

E59

**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA



**“ Resistencia al Desgaste por Abrasión  
y Corrosión de las Fundiciones  
Crises Austeniticas ”**

TESIS DE GRADO  
**previa a la Obtención del Título de  
INGENIERO MECANICO**

Presentada por:

**Wilson Enríquez** Contreras

Guayaquil - Ecuador

**1984**

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

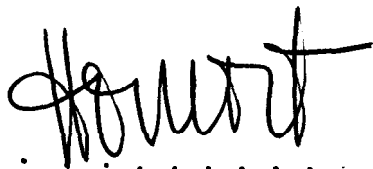
Al Ing. HOMERO ORTIZ ARIZAGA;  
DIRECTOR DE TESIS, por su va-  
liosa ayuda y colaboración pa-  
ra la realización de este  
trabajo.

Al Ing. IGNACIO WIESNER F.,  
por la asesoría e informa-  
ción brindada para el desa-  
rrollo de esta Tesis.

DEDICATORIA

A mis Padres

A mis Hermanos

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Homero', written in a cursive style. The signature is positioned above a horizontal line of dots.

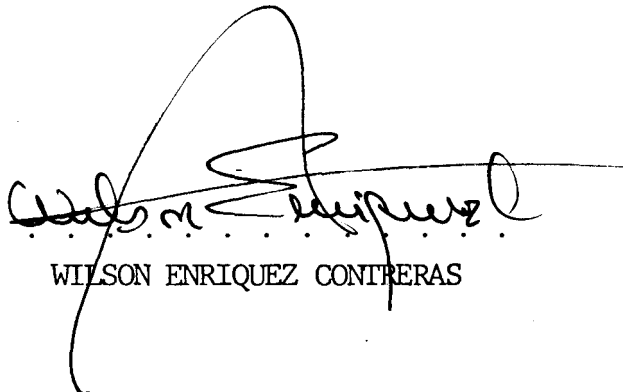
.....  
Ing. Homero Ortiz Arfzaga

DIRECTOR DE TESIS

## DECLARACION EXPRESA

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

(Reglamento de **Exámenes y Títulos** Profesionales de la ESPOL).



WILSON ENRIQUEZ CONTRERAS

## R E S U M E N .

El origen de las fundiciones grises austeníticas se basa en las investigaciones que se llevaron a cabo con el objeto de establecer mejoras en las propiedades de los materiales y es así que con la experimentación con ciertos aleantes como níquel, cromo, etc., se llegó a las fundiciones grises austeníticas.

En la presente investigación se da a conocer la importancia del desarrollo de estas fundiciones en nuestro medio para la fabricación de accesorios e implementos que requieren de alta resistencia a la corrosión.

Las fundiciones austeníticas poseen excelentes propiedades mecánicas a elevadas temperaturas, además de presentar buena resistencia al desgaste por corrosión y abrasión.

Entre las aplicaciones de estas fundiciones se da gran énfasis a la fabricación de bombas, válvulas, accesorios que van a ser de gran importancia en las industrias química, del petróleo y de las que se requieren de alta resistencia al calor y a la corrosión.

## VII

Se **utilizó como** material **para las** pruebas de laboratorio, una **fundición** gris austenítica fabricada en una **fundición** local. El **equipo** que se **utilizó** fue una **cámara** de **nube** salina (cloruro de sodio diluido en **agua**) considerando que ese ambiente es uno de **los más** severos. Mediante el **método gravimétrico** se establecen las **pérdidas** de peso por **causa** de la **corrosión** además de **análisis** a simple **vis-**ta y **metalográfico** para establecer la **destrucción** **su-**frida por **los** materiales ensayados. **Para** la prueba de desgaste por **abrasión** se utilizó un cilindro giratorio con arena **silice** como abrasivo.

Los resultados obtenidos evidenciaron las propiedades de las fundiciones grises austeníticas.

## INDICE GENERAL

	<u>Pág.</u>
RESUMEN. . . . .	VI
INDICE GENERAL . . . . .	VIII
INDICE DE FIGURAS. . . . .	X
INDICE DE TABLAS . . . . .	xv
ABREVIATURAS. . . . .	XVII
INTRODUCCION. . . . .	19
I 'FUNDICIONES GRISES AUSTENITICAS. . . . .	21
1.1 Generalidades. . . . .	21
1.2 Importancia <b>del</b> Desarrollo de las Fun- diciones austeniticas en el Ecuador . . .	<b>23</b>
1.3 <b>Variedad</b> de las fundiciones austenif- t i c a s . . . . .	<b>26</b>
1.4 Fundiciones grises de alto contenido de <b>Níquel</b> . . . . .	<b>30</b>
II PROPIEDADES DE LAS FUNDICIONES GRISES AUSTENITICAS. . . . .	<b>37</b>
2.1 Propiedades <b>Mecánicas</b> . . . . .	<b>37</b>
2.2 Propiedades Físicas. . . . .	<b>38</b>
2.3 Propiedades a elevadas temperaturas. . .	<b>56</b>
2.4 Resistencia al desgaste por <b>corrosión</b> . .	<b>60</b>



2.5 Resistencia al desgaste por <b>abrasión</b> . . . . .	76
III APLICACIONES DE LAS FUNDICIONES GRISES. . . . .	79
3.1 Aplicación en la <b>construcción</b> de <b>bombas</b> , <b>válvulas</b> y <b>tuberías</b> . . . . .	79
3.2 Aplicación que requiere alta resistencia al <b>calor</b> . . . . .	83
3.3 Aplicación en la industria química. . . . .	88
3.4 Aplicación en la industria del <b>petróleo</b> . . . . .	92
3.5 Aplicación en la <b>fabricación</b> de accesorios para <b>calderas</b> . . . . .	95
IV TRABAJO EXPERIMENTAL . . . . .	104
4.1 Prueba de desgaste por <b>corrosión</b> nube <b>sali-</b> <b>na</b> . . . . .	104
4.2 Prueba de desgaste por <b>abrasión</b> . . . . .	118
4.3 Ensayo de <b>tracción</b> . . . . .	124
4.4 <b>Análisis Metalográfico</b> . . . . .	130
V DISCUSION Y ANALISIS DE RESULTADOS. . . . .	131
CONCLUSIONES. . . . .	171
BIBLIOGRAFIA. . . . .	173

## INDICE DE FIGURAS

<u>Nº</u>	<u>Pág.</u>
1 Influencia <b>del número</b> de ciclos de calentamiento a 815°C en el aumento de volumen y aumento de peso que experimentan las fundiciones <b>ordinarias</b> y la <b>fundición</b> gris austenítica. . . . .	33
2 Durezas y Microestructuras correspondientes a las fundiciones aleadas con níquel. . . . .	40
3 Coeficiente medio de <b>expansión</b> de varios tipos de <b>fundición</b> gris austenítica. . . . .	46
4 Efectos <b>del</b> contenido de níquel <b>del</b> tipo 3 de la <b>fundición</b> gris austenítica sobre la expansividad <b>térmica</b> . . . . .	47
5 <b>Corrosión atmosférica</b> en ure Beach, NC, <b>Atmósfera</b> marina a 80 pies <b>del océano</b> . . . . .	65
6 <b>Corrosión-erosión</b> en agua <b>salada</b> . Condiciones de <b>flujo</b> turbulento, 60 días de prueba a una velocidad de 27 pies/Segundo. . . . .	67
7 <b>Cámara</b> de Nube Salina. . . . .	113

<u>Nº</u>	<u>Pág.</u>
8	<b>Cámara</b> de Nube Salina con <b>ClNa</b> . . . . . 113
9	Muestra <b>para</b> el Ensayo de <b>Abrasión</b> . . . . . 120
10	Muestra <b>para el</b> Ensayo de <b>Tracción</b> . . . . . 127
11	Estado de las muestras de <b>fundición</b> gris <b>aus-</b> tenitica sometidas a nube salina 4 y 8 <b>días</b> . . 146
12	Estado de las muestras de <b>fundición</b> gris <b>aus-</b> tenitica sometidas a nube salinas, 12 y 16 <b>días</b> . . . . . 147
13	Estado de las muestras de <b>fundición</b> gris <b>aus-</b> tenitica sometidas a nube salina, 20 y 24 días..... . . . . 148
14	Estado de las muestras de <b>fundición</b> gris <b>aus-</b> tenitica sometidas a nube salina 28 y 32 días . 149
15	Estado de las muestras de <b>fundición</b> gris <b>aus-</b> tenitica sometidas a nube salina 36 y 40 <b>días</b> . 150
16	Estado de las muestras de <b>fundición</b> gris <b>some-</b> tidas a nube salina 4 y 8 <b>días</b> . . . . . 151
17	Estado de las muestras de <b>fundición</b> gris <b>some-</b> tidas a nube salina 12 y 16 <b>días</b> . . . . . 152
18	Estado <b>de las</b> muestras de <b>fundición</b> gris <b>some-</b> tidas a nube salina 20 y 24 días . . . . . 153
19	Estado de las muestras de <b>fundición</b> gris <b>so-</b> metidas a nube salina 28 y 32 <b>días</b> . . . . . 154

<u>Nº</u>	<u>Pág.</u>
20	Estado de las muestras de <b>fundición</b> gris so- metidas a nube salina 36 y 40 <b>días</b> . . . . . 155
21	Curvas <b>pérdida</b> de peso vs tiempo de la <b>fundi- ción</b> gris y de la <b>fundición</b> gris austenitica . 156
22	Estado normal de la <b>fundición</b> gris austenitica 157
23	Estado normal de la <b>fundición</b> gris. . . . . 157
24	Estado de la microestructura de las muestras de-fundición gris austenitica sometidas a nube salina, 4 <b>días</b> . . . . . 158
25	Estado de la microestructura de la muestra de <b>fundición</b> gris sometida a nube salina, 4 <b>días</b> . 158
26	Estado de la microestructura de la muestra de <b>fundición</b> gris austenitica sometida a nube sa- lina, 8 <b>días</b> . . . . . 159
27	Estado de la microestructura de la muestra de <b>fundición</b> gris sometida a nube salinas, 8 <b>días</b> 159
28	Estado de la microestructura de la muestra de <b>fundición</b> gris austenitica sometida a nube salina, 12 <b>días</b> . . . . . 160
29	Estado de la microestructura de la muestra de <b>fundición</b> gris sometida a nube salina 12 <b>días</b> . 160
30	Estado de la microestructura de la muestra de <b>fundición</b> gris austenitica sometida a nube salina 16 <b>días</b> . . . . . 161

<u>Nº</u>	<u>Pág.</u>
31 Estado de la microestructura de la muestra de fundición gris sometida a nube salina 16 días. .	161
32 Estado de la microestructura de la muestra de fundición gris austenitica sometida a nube salina 20 días. . . . .	162
33 Estado de la microestructura de la muestra de fundición gris sometida a nube salina 20 días. .	162
34 Estado de la microestructura de la muestra de fundición gris austenitica sometida a nube salina, 24 días. . . . .	163
35 Estado de la microestructura de la muestra de fundición gris sometida a nube salina 24 días. .	163
36 Estado de la microestructura de la muestra de fundición gris austenitica sometida a nube salina, 28 días. . . . .	164
37 Estado de la microestructura de la muestra de fundición gris sometida a nube salina 28 días. .	164
38 Estado de la microestructura de la muestra de fundición gris austenitica sometida a nube salina 32 días. . . . .	165
39 Estado de la microestructura de la muestra de fundición gris sometida a nube salina 32 días. .	165
40 Estado de la microestructura de la muestra de fundición gris austenitica sometida a nube salina 36 días. . . . .	166

<u>Nº</u>	<u>Pág.</u>
41 Estado de la microestructura de la muestra de fundición gris sometida a nube salina 36 días. .166	
42 Estado de la microestructura de la muestra de fundición gris austenítica sometida a nube salina 40 días. . . . .167	
43 Estado de la microestructura de la muestra de fundición gris sometida a nube salina 40 días. .167	
44 Ensayo de tracción de la fundición gris austenítica y de la fundición gris. . . . .168	
45 Ensayo de abrasión de la fundición gris austenítica y de la fundición gris. . . . .169	
46 Estado de la muestra de fundición gris austenítica sometida al ensayo de abrasión. . . . .170	
47 Estado de la muestra de fundición gris sometida al ensayo de abrasión. . . . .170	

## INDICE DE TABLAS

<u>Nº</u>		<u>Pág.</u>
I	Composición de las Fundiciones Grises Austeníticas. . . . .	31
II	Propiedades Mecánicas de las Fundiciones Grises Austeníticas. . . . .	39
III	Propiedades Físicas de las Fundiciones Grises Austeníticas. . . . .	44
IV	Características Típicas de Expansión. . . . .	45
V	Conductividad Térmica. . . . .	51
VI	Esfuerzos Térmicos Máximos en Estructuras Rígidas causados por cambios súbitos de Temperatura. . . . .	52
VII	Propiedades Eléctricas. . . . .	54
VIII	Propiedades Magnéticas . . . . .	55
IX	Propiedades Típicas a elevadas Temperaturas. . . . .	61
X	Corrosión de fundiciones y aceros en ácido hidrociorhídrico no aereado a temperatura normal. . . . .	71
XI	Efecto de las adiciones de níquel en la velocidad de corrosión en 50 a 65% de soda cáustica. . . . .	74
XII	Prueba de corrosión de planta en 74% de soda cáustica en un tanque de almacenamiento. . . . .	75

<u>Nº</u>		<u>Pág.</u>
XIII	Pesos de muestras de fundición gris austenítica. . . . .	114
XIV	Pesos de muestras de fundición gris. . . . .	115
XV	Pesos de muestras sometidas a nube salina de fundición gris austenítica. . . . .	116
XVI	Pesos de muestras sometidas a nube salina de fundición gris. . . . .	117
XVII	Pesos de muestras de fundición gris austenítica sometidas al ensayo de abrasión. . . . .	122
XVIII	Pesos de muestras de fundición gris sometidas al ensayo de abrasión. . . . .	123
XIX	Pesos de muestras de fundición gris austenítica sometidas al ensayo de tracción . . . . .	128
XX	Pesos de muestras de fundición gris sometidas al ensayo de tracción. . . . .	129



## A B R E V I A T U R A S

cm	centimetro
mm	millmetro
<b>pulg</b>	pulgada
<b>mpy</b>	<b>milésima</b> de pulgada por <b>año</b>
lb	libra
<b>gm</b>	gramo
<b>mg</b>	miligramo
<b>°C</b>	grado centígrado
<b>°F</b>	grado Fahrenheit
hr	hora
<b>seg</b>	segundo
Cal	<b>calorías</b>
BTU	Unidad térmica <b>británica</b>
psi	libras por pulgadas cuadradas
microhm	microhmio
Cr	Cromo
Ni	<b>Níquel</b>
S i	Silicio
cu	Cobre
C	<b>Carbono</b>
Cl	Cloro

XVIII

Na

Sodio

Conc

Concentración

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

En nuestro medio **existen** fundiciones dedicadas a la **fabricación** de **bombas** y accesorios que tienen problemas con la **corrosión**, lo **cual** ha sido la **causa** de grandes **pérdidas**, ya que a muy corto tiempo presentan problemas, lo **cual** se manifiesta en el **momento** de entrar e n servicio presentan desgaste prematuro.

Es **conveniente**, la transferencia de conocimientos hacia aquellas personas que se encuentran relacionadas con la industria de la **fundición** en la **fabricación** principalmente de **bombas** que se van a utilizar en sistemas de bombeo tales **como** el de las camaroneras que en la actualidad se ha desarrollado en gran escala, de riego **para** los campos de la agroindustria, etc. Todos estos tipos de industrias se desarrollan en medios considerados altamente **corrosivos** y abrasivos, ya sea porque sus aguas **sean** salinas y contengan gran cantidad de impurezas. **Razón** por lo que se **hace** necesario la **aplicación** de materiales altamente resistentes a la **corrosión**.

En vista de todos estos **inconvenientes** que se presentan, se considera **como solución** el utilizar **fundición** gris aus-

tenitica por su propiedad de ser altamente resistente al desgaste **corrosivo** y abrasivo, por tales **causas** se lo puede seleccionar **como** material adecuado **para** la **fabricación** de **bombas**, accesorios, etc., **para** industrias que trabajen en medios **corrosivos**.

En el presente trabajo se **utilizó fundición** gris austenitica del tipo 2 y **fundición** gris.

La **fundición** gris se la **utilizó como** referencia por ser en la actualidad, una de las que tienen mayor **demanda** en **amplio campo** de la ingenieria, **razón** por la **cual** se la **empleó para** establecer comparaciones y diferencias con las fundiciones grises austeniticas.

De acuerdo con la **composición química** de la **fundición** gris austenitica, se la puede clasificar en un tipo. El alto porcentaje de niquel es el que le da la propiedad de **anticorrosivo**.

La **investigación** se **llevó a cabo** usando **análisis** de tipo cuantitativo y cualitativo mediante el empleo de **métodos** y ensayos que ofrecen resultados satisfactorios. Se obtuvieron resultados que justifican y garantizan a la **fundición** gris austenitica en su **utilización como** material altamente resistente al desgaste por **corrosión** y **abrasión**, además de cubrir las crecientes **exigencias** de la **industria mecánica**.

# I. FUNDICIONES GRISES AUSTENITICAS

## 1.1 Generalidades

Revisando el origen y a la vez haciendo historia de las fundiciones grises austeníticas, éstas parten de la patente Británica 2296 otorgada en el año de 1799 a S.S. Hickling.

En esta patente, Hickling considera la adición de hasta un 25% de níquel para impedir la oxidación del hierro fundido. A pesar de sus implicaciones, esta patente no concitó interés debido quizá al casi desconocimiento del níquel como material de ingeniería.

El primer hecho importante en la evolución de las fundiciones grises austeníticas, fue ciertamente las investigaciones realizadas por Robert Austen, quien publicó en 1899 el diagrama básico del hierro carbono. Este reconoció a altas temperaturas una fase consistente de una solución sólida de carbón o carburo de hierro en hierro gamma y caracterizado por ciertas propiedades definidas. Es así que como

un tributo a Robert Austen, ésta fue llamada "austenita".

Posteriormente se sumaron a estas nuevas investigaciones. Una de ellas fue realizada por Guillet, quien llevó a cabo una inspección sistemática de las adiciones de níquel hasta un 48% en las fundiciones de hierro. Demostró que con altas proporciones de níquel, las transformaciones en el hierro podían ser suspendidas y la fase austenítica se volvería estable a alta temperatura. Aunque estos trabajos continuaron por algunos años, fueron de interés únicamente académico.

Así tenemos que el desarrollo comercial de las fundiciones grises austeníticas se debió a las investigaciones y desarrollo de programas de mercado llevados a cabo particularmente. Entre ellos las investigaciones realizadas por la Internacional Nickel Company en el período de la post-guerra, como un medio de descubrimiento de nuevos mercados para el excedente de níquel que surgió del incremento de la capacidad de producción desarrollada durante la primera guerra mundial.

Como resultado de tales investigaciones, se llegó a establecer que el hierro fundido conteniendo 20% o

más de níquel es austenítico, y se demostró que tales adiciones mejoraban las propiedades de las fundiciones grises en lo concerniente a resistencia a la corrosión y resistencias a altas temperaturas. Además, las fundiciones grises austeníticas presentaban como características especial el hecho de no ser magnéticas.

## 1.2 Importancia del Desarrollo de las Fundiciones Grises Austeníticas en el Ecuador.

Las fundiciones austeníticas podrían robustecer las actividades de producción de las fundiciones nacionales si se considera la posibilidad y conveniencia de incorporarlas a sus programas de trabajo como una línea de producción adicional, ya que por su volumen de importaciones, según se conoce por cifras estadísticas, disponen de un mercado bastante significativo. Además, en la mayoría de los casos, no ofrecen demasiadas complicaciones técnicas, por lo que se puede recomendar la fabricación de ciertos bienes como bombas, accesorios para la industria, etc. por parte de algunas fundiciones nacionales que disponen de las instalaciones y equipos necesarios para iniciar su producción.

Conociendo del incremento en los últimos años en can-

tidades elevadas la demanda de bombas centrífugas destinadas al constante desarrollo de la industria camaronera, las cuales requieren de bombas construidas de materiales con propiedades altamente anticorrosivas.

Así mismo, partiendo de estos niveles de demanda de las bombas centrífugas determinadas a través de investigaciones y estadísticas realizadas por CENDES, se tiene que de estos cuadros de investigaciones directas que la demanda en el Ecuador está orientada de la siguiente manera: 38% de 20", 24% de 16", 21% de 12" y 17% entre 25", 24", 8" y 6".

Es más, las importaciones de este tipo de bombas va alcanzando cifras que de aquí algunos años van a tener mucho significado. Resulta interesante conocer que las importaciones de una significativa cantidad de cierto tipo de bombas centrífugas, sus partes y sus piezas se mantienen en proporciones más o menos constantes. Además, se puede decir que el precio unitario de este tipo de bombas es muy elevado, lo que se explica por el hecho de que son artículos de especiales características y como es de conocimiento varían mucho según su procedencia.

Existen otras posibles líneas de producción que en



realidad son una enorme variedad de productos que se fabrican o se pueden elaborar en fundición gris austenítica.

En este corto análisis se identifican algunos productos de interés destacándose que en lo posible se han seleccionado productos que pueden responder de alguna manera a la expectativa de lograr mayores volúmenes de producción en las fábricas de fundición, con perspectivas de obtener resultados halagadores. Entre los artículos considerados tenemos: Hélices para barcos, repuestos de turbinas hidráulicas, accesorios de maquinaria agrícola, válvulas para regulación de flujo, etc. Las importaciones de este tipo de elementos alcanzan cifras muy significativas pero se ha optado por considerar niveles conservadores, tomando en cuenta que algunos artículos no han sido nombrados debido a su poco interés específico.

A través de lo expuesto anteriormente, se han sugerido productos que pueden ser considerados o incorporados como nuevas líneas de producción de las fundiciones de hierro gris existentes en el país, en miras a fortalecer su producción actual, a la vez que aprovechar convenientemente las capacidades ins-

taladas en las plantas nacionales.

Debería tenerse presente así mismo, que la eventual adopción de ciertas líneas de producción, requieren de instalaciones complementarias adecuadas, a más de una serie de consideraciones y recomendaciones de orden técnico que deberían ser tomadas en cuenta a fin de propiciar la consecución de resultados positivos en el proceso de producción.

En conclusión, la nueva línea de producción de las fundiciones grises austeníticas que se sugiere dispone de un mercado de sustentación representativo, el mismo que actualmente se abastece en su mayor parte con importaciones. Por tanto, se puede decir que en materia económica, la fabricación nacional de este tipo de productos, contribuiría a restringir o eliminar en lo posible las importaciones, fortaleciendo la posición de la balanza comercial del país y derivando además en una serie de ventajas para la economía nacional.

### 1.3 Variedades de las Fundiciones Austeníticas

Lo primera aplicación de estas fundiciones tuvo lugar en Gran Bretaña. S.E. Dawson de Ferranti Limited aplicó para una patente británica al obtener hierro no

magnético por la adición de altas proporciones de níquel y manganeso.

Ferranti Limited estuvo produciendo esta fundición bajo la denominación de NOMAG para la fundición de maquinaria eléctrica por el año de 1924 y desde entonces el NOMAG tuvo una demanda sustancial en el mercado. Este material es ideal para la fundición de maquinaria eléctrica, mecanismos, accesorios, etc. Su preferencia radica en que posee una gran ventaja sobre otros materiales no magnéticos en lo que se refiere a su alta resistencia eléctrica. De esta manera el NOMAG ofrecía a los diseñadores eléctricos un buen metal fundido que en la práctica presentaba pérdidas electromagnéticas mínimas.

A pesar de muchos esfuerzos por reemplazar el NOMAG con otros metales, éste permanece estable actualmente y se usa extensamente en la fabricación de maquinaria eléctrica.

Los resultados de las investigaciones de la Inco en EE.UU. fueron presentados por Vanick y Merica ante la sociedad americana para el tratamiento del acero en 1930.

Este trabajo que se tituló "ni-resist resistente a

la corrosión y al calor", resume algunos años de trabajo de laboratorio, a los que se puede agregar experimentos independientes realizados por Arnott (en Inglaterra), pues tienen sustancialmente idénticas conclusiones, es decir la composición del material, sus propiedades resistentes al calor y la corrosión, y finalmente, sus posibilidades comerciales.

Arnott denominó a la nueva fundición "NIMOL" y la desarrolló el NIMOL utilizando fragmentos de Monel 400 (Ni 66% - Cu 34%) como adición al hierro fundido.

Más tarde en Gran Bretaña el Nimol, que había permanecido en el mercado por tres o cuatro años, fue sustituido por el ni-resist, cuyo uso se difundió rápidamente, pues ya que en 1932 se lo utilizaba ampliamente en aplicaciones diversas tales como tubos, válvulas, filtros, y en ingeniería química en general por sus características especiales.

Pronto se realizaron modificaciones en la composición de estos hierros, dependiendo esto de las características de resistencia a la corrosión o al calor que cada aplicación presentaba.

Así es como en Inglaterra, la Asociación Británica para la Investigación del Hierro Fundido (BCIRA) desarrolló el NICROSILAL como una fundición resistente al calor, superior a cualquier material conocido hasta entonces.

Previamente, dicha asociación había desarrollado el SILAL (5% de Si) como fundición resistente al calor. Sin embargo, este material presentaba cierta fragilidad a elevadas temperaturas. El Nicrosilal es una fundición austenítica con alto contenido de silicio (5% Si) que además contiene de 18 a un 20% de níquel.

Es muy utilizada para la construcción de piezas y accesorios para la industria química pues resiste muy bien a los ácidos sulfúricos y nítricos. Su resistencia a la tracción que a la temperatura ambiente es de  $35 \text{ Kg/mm}^2$  a  $550^\circ\text{C}$  es todavía de  $12 \text{ Kg/mm}^2$ . SE caracteriza también por resistir bien al calor y no experimenta ni oxidaciones ni hinchamientos sensibles al ser calentada hasta  $825^\circ\text{C}$ .

Luego, se estableció que el silicio en porcentajes de 5 a 6% en las fundiciones austeníticas, mejoraban aún más su resistencia a estos agentes corrosivos, como ciertos ácidos minerales.

Esto condujo a su utilización en nuevas aplicaciones en la industria química, bajo el nombre de Audcoloy.

#### 1.4 Fundiciones Grises de Alto Contenido de Níquel.

Se ha establecido un grupo de fundiciones aleadas con un contenido de un 15 a 35% de níquel y cantidades variables de Cu, Cr, Si que forman una familia muy característica.

Son de estructura austenítica y sus composiciones se detallan en la Tabla I.

Las fundiciones grises austeníticas se caracterizan por su resistencia a elevadas temperaturas sin oxidarse ni dilatarse como sucede en las fundiciones ordinarias, lo cual se aprecia en la Fig. 1.

Su resistencia a la tracción suele oscilar de 15 a 30 Kg/mm<sup>2</sup>, su alargamiento de 1 a 2% y la dureza de 120 a 180 Brinell.

Debido a sus altos coeficientes de dilatación ciertas fundiciones grises austeníticas no suelen resistir bien a los cambios bruscos de temperatura. Para estos casos se emplean fundiciones austeníticas especialmente fabricadas para este fin.

## COMPOSICION DE LAS FUNDICIONES GRISES AUSTENITICAS

(%)

Tipo	C	Si	Mn	Ni	Cu	Cr	S
1	3	1 - 2,80	0,5 - 1,5	13,5 - 17,5	5,5 - 7,5	1,5 - 2,5	0,12
1b	3	1 - 2,80	0,5 - 1,5	13,5 - 17,5	5,5 - 7,5	2,5 - 3,5	0,12
2	3	1 - 2,80	0,5 - 1,5	18,0 - 22,0	0,5 max	1,5 - 2,5	0,12
2b	3	1 - 2,80	0,5 - 1,5	18,0 - 22,0	0,5 max	3,0 - 6,0	0,12
3	2,6	1 - 2,0	0,5 - 1,5	28,0 - 32,0	0,5 max	2,5 - 3,5	0,12
4	2,6	5 - 6,0	0,5 - 1,5	29,0 - 32,0	0,5 max	4,5 - 5,5	0,12
5	2,4	1 - 2,0	0,5 - 1,5	34,0 - 36,0	0,5 max	0,10 max	0,12
6	3	1,5 - 2,5	0,5 - 1,5	18,0 - 22,0	3,5 - 5,5	1 - 2	0,12

Las fundiciones austeníticas conservan buena resistencia a la tracción en caliente conservando a 450°C un 50% de su resistencia a la temperatura ambiente y a 800°C un 25%.

Su tenacidad es bastante buena y de todas las fundiciones grises son éstas las mejores.

El alto contenido de níquel en las fundiciones austeníticas le da bastante resistencia a los medios ácidos oxidantes incluyendo diluciones de concentraciones sulfúricas, hidrociorhídricas y algunos ácidos fosfóricos.

Como resumen se puede decir que su principal característica es su buena resistencia a la corrosión, aunque la resistencia al calor de algunas de estas aleaciones es verdaderamente notable.

En este grupo las fundiciones más clásicas son las de 15,5% de níquel y 2% de cromo y las de 20% de níquel y 2% de cromo que poseen muy buena resistencia a la corrosión y resisten en general temperaturas hasta de 750° C. En presencia de gases sulfurosos el límite de utilización es solo de 550°C.



----- AUMENTO DE PESO POR OXIDACION

———— AUMENTO DE VOLUMEN

A FUNDICION GRIS

B FUNDICION GRIS AUSTENITICA

155 NI

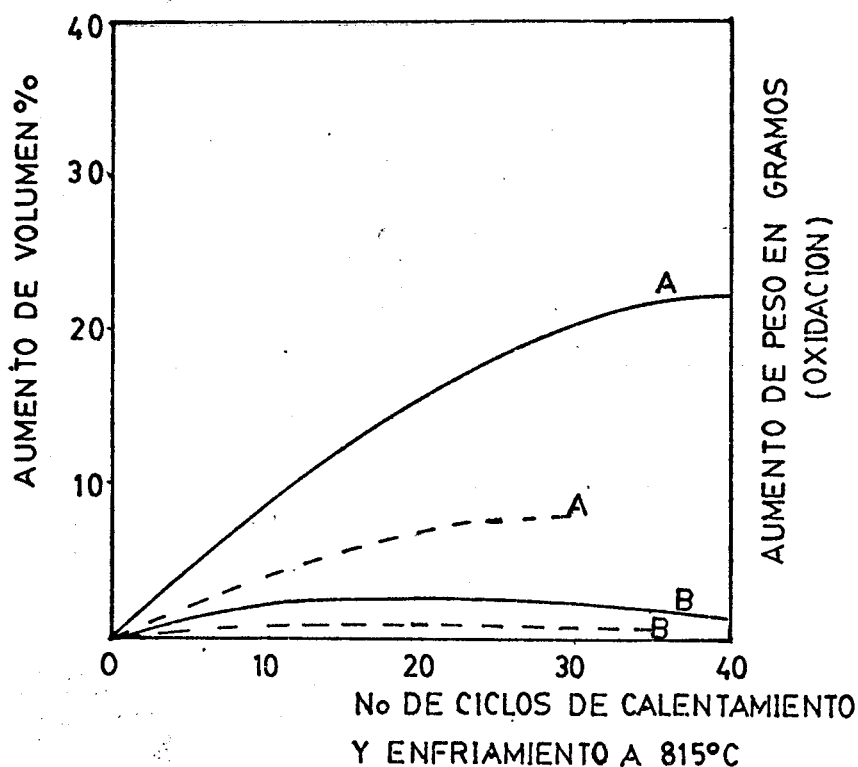


Fig. N° 1.- Influencia del número de Ciclos de Calentamiento a 815°C en el aumento de volumen y aumento de peso que experimentan las fundiciones ordinarias y la fundición gris austenítica.

Las fundiciones de 15,5% de níquel contienen además 6,5% de cromo y se caracterizan por su extraordinaria resistencia a los ácidos y en especial al ácido sulfúrico.

Las fundiciones de 20% de níquel, que son más caras, resisten muy bien al ácido sulfúrico, a los álcalis, sustancias cáusticas y soluciones amoniacaes. Resiste mejor que el acero inoxidable 18-8.

Estas fundiciones con 15,5 y 20% de níquel se fabrican generalmente con 3% de carbono. En los casos que se requiere obtener más dureza y más resistencia, se fabrican con un 2,8% de carbono.

Las fundiciones de 20% de níquel que no contienen cobre sobre las de 15% níquel y 6,5% de cobre la ventaja de que con ellas no hay peligro de que se contaminen, ciertas sustancias que pueden estar en contacto con la fundición, como sustancias alimenticias, materias plásticas, etc.

Se puede mejorar la resistencia al calor de las fundiciones de 20% de níquel aumentando el porcentaje de cromo hasta un 4,5% generalmente. Esta fundición resisten en servicio temperaturas de 800°C - 820°C, no siendo recomendable pasar de 6% de cromo porque aumenta mucho la fragilidad.

Todas las fundiciones de 15,5% a 20% de níquel no resis-

ten, como se mencionó antes a los choques térmicos por su alto coeficiente de dilatación que es del orden de  $19,0 \times 10^{-6}$ , valor muy elevado comparado con el del acero, que es del orden de  $12,5 \times 10^{-6}$ .

Este problema se puede resolver empleando fundiciones con 30% de níquel que tienen en el intervalo de  $20^{\circ}\text{C}$  -  $700^{\circ}\text{C}$  un coeficiente medio de dilatación muy próximo a  $12 \times 10^{-6}$ .

Cuando interesa una gran resistencia a los choques térmicos, se suelen emplear fundiciones con 30% de níquel y 3% de cromo, que tienen además, muy buena resistencia a los ácidos y a los álcalis. Esta fundición también presenta la ventaja de tener un coeficiente de dilatación muy próximo al del acero.

Cuando se desea que las piezas fundidas de gran resistencia al calor tengan la superficie muy pulida, con superficies bien lisas y brillantes, y con un aspecto muy agradable, se utilizan fundiciones con 30% de níquel y 5% de cromo. Resisten bien a los agentes atmosféricos y a los productos corrosivos. Sirven para la fabricación de maquinaria para plásticos, para fabricación de papel, etc. Resisten a atmósferas sulfurosas hasta  $875^{\circ}\text{C}$  con un coeficiente de dilatación próximo al del acero.

Para los casos en que interesa la fabricación de piezas que tengan gran estabilidad dimensional y dilataciones muy pequeñas con los cambios de temperatura, se emplea una fundición con 35% de níquel. Su coeficiente de dilatación es aproximadamente la mitad al del acero.

## PROPIEDADES DE LAS FUNDICIONES GRISES AUSTENITICAS

### 2.1 Propiedades Mecánicas

Los rangos de propiedades mecánicas para cada tipo de la fundición gris austenítica se dan en la Tabla II. Estos valores están de acuerdo a la primera especificación ASTM - A436.

La resistencia a la tracción es esencialmente la misma para todos los tipos de fundición gris austenítica colados en arena. Las propiedades medias de resistencia e impacto se pueden obtener con técnicas simples de fusión y manipuleo de metal. Los rangos más altos de resistencia están controlados por el tamaño, la cantidad y distribución de las láminas de grafito, es posible aumentarlo significativamente bajando los contenidos de carbono y silicio.

Los diferentes tipos de fundiciones grises tienen diferencias en la estructura del grafito, lo cual va a tener más de un efecto sobre las propiedades de tensión y sobre la dureza, como se puede apreciar en la Fig. 2.

La dureza tiene un valor determinado para cada fundición, y es un excelente método de establecer consistencia de las fundiciones en cantidades de producción, donde este tipo de fundición ha sido establecido satisfactoriamente para determinada aplicación.

En lo que se refiere a la densidad tenemos que el peso de la fundición gris austenítica se puede calcular en base a  $0,266 \text{ lb/pulg}^3$ , el cual es 5% más pesado que el hierro gris, pero 15% más ligero que el bronce.

## 2.2 Propiedades Físicas

El rango de las propiedades físicas de los diversos tipos de hierro gris austenítico están dadas en la Tabla III, éstas se encuentran así mismo con la especificación ASTM A-436.

### 2.2.1 Expansión Térmica

En la Tabla III y en la Fig. 3, se puede apreciar que se dispone de valores de coeficientes de expansión en un rango de 2.2 y 10.28 millonésima por grado F entre 50 y 200°F. Este amplio rango de expansión tér-

PROPIEDADES MECANICAS DE LAS FUNDICIONES GRISES AUSTENITICAS

	Tipo 1	Tipo 1b	Tipo 2	Tipo 2b	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5
Resistencia a la Tensión (Psi x 10 <sup>3</sup> )	25-30	30-35	25-30	30-35	25-30	25-30	20-25
Resistencia a la Compresión (Psi x 10 <sup>3</sup> )	100-120	-	100-120	130-160	100-130	80	80-100
Resistencia a la Torsión (Psi x 10 <sup>3</sup> )	35-40	-	35-40	45-60	35-45	29	30-35
Módulo de Torsión (Psi x 10 <sup>6</sup> )	4,5	-	4,5	5,5	5,0	4,0	4,5
Módulo de Elasticidad (Psi x 10 <sup>6</sup> ) (en 25% de resist. a la tens.)	12-14	14-16	15-16,2	15-16,5	15-15,5	15	10,5
Punto de entrada permanente (psi)	3.000	-	3.000	-	-	-	-
Propiedades trasversales (18") carga (mil libras) (deflexión.pulg)	2,0-2,2	-	2,0-2,2	2,4-2,8	2,0-2,4	1,8	1,8-2,0
Capacidad amortiguadora de vibración.	alta	media	alta	media	alta	media	alta
Límite de resistencia a la fatiga.	12.000	-	12.000	18.000	13.500	9.000	9.900
Dureza Brinell	130-170	150-210	125-170	170-250	120-160	150-210	100-125
Dureza de Impacto	100	80	100	60	150	80	150

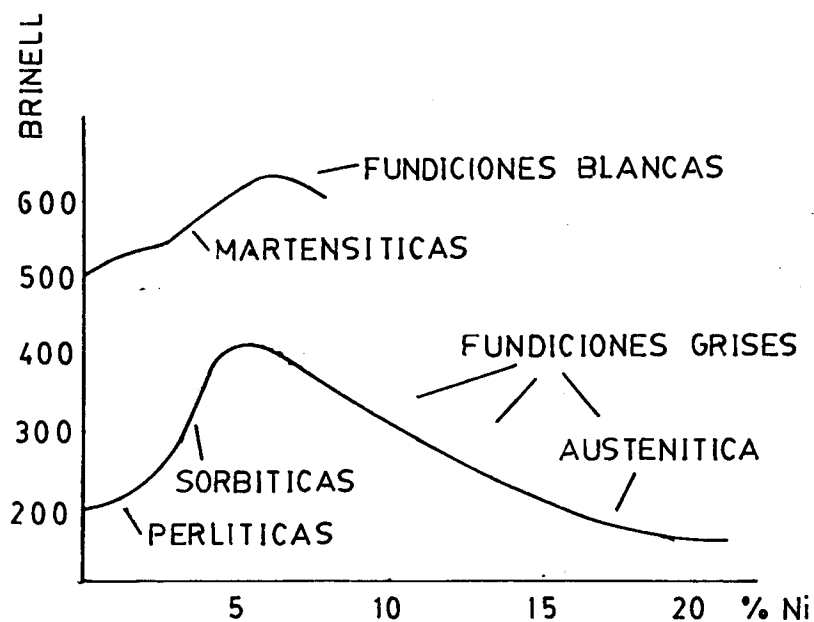


Fig. N° 2.- Durezas y microestructuras correspondientes a las fundiciones aleadas con Níquel.



mica se ha utilizado en diversas situaciones importantes.

Para muchos tipos de servicios, una expansión térmica rápida no trae problemas. Sin embargo, cuando se utilizan los tipos 1, 1b, 2 y 2b, en servicios donde se los calienta o enfría lentamente, se deben tomar precauciones adecuadas para permitir la libre expansión de estos tipos, sin que ocurra pandeo o estancamientos.

### 2.2.2 Alta Expansión

Las fundiciones grises austeníticas de alta expansión (1, 1b, 2 y 2b) se usan con frecuencia en combinación con metales como el aluminio, cobre, bronce, aceros inoxidable austeníticos con coeficientes de expansión térmica de 9 a 12 millonésimas de °F; tales combinaciones evitan la falla de uniones entre dos materiales.

Ejemplos de estas prácticas en servicio incluyen anillos que conducen bandas como fundiciones insertadas en pistones de aluminio, aspas de acero inoxidable 18-8, esta inserción en

los cuerpos de fundición del hierro gris austenítico.

Si la fundición gris austenítica es usada con acero, fundición de hierro o acero inoxidable con 12-14% de cromo en temperaturas de 260°C (500°F) o más, se recomienda utilizar el tipo 3 de esta aleación.

Es importante que para una combinación de ajuste conveniente con partes de metales diferentes, se considere que la temperatura de operación en el medio de expansividad esté equilibrada. Esto se demuestra en la Fig. 4 que variando el contenido de níquel en el tipo 3 de la fundición gris austenítica de un 28 a 32% varía el coeficiente medio de expansión para 480°C (900°F) desde 8,6 millonésimo por °F para un contenido de 28% de níquel a 7,6 millonésimo por °F para un contenido de 32% de níquel.

### 2.2.3 Expansión Mínima

La fundición gris austenítica del tipo 5 ha sido probada satisfactoriamente en aplicaciones donde la baja expansión térmica es deseada, ya

que su coeficiente es mucho menor en relación a un fundición no aleada. También es necesario observar la influencia que el contenido de níquel ejerce en el coeficiente de expansión, ya que éste aumentará si se disminuye el contenido de níquel en la aleación, por otro lado, la temperatura tiene un efecto similar en el coeficiente de expansión pero en menor intensidad.

La combinación de baja expansión térmica, alta capacidad de amortiguamiento, resistencia al desgaste y buena maquinabilidad de esta aleación ha sido de ayuda especialmente en la elaboración de piezas de precisión para máquinas herramientas e instrumentos científicos. Además, ha sido usada ampliamente en la fabricación de matrices para la industria papelera, industria plástica y con una adición de cromo para la elaboración de moldes de vidrio. Con un porcentaje hasta el 3% de cromo, la fundición gris austenítica tipo 5 ofrece baja expansión y alta resistencia al calor y a la oxidación. Esta última propiedad está provista a costa de un ligero incremento en su expansividad.

PROPIEDADES FISICAS DE LAS FUNDICIONES GRISES AUSTENITICAS

	Tipo 1	Tipo 1b	Tipo 2	Tipo 2b	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5
Peso específico	7,3	7,3	7,3	7,4	7,4	7,4	7,4
Densidad Lb/pulg <sup>3</sup>	0,264	0,264	0,264	0,268	0,268	0,268	0,268
Temperatura de Fusión °F	2250	-	2250	2300	2250	2200	2250
Expansión Térmica (70-400°F) (20-205°C)							
Millonésima por °F	10,7	10,7	10,4	10,4	6,9	8,1	2,8
Millonésima por °C	19,3	19,3	18,7	18,7	12,4	14,6	5,0
Conductividad Térmica calorías/cm <sup>3</sup> /Scg/°C	0,095	0,095	0,095	0,095	0,94	0,090	0,094
Calor específico cal/gm/°C	0,110	-	0,116	-	0,111	0,120	-
Resistividad eléctrica (Microhm por cm <sup>3</sup> )	140	-	170	-	-	160	-
Coefficiente de Temperatura de Resistencia Eléctrica (20-427°C) (70-800°F)	0,0001769	-	-	-	-	-	-
Respuesta Magnética	no magnét.	n.m.	n.m.	n.m.	m.	n.m.	m.

n.m. = no magnético

TABLA IV

## CARACTERISTICAS TIPICAS DE EXPANSION

M A T E R I A L	Coeficiente medio de Expansión Térmica (Millonésima por °F)	
	Hasta 200°F	Hasta 1.000°F
Fundición Gris	6,40	7,80
Tipo 1 y 1b Fundición Gris Austenítica.	10,28	10,7
Tipo 2 y 2b Fundición Gris Austenítica.	9,58	10,3
Tipo 3 Fundición Gris Austenítica.	5,30	8,8
Tipo 4 Fundición Gris Austenítica.	7,30	9,3
Tipo 5 Fundición Gris Austenítica.	2,20	6,1

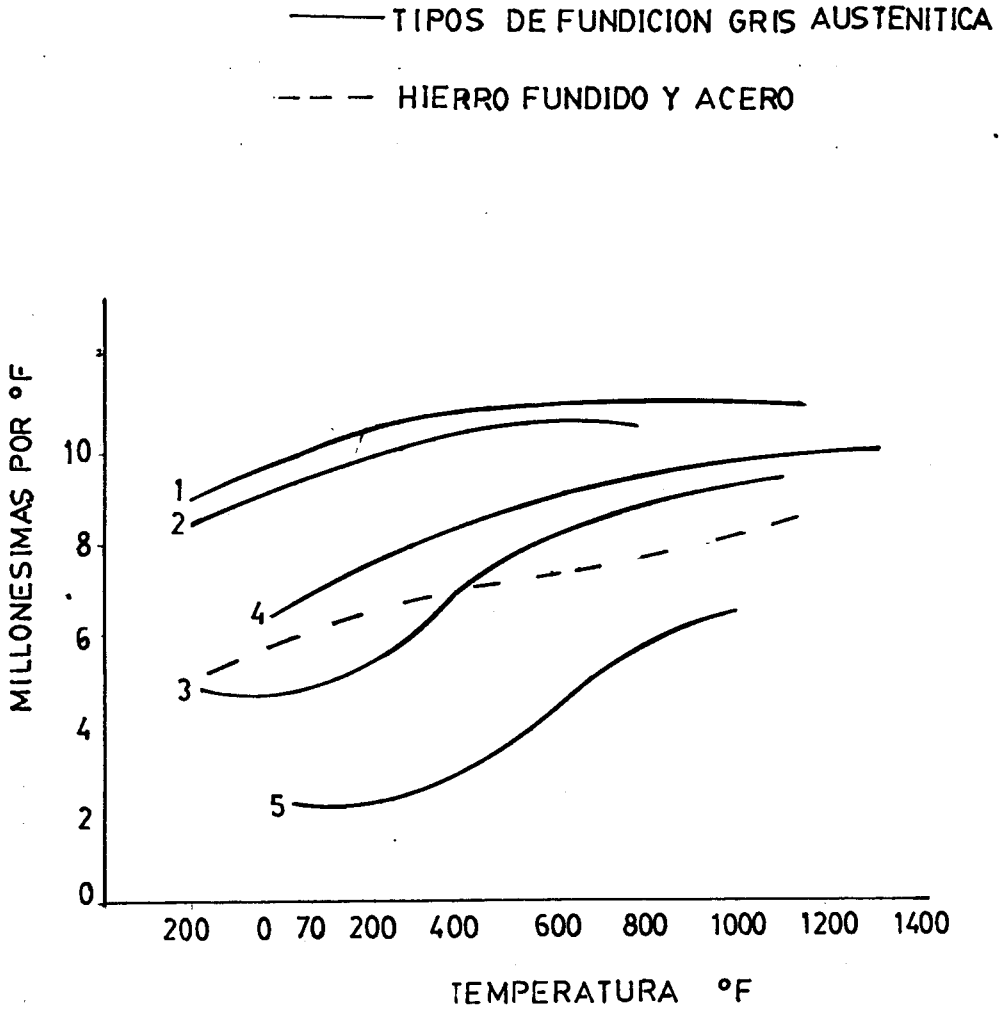


Fig. Nº 3.-- Coeficiente Medio de Expansión de Varios tipos de fundición gris austenítica.

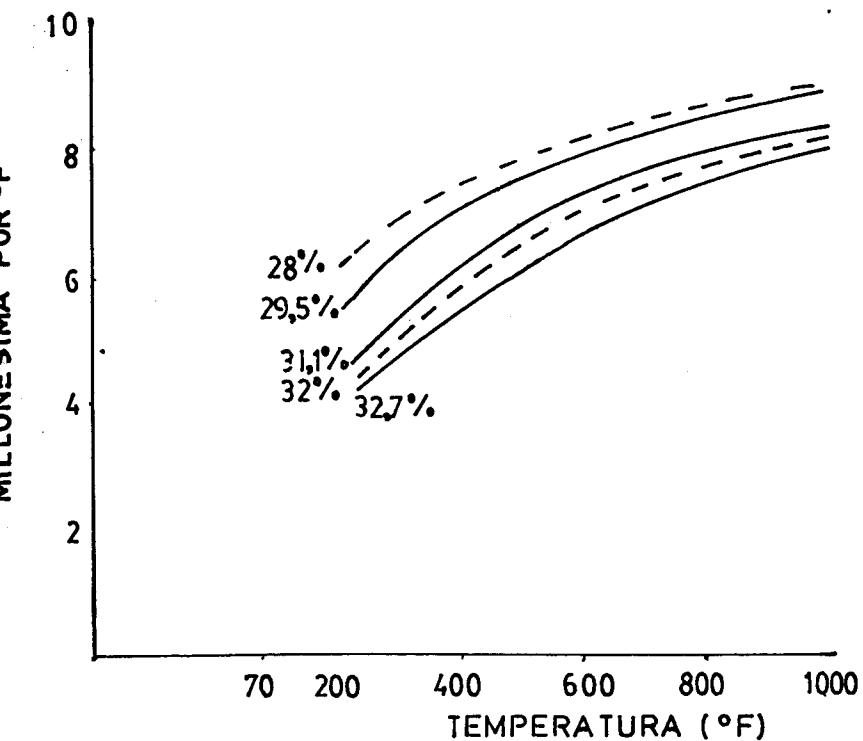


Fig. N° 4.- Efectos del Contenido del Níquel del Tipo 3 de la Fundición Gris Austenítica sobre la Expansividad Térmica.

#### 2.2.4 Conductividad Térmica

La conductividad térmica de las aleaciones de hierro gris austenítico y de algunos tipos de acero e hierro gris es demostrada en la Tabla V.

La conductividad de calor de las aleaciones de hierro gris austenítico es aproximadamente 85% la del hierro gris. Sin embargo, debido a la gran resistencia a la corrosión del hierro gris austenítico, la formación de una capa de aislamiento gruesa y de productos corrosivos es prevenida y una más alta capacidad de transferencia de calor es mantenida que la posible en las aleaciones de menor resistencia a la corrosión. Por ejemplo, un cilindro de los tipos 2 ó 3 de hierro gris austenítico manejando jabones, plásticos y cáusticos, mostró pérdidas perceptibles en la eficiencia de la producción aunque existe una diferencia en la conductividad del calor entre las aleaciones de hierro gris austenítico y el hierro previamente usado.

Cuando se considera la conductividad de calor del hierro gris austenítico en aplicaciones tales como intercambiadores de calor, recipientes metálicos en la que la transferencia de ca-



lor desde y hacia la superficie debe ser considerada, cuando un fluido fluye sobre una superficie caliente se adhiere una capa de estancamiento o película que actúa como un aislador entre la superficie y el líquido o gas. Los efectos de la película son relativamente tan grandes que hacen considerar los cambios en la conductividad térmica sin importancia.

#### 2.2.5 Choque Térmico

Los tipos de alta expansión de las fundiciones grises austeníticas operan satisfactoriamente a elevadas temperaturas cuando ésta es constante.

Estas aleaciones no deberían ser usadas bajo condiciones de cambios súbitos o cíclicos de temperatura, porque los resultados inducen altos esfuerzos. En cambio, a baja expansión térmica se considera el tipo 3 apropiado o en casos extremos el tipo 5 sería el indicado. La Tabla VI indica la magnitud de esfuerzos que pueden tener lugar por los cambios súbitos de temperatura sobre rígidas estructuras de fundición gris y sobre varios tipos de fundición gris austenítica.

En condiciones de servicio, los máximos esfuerzos indicados en la Tabla VI deben ser alcanzados porque las estructuras rígidas no pueden ser empleadas. Sin embargo, son fácilmente vistas que la aleación de baja expansión.

Una ventaja distinta del punto de vista de la resistencia al choque térmico particularmente en servicios térmicos cíclicos hasta 450°F. El tipo 3 ha demostrado satisfactoriamente la resistencia al agrietamiento bajo estas condiciones. Si el servicio térmico es conocido como severamente inusable entonces es necesario recomendar que la expansión mínima del tipo 5 sea considerada.

#### 2.2.6 Propiedades Eléctricas y Magnéticas

En la Tabla VII se puede observar que la aleación de hierro gris austenítico puede tener resistencia eléctrica específicamente alta y menos que un cuarto del coeficiente térmico de resistencia eléctrica de la fundición gris.

Los tipos 1, 2 de hierro gris austenítico son de carácter no magnético y los tipos 1b, 2b y 4 son ligeramente magnéticos.

TABLA V

## CONDUCTIVIDAD TERMICA

MATERIAL	$\frac{\text{Cal-cm}}{\text{cm}^2\text{-seg-}^\circ\text{C}}$	$\frac{\text{BTU/pulg.}}{\text{pulg}^2\text{-hr-}^\circ\text{F}}$
Tipo 1, 1b, 2b de Fundición Gris Austenítica	0,095	275
Tipo 3, 5 de Fundición Gris Austenítica	0,094	273
Tipo 4 de Fundición Gris Austenítica	0,090	260
Fundición Gris	0,108-0,131	313-380
Acero	0,15 - 0,17	435-495
Acero 12% Cr	0,045	133
Acero 18% Cr.8% Ni	0,039	113

ESFUERZOS TERMICOS MAXIMOS EN ESTRUCTURAS RIGIDAS CAUSADAS POR CAMBIOS SUBITOS  
DE TEMPERATURA

M A T E R I A L	Condiciones de Servicio	Esfuerzo de Expansión	Psi Esfuerzos
Fundición de hierro no aleado	Entre vapor a 338°F y agua a 70°F	0,0188	22.000
Tipo 1 y 2 (Fundición gris austenítica)		0,00287	34.000
Tipo 3 (Fundición gris austenítica)		0,00134	19.000
Tipo 5 (Fundición Gris Austenítica)		0,00856	12.000
Hierro no aleado	Entre 250 °F y agua 60°F	0,00127	15.000
Tipo 1 y 2 (Fundición Gris Austenítica)		0,00199	24.000
Tipo 3 (Fundición Gris Austenítica)		0,00086	12.000
Tipo 5 (Fundición Gris Austenítica)		0,00049	7.500

Debido a estas propiedades típicas en estas fundiciones son ampliamente conocidas en la industria eléctrica que requiere de estas características.

En la Tabla VIII se observan las propiedades magnéticas de la fundición gris austenítica. Los tipos 1, 2 de permeabilidad magnética de 1,03 se comportan inertes a la atracción de un imán alnico. Sin embargo, es notable que con un ligero incremento de carburos, tales como se presenta en los tipos 1b, 2b, aumentando su dureza de 15 a 20 puntos Brinell e incrementando la atracción al imán alnico. Así en los tipos 1, 2 que poseen una dureza cerca de 190 puntos Brinell se podría contar con que tienen la permeabilidad magnética de 1,05 o menor.

La mayor parte de las especificaciones de la fundición gris austenítica están dadas por el carácter no magnético, para lo cual se especifica un máximo de permeabilidad de 1,2. Este valor es considerado alto en comparación a los valores encontrados para los tipos 1, 2 con dureza bajo 175 puntos Brinell.

TABLA VII

## PROPIEDADES ELECTRICAS

MATERIAL	RESISTIVIDAD ELECTRICA MICROHMS POR CM.	COEFICIENTE DE TEMPE- RATURA DE RESISTENCIA ELECTRICA
Fundición Gris	75 - 100	0,000717
Tipo 1, 1b, 2 y 2b Fundición Gris Auste- nítica.	130 - 170	0,000177
Acero medio contenido de Carbono	18	0,0017
12% Cr. Acero	57	
18% Cr. 8% Ni Acero	70	

TABLA VIII

## PROPIEDADES MAGNETICAS

MATERIAL	RESPUESTA AL MAGNETISMO	PERMEABILIDAD	MAGNETISMO RESIDUAL
Fundición Gris	Fuerte	125	-
Tipo 1, 1b, 2 y 2b Fundición Gris Austenítica	Ninguna	1.03	10
Tipo 3 y 5 Fundic. Gris Austenítica	Media	-	-
Tipo 4 Fundición Gris Austenítica	Ligera	-	-

El caracter de no magnética de los tipos 1, 1b, 2 y 2b es utilizado para hacer comparaciones preliminares en cuanto a su composición. Cuando el contenido de la aleación cae del mínimo específico la respuesta magnética tiene lugar y tienen las propiedades diferentes de aquellas propias de su composición normal y por consiguiente esta aleación se torna dura, dificultosa de maquinarse y con poca resistencia al calor y a la corrosión porque no es totalmente austenítica.

En esta aleación con el incremento de cromo se nota un ligero aumento en la respuesta magnética. Esto sin embargo, no es una característica no deseable ya que el contenido de cromo en esta aleación origina ciertas propiedades especiales.

En los tipos 3 y 5 existe alguna respuesta magnética, hay aproximadamente de 50 a 100% más de níquel que los tipos 1 y 2. Por lo tanto, con el incremento de níquel aumenta la respuesta magnética.

### 2.3 Propiedades a Elevadas Temperaturas

Para realizar servicios a elevadas temperaturas es



conveniente que las fundiciones satisfagan tres requerimientos especiales que son los siguientes:

- 1.- Es necesario que sean resistentes a la fractura y a la deformación bajo cargas a elevadas temperaturas.
- 2.- Es necesario que posean resistencia a la oxidación para elevadas temperaturas de servicio.
- 3.- Es necesario que su estructura sea estable no sujeta a las transformaciones de fase a la cual se encuentra en servicio.

De las fundiciones que cumplen con estos requerimientos se establece un grupo de aleaciones para servicios a elevadas temperaturas, en la cual está comprendida la fundición gris austenítica.

En esta fundición la combinación del cromo con el níquel da origen a una sistema resistente a la oxidación a elevadas temperaturas, por lo cual puede ser usada efectivamente a temperaturas de 400 a 820°C (750-1500°F).

Aunque la resistencia a la tensión del hierro gris austenítico a temperaturas debajo de los 550°C (1025°F)

no es mucho más grande que la resistencia a la tensión de un hierro de baja aleación. Sin embargo, el hierro gris austenítico exhibe una superioridad sustancial a elevadas temperaturas, lo cual es notable a partir de 600°C (110°F).

Esta aleación es de gran utilidad para líquidos y gases que prestan servicios a temperaturas de 400°C o más, por lo cual se hace recomendable para compresores y bombas en el manejo de sustancias tales como gases fermentados, crudos de gasolina, productos cáusticos y otros corrosivos.

.

En la Tabla IX se indican las cualidades en servicios a elevadas temperaturas. Es importante notar que después de 200 horas de prueba, las aleaciones de hierro gris austenítico han demostrado que no sufren pérdida de peso comparadas con los otros metales que han sido sometidos a la misma prueba, los cuales están en continua corrosión.

De estas aleaciones, los tipos 2b y 3 han demostrado buen promedio de vida en servicio en el manejo de vapor húmedo en equipos tales como diafragmas de turbinas, válvulas, partes de válvulas y aros de tobera.

Los tipos que posee alto porcentaje de cromo resisten-

cia notablemente superior al desgaste y a las escamaduras en el vapor en altas temperaturas. Cuando se requiere de una buena resistencia a la transferencia y resistencia a altas temperaturas, se deben tomar en cuenta los grados ductiles de las fundiciones grises austeníticas. Estas aleaciones son aconsejables para servicios en vapor hasta  $540^{\circ}\text{C}$  ( $1000^{\circ}\text{F}$ ).

En algunos servicios a altas temperaturas, es aconsejable el uso del tipo 3 del hierro gris austenítico en combinación con el acero inoxidable con 12-14% de cromo para proveer de una superior resistencia al desgaste.

Para algunos servicios particulares a altas temperaturas; el contenido específico de níquel es importante cuando se presenta valores altos de expansión térmica.

Estas aleaciones son bien consideradas por su resistencia al desgaste a elevadas temperaturas en la fabricación de anillos para pistones en la cual responden mejor que las aleaciones de aluminio con lo que garantizan la extensión apreciable de la vida del motor, además de mejorar su rendimiento.

El tipo 1 es seleccionado para estos servicios por tener un coeficiente de expansión muy cercano al de

las aleaciones de aluminio.

## 2.4 Resistencia al Desgaste por Corrosión

En cuanto a resistencia a la corrosión, las aleaciones de hierro gris austenítico son intermedias entre las fundiciones grises y el acero inoxidable austenítico al cromo-níquel. Sin embargo, hay excepciones para ésto. Con respecto a casos similares de medios moderadamente corrosivos, la fundición gris y la fundición gris austenítica se corroen en bajas proporciones; otras excepciones ocurren en algunas reducciones ácidas y en algunos medios donde el hierro gris austenítico puede ofrecer una resistencia mucho mayor al ataque localizado que la que ofrece el acero inoxidable austenítico al cromo níquel.

### 2.4.1 Corrosión Galvánica

La corrosión galvánica se origina al fluir corriente entre dos metales de potencial distinto que se encuentran en contacto mutuo o inmersos en un electrolito. Este efecto galvánico generalmente se acentúa cuando el cátodo es grande en relación al ánodo.

Todo ésto constituye una de las causas funda -

TABLA IX

PROPIEDADES TÍPICAS DE FUNDICIONES GRISES  
AUSTENÍTICAS A ELEVADAS TEMPERATURAS\*

PROPIEDADES	T (°F)	RANGO DE VALORES
$\sigma_t$	700	25000 - 40000
	1000	15000 - 25000
	1500	6200 - 12000
$\sigma_c$	700	100000 - 140000
	1000	25000 - 50000
	1500	6200 - 12000

\* Límites de Temperatura:

- Fundición Gris Austenítica (1.75 - 2.5% Cr): 1300°F
- Fundición Gris Austenítica (3 - 6 % Cr): 1500°F
- El ensayo de oxidación se realizó en una atmósfera de CO<sub>2</sub>
- Estas propiedades de la fundición austenítica revelan una ventaja de 12:1 sobre la fundición gris.

mentales de la corrosión en válvulas y bombas en que se utiliza hierro fundido y bronce, cuya diferencia de potencial es relativamente alta y por consiguiente sería la causa de la excesiva corrosión galvánica por parte del hierro fundido. Este efecto galvánico ha podido ser disminuido con el empleo de las fundiciones grises austeníticas y el hierro fundido ya que su diferencia de potencial es relativamente pequeña comparada con la combinación anterior del hierro fundido. La corrosión galvánica es diez veces menor que la que ocurriría en el hierro fundido en contacto con el bronce.

Además la fundición gris austenítica se la puede utilizar satisfactoriamente con el acero galvanizado, aleaciones de aluminio, aceros e hierros no aleados, con los cuales se comporta catódicamente y presenta comportamiento anódico con aleaciones de varios tipos con base cobre y aleaciones con base níquel.

De las aleaciones más recientes, particularmente los aceros inoxidable austeníticos son los más frecuentes usados con las aleaciones de hierro gris austenítico en medios salinos sin introducir serios problemas de corrosión galvá-

nica.

Ejemplos típicos de los que se han tenido éxito son la combinación de hierro gris austenítico y los aceros inoxidable en la fabricación de bombas y válvulas.

#### 2.4.2 Corrosión Atmosférica

La velocidad de la corrosión atmosférica está determinada generalmente por la humedad relativa, la presencia de varios gases que se encuentran en el medio y las partículas sólidas que se encuentran en el aire. De estos efectos, la humedad relativa es la que proporciona un mayor incremento en la velocidad de corrosión.

Entre los medios atmosféricos, la atmósfera marina es considerada como una de las más severas, por cuanto, los cloruros representan el mayor efecto que incrementa la velocidad de corrosión. Luego, tenemos las atmósferas industriales que sufren de un marcado efecto por los dióxidos de azufre. De esto se ha establecido que es improbable que la velocidad de corrosión exceda de 5 mpy, aún en las atmósferas industria-

les más corrosivas. Este comportamiento se atribuye a que los productos de corrosión forman capas protectoras sobre las superficies de las fundiciones que se encuentran expuestas en atmósferas agrasivas.

Esto puede evidenciarse por los resultados obtenidos durante 15 años de prueba en atmósfera marina realizados por el laboratorio de Kure Beach N.C. (Fig. 5). Está demostrado en esta figura que los productos de corrosión que se forman sobre la fundición gris austenítica la protege muy bien. Es así que la velocidad de corrosión obtenida en el tipo 1 de la fundición gris austenítica es menor de 0,1 mpy, en comparación con la relación lineal de casi 5 mpy obtenida con una fundición de hierro maquinado.

#### 2.4.3 Resistencia en Solución Salina

Las fundiciones grises austeníticas son consideradas ideales para importantes aplicaciones en sistemas que se manejan con soluciones salinas. Estas soluciones proveen de ventajas significativas en relación a otras fundiciones de hierro no aleado, particularmente con respecto al incremento de la velocidad de corrosión y mejo-



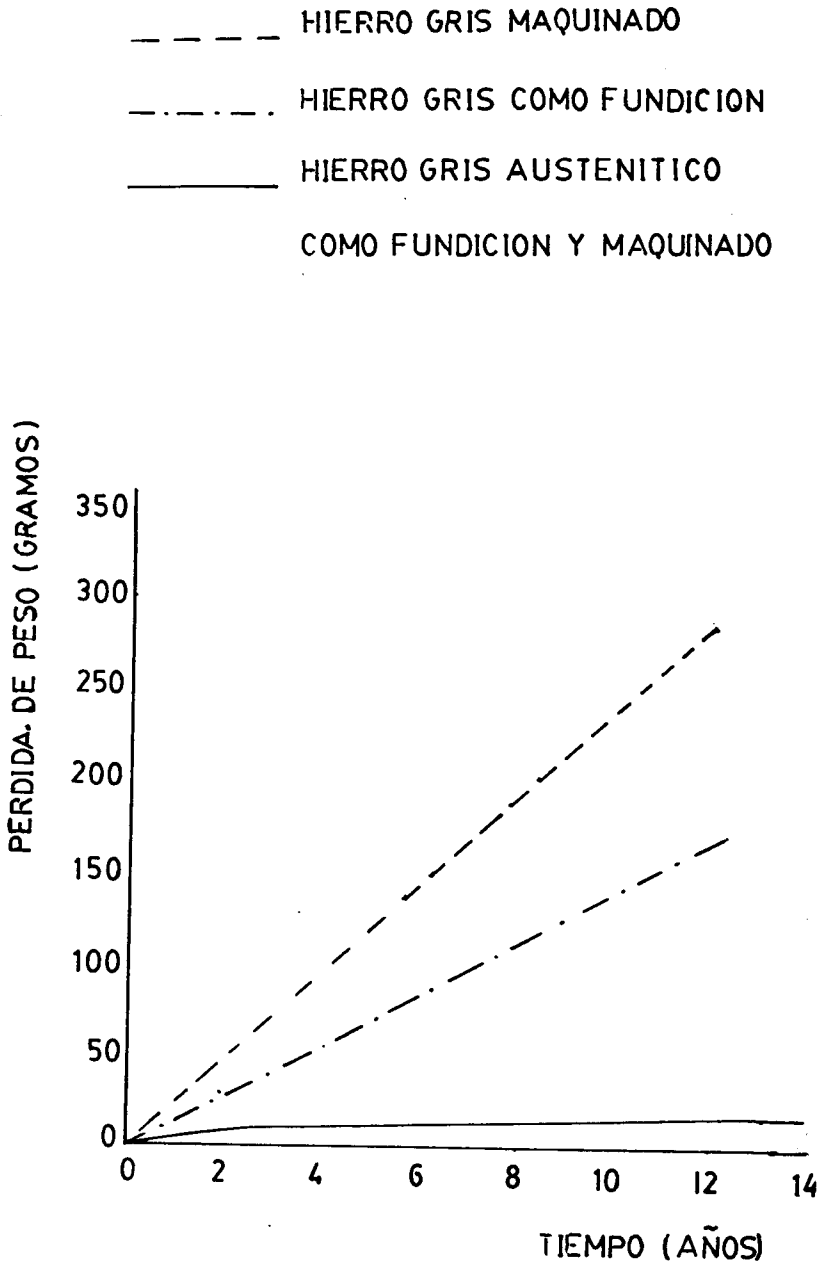


Fig. N°5.- Corrosión atmosférica en Kure Beach, NC, Atmósfera marina a 80 pies del océano.

ramiento de la compatibilidad galvánica de metales diferentes que se encuentran adyacentes o en contacto por medio de un electrolito.

La velocidad de corrosión en el agua salada generalmente aumenta con el incremento de temperatura sobre un rango normal ( $0.40^{\circ}\text{C}$ ). Esto se puede apreciar en la Fig. 6, donde se nota una menor sensibilidad del hierro gris austenítico a la temperatura con respecto a la fundición gris.

Lo mismo sucede con la velocidad de flujo y la turbulencia. Se notan diferencias en la resistencia a la corrosión por erosión del hierro gris austenítico con relación a otras aleaciones, debido a que éste elabora con los productos de corrosión película tenaz que inhibe los efectos corrosivos en un amplio rango de condiciones de corrosión por erosión, pues tiende a suprimir las interacciones galvánicas con metales diferentes.

A altas velocidades en agua salada, la velocidad de corrosión permanece alta, lo cual se debe al incremento del oxígeno disponible, por consiguiente, las pérdidas son sensibles al

● FUNDICION GRIS AUSTENITICA

■ FUNDICION GRIS

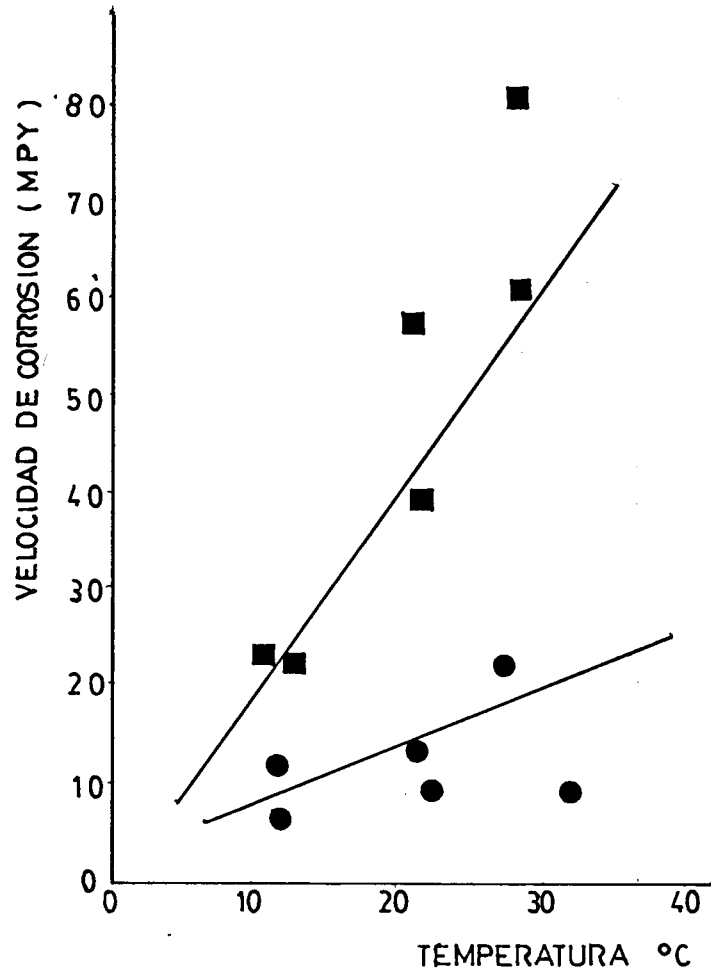


Fig. Nº 6, - Corrosión-Erosión en agua salada. Condiciones de Flujo Turbulento, 60 días de prueba a una velocidad de 27 pies/segundo.

contenido de oxígeno que incrementa por la formación de productos reactivos.

La forma del grafito en las fundiciones se considera de sustancial importancia en la resistencia al ataque por agua salada. Pruebas han demostrado que pequeñas diferencias ocurren en el comportamiento de fundiciones que poseen grafito laminar y grafito esferoidal en agua salada.

La adición de elementos aleantes pueden controlar la velocidad de corrosión en agua salada. Los elementos tales como cobre, níquel, cromo, que contienen las fundiciones grises austeníticas son el motivo de su alta resistencia en agua salada y además de excelente resistencia a la corrosión por erosión, razón por la cual han tenido extensas aplicaciones en bombas, componentes de válvulas, sistemas que utilizan agua salada.

#### 2.4.4 Corrosión en soluciones ácidas

Las fundiciones no aleadas generalmente poseen pequeñas resistencias a las concentraciones y diluciones intermedias de los ácidos minerales

comunes tales como el ácido sulfúrico. Casi siempre hay aplicaciones complicadas expuestas en ácidos en que las fundiciones proveen de un servicio económico aunque estén siendo atacadas.

La aereación o una combinación de aereación y agitación pueden aumentar la velocidad de corrosión. En muchos ácidos diluidos, la presencia del aire y de otros agentes oxidantes incrementan la velocidad de corrosión. En ciertos casos de flujos de baja velocidad y concentración, que puede ser de ácido sulfúrico, nítrico, crómico o fósforico crudo, pueden formarse capas protectoras sobre la superficie del material que van a proveer de mucho beneficio en la resistencia a la corrosión.

En cuanto al empleo de la fundición gris austenítica en el manejo del ácido sulfúrico, éstas tienen considerables aplicaciones prácticas en diluciones y fuertes concentraciones no aereadas a baja temperatura.

El tipo 1 de la fundición gris austenítica con un contenido de 5,5 - 7,5 % de cobre es preferido para las aplicaciones en ácido sulfúrico,

y han demostrado notable superioridad sobre las fundiciones grises en ácidos diluidos no aereados.

Se pueden tomar ventajas de la combinación de la resistencia a la corrosión a bajas temperaturas del hierro gris austenítico y su característica de resistente a las escamaduras para transportar ácido usando bombas de piñones.

La velocidad de corrosión generalmente es muy alta en el ácido hidróclorhídrico en casi todas las concentraciones y temperaturas en las fundiciones no aleadas.

En la fundición gris austenítica que tienen como aleante el níquel en alto porcentaje, se incrementará considerablemente la resistencia a la corrosión en el ácido hidróclorhídrico, razón por lo cual esta aleación resulta económicamente resistente a este ácido a temperatura ambiente y con una concentración hasta de un 20%, como se puede apreciar en la Tabla X para el tipo 1. Dado el alto contenido de níquel del tipo 3, generalmente tiene mayor resistencia a la corrosión que los tipos 1, 2.

TABLA X

## CORROSION DE FUNDICIONES Y ACERO EN ACIDO

NO AEREADO EN UNA CAMARA TEMPERADA.

Concentración Acido %	VELOCIDAD EN CORROSION mpy		
	Tipo 1 Fundición Gais Austenítica	Fundición Gris	Acero al Carbón
1.8	12	1.070	610
3.7	9	1.233	1.450
5.0	18	-	-
10.0	16	1.220	2.040
19.0	45	1.240	2.730
28	119	1.220	2.350
36.0	370	1.110	1.196

#### 2.4.5 Corrosión en Soluciones Alcalinas

La resistencia a la corrosión de la fundición gris en soluciones alcalinas es generalmente buena y equivalente a la del acero. En estas soluciones el metal no es apreciablemente corroído por su dilución incluso a elevadas temperaturas, a excepción de soluciones calientes que contienen más del 30% de concentración, razón por la cual el hierro será atraído por la evolución del hidrógeno.

El rendimiento con respecto a la corrosión de las fundiciones grises y las dúctiles son similares en el manejo de las soluciones alcalinas, a excepción de que las fundiciones dúctiles son susceptibles a los esfuerzos de corrosión en soluciones alcalinas de alta concentración.

La adición de níquel ha dado como resultado mejoramientos en la resistencia a la corrosión en soluciones alcalinas, razón por la cual las fundiciones que poseen alto contenido de níquel tienen una resistencia a la corrosión en soluciones alcalinas mucho mayor en comparación con las fundiciones no aleadas. A temperaturas altas en soluciones alcalinas, la fundición gris



austenítica tiene una corrosión inicial de sólo un cuarto de la que presenta la fundición gris no aleada.

Estas aleaciones son usadas ampliamente donde se requiere el mínimo de contaminación de soda cáustica ya que la fundición gris austenítica posee suficiente níquel para ofrecer resistencia al ataque de este compuesto. En la Tabla XI se aprecia que con el incremento de níquel en las fundiciones que se encuentran en soda cáustica con 50 a 65% de concentración, la velocidad de corrosión disminuye.

El tipo 3 de las fundiciones grises austeníticas es considerado como el más aconsejable para los requerimientos en servicios cáusticos inclusive por su excelente resistencia a la corrosión debido a su 30% de níquel, por su bajo coeficiente de expansión y la ventaja de tener condiciones para cambios bruscos de temperatura.

En la Tabla XII se puede apreciar la ventaja que ofrece el tipo 3 de la fundición gris austenítica en relación con otros materiales en contacto con 74% de soda cáustica.

TABLA XI

EFFECTOS DE LAS ADICIONES DE NIQUEL EN LA VELOCIDAD  
DE CORROSION DE HIERRO EN 50 a 65% SODA CAUSTICA

\* \* \* \*

TEMPERATURA: Punto de ebullición bajo 26" (Hg)  
DURACION: 81 días

NIQUEL	VELOCIDAD DE CORROSION (MPY)
0	73
0	91
0	86
3.5	47
5	49
15	30
20	3.3
20	6.0
20 (Más 2% Cr)	0.4
30	

TABLA XII

PLANTA DE PRUEBA DE CORROSION EN 74% SODA CAUSTICA  
EN UN TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Especímenes expuesto por total de 32 días: 20 días en líquido  
12 días en vapor

Velocidad de Corrosión basada en 20 días de exposición en líquido

Temperatura: 125°C (260°F)

<u>M A T E R I A L</u>	<u>VELOCIDAD DE CORROSION (MPY)</u>
Monel. Aleación 400	0 ,9
Fundición Gris Austenítica tipo 3	2,5
Fundición Gris Austenítica Tipo D-2	5
Fundición Gris Austenítica tipo 2	6
Acero inoxidable 304	15
Acero Dulce	75
Fundición	76

## 2.5 RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASION

Las muchas aplicaciones para materiales resistentes a la abrasión incluyen una extensa variedad de condiciones de servicio, y generalmente implican una mayor pérdida de material que la que se encuentra en otros tipos de desgaste. Algunas aplicaciones combinan impacto con desgaste abrasivo, otros solo involucran el efecto de fricción.

Algunos materiales resistentes al desgaste dependen de la dureza del trabajo a desarrollar esta máxima resistencia a la abrasión.

Para la elección de materiales resistentes al desgaste debería incluirse una consideración de la naturaleza específica del servicio o con relación al costo del material y al costo de estas instalaciones. Un bajo costo del material con un corto tiempo de vida podría ser económico si su reemplazo se realiza con facilidad, ejemplo: la minería que constituye una de las mayores industrias donde la abrasión es su principal problema.

Otras investigaciones de la resistencia al desgaste por abrasión de las fundiciones y los aceros tienen indicado que no existe una relación general entre el desgaste antes de someterlos a una prueba, pero exis-

te una correlación directa entre el desgaste abrasivo y la dureza de la superficie después de la prueba. En la prueba en cuarzo en suspensión se tiene un significado valioso en la resistencia al desgaste por abrasión.

Las aleaciones grises austeníticas, níquel-manganeso, cobre-cromo-níquel, cromo-manganeso tienen demostrado la excelente resistencia al desgaste en algunas aplicaciones.

El hierro gris austenítico al igual que el hierro gris tienen partículas de grafito laminar distribuidas en una forma apropiada a través de su estructura, lo cual lo constituye altamente resistente al desgaste por fricción y al desgaste por contacto de metal a metal.

El rango de dureza de 130-175 Brinell que tienen estas aleaciones de hierro gris austenítico les da propiedades óptimas en lo que se refiere a la resistencia al desgaste de metal a metal ya que exhiben una fina estructura de los carburos, similar a los que se puede apreciar en la Fig. 22.

Es de gran utilidad en equipos que se encuentran ope-

rando con movimientos a temperaturas a  $815^{\circ}\text{C}$  ( $1550^{\circ}\text{F}$ ), el hierro gris austenítico puede ser usado para combatir el desgaste por fricción y la oxidación por calor que se presenta en estos casos.

### III. APLICACIONES DE LAS FUNDICIONES GRISES

#### 3.1 Aplicación en la construcción de Bombas, Válvulas, Tuberías.

Las bombas centrífugas pueden ser fabricadas con la mayoría de los materiales comunmente conocidos o de aleaciones especiales. Generalmente las condiciones de servicio y la naturaleza de los líquidos a manejarse, determinan cual de los metales o aleaciones sería el más satisfactorio para el trabajo a que ha sido destinada la bomba. Entre las condiciones de servicio que afectan la selección de los materiales tenemos:

- 1.- Resistencia a la corrosión
- 2.- Acción electroquímica
- 3.- Presión de operación
- 4.- Factor de carga
- 5.- Abrasión de sólidos en suspensión
- 6.- Temperatura de Bombeo

Las carcasas de bombas centrífugas, son generalmente fabricadas de fundición, las cuales a tempera-

turas normales tienen limitaciones de esfuerzos, por ésto una carcaza de fundición de algún diseño dado sería aconsejable sólo para limitaciones definidas de presión, es así que al encontrar presiones superiores en su funcionamiento, el diseño debería ser modificado para encontrar mayor resistencia o debería ser sustituido por otro metal que resista altos valores de presión.

Un metal más resistente que una fundición ordinaria sería también necesario si el sistema de bombeo está sujeto al golpeteo del agua o golpes de ariete que son mucho mayores que la presión de operación. Otro caso que se presenta, son los repetidos calentamientos ascendentes y enfriamientos del todo en la maniobra del bombeo de un líquido, lo cual viene a constituir un agravante en las imperfecciones de una fundición de hierro y en aceros por la pérdida en la resistencia a la tensión y porque a bajas temperaturas la fundición de hierro empieza a hacerse enteramente quebradiza.

Una de las fundiciones especiales es la fundición gris austenítica que tiene pequeños o casi ningún cambio metalúrgico en bajas temperaturas y se les ha encontrado amplio uso en los equipos que requieren de esta característica.



Algunas ocasiones suelen sustituirse partes de acero por una fundición gris austenítica, porque esto viene a constituir una solución más económica o porque tienen limitaciones superiores en el medio que son utilizadas.

Generalmente el bronce es utilizado en la elaboración de impeler. Pero a veces este uso se ve limitado por el efecto de la velocidad periférica o porque tienen poca resistencia a la abrasión en comparación con las fundiciones grises austeníticas, las cuales tienen una gran resistencia para el bombeo de líquidos corrosivos o abrasivos, ya sea por los marcados efectos de los sólidos en suspensión o los líquidos que se manejan a gran velocidad. Así tenemos por ejemplo, el bombeo de insecticidas en el servicio que prestan las bombas de fundición gris austenítica es de 8 a 20 veces mayor que las aleaciones de bronce en lo que se refiere a la vida en servicio.

Por otro lado, el valor del PH viene a constituir un factor importante para la selección de materiales para bombas dada su influencia en la vida en servicio de las mismas. Así tenemos que las fundiciones grises austeníticas presentan buenas propiedades tanto en las soluciones ácidas como alcalinas,

y es por eso que se ha considerado como un material apropiado para la construcción de bombas que van a manejar agua de mar, las cuales varían continuamente el valor del PH.

Generalmente, en la construcción de bombas se tienen problemas de corrosión galvánica, si dos materiales diferentes son utilizados para manipular un líquido electrolítico. Una severa corrosión galvánica puede producirse porque se formaría una celda de batería eléctrica.

La fundición gris austenítica, es catódica con respecto a aleaciones en base cobre, aceros inoxidable y aleaciones en base níquel. En el caso específico de agua salada, se suele fabricar el impeler de acero inoxidable y la carcasa de fundición gris austenítica para evitar problemas de corrosión galvánica.

Por medio de una selección de materiales adecuada para cada caso específico, se debe propender a la mayor duración de un equipo observando cierto equilibrio entre costo y vida útil del mismo. Esto es de fundamental importancia en las aplicaciones en las que la corrosión y el desgaste pueden limitar ostensiblemente el tiempo de servicio de una bomba.

Las fundiciones grises austeníticas, en lo que se refiere a la aplicación en válvulas, tienen amplio uso en casi todos los campos, ya sea por sus propiedades anticorrosivas para las diferentes condiciones que establecen ciertas industrias, como también por ser resistente a la erosión, además del acabado final que tiene esta fundición por su alto contenido de níquel.

Todas estas propiedades hacen que este material sea usado ampliamente para estos fines.

- La aplicación de las fundiciones grises austeníticas en la fabricación de tuberías es importante cuando se requiere de resistencia a altas temperaturas, a la corrosión, al desgaste y al ataque de sustancias ácidas. De ahí su amplia aplicación en tuberías para refinación de petróleo, procesos químicos y fabricación de papel.

### 3.2 Aplicación que requiere alta Resistencia al Calor

Las fundiciones grises austeníticas son ampliamente usadas en automotores, motores a diesel para aplicaciones que involucran exposiciones en altas temperaturas.

La matriz austenítica asegura satisfactoriamente estabilidad dimensional, y buena resistencia a la corrosión, desgaste y escamaduras, y, si se selecciona un grado apropiado de hierro, pueden aplicarse las características de expansión térmica, cuando sea necesario, para emparejar estos con otros metales.

Los turbogeneradores han sido desarrollados para uso en motores livianos y pesados. Las temperaturas en el lado de los gases de escape de los turbogeneradores puede llegar hasta 700°C o más. En turbogeneradores pequeños, en donde no se puede utilizar enfriamiento por agua, los tipos 2 y 3 de la fundición gris austenítica, por su buena resistencia al desgaste y estabilidad dimensional a 800°C, han dado buenos resultados en el rango de potencia de 140 a 800 HP.

Otras de las grandes aplicaciones de estas aleaciones se realizan en los múltiples, los cuales tienen un requerimiento primario y es la resistencia a las incrustaciones, puesto que algún óxido o cualquier elemento incrustado en el interior de los múltiples pueden ser sopladados hacia el interior de una turbina de alta velocidad y puede causar considerables daños en la unidad. El 30% de níquel en las fundiciones grises austeníticas del tipo 3, no sola-

mente ofrece la requerida resistencia a las incrustaciones, sino que exhiben características de expansión térmica similares a las del hierro gris (el material normalmente usado en la fundición de los motores pesados a diesel) y por ésto es usado ampliamente para múltiples en las unidades de turbogeneradores.

Para tales partes como múltiples y guías de válvulas las fundiciones grises austeníticas han probado resistencia a los efectos de temperaturas elevadas y al severo desgaste causado por el movimiento del vapor en las válvulas. A la vez son resistentes al ataque de los productos de combustión.

En la industria automotriz, el ligero peso del aluminio ha sido usado como ventaja de los pistones reforzados con otro metal en la hendidura o en los canales de los anillos. El tipo de fundición gris austenítica exhibe la resistencia a la corrosión, al calor y a la dureza, además de la resistencia al desgaste y una expansión térmica similar a la que poseen las aleaciones de aluminio usada para los pistones. Con el uso de esta fundición como insertos en los canales para los anillos, se ha obtenido un incremento en la vida de los pistones.

Un cabezote de cilindro de fundición gris austenif-

tica del tipo 1 resiste la corrosión de agua y la combustión de productos ácidos.

Esta fundición ha demostrado buena resistencia al desgaste de metal a metal y como ya dijimos anteriormente provee de igual expansividad en los pistones de aleaciones de aluminio en temperaturas de operación.

Los asientos de válvulas de fundición gris austenítica y cabezotes de cilindros fabricados en aluminio han sido usados exitosamente durante varios años para reducir el desgaste y la oxidación y sobreponerse al problema de la expulsión de partículas de los asientos de válvulas. Este efecto aparece como resultado de la soldadura del asiento a la válvula y causa rápidamente un asentamiento no uniforme y un escape en la válvula. Está generalmente aceptado que una camisa interior de un cilindro de fundición gris austenítica exhibe alta resistencia a la picadura y a la corrosión y demuestra que resulta el más satisfactorio de los materiales disponibles para cilindros. El alto costo inicial de la fundición gris austenítica es combatido con el uso en producciones en masa de automóviles y motores a diesel.

Las picaduras y la cavitación por erosión pueden

ser superadas con el uso de las fundiciones grises austeníticas.

El incremento en la potencia de los motores diesel tienen sus inconvenientes en:

- 1.- Corta duración por el problema de resquebrajamiento del cabezal de los cilindros.
  - 2.- La falta de materiales que sean capaces de resistir a este fenómeno térmico.
- Las investigaciones realizadas recomiendan materiales con características de baja expansión como solución a este problema.

La utilización de turbinas a gas en la industria automotriz presenta la posibilidad de usar fundiciones grises austeníticas resistentes al calor para algunas aplicaciones en altas temperaturas en donde actualmente se utilizan aleaciones caras. Los resultados de pruebas iniciales fueron alentadoras y por ésto se considera que este campo bien sería uno de los grandes consumidores de las fundiciones resistentes al calor.

En la industria de la aviación, es común el uso de

las fundiciones grises austeníticas para válvulas de aire caliente, elementos de flujo de combustible, componente de aire acondicionado.

Estas fundiciones, también se aplican en las articulaciones de rótulas en el sistema de escape de los motores de aviación. La expansión térmica de estas aleaciones que iguala a la del acero inoxidable o a la de una aleación 600 cromo-níquel, es el factor sobresaliente de esta aplicación.

### 3.3 Aplicaciones en la Industria Química

Las exigencias que la industria química se plantea con respecto a los materiales son muy grandes. Ello no depende solo de la naturaleza en si agresiva de las sustancias con la que ha de trabajarse, sino tambien de las condiciones extremas en que muchas veces se opera. Así también los materiales para la industria química deben caracterizarse por sus buenas propiedades mecánicas y térmicas y cabe decir que la resistencia química de los metales usuales es muy diferente de unos a otros. En la elección de un material para un fin determinado se debe pensar que en llaves, válvulas, toberas, etc., aún un pequeño ataque puede traer consecuencias graves. Para tales piezas debe elegirse materiales parti-



cularmentecularmente resistentes para ese tipo de trabajo.

Además se requiere que los equipos químicos tengan la habilidad de mantenerse en pie por largos periodos de servicio sobre una extensa variedad de condiciones corrosivas y oxidación de alta presión.

De todas las clases de hierros, la mayor resistencia química la tienen los más puros pero se descartan por su poca resistencia mecánica. Es importante reconocer el buen comportamiento de las fundiciones aleadas frente al ácido sulfúrico concentrado y al ácido nítrico o también a las mezclas ácidas; sobre este hecho se basa en parte en que el desarrollo de la gran industria química inorgánica se haya debido al descubrimiento de aleaciones resistentes a los ácidos. Así se tiene por ejemplo en los recipientes de absorción del anhídrido sulfúrico se fabrican de fundiciones, empleándose también en columnas y calderos para la descomposición del nitrato de Chile. El oleum, ácido sulfúrico con anhídrido sulfúrico libre, ataca por lo que a pérdida de peso se refiere menos a la fundición que al acero.

Así también se puede decir que otro factor decisivo en el desarrollo de esta aleación ha sido el em-

pleo de los gases calientes y a presión. En sus primeros comienzos se emplearon elementos aleantes para mejorar la resistencia mecánica.

Así se tiene que en aparatos a presión en los que es necesario mantener temperaturas elevadas no basta con la resistencia química, es necesario además asegurarse de las propiedades de resistencia mecánica en caliente. Para estos fines se han elaborado fundiciones especiales que mejoran las propiedades de las fundiciones grises con la adición de ciertos aleantes como cromo y níquel. Estas aleaciones especiales que contienen alto porcentaje de níquel son las denominadas las fundiciones grises austeníticas las cuales son altamente resistentes al calor y muy resistentes frente a los ácidos no oxidantes y a todas las soluciones salinas.

Las fundiciones grises austeníticas tienen sus aplicaciones en plantas químicas donde tales componentes son convenientes o económicos, y es así porque está siendo usada extensa y exitosamente. El hierro gris austenítico ha dado prueba de ser un sobresaliente material de ingeniería en varios equipos químicos de proceso relativo, tales como: compresores y sopladores, máquinas expandedoras, partes de condensación, compresor de baja temperatura, carcazas de bombas e

impellers, válvulas y accesorios, aparatos de manejo salino, motores de expansión a baja temperatura.

Las fundiciones grises austeníticas han tenido aportes valiosos para la industria de procesos químicos en los cuales se han aplicado en el campo donde los líquidos corrosivos y manchas erosivas son manejados, pero las cuales no están clasificadas en campos más específicos. El tipo 3 de las fundiciones grises austeníticas han probado ser particularmente aplicables a partes en equipos tales como compresores usados para la liquefacción de nitrógeno y oxígeno, los cuales son expuestos a temperaturas menores de 150°C (300° F), debido a su comparativa buena resistencia a bajas temperaturas y a su contracción dimensional mínima. Además, el uso de su resistencia es útil también en aplicaciones tales como eyectores de vapor, sellos mecánicos, coladores, etc.

Cabe ubicar también en este campo los equipos de industrias de alimentos, ya que la sanidad es una obligación en todo equipo que tiene contacto directo con los productos. Esto significa que la corrosión debe ser evitada y que el aseo debe ser rápido y minucioso. Para tales equipos que prestan estos servicios el hierro gris austenítico presenta una alternativa satisfactoria.

La prevención de la contaminación o decoloración de productos tales como alimentos, colores, plásticos y jabón, a menudo se logra con el uso del hierro gris austenítico de los tipos 2, 2b, 3 y 4 en bombas, hervidores, filtros y válvulas.

Colores verdaderos en plásticos manufacturas de color, alimento incontaminable, etc., se logran cuando las partes de las máquinas son hechas con hierro gris austenítico de un 20% a 30% de níquel.

En el servicio de productos alimenticios, el tipo 4 resiste a las manchas y provee de ventajas de cocción de calidad sin deformaciones ni hendiduras, ni pegado de los alimentos al utensilio.

Además, las aplicaciones en este campo incluyen los equipos de panadería, embotellado y equipos de elaboración de cerveza, maquinaria de conservería, trinitillos alimentadores, equipos de procesamiento de pescado, filtros de sal, paredes de bombas y equipos de destilería.

### 3.4 Aplicaciones en la Industria del Petróleo

La industria del petróleo es otra de las múltiples

aplicaciones de las fundiciones grises austeníticas, pues se considera que desde que el petróleo fluido entra en una refinería, tiene que ser circulado rápidamente a través de varias etapas, luego distribuido a los diferentes destinos para obtener los productos. Con relación a la finalización del producto mismo se requieren grandes cantidades de agua en el transcurso de la operación de la refinería.

Varios materiales resistentes a la corrosión se deben utilizar para el equipo de bombeo. Uno de los materiales seleccionados y considerado uno de los más útiles es el hierro gris austenítico por su alta resistencia a la corrosión por agua salada, fracciones de aceite corrosivo, algunos ácidos y cáusticos.

En otras ramas de la industria del petróleo, el hierro gris austenítico ha sido usado para el bombeo de ácidos, bombas para pozos profundos, así como también para válvulas empleadas en estaciones de bombeo y líneas de tuberías de larga distancia.

El uso de las fundiciones grises austeníticas en la industria del petróleo comprende: Bombas para pozos profundos, válvulas de toda clase, partes de motores, difusores de bombas, tubos y accesorios, bombas de ácidos, bombas para aceite caliente, bombas de refi-

nería (carcazas, impeler, rines, cojinetes de cubo, camisas de cilindros y asientos de válvulas).

Además, existe demanda de estos materiales para equipos precisos de medición de caudales (como una planta petroquímica, equipos de motores de prueba, depósitos de combustibles y estaciones de reflujos).

El éxito de la operación de estos aparatos depende de la exactitud con las que pueden ser hechas las hojas del rotor para el arrastre de las paredes del compartimento que contiene el fluido que se está midiendo. Se tiene que el material seleccionado para el compartimento de medición fue el hierro gris austenítico tipo 1 el cual posee buena resistencia a la corrosión y además puede ser maquinado sin dificultad para dar una superficie final excelente.

En algunas aplicaciones adicionales las fundiciones grises austeníticas se las puede encontrar en el manejo de combustibles de alto octanaje para aviones como en el proporcionador de flujo de combustible del rotor. En estos aparatos, en el cual la eficiencia es tarea de mantener una distribución uniforme de combustible entre los varios tanques de un avión, se ha seleccionado para el impeler patrón la fundición gris austenítica.

### 3.5 Aplicación en la Fabricación de Accesorios para Calderas.

Toda caldera está provista de una serie de dispositivos como por ejemplo: Bombas de alimentación, válvulas de alimentación, tuberías de alimentación, dispositivos de cierre y de vaciado, de mantenimiento del agua, válvulas de seguridad, etc.

La corrosión en el funcionamiento de las calderas de vapor se presenta generalmente en las siguientes partes: Tuberías de agua bruta, tuberías de agua condensada, tuberías de agua preparada químicamente, bombas, desgasificadores mecánicos o químicos, tuberías de alimentación, accesorios, especialmente en válvulas de purga, economizadores, precalentadores de aire, sobrecalentadores de vapor, partes de la instalación que funcionan con el vapor, como las propias máquinas de vapor, turbinas, condensadores, etc., tuberías de gas protector.

En lo que se refiere a la corrosión originada por el agua y el vapor tienen las siguientes causas:

- 1) Aguas acidificadas por ácido húmico u otros ácidos orgánicos, tales como productos de descomposición de los hidratos de carbono, ácidos minerales como

el sulfúrico, por ejemplo, particularmente en yacimientos de lignito, formado por oxidación de las piritas con el oxígeno del aire, o procedente de las aguas residuales de las instalaciones de decapado, etc.

- 2) Gases disueltos en el agua, especialmente el oxígeno, pero también el ácido carbónico, de los que el último podría incluirse en el punto 1. En estos casos la corrosión puede producirse durante el funcionamiento, pero en la mayoría de los casos ocurre en los períodos de reposo, en los que el oxígeno que penetra se disuelve en las aguas condensadas que se enfrían, en restos de agua, en la condensada rezumada sobre las válvulas de seguridad, etc., y luego produce la citada corrosión durante el no funcionamiento de calderas y turbinas.
- 3) Aguas fosfatadas demasiado alcalinas que pueden atacar por ejemplo, a las aleaciones de cobre que contienen cinc, particularmente en las bombas, por lo que es conveniente la sustitución por materiales resistentes.
- 4) Aguas demasiado salinas en el caso de uniones de metales diferentes, que pueden provocar corrosión galvánica por contacto.



- 5) Elevado contenido de cloruros o nitratos en el agua de alimentación, especialmente como cloruro de magnesio.
- 6) Formación de pilas locales por la presencia de orín y de oxígeno.
- 7) Formación de depósitos gruesos por endurecedores, silicatos y aceite en calderas, tuberías, tubos de llama y tambores, con el consiguiente sobrecalentamiento local, descomposición del cloruro de magnesio y el vapor, y en ciertas circunstancias tal calentamiento de los tubos puede producir el agrietamiento.
- 8) Flujo de calor, por ejemplo, en órganos de cierre no aislados y en cubiertas de las tuberías de agua caliente y vapor.
- 9) Presencia de determinados catalizadores, como las sales de cobre y manganeso, y otros orgánicos.
- 10) Depositiones de cobre y presentación de la fragilidad de las soldaduras a base de cobre.
- 11) Proyección de agua y vapor. El agua y el vapor

que forman torbellinos por excesiva velocidad de corriente y producen choques de gotas que originan corrosión por erosión.

- 12) Existencia de grietas finas, mal trabajo del material, etc.
- 13) Solicitaciones mecánicas alternativas continuas y corrosión simultánea especialmente para valores bajos del PH, y por ello presentación de roturas de fatiga con corrosión trans o inter-cristalina, por ejemplo, tubos de ebullición y álabes de turbinas.
- 14) Presencia de sulfuro de hidrógeno en el vapor, la mayoría de las veces formado por emplear en la alimentación aguas que contienen sulfitos. Acerrea la corrosión en las turbinas cuando el material de los álabes es un acero al níquel, y en la mayoría de los casos en la etapa en que el vapor sobrecalentado se convierte en vapor saturado.
- 15) Presencia de amoníaco en el vapor y presencia simultánea de aún pequeñas cantidades de oxígeno. Debe pensarse en que el amoníaco, en forma de sales amoniacas, es muy fácil que se encuentre en

el agua de los ríos y también en el agua de alimentación después de la preparación.

Los humos pueden producir corrosión que en su mayor parte se debe a las siguientes causas:

- 1) Temperatura demasiado baja de la entrada del agua en la alimentación o en los economizadores.
- 2) Carbones muy húmedos y con mucho azufre y consiguiente elevación del punto de rocío.
- 3) Carbones con mucho azufre y a la vez mucho óxido de hierro, con lo que se cataliza la formación de  $\text{SO}_3$  a partir del  $\text{SO}_2$  y se eleva mucho el punto de rocío de los gases.
- 4) Carbones con muchos cloruros.

En accesorios de calderas como órganos de cierre y regulación de las tuberías de agua bruta se atacan cuando se emplean aguas demasiadas ácidas. Los ataques más frecuentes y peligrosos pueden esperarse de los cloruros de vapor, lo cual se puede salvar seleccionando materiales que posean resistencia a la abrasión.

En la corrosión por cavitación comprenden las destrucciones causadas por los vacíos que se forman en los líquidos que se mueven con altas velocidades y presiones. En tales condiciones se evapora el líquido y se forman vacíos. El golpe de agua resultante del hundimiento de estos vacíos y las fuerzas mecánicas que ocurren en las oscilaciones y oclusiones de las burbujas son causa fundamental del fuerte desgaste. Este proceso primario va acompañado de puntos de temperaturas muy elevados, por lo que las velocidades de reacción se hacen muy grandes, especialmente en líquidos de mucha tensión superficial.

El lugar donde se inicia la destrucción depende de la formación de los vacíos y la magnitud de las destrucciones, de las propiedades del material, de su superficie y de la velocidad del agua. La diferencia esencial con la corrosión normal está en que los daños de la corrosión por erosión son locales y nunca se distribuyen uniformemente y en que el daño tiene el aspecto poroso, sin que se manifiesten direcciones preferentes.

Estos fenómenos se observan en las instalaciones de calderas de vapor, en las bombas de alimentación, aunque se hayan tomado para la protección medidas para estos casos. En estas bombas de agua de bajo PH

manifiestan su agresividad en particular cuando se tornan demasiado ácidas. Así también si se presentan con un elevado PH, las cuales la tornarían en demasiado alcalinas y por consiguiente estarían propensas a un ataque.

Los daños causados por los ácidos clorhídricos o sulfúricos no se diferencian mucho de los producidos por el ácido carbónico, la distinción está solo en su velocidad de ataque. En este apartado se incluyen también los daños frecuentemente observados en materiales de turbinas producidos por aguas que contienen cloruro magnésio y eran insuficientemente alcalinas., pues en estas condiciones se desprende el ácido clorhídrico el cual ataca severamente a los materiales que poseen poca resistencia a los ácidos como los de este tipo.

Las aguas preparadas por inoculación con ácidos y no son bastantes cuidadas pueden dar lugar a una reacción ácida en el agua de alimentación de las calderas y causar como es de suponer, ataques serios.

Las carcazas de fundición de hierro de determinadas bombas que trabajan con agua inoculada se inutilizaron completamente; también los empalmes de fundición de tuberías sufrieron grandes perforaciones, por su

poca resistencia.

De todos estos inconvenientes que se presentan en las calderas vemos que las oportunidades de aplicación para las fundiciones grises austeníticas en este campo es muy útil.

Así con aumentos en presión, temperaturas de operación y otros requerimientos significa demanda para mejores materiales. Es así que para muchas de estas aplicaciones, la familia de las fundiciones grises austeníticas provee las respuestas más eficientes y económicas.

Cabe situar en este campo de aplicaciones la utilización de las fundiciones grises austeníticas en planta de poderes en general, lo cual incluye equipo para la generación, transmisión o utilización del poder eléctrico derivado de máquinas a diésel, así también como a vapor, gas, turbinas hidráulicas como motores primordiales. Aumentada la demanda para la imposición de potencia por parte de ingenieros y operadores. La meta de las fundiciones grises austeníticas ha sido la de crear artículos ideados para aumentar la eficiencia en los métodos de producción de potencia.

En plantas de poderes estas aleaciones son usadas en: sellos mecánicos, partes de medición, carcazas de bombas, difusores e impellers, toberas de turbinas, cuerpos de válvulas y discos, bombas de agua de enfriamiento, etc.

#### IV TRABAJO EXPERIMENTAL

##### 4.1 Prueba de Desgaste por Corrosión en Nube Salina

En el empleo práctico de los materiales se presentan daños de mayor o menor importancia causados por acciones químicas, bajo condiciones frecuentemente incontroladas, de diferentes naturalezas y gran multiplicidad de aspectos. Y para explicar las causas de los daños son apropiados los ensayos de corrosión bajo condiciones conocidas y reproducibles y con una aleación bien determinada e intencionalmente limitada de los factores decisivos del proceso corrosivo.

Según la finalidad debe y puede llegarse, entre otras, a las siguientes informaciones:

- 1.- Comportamiento de los materiales sometidos a acciones químicas, con el fin de caracterizar su empleabilidad, su campo de utilización y su duración bajo condiciones de servicio determinada.
- 2.- Efecto del proceso de fabricación, de las impurezas o elementos de aleación, del tratamiento tér-



mico y mecánico, de la calidad superficial y de los estados especiales del material sobre su comportamiento químico.

- 3.- Efecto agresivo de agentes puros o de pureza térmica sobre determinados materiales o capas protectoras.
- 4.- Efectos de diferentes posibilidades de protección por aleación, por adiciones al medio agresivo, etc.

Tan múltiples como son en la práctica los fenómenos de corrosión y los problemas que deben abordarse, así deben ser de variados los métodos de ensayos. A pesar de ello, se debe procurar que se produzcan resultados valiosos por emplearse adecuadamente y que dichos resultados sean además reproducibles, independientemente del lugar en que se realicen.

- 4.1.1 Ensayo de Nube Salina.- Utilizamos este término para referirnos al proceso de la exposición de las muestras a la pulverización directa de un terminado corrosivo sobre ellas, o la exposición de las mismas a una nebulización más permanente del corrosivo. La aplicación de la nube salina o la exposición es intermitente.

La solución que va a emplearse para las pruebas de nube salina es de cloruro de sodio en concentraciones del 3 a 5%.

La prueba de nube salina simula bien una atmósfera marina pura y que su aplicación intermitente se aproxima mucho más a las condiciones marinas y costeras, además permite que la cualidad higrocópica de los productos de la corrosión y la película protectora, y el consiguiente endurecimiento y agrietamiento de éstos (como acontece frecuentemente en las condiciones naturales). Puede tener una influencia importante sobre la corrosión posterior.

Se recomienda que el período de pulverización sea justo lo bastante largo para cubrir completamente las muestras con gotas individuales de la solución; con una pulverización más prolongada la solución tiende a formar una película continua y a escurrir de la muestra.

El número de veces de aplicación de la pulverización es de 2-4 veces al día dejando que se sequen las muestras completamente por la noche.

Para el trabajo en una cámara de nube salina se

ha demostrado que debido a su espacio las muestras colocadas horizontalmente resultan anti-económicas, habiéndose observado así mismo una mayor y más intensa corrosión en las muestras en sentido vertical, así como una ligera desviación de la vertical afectaría materialmente a la deposición del corrosivo, para ésto se ha ideado sujetar las muestras con hilos de nylon las cuales se ajustan a unas varillas de alambre aislado completamente colocados en la parte superior de la cámara.

Para la atomización se utiliza aire limpio proveniente de un compresor a una presión de 10 a 25 psi.

#### 4.1.2 Tamaño y forma de las muestras

Algunos de los efectos de la corrosión, por ejemplo los efectos gravimétricos, se pueden observar con más exactitud cuando el área de la superficie por unidad de peso de la muestra es elevada, mientras que otros defectos, tales como la pérdida de resistencia se aumentan por el grosor inicial del metal, y por lo tanto, se observa mejor y más exactamente en muestras delgadas. De ahí que con frecuencia sean mucho más

ventajosas, para las pruebas de corrosión, muestras relativamente delgadas por lo cual hemos seleccionado un espesor de 3 mm.

Para determinar los efectos de la corrosión sobre la resistencia a la tracción, se requieren muestras largas y relativamente estrechas y es por eso que en base a estas recomendaciones hemos seleccionado las siguientes dimensiones; 170 mm. de largo por 20 mm. de ancho.

#### 4.1.3 Método de preparación de las muestras

El método de preparación de las superficies tiene mucha importancia, si se trata de pruebas en soluciones corrosivas inclusive para obtener una superficie más uniforme en todas las muestras.

Como primer paso se realizó un cepillado para emparejar las probetas en todas sus dimensiones y superficies, posteriormente se procedió a rectificar todas las muestras en todas sus superficies.

Como en el proceso de corrosión pueden a veces interferir películas de grasa muy fina, casi

invisibles, es necesario desengrasar éstas antes de someterlas a la prueba y evitar después todo contacto con la piel humana a fin de asegurarse que todas ellas están en igualdad de condiciones a este respecto. Como en nuestro caso se trata de un gran número de muestras se utilizó acetona para lo cual es recomendable. Luego las muestras fueron secadas con aire caliente.

Cabe destacar que estos pasos son primordiales para llegar a realizar la pesada de las muestras lo cual requiere de mucho cuidado para que no exista influencia de agentes extraños a las muestras.

Se utilizó una balanza analítica con una escala de hasta diezmilésima en gramos, con lo cual se podrá tener un control exacto de la pérdida de peso de las muestras, con lo cual se preve en el caso de que las pérdidas de peso sean pequeñas.

Para colocar las muestras en la cámara de nube salina se procedió a ubicarlas en el orden en que fueron pesadas con su respectiva numeración para así llevar un control cuando éstas sean requeridas para sus análisis.

#### 4.1.4 Procedimiento a seguir en la prueba de Nube Salina.

Como primer paso se realiza la preparación de las muestras:

- Pesar las muestras en una balanza analítica
- Ubicar las muestras verticalmente y paralelas al chorro de la solución atomizada cuidando que las muestras se encuentren en la dirección de este.
- Depositar en el interior de la cámara 3 litros de cloruro de sodio al 3% el cual va a ser recirculado y será renovado cada dos días.
- Se introduce aire a una presión de 25 psi para atomizar el cloruro de sodio.
- El chorro de la solución de cloruro de sodio atomizado se lo hace impactar en la parte superior de la cámara.
- La atomización será de 4 veces al día con intermitencias de 1 hora.
- Una muestra de hierro gris y hierro gris austenítico serán sacadas de la cámara de nube salina cada 4 días.
- A cada muestra sustraída de la cámara serán pesadas nuevamente para establecer su pérdida de peso debido a la corrosión.

- Luego se realizará un ensayo de tracción y el análisis metalográfico para establecer el estado de su microestructura.

Con estos datos se realizarán gráficos de: pérdida de peso vs. tiempo, tracción vs. tiempo.

La cantidad de la solución de cloruro de sodio recomendable es de 3 litros, la cual se coloca en la cámara a temperatura normal. Esta solución será renovada cada 2 días.

Las muestras se emplearán simultáneamente, tomándose algunas de ellas de tiempo en tiempo.

Para obtener resultados comparables, en el ensayo entre las fundiciones grises y las fundiciones grises austeníticas es recomendable someter simultáneamente ambos tipos de muestras a la prueba.

Cabe destacar que el ataque en la cámara salina, es en general 50 veces más intenso que el ataque por la atmósfera ambiente en las condiciones climáticas más severas.

#### 4.1.5 Equipo Utilizado (Figs. 7 y 8)

- Cámara de Vidrio de 50 x 50 x 50 cms.
- Pulverizador
- Compresor
- Balanza Analítica
- Manguera para Recirculación de la Solución

#### 4.1.6 Material Utilizado

Para la prueba de nube salina se utilizó muestras de fundición gris y de fundición gris austenítica cuya composición química era de 19% de níquel, 0.50% de manganeso, 2.75% de cromo, 2.8% de carbono, 0.30% de cobre, 2.20% de silicio. Según esta composición química a estas fundiciones se las ubica en el tipo 2. Se utilizó también:

- Solución cloruro de sodio al 3%
- Acido Clorhídrico
- Alcohol
- 4 barras de cable aislado
- Hilo de nylon.



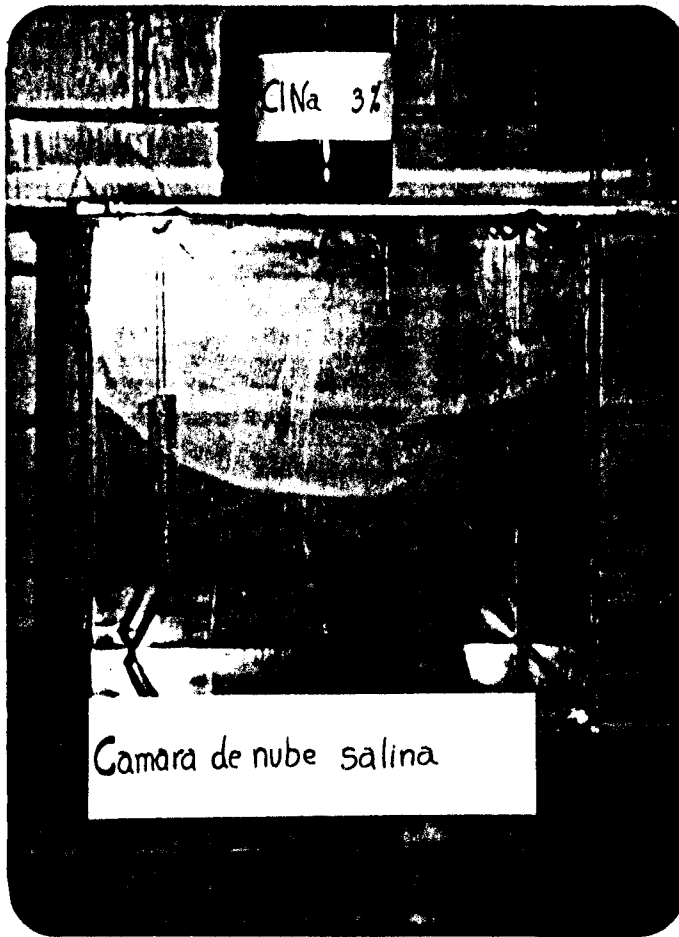


Fig. N<sup>o</sup> 7.- Cámara de Nube Salina

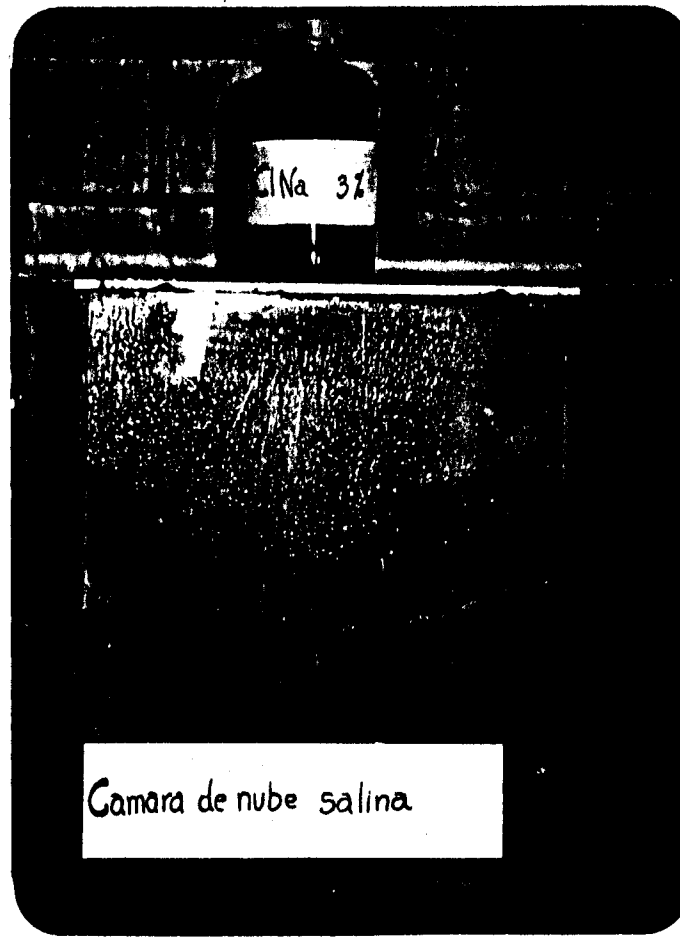


Fig. N<sup>o</sup> 8.- Cámara de Nube Salina  
con ClNa

TABLA XIIITABLA DE PESOS DE PROBETAS DE FUNDICION  
GRIS AUSTENITICA

---

PROBETAS N°	PESO (GRAMOS)
1	81,9268
2	80,9567
3	81,8219
4	82,2024
5	81,8420
6	81,3918
7	82,5928
8	82,0470
9	80,9114
10	80,3744

---

TABLA XIV

TABLA DE PESOS DE PROBETAS DE FUNDICION GRIS

---

PROBETAS Nº	PESO (GRAMOS)
1	80,4527
2	78,9477
3	79,5611
4	79,4131
5	80,3153
6	81,8278
7	81,7809
8	80,9595
9	80,9250
10	80,5347

---

TABLA XV

MUESTRAS ENSAYADAS DE FUNDICION GRIS  
AUSTENITICA EN NUBE SALINA

PROBETA #	TIEMPO (dias)	PESO (gm)	PERDIDA DE PESO (gm)	PERDIDA DE PESO/AREA (gm/cm <sup>2</sup> )
1	4	81,7127	0,2141	0,0030
2	8	80,6948	0,2619	0,0037
3	12	81,5381	0,2838	0,0040
4	16	81,8524	0,3500	0,0050
5	20	81,4032	0,4388	0,0063
6	24	80,7054	0,6864	0,0098
7	28	81,8156	0,7772	0,0111
8	32	81,2071	0,8399	0,0120
9	36	80,0420	0,8724	0,0124
10	40	79,4932	0,9312	0,0133

TABLA XVI

## MUESTRAS ENSAYADAS DE FUNDICION GRIS EN NUBE SALINA

PROBETA #	TIEMPO (Días)	PESO (gm)	PERDIDA DE PESO (gm)	PERDIDA DE PESO/AREA (gm/cm <sup>2</sup> )
1	4	77,4870	2,9677	0,0423
2	8	75,1964	3,7513	0,0534
3	12	75,1251	4,4360	0,0632
4	16	74,8915	4,9216	0,0701
5	20	73,5726	6,7427	0,0960
6	24	73,9544	7,8734	0,1122
7	28	72,0533	9,7276	0,1386
8	32	71,0662	9,8933	0,1409
9	36	70,7712	10,1538	0,1446
10	40	70,1392	10,3955	0,1467

## 4.2 Ensayo de Desgaste por Abrasión

La descripción del método que vamos a utilizar en este ensayo es muy sencilla, pues se trata de un tambor o cilindro giratorio en el que la acción abrasiva es realizada por los contactos y fricciones de los materiales utilizados con el material abrasivo, el cual , para el ensayo que vamos a realizar es recomendable que se utilice arena sílice lo más fina posible para que los resultados esperados pudieran ser más efectivos.

El tambor o cilindro está ubicado horizontalmente, además es indispensable que el volumen que totaliza la arena sílice con las muestras equivalga a las tres cuartas partes del cilindro.

Cabe destacar que este método es similar al método que se utiliza para la limpieza por abrasivos en las superficies metálicas y que se denomina agitación de un tambor giratorio.

### 4.2.1 Tamaño y forma de las muestras

Los efectos por pérdida de peso se pueden observar y medir con mayor facilidad cuando el área de la superficie es plana ya que de esta forma la muestra tiene mayor área de contacto con el

abrasivo Las dimensiones seleccionadas para lograr una área suficiente de contacto son de 4.5 x 4 x 0.3 cm. (Fig. 9).

#### 4.2.2 Preparación de las muestras

Para este tipo de ensayo se requiere de una superficie totalmente plana, lisa y sin imperfecciones para así poder obtener resultados más satisfactorios. Para cumplir con estos requerimientos las muestras fueron sometidas primeramente a un cepillado para establecer las formas de ellas, luego se procedió al rectificado de éstas para así establecer las dimensiones finales y por consiguiente una superficie plana y un acabado muy buenos de las mismas.

Una vez realizados estos pasos procedemos a la limpieza o desengrasamiento de las muestras, lo cual se realiza con acetona, luego secadas con aire caliente.

#### 4.2.3 Equipo Utilizado

Equipo Solitest para pruebas de abrasión

Balanza Analítica

Secador de Aire

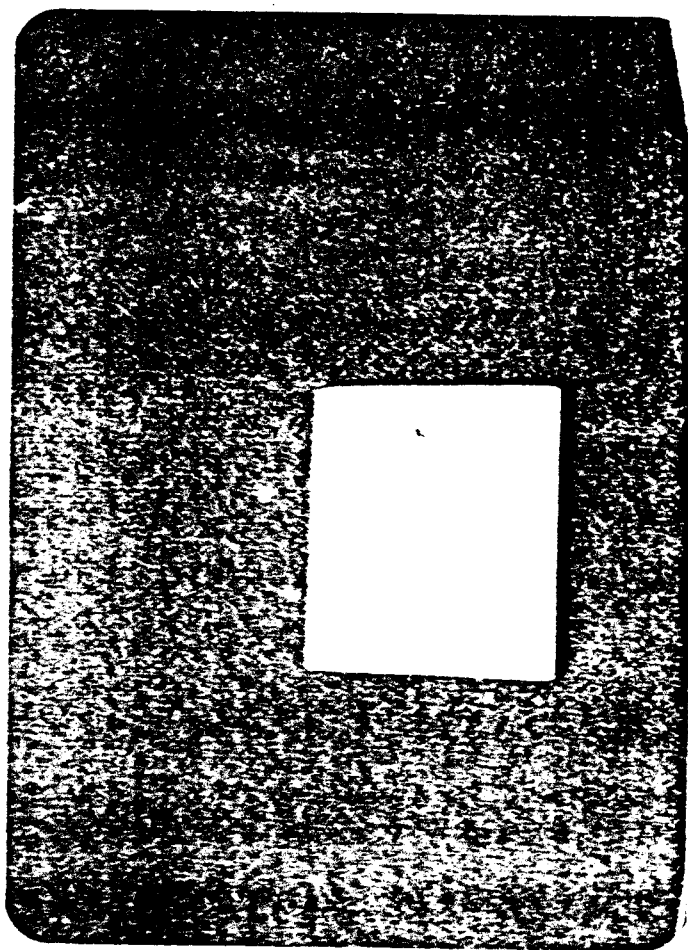


Fig. N° 9.- Muestras para el Ensayo de Abrasión



#### 4.2.4 Material Utilizado

Arena Sílice celda 200

Muestras de fundición gris de 4.5 x 4 x 0.3

Muestras de fundición gris austenítica tipo 2  
de 4.5 x 4 x 0.3

Acetona

Alcohol

#### 4.2.5 Procedimiento

Una vez realizada la preparación de las muestras se establece el peso inicial de cada una de ellas.

Antes de introducir las muestras al tambor giratorio se procedió a tomar la dureza de ambos materiales y luego establecer un promedio de éstas y compararlas y así se obtuvo para la fundición gris un promedio de 170 dureza Brinell y para la fundición gris austenítica un promedio de 140 dureza Brinell. Por lo cual se llegó a la conclusión de que se podría realizar la prueba con ambos materiales juntos.

Se introduce en un tambor giratorio arena sílice un cuarto de su volumen aproximadamente.

MUESTRAS ENSAYADAS DE FUNDICION GRIS AUSTENITICA. ABRASION

Revoluciones #	1	2	3	4	5	6	7	Pérdida de Peso (gm) Promedio
00.000	48,0157	48,1859	48,8572	50,1934	48,1796	50,3968	47,2251	48,7220
10.000	47,8775	48,0611	48,7280	50,0601	48,0692	50,2671	47,0912	0,1285
20.000	47,7412	47,9272	48,5752	49,9512	47,9455	50,1346	46,9715	0,2582
30.000	47,5389	47,7185	48,3969	49,7600	47,7947	49,9794	46,7771	0,4412
40.000	47,1865	47,4136	48,0124	49,4282	47,5360	49,6738	46,4338	0,7671
50.000	46,7015	46,9385	47,5580	48,9477	47,1340	49,2055	45,9299	1,2341
60.000	46,1474	46,4608	47,0468	48,4318	46,7233	48,7675	45,4666	1,7157
70.000	45,6193	45,9547	46,5304	47,8380	46,3080	48,2533	44,9440	2,2288
80.000	45,1752	45,5701	46,1067	47,3841	45,9445	47,8231	44,5065	2,6491
90.000	44,7134	45,1208	45,6350	46,9246	45,5366	47,3680	44,0601	3,0994

## MUESTRAS ENSAYADAS DE FUNDICION GRIS. ABRASION

Revoluciones #	1	2	3	4	5	6	7	Pérdida de Peso (gm) Promedio
00.000	47.2900	46.0220	46,5998	47,0348	51,3431	48,5763	47,2833	
10.000	47,0386	45,7607	46,3267	46,7513	51,0136	48,2914	46,9735	0,2848
20.000	46,7546	45,4959	46,0325	46,4708	50,6714	48,0074	46,6511	0,5809
30.000	46,3743	45,1095	45,6486	46,0778	50,2569	47,5863	46,2762	0,9742
40.000	45,6934	44,3697	44,9982	45,3695	49,3697	46,8187	45,5747	1,7079
50.000	44,4800	43,2405	43,8021	44,2087	47,9464	45,7472	44,3073	2,9172
60.000	43,2734	41,9025	42,5777	42,9965	46,5731	44,5131	43,0040	4,1870
70.000	42,2176	40,8268	41,5022	41,8673	45,4429	43,4222	41,9844	5,2694
80.000	41,4403	40,0313	40,7835	41,1339	44,6139	42,7399	41,2034	6,0290
90.000	40,5077	19,1433	39,8767	40,2580	43,6245	41,9293	40,2913	6,9312

Las muestras serán sustraídas cada 10.000 revoluciones.

Las muestras serán sometidas a limpieza para desprender partículas de arena de las superficies de las muestras.

Las muestras serán pesadas para establecer su pérdida de peso.

La velocidad del tambor será de 35 revoluciones por minuto.

Con los datos obtenidos se harán gráficos:

Pérdida de peso (mg) vs. # revoluciones

#### 4.3 Ensayo de Tracción

La pérdida de las propiedades mecánicas, como consecuencia de la corrosión puede ser útil como método de investigación, ya que cuando dicha pérdida es grande comparado con la corrosión visible, este dato acusa de una manera patente la presencia de la corrosión estructural.

El valor del método estriba en el hecho de que la co-

rrosión estructural que tiene lugar en cualquier parte de una superficie, afecta a las propiedades mecánicas, mientras que la microsección se limita a una pequeña parte de la muestra. Así se han dado casos en los que un examen microscópico inicial, con ayuda de microsecciones, se ha pasado por alto el ataque inter-cristalino, basta que las pérdidas han indicado su presencia.

El principio fundamental que rige la determinación de la pérdida de las propiedades de tracción, es sencillo, y se basa en comparar las propiedades de muestras similares corroídas y no corroídas.

No obstante para obtener resultados de garantía es necesario tener en cuenta que el mecanizado antes de la exposición, puede tener marcado efecto sobre los resultados, por lo tanto para obtener resultados más reproducibles es necesario que las muestras sean mecanizadas después de la exposición.

Para calcular el área transversal de las muestras que se han mecanizado después de la corrosión, debe tenerse en cuenta que la anchura se toma como la de la muestra trabajada, y el espesor como el de la muestra antes de la corrosión. No hay que olvidar, sin embargo que la exactitud del espesor es un fac-

tor muy importante para la exactitud de los valores de resistencia a la tracción y por lo tanto la medición ha de llevarse a cabo cuidadosamente y preferentemente antes del ensayo de corrosión. Al calcularse el área transversal deben utilizarse las dimensiones originales de la muestra, debiendo evitarse en lo posible defectos internos, ampollas, cavidades de fundición, etc., ya que pueden tener mercado efecto sobre las propiedades mecánicas. La pérdida de las propiedades mecánicas depende en alguna extensión de la distribución de la corrosión, lo cual es origen de variaciones en los resultados experimentales que no se pueden controlar sin perturbar el proceso de corrosión natural.

#### 4.3.1 Equipo Utilizado

Máquina INSTRON 118 (De ensayos mecánicos)

#### 4.3.2 Material utilizado

Muestras de fundición gris y fundición gris austenítica.

En la Fig. 10 se da el modelo de las muestras que se utilizaron en el ensayo, según especificaciones recomendadas.

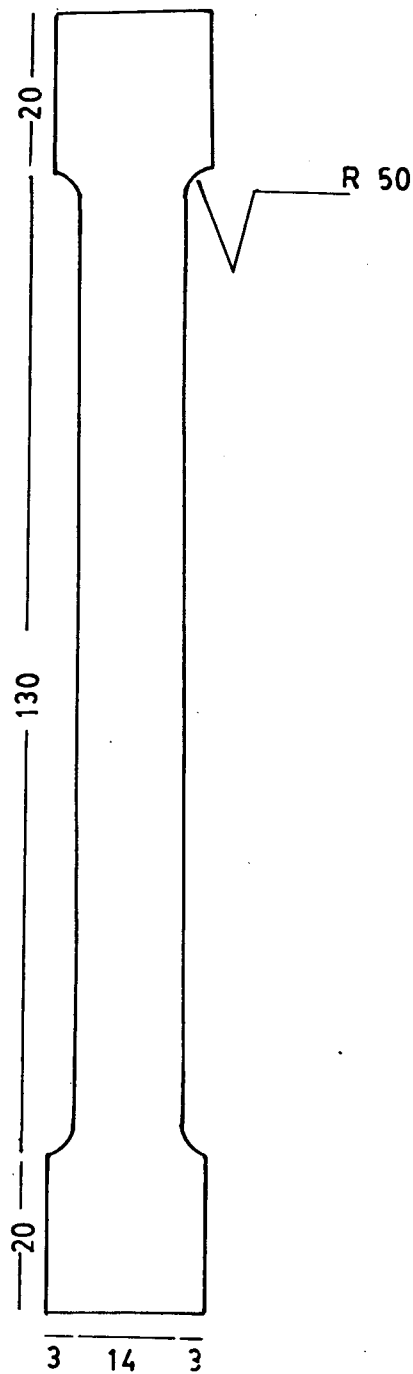


Fig. N° 10.- Maestra para el Ensayo de Tracción

TABLA XLIX

MUESTRAS ENSAYADAS DE FUNDICION GRIS AUSTENITICA. TRACCION

PROBETA #	CARGA (Kg)	TIEMPO (dias)
1	820	4
2	820	8
3	750	12
4	350	16
5	300	20
6	690	24
7	680	28
8	650	32
9	630	36
10	640	40



TABLA XX

## MUESTRAS ENSAYADAS DE FUNDICION GRIS. TRACCION

PROBETA #	CARGA (Kg)	TIEMPO (días)
1	605	4
2	590	8
3	200	12
4	530	16
5	525	20
6	250	24
7	200	28
8	470	32
9	375	36
10	360	40

#### 4.4 Análisis Metalográfico

El análisis metalográfico proporciona alguna indicación sobre la asociación entre la corrosión y la estructura del metal, o entre la corrosión y otros factores del mismo, pero por regla general no sirve para proporcionar información detallada y de garantía de estos aspectos. La presencia de una corrosión estructural selectiva, tal como la intercrystalina, puede también indicarse por una mayor pérdida de propiedades mecánicas por causas de la corrosión.

Se han utilizado muestras delgadas con el objeto de dejar la corrosión reducida a un plano de modo que pueda seguirse en el microscopio el avance de la formación de picadura. Es aconsejable comparar el aspecto del metal corroído con el del metal sin corroer para permitir la valoración del efecto de los factores del mismo tales como irregularidades de la superficie.

En un examen llevado a cabo sin esta comparación, resulta difícil establecer la diferencia entre calidades de colado y picaduras de corrosión.

## V.- DISCUSION Y ANALISIS DE RESULTADOS

### 5.1 Análisis Visual

La observación a simple vista de la superficie del material que se corroe es el método más racional, sencillo y consecuentemente el más empleado. Con este tipo de observación hemos establecido lo siguiente:

Las Figs. 11 y 16, las cuales corresponden a los primeros ocho días del ensayo de las fundiciones grises austeníticas y de las fundiciones grises, respectivamente. El período inicial de 4 días la corrosión transcurre de tal manera que sobre la superficie totalmente libre de óxido, el oxígeno que llega forma una película de óxido en regiones muy pequeñas, para el caso de las fundiciones grises austeníticas, lo que no sucede con las fundiciones grises ya que son cubiertas en su totalidad. Esta película que se forma reacciona inmediatamente con el metal base, lo cual implica que existe la formación de pilas locales entre las regiones catódicas, que son las partes cubiertas con la capa de óxido, y las regiones anódicas del metal base.

Las fundiciones grises austeníticas en el período de los 16 días (Fig. 12) muestra de productos de corrosión con cierto contenido de agua, razón por la cual estos productos pueden removerse fácilmente. En las fundiciones grises (Fig.17), se establece un recubrimiento total por los productos de corrosión, se observan en ciertos sectores manchas oscuras, como consecuencia del asentamiento de gotas de cloruro de sodio sobre ciertas zonas de las superficies de las muestras. El borde externo de las gotas es fácilmente accesible al oxígeno, el cual forma una película de óxido que protege contra el ataque y hace actuar a la zona como cátodo de pila. En el centro de las gotas es más difícil el acceso del oxígeno y el hierro se disuelve anódicamente. Entre los espacios anódicos y catódicos se crea un anillo de productos de corrosión, debido a que la sal de hierro formada anódicamente precipita óxido o hidróxido de hierro al reaccionar con el álcali formado catódicamente.

Cabe señalar que el interior de las bases de las gotas sufre un desgaste más intenso debido a la formación de productos de corrosión oscuros porque el suministro de oxígeno es insuficiente en esa zona, la cual contiene ferritas de hierro de composición variable, que presentan una coloración verduzca de

modo que perdiendo agua al secarse, haciéndose más denso y oscuro transformándose en magnetita negra ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

En los periodos de 20 a 32 días del ensayo (Figs. 13 y 14 y Figs. 18 y 19), se establece que los productos de corrosión se han extendido en las fundiciones grises austeníticas (Fig. 13), pero todavía existen zonas que no han sido cubiertas en las cuales se nota una ligera capa de óxido. Es así que en el periodo de los 32 días, el recubrimiento es casi total por los productos de corrosión los cuales en el transcurso del tiempo del ensayo se han endurecido.

En las fundiciones grises (Fig. 18), se observa que a partir de los 24 días en adelante el proceso de envejecimiento de los productos de corrosión tuvieron mayor efecto en este material ya que se han hecho más densos y oscuros. En estos periodos, las muestras de fundición gris presentan una apariencia destruida en ciertas zonas de la sección analizada.

Se nota la presencia de grietas, manchas negras que aparecen bien incrustadas en las superficies de las muestras, las cuales traen como consecuencia la mayor destrucción del material y por lo tanto una ma-

por pérdida de peso.

Los períodos de finalización corresponden a los 36 a 40 días. En las fundiciones grises austeníticas (Fig. 15), existen zonas que no han sido totalmente cubiertas por productos de corrosión y se han establecido picaduras y ligeras incrustaciones aisladas. En estos últimos períodos, las fundiciones grises (Fig. 20), presentan un aspecto similar al de los últimos períodos de la Fig. 19 por lo cual establecemos que se ha formado una capa de cloruro ferroso, lo cual va a influir en el avance del proceso de corrosión, es decir disminuyendo la velocidad de corrosión y por ende deteniendo en parte la destrucción del material.

De una manera general, se establece que muestras de ambos materiales sometidas al mismo tiempo de exposición en la cámara de nube salina, presentan diferentes comportamientos a la corrosión.

Las fundiciones grises muestran a lo largo del ensayo mayor destrucción y mayor aglomeración de los productos de la corrosión, por lo tanto, a simple vista se muestra que ha sido atacada con mayor severidad que las fundiciones grises austeníticas, las cuales según se puede apreciar en las figuras anteriores no han su-

frido mucha destrucción.

Cabe señalar que la estimación de la magnitud de estos defectos depende en gran parte de la apreciación personal, así como la relativa importancia de las diversas alteraciones que pueden contribuir al deterioro del material.

## 5.2 Método Gravímetro

Uno de los factores que más ha contribuido para la evaluación cuantitativa de la corrosión, es la utilización de aparatos apropiados para este fin, tal como las balanzas analíticas que garanticen seguridad bastante exacta para determinar la pérdida de peso para así tratar de medir la corrosión general y superficial.

De las mediciones directas de corrosión, es decir el control de la pérdida de peso vs tiempo de exposición (Fig.21), para las fundiciones grises austeníticas y las fundiciones grises respectivamente. Mediante esta figura se puede demostrar que existe una gran diferencia de pérdida de peso entre estas fundiciones.

En las fundiciones grises austeníticas los puntos obtenidos de las mediciones efectuadas, nos da como resultado una recta con mucha aproximación y esto se debe a que existen pequeñas pérdidas de peso entre cada período de observación de las muestras.

En las fundiciones grises los puntos obtenidos de las mediciones realizadas se encuentran bien distantes unos de otros en los primeros períodos del ensayo, lo cual implica que la pérdida de peso es mucho mayor en las fundiciones grises comparado con las fundiciones grises austeníticas en los mismos períodos. Entre los 4 y 28 días se advierte un incremento más bien intenso en la pérdida de peso. A partir de los 32 días, estas pérdidas de peso van a descender considerablemente, a tal extremo que la diferencia entre punto y punto es mínima, razón por la cual podemos decir que el proceso de corrosión ha entrado en una etapa pasiva, ya que ésta no progresa mucho según se puede observar en la Fig. 21. En vista de todos los casos que se presentan se obtiene una curva trazada de tal manera que el mayor número de puntos están lo más cerca de la recta para tratar de generalizar el proceso de corrosión en las fundiciones grises.

De esta figura podemos decir que se han formado ma-



yor cantidad de productos de corrosión en las fundiciones grises, ya que la pérdida de peso es mucho mayor en éstas que en las fundiciones grises austeníticas.

### 5.3 Análisis Metalográfico

En las figuras 22 y 23, se tiene la microestructura de las fundiciones grises austeníticas y de las fundiciones grises respectivamente antes de ser sometidas al ensayo de corrosión.

Para evaluar los efectos del tiempo de permanencia de los materiales en la nube salina, se realizaron observaciones en la sección transversal de las muestras, en zonas aledañas a la superficie (o alejadas de la superficie).

La primera observación realizada a los 4 días del ensayo de la fundición gris austenítica (Fig. 24), presenta una zona totalmente inalterada, lo que no ha sucedido con la fundición gris (Fig. 25), ya que presenta desprendimientos en esta zona, los cuales vendrían el inicio del ataque corrosivo.

A los 8 días de la muestra de fundición gris auste-

nítica aun no presenta daño alguno (Fig. 26). En la fundición gris (Fig. 27), se puede apreciar desmoronamiento de granos, defecto típico de la corrosión intercrystalina y se debe a la precipitación de carburos de hierro, los cuales son fácilmente atacables y dan origen a este tipo de corrosión. Estos procesos de precipitación originan diferencias de potencial entre el interior de los granos y el límite de los mismos, produciéndose así zonas anódicas en los límites de grano que darían lugar a la corrosión intercrystalina o intergranular.

A los 12 días de ensayo en la fundición gris austenítica (Fig. 28), no se ha iniciado ningún proceso destructivo en su microestructura. En la fundición gris (Fig. 29), se puede notar destrucción estructural en el interior de la superficie de la muestra por acción de soluciones salinas.

Siguiendo con la secuencia del ensayo, tenemos que a los 16 días de exposición en las fundiciones grises austeníticas (Fig. 30), se ha presentado una falla debida a la corrosión la cual se encuentra ubicada en el interior de la sección de la muestra y se puede constituir en el origen de una picadura.

En la fundición gris (Fig. 31), se establece des -

trucción estructural, corrosión intercristalina y productos de corrosión bordeando las láminas de grafito, los cuales en algunos casos ya están embebidos en productos negros parduzcos de corrosión. Cabe señalar que este fenómeno ocurre generalmente cuando actúan sobre las fundiciones soluciones salinas.

En lo que corresponde al período de los 20 días se ha enfocado el borde de la sección de las muestras. En este análisis se puede observar en las fundiciones grises austeníticas (Fig. 32), una variación en el borde de sección de la muestra debido a ligeras destrucciones sufridas por acción de la solución salina, pero no ha complicado el interior de la superficie. En la fundición gris ya se nota un curso intercristalino de grietas que se propagan hacia el interior de la superficie (Fig.33).

A los 24 días de fundición gris austenítica (Fig.34) presenta en el borde de su sección alteraciones similares a las de la Fig. 32. En las fundiciones grises (Fig. 35), se establecen productos de corrosión complicando las láminas de grafito en algunos casos y en otras zonas desprendimientos de grano.

Se considera factor esencial la formación de los productos de corrosión ya que éstos pueden iniciar una

acción acción de tipo explosivo y por lo menos de esta forma acelerar la corrosión bajo tensiones o la intercrystalina. Lo que podría explicar las destrucciones que se presentan en las fundiciones grises (Fig. 37) cerca del borde de la sección de la muestra, la cual ha sido sometida a un período de 28 días en la cámara de nube salina.

En el período de 32 días de las fundiciones grises austeníticas (Fig. 38) ya se encuentran complicaciones en su microestructura, además de productos de corrosión bordeando las láminas de grafito. A este tiempo de exposición ya se pueden apreciar indicios de corrosión intercrystalina, lo cual se debe a la precipitación que sufren los carburos de cromo.

En las fundiciones grises se nota que los productos de corrosión (Fig. 39) se han distribuido en gran cantidad por toda la superficie, lo cual implicaría que este material, gran parte de su superficie se encuentra afectada por picaduras, las cuales son muy comunes con soluciones que contienen cloruros.

A los 36 días, las fundiciones grises austeníticas, (Fig. 40), presentan corrosión localizada y en las fundiciones grises (Fig. 41) el deterioro es similar al del período anterior (Fig. 39).

En el último período (40 días) en las fundiciones grises austeníticas (Fig. 42), se establece que los desprendimientos o desmoronamientos en el borde de su sección no tiene gran penetración hacia el interior de la superficie similarmente al de los últimos períodos analizados. Además, se puede establecer la presencia de ciertos productos de corrosión en el interior de su sección. En lo que se refiere a las fundiciones grises (Fig. 43), se puede apreciar claramente que las grietas se han ampliado y se han desplazado severamente hacia el interior de la superficie. Existe corrosión inter-cristalina y su curso es hacia la parte interna.

#### 4.4 Ensayo de Tracción

La pérdida de las propiedades mecánicas como consecuencia de la corrosión es evidentemente importante en los metales. Inclusive la determinación de estos efectos, son útiles como método de investigación ya que cuando dicha pérdida es grande comparada con la corrosión visible, este dato acusa de manera patente la presencia de la corrosión estructural.

Cabe señalar que se realizaron ensayos de tracción

a muestras de fundición gris austenítica y fundición gris en estado normal, es decir sin ataque corrosivo. Mediante estos ensayos se obtuvo para las fundiciones grises un valor de  $14,4 \text{ Kg/mm}^2$ , el cual se lo ubica entre las fundiciones normales que se fabrican sin precauciones o especificaciones especiales, cuyo intervalo es de 10 a  $15 \text{ Kg/mm}^2$  de resistencia a la tracción. Para las fundiciones grises austeníticas se obtuvo un valor de  $19,52 \text{ Kg/mm}^2$ , el cual se encuentra en el intervalo de 15 a  $30 \text{ Kg/mm}^2$  que es el que se encuentra las fundiciones grises austeníticas, para un contenido de 15 a 20% de níquel correspondiente a las muestras ensayadas.

En los primeros días de la prueba, según se puede apreciar en la Fig. 44 para las fundiciones grises austeníticas, no hubo una variación en el valor de su resistencia a la tracción, lo que no sucedió igualmente con las fundiciones grises ya que en sus primeros períodos se pudo establecer una pérdida en su resistencia a la tracción, lo cual atribuimos al ataque sufrido en las muestras desde el inicio de la prueba. Cabe señalar que teóricamente las pérdidas de la resistencia a la tracción casi no suceden los primeros días de pruebas, cosa que no ha sucedido con las fundiciones grises.

En la Fig. 44 obtenida del ensayo, los puntos que se encuentran sumamente alejados de la recta trazada, obedecen a la presencia de porosidades producto de fallas en la fabricación; también al ataque inter - cristalino que se habría ocurrido con mayor severidad en esas zonas. Estos defectos pueden tener marcada influencia sobre las propiedades mecánicas de estas fundiciones.

Las fallas establecidas pudieron notarse al realizar el ensayo de tracción, ya que en algunas muestras procedían a romperse en las zonas donde se hallaban alojadas las fallas.

La importancia de este ensayo es que sin duda alguna se detectó la existencia de corrosión intercrystalina o fallas de fabricación, lo cual en el caso del análisis de microestructura se podía haber pasado por alto, ya que en éste se va a analizar tan solo una parte de la muestra.

Podría señalarse que los problemas internos de fabricación que tenían las muestras de ambos materiales se complicaron con el ataque corrosivo, lo cual sería causa de los valores bajos obtenidos en el ensayo como se podrá verificar en la Fig. 44.

## 5.5 Ensayo de Resistencia al Desgaste por Abrasión

Mediante este ensayo se ha llegado a establecer la diferencia en la resistencia al desgaste por abrasión que existe entre las fundiciones grises y las fundiciones grises austeníticas.

Las mayores pérdidas producidas como consecuencia del desgaste sufrido por el contacto de la arena sílice con las superficies de las muestras, tuvieron lugar en las fundiciones grises. Similar efecto se observó en las fundiciones grises austeníticas, pero en menor intensidad.

Esta mayor resistencia al desgaste por abrasión de las fundiciones grises austeníticas se la puede atribuir a que contiene como aleantes en ciertos porcentajes cromo y níquel, éste último en mayor porcentaje. Además, entre las fundiciones grises son éstas las que poseen mayor tenacidad. Cabe señalar que las fundiciones grises austeníticas poseen gran resistencia al desgaste para los casos de rozamiento de metal con metal.

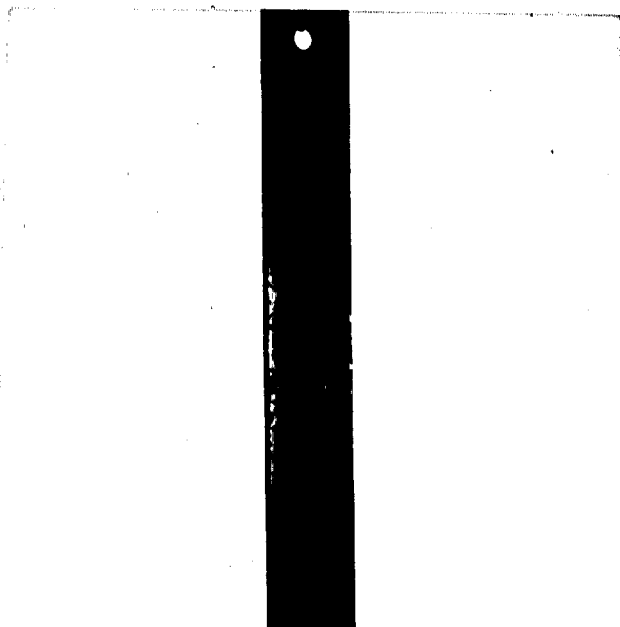
En el transcurso del ensayo se observó que las puntas de las muestras tendían a redondearse en ambos materiales, con la diferencia de que en las



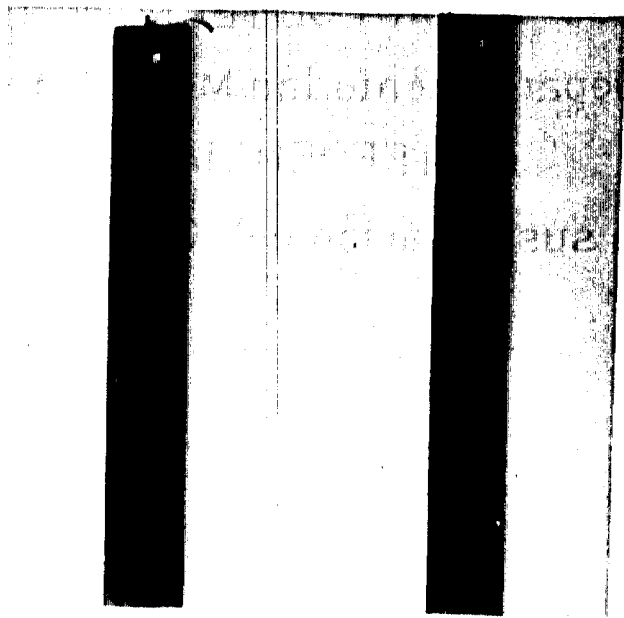
fundiciones grises este material se perfa, en cambio en las fundiciones grises austenfticas este material se amontonaba en las puntas donde tendfan a redondearse, por lo cual se establece una mayor ductilidad en estas fundiciones.

Cabe señalar que en este ensayo se utilizaron siete muestras de cada material para realizar un control más aproximado acerca del desgaste que van a sufrir, es así que se tuvieron pérdidas de peso casi similares en las muestras, salvo en algunos casos como es de esperar aparecfa una muestra con una diferencia un poco más distante de las otras muestras. En vista de todas estas consideraciones, se estableció sacar un promedio de las pérdidas de peso sufridas cada cierto número de revoluciones para así llegar a graficar una curva que justifique la experiencia. (Fig. 45)

En las Figs. 46 y 47 se puede observar el estado de una de las muestras de fundición gris austenftica y fundición gris al finalizar el ensayo.

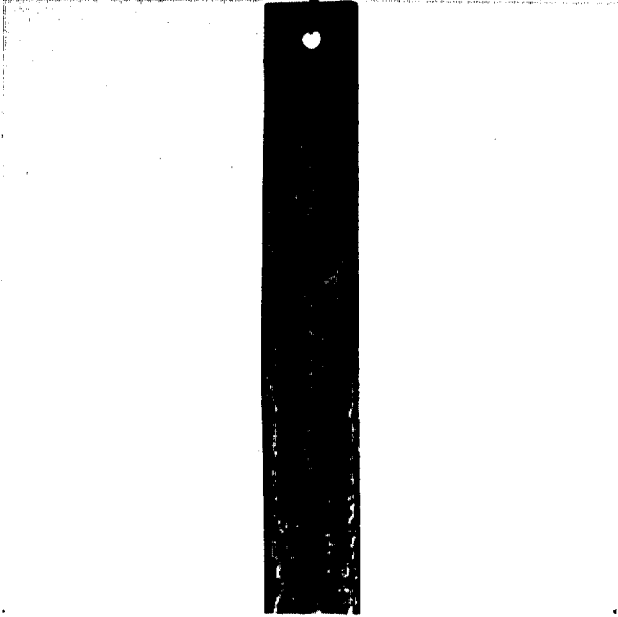


4 días

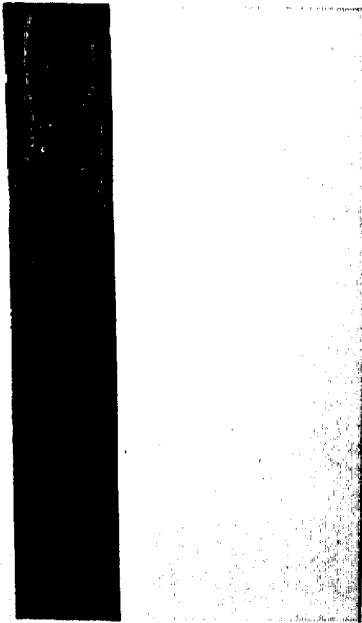


8 días

Fig. N° 11.- Estado de las muestras de fundición gris austenítica sometidos a una nube salina, 4 y 8 días.

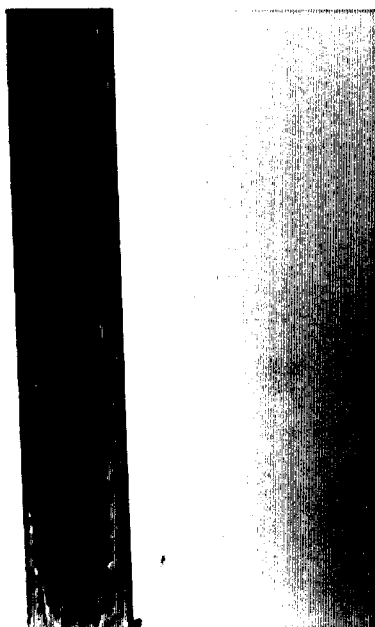


12 días

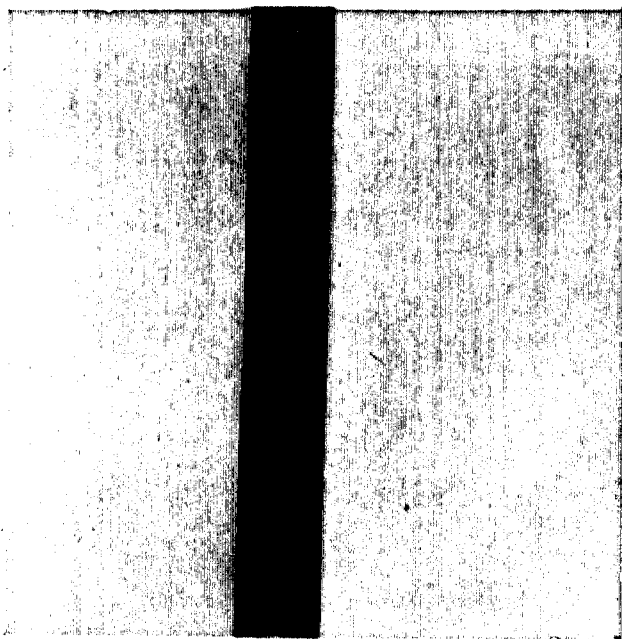


16 días

Fig. N° 12.- Estado de las muestras de fundición gris austenítica sometidas a nube salina, 12 y 16 días.

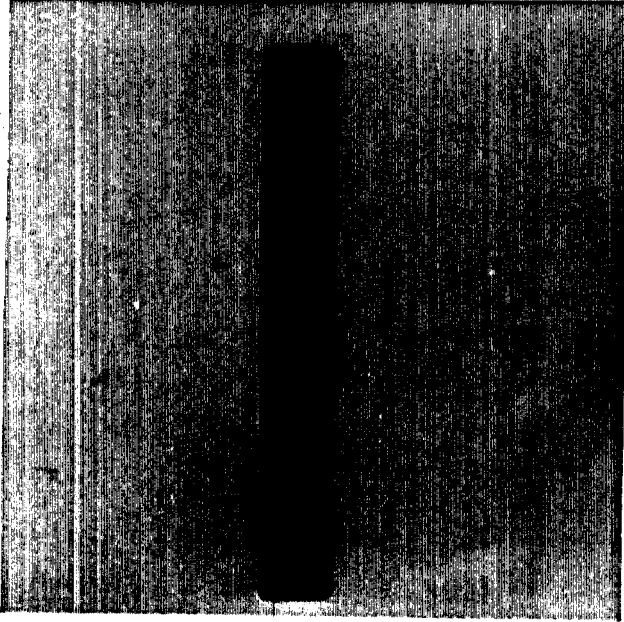


20 días

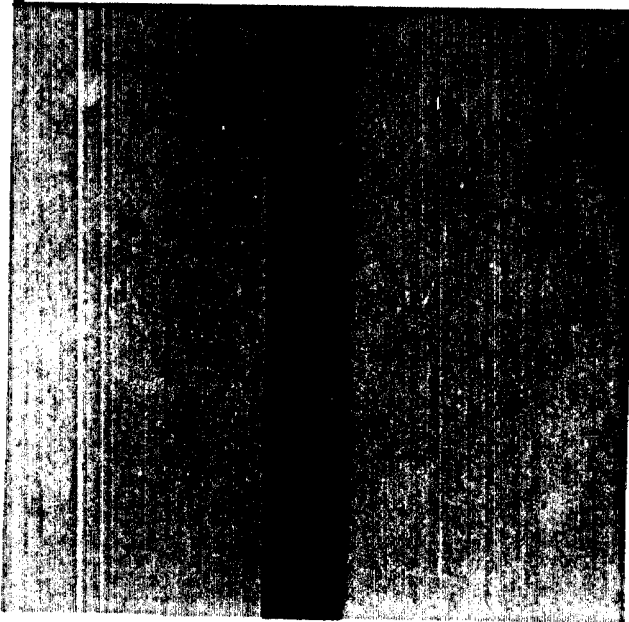


24 días

Fig. N<sup>o</sup> 13.- Estado de las muestras de fundición gris austenítica sometidas a nube salina, 20 y 24 días.



28 días



32 días

Fig. N° 14.- Estado de las muestras de fundición gris austenítica sometidas a nube salina, 28 y 32 días.

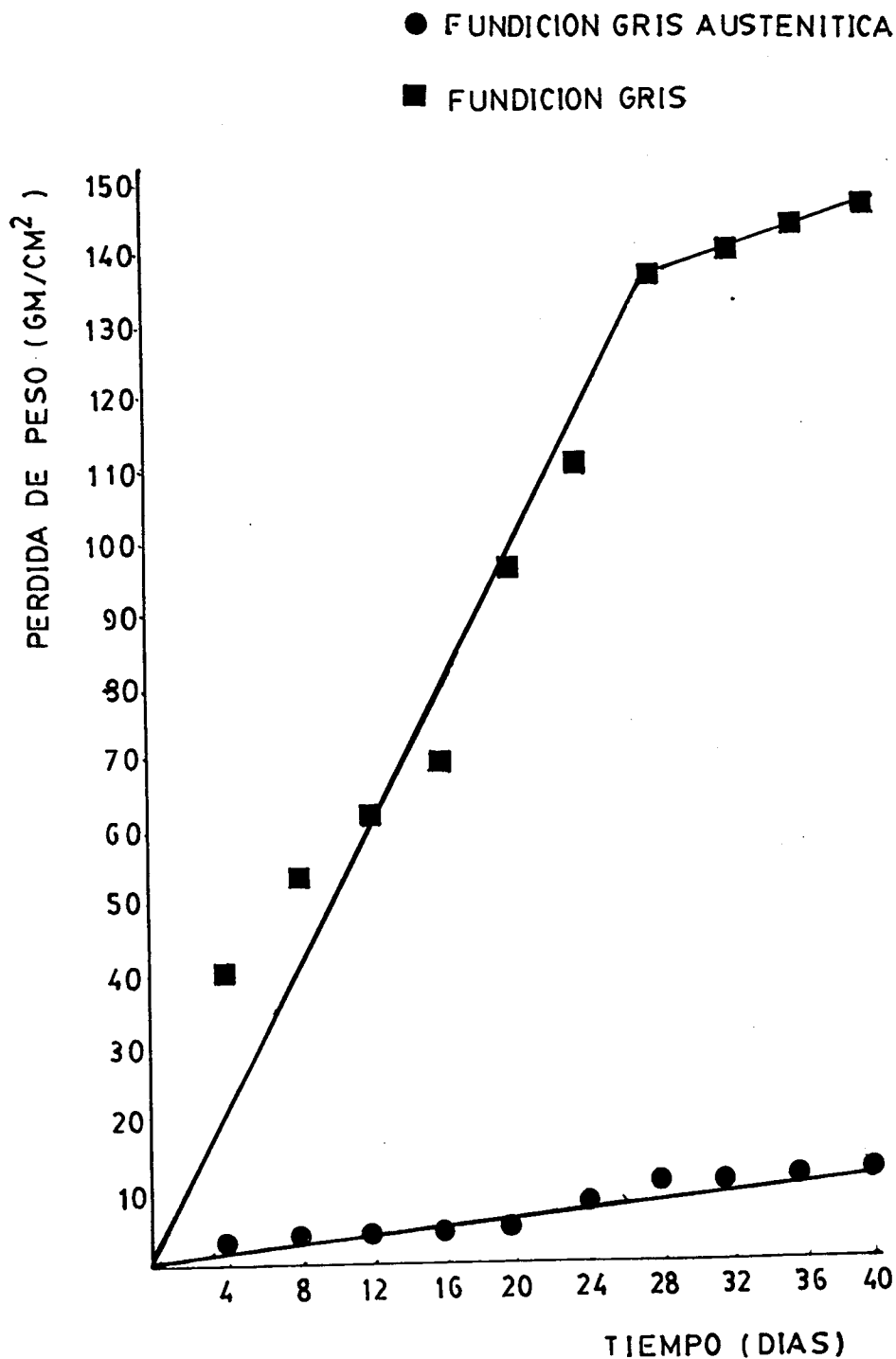


Fig. N° 21.- Pérdida de Peso Vs. Tiempo de la Fundición Gris Austenítica y de la Fundición Gris.



Picral 5%

x200

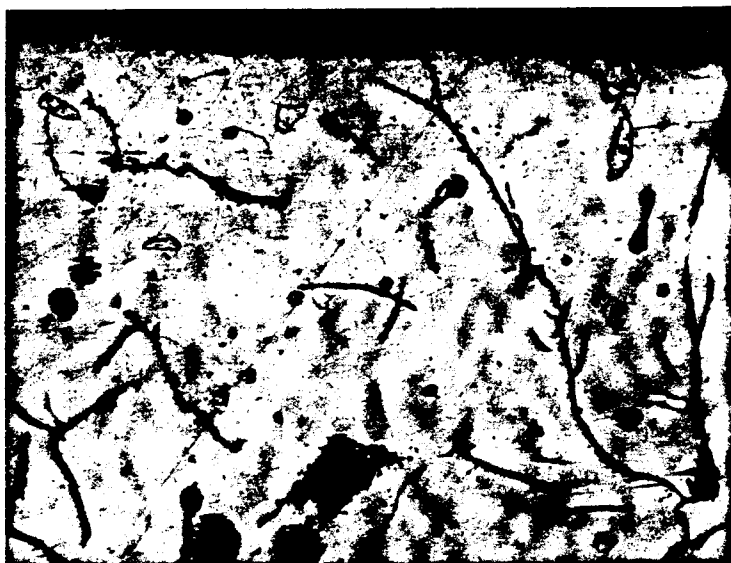
Fig. N° 22.- Estado Normal de la Fundición Gris Austenítica



Picral 5%

x200

Fig. N° 23.- Estado Normal de la Fundición Gris



Picral 5%

x200

Fig. N° 24.- Estado de la microestructura de la muestra de fundición gris austenítica sometida a nube salina 4 días.



Picral 5%

x200

Fig. N° 25.- Estado de la microestructura de la muestra de fundición gris sometida a nube salina 4 días.





Picral 5%

x200

Fig. N° 26.- Estado de la microestructura de la fundición gris austenítica sometida a nube salina 8 días.



Picral 5%

x200

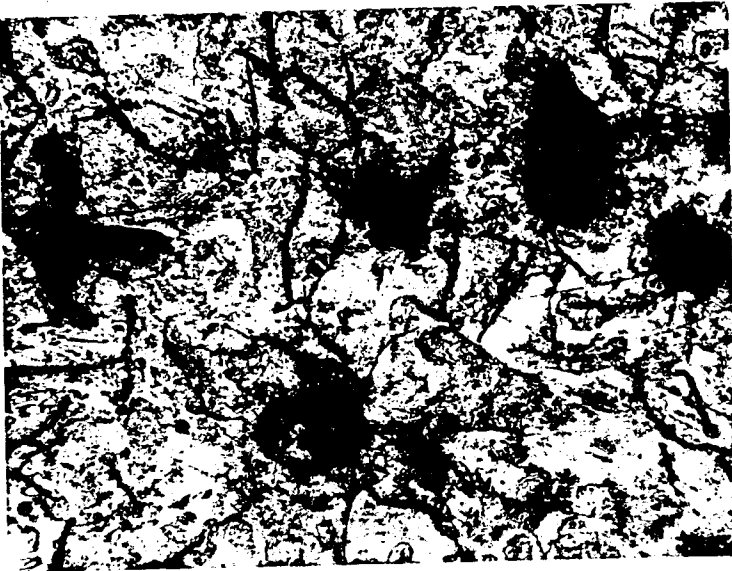
Fig. N° 27.- Estado de la microestructura de fundición gris sometida a nube salina 8 días.



Picral 5%

x200

Fig. Nº 28.- Estado de la microestructura de la muestra de fundición gris austenítica sometida a nube salina 12 días.



Picral 5%

x200

Fig. Nº 29.- Estado de la microestructura de la muestra de fundición gris sometida a nube salina 12 días.



Picral 5%

x200

Fig. N° 30.- Estado de la microestructura de la muestra de fundición gris austenítica sometida a nube salina 16 días.



Picral 5%

x200

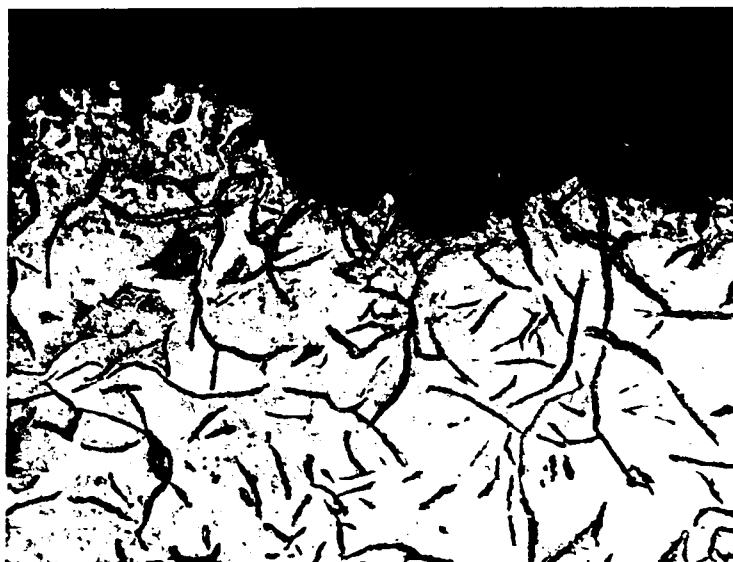
Fig. N° 31.- Estado de la microestructura de la muestra de fundición gris sometida a nube salina 16 días.



Picral 5%

x200

Fig. N° 32.- Estado de la microestructura de la muestra de fundición gris austenítica sometida a nube salina 20 días.



Picral 5%

x 200

Fig. N° 33.- Estado de la microestructura de la muestra de fundición gris sometida a nube salina 20 días.



Picral 5%

x200

Fig. Nº 34.- Estado de la microestructura de la muestra de fundición gris austenítica sometida a nube salina 24 días.



Picral 5%

x200

Fig. Nº 35.- Estado de la microestructura de la muestra de fundición gris sometida a nube salina 24 días.



Picral 5%

x200

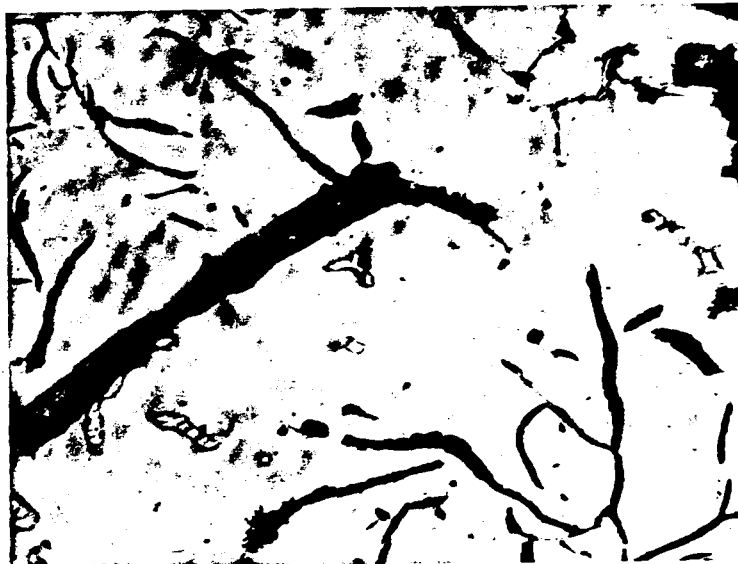
Fig. Nº 36.- Estado de la microestructura de la muestra de fundición gris austenítica sometida a nube salina 28 días.



Picral 5%

x200

Fig. Nº37.- Estado de la microestructura de la muestra de fundición gris sometida a nube salina 28 días.



Picral 5%

x200

Fig. N° 38.- Estado de la microestructura de la muestra de fundición gris austenítica sometida a nube salina 32 días.



Picral 5%

x200

Fig. N° 39.- Estado de la microestructura de la muestra de fundición gris sometida a nube salina 32 días.



Picral 5%

x200

Fig. Nº 40.- Estado de la microestructura de la muestra de fundición gris austenítica sometida a nube salina 36 días.

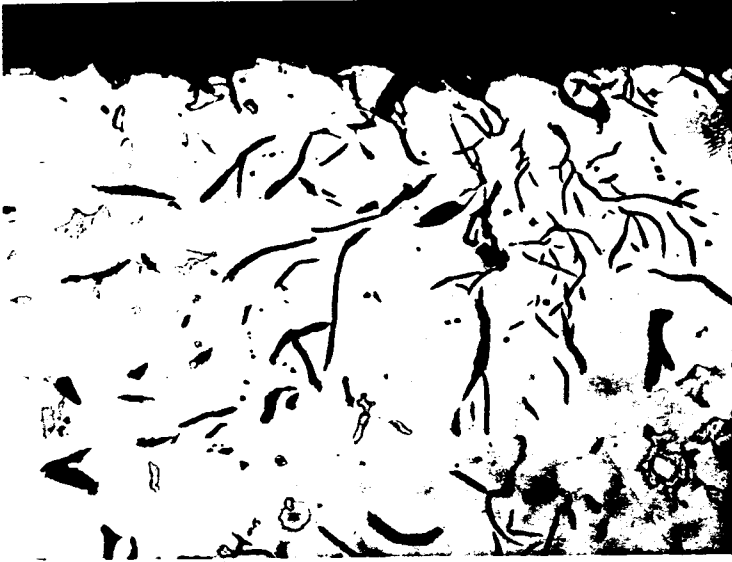


Picral 5%

x200

Fig. Nº 41.- Estado de la microestructura de la muestra de fundición gris sometida a nube salina 36 días.





Picral 5%

x200

Fig. N° 42.- Estado de la microestructura de la muestra de fundición gris austenítica sometida a nube salina 40 días.



Picral 5%

x200

Fig. N° 43.- Estado de la microestructura de la muestra de fundición gris sometida a nube salina 40 días.

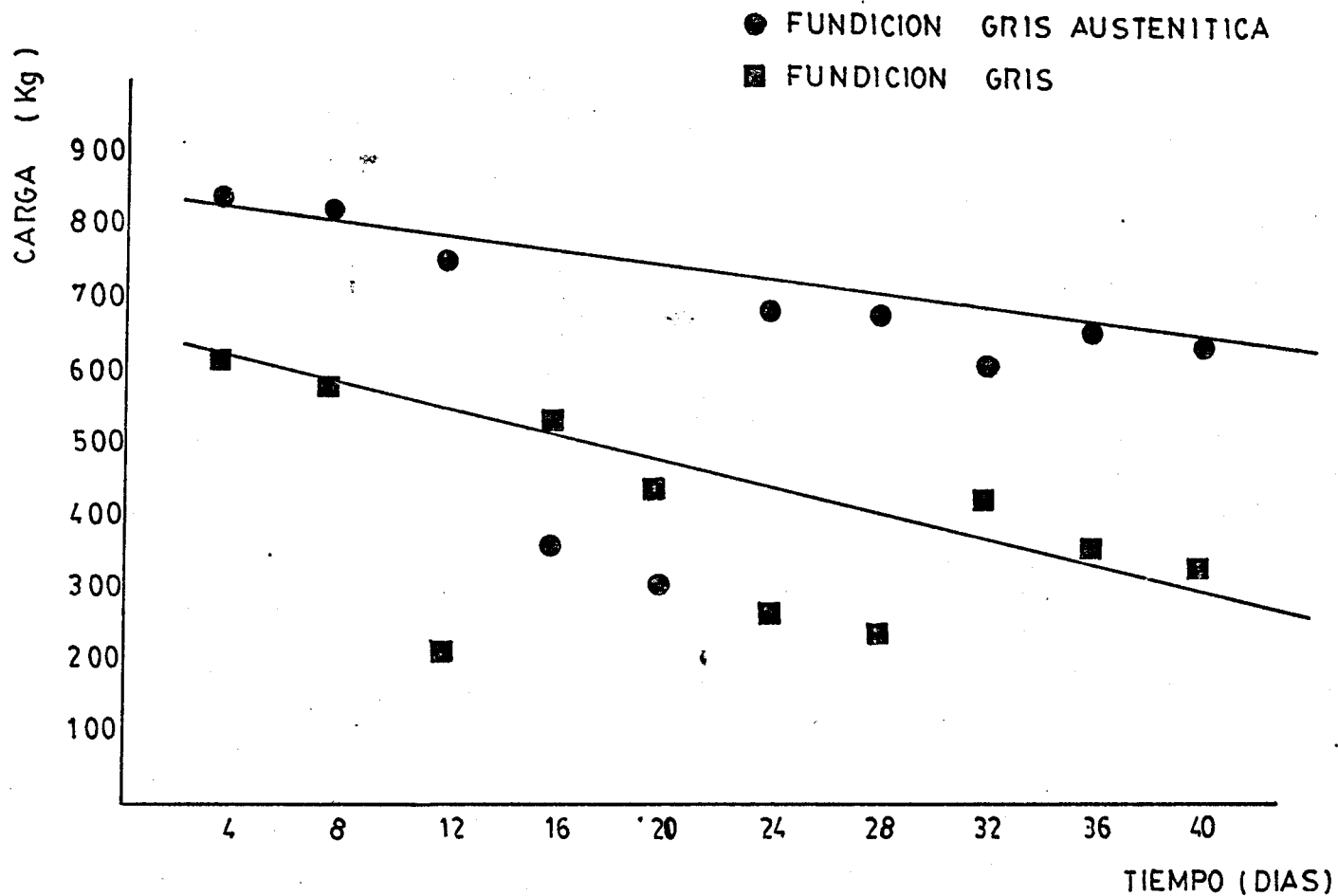


Fig. N° 45, Ensayo de Tracción de la Fundición Gris Austenítica y de la Fundición Gris,

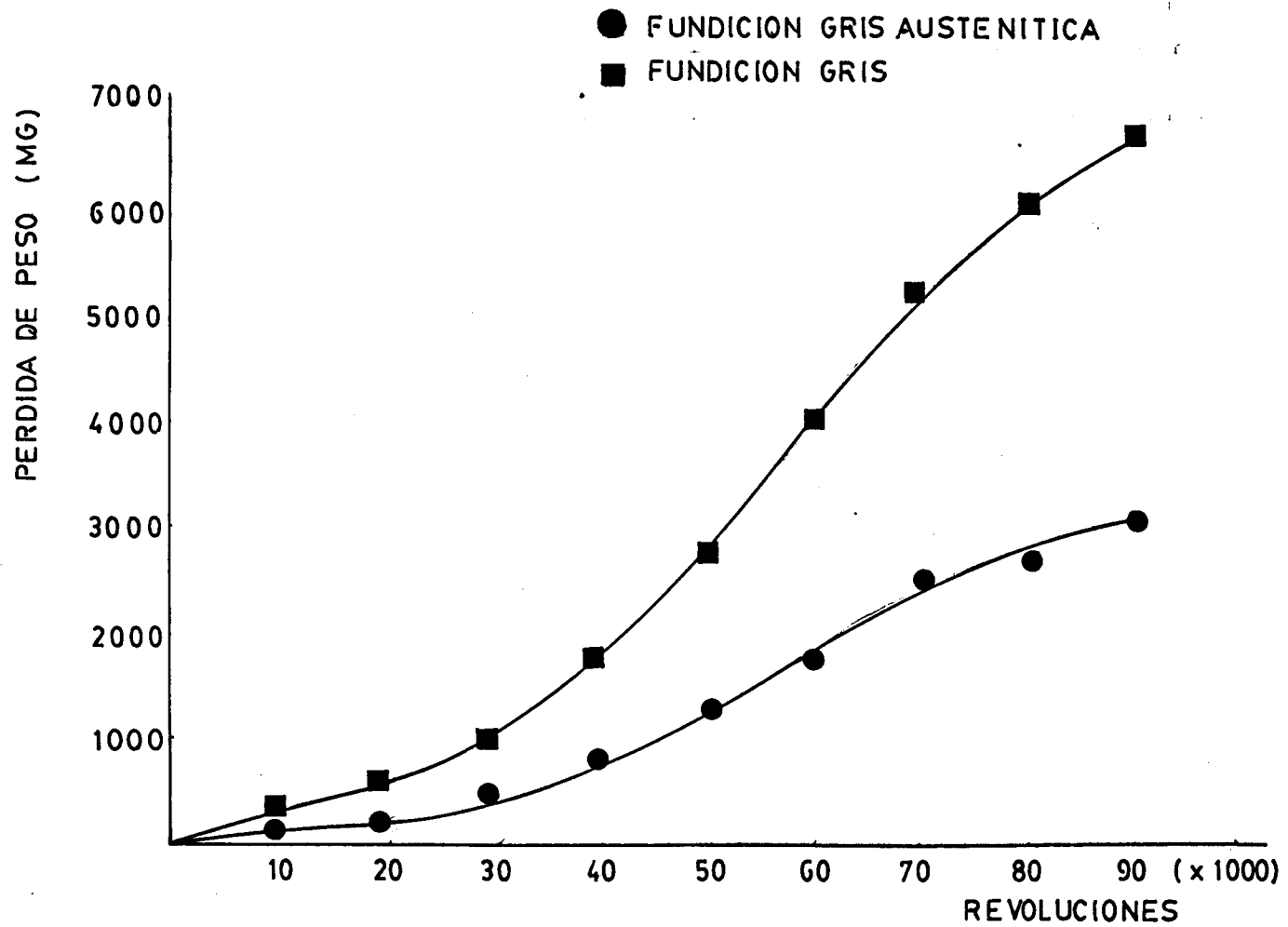


Fig. N° 45.- Ensayo de Abrasión de las Fundiciones Grises Austeníticas y las Fundiciones Grises.

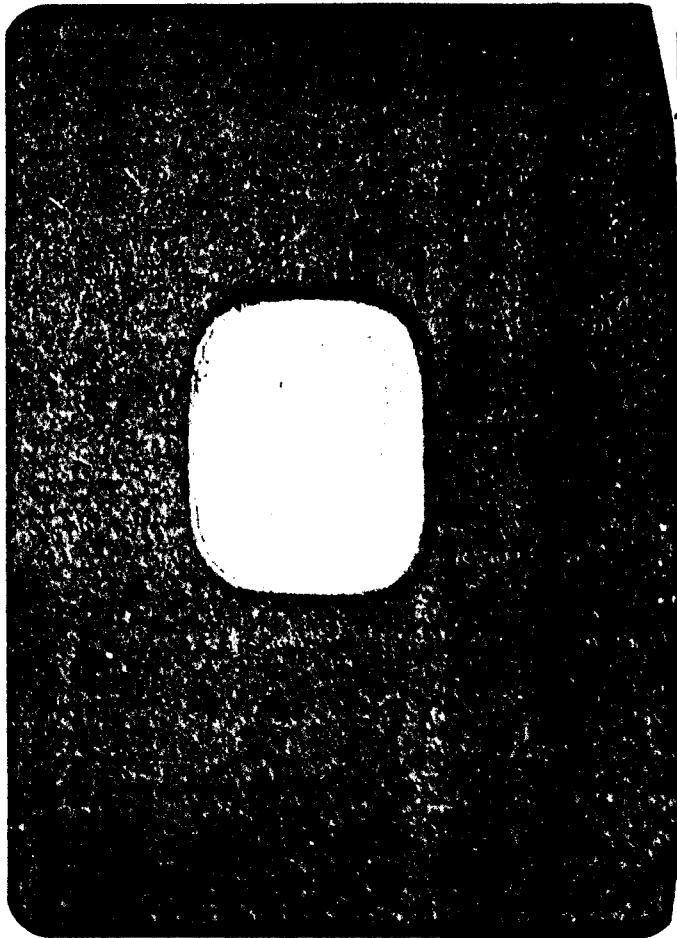


Fig. N° 46.- Estado de la muestra de fundición gris austenítica sometida al ensayo de abrasión.

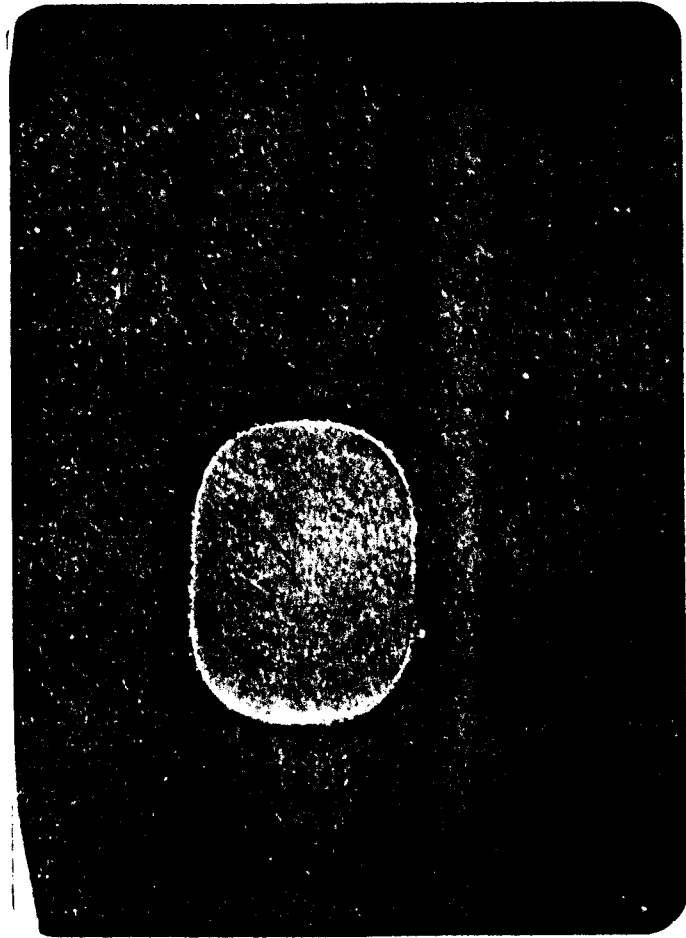


Fig: N° 47.- Estado de la muestra de fundición gris sometida al ensayo de abrasión.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1.- La apariencia superficial de las fundiciones grises se deteriora con gran intensidad cuando es mantenida en ambientes severamente corrosivos.
- 2.- En las fundiciones grises austeníticas la apariencia superficial se mantiene en estado recomendable en ambientes altamente corrosivos.
- 3.- Las fundiciones grises son mucho más sensibles a la corrosión intercrystalina en soluciones salinas a las fundiciones grises austeníticas.
- 4.- Las fundiciones grises a lo largo de la prueba tuvieron productos de corrosión o pérdida de material en una cantidad de 10 veces mayor que las fundiciones grises austeníticas.
- 5.- Las fundiciones grises austeníticas presentan mayor resistencia al desgaste abrasivo inclusive al de rozamiento de metal con metal, lo que se establece a la influencia de los aleantes cromo y níquel.

6.- Las ventajas características obtenidas en las fundiciones grises austeníticas se deben a sus altos contenidos de níquel y cromo.

### Recomendaciones

En base a investigaciones que se llevaron a cabo se puede establecer las siguientes recomendaciones:

- 1.- Se recomienda para la fabricación de bombas centrífugas que requieran de alta resistencia a la corrosión en soluciones salinas, en ácidas y en alcalinas el tipo de las fundiciones grises austeníticas.
- 2.- Los tipos 1b, 2b, 4 por su alto contenido de cromo son de notable aplicación en accesorios, bombas y piezas que se encuentran trabajando con fluidos que posean sólidos, arena en suspensión, por lo cual requieren de materiales altamente resistentes al desgaste por abrasión.
- 3.- El tipo 3 de las fundiciones grises austeníticas es uno de los que reúne las características más notables de todos los tipos de esta fundición, de ahí que puede ser empleado con toda propiedad en diversos usos que demanden las múltiples cualidades de estos materiales.

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

- 1.- Fritz Todt, Corrosion y Proteccion, (Madrid: Aguilar, 1959), pp. 99-130.
- 2.- Iron Casting Society, Iron Casting Handbook, (1981), Charles F. Walton, 1981), pp. 491-526.
- 3.- Igor J. Karassik y Roy Carter, Centrifugal Pumps, (New York: Mc Graw-Hill, 1960), pp.162-170.
- 4.- José Apraiz Barreiro, Fundiciones, (3ra. Ed. Madrid: Possat, 1971), pp. 84-89
- 5.- F.A. Champion, Ensayos de Corrosión, (2da. Edición; Bilbao: Urmo, 1970), pp. 225-240.
- 6.- Climax Molybdenum Company, The Uses of Molybdenum in Nodular Irons, (Lithoin in USA; Stoessel, 1984), pp. 88-90.
- 7.- Metal Handbook, Volumen 1, (Ohio: American Society for Metals, 1978).
- 8.- Annual Book of ASTM STANDARDS, Volumen 2, (Philadelphia: Annual Book, 1979).
- 9.- Annual Book of ASTM STANDARDS, Volumen 10, (Philadelphia: Annual Book, 1979).
- 10.- A.B. Everest, "History of the Austenitic Cast Irons and Evolution of the British Standard", Revista Me-

talurgia, (Noviembre 1962), pp.232-236

- 11.- J. Morrison, "Some Applications of Austenitic Cast Irons", Revista Engineering, Vol. 194, (Dic. 1962), pp.814-815
- 12.- Ing. Eduardo León, "Análisis del Consumo de Energía Eléctrica de las Camaroneras del Litoral", Revista Tecnológica, Vol. 4, N° 2, (Octubre 1983), pp. 97-106.
- 13.- CENDES, Mercado Subregional Andino de Bombas Centrifugas, Guayaquil (Marzo 1975).
- 14.- CENDES, Estudio Skctorial 4, Mejoramiento de la Fundición de Hierro Gris, Quito , (Febrero 1972).
- 15.- CENDES, Diagnóstico del Sector Camaronero, Guayaquil (Dic. 1983).