño de acero antes de colar.

Otra parte de manganeso se adiciona tambien en el horno en forma de ferromanganeso durante la etapa de afino con el propósito de incrementar el contenido de manganeso en el acero antes de colar.

Finalmente se adiciona a la cuchara ferromanganeso, standard con el propósito de ajustar el análisis final del acero.

El Silicio.- Se adiciona en forma de ferrosilicio como desoxidante a la cuchara y además para efectuar el ajuste final.

La Cal.- Se adiciona al horno juntamente con la carga metálica para producir la escorificación y además se adiciona al final de fusión conjuntamente con el espato fluor para ayudar a fluidizar la escoria.

El Carbono.- Si es necesaria una recarburación del acero se adiciona de las siguientes formas:

Despues que se ha retirado la escoria de la oxidación se puede adicionar carbono en forma de grafito molido sobre el baño limpio.

Adición de ferromanganeso con alto contenido de carbono en el baño durante el proceso de afino.

Adición de coque metalúrgico molido directamente en la cuchara.

- f) Desoxidación en la Cuchara.- A parte de la predesoxidación en el horno, se efectúa una desoxidación final en la cuchara para bajar el oxígeno del baño de acero que todavía se encuentra desde el período de oxidación.

En el momento de que el acero es afinado a la especificación requere-

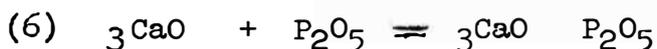
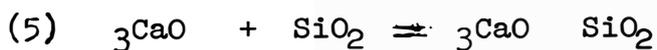
rida, el acero comunmente contiene de 0.05 á 0.10 % de oxígeno disuelto. Esta es una cantidad apreciable de oxígeno el cual interfiere en el tratamiento posterior del acero. Por ejemplo, durante la solidificación del lingote, el oxígeno y el carbono en solución reaccionan para producir el monóxido de carbono, produciendo luego el defecto conocido como rechupe.

Otro efecto que produce el oxígeno en el acero es que el oxígeno enfriado tiende a formar FeO, MnO, etc. en la forma de inclusiones que perjudican la trabajabilidad del acero (en frío y en caliente) y sus propiedades mecánicas. De allí que, en el momento de colar, el contenido de oxígeno del acero sobreoxidado debe ser reducido al nivel deseado para producir aceros efervescentes, semicalmados y calmados.

Los materiales desoxidantes que se usan son: aluminio, calcio-silicio, ferrosilicio, etc.

Las adiciones se efectúan al chorro de acero en el momento de colar para de esta manera con la turbulencia se mezclen en la cuchara y reaccionen con el acero teniendo cuidado de no flotar sobre la superficie conjuntamente con la escoria por su menor densidad.

g) Escorificación del Silicio, Manganeso y Fósforo.- El afino de los elementos Si, Mn y P marchan según las siguientes reacciones:



Como se puede apreciar el FeO es el elemento aportador de oxígeno al baño para la reacción de los otros elementos disueltos en el acero, esto debido a que el FeO se encuentra en una reacción continua con el oxígeno que es soluble en el hierro. Asimismo, se puede ver la influencia de la cal (CaO) en estas reacciones. Los óxidos de SiO₂ y P₂O₅ se forman con la cal en una composición estable como dicalcio silicato y tricalcio fosfato. Suponer una descomposición de la sílice y fósforo es por esta razón muy difícil.

Las tres primeras reacciones son las principales que producen calor en el proceso (reacciones exotérmicas). Las siguientes cantidades de calor se forman durante la oxidación.

1 Kg. Si = 7810 KCal; 1 Kg. Mn = 1780 Kcal; 1 Kg. P = 6050 Kcal.

Por esta sobreproducción de calor se puede utilizar en el proceso adiciones de cargas frías (pellets, mineral, chatarra, etc.).

Si se cuela el acero sin adición de desoxidantes, el carbono en el acero reduce el contenido de oxígeno a límites mínimos, formando el CO el equilibrio del producto carbono-oxígeno durante la solidificación reduce a valores muy pequeños, además la formación del carbono y oxígeno durante la solidificación del acero líquido en la lingotera hay una segregación del carbono y oxígeno en la parte líquida que va con la frontera de sólido a líquido.

Este fenómeno de ebullición es llamado "efervescencia". En coladas con un contenido de carbono de 0.50 % no es posible que se produzca efervescencia porque el contenido de oxígeno en el acero líquido es muy bajo.

En caso de colarse aceros que no sean efervescentes, según su composición química, son desoxidados en la cuchara durante la colada mediante desoxidantes que eliminan el oxígeno del baño en forma de óxidos insolubles.

Los desoxidantes más usados en las acerías son: Aluminio, Silicio, también se utilizan Calcio, Manganeso, etc. en realidad todos los elementos que tienen afinidad al oxígeno como el Fe se pueden utilizar para la desoxidación del acero.

Las reacciones químicas durante la desoxidación son:



La desoxidación como las reacciones de afino, no son completas siempre se queda en el acero una cierta cantidad de oxígeno. Este resto de oxígeno es más bajo según el desoxidante utilizado, esto depende de la afinidad del desoxidante hacia el oxígeno.

- h) Colada.- Si una nueva muestra de control de temperatura y análisis del acero indica que la colada está terminada se debe colar el acero. Para efectuar la colada debe limpiarse la piquera y controlar que la cuchara también esté limpia. Las adiciones en la cuchara deben entrar cuando el acero está colada más o menos la cuarta parte de la cuchara, en tal forma que primero entran los desoxidantes y después las adiciones al fin de la colada no debe entrar mucha escoria sobre el acero. El tapón de la cuchara debe protegerse contra la escoria

dolomita y la superficie del baño debe ser cubierta con pajilla de arroz para evitar la pérdida de calor.

- i) Nave de Colada.- Estando las cucharas limpias, sin restos de acero y teniendo una protección aislante entre los ladrillos de desgaste y la carcasa de la cuchara, la caída de temperatura entre el horno y la cuchara no debe ser mayor que 50°C para una cuchara de 30 Tons. de capacidad (excepto en cucharas con revestimiento nuevo). Para evitar pérdidas de temperatura por radiación es necesario que se cubra la superficie del acero líquido con cáscara de arroz u otros productos aislantes.

Durante la solidificación ocurren juntos procesos físicos y químicos. Entre los procesos físicos tenemos la conductividad del calor por las paredes de la lingotera al medio ambiente y la disminución de volumen del lingote (contracción).

Durante la solidificación del acero una parte del calor se va durante la colada y el tiempo de espera en la cuchara. La mayor parte del calor se va durante la colada en las lingoteras por las paredes de las mismas y por las placas de base. La fuerte conductibilidad de calor del material de fundición hace que la solidificación comience inmediatamente por la placa y paredes de la lingotera originando por lo tanto que la solidificación se dirija hacia el centro del lingote.

El material de fundición se recalienta durante este proceso, trayendo como consecuencia que la caída de temperatura disminuya conforme se avanza hacia el centro del lingote y por lo tanto también ella se aminora. La conductibilidad térmica y la solidificación se hace lenta en el centro del lingote. Un lingote de 5 Tons., por ejemplo ne-

cesita para su solidificación completa cerca de una hora y media.

Por efecto de la contracción volumétrica del lingote que está solidificándose desde la superficie exterior hacia el centro, se produce un volumen adicional.

El nivel del acero líquido baja permanentemente durante la solidificación produciendo un hueco que se denomina rechupe.

La colada directa se efectúa, como su nombre lo indica, directamente de la cuchara a la lingotera. Por este sistema hay una mayor pérdida de temperatura, más inclusiones no metálicas y el tiempo total empleado en la colada es alto.

En la colada indirecta el acero líquido se vierte sobre la lingotera madra, llenándose las demás lingoteras a través de los conductores refractarios de abajo hacia arriba. Aplicando este sistema se pueden colar varias lingoteras a la vez. La lingotera madra descansa sobre el ladrillo Rey que distribuye el acero en diferentes canales que alimentan a las lingoteras.

Las ventajas de la colada directa son: menor pérdida de temperatura y un tiempo más corto de colada, se pueden colar varios lingotes, una mejor superficie del lingote, un buen control durante la colada,

Como desventajas tenemos: más inclusiones no metálicas debido a los canales refractarios, el rechupe puede profundizarse en el lingote, menor rendimiento, más caro por uso de refractarios y mano de obra, más espacio para este sistema.

3.2.3. TIPOS DE ACERO.- Hay tres tipos generales de acero, los cuales son clasificados de acuerdo al grado de des -

oxidación y el efecto resultante sobre la estructura del lingote. En la Fig. 3.2 , se muestran las secciones transversales del lingote, las cuales muestran la posición y tamaño del rechupe o bolsa de contracción y las sopladuras de gas.

Los dos lingotes de la hilera superior fueron hechos del tipo calmado, desde que este acero está completamente desoxidado; prácticamente no se forma gas durante la solidificación y el metal se solidifica sin la formación de bolsas de gas en el cuerpo del lingote. Las secciones del lingote en la hilera intermedia muestran las variaciones en la estructura obtenida del tipo semicalmado. Este acero tiene menor desoxidación que el tipo calmado y por consiguiente el oxígeno todavía está presente para reaccionar con el carbono y formar el gas Ni tras el acero está solidificándose en las lingoteras.

Los lingotes en la hilera inferior muestran las variaciones en la estructura que se obtienen de los aceros tapados mecánicamente (2) y efervescentes (h, i, j).

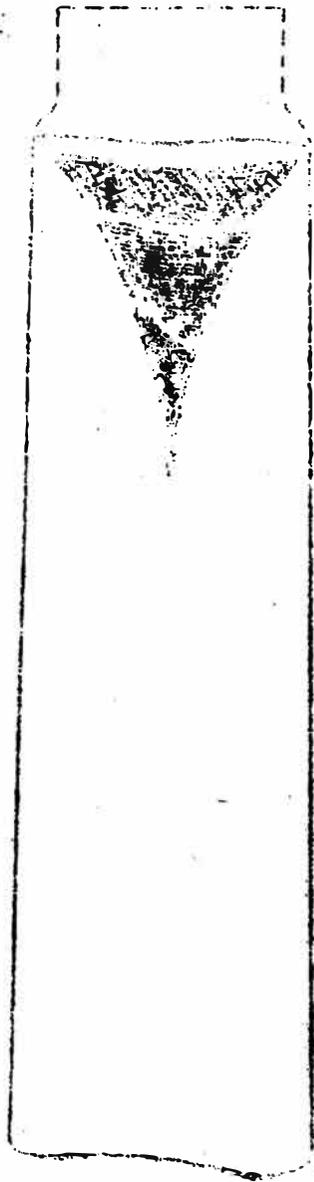
Estos aceros son tapados sin adiciones desoxidantes o con pequeñas adiciones a la cuchara con el fin de dejar algo de oxígeno en el acero que esté libre para reaccionar con el carbono. La evolución del gas origina que el acero hierva en las lingoteras hasta que la acción sea interrumpida colocando tapas en la parte superior de los lingotes. La estructura del lingote varía con la intensidad de la evolución del gas y el momento en que el lingote fue tapado. El lingote en la parte inferior izquierda fue vaciado a una lingotera de tope tipo botella y tapado dentro de dos o tres minutos del vaciado.

Los otros lingotes fueron vaciados en lingoteras de tope abierto y se dejaron que fueran tapados.

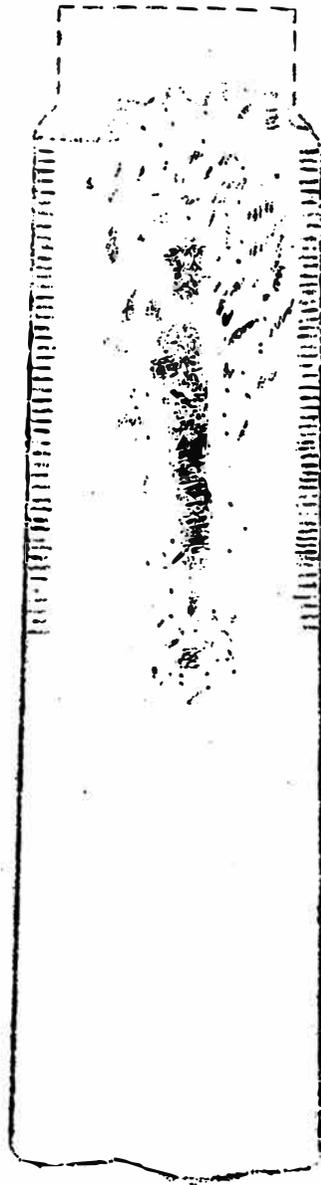
FIG. 3.2

FIG. 3.2

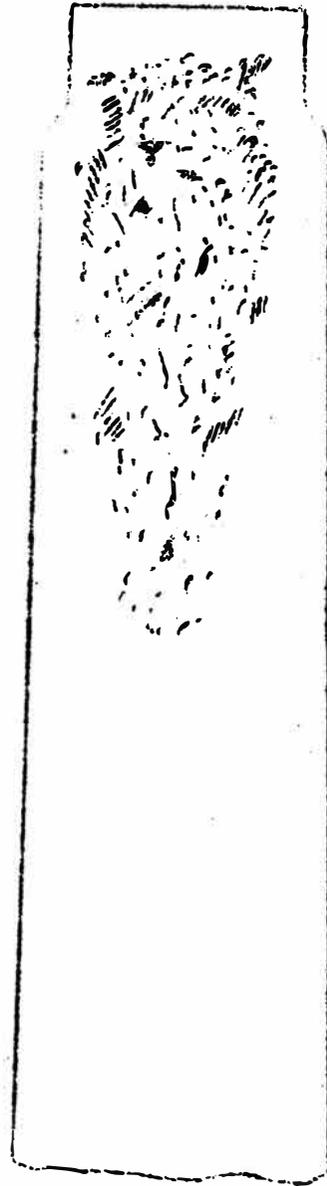
ESTRUCTURA DE LINGOTES



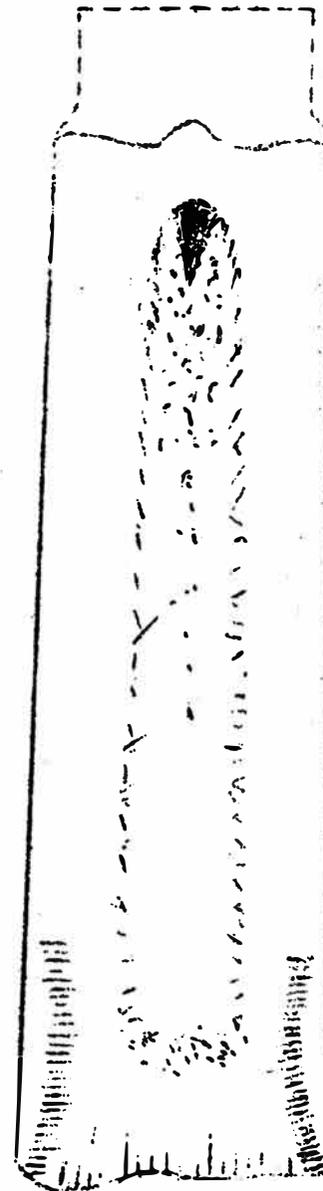
CALMADO



SEMI-CALMADO



TAPADO



EFERVESCENTE

a) Ventajas del Acero Calmado sobre el Acero Semicalmado.- Menos segregación, a menudo una mejor superficie, sin limitaciones químicas, un producto laminado más sólido internamente más limpio en los rangos de carbono alto.

Sobre el Acero Tapado.- Menos segregación a menudo una mejor superficie, sin limitaciones químicas, un producto laminado más sólido internamente.

Sobre el Acero Efervescente.- Mucho menos segregación, sin limitaciones químicas, un producto laminado más sólido internamente,

b) Ventajas del Acero Semicalmado.-

Sobre el Acero Calmado.- Más económico, rendimiento más elevado,

Sobre el Acero Tapado.- Menos segregación; menores limitaciones químicas.

Sobre el Acero Efervescente.- Mucho menor segregación, menores limitaciones químicas, rendimiento ligeramente más elevado.

c) Ventajas del Acero Tapado.-

Sobre el Acero Calmado.- Más barato, rendimiento más elevado, más limpio en los rangos de carbono bajo.

Sobre el Acero Semicalmado.- Mejor superficie, un producto laminado más sólido internamente, más económico, rendimiento más elevado, más limpio en rangos de carbono bajo.

Sobre el Acero Efervescente.- Menos segregación, un producto laminado más sólido internamente, más económico, rendimiento más elevado.

d) Ventajas del Acero Efervescente.-

Sobre el Acero Calmado.- Mejor superficie, mas económico, a menudo un rendimiento mas elevado, mas limpio en los rangos de carbono bajo.

Sobre el Acero Semicalmado.- Mejor superficie, mas limpio.

Sobre el Acero Tapado.- Mejor superficie, mas limpio.

3.2.4. PRACTICAS STANDARD DE FABRICACION.-

a) PRACTICA STANDARD ACERO "16C".-

1.- FABRICACION: Hornos Eléctricos - Nave de Colada.

2.- GRADO DE DESOXIDACION: Semicalmado.

3.- USO: Acero Estructural.

4.- REVISION:

5.- COMPOSICION QUIMICA:

<u>% C</u>	<u>% Mn.</u>	<u>% Si.</u>	<u>% S.</u>	<u>% P.</u>
.14/.19	.60/.75	.10 máx.	.035 máx.	.035 máx.

6.- CARGA:

- Metálica : Para obtener el peso de acero programado.
- Cal : Para obtener basicidad de 2.5 mínimo.
- Espato : Lo suficiente para fluidizar la escoria.

7.- CARBONO PRELIMINAR:

- Fin de Fusión : .25 % mínimo.
- Antes de Colar : .10 % mínimo.

8.- TEMPERATURAS:

- Antes de Colar : 1610/1620° C.
- En la Cuchara : 1545/1555° C.

9.- AFINO:

- Decarburar con oxígeno de acuerdo a práctica normal operativa.
- En caso de % S mayor del especificado a fin de fusión, realizar la práctica de desulfuración.

10.- CONDICIONES DE CUCHARA:

- Caliente y sin fondo metálico.
- Diámetro de Tobera : 50 mm.

11.- TIEMPO DE COLADA DEL HORNO:

De 3 á 5 minutos.

12.- ADICIONES A LA CUCHARA:

- 1° Fe Si 45 % : Agregar 45 Kgs. cuando se tenga 3 Tons de acero en la cuchara.
- 2° Coque : Agregar en caso necesario para llegar a la especificación química.
- 3° Fe Mn Standard : Adicionar lentamente entre 1/3 y 2/3 ó Refinado. del nivel de acero en la cuchara.
- 4° Cubrir el acero con bolsas de aislante térmico luego al terminar de colar.

13.- NAVE DE COLADA:

- a) Usar lingoteras del tipo programado para 30 Tons. de acero, tibias y en buenas condiciones.
- b) Usar láminas de protección de 0.7 á 0.9 mm. de espesor.
- c) Adicionar aluminio a la lingotera lo necesario para obtener el tope ligeramente convexo.
- d) Movimiento de plataforma: 30 minutos después de colada el último lingote.

b) PRACTICA STANDARD ACERO "16D".-

1.- FABRICACION : Hornos Eléctricos.

2.- GRADO DE DESOXIDACION : Calmado.

3.- USO : Acero Estructural.

4.- REVISION :

5.- COMPOSICION QUIMICA :

<u>% C</u>	<u>% Mn</u>	<u>% Si</u>	<u>% S</u>	<u>% P</u>
.14/.18	.90/1.20	.15/.30	.035 máx.	.035 máx.

6.- CARGA :

- Metálica. : Para obtener 30 tons. de acero.

- Cal. : Para obtener basicidad mínima de 2.5.

- Espato. : Lo suficiente para fluidizar la escoria.

7.- CARBONO PRELIMINAR :

- Fin de fusión. : 0.25 % mínimo.

- Antes de Colar. : 0.06 % mínimo.

8.- TEMPERATURAS.

- Antes de Colar. : 1615/1625 °C.

- En la Cuchara. : 1545/1555 °C.

9.- AFINO.

a) Realizar un buen desescoriado del baño.

b) Descarburar con oxígeno y/o pellets.

c) Para % S mayor del especificado a fin de fusión realizar la práctica de desulfuración.

10.- ADICION AL HORNO :

Antes de colar realizar la adición de 80 Kgs. de FeSi (75%) en trozos grandes a fin de calmar el baño (4 pulgadas mínimo).

11.- CONDICIONES EN LA CUCHARA.

Caliente y sin fondo metálico.

Diámetro de Tobera. : 50 mm.

12.- TIEMPO DE COLADO DEL HORNO.

De 3 á 5 minutos.

13.- ADICIONES A LA CUCHARA :

- 1.- FeSi (75 %). : Agregar 40 Kgs. cuando se tenga 3 Tons. de acero en la cuchara.
- 2.- Coque. : Adicionar el necesario para completar la composición en carbono.
- 3.- FeMn Std. : Agregar el necesario entre 1/3 y 2/3 de la cuchara.
- 4.- Cubrir la cuchara con 3 bolsas de aislante térmico al terminar de colar.

14.- NAVE DE COLADA :

- a) Usar lingoteras del tipo programado para 30 Tons. de acero, tibias y en buenas condiciones.
- b) Usar láminas de protección de 0.7/0.9 mm. de espesor.
- c) Emplear mazarotas según el dimensionamiento en uso actual, polvo exotérmico y aislante de acuerdo a la práctica normal.
- d) Movimiento de plataforma: Después de 2.1/2 horas de colar el último lingote.

c) PRACTICA STANDARD ACERO "19B".-

- 1.- FABRICACION : Hornos Eléctricos - Nave de Colada.
- 2.- GRADO DE DESOXIDACION : Semicalmado.
- 3.- USO : Acero Naval.
- 4.- REVISION.
- 5.- COMPOSICION QUIMICA :

<u>% C</u>	<u>% Mn</u>	<u>% Si</u>	<u>% S</u>	<u>% P</u>
.17/.21	.75/.90	.10 máx.	.035 máx.	.035 máx.

6.- CARGA

- Metálica. : Para obtener el acero programado.
- Cal. : Para obtener basicidad mínima 2.5.
- Espato. : Para fluidizar la escoria.

- 7.- CARBONO PRELIMINAR :
- Fin de Fusión. : 0.25 % mínimo.
- Antes de Colar. : .10 % mínimo.
- 8.- TEMPERATURAS :
- Antes de Colar. : 1620/1630 °C.
- En la Cuchara. : 1545/1555 °C.
- 9.- AFINO :
- Decarburar con oxígeno y/o pellets.
- 10.- CONDICIONES EN LA CUCHARA.
- Caliente y sin fondo metálico.
- Diámetro de Tobera : 50 mm.
- 11.- TIEMPO DE COLADA DEL HORNO.
- De 3 á 5 minutos.
- 12.- ADICIONES EN LA CUCHARA.
- En el siguiente orden:
- 1.- FeSi (45 %) : Agregar 45 Kgs. cuando se tenga 3 Tons. de acero.
- 2.- Coque : El necesario para cumplir la composición en carbono.
- 3.- FeMn Std. ó refinado: Agregar el necesario, entre 1/3 y 2/3 del nivel de acero en la cuchara.
- 4.- Cubrir el acero con aislante térmico al finalizar la colada.
- 13.- NAVE DE COLADA.
- a) Usar lingoteras del tipo programado.
- b) Usar láminas de protección de 0.7/0.9 mm. de espesor.
- c) Adicionar aluminio necesario a la lingotera para obtener el tope ligeramente convexo.
- d) En caso de sangrado tapar con plancha y agua.
- e) Mover la plataforma 30 minutos después de colado el último lingote.

3.2.5. CALCULO TEORICO DE CARGA REQUERIDA PARA LA OBTENCION DE LOS
ACEROS ESTRUCTURALES AL CARBONO.

a) ACERO ESTRUCTURAL 16C-E21.-

1. Cantidad de acero requerido:

4 lingotes tipo A de 7,750 Kgs c/u.

Peso total por colada 31,000 Kgs.

2. Composición Química Especificada:

<u>% C</u>	<u>% Mn</u>	<u>% Si</u>	<u>% S</u>	<u>% P</u>
.14/.19	.60/.75	.10 máx.	0.030 máx.	0.030 máx.

3. Cálculo de carga metálica:

Rendimiento metálico = 92.5 %.

Carga metálica (Chatarra + Arrabio) = $31000 / .925 = 33500$ Kgs.

Distribución de carga metálica:

Chatarra importada.	=	4,500 Kgs.
Chatarra nacional.	=	4,000 Kgs.
Chatarra de Fábrica.	=	22,000 Kgs.
Arrabio Sólido.	=	3,000 Kgs.
TOTAL CARGA METALICA	=	<u>33,500 Kgs.</u>

4. Cálculo de carga no metálica.

Porcentaje de silicio en chatarra aproximado = 0.34 %.

Cantidad de silicio en carga = $33,500 \times 0.34 / 100 = 114$ Kgs.

Cantidad de SiO₂ = $114 \text{ Kgs Si} \times 2.13 \text{ Kgs SiO}_2 / \text{Kgs Si} = 243$ Kgs.

Para obtener basicidad de 3 : CaO = $3 \text{ SiO}_2 = 3 \times 243 = 730$ Kgs.

Suponiendo contenido CaO de 90 % en la cal.

Cantidad de Cal requerida = $730 / 0.9 = 800$ Kgs.

Espato Fluor lo suficiente para fluidizar la escoria = 200 Kgs.

5. Composición Preliminar.

- Fin de fusión :

0.36 % C, 0.40 % Mn, 0.050 % S, 0.020 % P.

- Afino (antes de colar).

0.07 % C, 0.18 Mn, 0.030 % S, 0.015 % P.

6. Adición de FeSi (45 %).

Contenido de Silicio en el FeSi = 45 %.

Peso del acero = 31000 Kgs.

Contenido de Silicio requerido en el acero = 0.05 %.

Rendimiento del FeSi en cuchara = 75 %.

$$\text{FeSi requerido} = \frac{31000 \times 0.05}{0.75 \times 0.45 \times 100} = 46 \text{ Kgs.}$$

7. Adición de FeMn (Standard).

Manganeso requerido en el acero = 0.675 %.

Manganeso por adicionar = (.675 - .18) x 31000/100 = 154 Kgs.

Contenido de Mn en el FeMn = 75 %.

Rendimiento del FeMn en cuchara = 75 %.

Adición de FeMn (Standard) = 154/0.75 x 0.75 = 273 Kgs.

8. Adición de Coque Fino.

Carbono en 46 Kgs. de FeSi (45 %) = 1.5 x 46/100 = 0.69 Kgs.

Carbono incrementado en el acero = .75 x 0.69 = 0.52 Kgs.

% de carbono incrementado en el acero por FeSi (45 %) = .52 x
100/31000 = 0.0017 %

Carbono en 266 Kgs. de FeMn (Standard) = 7.5 x 273/100 = 20.0 Kgs.

Carbono incrementado en el acero = 67 x 20 = 13.4 Kgs.

$$\% \text{ carbono incrementado en el acero por FeMn (Std)} = \frac{13.4 \times 100}{31000} = 0.043 \%$$

$$\text{Total } \% \text{ C} = 0.07 + 0.0017 + 0.43 = 0.115$$

$$\text{Carbono requerido en el acero} = 0.165 \%$$

$$\text{Carbono necesario para incrementar de } 0.115 \text{ á } 0.165 \% \text{ del acero} = (0.165 - 0.115) \times 31000/100 = 15.5 \text{ Kgs.}$$

$$\text{Contenido de carbono en el coque} = 90 \%$$

$$\text{Rendimiento del coque en cuchara} = 70 \%$$

$$\text{Coque necesario} = 15.5 / .70 \times .90 = 24.5 \text{ Kgs.}$$

9. Composición química promedio obtenido en el acero:

0.17 % C, 0.675 % Mn, 0.05 % Si, 0.030 % S, 0.015 % P.

b) ACERO ESTRUCTURAL 16D - EC 24.-

1. Cantidad de acero requerido.

4 lingotes tipo A de 7,750 Kgs c/u.

Peso total por colada : 31,000 Kgs.

2. Composición química especificada:

<u>% C</u>	<u>% Mn</u>	<u>% Si</u>	<u>% S</u>	<u>% P</u>
.14/.18	.90/1.20	.15/.30	0.035 máx.	0.035 máx.

3. Cálculo de carga metálica:

$$\text{Rendimiento metálico} = 92.5 \%$$

$$\text{Carga metálica (chatarra + arrabio)} = 31000 / .925 = 33,500 \text{ Kgs.}$$

Distribución:

Chatarra importada.	=	4,500	Kgs.
Chatarra nacional.	=	4,000	Kgs.
Chatarra de fábrica.	=	22,000	Kgs.
Arrabio sólido.	=	3,000	Kgs.
		<hr/>	
TOTAL	=	33,500	Kgs.

4. Cálculo de carga no metálica.

(similar al acero 16C-E21).

Cantidad de Cal requerida = 800 Kgs.

Espato Fluor = 200 Kgs. para fluidizar la escoria.

5. Composición preliminar.

- Fin de fusión.

0.36 % C, 0.40 % Mn, 0.030 % S, 0.030 % P.

- Afino (antes de colar).

.07 % C, 0.18 % Mn, 0.030 % S, 0.030 % P.

6. Adición de FeSi (75 %).

Contenido de Silicio en el FeSi = 75 %.

Contenido de Silicio requerido = 0.20 %.

Rendimiento de FeSi en cuchara = 75 %.

Adición de FeSi = $31000 \times 0.20 / 0.75 \times 0.75 \times 100 = 110$ Kgs.

7. Adición de FeMn Standard.

Manganeso requerido en el acero = 1.05 %.

Manganeso por adicionar = $(1.05 - 0.18) \times 31000 / 100 = 270$ Kgs.

Contenido de Mn. en el FeMn = 75 %.

Rendimiento del FeMn en cuchara = 75 %.

Adición de FeMn (Std) = $270 / 0.75 \times 0.75 = 480$ Kgs.

8. Adición de Coque.

Incremento de % C de 0.15 á 0.16 (0.07 + 0.078 = 0.15).

Carbono necesario en el acero = $0.01 \times 31000 / 100 = 3.1$ Kgs.

Contenido de carbono en el coque = 89 %.

Rendimiento de coque metalúrgico = 70 %.

Adición de Coque : $3.1 / 0.70 \times 0.89 = 5$ Kgs.

9. Composición química promedio obtenida:

0.16 % C, 1.05 % Mn, 0.20 % Si, 0.030 % S, 0.015 % P.

c) ACERO ESTRUCTURAL 19B - ES2⁴, -

1. Cantidad de acero requerido.

4 lingotes tipo A de 7.750 Kgs c/u.

Peso total por colada 31,000 Kgs.

2. Composición química especificada.

% C	% Mn	% Si	% S	% P
.17/.21	.75/.90	.10 máx.	.035 máx.	.035 máx.

3. Cálculo de carga metálica.

Rendimiento metálico = 92.5 %.

Carga metálica (chatarra + arrabio) = $31000 / .925 = 33,500$ Kgs.

Distribución de carga metálica.

Chatarra importada = 4,500 Kgs.

Chatarra nacional. = 4,000 Kgs.

Chatarra de fábrica. = 22,000 Kgs.

Arrabio sólido. = 3,000 Kgs.

TOTAL = 33,500 Kgs.

4. Cálculo de carga no metálica.

Porcentaje de Si en chatarra aproximadamente = 0.34 %.

Cantidad de SiO₂ = $114 \times 2.13 = 243$ Kgs.

Para obtener basicidad de 3: CaO = $3 \text{ SiO}_2 = 3 \times 243 = 730$ Kgs.

Contenido de CaO en O₂ en la cal = 90 %.

Cantidad de cal requerida = $730 / 0.90 = 800$ Kgs.

Espato Fluor suficiente para fluidizar la escoria = 200 Kgs.

5. Composición preliminar.

- Fin de fusión.

0.36 % C, 0.40 % Mn, 0.030 % S, 0.015 % P.

- Afino (antes de colar).

0.07 % C, 0.18 Mn, 0.030 % S, 0.015 % P.

5. Adición de FeSi (4.5 %).

Contenido de Silicio en el FeSi = 45 %.

Peso del acero = 31000 Kgs.

Contenido de Si requerido en el acero = 0.05 %.

Rendimiento del FeSi en cuchara = 75 %.

$$\text{FeSi requerido} = \frac{31000 \times 0.05}{0.75 \times 0.45} = 46 \text{ Kgs.}$$

7. Adición de FeMn (Standard).

Manganeso requerido en el acero = 82.5 %.

Manganeso por adicionar .825 - .18 = .645 %.

Cantidad de Mn por adicionar = .645 x 31000/100 = 200 Kgs.

Contenido de Mn en el FeMn = 75 %.

Rendimiento del FeMn en cuchara = 75 %.

Adición de FeMn (std) = 200/0.75 x 0.75 = 355 Kgs.

8. Adición de Coque Fino.

Carbono en 46 Kgs. de FeSi (4.5) = 1.5 x 46/100 = 0.69 Kgs.

Carbono incrementado en el acero = 0.75 x 0.69 = 0.52 Kgs.

$$\% \text{ C incrementado en el acero por FeSi (4.5 \%)} = .52 \times 100/31000 = 0.0017 \%$$

C en 355 Kgs. de FeMn (Std) = 7.5 x 355/100 = 26.6.

C incrementado en el acero = .67 x 26.6 = 17.8

$$\% \text{ C incrementado en el acero por FeMn (Std)} = \frac{17.8 \times 100}{31000} =$$

0.056 %

Total % C incrementado = 0.07 + 0.0017 + 0.056 = 0.13.

Carbono requerido en el acero 0.19 %.

C necesario para incrementar de 0.13 á 0.19 % en el acero = 0.06%

C necesario en el acero = 0.06 x 31000/100 = 18.6 Kgs.

Rendimiento de coque metalúrgico = 70 %.

Coque necesario = $18.6/0.70 \times 0.90 = 30$ Kgs.

9. Composición química promedio obtenida.

0.19 % C, 0.825 % Mn, 0.05 % Si, 0.030 % S, 0.015 % P.

a) CALCULO DE CARGA PARA LA OBTENCION DE LOS ACEROS PROPUESTOS.-

El cálculo de carga requerida para la obtención de los aceros calidad estructural propuestos, se ha efectuado en forma similar a las calidades actuales.

La composición química especificada tiene como base la obtenida con los modelos matemáticos desarrollados en el Capítulo VII del presente trabajo. La Tabla 3 resume estas composiciones químicas y la Tabla 3. presenta la carga calculada para estos aceros.

TABLA 3.1

=====

Composición Química Propuestas

CALIDAD.	% C.	% Mn	% Si	% S máx.	% P máx.
16C-1	.12/.16	.40/.60	.10 máx.	.035	.035
16C-2	.14/.18	.50/.70	.10 máx.	.035	.035
16D-1	.12/.16	.40/.60	.15/.25	.035	.035
16D-2	.14/.18	.50/.70	.15/.25	.035	.035
16D-3	.14/.18	.70/.90	.15/.25	.035	.035
19B-1	.14/.18	.40/.60	.10 máx.	.035	.035
19B-2	.16/.20	.60/.80	.10 máx.	.035	.035
19B-3	.18/.22	.80/1.00	.10 máx.	.035	.035

TABLA 3.2

Carga Requerida para los Aceros en Kg.

CALIDAD.		CHATARRA	ARRABIO (%)	CaO	ESPATO FLUOR	F eSi	FeMn (Std)	COQUE	ACERO OBTENIDO (Kgs.)
16C *	16C	30,500	3,000	800	200	46	273	25	31,000
	16C-1	30,500	3,000	800	200	46	177	20	31,000
	16C-2	30,500	3,000	800	200	46	231	25	31,000
16D +	16D	30,500	3,000	800	200	110	480	5	31,000
	16D-1	30,500	3,000	800	200	110	177	20	31,000
	16D-2	30,500	3,000	800	200	110	231	25	31,000
	16D-3	30,500	3,000	800	200	110	239	17	31,000
19B *	19B	30,500	3,000	800	200	46	355	30	31,000
	19B-1	30,500	3,000	800	200	46	177	30	31,000
	19B-2	30,500	3,000	800	200	46	288	31	31,000
	19B-3	30,500	3,000	800	200	46	397	32	31,000

* Aceros Semicalmados.

+ Acero Calmado.

71

3.3. LAMINACION PLANOS.

La transformación que sufren los metales en caliente aprovechando su estado plástico a altas temperaturas, por intermedio de deformaciones mecánicas entre cilindros y de tal forma que el producto obtenido tenga propiedades físicas adecuadas como resultado de las transformaciones mecánicas y térmicas en la estructura interna.

Denominamos estado plástico cuando el metal cede fácilmente a ser deformado cuando actúan fuerzas sobre éste.

La estructura del metal tiene una serie de imperfecciones de red cristalina (vacancias, defectos de línea, etc.) que hacen posible una fácil migración de átomos a líneas de átomos a través del grano cristalino. A altas temperaturas los defectos de cristal aumentan considerablemente, y como tal aumenta la plasticidad. En el caso del acero se desea trabajar en zonas plásticas de temperaturas altas, de tal forma que el producto laminado tenga propiedades que puedan ser luego utilizadas.

Así se evitará laminar a menor de 860°C para evitar la presencia de ferrita laminada (direccional) y a menos de 1300°C para evitar quemaduras en el acero.

Cuando la deformación se hace en frío se aprovecha de materiales blandos (plásticos) que pueden ser trabajados a temperatura ambiente, por cada pase en el tren laminador éste material se va endureciendo hasta que ya no sea posible reducción alguna sino el material se quiebra. El material endurecido se alivia en hornos de recocido.

La Planta de Laminación de Productos Planos de SIDERPERU está proyec-

tada para fabricar los siguientes productos.

A) <u>PRODUCTOS.</u>	<u>ESPESOR</u>
<u>LAMINACION EN CALIENTE</u>	
- Planchas Gruesas.	4.76 - 100.0 mm
- Bobinas Gruesas.	4.76 - 9.5 mm
- Planchas Delgadas.	2.0 - 4.75 mm
- Bobinas Delgadas.	2.0 - 4.75 mm
- Flejes.	2.0 - 9.0 mm
<u>LAMINADOS EN FRIO</u>	
- Planchas.	0.16 - 2.0 mm
- Bobinas.	0.16 - 2.0 mm
- Flejes.	0.16 - 2.0 mm
<u>ZINCADO</u>	
- Planchas Lisas.	0.16 - 1.24 mm
- Planchas Corrugadas.	0.16 - 1.24 mm
- Bobinas.	0.16 - 1.24 mm

3.3.1. HORNOS DE FOSO.- Tiene la función de calentar los lingotes fríos o calientes (850°C), provenientes de la Planta de Acero, hasta una temperatura de laminación aproximada de 1280°C, uniformemente distribuido en toda la masa del lingote. Está constituido por 4 celdas paralelepípedas de sección rectangular agrupados en dos parejas.

a) CARACTERISTICAS.-

4 celdas equipadas con recuperadores de calor tipo metálico para aire comburente, carro levanta tapas, electroventiladores y equi-

pos de control y mando eléctrico con una potencia total de 460 HP.

1. Combustible:

El sistema de combustión está integrado por quemadores que pueden funcionar con:

- Petróleo Bunker 5 á 110°C de 9,500 Kcal/Kgs. y un caudal de 630 Kg/h.
- Mezcla de gas (Alto Horno) y petróleo en proporciones variables con un mínimo de 80 % de petróleo.

Poder calorífico del gas. : 700 Kcal/m³.

Caudal del petróleo. : 80 % 630 Kg/h.

Caudal del gas. : 20 % 600 m³.

2. Tiempos de Calentamiento de los lingotes son:

<u>CARGA</u>	<u>LINGOTE</u> <u>TON.</u>	<u>DIMENSIONES</u> <u>mm.</u>	<u>N° DE</u> <u>LINGOTE</u>	<u>TIEMPO DE</u> <u>HORNEADO.</u>	<u>CARGA</u> <u>TON</u>
Fria	7.5	1360x500x1830	12	10-12 Horas	90
Fria	5	710x660x1740	16	10-12 Horas	80
Caliente.	7.5	1360x500x1830	12	5-6 Horas	90
Caliente.	5	710x660x1740	16	5-6 Horas	80

3. Carga térmica instalada: 6'000,000 Kcal/h.

4. Consumo específico. : 420,000 Kcal/h. (Carga fria).

5. Temperatura de deshorneamiento : 1280°C según el contenido de carbono.

6. Tanques de Petróleo : 2 de 2500 m³. c/u.

7. Aire comburente y comprimido:

Ventilador de aire comburente 7,000 m³/h. a una presión de 950 mm. de H₂O, 35 HP y 450°C. de temperatura.

- El fluido pulverizante del petróleo es aire comprimido calentando a 180°C.

8. Quemadores.

Dos quemadores de alta velocidad aptos para quemar petróleo o mezcla del gas del Alto Horno y petróleo.

b) ETAPAS DEL CALENTAMIENTO.-

El calentamiento de lingotes en estos hornos, aparte de calentar y homogenizar su temperatura para el laminado, mejora su calidad superficial debido a la oxidación que se produce durante el tiempo de permanencia con la atmósfera del horno a altas temperaturas (mayores a 900°C).

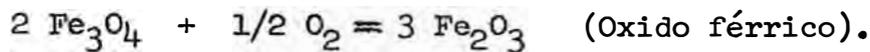
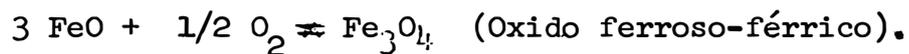
Durante el calentamiento de lingotes se tienen en cuenta dos etapas que son la primera etapa de calentamiento y segunda etapa de igualización.

Primera Etapa.- De calentamiento se tiene en cuenta dos variables al inicio de la carga temperatura de carga (depende del tipo de acero) y velocidad de calentamiento.

Segunda Etapa.- De igualización, se tiene también en cuenta dos factores importantes que son: temperatura de igualización y tiempo de igualización.

c) ATMOSFERA DEL HORNO.-

Los fundamentos teóricos de oxidación del hierro a altas temperaturas se consideran en el rango de 900 á 1350°C, las reacciones que ocurren son:



La wustita ú óxido ferroso es la capa que está en contacto con el metal (85 á 90 % del espesor total de la cascarilla).

- La magnetita ú óxido ferroso-férrico es la capa intermedia entre el óxido ferroso y férrico (10 - 15 % del espesor total de la cascarilla).
- La hematita ú óxido férrico es la capa que está en la superficie es decir en contacto con la atmósfera del horno (0.5 á 2 % del espesor total de la cascarilla).
- En la Fig. 3.3 se puede notar el espesor de la cascarilla en relación al exceso de tiempo total de permanencia expresado como diferencia respecto al tiempo standard.

a) CALCULO EMPIRICO DEL TIEMPO DE CALENTAMIENTO.-

El cálculo de la permanencia del lingote en los Hornos de Foso se pueden realizar por medio de un estudio histórico-estadístico, lo cual conduce a una fórmula empírica:

$$\text{Tiempo total} = 240 + \frac{e/2}{0.65}$$

Donde:

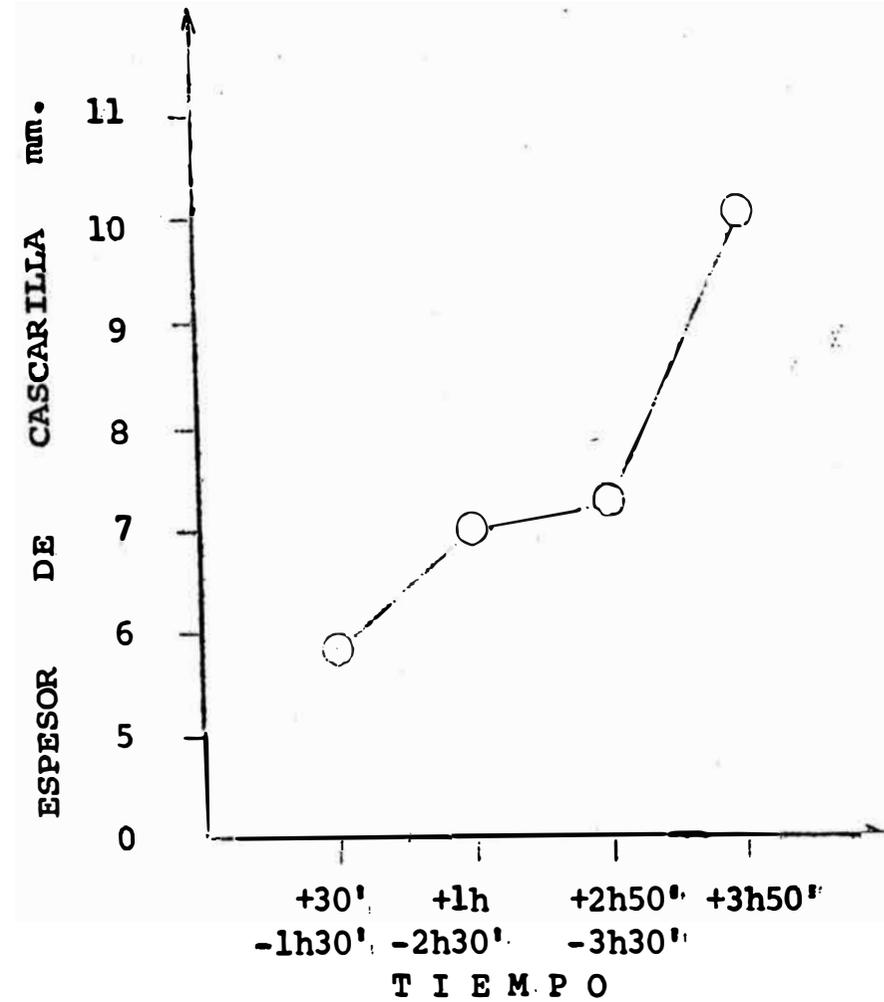


FIG: 3.3 Variación del espesor de cascarilla (escama) por exceso de tiempo de permanencia a temperatura de igualización y temperatura standard.

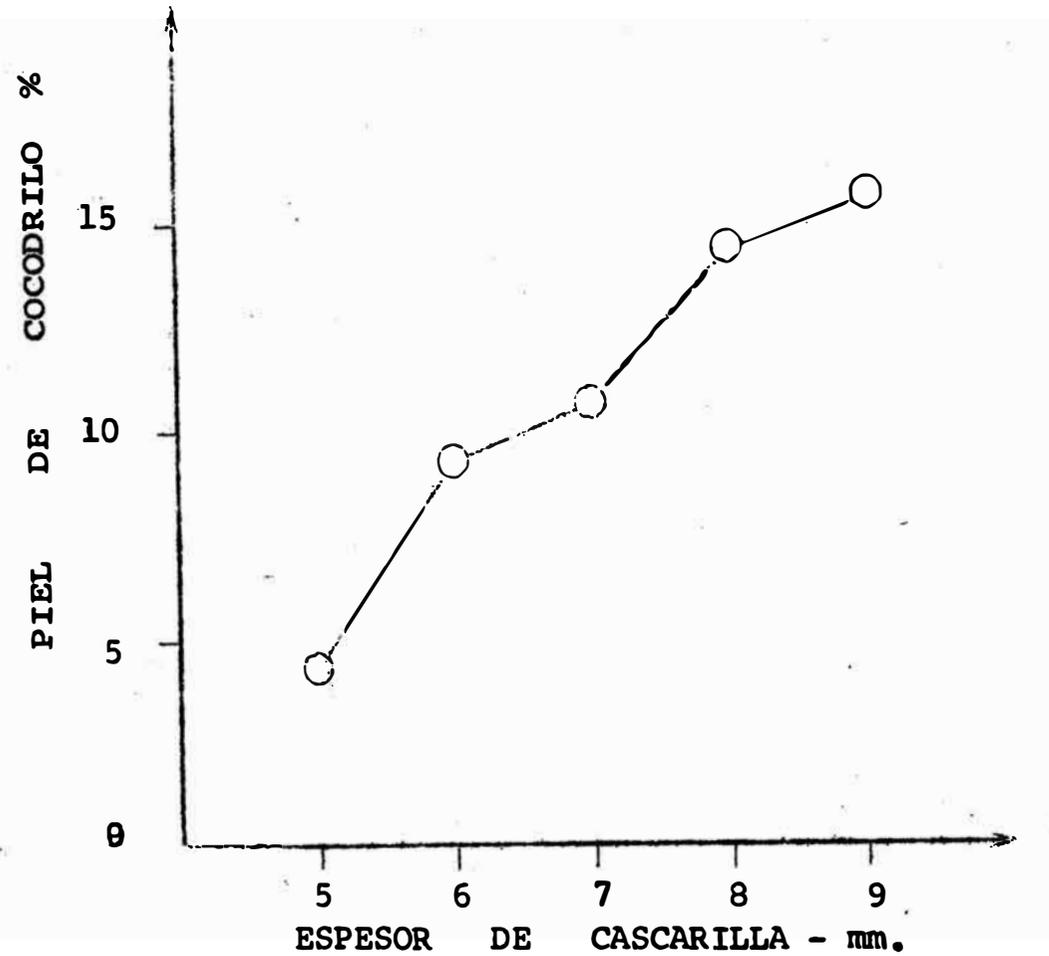


FIG. 3.4 Piel de cocodrilo en aceros efervescentes (referido al total de producción en las fosas.).

$240'$ = Constante, 240 minutos de calentamiento máximo. Es la primera etapa de calentamiento.

e = Espesor del lingote en milímetros.

0.65 = Es una constante en $\text{mm}/1'$ (minuto), es la velocidad de penetración media del calor en el acero (lingote).

$e/2$ = Representa la 2da. etapa-etapa de igualización.

0.65

e) INFLUENCIA DE LAS VARIABLES DEL PROCESO SOBRE LA CALIDAD DEL DESBASTE.

Atmósfera del Horno.-

El espesor de la cascarilla aumenta en relación al exceso de tiempo de permanencia. Así en la Fig.3.4. se nota el aumento de defecto, en el caso de aceros efervescentes el defecto "piel de cocodrilo".

Penetración del óxido en el interior del metal, se oxidan las sopladuras primarias del acero, una vez oxidadas posteriormente ya no se pueden soldar durante la laminación.

Por esta razón, se procura que la atmósfera del horno sea ligeramente oxidante (O_2 , CO_2 , H_2O , SO_2) y con el menor contenido posible de oxígeno libre (no mayor de 2 %).

Descarburación.-

Durante el calentamiento también ocurre la oxidación del carbono. Los factores que influyen son: atmósfera del horno, temperatura, tiempo y tamaño del lingote.

Temperatura de Igualización.-

La temperatura de igualización (temperatura máx.) depende del tipo de acero y está en relación directa al contenido de carbono.

Temperatura de desbaste para aceros aleados y al carbono.

<u>CONTENIDO DE CARBONO.</u>	<u>ACERO AL CARBONO T° C. máx.</u>	<u>ACERO ALEADO T° C. máx.</u>
0.10	1315	1285
0.20	1300	1260
0.30	1285	1230
0.40	1285	1230
0.50	1260	1200
0.60	1230	1200
0.70	1215	1185

Sobrecalentamiento.-

Cuando se calienta a temperaturas elevadas, se producen grandes cristales, estos crecimientos producen cambios en los bordes del grano lo que puede dar lugar a precipitación de impurezas, desprendimiento de gases, la penetración del oxígeno a lo largo de los límites de los granos forma una película de óxidos en los mismos.

El daño producido por el sobrecalentamiento llega a producir una fusión incipiente en los bordes de grano cuyo efecto es permanente, esto se conoce quemado.

3.3.2. HORNO DE PLANCHONES.- Llamada también de empuje. Tiene la función de calentar los planchones provenientes del Laminador Duo/Cuarto destinados a la fabricación de planchas gruesas o de bandas para bobinas. Es un horno de tipo convencio-

nal con calentadores en dos fases sucesivas que son:

- Zona de Calentamiento (Superior é Inferior).
- Zona de Igualización.

a) Características.-

- Fabricante : SIDERFORMI (ITALIMPIANTI).
- Tipo convencional de tres zonas y con un recuperador de calor tipo metálico para aire comburente.
- Potencia total instalada : 600 HP.
- Capacidad promedio : 100 Ton/hora con alimentación de planchones de 5500 x 1235 x 125 mm.
- Dimensiones:
 - Longitud útil. : 26,130 mm.
 - Ancho. : 6320 mm.
 - Longitud zona igualizada: 6800 mm.
 - Ancho útil. : 5700 mm.
- Material de carga. : Planchones de acero de 100 á 200 mm. de espesor.
- Temperatura de aire comburente : 450°C.
- Temperatura de deshorneamiento : 1260 - 1280°C.
- Temperatura de enhorneamiento : 20°C.

Combustible.-

- Petróleo Bunker C a 110°C. de 9,500 Kcal/Kgs. un caudal de 5,800 Kg/h.
- Mezcla de petróleo y gas de alto horno con un mínimo de 80 % de petróleo, poder calorífico del gas 700 Kcal/m³.
 - Caudal del petróleo. : 4640 Kg/hora. (80 %).
 - Caudal del gas. : 1160 m³/h. (20 %).

FIG. 3.5

H O R N O D E P L A N C H O N E S

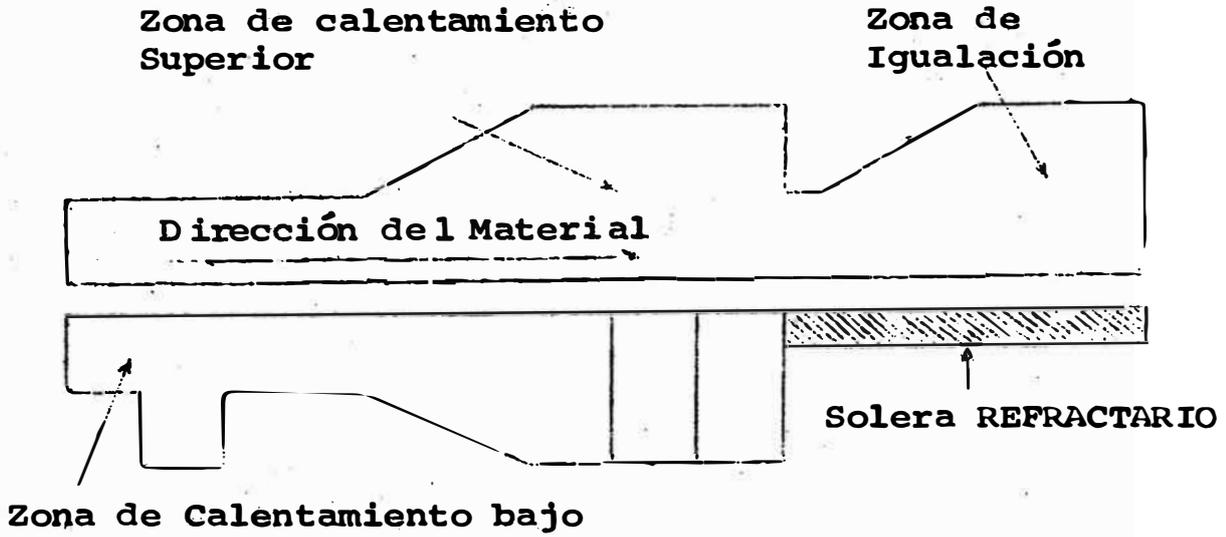
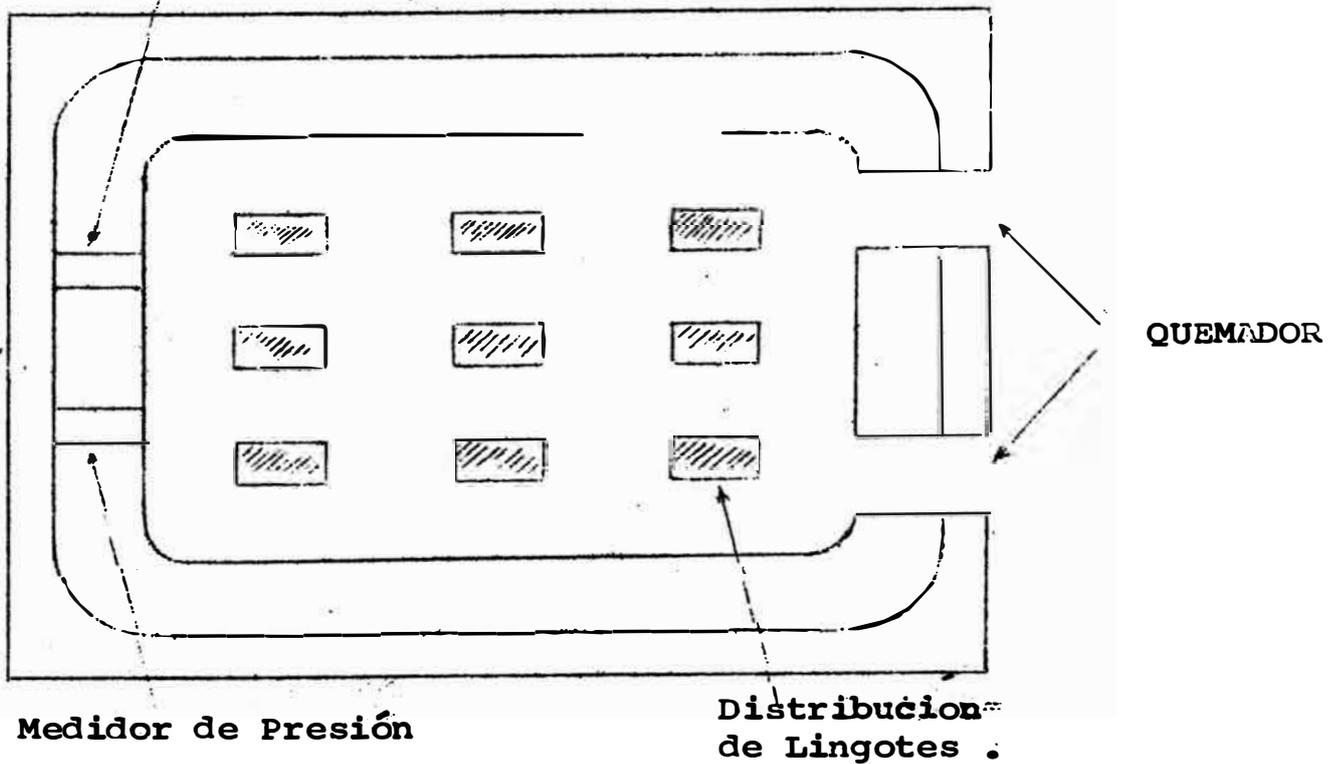


FIG. 3.6

H O R N O D E F O S O

Medidor de Temperatura



Además se tienen quemadores de retención que funcionan con petróleo y aire comburente frío (10 quemadores en total), caudal del petróleo 600 Lts/hora, considerando los 10 quemadores:

Carga térmica instalada.: 60'000,000 Kcal/hora. máx.

Consumo específico. : 400,000 Kcal/Ton.

Quemadores.-

- 6 quemadores en zona de calentamiento superior, capacidad total 21'000,000 Kcal/hora.
- 5 quemadores en zona de calentamiento inferior, capacidad total 23'000,000 Kcal/hora.
- 8 quemadores en zona de igualización, capacidad total 11'000,000 Kcal/hora.
- 10 quemadores de retención, capacidad total 5'000,000 Kcal/hora.

Ventiladores.-

- Para aire comburente centrífugo de 60,000 m³/h.
- Para aire comburente : Quemadores de retención tipo centrífugo de 5,300 m³/h.
- Para aire de refrigeración del recuperador de calor: Tipo centrífugo de 10,000 m³/h.

3.3.3. LAMINADOR DUO CUARTO REVERSIBLE.- Tiene por objeto lograr la deformación plástica de los lingotes o planchones previamente calentados en los hornos respectivos de Foso ó planchones mediante la presión ejercida por los cilindros laminadores, con lo que se tiende a obtener los siguientes efectos:

- Mejorar la calidad del acero aumentando su homogeneidad.
- Conferir al metal la forma que se desea.

- Afinar la estructura cristalina.
- Eliminar las segregaciones.
- Aumentar la resistencia del acero y mejorar sus propiedades físicas.

a) DESESCAMADO.- El desescamado consiste en la eliminación de la escama formada en el horno de foso por un proceso de oxidación, mediante un chorro de agua.

Se dice que una escama es normal cuando su espesor es ± 5 milímetros, se desea alcanzar este espesor para que se puedan eliminar los defectos superficiales originados en Acería, estos defectos son gotas frías, doble piel, marca de lingotera, es lógico pensar que serán eliminados siempre y cuando estos defectos no sean muy pronunciados.

La finalidad del desescamado es eliminar la escama para evitar que durante la laminación ésta se incruste en el planchón.

b) CARACTERISTICAS DEL DUO-CUARTO.-

- Fabricante : SANTEUSTACCHIO.
- Carro porta lingotes.
- Mesa transportadora de lingotes.
- Balanza para planchones y lingotes.
- Mesa de trabajo (entrada y salida).
- Rodillos alimentadores (entrada y salida).
- Caja laminador tipo BLISS cuyas características son:
 - Abertura máx. 1,600 mm. como Duo y 280 mm. como Cuarto.
 - Accionamiento principal 2 motores de corriente continua de 3,500 HP 40/80 R.P.M.

Cilindros:

Como Duo:- De acero fundido aleado de 1120 mm. x 2750 mm. (mesa).

Como Cuarto.- De trabajo: Fierro fundido aleado de 915 mm. ϕ x 2750 mm. (mesa).

De Apoyo.- Acero fundido aleado de 1500 mm. ϕ x 2750 mm. (mesa).

Mesa Transportadora de tochos y planchones.

Sistema de desescamado de alta presión (140 Kg/cm^2) y temperatura de 20°C .

c) TREN DUO-CUARTO.-

Se denomina Tren Duo-Cuarto porque este tren trabaja tanto como Duo (2 cilindros laminadores) y como Cuarto (2 cilindros laminadores de trabajo con 2 de apoyo).

(1) TREN DUO:-

El lingote entrará en el tren de pie y soporta una primera pasada de canto para eliminar la escama, luego viene laminado de plano en varias pasadas, es transformado a un planchón de espesor y ancho solicitados.

La temperatura media de fin de laminación en el tren duo, es de $1100 - 1150^\circ\text{C}$.

El proceso de laminación consiste en hacer pasar el material entre dos cilindros que giran con la misma velocidad y con sentido de rotación opuesto y colocados de tal manera que la distancia entre ellos dará el espesor nominal.

El material entra con una velocidad inferior que la de rota-

ción de los cilindros y sale con una velocidad superior a ella, el punto en el que la velocidad de los cilindros y la plancha son iguales es denominado "punto neutro".

PRODUCCION:

CAP. PROMEDIO.

- Lingotes de 5 Tons. a tochos de 200 x 200 x 20,600 mm.	100 Ton/h.
- Lingotes de 7.5 Ton. a planchones de (100 á 200 mm) de espesor x 1270 x 5200 mm.	150 Ton/h.
- Lingotes de 7.5 Ton. a bandas de 20 x 1270 mm.	70 Ton/h.
- Planchones de 125 mm. de espesor x 1235 mm. a bandas de 20 x 1235 mm.	60 a 120 Ton/h.

(2) TREN CUARTO.-

El tren laminador se utiliza para laminar planchones a planchas gruesas y planchones para bobinas.

El tren laminador cuarto reversible, consiste en cuatro cilindros montados verticalmente en la caja.

Los cilindros internos o de trabajo son accionados de los motores principales, y entre ellos pasan el planchón que vá a laminar. Sobre el cilindro superior de trabajo y bajo el inferior, se encuentran los cilindros de apoyo que son movidos a fricción por los cilindros de trabajo.

Antes del inicio de laminado, el planchón es sometido al desescamado por agua a presión y permite eliminar la escama formada

en el horno de planchones.

Producción partiendo de:

Planchones de 125 mm. de espesor x 1235 mm. a bandas de 20 mm. x 1235 mm.

Planchones de (100 x 200 mm) x 1235 mm. a planchas gruesas de 2440 mm. de ancho y espesor:

6.4 mm.	30 Ton/h.
9.5 mm.	50 Ton/h.
12.7 mm.	80 Ton/h.
19 y 25.4 mm.	110 Ton/h.

3.3.4. LAMINADOR TERMINADOR "STECKEL".- Tiene por objeto procesar las bandas provenientes del Dúo-Cuarto de 17 á 20 mm. de espesor deformándolas plásticamente para obtener bobinas de 2 á 9.5 mm. de espesor por 920 á 1220 mm. de ancho.

Obtenemos de este proceso bobinas IAC con óxido natural de laminación.

Este laminador está constituido de lo siguiente:

- a) Rodillos alimentadores (entrada y salida).
- b) Caja de laminación Tipo BLISS de 53 pulg. de acero fundido de las siguientes características:

Abertura máxima 100 mm.

Accionamiento principal un motor de 6,000 HP, 100/250 R.P.M.

Cilindros:

De trabajo Fierro fundido aleado de 695 mm. ϕ x 1425 mm.

De apoyo : Acero fundido aleado de 1245 mm. ϕ x 1425 mm.

- c) Dos hornos tipo campana instalados a la entrada y salida de la caja de laminación con sus respectivos mandriles embobinadores y que sirven para embobinar y mantener la temperatura de la banda.

Sus características principales son:

Temperatura de deshorneamiento : 950 á 1000°C.

Consumo específico 65,000 Kcal/Ton.

Potencia instalada 170 HP c/u.

Peso 27 Ton. c/u.

El sistema de combustión está integrado por quemadores (8 en cada horno) que funcionan con petróleo DIESEL N° 2 con un caudal de 400 Kg/h. a 6 atmósferas de presión.

- d) Sistema de embobinado final con mandril colapsable (expansión-contracción).
- e) Producción partiendo de bandas de 20 x 1250 mm. a bobinas de 1270 mm. de ancho por:

2 mm. de espesor.

3.17 mm. de espesor.

6.4 mm. de espesor.

9.5 mm. de espesor.

CAP. DE PRODUCCION.

50 ton/h.

70 ton/h.

95 ton/h.

120 ton/h.

Número de pases de 3 á 5 generalmente.

Velocidad de la banda de 3.5 á 8.7 m/seg.

3.3.5. OXI CORTE.- Es un equipo del tipo pórtico que está ubicado en el parque de planchas gruesas donde se realiza el corte de estas planchas a dimensiones comerciales.

La fabricación de este equipo es "SOITA AB"-MONZA (Italia).

Consta de:

- Banco de corte.
- Máquina para cortes longitudinales.
- Máquina para cortes transversales.
- Vías de rodadura.
- Boquillas de corte.

Dimensiones:

- Distancia entre bancos. : 3500 mm.
- Ancho máximo útil. : 3200 mm.
- Espesor de corte. : 300 mm. (máx.).
- Velocidad de corte. : 6 - 39 m/h.
- Presión de oxígeno. : 1.7 á 9.5 Kg/cm².
- Ancho de corte de. : 1.8 á 12 mm.
- Capacidad promedio. : 3 ton/h.

Consumo:

- Oxígeno de : 1680 á 1800 lit/h.
- Propano de : 190 á 1550 lit/h.

3.4. TRATAMIENTO TERMICO DE NORMALIZADO.-

3.4.1. EQUIPOS.- El normalizado se efectúa en un horno de bóveda plana con rodillos y con las siguientes dimensiones:

Ancho interior	2.7 m.
Longitud interior	16.7 m.

con una potencia total instalada de 150 HP.

El combustible es gas de Alto Horno, llegando a una temperatura de deshorneamiento de 950°C.

Su capacidad de producción nominal es de 10 Tons/hora con planchas de 1220 x 2100 x 9.5 mm.

3.4.2. PRINCIPIOS GENERALES.- El normalizado es un tratamiento térmico que se aplica a las planchas de acero y que involucra el recalentamiento del acero por encima de su temperatura crítica (Ac_3) y un enfriamiento en aire. Tiene dos propósitos principales: refinar el grano, y obtener una estructura y un tamaño de carburo homogéneo en toda la extensión de la plancha.

El tamaño de grano de laminación depende principalmente de la temperatura de acabado en la operación de laminación. Esta, está sujeta a variaciones amplias y, por lo tanto, hay una correspondiente variación extensa en el tamaño de grano de los productos laminados. La operación de normalizado, como su nombre lo implica, sirve para refinar un tamaño de grano grueso resultante de una temperatura alta de acabado y establecer relativamente una microestructura uniforme de grano fino.

En aceros aleados, particularmente si ellos han sido enfriados lentamente después del laminado, los carburos en el estado de laminación tienden a ser bastante grandes y masivos. Estos carburos grandes son difíciles de disolver en los tratamientos de austenitización posteriores. Además, este tamaño de carburo estará sujeto a variaciones amplias

dependiendo de la laminación y la práctica del enfriamiento lento. Aquí el normalizado tiende a establecer una mayor uniformidad y tamaño de partícula de carburo más fina lo cual facilitará el tratamiento térmico posterior para obtener un producto final de mayor uniformidad.

La práctica usual es normalizar de 55 á 85°C por encima de la temperatura crítica, pero para algunos aceros aleados con carburos difícilmente solubles, se puede usar una temperatura considerablemente mas alta para obtener la solución del carburo. En general el calentamiento deberá ser lo suficientemente lento como para asegurar temperaturas uniformes y bajas tensiones térmicas.

Ahora es una práctica común llevar a cabo esta operación en hornos continuos, particularmente esta bien adaptado para planchas gruesas.

CAPITULO IV
=====

CONTROL DE CALIDAD

4.1. INTRODUCCION.

El sistema de control aplicado en SIDERPERU es el llamado Control Total de la Calidad. Este involucra un control exhaustivo que empieza con el control de recepción de la materia prima, sigue en cada una de las etapas del proceso y finalmente se controla el producto final que habrá de salir al mercado.

La razón de este sistema es obvio, porque permite detectar, en primer término, la materia prima fuera de especificación antes que intervenga en el proceso inicial y de esta manera evitar que se obtenga un producto defectuoso; y luego en cada etapa del proceso se separa el semiproducto defectuoso antes que este sea procesado. Con esto se consigue considerable ahorro de tiempo y maquinaria facilitando la labor final de inspección y control del producto acabado.

4.2. CONTROL EN LA MATERIA PRIMA.

Se efectúa un control básico de recepción sobre las materias primas que entran en el proceso de fabricación de los aceros por horno eléctrico. En el caso de los aceros estructurales al carbono tenemos la chatarra, cal, espato fluor, mineral de manganeso, ferromanganeso, ferrosilicio, calcio-silicio, etc. Cada una de estas materias primas cuentan con su respectiva ficha técnica elaborada en concordancia con normas nacionales e internacionales.

El control consiste en verificar el cumplimiento de estas fichas técnicas.

cas que contemplan todas las características necesarias mínimas que deben tenerse en cuenta para ser consideradas como un buen producto. Generalmente se controla la composición química, utilizándose métodos de ensayo químico volumétrico é instrumental; granulometría y alguna propiedad física si fuera necesario.

4.3. CONTROL EN EL PROCESO.

4.3.1. CONTROL EN HORNOS ELECTRICOS.- La fabricación del acero en Hornos Eléctricos se efectúa tomando como base la práctica standard de fabricación que se elabora para cada tipo de acero. En estas prácticas standard estan fijados los principales parámetros que deben cumplir.

Para tal efecto se realizan controles de los siguientes tipos:

Peso y composición de la carga metálica y de los fundentes cargados al horno, adiciones al horno durante el proceso, tiempos de operación y soplado de oxígeno; temperaturas de fin de fusión, antes de colar y en la cuchara; toma de muestras para el análisis preliminar, adiciones en la cuchara, peso total del metal obtenido; condiciones de la cuchara donde es vertido el acero.

4.3.2. CONTROL METALURGICO EN NAVE DE COLADA.- En la práctica del lingoteamiento, el molde o lingotera es considerado como un recipiente que extrae calor del acero líquido, provocando así el enfriamiento y solidificación.

La temperatura del acero, el sistema de vaciado (directo en fuente), la velocidad de lingoteamiento, la forma de la lingotera, las características de solidificación y el efecto de la atmósfera influyen sobre la

superficie y estructura del lingote.

La calidad estructural ó interna del lingote dependen principalmente de factores relativamente estables para cada colada, tales como el tipo de acero, la forma y diseño del lingote y lingotera.

La calidad superficial y subcutánea es mas sensible a cambios menores en la práctica del lingoteamiento.

Las causas y los defectos superficiales del lingote dependiendo de la práctica de lingoteamiento pueden resumirse de la siguiente manera:

a) GRIETAS.-

- (1) Grietas Asociadas con irregularidades en la Superficie de la Lingotera.- A medida que la piel del lingote sólido se enfria, ella se contrae. En la etapa inicial de solidificación del lingote la piel es delgada y débil, por esto cualquier discontinuidad física en el conjunto molde-lingote que restrinja la solidificación libre dá origen a tensiones que pueden sobrepasar la resistencia de la piel sólida, provocando el agrietamiento.

Las rebabas causadas por escapes de metal entre la lingotera y la base son origen de grietas en la base del lingote y asociadas con el uso de lingoterías severamente agrietadas pueden dar origen a grietas transversales.

Las irregularidades en la lingotera tales como quemado profundo pueden causar grietas restrictivas en la superficie del lingote.

- (2) Grietas Transversales en las Caras y Esquinas.- Las causas son complejas pero las condiciones de lingoteamiento son las princi

pales, especialmente la velocidad de lingoteamiento y la temperatura.

Las grietas se producen durante el período inicial de la solidificación, cuando la resistencia de la piel aún delgada y semi plástica del lingote es insuficiente para soportar la presión ferrostática ejercida por el acero líquido.

- (3) Grietas Longitudinales en las Caras y Esquinas.- Frecuentemente las grietas longitudinales en las esquinas se deben al mal diseño de la lingotera en combinación con una alta velocidad de lingoteamiento y/o temperatura alta.

Después de unos pocos momentos de vaciado, la piel solidificada se contrae levemente y deja un espacio entre el lingote y la pared de la lingotera.

Mientras tanto se siguen formando y avanzando hacia el interior del lingote las dendritas en dirección normal a la superficie, entremezcladas con material relativamente impuro aún en estado líquido. A medida que avanza el lingoteamiento, la presión ferrostática en la parte inferior es cada vez mayor. Cuando la velocidad de lingoteamiento es muy alta, la presión ferrostática aumenta rápidamente y puede empujar la piel sólida hacia la superficie de la lingotera. El resultado es un clivaje en las dendritas el que se llena inmediatamente con material segregado aún en estado líquido. Este clivaje se presenta en el punto más débil que es donde las dendritas se unen formando un ángulo en las esquinas del lingote. El resultado es una fuerte segregación en las esquinas y en casos extremos, agrietamiento longi -

tudinal de ellas.

Un vaciado más lento y con el metal a menor temperatura permite la formación de una piel más consistente, suficiente para soportar la presión ferrostática.

Las grietas longitudinales en las caras pueden formarse en las etapas iniciales de la solidificación ~~como~~ resultado de tensiones transversales en la piel del lingote a consecuencia del aumento de la presión ferrostática ó de perturbaciones a la libre expansión o contracción de la piel del lingote.

(4) Grietas en la Pared (Panel Crack).- Son originadas por tensiones en los lingotes que son enfriados muy rápidamente y no son visibles cuando el lingote es desmoldeado. Generalmente son profundas y se suelen presentar en los aceros de carbono medio y alto.

b) SOBRECOLIDADO.- Ocurre cuando el ascenso del metal en la lingotera se detiene por completo ya sea por un período corto o más prolongado, debido a problemas con el tapón de la cuchara, estrangulamiento total del chorro por metal frío, cortes accidentales del chorro, fugas, etc.

c) MANCHAS DE ESCORIA, INCLUSIONES SUPERFICIALES O SUBCUTANEAS, ARENA Y SUCIEDAD.- La presencia de partículas no metálicas atrapadas en el lingote se deben a los refractarios de canales, cucharas o a los productos de desoxidación. Se pueden deber también cuando se lingotea en lingoteras sucias.

d) SANGRADO.- Este defecto es producido por la erupción del acero en

el tope de los aceros efervescentes o semicalmados causado por la evolución de gases durante la solidificación de la parte superior.

- e) DEFECTO DE CAJA.- Se produce cuando se tiene un descenso brusco en el tope del acero efervescente causado por una evolución excesiva de gas cuando no se efectúa un adecuado control de la acción de efervescencia por medio de los desoxidantes.
- f) SOPLADURAS SUPERFICIALES.- Las sopladuras (BLOW HOLES) en la superficie del lingote están asociadas con humedad en las paredes de la lingotera ó atrapamiento de humedad o elementos de recubrimiento volátiles en la superficie agrietada de la lingotera.
- g) PLIEGUES DE VACIADO.- Se producen con velocidades y temperaturas bajas de lingoteamiento. Se evitan controlando apropiadamente la velocidad y temperatura de lingoteamiento ó con el empleo de materiales de recubrimiento en las paredes de la lingotera.
- h) DOBLE PIEL.- Son discontinuidades en la superficie de los lingotes y se pueden presentar en la parte superior ó media cuando el acero líquido incide sobre las paredes de la lingotera ó en la parte inferior cuando el acero baña la superficie después de golpear en la placa base.

Se presentan como costras en la superficie del lingote.
- i) PIEL DE COCODRILO.- Es debido a los defectos en las paredes de las lingoteras viejas que han sido quemadas por el uso.

4.3.3. CONTROL METALURGICO EN LAMINACION.- En la laminación se consideran como factores importantes

los controles metalúrgicos que se efectúan en la etapa previa de la laminación propiamente dicha, es decir, la etapa de calentamiento a la temperatura de forja del acero, ya sea de lingotes o de planchones.

En el calentamiento de los lingotes que se realiza en los hornos de foso y el calentamiento de los planchones en el horno de planchones, es importante el control de temperatura del horno, temperatura, consumo y presión del petróleo, presión del horno, exceso en oxígeno, velocidad de calentamiento, tiempo de igualización.

Estando el lingote o planchón a la temperatura adecuada se procede a su laminación, donde se controlan el porcentaje de reducción y la temperatura de acabado. Otros factores son propiamente mecánicas.

En esta etapa pueden originarse defectos que en su mayor parte provienen de los defectos del lingote, así tenemos por ejemplo:

Bolsa.- Defecto remanente del rechupe que no ha sido eliminado correctamente en corte de cizalla.

Grietas.- Defectos que provienen de grietas de lingotes y que se abrirán más en la laminación.

Escamas.- Defecto originado por la presencia de doble piel del lingote.

Aristas Quebradas.- Cuando el material esponjoso (irregularidad de superficie debido a burbujas superficiales oxidadas) el alargamiento sufrido por el material provoca rompimiento de esas aristas.

Exfoliación.- Defecto debido a las rebabas de la parte superior del lingote - Toma la apariencia de una grieta.

Oxido Laminado.- Producido por costras oxidadas no removidas, que se incrustan en la chapa en el momento de la laminación.

Marca de Guía.- Defecto causado por las guías mal alineadas. Consta de trazos o surcos rectos en sentido de la compresión de la placa.

Roturas por Laminación.- Defecto ocasionado por fuertes reducciones en la laminación. Frecuentemente ocurre en aceros de alto contenido de carbono.

Rabo de Pez.- Cuando el lingote ha tenido una gran segregación y como tal la parte exterior es más plástica desliziándose libremente.

Retorcido.- Torsión que sufre una sección transversal pequeña en la laminación por el deslizamiento de los cilindros, calentamiento no homogéneo o desajustes de las guardas de los laminadores.

4.4. INSPECCION EN EL PRODUCTO FINAL.

Una vez obtenido el producto final en laminación en caliente, en nuestro caso Planchas Gruesas de Acero Estructural al Carbono, se somete a rigurosos controles de inspección que permitirán dar la conformidad del producto de acuerdo a Normas y Especificaciones que estan contempladas en el Catálogo General de Productos de SIDERPERU o en casos especiales de acuerdo a Normas Internacionales cuando la calidad del producto así lo justifique y sea solicitado por el Cliente.

4.4.1. CONTROL DIMENSIONAL Y DE SUPERFICIE.- Las dimensiones del producto, espesor, ancho, largo, tienen sus respectivas tolerancias que deben cumplir.

Personal idóneo en la Planta se encarga de verificar estas dimensiones

con la ayuda de instrumentos precisos de medición, tales como micrómetros, winchas, pie de rey, etc. Material que no cumple con las especificaciones es rechazado como de primera calidad.

Aparte de las tres dimensiones principales existen otras que también se toman en cuenta, tal es el caso del aplanado, camber, ondulado, etc.

En el aspecto superficial se realiza un control visual para detectar posibles defectos superficiales que puedan afectar el uso posterior del material.

En los productos de laminación en caliente son de cuidado los siguientes defectos que constituyen los más comunes y que dan origen a material de segunda calidad o chatarra en el peor de los casos.

Camperd.- Debido a la variación brusca de espesores dando origen a alargamientos diferentes en los contornos de la lámina ocasionando ondulaciones. Esto ocurre por desajuste de uno de los tornillos de presión; una corona exagerada del cilindro; un defecto local de refrigeración en los cilindros.

- Ondulado.- La reducción central es mayor que los laterales, resultando un perfil transversal en forma de doble elevación. Esto produce ondulado central.

Oxido Laminado.- Descrito anteriormente.

Marca de Cilindro.- Defecto en la superficie del cilindro que es transmitido a la lámina por contacto, tiene formas variables e intensidades variables. Si el defecto es pronunciado se debe cambiar los cilindros.

Fuera de Espesor.- Especialmente en las extremidades, debido princi-

palmente al enfriamiento del material en estas zonas; poniéndose mas duras y más resistentes a ser reducido en la laminación, tambien puede ser causa de operación.

Fuera de Ancho.- Debido a una excesiva reducción y falta de alineación en el laminador.

Rechupe, Rechupe secundario, burbujas.- Si están en contacto con el aire, el óxido formado evita la soldadura en la laminación.

Defectos Superficiales.- Bandeamiento, arañones, cavidades de costras oxidadas, trozos, exfoliaciones, etc.

4.4.2. CONTROL DE LAS PROPIEDADES MECANICAS.- En los aceros estructurales es de primordial importancia el conocimiento de las propiedades mecánicas, es decir, el comportamiento de estos aceros a la acción de cargas o fuerzas cortantes. Para cada estructura particular que se va a construir, se toma como base para el diseño unas propiedades mínimas que tienen que cumplir y estar en cuadradas dentro de Norma.

Como propiedades mecánicas básicas que se controlan tenemos la carga de rotura (CR), el límite elástico (LE) y el porcentaje de alargamiento (% A) que son extraídos del ensayo de tracción. Además; su aptitud al doblado obtenido por medio del ensayo de doblado y la resiliencia obtenido por medio del ensayo de impacto.

El control de las propiedades mecánicas lo efectúa el Laboratorio de Ensayos Físicos de Hierro y de Acero, para ello cuenta con los siguientes equipos y máquinas:

Máquinas diversas para preparación de muestras.

Máquina de tracción tipo Universal de 100, 50, 10 Tons. AMSLER.

Una máquina de tracción Universal de 40, 20, 8, 4, 2, Tons. AMSLER.

- Una máquina de tracción tipo Universal de 60, 30, 12, 6, Tons. MALICET ET BLIND.

Una máquina de ensayo de impacto CHARPY (con cámara de ensayo a baja temperatura).

a) ENSAYO DE TRACCION.- El ensayo de tracción es uno de los principales ensayos mecánicos para conocer la calidad de los metales y aleaciones.

Las máquinas utilizadas en la actualidad son hidráulicas y el principio de su fundamento es general:

Una máquina con sujetadores, mordazas y pistones.

Un sistema dinamo métrica compuesto con bomba de aceite movido por un motor eléctrico registrado su presión é indirectamente la carga en kilogramos, éste aceite llega al pistón de la máquina que a su vez mueve las mordazas.

Un manómetro que por equivalencia marca la carga.

Un sistema de registro de las resistencias y alcanzamiento graficados mediante curvas. Las probetas que serán sometidas al ensayo son precisamente preparadas o mecanizadas.

Para conseguir las dimensiones especificadas en las normas; finalmente se efectúan un número limitado de marcas en la región donde se medirá posteriormente el porcentaje de alargamiento.

Para poder visualizar los valores más importantes a evaluarse en un ensayo de tracción que son:

Resistencia a la tracción.

Límite de fluencia.

Límite de proporcionalidad.

Alargamiento y estricción.

ANÁLISIS DE LA CURVA DE TRACCIÓN.- Durante el ensayo se generan dos zonas perfectamente diferenciales, esas son:

ZONA ELÁSTICA: En esta se producen alargamientos muy pequeños y son proporcionales a las tensiones, es decir la curva es una recta, por tanto no existe deformaciones permanente y la probeta recupera su longitud inicial cuando pasa el esfuerzo que lo produjo, en la figura zona OE.

ZONA PLÁSTICA: Caracterizada por la presencia de alargamientos permanentes por lo tanto deformaciones permanentes en donde el incremento en la longitud permanece después de quitar el esfuerzo que lo produjo, zona ESS de la figura. También es importante mencionar que en esta zona se produce dos clases de alargamientos permanentes, uno de alargamientos repartidos, es decir que todo el alargamiento se reparte en toda la longitud de la probeta y la de alargamientos localizados, zona SC, en solamente una región de la probeta llamado cuello o garganta, en donde finalmente la probeta llega a romper.

PRINCIPALES COEFICIENTES QUE SE DETERMINAN EN UN ENSAYO DE TRACCIÓN.-

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN: Es la carga máxima por unidad de sección que resiste la probeta antes de romperse. Se determina dividiendo la carga máxima en kilogramos entre la sección original expresada en milímetros cuadrados (kg/mm^2).

LIMITE DE ELASTICIDAD TEORICO: Es la carga mayor que se alcanza por unidad de sección (Kg/mm^2) que el cesar de actuar no produce deformaciones permanentes en la probeta.

LIMITE DE FLUENCIA: Es también carga por unidad de sección en (Kg/mm^2), a partir de la cual en el ensayo de tracción crece rápidamente el alargamiento sin apreciarse un aumento sensible de la carga, (en el manómetro de una máquina de ensayo es visible por una parada o retroceso de la aguja).

- LIMITE DE ELASTICIDAD CONVENCIONAL O PRACTICO.- Es la carga por unidad de la sección para la cual las deformaciones en la probeta son superiores a ciertos valores prefijados. Para estudios cuidadosos empleando extensómetros de espejos, éste valor es 0.02 % de la longitud calibrada; en la industria con extensómetros mecánicos se considera el 0.2 % (o sea 0.2 mm. en probetas de 100 mm.).

LIMITE DE PROPORCIONALIDAD: Carga máxima por unidad de sección; Kg/mm^2 , para la cual las cargas son proporcionales a los alargamientos, en la práctica se toma como valor límite de proporcionalidad la carga que durante el ensayo produce una deformación superior a 0.01 % a la que corresponde la Ley de Hooke.

MODULO DE YOUNG Ó MODULO DE ELASTICIDAD: Es el valor resultante de la tensión unitaria entre el valor del alargamiento producido con respecto a la longitud inicial:

$$E = \frac{Q_i / S_o}{l/l_o}$$

Q_i = Carga instantánea.
 S_o = Sección Original.
 Δl = Incremento de Longitud.
 l_o = Longitud original.

En la práctica puede determinarse de acuerdo a los valores obtenidos en el gráfico de la zona elástica o encontrando la tangente de esta recta.

En los aceros este valor es aproximadamente $20,000 \pm 10 \% \text{ Kg/mm}^2$ independiente de la composición o la estructura.

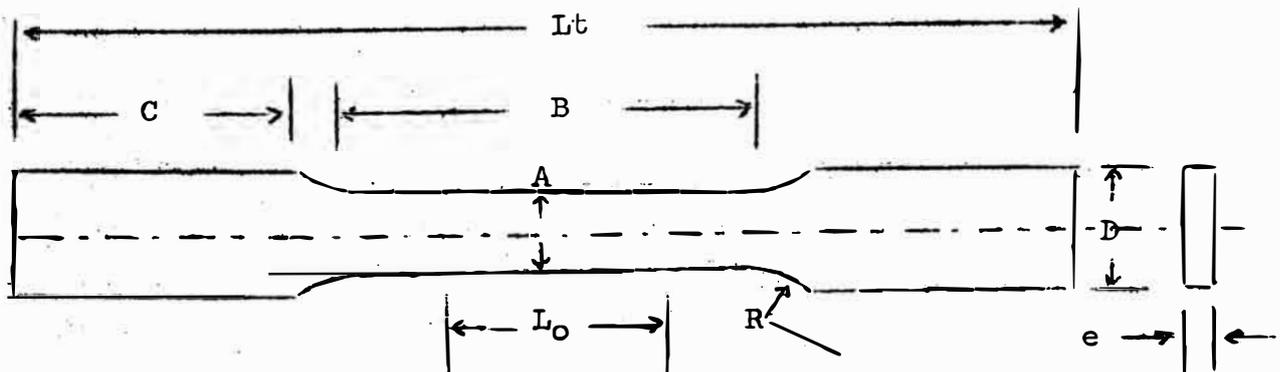
- PORCENTAJE DE ALARGAMIENTO: El incremento de longitud que ha sufrido la probeta durante el ensayo hasta romperse, expresando porcentualmente:

$$\% A = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100 \quad \begin{array}{l} L_f = \text{Longitud Final.} \\ L_o = \text{Longitud inicial.} \end{array}$$

PORCENTAJE DE ESTRICCIÓN: Es la reducción de sección que experimenta la probeta en la zona de rotura expresada porcentualmente:

$$\% S = \frac{S_o - S_f}{S_o} \times 100 \quad \begin{array}{l} \% S = \text{Porcentaje de Estricción.} \\ S_o = \text{Sección Inicial.} \\ S_f = \text{Sección Final.} \end{array}$$

PROBETA STANDARD PARA EL ENSAYO DE TRACCION.



DIMENSIONES (mm).

N O M B R E.	P R O B E T A N° 1.	P R O B E T A N° 2.
L ₀ .- Distancia entre marcas	200 ± 0.25	50.0 ± 0.10
A .- Ancho en la Sección Reducida.	40 + 3 - 6	12.5 ± 0.25
e .- Espesor.	Espesor del Material.	Espesor del Material.
R .- Radio de Curvatura mín.	13	13
l _t .- Longitud total de la probeta, mín.	450	200
B .- Long. de la sección reducida, mín.	225	60
C .- Long. de la sección no reducida, mín.	75	50
D .- Ancho de la sección no reducida.	50	20

La probeta de 50 mm. se emplea para ensayar planchas desde 0.13 hasta 15.87 mm. y las de 200 mm. se utilizan para planchas gruesas mayores de 4.76 mm.

b) ENSAYO DE IMPACTO O RESILIENCIA. El ensayo consistente en romper una probeta preparada previamente de acuerdo a medidas exactas normalizadas utilizando máquinas adecuadas y de un solo golpe. Los métodos más utilizados son la de Charpy é Izod. Se entiende por resiliencia de energía consumida al romper la probeta tabulada en Kg/cm² ó libras por pulgada cuadrada, considerando la sección la correspondiente a la probeta en el lugar donde se halla la entalla, maquinada anticipadamente.

El principio fundamental que determina el ensayo de impacto es la de aprovechar el cambio de energía potencial a energía cinética y la ab-

sorción, entre este cambio, de cierta cantidad de energía por la probeta al momento de la rotura.

En estas máquinas, se tiene un determinado peso P suspendido mediante un sistema de seguro y a una cierta altura h (energía potencial), éste peso al caer con una velocidad dada (energía cinética) produce un trabajo $P \times h$ Kgs., en éste instante al romperse la probeta absorbe una parte de la energía generada y cuyo valor es:

$$A + P (h - h') \text{ Kgs.}, h' \text{ es la altura final despues de la rotura.}$$

El cálculo de la resiliencia se halla dividiendo la energía absorbida en el ensayo por la sección de la probeta en la zona de la rotura

$\psi = A/S \text{ Kg/cm}^2$. en algunos casos cuando los datos no son tabulados se puede considerar solamente ψ Kgs. puesto que la sección se considera constante.

Los ensayos normales se recomienda a $20^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ las diferencias a temperaturas bajas acusan mayor cambio en los valores obtenidos.

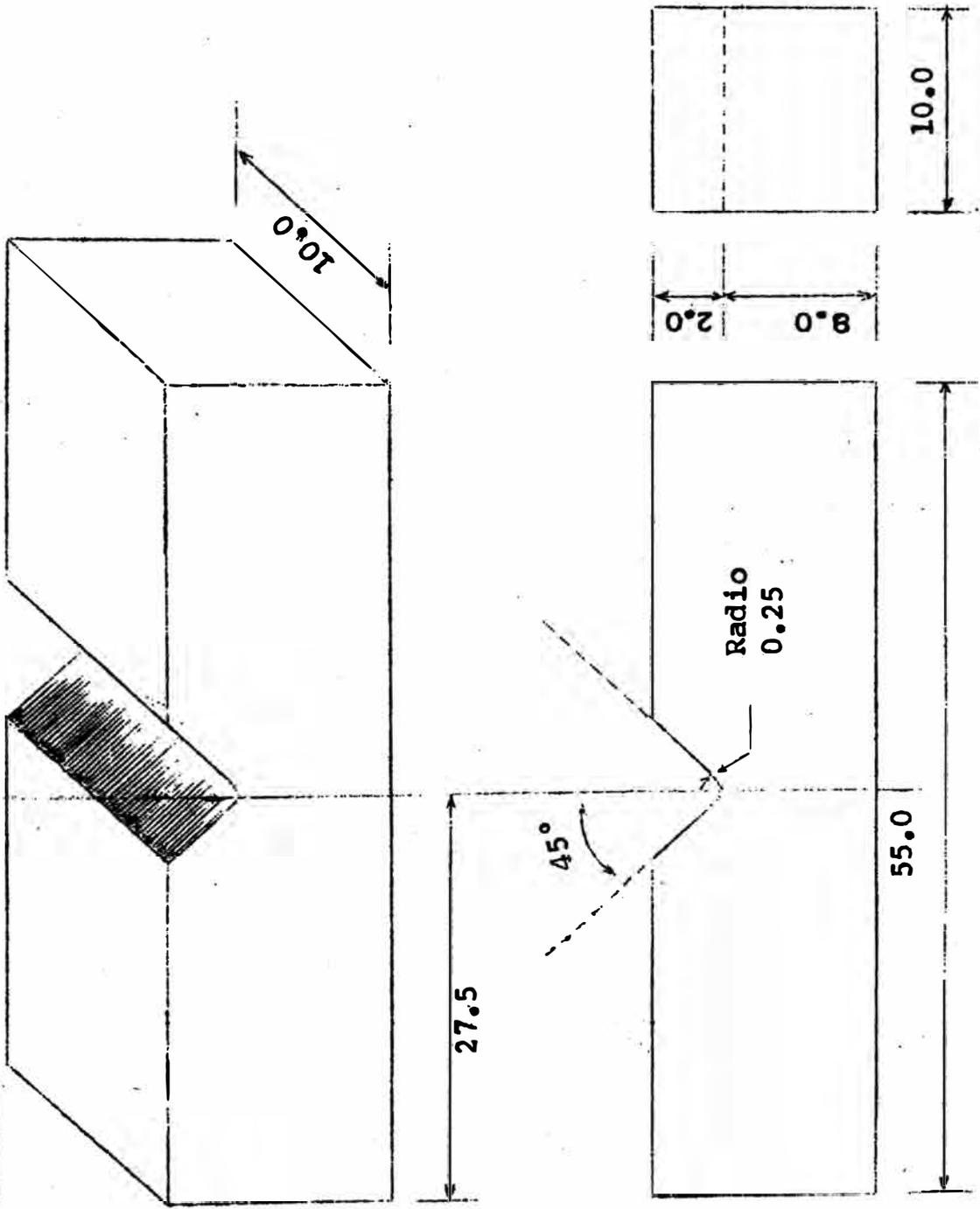
Los valores con probetas sacadas en sentido transversal son muy inferiores a los de sentido longitudinal, la relación promedia entre estos valores es aproximadamente $1/2$ y hasta $1/3$ en piezas moldeadas o forjadas.

Se pueden utilizar diversos tipos de probetas, entre ellas la más importante Charpy de $55 \times 10 \times 10$ y cuya entalladura tiene 2 mm. de profundidad y un ángulo de 45° redondeada con radio de 0.25 mm.

Existen dos péndulos utilizados en los ensayos de impacto; el péndulo Charpy y el péndulo Izod.

FIG. 4.2 PROBETA PARA ENSAYO DE RESILIENCIA

DIMENSIONES : en mm.



El péndulo Charpy, de dos montantes unidas por una base sólida y en su parte superior a un eje horizontal alrededor del cual gira un brazo montado sobre cojinetes de bolas, en su extremo una masa en forma de disco con una arista afilada y ángulo de 30° que termina redondeado con radio de 1 mm.

En la parte inferior de montantes se tiene dos apoyos que distan entre si 40 mm. sobre los que se apoya la probeta.

El péndulo Izod es semejante a la Charpy, en diferencia radica en la forma del disco o martillo con que se rompe la probeta, es un martillo de 25.3 Kgs. (60 lbs.) que desarrolla una energía de 16.6 Kgs. (120 ft. lbs). cuando cae desde 0.61 mts. (2 pies).

Tiene dos tipos de probeta una de sección cuadrada de 10 x 10 x 130 mm. de longitud con tres entallas a distancia de 28 mm. con ángulos de 45° y 2 mm. de profundidad con fondo redondeado con radio de 0.25 mm. cada entalla está en caras opuestas y el resultado es el promedio de tres ensayos por probeta. Otra forma de probeta es la circular con 11.5 mm. \varnothing que también tiene tres entalladuras situadas a 120° .

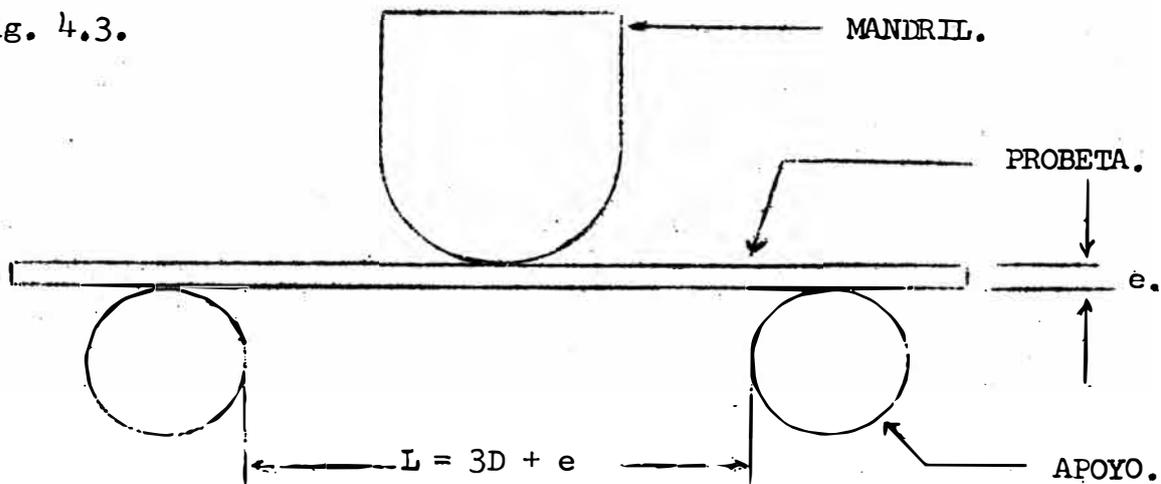
- c) ENSAYO DE DOBLADO.- El principio fundamental de este ensayo es para conseguir una idea sobre el comportamiento de los materiales al ser sometidos a esfuerzos de flexión.

En ensayo en sí consiste en colocar una probeta sobre dos apoyos distanciados convenientemente de acuerdo a Normas establecidas, luego se aplica hacia el centro de la probeta una fuerza que actúa progresivamente hasta conseguir que la probeta se doble completamente o se inicia la formación de grietas en la superficie de la probeta, en

ese momento se anota la carga que actúa y el ángulo de doblado que forman las dos partes de la probeta.

Uno de los parámetros es casi constante, la distancia entre apoyos que depende del diámetro o ancho del mandril que puede ser redondo, cuadrado o rectangulares y el espesor de la probeta, éste valor es $3 D + e$.

Fig. 4.3.



La calificación resultante de la observación de la superficie que en el doblado ha sufrido los mayores alargamientos es muy interesante observar porque permite descubrir en ocasiones, grietas, pliegues, estrías y también la presencia de inclusiones u otros defectos superficiales.

4.4.3. CONTROL DE LA COMPOSICION QUIMICA.- En el Capítulo (I) vimos ya como influyen los elementos presentes en el acero, de allí la necesidad de efectuar un buen control en el producto final así como en cada una de las etapas del proceso en que sea necesario. El encargado de efectuar estos controles es el Departamento de Laboratorio (que pertenece a Control de Calidad) para lo cual cuenta con equipos de los más avanzados para efectuar estos análisis y poder determinar con exactitud los porcentajes en que se encuentran presentes en el acero.

A continuación se enumeran los equipos principales:

- 3 analizadores LECO de Carbón WR-12.
- 1 analizador LECO de azufre WR-12.
- 1 analizador LECO de azufre 532-000.
- 1 cromatógrafo y/o analizador de gases (CO, CO₂, O₂, CH₄, H₂, etc.).
- 1 espectrómetro de absorción atómica Perkin Elmer-403.
- 1 espectrómetro de emisión al vacío ESPECTROVAC II.
- 1 colorímetro SPECTRONIC 20.
- 1 analizador electrolítico (Cu, Pb).

4.4.4. CONTROL DE LA MICROESTRUCTURA.- Por medio de la Metalografía, nosotros podemos estudiar básicamente el acero desde el punto de vista de su estructura interna con la finalidad de relacionarla con las propiedades físicas, composición química, proceso de fabricación, etc. de modo de poder dar conformidad y preveer su comportamiento en una determinada aplicación.

El análisis metalográfico se realiza sobre secciones del material pulidas y atacadas con reactivos adecuados.

Mediante éste análisis se puede observar la granulación del material, la naturaleza, cantidad, distribución y forma de los diversos constituyentes del acero, ciertas inclusiones, etc. que en conjunto conducen a una serie de conclusiones de utilidad práctica, así como correctivas en el proceso mismo de fabricación.

El Laboratorio de Metalografía cuenta con el siguiente equipo:

Equipo completo para la preparación de muestras BUEHLER.

- Un Epimi-microscopio con cámara "NEOPHOTZ" con objetivos planapocro-

máticos.

Un microscopio óptico Nacet TM.

Una cámara LEICAFLEY y accesorios.

A continuación se efectúa una descripción breve de los constituyentes que podemos encontrar en un acero estructural al carbono.

CONSTITUYENTES MAS COMUNES DE LOS ACEROS.-

FERRITA: Es una solución sólida de carbono en hierro alfa que se origina en la zona crítica durante el enfriamiento por transformación alotrópica del hierro gamma. Es la forma estable a temperatura ambiente.

Puede en este estado, mantener en solución sólida pequeñas cantidades de impurezas (Si, P, Mn, etc.). Después de atacada por un reactivo adecuado, con finos contornos negros. Su peso específico es 7,876

Relativamente a los otros constituyentes, la ferrita es poco dura (dureza brinell = 80) y peso resistente (3400 Kg/cm² a la tracción). Además de eso la ferrita es muy dúctil y fuertemente atraída por el imán. Esta última propiedad no se manifiesta en el hierro gamma.

CEMENTITA: Es el nombre dado al carburo de hierro Fe₃C, conteniendo 6.68 % de carbono. Es de gran dureza y muy quebradizo. De los constituyentes que se presentan en el acero es el más duro, llegando a rayar al vidrio. Su peso específico es 7.8, y por más enérgico que sea el ataque micrográfico, cada área de cementita se presenta como una sola masa y no muestra subdivisión de granos, como se nota, en la ferrita.

El ataque con picrato de sodio en ebullición le dá una coloración oscura a la cementita; este ataque permite distinguirla de la ferrita en caso de duda.

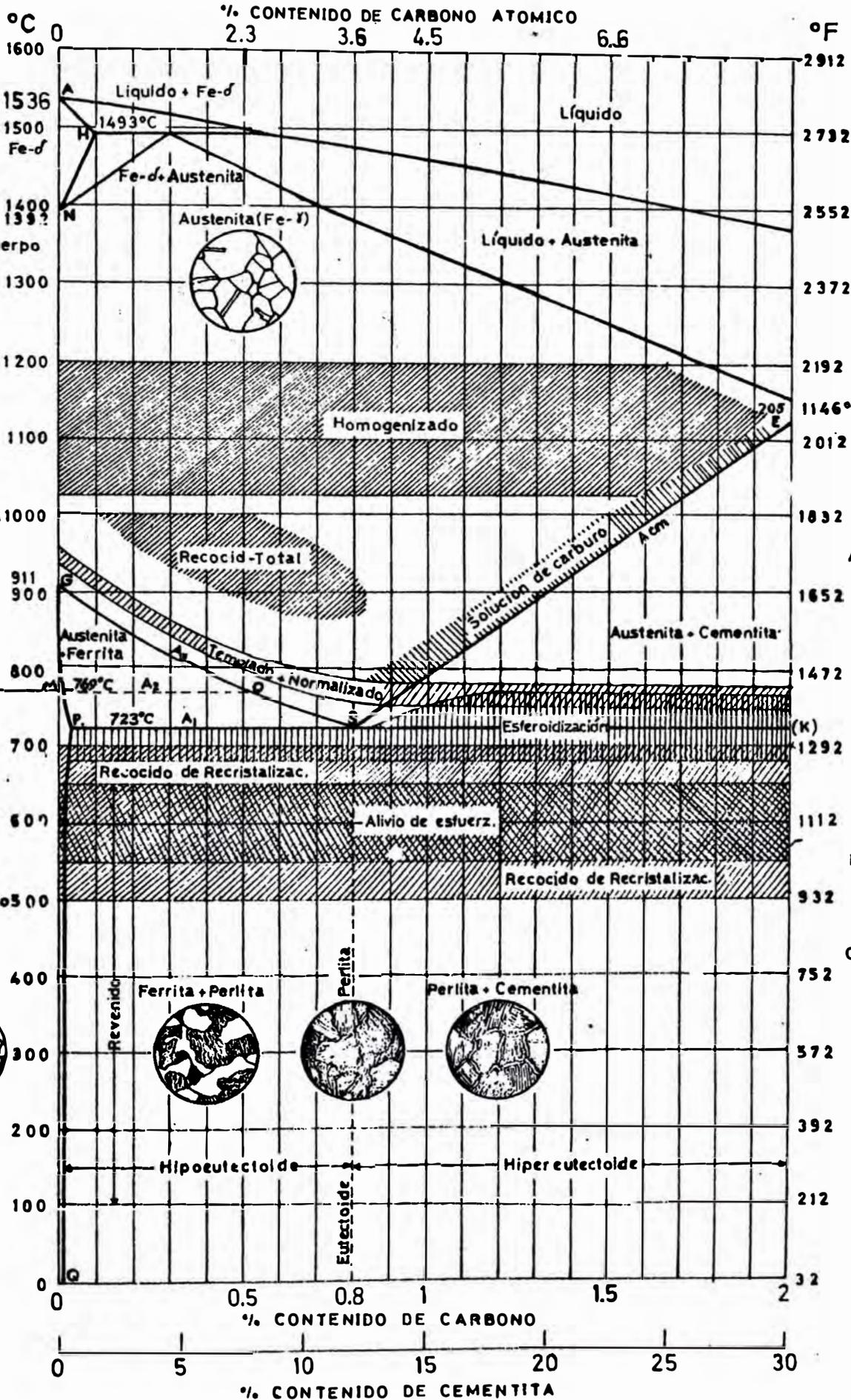
PERLITA: Es un constituyente micrográfico formado por finas lamelas yuxtapuestas de ferrita y de cementita, se presenta bajo 723°C en las aleaciones hierro-carbono. El espesor de las lamelas es, en general, del orden de algunas décimas de micrón y habitualmente solo son apreciables con una magnificación superior a 200 X. Las lamelas son mas o menos paralelas pudiendo ser planas, curvas, ondeadas, etc., y la separación entre ellas tal como es vista en el corte, depende entre otros factores, de la velocidad de enfriamiento y del ángulo según el cual el grano de perlita es seccionado.

Como la perlita es formada de lamelas blandas de ferrita y otras duras de cementita, su dureza es intermedia entre las dos. La proporción de cementita que interviene en la perlita es aproximadamente de 1 por 6 de ferrita.

La perlita cuando es atacada por un reactivo micrográfico común toma una coloración más o menos oscura. Bajo pequeños aumentos se presentan como granos negros.

En los aceros de bajo carbono la perlita se localiza en general en los bordes de grano de la ferrita y en un poco por abajo de 0.8 % de carbono, los granos de perlita son envueltos o casi envueltos por una red de ferrita; aspecto análogo a este último se observa en los aceros hipereutectoides en que esa red es de cementita. En determinadas condiciones la perlita se puede presentar bajo otras formas, con nombres especiales.

DIAGRAMA DE EQUILIBRIO Fe - C

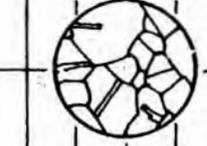


COLORES DE RECOCIDO

- 2372 Blanco amarillento
- 2192 Amarillo claro
- 2012 Amarillo
- 1832 Naranja
- Amarillo rojizo
- 1652 Rojo claro
- 1472 Rojo cereza claro
- Rojo cereza
- Rojo cereza oscuro
- 1292 Rojo oscuro
- Rojo pardo
- 1112 Marrón oscuro
- 932

COLORES DE REVENIDO

- Gris
- Gris azulado
- Azul claro
- Azul oscuro
- Violeta
- Rojo
- Pardo amarillento
- Amarillo pálido
- 392
- 372
- 752



CAPITULO V

=====

CARACTERISTICAS ACTUALES DEL PRODUCTO

5.1. INTRODUCCION.

En este Capítulo se presentan las principales características reales que en la práctica se vienen obteniendo en los aceros estructurales al carbono en SIDERPERU, Calidades 16C-E21, 16D-EC24 y 19B-ES24.

Para evaluar estas características: Composición química, propiedades mecánicas, microestructura, etc. se han seleccionado datos que en las calidades 16C y 19B corresponden a campañas desarrolladas en el transcurso de los años 1975 y 1976. En el caso de la calidad 16D se han considerado datos desde el inicio de su fabricación, aproximadamente en el mes de Mayo del año 1975.

Para el tratamiento de los valores de composición química y propiedades mecánicas se ha efectuado una subdivisión en grupos de acuerdo a rangos de espesores según como se indica a continuación:

GRUPO	RANGO DE ESPESORES
I	$e \leq 12.5$
II	$12.5 < e \leq 22$
III	$22 < e \leq 50$

En la calidad 16C solamente se cuenta con los dos primeros grupos por carecer de datos en espesores mayores.

La razón de esta subdivisión por grupos obedece a que la optimización que

se plantea posteriormente está basada en este principio, siendo por esta razón necesario el análisis de los datos bajo este punto de vista.

La información se resume en forma gráfica con el empleo de histogramas de frecuencia relativa, es decir, llevado a porcentajes para obtener una comparación más real sin considerar la variabilidad en el número de datos por cada grupo y por calidades.

5.2. CARACTERISTICAS QUIMICAS.

En los aceros estructurales al carbono que nos ocupan, en su fabricación en Acería se controlan con el análisis final de cuchara básicamente los siguientes elementos químicos: Carbono, Manganeso, Silicio, Azufre y Fósforo. De estos, el Carbono y Manganeso son los que mayor influencia tienen sobre las propiedades mecánicas del producto final.

El Silicio influye en menor grado pero constituye un indicador del método de desoxidación empleado en la fabricación del acero: Efervescente, Semicalmado ó Calmado.

El Azufre y el Fósforo son controlados como elementos perjudiciales en el acero, por lo que tienen valores máximos permitidos que no deben sobrepasar por la fragilidad que le confieren al acero. Sin embargo, consideramos que estos dos elementos se encuentran bajo control en el proceso de fabricación ya que muy raras veces salen valores fuera de los límites especificados.

Por esta razón tomamos en cuenta en el resumen de información solamente los elementos Carbono, Manganeso y Silicio.

Se vió por conveniente hacer la división de los datos por grupos de espesores con la finalidad de analizarlos conjuntamente con grupos similares

en las propiedades mecánicas.

Los gráficos del N° 5.1 al N° 5.3 muestran los histogramas de frecuencia relativa en que son resumidos los datos de composición química para los elementos Carbono, Manganeso y Silicio. Se presentan por calidades y por grupos.

Analizados los gráficos de frecuencia se puede afirmar que los elementos químicos considerados se encuentran dentro de los márgenes aceptables de las especificaciones para el análisis de cuchara, siguiendo una curva de distribución normal y con valor promedio aproximadamente en la parte central. No se observa mayor diferencia entre los grupos de cada una de las calidades por cuanto se viene utilizando una misma composición química para todo el rango de espesores de las planchas en que éstas son fabricadas.

Mas adelante, en los cuadros resumen se incluyen los elementos químicos Carbono, Manganeso y Silicio cuyos valores han sido tratados estadísticamente para obtener los promedios y sus respectivas desviaciones standard.

5.3. PROPIEDADES MECANICAS.

Un acero estructural se define básicamente por sus propiedades mecánicas más importantes que son su límite elástico, carga de rotura y el porcentaje de alargamiento, cuyos valores son obtenidos del ensayo de tracción. La aptitud al doblado es tambien un índice de la trabajabilidad de estos aceros y en el caso específico de la calidad estructural 16D se efectúa además el ensayo de impacto de donde se obtienen los valores de resiliencia que están en concordancia con la Norma específica de este material y que tambien son incluidos como referencia.

Al igual que con la composición química, las propiedades mecánicas de límite de fluencia, carga de rotura y porcentaje de alargamiento, se presentan en forma gráfica con histogramas de frecuencia relativa para cada calidad y para cada grupo de espesores.

Analizados los gráficos de frecuencia se nota que estos, en la mayoría de los casos, siguen una curva de distribución normal. Sin embargo, dentro de cada calidad, se observa claramente la diferencia por cada grupo de espesores donde a mayor espesor las propiedades de resistencia disminuyen y el alargamiento aumenta, y a menor espesor sucede lo contrario. A pesar de esto, las propiedades en conjunto se encuentran sobre los límites mínimos especificados para cada calidad.

Con respecto a los valores de resiliencia, estos cumplen largamente con lo especificado en la Norma.

Los gráficos del N° 5.4 al N° 5.14 muestran los histogramas de frecuencia para las propiedades mecánicas de límite elástico, carga de rotura y porcentaje de alargamiento para cada calidad y para cada grupo.

El gráfico N° 5.15 presenta el histograma de frecuencia para los valores de resiliencia obtenidos de los ensayos de impacto efectuados a la calidad 16D-EC24 en espesores mayores de 24 mm. según lo indica la Norma correspondiente.

En los cuadros resumen al final del presente capítulo, también se incluyen los valores de límite elástico, carga de rotura y porcentaje de alargamiento, tratados estadísticamente para obtener los valores promedio y sus respectivas desviaciones standard.

FIG. 5.1

**GRAFICOS DE FRECUENCIA
COMPOSICION QUIMICA - CALIDAD 16C - GENERAL**

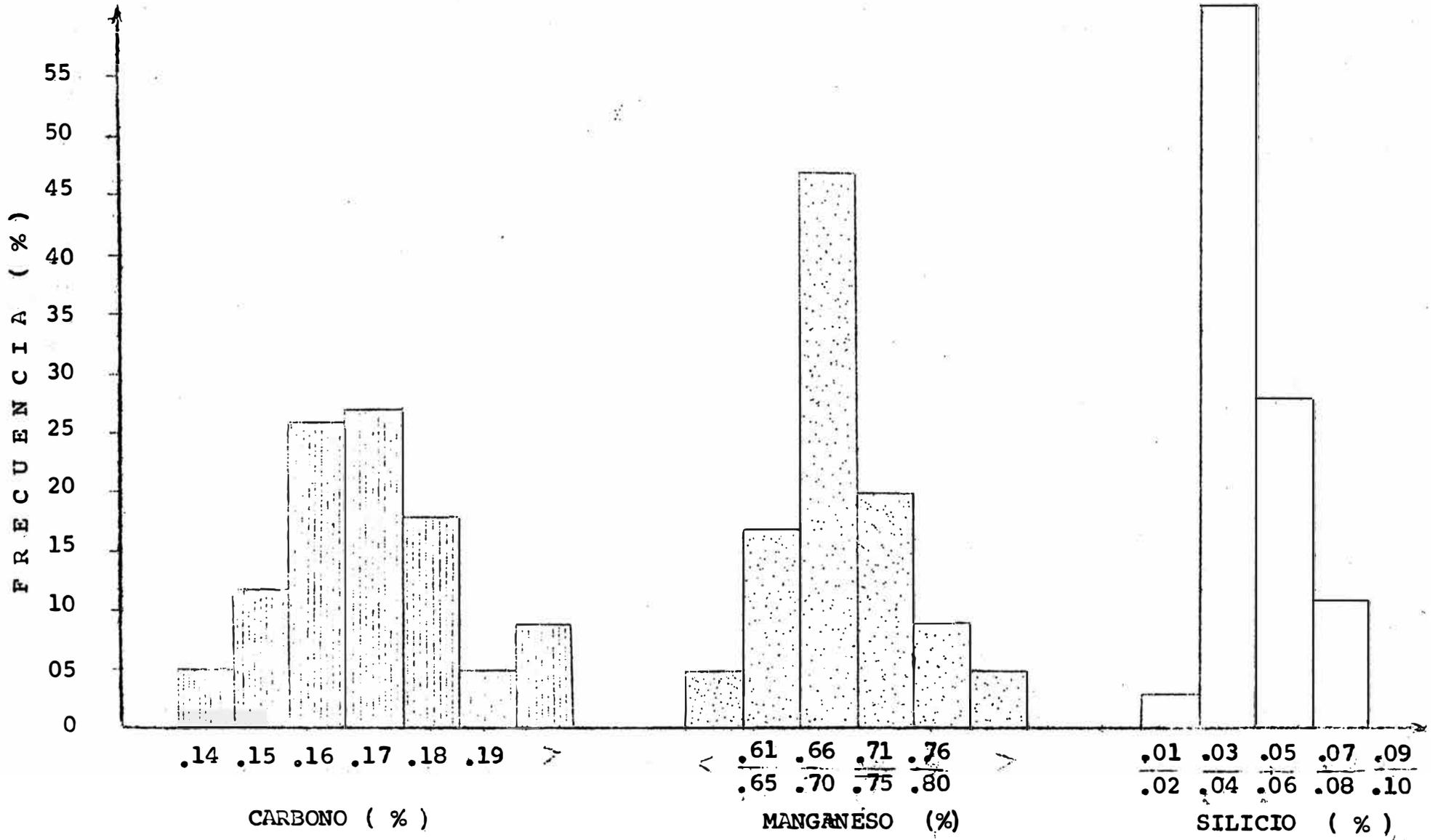


FIG. 5.2 -

**GRAFICOS DE FRECUENCIA
COMPOSICION QUIMICA - CALIDAD 16D - GENERAL**

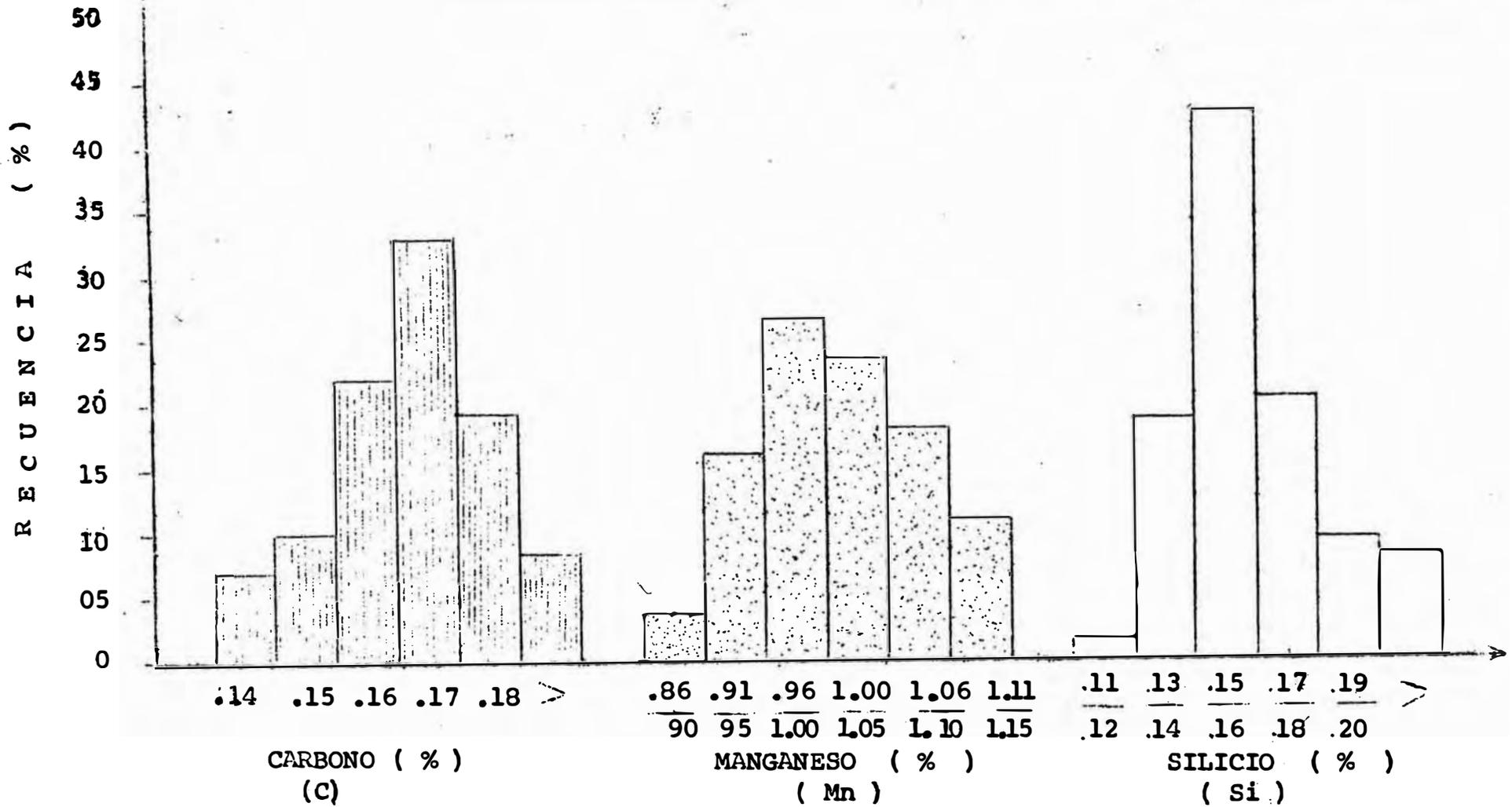


FIG. 5.3

GRAFICOS DE FRECUENCIA
COMPOSICION QUIMICA: CALIDAD 19B - GENERAL

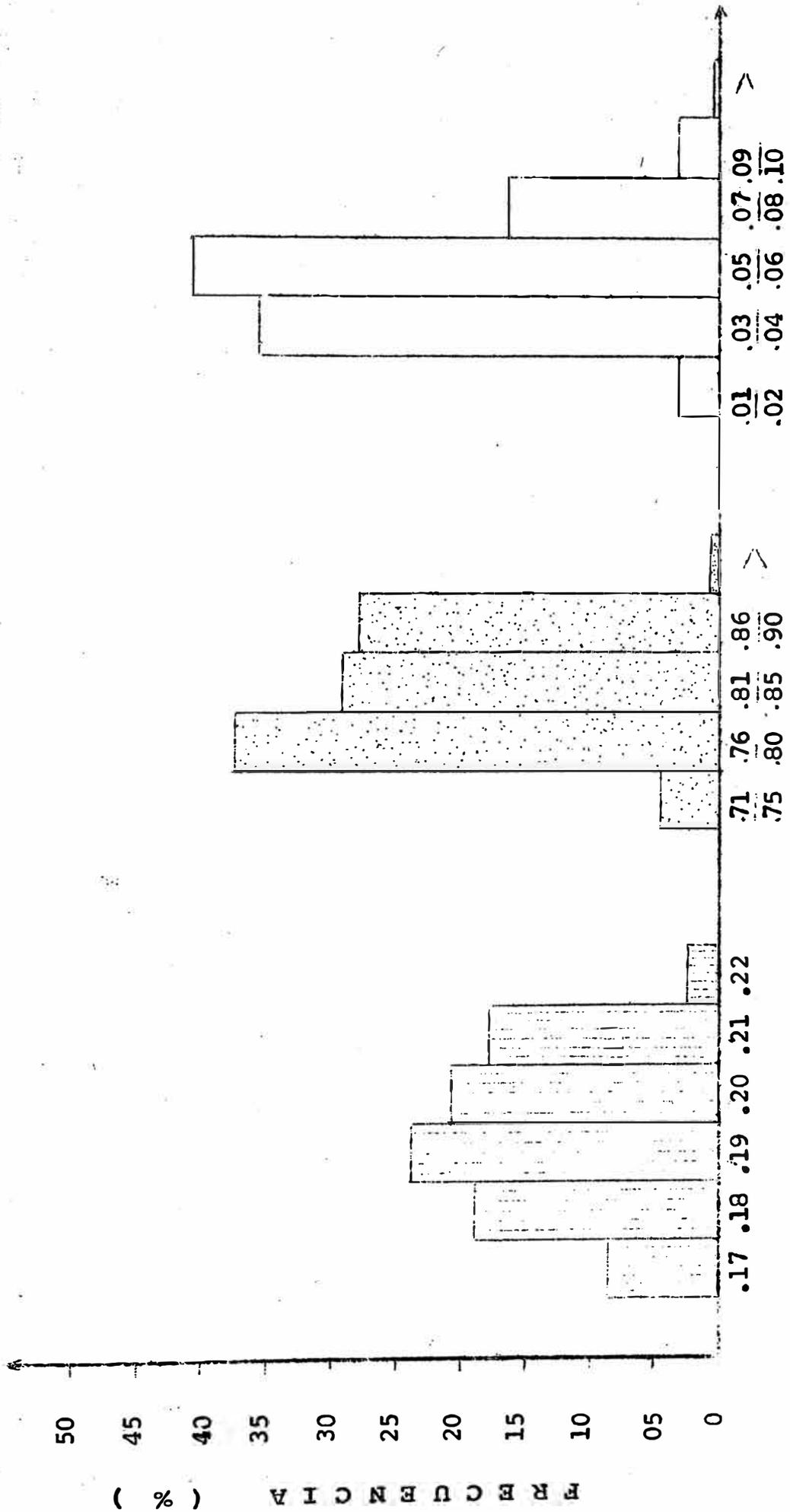


FIG. 5.4

GRAFICOS DE FRECUENCIA

PROPIEDADES MECANICAS - CALIDAD 16C - GRUPO I

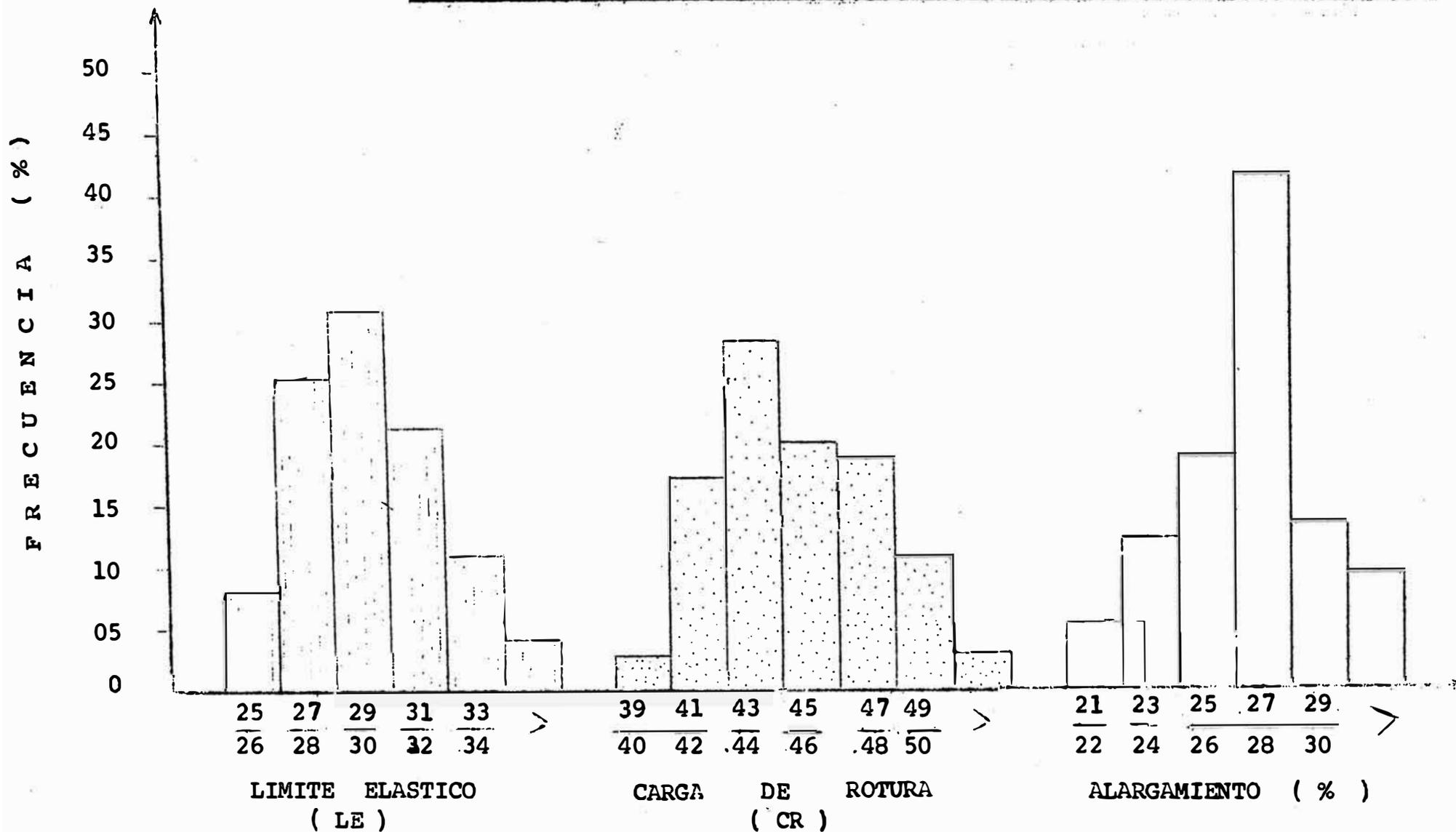


FIG. 5.5 -

GRAFICO DE FRECUENCIA
 PROPIEDADES MECANICAS - CALIDAD 16C -
 GRUPO II

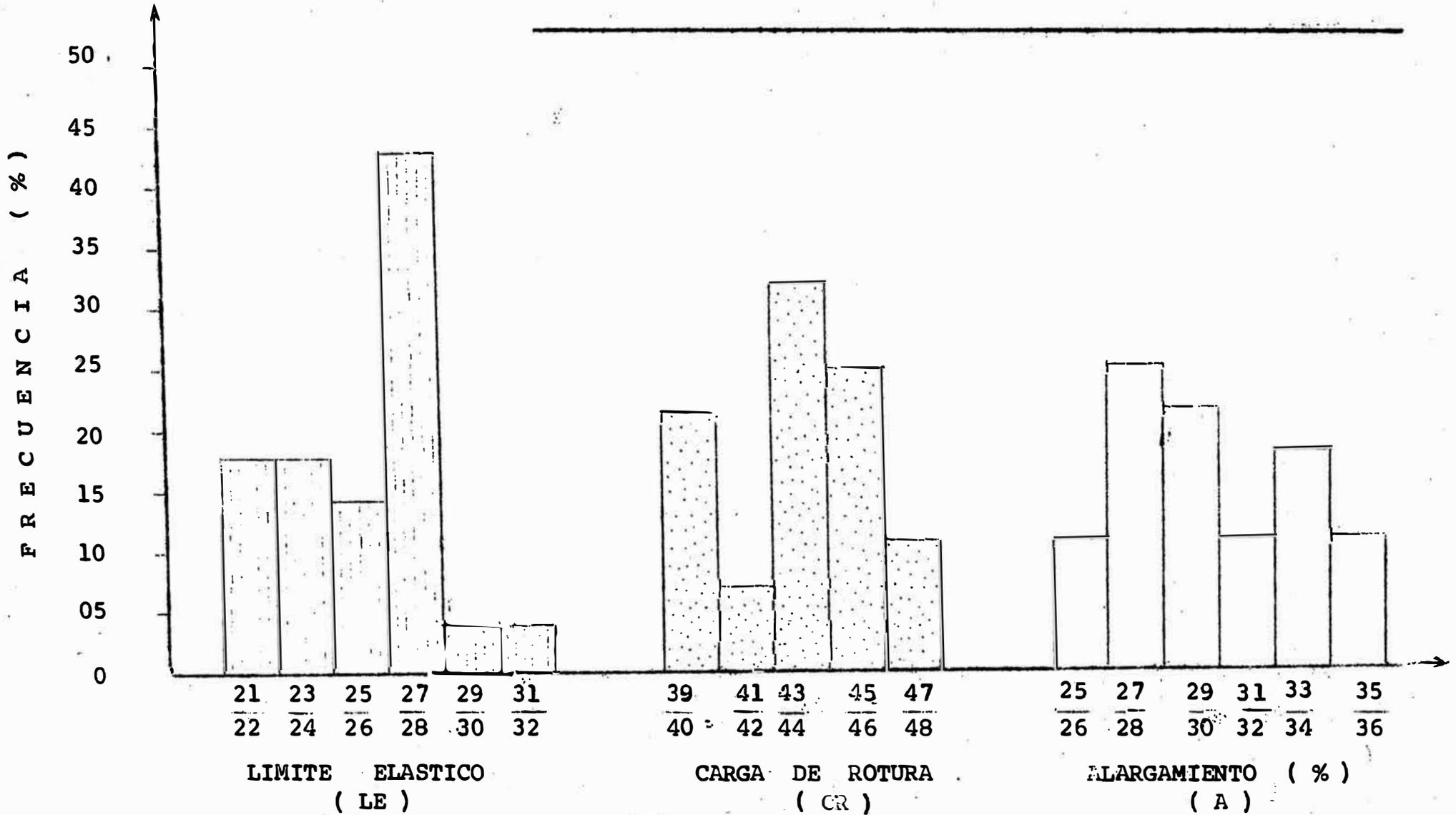


FIG. 5.6 -

GRAFICO DE FRECUENCIA
PROPIEDADES MECANICAS - CALIDAD 16C - GENERAL

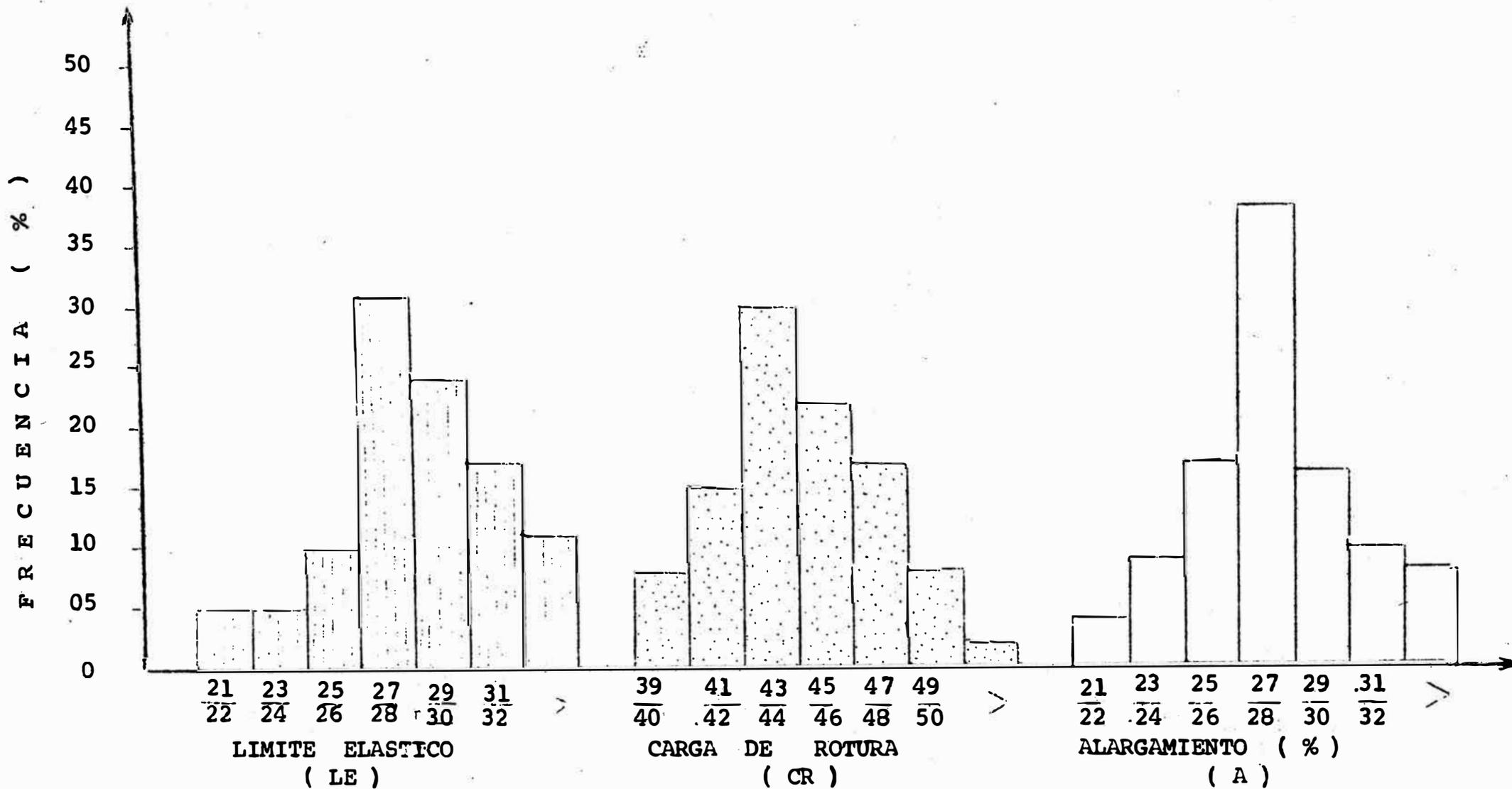


FIG. 5.7

GRAFICOS DE FRECUENCIA
 PROPIEDADES MECANICAS - CALIDAD 16D GRUPO I

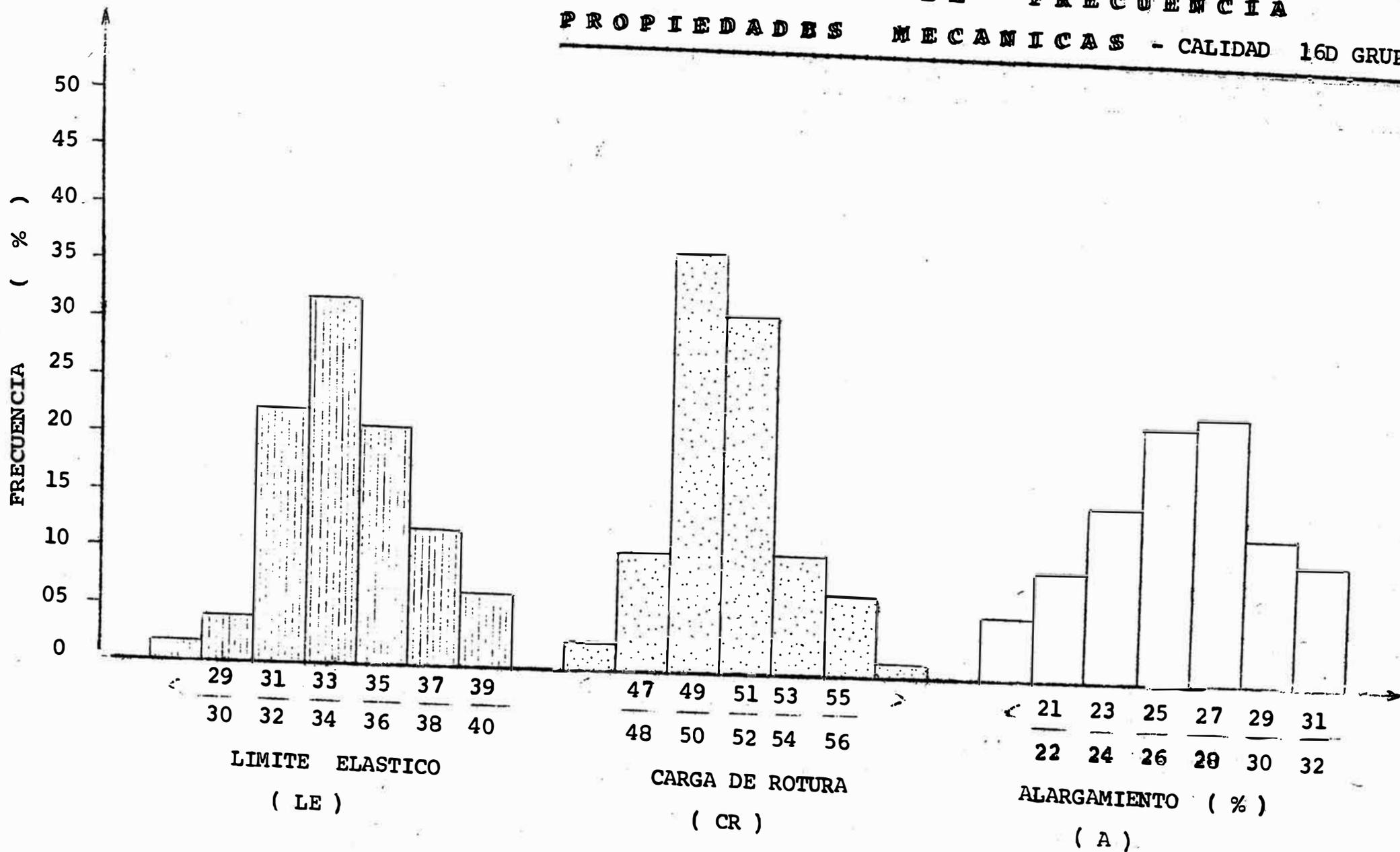


FIG. 5.8 GRAFICOS DE FRECUENCIA
 PROPIEDADES MECANICAS - - CALIDAD 16D

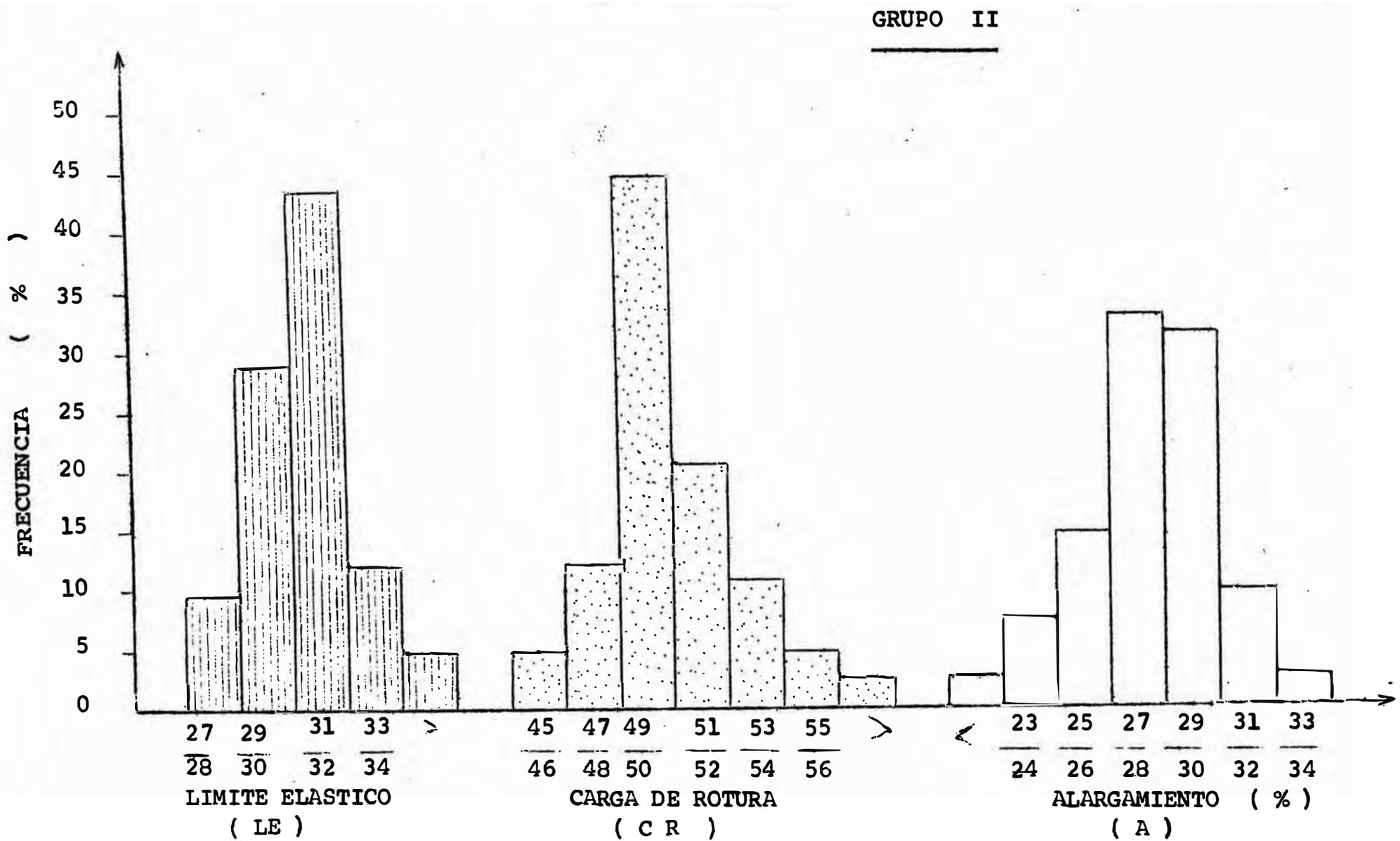


FIG. 5.9 GRAFICOS DE FRECUENCIA
PROPIEDADES MECANICAS - CALIDAD

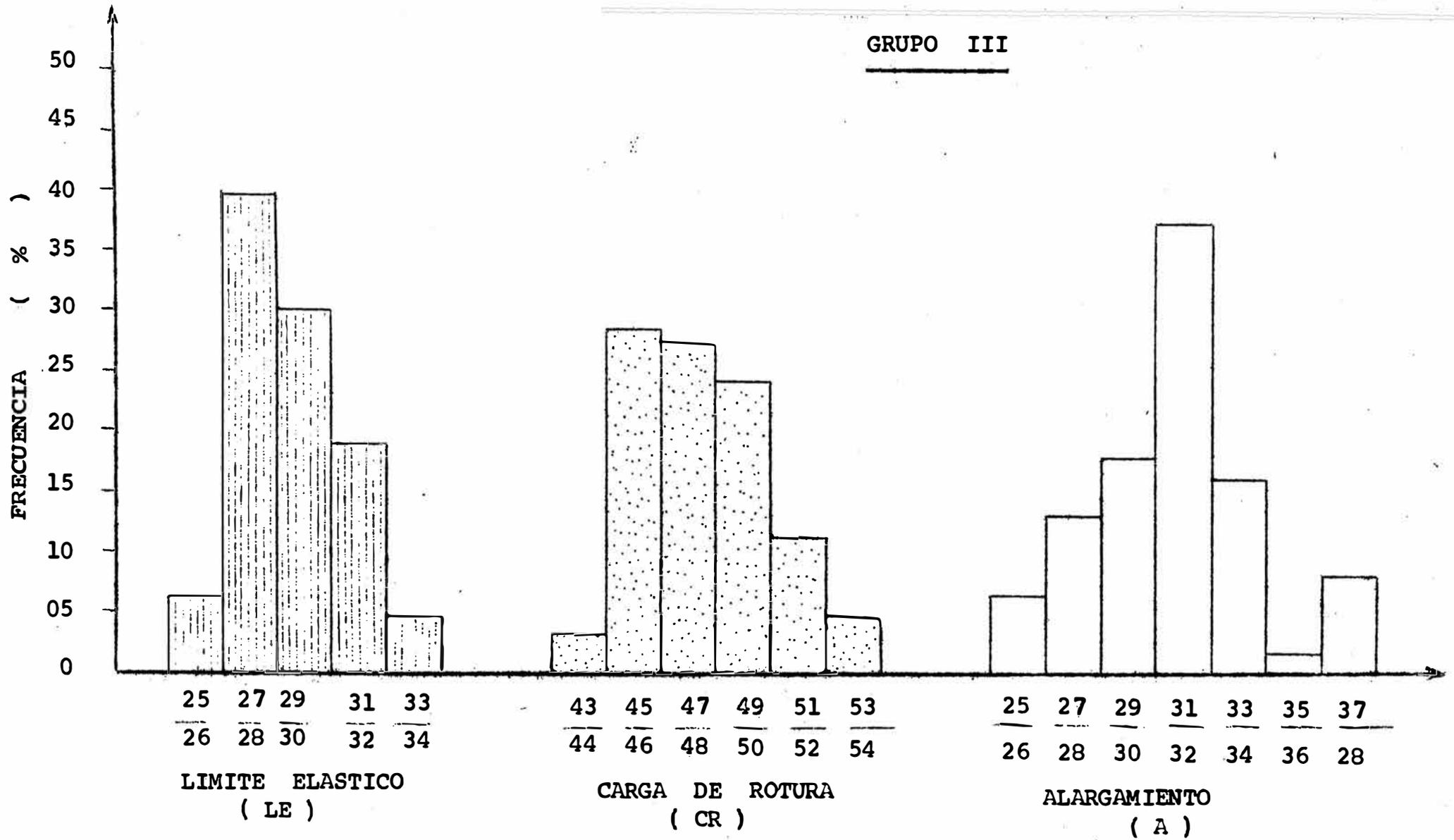


FIG.- 5.10

GRAFICOS DE FRECUENCIA
 PROPIEDADES MECANICAS - CALIDAD 16D - GENERAL

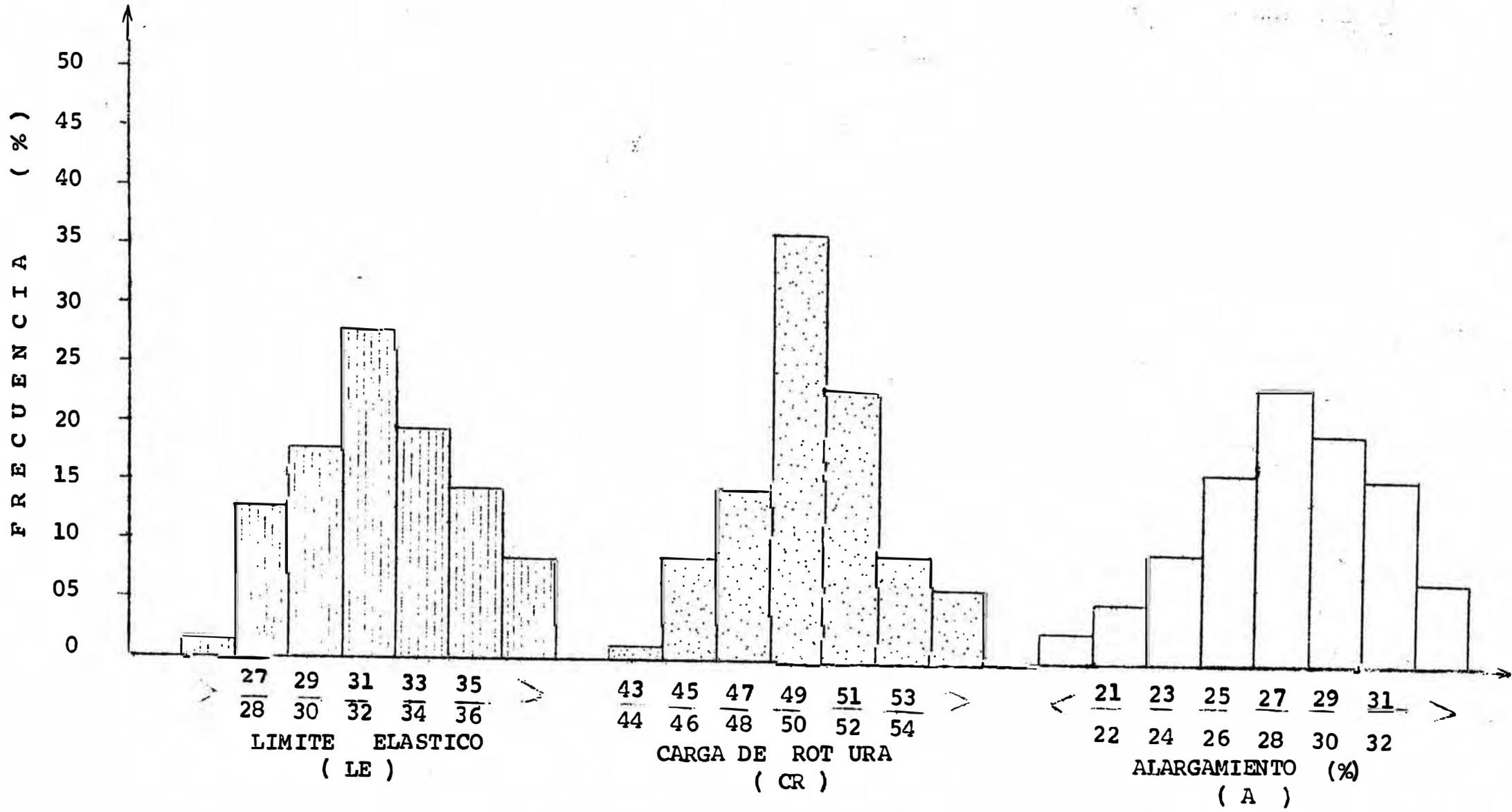


FIG.-5.11

GRAFICOS DE FRECUENCIA
 PROPIEDADES MECANICAS - CALIDAD 19B - GRUPO I

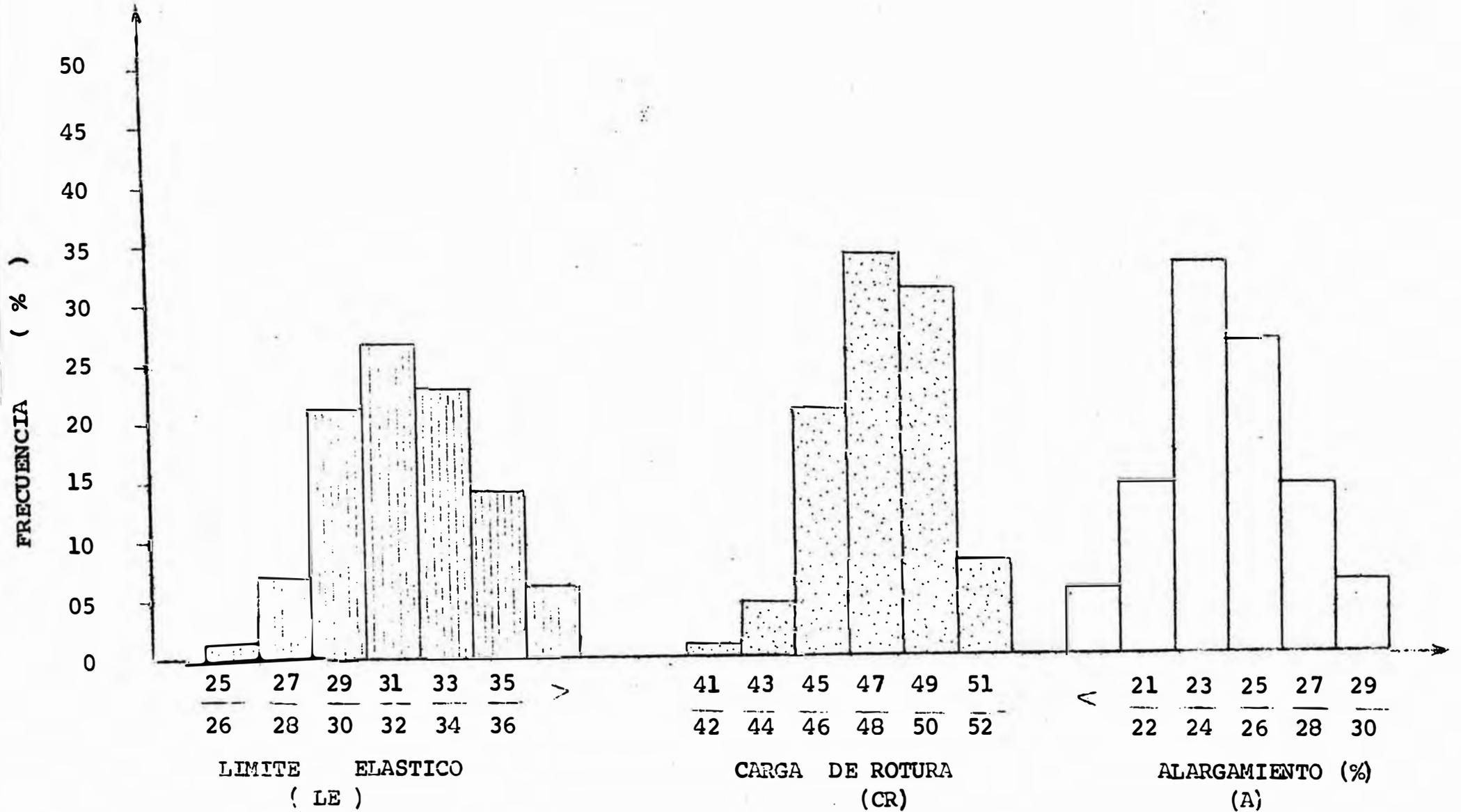


FIG. 5.12

GRAFICOS DE FRECUENCIA
PROPIEDADES MECANICAS - CALIDAD 19B GRUPO II

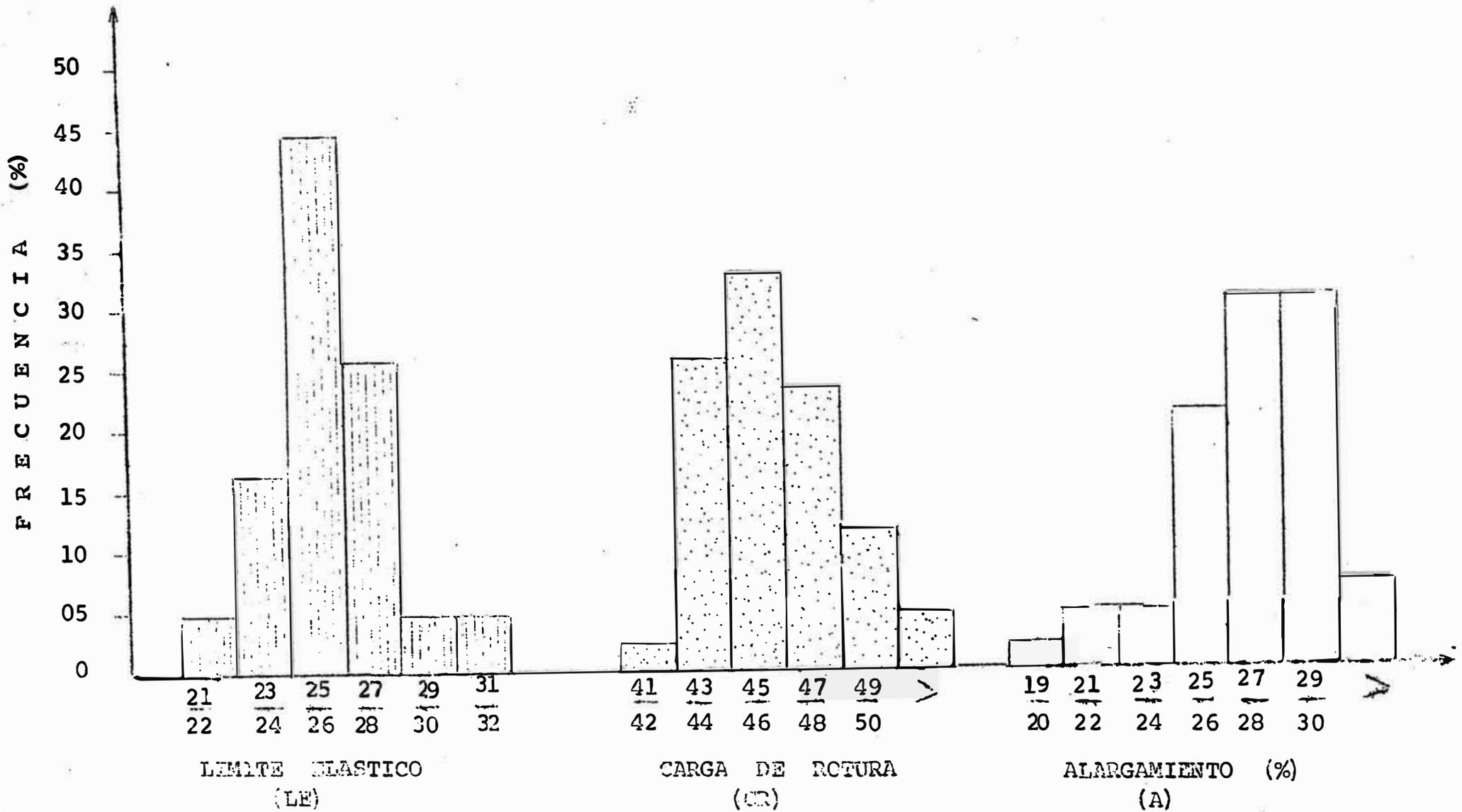


FIG. 5.13

GRAFICOS DE FRECUENCIA
PROPIEDADES MECANICAS - CALIDAD 19B GRUPO III

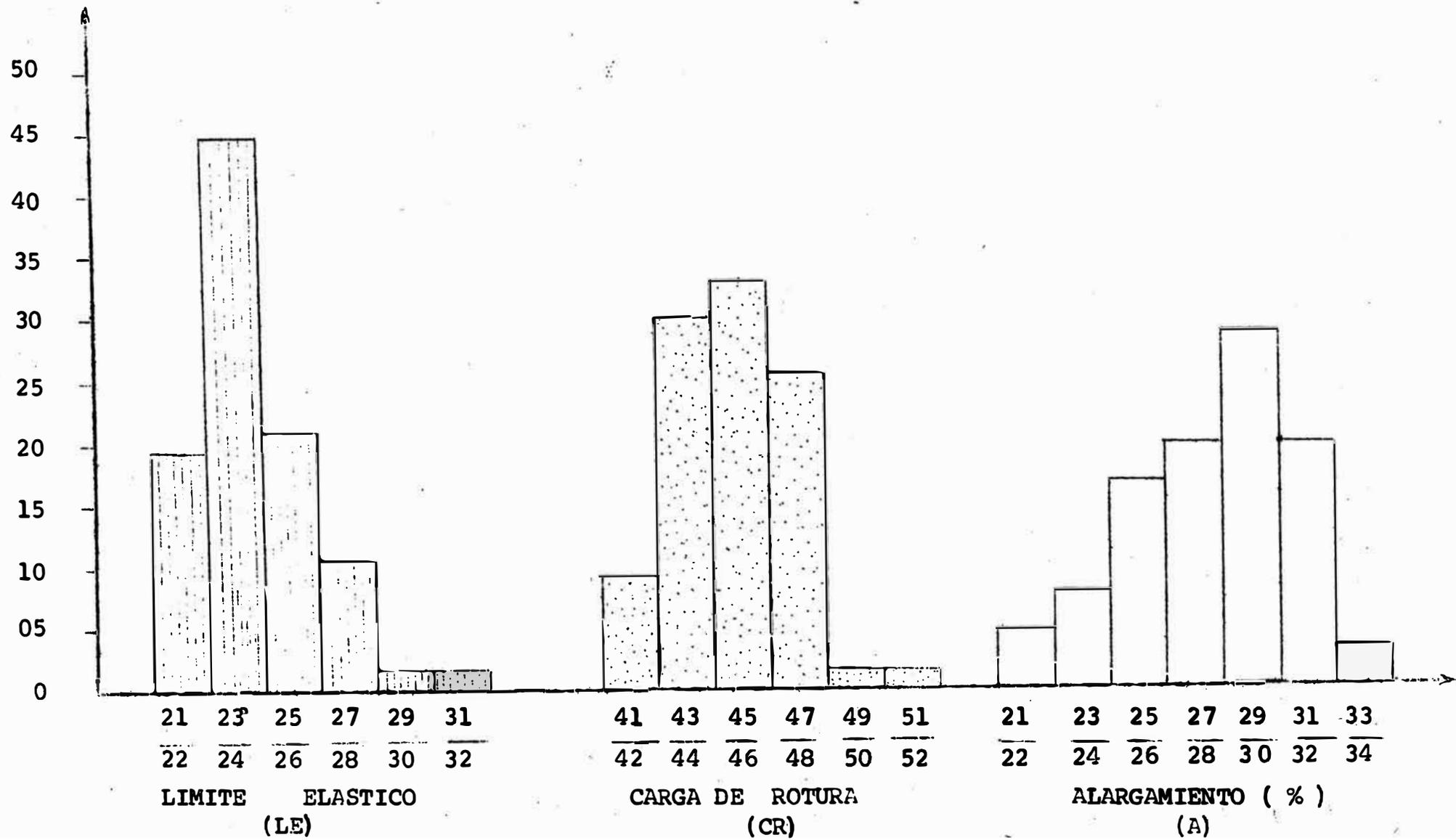


FIG.- 5.14

GRAFICOS DE FRECUENCIA
 PROPIEDADES MECANICAS - CALIDAD 19B - GENERAL

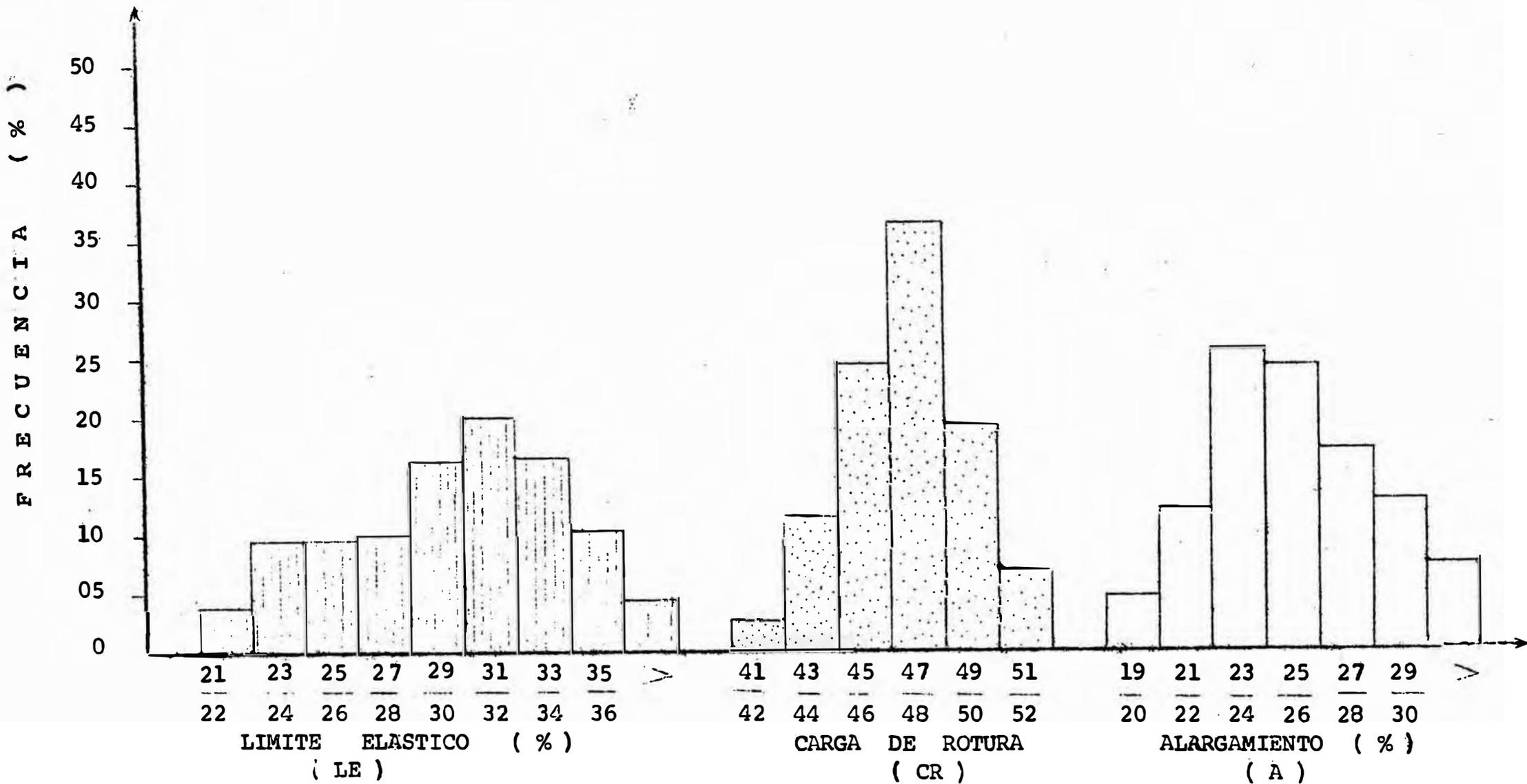
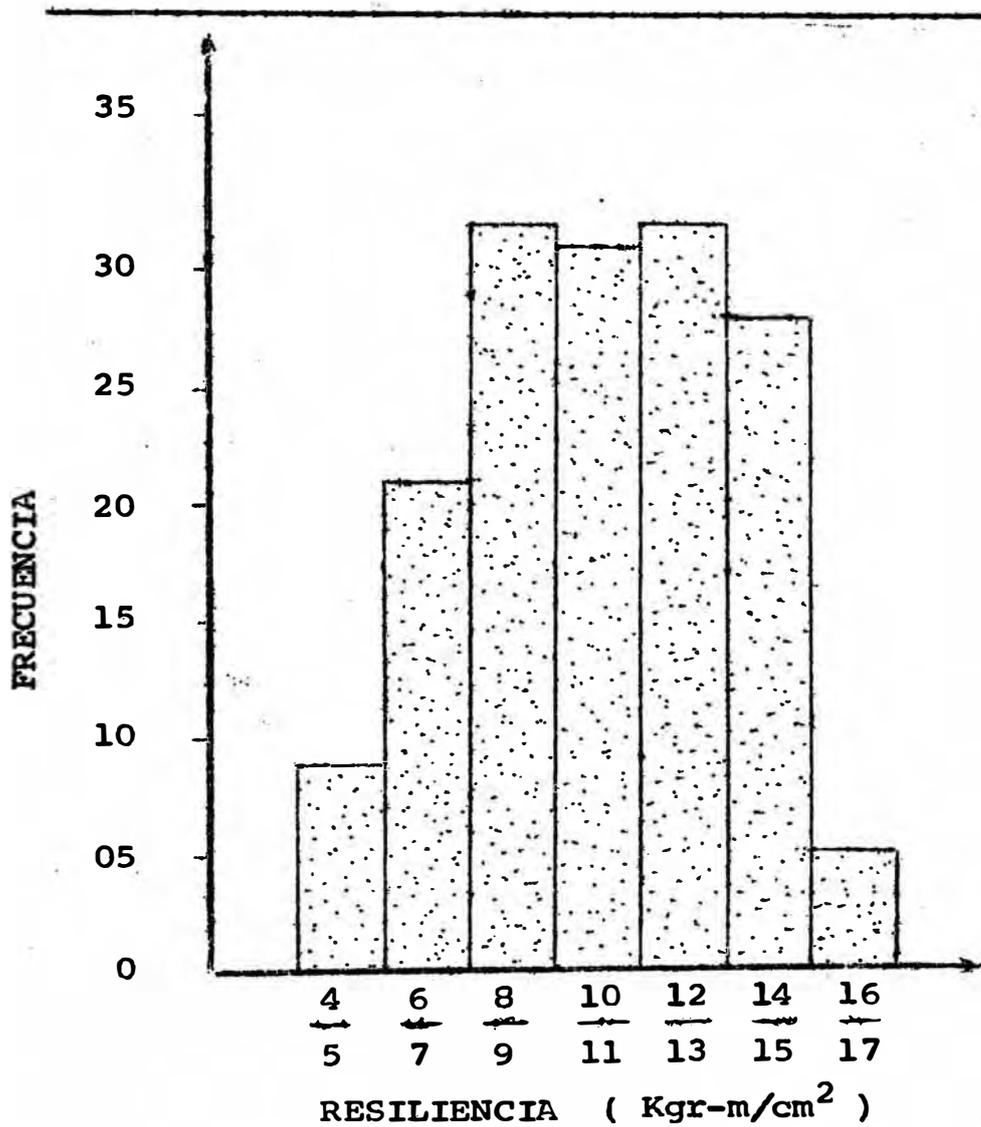


FIG. 5.15

GRAFICO DE FRECUENCIA
ENSAYO DE RESILIENCIA
CALIDAD 16D



$\bar{X} = 10.5$

$\sigma_{n-1} = 3.0$

54. ANALISIS METALOGRAFICO.

Mediante el análisis metalográfico efectuado a una muestra de acero convenientemente pulida y atacada, podemos observar la estructura metalográfica, tamaño de grano austenítico, textura e inclusiones que se hallan presentes,

La estructura metalográfica es función principalmente del contenido de elementos químicos en el acero los cuales determinan el tipo de constituyente y la cantidad en que se encuentran. El tamaño de grano austenítico depende básicamente de la temperatura de acabado de laminación es decir, de la temperatura a la cual el acero es enfriado en aire sin sufrir ya deformación alguna. En aceros al carbono la correspondencia entre temperatura de acabado y tamaño de grano es casi constante; pero en aceros aleados o de baja aleación la adición de pequeñas cantidades de elementos como el vanadio, niobio, titanio, aluminio, tienen la particularidad de refinar considerablemente el tamaño de grano.

La textura es más inherente al proceso de deformación del acero. En laminación la textura del acero tiende a ser alineada en el sentido longitudinal de laminación por la mayor deformación y reducciones drásticas en esa dirección.

Las inclusiones se deben mayormente a la presencia de elementos considerados como impurezas en el acero, tales como azufre, fósforo, y el exceso de silicio o aluminio empleados en la desoxidación del acero.

En base a ésta estructura metalográfica se puede efectuar un control de la efectividad de un tratamiento térmico determinado, en nuestro caso se trata del normalizado realizado en las planchas de Calidad 16D-EC24 con espesores mayores de 24 mm.

Además, se puede correlacionar la estructura y sus propiedades e incluso prever éstas, dando una herramienta para poder afirmar a priori el comportamiento que va a tener el material en el uso al que estará sometido posteriormente.

Las estructuras que se presentan a continuación son representativas de cada tipo de acero, haciendo notar la influencia debida a la variación en el espesor de la plancha sobre el tamaño de grano austenítico y además se compara una microestructura normal que resulta del proceso de laminación y otra posterior al tratamiento térmico de normalizado. Cada microestructura va acompañada de su análisis respectivo.

5.5. CUADROS RESUMEN.

En esta parte de las características actuales del producto se presentan cuadros resumen de toda la información recabada con respecto a las propiedades mecánicas: Límite Elástico (LE), Carga de Rotura (CR) y Porcentaje de Alargamiento (% A); de composición química: Carbono (C), Manganeso (Mn) y Silicio (Si); además de otras variables del proceso que se han considerado importantes tales como el espesor de plancha y la temperatura de acabado de laminación. Todas estas variables son las que se van a considerar en el estudio de correlación para obtener finalmente los modelos matemáticos prácticos que nos servirán para la optimización de las calidades de acero consideradas.

Estos cuadros presentan los valores promedio de cada variable y su correspondiente desviación standard que se obtuvieron del tratamiento estadístico efectuado al conjunto de datos. Se presentan por calidades y por grupos de espesores, del Cuadro N° 5.1 al Cuadro N° 5.4.

CUADRO N° 5.1.

CALIDAD 16C - E 21.

GRUPO	\bar{x} / σ	e	Temp.	C.	Mn.	Si.	LE.	CR.	% A
I	PROMEDIO	10.803	904	.168	.695	.044	29.7	45.0	27.2
	DESVIACION STANDARD	1.734	23.423	.017	.059	.011	2.553	2.919	2.572
II	PROMEDIO	19.096	938	.170	.702	.049	25.7	43.5	30.7
	DESVIACION STANDARD	3.354	31.747	.013	.066	.014	2.558	3.602	3.177
III	PROMEDIO	-	-	-	-	-	-	-	-
	DESVIACION STANDARD	-	-	-	-	-	-	-	-
G	PROMEDIO	13.138	914	.169	.697	.045	28.6	44.6	28.2
	DESVIACION STANDARD	4.392	30.117	.016	.061	.012	3.192	3.185	3.145

CUADRO N° 5.2

CALIDAD 16D - EC24

GRUPO	\bar{x}/s	e	Temp.	C.	Mn.	Si	LE.	CR.	% A.
I	PROMEDIO	9.957	903	.167	1.016	.164	34.4	50.7	26.0
	DESVIA - CION STD.	1.474	24.389	.016	0.061	.027	3.208	2.485	3.928
II	PROMEDIO	17.196	943	.170	1.018	.161	31.2	50.4	28.2
	DESVIA - CION STD.	2.701	26.621	.014	0.077	.027	2.715	2.816	2.590
III	PROMEDIO	26.629	956	.166	1.005	.166	29.1	48.4	31.2
	DESVIA - CION STD.	4.267	21.274	.016	0.066	.031	2.652	3.447	3.091
G	PROMEDIO	16.050	927	.168	1.014	.164	32.2	50.1	27.9
	DESVIA - CION STD.	7.148	33.733	.015	0.068	.028	3.661	2.984	3.946

CUADRO N° 5.3.

CALIDAD 19B - ES24.

GRUPO	$\frac{\bar{X}}{C}$	e	Temp.	C.	Mn.	Si.	LE.	CR.	% A
I	PROMEDIO	7.979	904	.191	.821	.051	32.2	47.8	24.4
	DESVIACION STANDARD	1.958	26.985	.014	.044	.017	2.861	2.100	2.520
II	PROMEDIO	19.334	948	.193	.827	.057	26.1	46.2	27.4
	DESVIACION	1.746	41.737	.014	.043	.024	2.077	2.301	2.708
III	PROMEDIO	33.141	956	.191	.830	.048	24.1	45.2	28.0
	DESVIACION STANDARD	9.684	30.562	.016	.054	.013	2.137	2.052	3.114
G	PROMEDIO	13.553	918	.191	.823	.051	30.1	47.2	25.4
	DESVIACION STANDARD	10.542	36.712	.015	.046	.018	4.259	2.353	3.049

CUADRO N° 5.4.

SUMATORIAS POR GRUPOS-CALIDADES 16C, 19B y 16D.

GRUPO	\bar{X} / σ	e	Temp.	C.	Mn.	Si	LE.	Cr.	% A.
I	PROMEDIO	8.931	904	.181	.853	.079	32.4	48.1	25.3
	DESVIACION PROMEDIO	2.147	25.757	.019	.118	.054	3.282	2.970	3.144
II	PROMEDIO	18.145	943	.176	.906	.111	28.8	47.9	28.4
	DESVIACION STANDARD	2.795	32.351	.017	.144	.059	3.650	3.993	2.945
III	PROMEDIO	29.985	956	.179	.915	.105	26.5	46.7	29.6
	DESVIACION STANDARD	8.210	26.372	.020	.106	.064	3.473	3.228	3.483
G	PROMEDIO	14.382	921	.180	.874	.090	48.1	47.9	26.6
	DESVIACION STANDARD	8.881	35.194	.019	.125	.059	2.970	3.283	3.647

ANÁLISIS METALOGRAFICOS

1. Acero Estructural 16C-E21. Espesor nominal de 9.5mm., presenta una estructura de matriz ferrítica con aproximadamente 20% de perlita. Tamaño de grano N° 7.5 ASTM con textura ligeramente alineada.
2. Acero Estructural 16D-EC24. Espesor nominal de 28.0mm y que no ha sido normalizado. Presenta estructura de matriz ferrítica con 25% de perlita, del cual 15% muestra estructura Widmanstätten propia de temperaturas altas de acabado. El tamaño de grano es 6.5 ASTM con tendencia a la forma acicular.
3. El mismo acero estructural 16D-EC24 después de haber sido sometido a tratamiento térmico de Normalizado, se nota el refinamiento considerable del tamaño de grano 9.5 ASTM lo que produce una mejora en las propiedades físicas y una mayor homogeneidad en el acero. Los constituyentes están en la misma proporción .
4. Acero Estructural 19B-ES24, espesor nominal 6.4mm. Estructura típica de este acero que presenta matriz ferrítica de granos equiaxiales N° 8.0 y perlita en 25% en los bordes de grano siguiendo ligeramente la dirección de laminado..

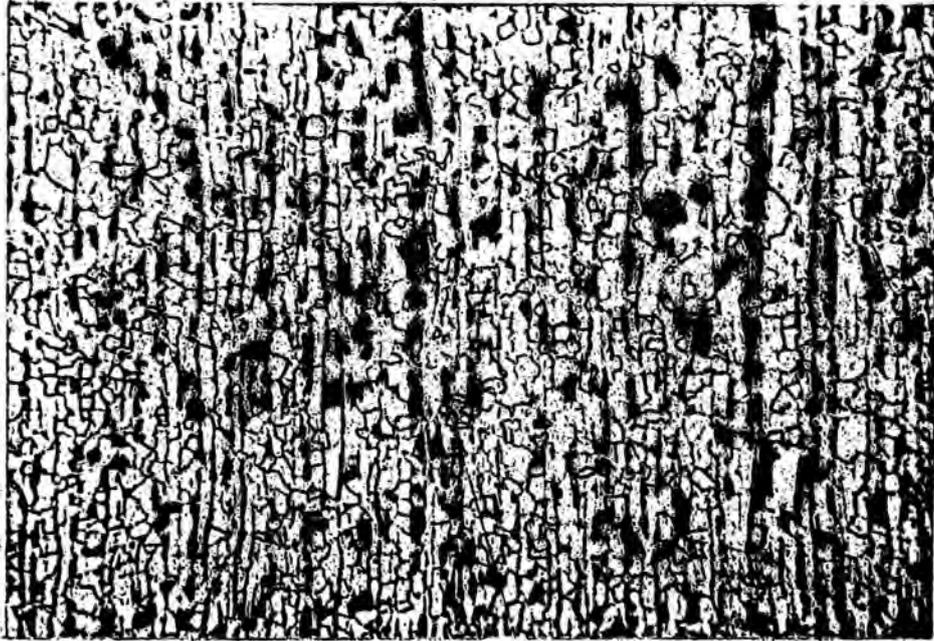
.....

5. Acero Estructural 19B-ES24, espesor nominal 25 mm. Se observa un tamaño de grano mayor (6.5) que la muestra anterior, debido al mayor espesor y por ende una temperatura de acabado también mayor. Los constituyentes están en la misma proporción y con una estructura algo alineada y granos de ferrita con ligera tendencia a la forma acicular.

6. El mismo tipo de acero (19B-ES24) con un mayor espesor 50 mm. Igualmente se nota el efecto del espesor sobre el tamaño de grano que en este caso es 5.5 ASTM, lo cual nos indica una relación directa entre el espesor de la plancha gruesa, la temperatura de acabado en laminación y el tamaño de grano en la estructura interna del material.

7. Como referencia se incluye ésta fotomicrografía que corresponde a un acero estructural de alta Resistencia y baja aleación fabricado por SIDERPERU según Norma API X-52. La Estructura esta compuesta de granos de ferrita que pueden estar deformadas o recristalizadas y de perlita formando granos irregulares siempre con la tendencia de alinearse según la dirección de laminado. Observese el tamaño de grano extremadamente fino (N°11 ASTM promedio) en una fotomicrografía tomada a 200 X a diferencia del resto que han sido tomadas a 100 X (aumentos).

NOTA .- Todas la muestras fueron atacadas con nital al 2% (Acido Nitrico al 2% en alcohol) para revelar la estructura.



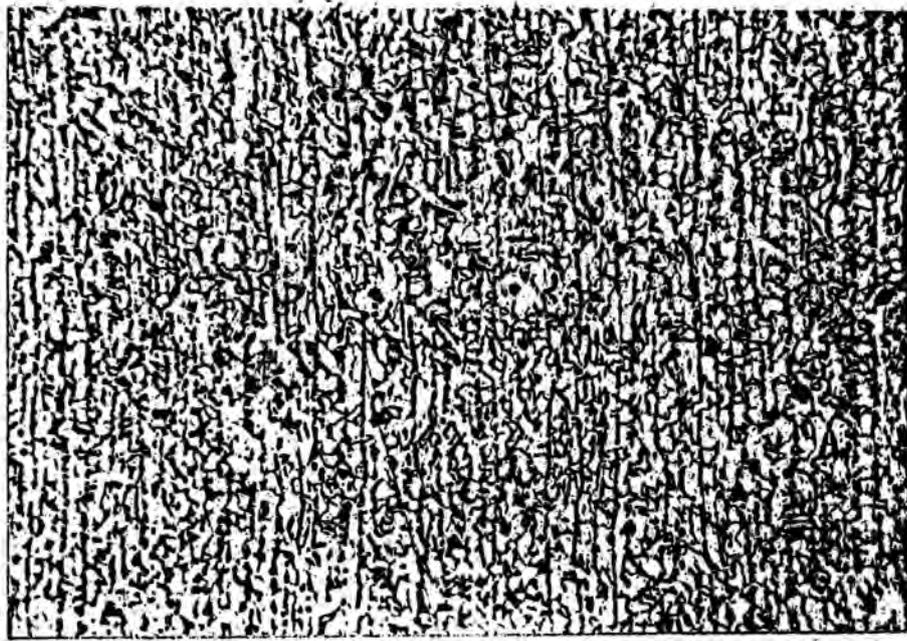
N° 1 (100x)



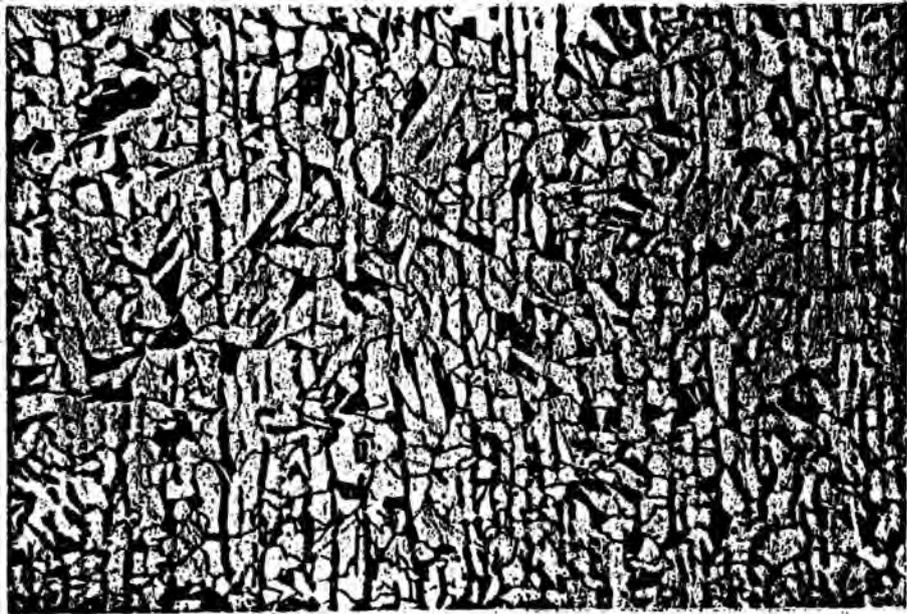
N° 2 (100x)



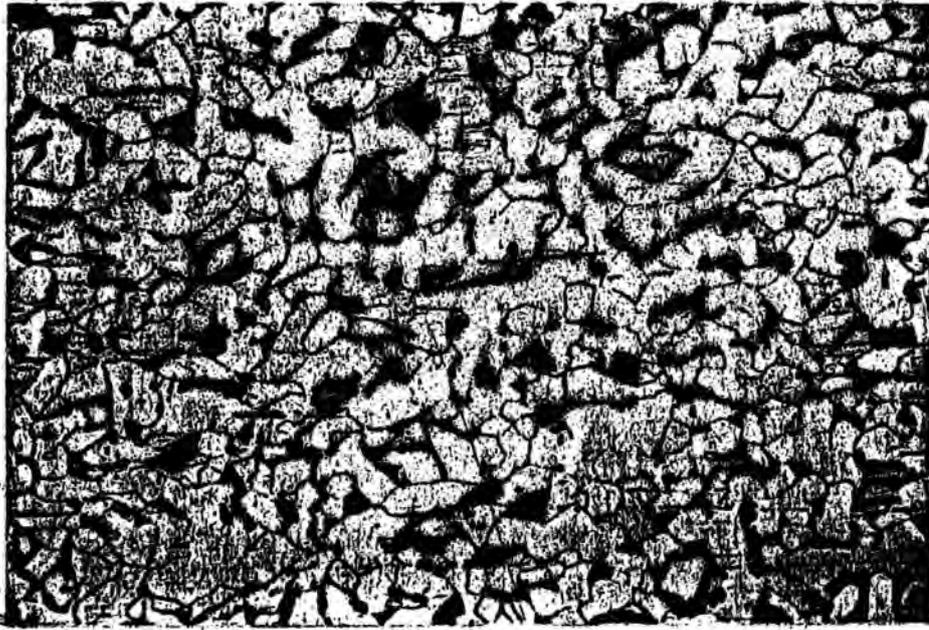
N° 3 (100x)



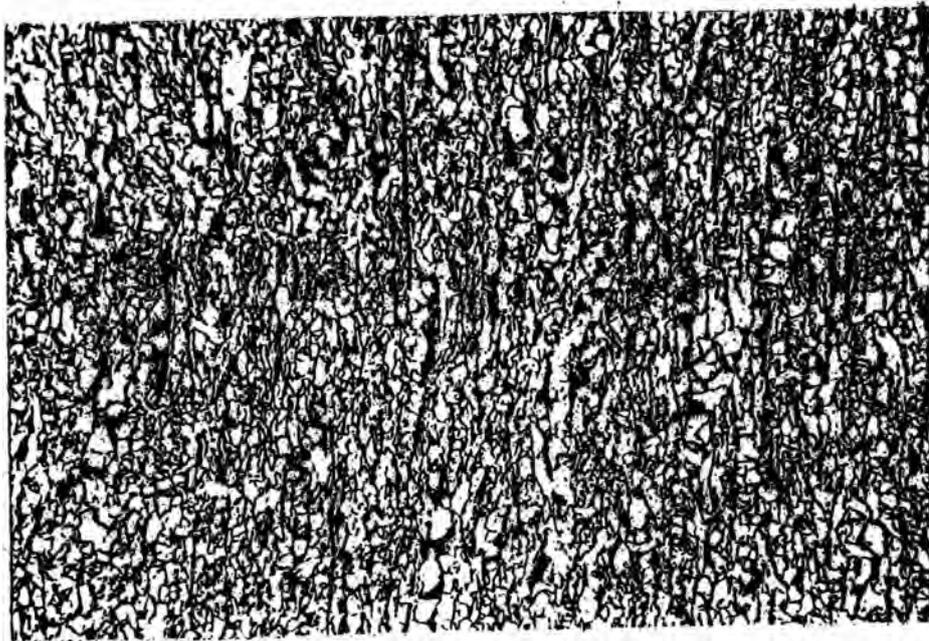
N° 4 (100x)



N° 5 (100x)



N° 6 (100x)



N° 7 (200x)

CAPITULO VI
=====

MODELOS MATEMATICOS

6.1. OBJETIVO.

La aplicación é interpretación de la técnica de regresión en el ajuste de los modelos matemáticos al presente trabajo, tiene por objetivo establecer fórmulas matemáticas que expresen, lo más aproximadamente, las posibles relaciones entre los elementos químicos : Carbono, Manganeso y Silicio, y otros factores tales como el espesor del material y la temperatura de acabado; con las propiedades mecánicas a que dan lugar estas variables: límite elástico, carga de rotura y porcentaje de alargamiento.

La función matemática nos dice de que manera estan relacionadas las variables, es decir, cual es la relación funcional entre las variables para predecir el valor de una en base a las otras variables, de tal manera que tenemos unas variables independientes (X_i) que son la base de la predicción y una variable que se vá a predecir que es la dependiente (Y). La técnica empleada en este aspecto es lo que se llama análisis de regresión.

Tambien necesitamos determinar el grado de asociación entre las variables y esto nos lo dá el análisis de correlación.

En nuestro caso, estos análisis son de carácter múltiple porque entran en juego más de dos variables. Asimismo, son lineales de acuerdo al tipo de asociación que tienen estas variables.

6.2. MODELOS MATEMATICOS.

6.2.1. ECUACION FUNDAMENTAL.- La relación funcional que se asume es lineal, expresada en la siguiente ecuación

general para una población dada:

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_i X_i + \dots + \beta_n X_n$$

donde, Y es la variable dependiente, X_i son las variables independientes, α es el valor de intercepción y los β_i reciben el nombre de coeficientes de regresión parcial.

La ecuación se denomina lineal porque los exponentes de X_i son unos. Los coeficientes de regresión parcial β_i indican la regresión (pendiente) de Y sobre X_i para valores fijos de las otras variables.

El hiperplano de regresión múltiple es estimado por una muestra multivariada seleccionada al azar, estimándose α y los coeficientes de regresión parcial, β_i .

Si el hiperplano de regresión está formado por promedios de las variables independientes, la forma de representar una observación es:

$$\bar{Y} = \alpha + \beta_1 \bar{X}_1 + \beta_2 \bar{X}_2 + \beta_i \bar{X}_i + \dots + \beta_n \bar{X}_n + \epsilon_i$$

En el problema que estamos abordando consideramos las siguientes variables que más afectan al proceso y cualquiera otra variable que pueda influir en el proceso se considera como controlable.

Variables Independientes:

- X_1 = Espesor de la plancha (e).
- X_2 = Temperatura de Acabado (°t).
- X_3 = Carbono (C)..
- X_4 = Manganeso (Mn)..
- X_5 = Silicio (Si).

Variables Dependientes:

- Y_1 = Límite Elástico (LE).
- Y_2 = Carga de Rotura (CR).
- Y_3 = Alargamiento (%A).

Por lo tanto, la ecuación de nuestro modelo tendrá la siguiente forma:

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5$$

Cuando se trata de valores estimados para los coeficientes de la regresión calculados en base a los datos obtenidos en la práctica, la ecuación toma la siguiente forma:

$$\bar{Y} = a + b_1 \bar{X}_1 + b_2 \bar{X}_2 + b_3 \bar{X}_3 + b_4 \bar{X}_4 + b_5 \bar{X}_5 \dots\dots\dots (I)$$

6.2.2. ESTIMADO DE LOS COEFICIENTES.- Los coeficientes de regresión β_i se pueden estimar por el desarrollo de la siguiente ecuación:

$$\hat{\beta}_i = b_i = (X' X)^{-1} (\sum X_i Y)$$

donde:

$\hat{\beta}_i = b_i$ = Estimado de los coeficientes β_i .

X = Matriz que resume la información de todas las variables independientes.

X' = Matriz transpuesta.

$(X' X)^{-1}$ = Matriz inversa.

La deducción de esta ecuación se efectúa de la siguiente forma:

A partir de la ecuación (I): si multiplicamos ambos lados de la ecua-

ción, primero por 1, después por X_1 , luego por X_2 y así sucesivamente hasta X_5 , y haciendo la sumación de todos los datos en cada una de las ecuaciones, obtenemos lo siguiente:

$$\begin{aligned}
 a \sum X_1 + b_1 \sum X_1^2 + b_2 \sum X_1 X_2 + b_3 \sum X_1 X_3 + b_4 \sum X_1 X_4 + b_5 \sum X_1 X_5 &= \sum X_1 Y \\
 a \sum X_2 + b_1 \sum X_1 X_2 + b_2 \sum X_2^2 + b_3 \sum X_2 X_3 + b_4 \sum X_2 X_4 + b_5 \sum X_2 X_5 &= \sum X_2 Y \\
 a \sum X_3 + b_1 \sum X_1 X_3 + b_2 \sum X_2 X_3 + b_3 \sum X_3^2 + b_4 \sum X_3 X_4 + b_5 \sum X_3 X_5 &= \sum X_3 Y \\
 a \sum X_4 + b_1 \sum X_1 X_4 + b_2 \sum X_2 X_4 + b_3 \sum X_3 X_4 + b_4 \sum X_4^2 + b_5 \sum X_4 X_5 &= \sum X_4 Y \\
 a \sum X_5 + b_1 \sum X_1 X_5 + b_2 \sum X_2 X_5 + b_3 \sum X_3 X_5 + b_4 \sum X_4 X_5 + b_5 \sum X_5^2 &= \sum X_5 Y
 \end{aligned}$$

Si representamos $y = Y - \bar{Y}$
 y $x = X - \bar{X}$

La ecuación (I) podemos escribirla en forma más simple:

$$b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + b_5 x_5 = y$$

donde los coeficientes b_i pueden obtenerse de las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned}
 b_1 \sum x_1^2 + b_2 \sum x_1 x_2 + b_3 \sum x_1 x_3 + b_4 \sum x_1 x_4 + b_5 \sum x_1 x_5 &= \sum x_1 y \\
 b_2 \sum x_1 x_2 + b_2 \sum x_2^2 + b_3 \sum x_2 x_3 + b_4 \sum x_2 x_4 + b_5 \sum x_2 x_5 &= \sum x_2 y \\
 b_3 \sum x_1 x_3 + b_2 \sum x_2 x_3 + b_3 \sum x_3^2 + b_4 \sum x_3 x_4 + b_5 \sum x_3 x_5 &= \sum x_3 y \\
 b_4 \sum x_1 x_4 + b_2 \sum x_2 x_4 + b_3 \sum x_3 x_4 + b_4 \sum x_4^2 + b_5 \sum x_4 x_5 &= \sum x_4 y \\
 b_5 \sum x_1 x_5 + b_2 \sum x_2 x_5 + b_3 \sum x_3 x_5 + b_4 \sum x_4 x_5 + b_5 \sum x_5^2 &= \sum x_5 y
 \end{aligned}$$

El número de ecuaciones es 5 ó sea igual al número de variables independientes.

A continuación ponemos el sistema de ecuaciones anterior en forma de matrices.

$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \\ b_5 \end{pmatrix}_{5 \times 1} = \begin{pmatrix} \sum x_1^2 & \sum x_1 x_2 & \sum x_1 x_3 & \sum x_1 x_4 & \sum x_1 x_5 \\ \sum x_2 x_1 & \sum x_2^2 & \sum x_2 x_3 & \sum x_2 x_4 & \sum x_2 x_5 \\ \sum x_3 x_1 & \sum x_3 x_2 & \sum x_3^2 & \sum x_3 x_4 & \sum x_3 x_5 \\ \sum x_4 x_1 & \sum x_4 x_2 & \sum x_4 x_3 & \sum x_4^2 & \sum x_4 x_5 \\ \sum x_5 x_1 & \sum x_5 x_2 & \sum x_5 x_3 & \sum x_5 x_4 & \sum x_5^2 \end{pmatrix}_{5 \times 5} = \begin{pmatrix} \sum x_1 y \\ \sum x_2 y \\ \sum x_3 y \\ \sum x_4 y \\ \sum x_5 y \end{pmatrix}_{1 \times 5}$$

Con representación simbólica:

$$\begin{pmatrix} b_i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X' X \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum X_i Y \end{pmatrix}$$

Despejando b_i

$$\begin{pmatrix} b_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X' X \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} \sum X_i Y \end{pmatrix}$$

Como se observa, para obtener los coeficientes b_i es necesario invertir la matriz $\begin{pmatrix} X' X \end{pmatrix}$. Para ello se emplea el procedimiento Gauss-Doolittle o el método abreviado de Doolittle que son métodos simplificados para invertir matrices simétricas como es nuestro caso.

Invertida la matriz obtenemos los multiplicadores de Gauss (C) de la siguiente manera:

$$\begin{pmatrix} b_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} & C_{15} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} & C_{25} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} & C_{35} \\ C_{41} & C_{42} & C_{43} & C_{44} & C_{45} \\ C_{51} & C_{52} & C_{53} & C_{54} & C_{55} \end{pmatrix}_{5 \times 5} \begin{pmatrix} \sum x_1 y \\ \sum x_2 y \\ \sum x_3 y \\ \sum x_4 y \\ \sum x_5 y \end{pmatrix}_{5 \times 1}$$

Cuando se realiza el producto de las dos últimas matrices se obtienen los coeficientes b_i con lo que queda resuelto el problema.

$$\begin{aligned}
 b_1 &= C_{11} \sum x_1 y + C_{12} \sum x_2 y + C_{13} \sum x_3 y + C_{14} \sum x_4 y + C_{15} \sum x_5 y \\
 b_2 &= C_{21} \sum x_1 y + C_{22} \sum x_2 y + C_{23} \sum x_3 y + C_{24} \sum x_4 y + C_{25} \sum x_5 y \\
 b_3 &= C_{31} \sum x_1 y + C_{32} \sum x_2 y + C_{33} \sum x_3 y + C_{34} \sum x_4 y + C_{35} \sum x_5 y \\
 b_4 &= C_{41} \sum x_1 y + C_{42} \sum x_2 y + C_{43} \sum x_3 y + C_{44} \sum x_4 y + C_{45} \sum x_5 y \\
 b_5 &= C_{51} \sum x_1 y + C_{52} \sum x_2 y + C_{53} \sum x_3 y + C_{54} \sum x_4 y + C_{55} \sum x_5 y
 \end{aligned}$$

Con estos coeficientes hallados se procede a calcular el coeficiente de intercepción α .

De la ecuación (I) despejamos α que corresponde al estimado de α .

$$\alpha = \bar{Y} - (b_1 \bar{X}_1 + b_2 \bar{X}_2 + b_3 \bar{X}_3 + b_4 \bar{X}_4 + b_5 \bar{X}_5)$$

6.2.3. ANALISIS DE VARIANZA.- Se efectúa con la finalidad de probar una hipótesis por medio de la prueba de F.

Según la partición de la suma de cuadrados de la variable dependiente se presentan los resultados en el siguiente cuadro de análisis de varianzas.

ANALISIS DE VARIANZA DE LA REGRESION MULTIPLE LINEAL.

FUENTE	GL.	SC.	CM.	F.
X ₁	1	b ₁ ² SCx ₁	SCX ₁ /1	CMX ₁ /CME
X ₂	1	b ₂ ² SCx ₂	SCX ₂ /1	CMX ₂ /CME
X ₃	1	b ₃ ² SCx ₃	SCX ₃ /1	CMX ₃ /CME
X ₄	1	b ₄ ² SCx ₄	SCX ₄ /1	CMX ₄ /CME
X ₅	1	b ₅ ² SCx ₅	SCX ₅ /1	CMX ₅ /CME
ATRIBUI- BLE A LA REGRESION	5	b ¹ { $\sum x_1 y$ }	SCR/5	CMR/CME
ERROR.	N-1)-5	SCT-SCR	SCE/GL	
TOTAL	N-1)	$\sum y^2$	$\sum y^2 / (N-1)$	

Donde:

SC = Suma de Cuadrados.

CM = Cuadrado Medio.

GL = Grados de Libertad.

- La suma de cuadrados de Y (SCY) es igual a la suma de cuadrados debida a la regresión (SCR) más la suma de cuadrados de las desviaciones respecto a la línea de la regresión (SCE); lo que es equivalente a la suma de cuadrados Total (SCT).

La suma de cuadrados atribuible a la regresión (SCR) se calcula de la siguiente manera:

$$SCR = b^1 \left\{ \sum X_1 Y \right\} = \begin{pmatrix} b_1 & b_2 & b_3 & b_4 & b_5 \end{pmatrix}_{1 \times 5} \begin{pmatrix} \sum x_1 y \\ \sum x_2 y \\ \sum x_3 y \\ \sum x_4 y \\ \sum x_5 y \end{pmatrix}_{5 \times 1}$$

Conforme el cuadrado medio de la regresión (R) aumenta nos indica una mayor contribución de la variable X en la variabilidad de Y, y para comprobar que esta contribución no se debe al azar se lleva a cabo la siguiente prueba de F.

$$F = \frac{C.M. (R)}{C.M. (e)}$$

Para un nivel de probabilidades establecido, si el valor calculado de F es mayor que el valor F tabular para 5 y (N-6) grados de libertad, se concluye que la influencia de las variables X sobre la variabilidad de Y no se debe al azar y por lo tanto se acepta el modelo.

PRUEBA DE t.- La distribución de t sirve para prueba de hipótesis de los parámetros, bajo la hipótesis planteada de que β es un valor dado de β_0 siendo entonces $t = \frac{b_i - \beta_0}{S_b}$. Una de las hipótesis usuales es de que $\beta_1 = 0$, esto es que no existe asociación lineal entre las variables, bajo esta hipótesis tendremos:

$$t = \frac{b_i}{S_b} \quad ; \quad \text{donde} \quad S_b = \sqrt{\frac{S_{xy}^2}{SCx}}$$

en esta situación la hipótesis alternativa es de que β sea diferente de cero : $\beta \neq 0$ si el valor de t hallado es mayor que el valor de tablas concluimos que hay relación entre las variables independientes con cada variable dependiente considerada. Puede notarse que el valor de F es igual al cuadrado de t.

6.2.4. ESTIMACION DE LA VARIANCIA.- La variancia de la regresión $S_{xy}^2 = \hat{\sigma}_{xy}^2 = S_{xy}^2$ estima a σ_{xy}^2 llamada variancia residual y cuyo desarrollo dá:

$$S_{xy}^2 = \left[\sum Y^2 - \frac{\sum Y^2}{N} \right] - b \sum (X_i - \bar{X}) Y$$

El primer término es igual a SCy y el segundo a SCR, por lo tanto:

$$S_{xy}^2 = \frac{\text{S.C. Error}}{\text{GL.}} = \text{CM Error.}$$

Esta variancia está relacionada con las desviaciones de los valores estimados con respecto a la línea; si ésta es menor, quiere decir que las observaciones están muy pegadas a la línea de regresión y por lo tanto más exacta es la ecuación de regresión como elemento predictivo.

La variancia de los coeficientes de la regresión estimados $\hat{S}_{b_i}^2$ se puede calcular por la fórmula:

$$S_{b_i}^2 = \frac{S_{xy}^2}{\sum x_i^2} ; \sum x_i^2 = \sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{N}$$

La desviación standard es igual a la raíz cuadrada de la variancia :

$$\hat{\sigma}_{b_i} = \sqrt{S_{b_i}^2} = S_{b_i}$$

6.2.4. INTERVALOS DE CONFIANZA.- A partir de la variancia de la regresión se calcula la desviación standard de la regresión de la siguiente forma:

$$S_{xy} = \sqrt{S_{xy}^2}$$

Para calcular los límites de confianza para los valores de la variable dependiente obtenidos por la ecuación de regresión, se emplean las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} \text{LSC} &= \bar{Y} + 3 S_{xy} / \sqrt{N} \\ \text{LIC} &= \bar{Y} - 3 S_{xy} / \sqrt{N} \end{aligned}$$

La razón de dividir la desviación standard entre \sqrt{N} es debido a que la estimación de los límites de confianza se proyecta a toda la población partiendo de una muestra.

Los intervalos de confianza para los coeficientes de la regresión (β) se calculan empleando el valor de t de la siguiente forma:

$$\text{IC} (\beta) = b_i \pm t_{\alpha} S_{b_i}$$

Donde t_{α} se encuentra con los grados de libertad del error. Los límites de control serán entonces:

$$\text{LSC} = b_1 + t_{\alpha} S b_1$$

$$\text{LIC} = b_1 - t_{\alpha} S b_1$$

6.2.5. CORRELACION LINEAL.- El coeficiente de correlación múltiple lineal, cuantifica el grado de asociación entre cada variable dependiente con todas las variables independientes. Está representado por "r" siendo la fórmula la siguiente:

$$r = \frac{\text{Covariancia}}{S_x S_y} = \frac{\sum (X-\bar{X})(Y-\bar{Y}) / N-1}{\sqrt{\sum (X-\bar{X})^2 / (N-1)} \sqrt{\sum (Y-\bar{Y})^2 / (N-1)}}$$

simplificando tenemos:

$$r = \frac{\sum (X-\bar{X})(Y-\bar{Y})}{\sqrt{\sum (X-\bar{X})^2} \sqrt{\sum (Y-\bar{Y})^2}} = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2} \sqrt{\sum y^2}}$$

donde:

$$\begin{aligned} \sum xy &= \sum X_i Y_i - (\sum X_i)(\sum Y_i) / N \\ \sum x^2 &= \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2 / N \\ \sum y^2 &= \sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2 / N \end{aligned}$$

Si queremos ponerlo en rotación empleada en el análisis de variancia, el coeficiente de correlación múltiple puede calcularse con la siguiente relación:

$$r = \sqrt{\text{SC Regrasión} / \text{SC Total.}}$$

Al cuadrado del coeficiente de correlación múltiple (r^2) se le denomina coeficiente de determinación múltiple.

a) Características del Coeficiente de Correlación.-

Está dado en unidades abstractas.

Varía de -1 á $+1$. Cuando tiene el valor $+1$ indica una asociación perfecta y directa entre las dos variables, es decir, el aumento o disminución de una variable le corresponde un aumento o disminución de la otra variable. Cuando el valor es -1 indica una asociación perfecta é inversa entre las dos variables, es decir, cuando una variable aumenta de valor la otra variable disminuye. Cuando tiene el valor cero indica que no existe asociación entre las dos variables.

b) Asunciones en la Correlación.-

Entre X e Y hay una asociación de proporcionalidad en línea recta.

Cada una de las distribuciones de Y tiene una variancia que representamos por $\sigma_{y.x}^2$ asumimos que estas variancias son homogéneas é iguales con respecto a $\sigma_{x.y}^2$.

Las muestras de X e Y han sido extraídas al azar.

c) Pruebas de Significación.-

La significación del coeficiente de correlación múltiple se hace comparando su valor con los valores tabulares para 0.05 y 0.01 de la Tabla de R , buscados en la intersección de la línea correspondiente a los grados de libertad ($n-k$), siendo k el número de variables; y la columna de k . Si encontramos que el valor del coeficiente de correlación múltiple supera al último valor tabular, decimos que es altamente significativo.

6.3. RESULTADOS.

Para obtener toda la información posible del conjunto de datos seleccionados para los modelos matemáticos, se ha hecho uso de la computadora IBM 370/125 con que cuenta SIDERPERU. Además, se tienen programas pre-establecidos que hacen posible con la sola introducción de los datos en tarjetas perforadas, la obtención de los parámetros que son necesarios para establecer los modelos matemáticos, además de otros que permiten hacer las pruebas de significación sobre los coeficientes de la regresión, del coeficiente de correlación múltiple y de los modelos en conjunto. También se obtienen los cuadros de análisis de variancia y las respectivas desviaciones standard.

Todo esto es calculado teniendo como fundamento el desarrollo teórico efectuado en el acápite 6.2 de este capítulo.

El tratamiento matemático se hizo por calidades (16C, 16D y 19B), por grupos de espesores y obteniéndose corridas y modelos matemáticos según el cuadro siguiente:

CALIDAD	GRUPOS			Σ
16C	I	II		Σ 16C
16D	I	II	III	Σ 16D
19B	I	II	III	Σ 19B
Σ	Σ I	Σ II	Σ III	Σ G

Del cuadro N°6.1 al N°6.4 se presenta el resumen de información por calidades y contiene: Número de datos, coeficiente de intercepción (α), coeficientes de la regresión (β), coeficiente de correlación (R), des

viación standard de la regresión, el valor de F y la prueba de significación cuyo resultado se expresa con uno hasta cuatro asteriscos; un asterisco indica significación a un nivel de error del 5 % (F:0.05), dos asteriscos indica significación a un nivel de error del 1 % (F:0.01), tres asteriscos representa una alta significación y cuatro asteriscos indican una muy alta significación.

La no presencia de asteriscos indica que el parámetro probado no es significativo.

Del cuadro N° 6.5 al cuadro N°6.11 se presentan las ecuaciones de los modelos matemáticos que representan a cada variable dependiente: Límite Elástico ($LE = Y_1$), Carga de Rotura ($CR = Y_2$) y Porcentaje de Alargamiento ($\% A = Y_3$) en función de las variables independientes: Espesor ($e = X_1$), Temperatura de Acabado ($t = X_2$), Carbono ($C = X_3$), Manganeso ($Mn = X_4$) y Silicio ($Si = X_5$).

Además se incluye el valor de correlación parcial entre cada variable independiente con la variable dependiente, el error standard del coeficiente B_i y la prueba de significación para cada variable independiente empleando la prueba de t y usando el mismo criterio de calificación que para la prueba F.

CUADRO N° 6.1.

CALIDAD 16C

P.M.	GRUPO.	N	I ₀ (α)	COEFICIENTES DE LA REGRESION (β).					R.	DS.	F.	F TEORICO	PRUEBA DE F.
				e.	Temp.	C.	Mn.	Si.					
LIMITE ELASTICO.	I	74	20.656	-0.558	0.008	-2.765	11.026	19.674	.483	2.407	4.144	2.35 3.29	**
	II	29	40.122	-0.213	-0.031	66.685	14.943	-57.659	.647	2.236	3.310	2.64 3.94	*
	III	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	G	103	29.116	-0.453	-0.003	3.867	11.450	-2.379	.672	2.425	15.950	2.30 3.20	**
CARGA DE ROTURA.	I	74	30.428	-0.386	0.005	12.031	15.832	38.340	.475	2.661	3.969	2.30 3.20	**
	II	29	44.029	0.116	-0.023	19.846	24.787	-32.080	.415	3.616	0.956	2.64 3.94	-
	III	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	G	103	34.645	-0.183	-0.002	9.518	17.379	17.291	.433	2.945	4.471	2.30 3.20	**
% ALARGAMIENTO.	I	74	21.482	-0.135	0.004	15.788	-0.054	26.327	.195	2.614	0.539	2.64 3.94	-
	II	29	16.192	0.337	0.013	-66.976	8.403	26.591	.470	3.093	1.305	2.64 3.94	-
	III	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	G	103	10.953	0.290	0.012	-0.911	2.064	34.721	.510	2.775	6.824	2.30 3.20	**

CUADRO N° 6.2.

CALIDAD 16D

P.M.	GRUPO.	N.	I ₀ (α)	COEFICIENTES DE LA REGRESION (β).					R.	DS.	F.	F TEORICO	PRUEBA DE F.
				E.	Temp.	C.	Mn.	Si.					
LIMITE ELASTICO.	I	125	70.395	-0.424	-0.038	29.542	-2.115	-1.182	.390	3.016	4.259	2.29 3.18	**
	II	83	42.775	-0.203	-0.015	-31.654	5.907	36.015	.430	2.530	3.488	2.33 3.26	**
	III	63	29.182	-0.057	0.001	-3.214	-0.199	5.223	.113	2.749	0.148	2.38 3.37	-
	G	271	57.816	-0.222	-0.027	4.760	0.994	7.582	.623	2.881	34.212	2.25 3.10	***
CARGA DE ROTURA.	I	125	58.803	-0.302	-0.018	38.599	3.862	7.244	.393	2.333	4.351	2.29 3.18	**
	II	83	40.638	-0.061	-0.002	26.847	3.240	30.153	.390	2.676	2.763	2.33 3.26	*
	III	63	68.054	-0.120	-0.019	63.061	-8.761	-1.850	.340	3.380	1.494	2.38 3.37	-
	G	271	50.964	-0.100	-0.010	45.875	0.537	9.856	.418	2.736	11.218	2.25 3.10	***
ALARGAMIENTO. (%)	I	125	11.029	0.558	0.019	-62.333	-1.062	20.787	.380	3.709	4.012	2.29 3.18	**
	II	83	4.035	-0.011	0.035	-36.082	-1.534	-2.917	.427	2.417	3.435	2.33 3.26	**
	III	63	15.430	0.097	0.023	-96.098	6.239	7.538	.515	2.763	4.115	2.38 3.37	**
	G	271	6.566	0.201	0.029	-72.720	1.546	12.144	.609	3.161	31.165	2.25 3.10	***

CUADRO N° 6.3

CALIDAD 19B

P.M.	GRUPO.	N.	I ₀ (%)	COEFICIENTES DE LA REGRESION (β).					R.	DS.	F.	F TEORICO	PRUEBA DE F.
				e.	°t.	C.	Mn.	Si.					
LIMITE ELASTICO.	I	280	51.430	-0.808	-0.014	-5.046	0.428	4.225	.614	2.280	33.122	2.25 3.09	**
	II	43	30.300	-0.599	-0.006	33.714	8.788	-8.310	.645	1.690	5.286	2.47 3.56	**
	III	67	24.145	-0.036	-0.003	-31.181	13.094	-27.386	.406	2.031	2.410	2.37 3.34	*
	G	390	61.503	-0.251	-0.028	-10.287	0.140	-5.098	.791	2.624	128.138	2.22 3.06	****
CARGA DE ROTURA.	I	280	44.344	-0.202	-0.001	25.064	1.139	10.434	.266	2.043	4.185	2.25 3.09	**
	II	43	32.158	-0.562	0.009	38.194	11.976	-18.545	.554	2.041	3.280	2.47 3.56	*
	III	67	35.078	-0.019	-0.000	2.528	11.605	13.560	.377	1.977	2.023	2.37 3.34	-
	G	390	44.520	-0.092	-0.004	22.515	3.620	4.655	.479	2.079	22.873	2.22 3.06	***
(%) ALARGAMIENTO.	I	280	16.470	0.338	0.005	4.885	-0.519	-3.896	.290	2.434	5.038	2.25 3.09	**
	II	43	50.986	0.462	-0.013	14.574	-23.378	31.012	.499	2.501	2.449	2.47 3.56	-
	III	67	27.862	-0.016	-0.001	4.551	1.577	-14.377	.075	3.230	0.069	2.37 3.34	-
	G	390	13.580	0.112	0.011	2.529	-0.575	4.345	.478	2.696	22.728	2.22 3.06	***

CUADRO N° 6.4.

GRUPOS - CALIDADES 16C, 19B y 16D

P.M.	GRUPO.	N	I _o (α)	COEFICIENTES DE LA REGRESION (β)					R	DS	F	F TEORI- CO.	PRUEBA DE F
				e.	Temp.	C.	Mn.	Si.					
LIMITE ELASTICO.	I	479	49.786	-0.702	-0.017	-8.502	5.628	17.689	.632	2.557	62.892	2.23 3.06	***
	II	155	35.548	-0.280	-0.012	-1.343	8.416	22.618	.768	2.376	42.918	2.27 3.14	***
	III	130	32.294	-0.037	-0.007	-40.328	7.881	17.957	.727	2.434	27.744	2.29 3.17	***
		764	50.049	-0.253	-0.025	-5.813	8.403	10.719	.746	2.751	190.112	2.22 3.05	***
CARGA DE ROTURA.	I	479	40.286	-0.297	-0.003	19.726	9.203	18.458	.658	2.248	72.285	2.23 3.06	***
	II	155	29.955	-0.087	0.001	32.543	11.311	24.075	.731	2.770	34.208	2.27 3.14	***
	III	130	47.195	-0.027	-0.008	12.390	3.532	20.54	.511	2.831	8.750	2.29 3.17	***
	G	764	39.797	-0.094	-0.006	25.290	10.095	16.388	.650	2.504	110.712	2.22 3.05	***
% ALARGAMIENTO.	I	479	22.914	0.404	0.006	-17.042	-4.973	10.708	.392	2.908	17.166	2.23 3.06	***
	II	155	30.216	0.154	0.011	-57.335	-6.500	6.001	.448	2.677	7.480	2.27 3.14	***
	III	130	30.171	-0.017	0.005	-53.382	3.950	7.612	.497	3.083	8.126	2.29 3.17	***
	G	764	17.193	0.132	0.019	-37.897	-5.183	15.119	.559	3.033	68.942	2.22 3.05	***

CUADRO N° 6.5. . .

CALIDAD 16C - GRUPO GENERAL

PROPIEDAD MECANICA	a	b ₁ X ₁	b ₂ X ₂	b ₃ X ₃	b ₄ X ₄	b ₅ X ₅
LE = 29.116		- 0.453 e.	- 0.003 °t.	+ 3.867 C.	+ 11.450 Mn.	- 2.379 Si
Correlación X vs Y		- 0.635	- 0.304	0.009	0.206	- 0.065
Error Std. de b _i (Sb _i)		0.063	0.009	15.435	4.135	20.126
Valor de t = b _i /Sb _i		- 7.190	0.368	0.251	2.769	- 0.118
Significación to.		**	-	-	**	-
CR = 34.645		- 0.183 e	- 0.002 °t.	+ 9.518 C.	+ 17.379 Mn.	+ 17.291 Si
Correlación X vs Y		- 0.244	- 0.083	0.110	0.343	0.076
Error Std. de b _i (Sb _i)		0.077	0.011	18.744	5.021	24.440
Valor de t = b _i /Sb _i		- 2.390	- 0.209	0.508	3.461	0.707
Significación to.		*	-	-	**	-
% A + 10.953		+ 0.290 e.	+ 0.012 °t.	- 0.911 C.	+ 2.064 Mn.	+ 34.721
Correlación X vs Y		0.476	0.333	0.071	0.078	0.206
Error Std. de b _i (Sb _i)		0.072	0.011	17.660	4.731	23.027
Valor de t = b _i /Sb _i		4.019	1.091	- 0.052	0.436	1.508
Significación to.		**	-	-	-	-

N = 103

t 0.05 = 1.990

t 0.01 = 2.580

CUADRO N° 6.6

CALIDAD LSD - GENERAL.

PROPIEDAD MECANICA. a	b ₁ X ₁	b ₂ X ₂	b ₃ X ₃	b ₄ X ₄	b ₅ X ₅
LE = 57.816	- 0.222 e.	- 0.027 °t.	+ 4.760 C.	+ 0.994 Mn.	+ 7.582 Si
Correlación X vs Y	- 0.592	- 0.526	0.017	0.099	0.037
Error Std. de b _i (Sb _i)	0.032	0.007	12.349	2.835	6.627
Valor de t = b _i /Sb _i	- 6.892	- 3.977	0.385	0.350	1.144
Significación to.	**	**	-	-	-
CR = 50.964	- 0.100 e.	- 0.010 °t.	+ 45.875 C.	+ 0.537 Mn.	+ 9.856 Si
Correlación X vs. Y	- 0.303	- 0.252	0.251	0.144	0.141
Error Std. de b _i (Sb)	0.031	0.006	11.727	2.692	6.293
Valor de t = b _i /Sb _i	- 3.285	- 1.521	3.911	0.199	1.566
Significación to.	**	-	**	-	-
σ_p A = 6.566	+ 0.201 e.	+ 0.029 °t.	- 72.720 C.	+ 1.546 Mn.	+ 12.144 Si
Correlación X vs. Y	0.517	0.469	- 0.229	- 0.088	0.050
Error Std. de b _i (Sb)	0.035	0.007	13.547	3.110	7.270
Valor de t = b _i /Sb _i	5.683	3.868	- 5.368	0.497	1.670
Significación to.	**	**	**	-	-

N = 271

t 0.05 = 1.960

t 0.01 = 2.576

CUADRO N° 6.7

CALIDAD 19B - GRUPO GENERAL

PROPIEDAD MECANICA	a	b ₁ X ₁	b ₂ X ₂	b ₃ X ₃	b ₄ X ₄	b ₅ X ₅
LE = 61.503		- 0.251 e.	- 0.028 °t.	- 10.287 c	+ 0.140 Mn.	- 5.098 si.
Correlación X vs Y		- 0.762	- 0.610	- 0.046	- 0.053	- 0.050
Error Std. de b _i (Sb _i)		0.016	0.005	9.400	3.028	7.770
Valor de t = b _i /Sb _i		-15.914	- 6.125	- 1.094	0.046	- 0.656
Significación to.		***	**	-	-	-
CR = 44.520		- 0.092 e.	- 0.004 °t.	+ 22.515 C.	+ 3.620 Mn.	+ 4.655 Si.
Correlación X vs Y		- 0.445	- 0.283	0.158	0.076	0.053
Error Std. de b _i (Sb _i)		0.013	0.004	7.447	2.399	6.155
Valor de t = b _i /Sb _i		- 7.327	- 1.084	3.023	1.509	0.756
Significación to.		**	-	**	-	-
% A = 13.580		+ 0.112 e.	+ 0.011 °t.	+ 2.529 c.	- 0.575 Mn.	+ 4.345 Si.
Correlación X vs Y		0.463	0.362	0.017	0.025	0.038
Error Std. de b _i (Sb _i)		0.016	0.005	9.658	3.111	7.983
Valor de t = b _i /Sb _i		6.916	2.312	0.262	- 0.183	0.544
Significación to.		**	*	-	-	-

N = 390

t 0,05 = 1.96

t 0.01 = 2.576

CUADRO N° 6.8

GRUPOS I - CALIDADES 16C, 16D y 19B

PROPIEDAD MECANICA.	a	b ₁ X ₁	b ₂ X ₂	b ₃ X ₃	b ₄ X ₄	b ₅ X ₅
LE = 49.786		- 0.702 e.	- 0.017 °t.	- 8.502 C.	+ 5.628 Mn.	+ 17.689 Si
Correlación X vs Y		0.382	- 0.264	- 0.069	0.410	0.346
Error Std. de b _i (Sb _i)		0.061	0.005	7.165	1.833	4.336
Valor de t = b _i /Sb _i		- 11.429	- 3.611	- 1.187	3.071	4.080
Significación to.		***	**	-	**	**
CR = 40.286		- 0.297 e.	- 0.003 °t.	+ 19.726 C.	+ 9.203 Mn.	+ 18.458 Si
Correlación X vs Y		0.131	- 0.069	0.018	0.607	0.528
Error Std. de b _i (Sb _i)		0.054	0.004	6.298	1.611	3.811
Valor de t = b _i /Sb _i		- 5.510	- 0.617	3.132	5.713	4.843
Significación to.		**	-	**	**	**
% A = 22.914		+ 0.404 e.	+ 0.006 °t.	- 17.042 C.	- 4.973 Mn.	+ 10.708 Si
Correlación X vs Y		0.352	0.119	- 0.222	- 0.002	0.149
Error Std. de b _i (Sb _i)		0.070	0.006	8.148	2.084	4.931
Valor de t = b _i /Sb _i		5.781	1.053	- 2.092	- 2.386	2.172
Significación to.		**	-	*	*	*

N = 479

t 0.05 = 1.960

t 0.01 = 2.576

CUADRO N° 6.9

=====

GRUPOS II - CALIDADES 16C, 16D y 19B

=====

PROPIEDAD MECANICA.	a	b ₁ X ₁	b ₂ X ₂	b ₃ X ₃	b ₄ X ₄	b ₅ X ₅
LE = 35.548		- 0.280 e.	- 0.012 °t.	- 1.343 C.	+ 8.416 Mn.	+ 22.618 Si
Correlación X vs Y		0.435	0.131	- 0.206	0.694	0.685
Error Std. de b _i (Sb _i)		0.758	0.006	12.277	2.367	5.916
Valor de t = b _i /Sb _i		- 3.693	- 2.005	- 0.109	3.556	3.823
Significación to.		**	*	-	**	**
CR = 29.955		- 0.087 e.	+ 0.001 °t.	+ 32.543 C.	+ 11.311 Mn.	+ 24.075 Si
Correlación X vs Y		- 0.240	0.028	- 0.021	0.700	0.664
Error Std. de b _i (Sb _i)		0.088	0.007	14.315	2.760	6.897
Valor de t = b _i /Sb _i		- 0.987	0.133	2.273	4.099	3.490
Significación to.		-	-	**	**	***
% A = 30.216		+ 0.154 e.	+ 0.011 °t.	- 57.335 C.	- 6.500 Mn.	+ 6.001 Si
Correlación X vs Y		0.155	0.144	- 0.288	- 0.228	- 0.074
Error Std. de b _i		0.085	0.007	13.834	2.667	6.666
Valor de t = b _i /Sb _i		1.808	1.653	- 4.144	- 2.437	0.900
Significación to.		-	-	**	*	-

N = 155 t 0.05 = 1.970 t 0.01 = 2.600

CUADRO N° 6.10

GRUPOS III - CALIDADES 16D y 19B

PROPIEDAD MECANICA.	a	b ₁ X ₁	b ₂ X ₂	b ₃ X ₃	b ₄ X ₄	b ₅ X ₅
LE = 32.294		- 0.037 e.	- 0.007 °t.	- 40.328 C.	+ 7.881 Mn.	+ 17.957 Si
Correlación X vs Y		- 0.362	- 0.017	- 0.501	0.646	0.678
Error Std. de b _i (Sb _i)		0.029	0.008	12.289	3.772	6.501
Valor de t = b _i /Sb _i		- 1.270	- 0.830	- 3.282	2.089	2.762
Significación to.		-	-	**	*	**
Cr = 47.195		- 0.027 e.	- 0.008 °t.	+ 12.390 C.	+ 3.532 Mn.	+ 20.540 Si
Correlación X vs Y		0.268	- 0.062	- 0.173	0.450	0.492
Error Std. de b _i (Sb _i)		0.034	0.010	14.291	4.387	7.560
Valor de t = b _i /Sb _i		- 0.802	- 0.795	0.867	0.805	2.717
Significación to.		-	-	-	-	**
φ A = 30.171		- 0.017 e.	+ 0.005 °t.	- 53.382 C.	+ 3.950 Mn.	+ 7.612 Si
Correlación X vs Y		- 0.196	0.076	- 0.435	0.382	0.405
Error Std. de b _i		0.037	0.010	15.567	4.778	8.234
Valor de t = b _i /Sb _i		- 0.453	0.508	- 3.429	0.827	0.924
Significación to.		-	-	**	-	-

N = 130 t 0.05 = 1.980 t 0.01 = 2.617

CUADRO N° 6.11

GENERAL - CALIDADES 16C, 16D y 19B

PROPIEDAD MECANICA. a	b ₁ X ₁	b ₂ X ₂	b ₃ X ₃	b ₄ X ₄	b ₅ X ₅
LE = 50.049	- 0.253 e.	- 0.025 °t.	- 5.813 C.	+ 8.403 Mn.	+ 10.719 Si
Correlación X vs Y	- 0.619	- 0.476	- 0.100	0.291	0.262
Error Std. de b _i (Sb _i)	0.014	0.004	5.895	1.437	3.296
Valor de t = b _i /Sb _i	- 18.136	- 7.044	- 0.986	5.850	3.252
Significación to.	***	**	-	**	**
CR = 39.797	- 0.094 e.	- 0.006 °t.	+ 25.290 C.	+ 10.095 Mn.	+ 16.388 Si
Correlación X vs Y	- 0.213	- 0.112	- 0.019	0.560	0.506
Error Std. de b _i (Sb _i)	0.013	0.003	5.366	1.308	3.000
Valor de t = b _i /Sb _i	- 7.378	- 1.828	4.713	7.720	5.463
Significación to.	**	-	**	**	**
φ A = 17.193	+ 0.132 e.	+ 0.019 °t.	- 37.897 C.	- 5.183 Mn.	+ 15.119 Si
Correlación X vs Y	0.453	0.392	- 0.278	0.119	0.249
Error Std. de b _i	0.0154	0.004	6.500	1.584	3.684
Valor de t = b _i /Sb _i	8.605	4.868	- 5.831	- 3.273	4.161
Significación to.	**	**	**	**	**

N = 764

t 0.05 = 1.960

t 0.01 = 2.576

6.4. EMPLEO DE LOS MODELOS MATEMATICOS.

Una vez obtenidos los modelos matemáticos para cada grupo y calidad y efectuadas las pruebas de significación se procede a establecer los rangos de composición para las calidades propuestas.

Con este fin se toman los modelos de mayor significación y se reemplazan valores mínimos y máximos de las variables independientes de acuerdo al signo de la función; si es positivo se considera el valor mínimo y si es negativo se considera el valor máximo de mas rangos previamente establecidos. Esta secuencia se realiza para obtener un valor determinado en cada variable dependiente y que luego se compara con los valores mínimos establecidos por las especificaciones.

De este modo se van ajustado progresivamente los valores en las variables independientes hasta que en el grupo de calidad determinado se obtenga un valor en cualquiera de las variables que está muy próximo a lo especificado como mínimo. Cuando sucede esto se toman en consideración los valores empleados en este último ajuste.

Con ligeras modificaciones y de acuerdo a prácticas usuales de fabricación en Acería se han establecido los rangos de composición química para el análisis de cuchara que figuran en el Cuadro N° 6.12 las cuales han sido tomadas en cuenta para el cálculo de carga en la fabricación y evaluación económica final.

CUADRO N° 6.12

=====

RANGOS DE COMPOSICIONES QUIMICA PARA LAS CALIDADES PROPUESTAS.

CALIDAD PROPUESTA	COMPOSICION QUIMICA EN CUCHARA, %.				
	C	Mn	Si	S max.	P máx.
16C-1	.12/.16	.40/.60	.10 máx	.035	.035
16C-2	.14/.18	.50/.70	.10 máx	.035	.035
16D-1	.12/.16	.40/.60	.15/.25	.035	.035
16D-2	.14/.18	.50/.70	.15/.25	.035	.035
16D-3	.14/.18	.70/.90	.15/.25	.035	.035
19B-1	.14/.18	.40/.60	.10 máx	.035	.035
19B-2	.16/.20	.60/.80	.10 máx	.035	.035
19B-3	.18/.22	.80/1.00	.10 máx	.035	.035

CAPITULO VII
=====NORMAS TECNICAS APLICABLES7.1. NORMAS TECNICAS NACIONALES.-

El Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas - ITINTEC - , es un Organismo Público Descentralizado de Derecho Público Interno del Sector Industria y Comercio, cuya finalidad es la Investigación Tecnológica Industrial y el establecimiento y aprobación de las Normas Técnicas Nacionales.

Las Normas Técnicas Nacionales son establecidas por los Comités Especializados en la materia de que se trate y está conformado por miembros de los Sectores Producción, Consumo y Técnico.

7.1.1. NORMA ITINTEC 1:03-004.- En el caso de los aceros estructurales se cuenta con el Proyecto de Norma Técnica ITINTEC 1:03-004 PLANCHAS GRUESAS DE ACERO AL CARBONO PARA USO GENERAL Y ESTRUCTURAL, actualmente en etapa de discusión. Esta norma define como plancha gruesa al producto laminado plano cuyo espesor es mayor de 4.75 mm. y cuyo ancho es mayor de 500 mm. Las características que define son aplicadas a planchas gruesas de acero al carbono con espesor de hasta 100 mm. Clasifica los aceros en 5 grados: El EG-00 para uso general y los grados EG-24, EG-26, EG-30 y EG-36 para uso estructural y según sus propiedades mecánicas.

Para las tolerancias dimensionales y de forma es aplicable la NORMA ITINTEC 341.124.

Los límites de composición química en el análisis de cuchara son los indicados en la Tabla 7.1.

TABLA 7.1

Composición Química de los Aceros en el Análisis de Cuchara.

GRADO ELEMENTO (%)	EG-00	EG-24	EG-26	EG-30	EG-36
C máx.	-	0.25	0.25	0.30	0.22
P máx.	0.040	0.040	0.040	0.040	0.035
S máx.	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050

Las propiedades mecánicas de los aceros están de acuerdo con los límites indicados en la Tabla 7.2.

En las probetas sometidas al ensayo de doblado a 180° a la temperatura ambiente no deberán presentarse grietas en la cara externa, no tomándose en cuenta la aparición de pequeñas grietas en los bordes.

Cuando se solicitan requisitos de impacto, el criterio de muestreo, las temperaturas de ensayo y los valores a ser cumplidos, deberán ser establecidos por acuerdo previo entre comprador y productor.

Esta Norma además establece otros requisitos como bases de compra, forma de entrega, condiciones de superficie de las planchas, defectos internos, soldabilidad y método de desoxidación. También establece el muestreo, tipo de probetas, aceptación y rechazo, **inspección, reclamación**, certificados, métodos de ensayo y envase y rotulado.

Los aceros estructurales fabricados por SIDERPERU: 16C-E21 y 16C-E24 se adecuan aproximadamente a los aceros ITINTEC EG-24 y EG-26 respectivamente.

TABLA 7.2

Propiedades Mecánicas

Propiedades Mecánicas.		Grado	USO	USO ESTRUCTURAL.			
			GENERAL	EG-24	EG-26	EG-30	EG-36 ⁽¹⁾
			EG-00				
Resistencia a la tracción mínima. MPa.		e ≤ 63	295	365	410	490	510
		63 < e ≤ 100	-	355	400	480	-
Límite de fluencia mínimo. MPa.	Espesor	e ≤ 16	-	235	255	295	355
		16 < e ≤ 40	-	225	245	285	-
		40 < e ≤ 63	-	215	235	275	-
		63 < e ≤ 80	-	205	225	265	-
		80 < e ≤ 100	-	195	215	255	-
Alargamiento % mínimo para Lo = 200 mm y 38 mm de ancho de la zona calibrada.	e mm.	e ≤ 5	-	17	16	14	14
		5 < e ≤ 10	-	19	17	16	16
		10 < e ≤ 15	-	21	19	18	18
		15 < e ≤ 20	-	22	20	19	-
		20 < e ≤ 25	-	23	21	20	-
		25 < e ≤ 35	-	25	23	21	-
		35 < e ≤ 50	-	26	24	23	-
Alargamiento % mínimo para Lo = 5,65 √So		Todos	-	25	23	22	22
Doblado a 180° diámetro del mandril en función del espesor de la probeta.		4,75 < e ≤ 6	2,0e	1,0e	1,5e	3,5e	3,0e
		6 < e ≤ 16	3,0e	1,5e	2,0e	3,5e	3,0e
		16 < e ≤ 63	3,0e	2,0e	2,5e	4,5e	-
		e > 63	-	2,0e	2,5e	4,5e	-

7.1.2. NORMA ITINTEC 1:03-009.- El acero 19B-ES24 cuenta con una Norma aparte que actualmente se encuentra en etapa de implementación como Proyecto de Norma Técnica ITINTEC 1:03-009 PLANCHAS GRUESAS DE ACERO AL CARBONO PARA CONSTRUCCIONES NAVALES. Esta norma establece las características que deben cumplir estas planchas con espesor hasta de 50 mm.

Según sus características, las planchas comprendidas en esta norma se clasifican en los siguientes grados: N-A, N-B, N-D y N-E. En las bases de compra se tienen que indicar el número de la norma, grado del acero, dimensiones: espesor, ancho y longitud, bordes de laminación o recortados, cantidad pedida, grado de desoxidación. Por convenio previo entre comprador y productor, se podrán establecer las siguientes condiciones especiales: tratamiento térmico, marcado especial, restricciones al reacondicionamiento de defectos y otros requisitos especiales.

Los límites de composición química del acero de las planchas en el análisis de ~~cuchara~~ ^{para} son los indicados en la Tabla 7.3.

Las propiedades mecánicas de la tracción é impacto deberán cumplir con los límites indicados en la Tabla 7.4

Para el tratamiento térmico, las planchas se entregarán según se solicite, en algunas de las condiciones indicadas en la Tabla 7.5. Las planchas en condición de laminación controlada serán entregadas sin tratamiento térmico tras su último pase, pero la laminación de las mismas se efectuará con precauciones especiales en lo referente al rango de temperaturas durante la laminación en caliente, así como las condiciones de reducciones de sección y enfriamiento de la plancha.

La norma en mención establece además otros requisitos generales tales como inspección y recepción, método de ensayo, rotulado, envase y embalaje.

TABLA 7.3

Composición Química (Análisis de Cuchara).

Grado Elemento %	N - A	N - B	N - D	N - E
C máx.	0,23	0,21	0,21	0,18
Mn.	(3)(5)	mín 0,80 ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	0,60-1,40 ⁽⁵⁾	0,70-1,50 ⁽⁵⁾
C+1/6 Mn. máx.	0,40	0,40	0,40	0,40
(2) Si	máx 0,50	máx. 0,50	0,10-0,50	0,10-0,50
P máx.	0,040	0,040	0,040	0,040
S máx.	0,040	0,040	0,040	0,040
Al	---	---	mín 0,015 ⁽⁶⁾	mín 0,015 ⁽⁶⁾
Desoxidación.	Cualquier(1) método.	No efervescente.	Calmado, <u>gr</u> no fino.	Calmado, <u>gr</u> fino.

NOTAS A LA TABLA

- 1) El acero de grado N-A para planchas de espesor menor o igual a 12,5 mm. podrá ser efervescente. Siempre que esta característica figure en el certificado correspondiente y no esté excluida por la orden de compra.

- 2) Por acuerdo previo el contenido máximo de Si podrá ser 0,35 %.
- 3) En el acero de grado N-A para planchas de espesor mayor de 12,5 mm. el contenido de manganeso no será menor de 2,5 veces el contenido de carbono.
- 4) En el acero de grado N-B cuando el contenido de silicio fuese 0,10 % ó más (acero calmado) el contenido mínimo de manganeso podrá ser reducido a 0,60 %.
- 5) Para todos los grados el contenido de manganeso podrá ser de hasta 1,65 % siempre y cuando
- $$C + \frac{Mn}{6} \leq 0,40 \%$$
- 6) Los valores indicados en la tabla corresponden al contenido de aluminio soluble en ácido. En caso de determinarse el contenido de aluminio total éste no deberá ser menor que 0,20 %.

TABLA 7.4

Propiedades Mecánicas.

		N-A	N-B	N-D	N-E		
Resistencia a la tracción, mín. (MPa)		400	400	400	400		
Límite de fluencia, mín. (MPa).		235 (1)	235	235	235		
Alargamiento % mín. para $l_0 = 200$ mm. y 38 mm. de ancho de la zona calibrada.	Espesores e en mm.						
	$e \leq 5$ (2)	15	15	15	15		
	$5 < e \leq 10$	16	16	16	16		
	$10 < e \leq 15$	17	17	17	17		
	$15 < e \leq 20$	18	18	18	18		
	$20 < e \leq 25$	19	19	19	19		
	$25 < e \leq 35$	20	20	20	20		
	$35 < e \leq 50$	21	21	21	21		
Alargamiento % mín. para $l_0 = 5,65 \sqrt{S_0}$		22	22	22	22		
Ensayo de Impacto.	Temperatura de Ensayo.	--	0°C	0°C	-20°C	-40°C	
	Energía Promedio mín. (J).	Ancho de la probeta (mm)					
		10		27	47	27	27
		7,5	--	23	39	23	23
		5,0	--	19	31	19	19
2,5	--	14	23	14	14		

NOTAS A LA TABLA

(1) Para el acero de grado N-A para espesores mayores de 25,0 mm, el límite de fluencia mínimo será de 225 MPa.

(2) Se utilizarán probetas de $L_0 = 50$ mm.

El ensayo al impacto de las planchas de grado N-D podrá realizarse según lo indique el comprador ya sea a 0°C ó a $- 20^{\circ}\text{C}$. En caso de que el comprador no indicara temperatura de ensayo, éste se realizará a 0°C .

TABLA 7.5

=====

Tratamiento Térmico

Grado	Espesores.	Condiciones de suministro.
N-A	Todos los espesores.	En estado de laminación, normalizado o con laminación controlada.
N-B	Todos los espesores.	En estado de laminación, normalizado o con laminación controlada.
N-D	Menores de 35,5 mm.	En estado de laminación, normalizado o con laminación controlada.
	Mayores de 35,5 mm.	Normalizado o con laminación controlada.
N-E	Todos los espesores.	Normalizado.

7.2. NORMAS INTERNACIONALES.

Por lo general cada país cuenta con un organismo oficial que tiene por finalidad la de elaborar y aprobar las normas que concuerdan con sus condiciones específicas; es el caso de ITINTEC en el Perú. Aparte existen otro tipo de organismos que agrupan a varios países de una determinada región, por ejemplo: COPANT (Comisión Panamericana de Normas Técnicas) que

actúa a nivel Panamericano; EURONOR que agrupa a países de EUROPA.

También existe un organismo que tiene carácter mundial, se trata de la ISO (Organization International of Normalization). Además de estos organismos existen otros de carácter particular y reconocidos mundialmente los cuales se toman como base para la designación y elaboración de determinado producto y para diferentes tipos de ensayo aplicados a estos materiales. Así tenemos: La ASTM (American Society for Testing and Materials), la DIN (Deutsche Industrie Normen) de Alemania, la JIS (Japanese Industrial Standards) del Japón, la LSR (Lloyd's Register of Shipping) de Inglaterra, la SAE (Society of Automotive Engineers) y la API (American Petroleum Institute) de EEUU, etc.

En lo que sigue hacemos un resumen de diferentes normas que pueden ser aplicados a nuestros aceros según la ASTM. Luego de la LRS y DIN vemos las normas que fueron tomadas como base para la fabricación de nuestros aceros estructurales al carbono 19B-ES24 y 16D-EC24, respectivamente.

7.2.1. LA AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM):- Fundada en 1898, es una organización científica y técnica formada para el desarrollo de normas sobre las características y función de los materiales, productos, sistemas y servicios; y la promoción del conocimiento afín. Es el proveedor más grande del mundo de normas de acuerdo general voluntario.

La sociedad opera a través de 120 Comités técnicos de mayor importancia. Estos Comités funcionan en campos prescritos bajo regulaciones que aseguran una cantidad de representantes balanceado entre productores, usuarios y participantes interesados en general.

Entre las principales normas relativas a los aceros estructurales al carbono encontramos un buen número que tienen diferentes aplicaciones. Así tenemos:

- a) La Norma ASTM A-283: Especificaciones Standard de Planchas de Acero al Carbono de Calidad Estructural para Baja é Intermedia Resistencia a la Tracción, tiene aplicación general y contempla cuatro grados de acero: A, B, C y D según su resistencia mecánica.

El Grado C de esta norma es el que se tomó como base para la fabricación de nuestro acero estructural 16C-E21 y el Grado D se asemeja bastante a nuestro acero 16D-EC24.

El análisis de colada cumple con los requerimientos presentes en la Tabla 7.6. Los valores derivados del ensayo de tracción deberán cumplir con los requerimientos fijados en la Tabla 7.7.

Las probetas de ensayo de doblado deberán ser dobladas en frío con un ángulo de 180° sin agrietamiento en la cara exterior de la porción doblada. El diámetro interior formado tendrá una relación al espesor de la probeta similar al indicado en la Tabla 7.8

TABLA 7.6

=====

Requerimientos Químicos (ASTM A-283)

Elementos	Análisis de Colada, %.
P. máx.	0.04
S. máx.	0.05
Cu. mín. (cuando es especificado.	0.20

TABLA 7.7

Requerimientos Mecánicos (ASTM A-283)

	GRADO A	GRADO B	GRADO C	GRADO D
Resistencia a la tracción, MPa.	310-380	345-415	380-450	415-495
Límite de Fluencia, mín. MPa.	165	185	205	230
% Alargamiento en 200 mm.	27	25	22	20
% Alargamiento en 50 mm.	30	28	25	23

TABLA 7.8

Requerimientos de Ensayo de Doblado (ASTM A-283)

Espesor de Probeta (mm.)	Relación del diámetro interior de doblado al espesor de la probeta (a).			
	GRADO A	GRADO B	GRADO C	GRADO D
$e \leq 19$	Contacto	Contacto	Contacto	1/2
$19 < e \leq 25$	Contacto	Contacto	1/2	1
$25 < e \leq 38$	1/2	3/4	1	1 1/2
$38 < e \leq 51$	1	1 1/2	2	2 1/2
$51 < e \leq 76$	1 1/2	2	2 1/2	3
$76 < e \leq 102$	2	2 1/2	3	3 1/2
$e > 102$	2 1/2	3	3 1/2	4

(a) Probetas tomadas en la dirección longitudinal de laminado.

- b) La Norma ASTM A-131: Especificación Standard de Aceros Estructurales para Barcos, está indicada para perfiles, planchas, barras y remaches de acero estructural para ser empleados en construcciones navales.

Esta norma comprende cinco grados de acero estando limitados en el espesor máximo de planchas suministradas del siguiente modo: Los grados A, C, E, CS, son limitados hasta 50.8 mm. de espesor inclusive; la plancha de grado B es limitada hasta 25.4 mm. y las planchas de grado D son limitadas hasta 34.9 mm. de espesor inclusive.

SIDERPERU con su acero 19B-ES24, Naval, se adecúa al Grado A de esta norma y actualmente viene realizando pruebas para cubrir otros grados de este acero.

El material solicitado en los grados CS y E será normalizado por el fabricante en todos los espesores. Cuando se especifique en la Orden de Compra material mayor de 34.9 mm. en el Grado C para ser usado en partes estructurales importantes de los barcos, este material deberá ser normalizado por el fabricante.

La composición química del análisis de cuchara cumple con los requerimientos establecidos en la Tabla 7.9. Cuando se trate de perfiles, barras y remaches solamente se ciñen a lo establecido para el Grado A en ~~en~~ composición química.

Los valores de ensayo de tracción deberán cumplir los requerimientos fijados en la Tabla 7.10.

En los grados D y E se deberán efectuar ensayos de impacto Charpy con entalle en V y los valores promedio de tres probetas deberán cumplir con los requerimientos prescritos en la Tabla 7.11.

TABLA 7.9

=====

Requerimientos Químicos para el Análisis de Cuchara (ASTM A-131).

ELEMENTO.	COMPOSICION QUIMICA %					
	GRADO A (a)	GRADO B	GRADO C	GRADO CS	GRADO D	GRADO E
C. máx.	(b)	0.21	0.23(c)	0.18	0.21	0.18 ^a
Mn.	(b)	0.80-1.10 (e) (d)	0.60-0.90 (d)	1.00-1.35 (d)	0.60-1.35 (d)	0.70-1.35 (d)
P.	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
S.	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Si.	-	(e)	0.10-0.35	0.10-0.35	0.35 máx.	0.10-0.35

- (a) El grado de Acero A, en espesores mayores de 12.7 mm. será semicalmado o calmado.
- (b) Las planchas del grado A en espesores mayores a 12.7 mm tendrán un contenido de 0.24 % máx. de carbono y un rango de 0.60 á 0.90 % de manganeso.
- (c) El material del grado C para ser normalizado puede tener el contenido de carbono máximo incrementado en 0.01 %.
- (d) El límite superior para manganeso puede excederse siempre que cumpla con $C + 1/6 Mn. \leq 0.40 \%$, basado sobre el análisis de cuchara.
- (e) Cuando el contenido de Silicio para el grado B es 0.10 % o mayor, el contenido de manganeso mínimo puede ser de 0.60 %.

TABLA 7.10

=====

Requerimientos de Tracción (ASTM A-131)

	ACERO ESTRUCTURAL	ACERO PARA REMACHES
	MPa*	MPa*
Resistencia a la tracción.	400-490 (a)	379-448
Límite de fluencia, mín.	221	207
Alargamiento, en 200 mm.	21	23
Alargamiento, en 50 mm.	2½	26

* 1 Kg/mm². = 10 MPa.

(a) Se puede aplicar un rango de resistencia a la tracción de 400 á 552 MPa para perfiles del grado A suministrado con contenido de Carbono que no exceda de 0.26 % en el análisis de cuchara.

TABLA 7.11

=====

Requerimientos de Ensayo de Impacto (ASTM A-131)

GRADO y FRECUENCIA	Probeta Longitudinal Promedio mín. Kgn.	Probeta Transversal Promedio mín. Kgn.
Grado D, 0°C.	4.70	2.22
Grado E, -10°C.	6.30	4.20

c) Norma ASTM A 36: Especificación Standard para Aceros Estructurales.

Esta especificación cubre perfiles, planchas y barras de acero al carbono calidad estructural para uso en remaches, pernos o construcciones soldadas de puentes y edificios y para propósito estructural en general.

El análisis de cuchara de estos aceros deberá cumplir con los requerimientos prescritos en la Tabla 7.12.

El material que está representado por la probeta de ensayo deberá cumplir con los requerimientos especificados para las propiedades mecánicas según la Tabla 7.13. Los perfiles menores de 645 mm^2 de sección transversal y las barras menores de 13 mm. de espesor ó diámetro no necesitan estar sujetos a ensayo de tracción por el fabricante.

Las probetas para ensayo de doblado deberán ser dobladas en frío a través de 180° , sin agrietamiento sobre la cara exterior de la porción doblada, a un diámetro interior el cual tendrá una relación al espesor de la probeta como se indica en la Tabla 7.14.

TABLA 7.12

=====

Requerimientos Químicos (ASTM A 36)

PRODUC TO.	PERFI LES*	P L A N C H A S					B A R R A S				
		$e \leq 19$	$19 < e \leq 38$	$38 < e \leq 64$	$64 < e \leq 102$	$e > 102$	$e \leq 19$	$19 < e \leq 38$	$38 < e \leq 102$	$e > 102$	
ESPE - SOR mm	Todo	$e \leq 19$	$19 < e \leq 38$	$38 < e \leq 64$	$64 < e \leq 102$	$e > 102$	$e \leq 19$	$19 < e \leq 38$	$38 < e \leq 102$	$e > 102$	
C. máx	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29	0.26	0.27	0.28	0.29	
Mn.	-	-	0.80-1.20	0.80-1.20	0.85-1.20	0.85-1.20	-	0.60-0.90	0.60-0.90	0.60-0.90	
P. máx	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	
S. máx	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	
Si máx	-	-	-	0.15-0.30	0.15-0.30	0.15-0.30	-	-	-	-	
Cu mín (cuando es especificado)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	

* Se requiere contenido de Manganeso de 0.85 - 1.35 y Silicio de 0.15 - 0.30 para perfiles mayores a 426 lb/pie.

TABLA 7.13

Requerimientos de Tracción (ASTM A 36)

PRODUCTO	E N S A Y O D E T R A C C I O N			
	R, MPA. mín.	F, MPA. mín.	A % mín.	Probeta (mm).
Planchas	400-550	250	23	50
			20	200
Perfiles (a)	400-550	250	21	50
			20	200
Barras.	400-550	250	23	50
			20	200

(a) Para perfiles de ala ancha con más de 426 lb/pie, se aplica solamente la resistencia a la tracción mínima de 400 MPa y alargamiento de 19 % en 50 mm.

TABLA 7.14

Requerimientos de Ensayo de Doblado (ASTM A 36)

Espesor del Material mm.	Relación de diámetro de doblado a espesor de las probetas para planchas, perfiles y barras.
$e \leq 19$	1/2
$19 < e \leq 25$	1
$25 < e \leq 38$	1 1/2
$38 < e \leq 51$	2 1/2
$e > 51$	3

d) Norma ASTM A 285: Especificación Standard para Planchas de Acero al Carbono para Recipientes a Presión de Baja é Intermedia Resistencia a la Tracción. Las Planchas según esta norma son aptas para fabricar

recipientes a presión soldados por fusión. La norma clasifica tres grados: A, B y C de acuerdo a su resistencia a la tracción.

Nuestro acero 16C-E21 por extensión puede ser aplicado a esta norma ya que cumple con todos los requerimientos de ésta. Los requerimientos químicos y del ensayo de tracción son dados en las Tablas 7.15 y 7.16, respectivamente.

TABLA 7.15

=====

Requerimientos Químicos (ASTM A 285)

	C O M P O S I C I O N %		
	GRADO A	GRADO B	GRADO C
C. máx.	0.17	0.22	0.28
Mn. máx.	0.90	0.90	0.90
P. máx.	0.035	0.035	0.035
S. máx.	0.045	0.045	0.045

TABLA 7.16

=====

Requerimientos de Tracción (ASTM A 285)

	E N S A Y O D E T R A C C I O N		
	GRADO A	GRADO B	GRADO C
R, MPa.	310-450	345-485	380-515
F mín., MPa.	165	185	205
A % mín., 200 mm	27	25	23
A % mín., 50 mm	30	28	27

* 1 Kg/mm². = 10 MPa.

7.2.2. NORMA LRS PARA LA CONSTRUCCION DE EMBARCACIONES.- La Lloyd's Register of Shipping es una Sociedad Inglesa renombrada mundialmente como aseguradora de barcos. Las Siderúrgicas que suministran planchas navales requieren tambien la aprobación de estas Sociedades, sin cuyo requisito no se conseguirá sea asegurado el barco. Es por esto que SIDERPERU cuenta con dicha aprobación y fabrica el producto en concordancia con el Capítulo P: MATERIALES PARA LA CONSTRUCCION DE BARCOS, DE LAS REGLAS Y REGULACIONES PARA LA CONSTRUCCION Y CLASIFICACION DE BARCOS DE ACERO, Editada por el Comité de la Lloyd's Register of Shipping según esta especificación los aceros se clasifican en cinco grados diferentes: A, B, C, D y E que se diferencian por su composición química y valores de resiliencia, más no en sus propiedades mecánicas que permanecen constantes.

Las características principales de estos aceros estan contenidos en la Tabla 7.17. SIDERPERU actualmente suministra acero naval del Grado A según esta especificación, estando en proceso de experimentación el posible suministro de los otros grados de acero.

Especial énfasis se pone en la soldadura, estableciéndose que el acero deberá ser fabricado y soldado en las condiciones de trabajo del astillero. Si el equivalente de carbono calculado en el análisis de cuchara y empleando la fórmula indicada a continuación, es mayor de 0.45 por ciento, se usarán precalentamiento y electrodos aprobados de alta resistencia y con porcentaje bajo de hidrógeno. Si el contenido de carbono es menor de 0.45 por ciento se usarán electrodos aprobados de alta resistencia y con porcentaje bajo de hidrógeno, pero en general no se requerirá precalentamiento salvo en condiciones de gran retracción o temperatura ambiente baja. Si el equivalente de carbono no es mayor de 0.41 por ciento podrá emplearse cualquier tipo de

electrodos aprobados de alta resistencia y, en general, no se requerirá el precalentamiento, salvo como se indicó anteriormente:

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

Esta fórmula solamente es aplicable a aceros que son básicamente del tipo Carbono-Manganeso conteniendo pequeñas cantidades de elementos para refinar el grano, por ejemplo, niobio, vanadio o aluminio.

TABLA 7.17

Características Generales para los Aceros Navales.

GRADO DE ACERO:	A	B	C	D	E
DESCOXIDACION.	Cualquier Método (1)	Cualquier Método.	Especialmente Calmado.	Cualquier Método menos eferv	Especialmente Calmado.
TAMAÑO DE GRANO AUSTENITICO (ASTM)	-	-	5 ó más fino (4)	-	5 ó más fino.
COMP. QUÍMICA (Anál. de cuchara).					
Carbono, % máx.	(2)	0.21	0.23 (5)	0.21 (5)	0.18 (5)
Manganeso, %.	(2)	0.80 mín.	0.60-1.40	0.60-1.40	0.70-1.50
Silicio, %.	-	-(3)(5)	0.15-0.30	0.35 máx.	0.10-0.35
Azufre, % máx.	0.05 máx	0.05	0.05	0.05	0.05
Fósforo, % máx.	0.05 máx	0.05	0.05	0.05	0.05
PRUEBA DE TRACCION					
Carga de Rotura, Kg/mm ² .	41 á 50	41 á 50	41 á 50	41 á 50	41 á 50
Fluencia, Kg/mm ² .	23.5 mín	23.5 mín	23.5 mín	23.5 mín	23.5 mín.
Alargamiento, % mín. L=5.65 $\sqrt{S_0}$	22 mín.	22 mín.	22 mín.	22 mín.	22 mín.
PRUEBA DE RESILIENCIA.					
Temp. de Prueba	-	-	-	0°C.	-10°C.
Energía mín. Kgs. para anchos de:					
10 mm.	-	-	-	4.8	6.2
7.5 mm.	-	-	-	4.1	5.4
5.0 mm.	-	-	-	3.5	4.6

- (1) Para el Grado A se puede aceptar acero efervescente hasta un espesor de 12.5 mm.
- (2) Para el Grado A en espesores mayores a 12.5 mm., el contenido de Mn. no será menor de 2.5 menos el contenido de C.
- (3) Para el Grado B, cuando el contenido de Silicio es 0.15 % ó más (acero calmado), el contenido mínimo de Mn. puede ser reducido a 0.60 %.
- (4) En el Grado C la determinación del tamaño de grano puede ser sustituida por pruebas de resiliencia igual al Grado D.
- (5) En los Grados B, C, D y E, la suma del contenido de Carbono más la sexta parte del contenido de manganeso no excederá del 0.40 %.

7.2.3. NORMA DIN 17100: Aceros Generales Para la Construcción.- Esta Norma DIN (Deutsche Industrie Normen) es de origen Alemán y tiene como campo de aplicación una enorme gama de productos tales como: Perfiles, acero en barras, alambre laminado, acero plano ancho, banda, chapa gruesa y mediana, semiproductos y piezas forjadas de aceros no aleados y poco aleados en estado conformado en caliente o normalizado.

Se entiende por aceros generales para la construcción aquellos aceros no aleados o en caliente, después de un normalizado ó después de una conformación en frío, se emplean normalmente debido a su resistencia a la tracción y a su límite de fluencia, por ejemplo, en la construcción de edificios, puentes, obras hidráulicas, depósitos, maquinaria y vehículos.

Esta norma comprende los tipos de aceros indicados en la Tabla 7.19 que se puede suministrar en tres grupos de calidad. Siendo iguales los valores de las propiedades mecánicas, se distinguen entre sí los tipos de acero de los distintos grupos de calidad por su composición química, por su trabajabilidad especial y por su sensibilidad a la fragilidad y por su soldabilidad.

El tipo de acero RST 37-2 es el que fabricamos con la designación 16D-EC24 a pedido del SIMA.

Los aceros según esta norma se suministra en general en estado conformado en caliente, a saber forjados o laminados en caliente, sin embargo, para la chapa y el acero plano ancho entra en cuenta normalmente el estado de suministro indicado en la Tabla 7.18. El normalizado puede sustituirse por laminación controlada.

TABLA 7.18

=====

Estado de Suministro Usual del Acero.

TIPO DE ACERO.	ESTADO DE SUMINISTRO PARA ESPESOR DE LA CHAPA, mm.		
	3 a 4.75	4.76 a 25	más de 25.
St 33-1, St 34-1, St 37-1, St 42-1, St 50-1 St 60-1.	N	U	U
St 33-2, St 34-2, St 37-2, St 42-2, St 46-2 St 50-2.	N	U	N
St 60-2, St 70-2.		N	N
St 37-3, St 42-3, St 46-3, St 52-3	N	N	N

N = Normalizado.

U = Laminado en Caliente.

Para la composición química de estos aceros se garantizan los valores indicados en la Tabla 7.19.

Las propiedades tecnológicas se garantizan según la Tabla 7.20. Los valores garantizados se refieren al estado usual de suministro según la Tabla 7.18.

La aptitud de los aceros para la soldadura por fusión está determinada, entre otros por su inclinación al endurecimiento por temple y con ello por su contenido de carbono y en mayor proporción por su sensibilidad a la fragilidad. Según ello, la aptitud para la soldadura en los aceros de bajo carbono es mayor que en los aceros ricos en carbono con un límite de aproximadamente 0.22 % de carbono en el análisis de cuchara. Esta norma además contempla otros requisitos como naturaleza de superficie, ensayos, muestreo, etc.

TABLA 7.19

Composición Química de los Aceros Generales para la Construcción.

TIPO DE ACERO.	COMPOSICION QUIMICA EN % Máx.					
	ANALISIS DE CUCHARA.			ANALISIS DE PRODUCTO.		
	C.	P.	S.	C.	P.	S.
St 33-1	-	-	-	-	-	-
St 33-2	-	0.060	0.050	-	0.075	0.063
USt 34-1	0.17	0.080	0.050	0.21	0.10	0.063
RSt 34-1				0.19	0.088	0.055
USt 34-2	0.15	0.050	0.050	0.19	0.063	0.063
RSt 34-2				0.17	0.055	0.055
USt 37-1	0.20	0.070	0.050	0.25	0.090	0.063
RSt 37-1				0.22	0.080	0.055
USt 37-2	0.18	0.050	0.050	0.22	0.063	0.063
RSt 37-2	0.17			0.19	0.055	0.055
St 37-3	0.17	0.045	0.045	0.19	0.050	0.050
USt 42-1	0.25	0.080	0.050	0.31	0.10	0.063
RSt 42-1				0.28	0.088	0.055
USt 42-2	0.25	0.050	0.050	0.31	0.063	0.063
USt 42-2	0.23			0.25	0.055	0.055
St 42-3	0.23	0.045	0.045	0.25	0.050	0.050
RSt 46-2	0.20	0.050	0.050	0.22	0.055	0.055
St 46-3	0.20	0.045	0.045	0.22	0.050	0.050
St 52-3	0.20	0.045	0.045	0.22	0.050	0.050
St 50-1	≈ 0.25	0.080	0.050	-	0.088	0.055
St 50-2	≈ 0.30	0.050	0.050	-	0.055	0.055
St 60-1	≈ 0.35	0.080	0.050	-	0.088	0.055
St 60-2	≈ 0.40	0.050	0.050	-	0.055	0.055
St 70-2	≈ 0.50	0.050	0.050	-	0.055	0.055

TABLA 7.20

=====

Valores Garantizados para las Propiedades Mecánicas.

TIPO DE ACERO	DESOXIDACION	Resistencia a la Tracción Kg/mm ² .	Límite de Fluenc. Kg/mm ² . mín.	Alargamiento % (Lo=5do) mín.	RESILIENCIA		Diámetro de mandril para ensayo de doblado.								
					Valor medio (3prob) Kg/cm ² .	Para °C									
St 33-1 St 33-2	- -	33 á 50	19	18 (14)	- -	- -	3 e.								
USt 34-1 RSt 34-1	U R	34 á 42	21	28 (20)	- -	- -	0,5 e								
USt 34-2 RSt 34-2	U R				3.5 3.5	+ 20 + 15									
USt 37-1 RSt 37-1 USt 37-2 RSt 37-2 St 37-3	U R U R RR	37 á 45	24	25 (18)	- -	- -	1 e.								
USt 42-1 RSt 42-1 USt 42-2 RSt 42-2 St 42-3	U R U R RR				42 á 50	26		22 (16)	- -	- -	2 e.				
RSt 46-2 St 46-3	R RR								44 á 54	29		22 (16)	3.5 3.5	+ 20 - 20	2 e.
St 52-3	RR												52 á 62	36	
St 50-1 St 50-2	R R								50 á 60	30		20 (14)	- -	- -	- -
St 60-1 St 60-2	R R	60 á 72	34	15 (10)			- -		- -	- -					
St 70-2	R	70 á 85	37	10 (6)	-	-	-								

CAPITULO VIII

EVALUACION ECONOMICA

8.1. COSTOS ACTUALES DEL PRODUCTO.

Siendo la finalidad comparar económicamente entre los aceros que se vienen produciendo actualmente y las calidades de acero que se proponen como alternativa, el cálculo de costos se efectúa expresamente en base a la materia prima y a los costos de procesamiento sin considerar los otros elementos como mano de obra directa o indirecta, gastos indirectos, costos de administrar y de vender; todos ellos necesarios para obtener un costo total del producto para la venta.

Bajo esta premisa, los costos se calculan por etapa de fabricación empezando con el acero líquido en los Hornos Eléctricos y el acero en lingote fabricado en Nave de Colada. Luego vienen las etapas de transformación realizadas en laminación planos; así tenemos:

De lingote a planchón por medio del laminador trabajando como Duo.

De planchón a plancha gruesa bruta realizado por el laminador trabajando como Cuarto.

Finalmente de plancha gruesa bruta a plancha gruesa neta, operación que se efectúa en la línea de Oxicorte.

Los costos se han calculado tomando en consideración los ratios standard que se aplicarán en el presente año y los precios de materias primas que rigen al primero de Enero de 1977.

A continuación se presentan los costos calculados para las calidades 16C-E21, 16D-EC24 y 19B-ES24, según como se vienen fabricando actualmente.

8.1.1. COSTOS STANDARD EN LA FABRICACION DE PLANCHAS GRUESAS CALIDAD
16C-E21.

a) COSTOS DE FABRICACION.

DESCRIPCION.	CANTIDAD Kg/Ton.	PRECIO S./TON.	COSTO/T.M. S/.
I. ACERO LIQUIDO.			
1.- INSUMOS H. E.			
- Chatarra Importada.	145	7,410	1,074
- Chatarra Nacional.	129	4,000	516
- Chatarra de Fábrica.	710	5,000	3,550
- Arrabio Sólido.	97	8,170	792
- Cal.	26	2,950	76
- Espato Fluor.	7	11,906	77
2.- INSUMOS EN CUCHARA.			
- FeMn Standard.	8.80	32,787	289
- FeSi (45 %).	1.48	32,160	48
- Coque.	0.81	4,500	4
3.- COSTO POR PROCESAMIENTO.			3,241
TOTAL COSTO ACERO LIQUIDO.			9,667
II.- ACERO EN LINGOTE.			
1.- NAVE DE COLADA.			
- Acero Líquido.	1.01	9,667	9,763
2.- CREDITO.			
- Por Chatarra.	.01	5,000	(-) 50
3.- COSTO POR PROCESAMIENTO.			1,200
TOTAL COSTO ACERO EN LINGOTE.			10,913

b) COSTOS DE TRANSFORMACION (16C-E21).

DESCRIPCION.	RATIO.	PRECIO S/./TON.	COSTO/TM S/.
III.- ACERO EN PLANCHON.			
1.- MATERIAL DE CARGA.			
- Lingotes (7.5 Ton).	1.142	10,913	12,462
2.- CREDITO.			
- Chatarra.	0.107	5,300 (-)	567
- Escamas.	0.035	220 (-)	8
3.- COSTO DE PROCESAMIENTO.			939
TOTAL COSTO ACERO EN PLANCHON.			12,826
IV.- PLANCHA GRUESA BRUTA (CUARTO).			
1.- MATERIAL DE CARGA.			
- Planchón,	1,040	12,826	13,339
2.- CREDITOS.			
- Escamas y escarpado.	.040	220 (-)	9
3.- COSTO POR PROCESAMIENTO.			1,012
TOTAL COSTO PLANCHA GRUESA BRUTA.			14,342
V.- PLANCHA GRUESA NETA.			
1.- MATERIAL DE CARGA.			
- P.G. Bruta.	1,258	14,342	18,042
2.- CREDITOS.			
- Segunda.	.065	10,140 (-)	659
- Chatarra.	.193	5,300 (-)	1,023
3.- COSTO POR PROCESAMIENTO.			1,479
TOTAL COSTO EN PLANCHA GRUESA NETA.			17,839

8.1.2. COSTOS STANDARD EN LA FABRICACION DE PLANCHAS GRUESAS CALIDAD
16D-EC 24.

a) COSTOS DE FABRICACION.

DESCRIPCION.	CANTIDAD Kg/Ton.	PRECIO S/./Ton.	COSTO/TM. S/.
I.- ACERO LIQUIDO.			
1.- INSUMOS H. E.			
- Chatarra Importada.	145	7,410	1,074
- Chatarra Nacional.	129	4,000	516
- Chatarra de Fábrica.	710	5,000	3,550
- Arrabio Sólido.	97	8,170	792
- Cal.	26	2,950	76
- Espato Fluor.	7	11,906	77
2.- INSUMOS EN CUCHARA.			
- FeMn (Std).	15.50	32,787	508
- FeSi (75 %).	3.55	36,319	129
- Coque.	0.16	4,500	1
3.- COSTO POR PROCESAMIENTO.			3,241
TOTAL COSTO ACERO LIQUIDO.			9,964
II.- ACERO EN LINGOTE.			
1.- NAVE DE COLADA.			
- Acero Líquido.	1.01	9,964	10,064
2.- CREDITO.			
- Por Chatarra.	.01	5,000 (-)	50
3.- COSTO POR PROCESAMIENTO.			1,360
TOTAL COSTO ACERO EN LINGOTE:			11,374

b) COSTOS DE TRANSFORMACION (16D-EC 24).

DESCRIPCION.	RATIO	PRECIO S/./Ton.	COSTO/TON. S/.
III.- ACERO EN PLANCHON.			
1.- MATERIAL DE CARGA.			
- Lingotes (7.5 Ton).	1,205	11,374	13,705
2.- CREDITO.			
- Chatarra.	.169	5,300 (-)	896
- Escamas.	.036	220 (-)	8
3.- COSTO POR PROCESAMIENTO.			939
TOTAL COSTO ACERO EN PLANCHON.			13,740
IV .- PLANCHA GRUESA BRUTA.			
1.- MATERIAL DE CARGA.			
- Planchón.	1.040	13,740	14,280
2.- CREDITOS.			
- Escamas y escarpado.	.040	220 (-)	9
3.- COSTO POR PROCESAMIENTO.			1,012
TOTAL COSTO PLANCHA GRUESA BRUTA.			15,293
V.- PLANCHA GRUESA NETA.			
1.- MATERIAL DE CARGA.			
- P.G. Bruta.	1.258	15,293	19,238
2.- CREDITOS.			
- Segunda.	.065	10,140 (-)	659
- Chatarra.	.193	5,300 (-)	1,023
3.- COSTO POR PROCESAMIENTO.			1,479
TOTAL COSTO EN PLANCHA GRUESA NETA.			19,035

8.1.3. COSTOS STANDARD EN LA FABRICACION DE PLANCHAS GRUESAS CALIDAD
19B-ES24.

DESCRIPCION.	CANTIDAD Kg/Ton.	PRECIO S/./Ton.	COSTO/TM. S/.
I.- ACERO LIQUIDO.			
1.- INSUMOS H.E.			
- Chatarra Importada.	145	7,410	1,074
- Chatarra Nacional.	129	4,000	516
- Chatarra de Fábrica.	710	5,000	3,550
- Arrabio Sólido.	97	8,170	792
- Cal.	26	2,950	76
- Espato Fluor.	7	11,906	77
2.- INSUMOS EN CUCHARA.			
- FeMn. Std.	11.45	32,787	376
- FeSi (45 %).	1.48	32,160	48
- Coque.	0.97	4,500	4
3.- COSTO POR PROCESAMIENTO.			3,241
TOTAL COSTO ACERO LIQUIDO.			9,754
II.- ACERO EN LINGOTE.			
1.- NAVE DE COLADA.			
- Acero Líquido.	1.01	9,754	9,852
2.- CREDITO.			
- Por Chatarra.	.01	5,000 (-)	50
3.- COSTO POR PROCESAMIENTO.			1,200
TOTAL COSTO ACERO EN LINGOTE.			11,002

b) COSTOS DE TRANSFORMACION (19B-ES24).

DESCRIPCION.	RATIO	PRECIO S./Ton.	COSTO/TON. S/.
III.- ACERO EN PLANCHON.			
1.- MATERIAL DE CARGA.			
- Lingotes (7.5 Ton).	1.142	11,002	12,564
2.- CREDITO.			
- Chatarra.	0.107	5,300 (-)	567
- Escamas.	0.035	220 (-)	8
3.- COSTO POR PROCESAMIENTO.			939
TOTAL COSTO ACERO EN PLANCHON.			12,928
IV.- PLANCHA GRUESA BRUTA.			
1.- MATERIAL DE CARGA.			
- Planchón.	1.040	12,928	13,445
2.- CREDITOS.			
- Escamas y escarpado.	.040	220 (-)	9
3.- COSTO POR PROCESAMIENTO.			1,012
TOTAL COSTO PLANCHA GRUESA BRUTA.			14,457
V.- PLANCHA GRUESA NETA.			
1.- MATERIAL DE CARGA.			
- P. G. Bruta.	1.258	14,457	18,187
2.- CREDITOS.			
- Segunda.	.065	10,140 (-)	659
- Chatarra.	.193	5,300 (-)	1,023
3.- COSTO POR PROCESAMIENTO.			1,479
TOTAL COSTO EN PLANCHA GRUESA NETA.			17,984

8.2. COSTOS PARA LAS CALIDADES PROPUESTAS.

Siguiendo los lineamientos tomados en cuenta para el cálculo de costos de las calidades como actualmente se fabrican, se ha efectuado el cálculo de costo para cada una de las calidades propuestas.

El Cuadro N° 8.1 muestra estos costos para cada una de las etapas de fabricación y el costo total que corresponde a la plancha gruesa neta final.

8.3. COMPARACION ECONOMICA DE ALTERNATIVAS.

Del análisis de costos se desprende que la variación con respecto a los costos que se vienen obteniendo actualmente, es debido básicamente al mayor consumo del ferromanganeso en la fabricación del acero líquido.

En menor grado y en algunas calidades hay también diferencia debido al coque metalúrgico.

El Cuadro N° 8.2 nos muestra estas diferencias por tonelada de acero producido.

La mayor diferencia se produce en la calidad 16D-EC2) que se está fabricando con exceso de materias primas especialmente del ferromanganeso.

CUADRO N° 8.1

COSTOS STANDARD PARA LAS CALIDADES PROPUESTAS.

CALIDAD	C O S T O S (S / . / T . M .) .				
	ACERO LIQUIDO	ACERO EN LINGOTE	PLANCHON	PLANCHA GRUESA BRUTA	PLANCHA G. NETA
16C-1	9,565	10,810	12,709	14,220	17,68
16C-2	9,621	10,867	12,774	14,288	
16D-1	9,645	11,051	13,351	14,888	18,526
16D-2	9,703	11,110	13,423	14,963	18,620
16D-3	9,710	11,117	13,431	14,971	18,631
19B-1	9,565	10,811	12,710	14,221	17,687
19B-2	9,683	10,834	12,736	14,248	17,721
19B-3	9,798	11,046	12,978	14,500	18,038

CUADRO N° 8.2

COMPARACION ECONOMICA DE ALTERNATIVAS

CALIDAD ACTUAL.	COSTO (S./TON)	CALIDAD PROPUESTA	COSTO (S./TON)	VARIACION (S./TON).
16C	17,839	16C-1	17,686	153
		16C-2	17,777	62
16D	19,035	16D-1	18,526	509
		16D-2	18,620	415
		16D-3	18,631	404
19B	17,984	19B-1	17,687	297
		19B-2	17,721	263
		19B-3	18,038	-54

8.4. PRESUPUESTO DE VENTAS - SIDERPERU - 1977.

Para la estructuración del Programa de Fabricación del año 1977 se tomaron en consideración como premisas básicas:

El Presupuesto de Ventas de SIDERPERU elaborado por la Gerencia de Ventas considerando la predisposición del mercado para el presente año.

Que la producción total anual de productos terminados sea de 312,430 toneladas, las cuales serán distribuidas de la siguiente manera:

Para mercado interno.	263,430 Tons.
Para exportación.	49,000 Tons.

Los dos Hornos Eléctricos operarán en simultáneo con un ritmo de producción siguiente:

Enero á Junio	9 coladas/dia por horno.
Julio á Diciembre	7 coladas/dia por horno.

La variación en la producción de los Hornos Eléctricos es con la finalidad de maximizar la producción de acero via arrabio del Alto Horno y evitar mayor consumo de chatarra.

NOTA: El Alto Horno hará una parada de mantenimiento por cambio total de su revestimiento los meses de Abril y Mayo.

Bajo estos aspectos citados tenemos que la producción programada para el año 1977 en las calidades estructurales consideradas, es la siguiente:

CALIDAD.	PRODUCCION PROGRAMADA (1977).
16C - E21	18,000 T. M.
16D - EC24	12,000 T. M.
19B - ES24	6,000 T. M.

Si asumimos que para este año la distribución por espesores guarda la misma relación que en los años pasados, podemos establecer la distribución que se muestra en el Cuadro N° 8.3. Esta nos servirá para hacer el estimado económico total para el año 1977.

CUADRO N° 8.3

PRODUCCION ESTIMADA POR RANGO DE ESPESORES (ACERO LIQUIDO).

CALIDAD	RANGO DE ESPESORES	%	PRODUCCION ESTIMADA (T.M.)
16C	$2 \leq e \leq 50$	100	18,000
16C-1	$12.5 \geq e$	70	12,600
16C-2	$e > 12.5$	30	5,400
16D	$5 \leq e \leq 50$	100	12,000
16D-1	$12.5 \geq e$	60	7,200
16D-2	$12.5 \leq e \leq 22$	25	3,000
16D-3	$22 < e \leq 50$	15	1,800
19B	$2 \leq e \leq 50$	100	6,000
19B-1	$12.5 \geq e$	60	3,600
19B-2	$12.5 \leq e \leq 22$	25	1,500
19B-3	$22 < e \leq 50$	15	900

8.5. EVALUACION ECONOMICA FINAL.-

Teniendo en consideración solamente el acero líquido programado en estas calidades para el año 1977, se ha evaluado las ganancias y pérdidas a que daría origen el cambio en el sistema de fabricación empleando las calidades propuestas.

En el Cuadro 8.4 se presenta el resumen de cálculos en donde se ha hecho uso de la variación de costos entre las alternativas y que se obtuvieron en el acápite 8.3.

Como puede observarse, el resultado final es un ahorro total proyectado para el año 1977 de S/. 9'314,700. donde el mayor porcentaje corresponde a la calidad 16D-EC24.

CUADRO 8.4

Ganancia Total Proyectada para el Año 1977.

CALIDAD PROPUESTA	VARIACION S./TON.	PRODUCCION ESTIMADA (TM).	VARIACION TOTAL (1977) S/.
16C-1	153	12,600	1'927,800
16C-2	62	5,400	334,800
TOTAL CALIDAD 16C.			2'262,600
16D-1	509	7,200	3'664,800
16D-2	415	3,000	1'245,000
16D-3	404	1,800	727,200
TOTAL CALIDAD 16D.			5'637,000
19B-1	297	3,600	1'069,200
19B-2	263	1,500	394,500
19B-3	-54	900	(-) 48,600
TOTAL CALIDAD 19B.			1'415,100
TOTAL GANANCIAS:			S/. 9'314,700

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

1.- Con los aceros estructurales al carbono fabricados por SIDERPERU : 16C-E21, 16D-EC24 y 19B-ES24, bajo las Normas ASTM A 283 °C, DIN 17100 RSt 37-2 y LRS °A respectivamente, se logra cubrir toda la gama de aceros estructurales de baja y mediana resistencia que requiere el mercado bajo diferentes normas nacionales e internacionales, además de las indicadas anteriormente.

2.- El consumo de éstos aceros crecerá a un ritmo estimado de 20 % anual, haciendo que la demanda sea mayor por las crecientes necesidades de la industria de perfiles livianos y pesados, construcción de embarcaciones navales, puentes, edificios, calderas, comercialización, etc.

Se prevee que a partir del año 1980 la Empresa Siderúrgica del Perú cubrirá completamente el mercado nacional, anulando toda importación en cuanto se refiere a este grupo de aceros. Esto será posible a un corto plazo luego de haberse concluido el proyecto de balanceo y ampliación integral de la empresa para esa fecha.

3.- El desarrollo tecnológico que se está superando año tras año por diferentes estudios de investigación, como es el caso del presente trabajo, y además por el esfuerzo mancomunado de sus trabajadores, permitirá mejorar su productividad

para suministrar productos de buena calidad y de costo razonable propiciando el desarrollo y bienestar de la comunidad.

4.- La competencia internacional de éstos productos se ha traducido en un mercado de calidad, por lo que se han tomado en cuenta las diferentes técnicas avanzadas en los controles de materias primas, elaboración, proceso y productos terminados, con la finalidad de que éstos sean competitivos tanto en el mercado nacional como internacional.

5.- Según resultados de los análisis estadísticos aplicados a los aceros estructurales fabricados por SIDERPERU hasta la actualidad, se concluye que un alto porcentaje de éstos se obtienen con características superiores a los límites garantizados de acuerdo con sus respectivas normas, deficiencia que se trata de superar con la elaboración del presente estudio.

6.- Dada la amplia gama de espesores en que se fabrican éstas calidades (de 5 a 50 mm.) se optó por la técnica de la división por rango de espesores, adoptando una composición química específica por cada rango. Esto permite optimizar mejor las propiedades mecánicas y obtener un producto encuadrado dentro de norma, a la vez que se consigue una apreciable economía por el ahorro de materias primas.

7.- Una herramienta fundamental para el logro de nuestro objetivo lo constituye la Estadística Matemática, en cuyo campo encontramos a los Modelos Matemáticos obtenidos por el método de Regresión Múltiple Lineal.

Estos modelos o ecuaciones fundamentales nos relacionan las propiedades físicas del acero (límite de fluencia, carga de rotura y porcentaje de alargamiento) con su composición química y algunos parámetros importantes de fabricación.

8.- Estos modelos permitieron determinar nuevos rangos de composición química para los aceros en estudio de tal manera que puedan cumplir con las especificaciones en cuanto a sus propiedades mecánicas más importantes y adicionalmente se logra una mejor dosificación de las materias primas, especialmente del ferromanganeso utilizado en la fabricación del acero. Además, como consecuencia de la menor adición de ferroaleaciones en la cuchara, el acero resulta con una mejor homogeneidad química al disminuirse las segregaciones de carbono y manganeso, obteniéndose por ende un acero de mejor calidad.

9.- Las composiciones químicas que se proponen como resultado del presente estudio, constituyen un paso inicial en la optimización de los aceros y cuya aplicación y posterior evaluación con nuevas correlaciones dará lugar a pequeños

ajustes hasta lograr una optimización total.

10.- En conclusión, como consecuencia de este estudio se logran resultados favorables en cuanto a calidad y costo del producto, estimándose que con la aplicación de lo propuesto se disminuye dicho costo hasta en S/. 500.00 por tonelada dependiendo del tipo de acero.

Si consideramos los estimados de producción para el presente año, de los tres tipos de acero, vemos que se podría obtener una ganancia líquida de S/. 9'314,700.00 solamente por el concepto de ahorro en las materias primas.

Ahora bien, si tomamos en consideración lo que concierne a los costos por calidad mejorada y la eliminación de productos de segunda calidad por no cumplir con las especificaciones técnicas, ésto nos representa una utilidad estimada equivalente a la obtenida por ahorro de materias primas. De ahí, la importancia que deriva de la aplicación de los cambios y sistemas propuestos.

11.- Como es lógico suponer, a medida que las materias primas y la producción anual se incrementen, la diferencia de costos y la ganancia total por todo concepto irán igualmente en aumento.

12.- Las Normas Técnicas de calidad constituyen una base fundamental tomada como referencia para la formulación de ordenes de compra de cualquier material, lo cual permite estandarizar productos y facilitar las relaciones entre productor y comprador. Pero a pesar de los esfuerzos por la normalización mundial nos encontramos con que todavía prevalecen algunas normas de caracter nacional y que son bastante usadas para formular los pedidos.

Efectuado el análisis de éstas normas se encontró que nuestros aceros bien pueden cumplir con sus requerimientos fijados, ampliando su campo de aplicación. Se tomaron en cuenta las normas nacionales ITINTEC y las normas internacionales de la ASTM (americana), DIN (alemana) y LRS (americana) que tienen normas aplicables a nuestros aceros en estudio.

R E C O M E N D A C I O N E S

1.- Elaborar una etapa de prueba para la aplicación sistematizada de los cambios propuestos a fin de garantizar y comprobar los resultados, antes de proceder a la fabricación masiva.

2.- Como quiera que todo cambio trae consigo cierta dificultad para su aplicación y más si se trata de incrementar un número de calidades existentes, recomendamos elaborar una política adecuada de producción que permita un flujo continuo de material desde su fabricación como lingote hasta el producto final. De esta forma, dentro de la programación trimestral, cada mes podría tomarse para un rango determinado de espesores dando tiempo a que la colada fabricada sea laminada, con la finalidad de evitar los inconvenientes de mezcla, confusión de calidades ó inadecuada laminación por espesores.

3.- Debe adoptarse un sistema de marcación que facilite la pronta identificación de los lingotes y, a la vez adiestrar al personal para que tome conciencia de la importancia de la clasificación y tenga mayor cuidado al momento de hacer el carguío de lingotes al horno de foso.

4.- Es necesario revisar periódicamente los modelos matemáticos, especialmente cuando se proceda a efectuar alguna modificación en la composición química y se tengan datos como para poder establecer su correlación.

5.- Debe generalizarse el empleo de modelos matemáticos para todas las calidades en que evaluamos sus propiedades mecánicas, para que cuando se requiera efectuar ajustes en la composición química u otras variables que puedan influir en el proceso, se tenga una base fundamental en que apoyarse para hacer dichos ajustes.

6.- Promover a nivel nacional el conocimiento, importancia y utilización de los aceros estructurales fabricados por SIDERPERU en los diferentes usos y aplicaciones en que son adecuados, y su equivalencia en Normas Internacionales con las cuales pueden ser suministrados al mercado nacional. Con esto se lograría captar cierto tonelaje de acero que actualmente se importa bajo estas Normas.

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

1. ACOS - CARBONO E ACOS - LIGA, Vicente Chiaverin. Edicao da Associacao Brasileira de Metais, Brasil.
2. ACEROS PRODUCTOS Y DERIVADOS, compilado por el Dpto. Técnico de COSIMET. Publicado por Comercial Sidero Metalúrgica, Velasco, S.A. Bilbao- España.
3. METALS HANDBOOK ; Volume 1: Propierties and Selection, volume 2: Heat Treating, cleaning and Finishing; volume 7: Atlas of Microestructures; by American Society for Metals Printed in U.S.A.
4. MAKING, SHAPING AND TREATING OF STEEL, United States Steel Edited by Harold e McGannon.
5. ELECTRIC FURNACE STEELMAKING, volume I y II : Theory and Fundamentals. Edited by Clarence E. Sims.
6. ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS -1975- PART 4: Steel - Structural, Reinforcing, Pressure Vessel, Railway. By American Society for Testing and Materials. Printed in U.S.A.
7. DIN (Deutche Industrie Normen), Manual 4 - Acero y Hierro Normas de Calidad. Quinta edición española de la 23 alemana -1975- Editorial Balzola, Bilbao, España.
8. JIS (Japanese Industrial Standars), Handbook 1976: FERROUS MATERIALS AND METALLURGY, by Japanese Standard Association. Printed in Japan.
9. SAE HANDBOOK 1976, PART 1: Materials Parts and Components, by Society of Automotive Engineers, Inc. Printed in U.S.A.
10. PLAN SIDERURGICO NACIONAL, Zoilo Valdivia I. SIDERPERU , Lima- 1976.
11. Instrucciones Teóricas y Prácticas del Proceso de Fabricación del Acero en Hornos Electricos, Dr. Ing°J. Th. Wasmuht. SIDERPERU - Chimbote.
12. INGENIERIA DE CONTROL DE CALIDAD, Luis Kuon M. SIDERPERU - Chimbote - 1976.

13. CONTROL DE CALIDAD ESTADISTICO, Eugene L. Grant. Editorial CECSA, Mejico.
14. TEORIA Y PRACTICA DEL CONTROL DE CALIDAD, Bertrand L. Hausen. Editorial Hispano Europea (Barcelona, España).
15. CONTROL TOTAL DE LA CALIDAD - INGENIERIA Y ADMINISTRACION, A. V. Feigenbaum. Editorial Cecsca , Mejico.
16. INTRODUCCIONM A LA ESTADSSSTICA MATEMATICA - Principios Métodos. Erwin Kreyszig, Editorial Limusa-Wiley , Mejico.
17. METODOS ESTADISTICOS PARA LA INVESTIGACIÓN, José Calzada Benza. Editorial Jurídica - Lima , Perú.
18. APPLIED REGRESION ANALYSIS, N. R. Drapper, H.S. Smith.
19. Statistical Techniques in Technological Research, Duckwort.
20. Control de Procesos en Hornos de Foso, Julio Lino B. I Forum de Metalurgia del Hierro y Acero. Chimbote - 1975.
21. Aceros de Alta Resistencia y Baja Aleación en SIDERPERU , Luis Kuon , Armando Kuyeng. Chimbote -1975. .
22. PRINCIPIOS DE TRATAMIENTO TERMICO, M. A. Grossman y E. C. Bain. American Society for Metals. Editorial Blume-España.
23. Rules and Regulations for The Construccin and Classifi - cation of Steel Ships. Chapter P: Materials for Ship construction. Issued by the Committee of Lloyd's Register of Shipping. England.
24. THE MANUFACTURE OF IRON AND STEEL, Volume 2: Steel Production. Edited by Chapman and Hall Ltd. London.
25. METALURGIA MECANICA , George E. Dieter. Drexel Institute of Technology, Filadelfia. Editorial Aguilar.
26. TRATAMIENTO MATEMATICO DE DATOS FISICO-QUIMICOS, V. P. Spiridonov, A. A. Lopatkin. Editorial MIR - Moscu.
27. Calidad de Productos Laminados de Acero en America Latina. Memoria Técnica del Seminario Latinoamericano ILAFA, del 28 al 30 de Marzo de 1973 - Santiago de Chile.