



620.11223

F677

C.2

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

**“Pavonado: Evaluación del Proceso y Resistencia
a la Corrosión”**

TESIS DE GRADO

**Previa a la Obtención del Título de:
INGENIERO MECANICO**

Presentado por:

ROMAN JOSE FONT PEREZ

GUAYAQUIL - ECUADOR

- 1991 -



BIBLIOTECA

AGRADECIMIENTO

AL **ING. JOSE PACHECO**, DIRECTOR DE
LA TESIS DE GRADO, AL **ING.**
GABRIEL PINO CARBO, AL **ING. JAIME**
LOZADA, Y A MIS PADRES POR SU
APOYO PERMANENTE.

DEDICATORIA

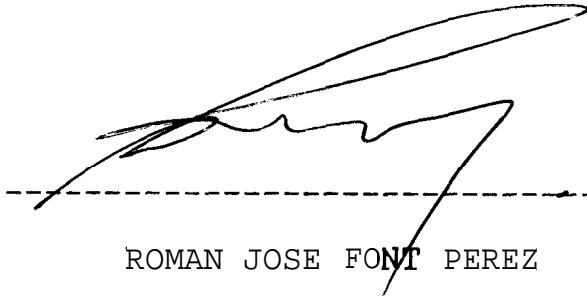
A MIS PADRES

A MI FAMILIA

DECLARACION EXPRESA

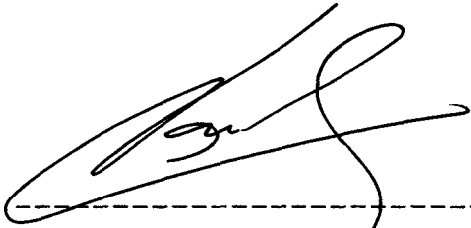
"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta Tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y títulos profesionales de la ESPOL).



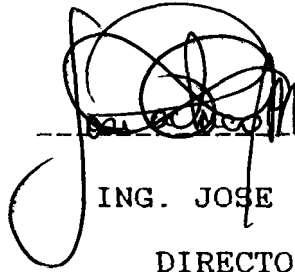
ROMAN JOSE FONT PEREZ





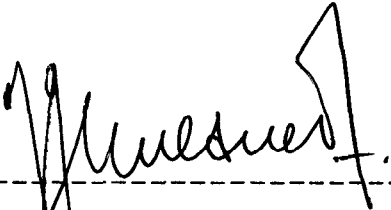
ING. NELSON CEVALLOS

DECANO DE LA
FAC. ING. MECANICA



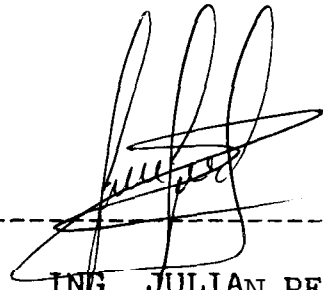
ING. JOSE PACHECO

DIRECTOR DE
TESIS DE GRADO



ING. IGNACIO WIESNER

MIEMBRO PRINCIPAL DEL
TRIBUNAL



ING. JULIAN PENA

MIEMBRO PRINCIPAL DEL
TRIBUNAL

RESUMEN

Dentro de **los procesos** de acabado importantes a que pueden **ser sometidos los metales**, tenemos el proceso de pavonado, que produce una **coloración** negruzca brillante que da al material **protección** contra la **corrosión** y una buena apariencia **estética**.

El **presente** trabajo **enfocará** la **manera** de realizar **este** proceso y optimizar **sus propiedades** protectoras mediante el adecuado control de **algunos parámetros decisivos** durante la **fase** de **elaboración**. La **evaluación nos permitirá** tener una **estimación**, mediante la **realización** de ensayos en la **cámara** de niebla **salina**, de la técnica operativa **más** adecuada **para** realizar el **proceso**, que no8 dé la mejor **resistencia** a la **corrosión**.

En el capítulo I, se **enfocarán los fundamentos teóricos necesarios para la comprensión del proceso**. En el capítulo II, **tendremos** ya la **experimentación** y el **equipo** utilizado, **para** finalmente en el capítulo III, **hacer un análisis** de **todos los resultados** obtenidos, y **además** idea8 de **cómo** obtener un buen provecho **económico** de la **aplicación** de la técnica dentro de nuestro mercado que **es** el Ecuador.

INDICE GENERAL

	Pag.
RESUMEN	VI
INDICE GENERAL	VII
INDICE DE FIGURAS	1X
INDICE DE TABLAS	XI
NOMENCLATURA	XII
INTRODUCCION	XIV
CAPITULO I	16
FUNDAMENTOS TEORICOS	16
1.1 Pavonado, generalidades del proceso	16
1.2 Cámara de niebla salina , uso y norma ASTM	33
1.3 Análisis químico del baflo de pavonado	40
1.4 Usos y aplicaciones industriales	41
CAPITULO II	44
EXPERIMENTACION - EQUIPO UTILIZADO	44
2.1 Preparación de las probetas de enaayo	44



2.2 Proceso de pavonado	48
2.3 Evaluación de la resistencia a la corrosión mediante el uso de la cámara de niebla salina . (Ensayo rápido de resistencia a la corrosión)	53
2.4 Espesor de la capa de pavonado	59
2.5 Control de la composición del baflo de pavonado	59
2.6 Impregnaciones posteriores al pavonado	62
2.7 Resultados obtenidos	64
CAPITULO III	72
DISCUSION DE RESULTADOS	72
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
APENDICE I	80
APENDICE II	93
APENDICE III	106
BIBLIOGRAFIA	116

INDICE DE FIGURAS

Nº		Pag.
1.1	Principales recubrimientos de los metales	18
1.2	Corrosión frente a la atmósfera	32
1.3	Cámara de niebla salina	35
1.4	Cámara de niebla salina en funcionamiento	38
1.5	Rangos de porcentaje de superficie corroída	39
1.6	Diagrama binario del sistema hierro oxígeno, donde se aprecian los tres tipos de óxidos formados	41
2.1	Preparación de las probetas de eneayo	46
2.2	Pavonado impregnación posterior SAE 30	50
2.3	Pavonado con templado posterior en agua	52
2.4	Pavonado enfriadas al ambiente	52
2.5	Probetas pavonadas a 400° c , sometidas a 3 horas de niebla salina	58
2.6	Probetas de acero dulce pavonadae a diferentes tiempos y temperaturas	60
2.7	Probetas de acero dulce de superficie lisa pavonadas a 500° C , durante 5 minutos	64
2.8	Principales gráficos correspondientes al apéndice I	65
2.9	Principalea gráficos correspondientes a l	

apéndice I 66

2.10 Principales **gráficos** correspondientes al
apéndice I 67

2.11 Principales **gráficos** correspondientes al
apéndice II 69

2.12 Principales **gráficos** correspondientes al
apéndice III 71



BIBLIOTECA

INDICE DE TABLAS

NO		Pag.
I.	Formulación propuesta por Harris	20
II.	Procedimiento Jetal	22
III.	Ennegrecimiento del hierro y acero	24
IV.	Formulaciones para acero inoxidable	25
V.	Color cafe del acero (armas de fuego)	25
VI.	Tonalidad azul para el acero	26
VII.	Variables medidas en el ciclo experimental	37
VIII.	Pavonado a 400° C. Porcentaje de superficie corroída	54
IX.	Pavonado a 450° C. Porcentaje de superficie corroída	55
X.	Pavonado a 500° C. Porcentaje de superficie corroída	56
XI.	Pavonado a 550° C. Porcentaje de superficie corroída	57

NOMENCLATURA

amb	:	Ambiente
cc/L	:	Centimetro cúbico por litro
cm	:	Centimetro
cm ²	:	Centimetro cuadrado
cm ³	:	Centimetro cúbico
CN	:	Cianuro
Cl	:	Cloro
NaCl	:	Cloruro de Sodio
dm ²	:	Decimetro cuadrado
Fig	:	Figura
°C	:	Grado centígrado
g	:	Gramo
Fe	:	Hierro
hr	:	Hora
Kg	:	Kilogramo
L	:	Litro
mt	:	Metro
mt ²	:	Metro cuadrado
μ	:	Micrones
min	:	Minutos
KNO ₃	:	Nitrato de potasio

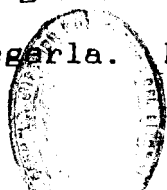
part	:	Partes
%	:	Porcentaje
pH	:	Potencial de hidrógeno
ASTM	:	Sociedad Americana para Ensayos de Materiales
Na	:	Sodio
NaOH	:	Soda cáustica
v	:	Voltios

INTRODUCCION

La **expresión** recubrimientos de **los metales** se refiere, normalmente, a una **capa** de material, relativamente delgada, que recubre a un metal o **aleación** de **sección** relativamente elevada.

Los recubrimientos de **los metales** se aplican **para** conseguir alguna propiedad superficial deseada que no tiene **el** metal base. En general, las **propiedades del** conjunto vienen determinadas por la **e** del metal protegido **y** por **las del** material protector. El recubrimiento **sólo** tiene **marcada** influencia **sobre las** propiedades **ligadas** a la superficie: resistencia a la **corrosión**, reflectividad, color, soldabilidad, resistencia **eléctrica** por **contacto**, resistencia a la **abrasión**, coeficiente de rozamiento, etc.

Uno de **los** recubrimientos **importantes** estudiadoe en la actualidad, **consiste** en **el** pavonado, **éste** dentro de **los** recubrimientos no **metálicos**. El **requisito más** importante en la tecnología de **los** recubrimientos **protectores** es la limpieza de la superficie a la que **éstos se** aplican. La naturaleza **física y química** de una superficie **metálica** ejerce un efecto muy **marcado** sobre la calidad de cualquier recubrimiento, ya sea de **tipo metálico, orgánico** o **inorgánico**, que pueda emplearse **para protegerla**. La



presencia de **grasa**, aceite, **productos** de la **corrosión**, suciedad, o de otros cuerpos **extraños**, ejercen una determinada influencia sobre la adherencia, continuidad y **duración** de los recubrimientos. Por regla general se puede afirmar que el **carácter** de un recubrimiento no es mejor que **el** de la superficie a la que **se** aplica y, por **tanto**, es un **hecho** por **todos** reconocido que la **obtención** de recubrimientos protectores de alta calidad depende **del** pretratamiento adecuado de la superficie **del** metal **base**.

En **los últimos años**, la tecnología de **los** metales ha registrado **considerables avances**, y han aparecido una gran cantidad de **métodos** y **materiales** destinados a **las** operaciones de limpieza de **las** superficies y decapado.

Luego de una buena **preparación** superficial, **será indispensable** pavonar en diferentes condiciones **tanto** de tiempo como de temperatura, **para** poder llevar a cabo una **evaluación** de este **proceso**. **Además** comúnmente luego **del** **proceso** se complementa, colocando **sobre** la superficie pavonada, una **capa** de aceite o de cualquier **laca** transparente, **para** mejorar **las** cualidades contra **los** agentes **atmosféricos**.

CAPITULO I

FUNDAMENTOS TEORICOS

1.1 PAVONADO, GENERALIDADES DEL PROCESO.

Algunos **metales**, como por ejemplo el aluminio y el **romo**, tienen una tendencia a **formar películas** de óxidos relativamente **estables** en su superficie al estar en contacto con la **atmósfera**.

Estas **películas** son el resultado de cierta pasividad y **reducen**, una vez formadas, considerablemente la velocidad de **corrosión** del metal en medioa corroeivoe. **Este** comportamiento es debido a la **formación** de recubrimientos obtenidos **por conversión**. En la **práctica** los recubrimientos obtenidos por **conversión** se consiguen reaccionando la superficie **metálica** con la **disolución** que **está** en **contacto** con el metal. A **veces** como en el caso del anodizado, **esta** reacción tiene lugar con el **concurso** de la **corriente eléctrica**. **Así** se forman **óxidos**, **fosfatos**, **romatoc**, etc., que protegen a los **metales** de posterior **corrosión**.

La **capa** de recubrimiento **así** obtenida, a **menudo** **presenta** un **aspecto** **más** o **menos** irregular. **Precisamente** en algunaos **casos**, **esta** irregularidad se aprovecha **para** facilitar el anclaje superficial de **lubricantes**, **colorantes** y de otros sistemas de **protección** (pinturas).

Una característica general de **este** tipo de recubrimientos **es** la buena adherencia **que** **suele** **presentar**, **sobre** **todo** **si** **se** comparan con otros **tipos** de recubrimientos metálicos y **orgánicos**.

Los recubrimientos de **los** **metales** **más** utilizados industrialmente se **los** puede apreciar en el gráfico.

(Fig. 1.1)

Como **podemos** ver en la figura 1.1, **los** recubrimientos no metálicos por **conversión**, contienen al pavonado que **será** motivo de nuestro **estudio**. (1)

En un trabajo previo se hizo un estudio de **cinética** del proceso de pavonado en **baño** de sales fundidas; se suponía que la ulterior resistencia a la **corrosión** de **las** **piezas** pavonadas sería **función**, en principio, del espesor de la **capa** de **óxidos**, el cual depende a **su** vez, del tiempo de **inmersión** de **las** **piezas** en el **baño**, temperatura a la que el proceso **se** lleva a **cabo** y estado de rugosidad de la superficie a recubrir.

Las **técnicas** para pavonar son de **varios** tipos, **éstas**

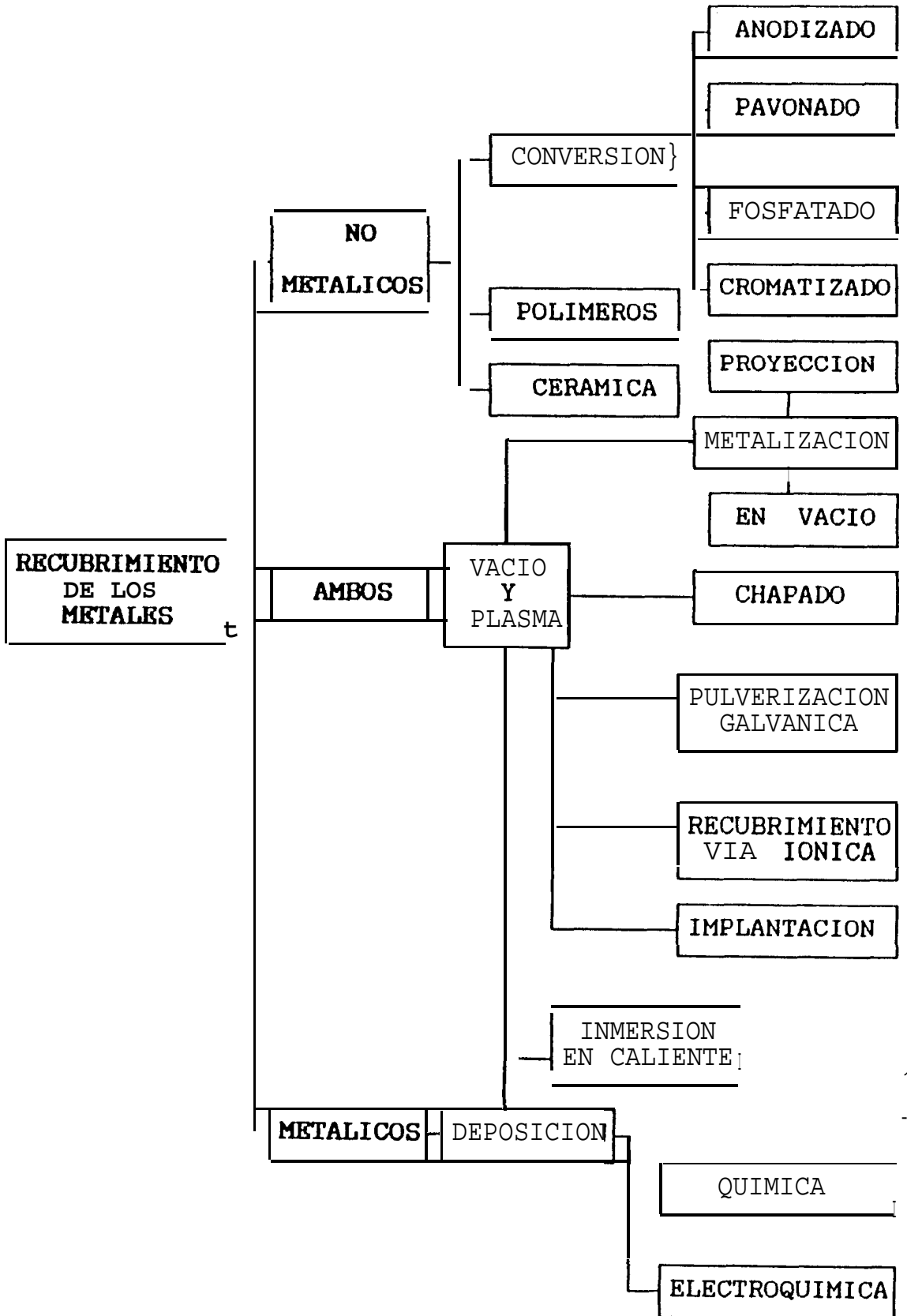


FIGURA 1.1 PRINCIPALES RECUBRIMIENTOS DE MS METALES

serán descritas para que se pueda aplicar cualquiera de ellas; los métodos más utilizados son los Alkali caustico - nitrato.

METODO ALCALI CAUSTICO - NITRATO

El método "Alkali cáustico - nitrato", es ampliamente utilizado, dentro de los métodos de inmersión en soluciones de Alkali cáustico conteniendo un agente oxidante, generalmente un nitrato. Existen actualmante en uso una serie de procedimientos patentados que se basan esencialmente en este principio, aunque alguno de ellos incorporan adiciones especiales de agentes activadores a la mezcla Alkali - agente oxidante, los cuales se afirma dan buenos resultados y aumentan la vida del baño.

Los baños son propensos a alterarse con el uso, debido a la acumulación de sales de hierro, retardándose de esta manera la acción. Los actlvadoreen pueden seleccionarse del grupo de compuestos que forman complejos con las sales de hierro (cianuros, tanatos, tartratos, etc.). Se pueden hacer típicas soluciones de esta clase disolviendo 120 a 150 gramos de sosa cáustica en unos 100 cm³ de agua, y añadiéndole cerca de 30 gramos de nitrato sódico.

La solución concentrada que así se obtiene se emplea a la temperatura de ebullición, que es alta.

Las temperaturas son **del orden de los 280° a los 200°** C y **dependen** de la **concentración** de sales. Los objetos de acero se **limpian** y se sumergen en la **solución**; la **manera de realizar la limpieza será** analizada en el capitulo II, en lo que **corresponde** a la **preparación de las probetas** de ensayo. Los objetos de acero, se sumergen en la **solución** por un **período de cinco a treinta minutos para** obtener un color satisfactorio. Los recubrimientos **así** obtenidos pueden **ser** de hasta 0.0025 a 0.0051 cm. de espesor. Harris **propone** la **fórmula** que se la puede ver en la tabla I. (3)

TABLA I

FORMULACION PROPUESTA POR HARRIS

SOSA CAUSTICA	500 Gramos
NITRATO POTASICO	312 Gramos
AGUA	1 Litro
TEMPERATURA	140°C
TIEMPO	10 Min.



BIBLIOTECA

A medida que tiene **lugar** la **evaporación del agua**, la **solución** se concentra provocando una **elevación del punto de ebullición**; **por** este **motivo** **deben** de efectuarse de **vez** en cuando adiciones de agua, **para** mantener **el punto de ebullición constante**; **éste** puede servir **como** una medida de la **concentración** de la **solución**. Las adiciones de agua **deben** efectuarse con **precaución**, puesto **que** la **solución** es propensa a

salpicar cuando se le introduce agua. Algunae **veces se le añade** al **baño** una **pequeña** cantidad de nitrito, pero esto no parece eer de gran **interés**.

La **solución** que se **emplea** en tanques de hierro fundido o de acero, debe calentarse muy uniformemente. Cuando se **emplea** el gas como medio **calefactor**, el **calor** debe de **dirigirse** hacia los lados, mejor que al fondo, del tanque de acero, **para** evitar una **estratificación** de la **solución**, muy **densa**, y mantener una **ebullición** tranquila.

Estas soluciones **también** se **alteran** con el **uso**, debido a la **absorción** del anhídrido **carbónico**, que convierte la **sosa cáustica** en carbonato **sódico**, **menos** efectivo. **También** se han empleado, en **lugar** de nitrato **sódico**, otros agentes oxidantes tales **como** el permanganato **potásico** o el dicromato **sódico**. Es una **práctica** común emplear dos **baños** de **inmersión**, el **primero** a **menor** **concentración** (y, por ello a **menor** temperatura) que el **segundo**.

Los objetos se **introducen** durante un corto **período** de tiempo en el **baño** men08 concentrado **antes** del tratamiento en el **segundo**, **baño** principal. Este procedimiento da un recubrimiento **algo** mejor. En lo que se refiere a adiciones Krause recomienda el empleo de urea en los **baños** de **álcali** - nitrato. **Con** la **adición** de 20 gram08 de urea por litro **a** una



solución de sosa cáustica conteniendo 10 gramos de nitrato sódico por litro, se comprobó que el hierro adquiere un color negro sumamente mate y el acero un negro lustroso con un tratamiento de 20 a 30 minutos a 127° C a 138° C, los colores se produjeron en cinco minutos.(3)

METODO JETAL

El procedimiento "Jetal", ha sido extensamente empleado en los Estados Unidos para los acabados negros de esta clase; el baño tiene la composición que se muestra en la tabla II, con este baño se trabaja a temperaturas comprendidas entre los 1210 y 149° C, y se prefiere para el la temperatura óptima de 135° a 143° c.

TABLA II

PROCEDIMIENTO JETAL

HIDROXIDO SODICO	3 Kg
NITRATO SODICO	1 Kg
AGUA	4 lt

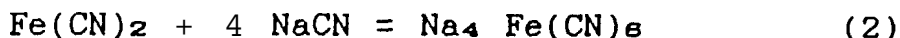
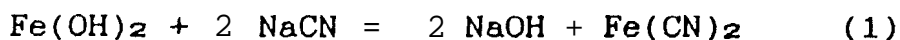
El tiempo de tratamiento puede ser de hasta 30 minutos, y depende del color y del grueso del recubrimiento que se requiera. Transcurrido cierto

tiempo de su empleo, se observa que el baño ha quedado de tal **manera exhausto** que no se produce **coloración** o, **el máximo**, muy pobre y **débil**. Al alcanzar este estado deberían haberse tratado cerca de **280 dm²**. de superficie por **cada 4.5** litros de **solución**.

Cuando **el baño** empieza a perder su eficiencia se **añade** cerca de **1/2 Kg** de cianuro **sódico** por **cada 100 Kg** de **baño**, y **si** es necesario, sosa **cáustica** y **algo más** de nitrato **para** reemplazar las **pérdidas** por arrastre. Este tratamiento de **regeneración** se repite cuando sea necesario, requiriéndose una **adición** de **162 gramos** de cianuro **sódico** por **cada 10 mt²**. de metal tratado.

El cianuro sirve probablemente **para** eliminar el **exceso** de **iones** hierro de la **solución** mediante la **formación** de ferrocianuro **sódico**, **Na₄Fe(CN)₆**; el hierro desaparece de la **solución** al pasar al **anión** complejo.

Las reacciones que ocurren son **las** siguientes:



La **iniciación** de la **reacción** es algunas **veces** lenta, y por esto **el** ennegrecimiento no **se** produce con facilidad; Qste es particularmente, el **caso del** hierro fundido y a **veces también** el de las **chapas** de **acero laminadas** en **frío**. Se ha recomendado sumergir previamente **el** metal durante unos minutos, antes **del**



BIBLIOTECA

tratamiento, en una **solución del 5 al 10 por 100 de ácido fluorhídrico para** acelerar la **reacción** en tales **CASOS. (3)**

Otras formulaciones han sido **dadas** por ejemplo **como** se puede ver en la tabla III, **para** obtener la **coloración**

TABLA III

ENNEGRECIMIENTO DEL HIERRO Y ACERO

1.- SODA CAUSTICA	17.6 Kg
NITRATO DE SODIO	42.6 g
DICROMATO DE SODIO	42.6 g
AGUA	4 lt
2.- SODA CAUSTICA	568 g / L
NITRITO DE POTASIO	213 g / L
NITRATO DE POTASIO	142 g / L
Ambas soluciones se pueden utilizar con un punto de ebullición de 1460 C, y debe mantenerse esta temperatura con agua, o adiciones de cáustica .	

negra **para** el **hierro** y el **acero**, es **decir** un gran **rango** de bajo carbon y bajas aleaciones de **acero**, **como** podemos observar la tabla IV, es **para** **acero** inoxidable, la tabla V, nos da una tonalidad café, **ésta** es **usada para** las **armas** de fuego, la tabla VI, es **para** **acero. (4)**

Otros autores nos dan **más información** acerca del **proceso** de pavonado.

TABLA IV

FORMULACIONES PARA ACERO INOXIDABLE

1.-	DICROMATO DE SODIO	0.45 Kg
	DICROMATO DE POTASIO	0.45 Kg
	TEMPERATURA	400-455° C
2.-	LIMPIAR Y SUMERGIR EN ACIDO OXALICO AL 10%. ENJUAGAR Y SECAR, LIMPIAR LO SUCIO Y SUMER- GIRLO EN UNA SOLUCION DE SULFITO DE SODIO AL 1 %.	
3.-	ACIDO SULFURICO	180 part.
	AGUA	200 part.
	DICROMATO DE POTASIO	50 part.
	TEMPERATURA	100° C

TABLA V

COLOR CAFE DEL ACERO (ARMAS DE FUEGO)

1.-	SULFATO DE COBRE	20	g / L
	CLORURO DE MERCURIO	5	g / L
	CLORURO FERRICOI...	30	g / L
	ACIDO NITRICO	150	g / L
	ALCOHOL DESNATURALIZADO	700	cc / L
EL PROCEDIMIENTO ES EL SIGUIENTE:			
A) SUMERGIR EN ALGUNA SOLUCION DE LIMPIEZA			
B) COLOCAR LA PIEZA EN UNA CAJA CALIENTE POR 30 MINUTOS A 80° C.			
C) TRANSFERIR HUMEDAD A LA CAJA. ESTO PUEDE LOGRARSE INTRODUCIENDO VAPOR A LA CAJA. CUANDO LA TEMPERATURA ES DE ALREDEDOR DE 66° C, CERRAR LA ENTRADA DE VAPOR. LUEGO DE ESTO SE HABRA FORMADO UNA CAPA ROJA EN EL OBJETO.			
D) SUMERGIR EN AGUA HIRVIENDO HASTA QUE LO ROJO SE CONVIERTA EN OXIDO NEGRO.			
E) LIMPIAR CUIDADOSAMENTE LA SUPERFICIE			
F) ESTA OPERACION DEBE DE SER REPETIDA DURANTE TRES VECES.			
G) ES RECOMENDABLE LA IMPREGNACION POSTERIOR DE ACEITE PARA DARLE MAS BRILLO.			



TABLA VI

TONALIDAD AZUL PARA EL ACERO

1.-	COLORURO FERRICO	56.8	g
	NITRATO DE MERCURIO	56.8	g
	ACIDO HIDROCLORICO	56.8	g
	ALCOHOL	227	g
	AGUA	227	g
TEMPERATURA DEL CUARTO. LAS PARTES DEBEN DE SUMERGIRSE POR 20 MINUTOS, REMOVIENDO Y DEJANDOLAS AL AIRE POR 12 HORAS REPETIR ESTO OTRA VEZ, LUEGO HERVIR EL AGUA POR 1 HORA Y SECAR.			
2.-	TIOSULFATO DE SODIO	56.8	g / L
	ACETATO DE PLOMO	14.2	g / L
USARLO HIRVIENDO			
3.-	ARSENICO BLANCO	454	g
	ACIDO HIDROCLORICO	2.2	L
	AGUA	1.1	L
USARLO TIBIO			
4.-	COLORURO DE MERCURIO	4	part.
	COLORATO DE POTASIO	3	part.
	ALCOHOL	8	part.
	AGUA	85	part.
	TEMPERATURA		amb.
5.-	SODA CAUSTICA	35.5	g / L
	ARSENICO BLANCO	35.5	g / L
	CIANURO DE SODIO	7.1	g / L
HACER PARTES CATODICAS, USANDO ANODOS DE ACERO A 2 amp/pie ² POR 2 - 4 MINUTOS. LA COLORACION AZUL PRODUCIDA PUEDE SER IMPREGNADA DE ACEITE.			

PAVONADO DEL HIERRO

a) Colores de temple; después de una buena limpieza y desengrasado, se calentará el objeto uniformemente, con lo cual se cubre con una película de óxido, que presenta sucesivamente diversos colores. Los

objetos de **pequeñas dimensiones** sobre una **placa** de hierro calentada.

Se calienta con mayor uniformidad en un **baño** de arena 0 con **aire** caliente. Se recomienda especialmente **introducir** el **objeto** en un baño de salitre fundido o en otro **baño** salino. Se obtiene un color amarillo de paja a **230°**, **pardo rojizo** a **265°**, rojo **púrpura** a **280°**, azul marino a **295°**, azul **claro** a **3100 C**; **después** sigue **violeta**, **púrpura**, verdemar; a partir de **este punto** desaparece el color, y por **último** el acero llega al rojo.

No influye **sólamente** la **elevación** de la temperatura, sino **también** la **duración**, en el desarrollo **del** color.

- b) Pavonado **pardo**; **se** provoca una **capa** artificial de óxido sumergiendo la pieza de hierro pulida en un mordiente (cloruro **férrico** disuelto en **agua** en la **relación 15:1**, o cloruro antimonioeo con tres partes de aceite de **oliva**, **mezclados** intimamente). Estos mordientes, en breve tiempo **originan** una **capa** de óxido. **Después** de frotada y cepillada la pieza con **bruzas** de acero, se introduce de nuevo en el mordiente. Una **acción** prolongada (**unas horas**, o mejor **algunos días**) y repetida **varias veces** (**cinco** o **diez**) desarrolla una **capa** uniforme de óxido de

color **pardo**.

Aceitando posteriormente o aplicando **cera** se consigue un aspecto agradable. Un mordiente muy usado se compone de 15 partes de cloruro **férrico**, 30 partes de **vitriolo** de hierro y 12 partes de nitrato de cobre disueltos en **agua**. Se recomienda **añadir** una **pequeña** cantidad de alcohol.

c) Pavonado negro; recubriendo uniformemente la0 **piezas** de hierro con una ligera **capa** de aceite (aceite animal o vegetal con **algo** de grafito) y quemándolas sobre un fuego moderado de **carbón** de **madera** o una llama de gas, se **carboniza** la grasa y resulta el **pavón** negro. Es necesario repetir **varias veces** esta **operación**, **después** de frotar la0 superficies con un nuevo **trapo seco** y aplicar el aceite nuevo. Cuando se ha llegado al negro deseado se frota el **objeto** con un trapo empapado con aceite de **linaza**.

d) Pavonado negro **suizo**; se mezclan 30 gramos de **ácido nítrico**, 7.5 gramos de alcohol, 7.5 gramos de **sulfato** de cobre, 240 gramos de cloruro **férrico** en 1.5 litros de agua. Los objetos se sumergen en este **líquido frío** o se aplica en **frío** sobre **las** superficies mate, evitando la **formación** de **gotas**. Se deja oxidar en el **aire** o mejor en vapor de agua

durante varias horas, se **hace** hervir el **objeto** en agua **limpia** durante **diez minutos**, se **seca** y se frota. Este procedimiento se repite dos o tres **veces**, y finalmente se frota con aceite de **linaza** caliente.

- e) **Coloración azul**; **para** azular **fácilmente** el acero, se sumerge el **objeto** de que se trate en un **baño** compuesto de 25 partes de plomo y una **parte** de **estaño**, siendo suficiente la temperatura de **fusión** del **baño** para azular **pequeñas piezas**. (5)

PAVONADO DEL HIERRO Y DEL ACERO

En este **caso** nos referiremos a **los revólveres** y **pistolas** y a **continuación** vamos a mencionar algunas **técnicas** que se emplean en la actualidad.

- a) A **veces** se calienta **el** acero hasta **tomar** un color **grisáceo**, se deja **enfriar** y se vuelve a **calentar** hasta que quede azul.
- b) Debe **bruñirse** lo mejor posible la parte que se trata de pavonar, y hay que disponer de una **caja** hecha de **chapa** de hierro, de unos 15 centímetros en cuadro **si sólo** se trata de pavonar la **recámara**, y de doble **tamaño** **si** se quiere pavonar toda el **arma**. Se tritura **carbón** de **leña**, y se llena la **caja**, que se **pone** en el fuego, removiendo **el carbón** hasta que

esté casi hecho ascuas; se coloca entonces la pieza en la **caja**, pero de modo que quede **rodeada** de **carbón**, para que **esté** calentada **tanto** por arriba como por abajo y por **los** lados.

Estando la **caja** al fuego, se **saca** la pieza **cada** diez minutos (con unas tenazas, pinzas, etc.), y se frota con un trozo de estopa o borra de **algodón** bien lleno de cal en polvo; enseguida se vuelve a poner en la **caja**.

Hay que **procurar** que el **carbón** no se **ponga** demasiado caliente; si es **así**, se retira un **poco** la **caja del** fuego, y **si** es **preciso** se vuelve a poner nuevamente sobre el mismo. Procediendo de este modo se ve que al **poco** tiempo de empezar el tratamiento, **toma** el acero un color **púrpura**, que pasa de azul a azul **claro**; **pero** este azul no es **conveniente**, ya que uno de sus **defectos** es que desaparece al frotar y **limpiar** el **arma**; **por** esta **razón** se sigue calentando la **caja**, **viéndose** **w e** desaparece **el** color azul y vuelve el acero a quedar igual que al ponerlo por **primera** vez en el **carbón**.

Entonces es cuando no debe de olvidarse **sacar** la **recámara**, el **cañón** o la pieza que sea, y frotarla **rápidamente** con la cal **cada** diez minutos, pero sin que **esté** mucho tiempo **cada** vez en el **aire**.

Así se obtiene un color azul oscuro muy permanente. Una vez pavonado el acero se deja enfriar y después se engrasa bien con aceite. (5)

OTROS METODOS DE PAVONADO

Uno de los métodos para pavonar más comunmente utilizados, es el que se va a presentar a continuación, en donde en un primer ensayo se pavonaron probeths de acero dulce en un baño de KNO_3 - NaOH (3/1) a 500°C .

Los tiempos de inmersión empleados varían entre 2 a 10 minutos. Las piezas son sometidas a previa preparación superficial lo cual se explicará más adelante, ya se han realizado experiencias con probetas pavonadas, por ejemplo con 1 minuto de inmersión a 500°C , y 3 minutos de inmersión; como se observa en la figura 1.2, donde se muestra el porcentaje de superficie corroida donde las probetas fueron expuestas al ambiente durante 6 y 7 meses. (Fig. 1.2)

Ahora, esta temperatura puede variar entre 400 y 600 grados centígrados, con diferentes tiempos de inmersión.

En el presente trabajo se va a llevar a cabo una evaluación gráfica de la resistencia a la corrosión de diversas probetas pavonadas, y para evaluar la corrosión se acelerará este proceso mediante el uso de

la **cámara** de niebla **salina** de la **ESPOL**.

Hay que tener en cuenta **además** que **más** adelante se **hablará** sobre las **impregnaciones** **posteriores** a la **capa**

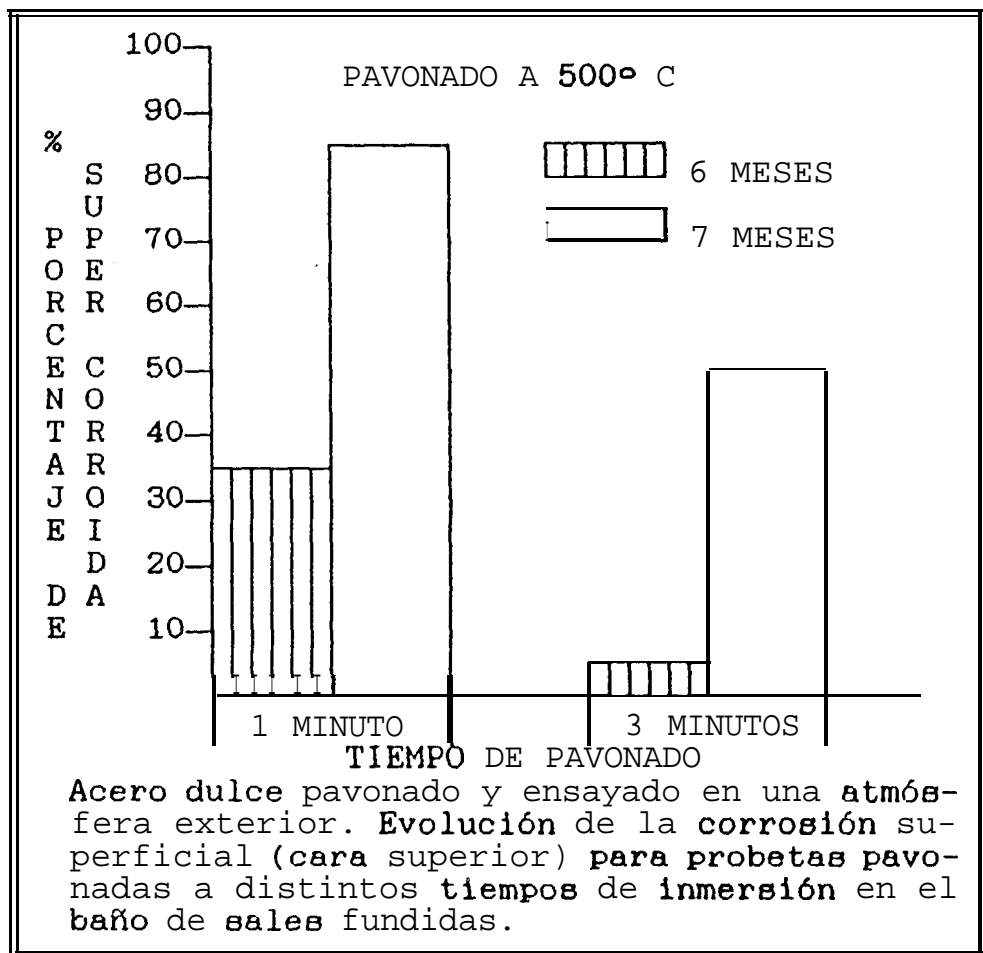


FIGURA 1.2 CORROSION FRENTE A LA ATMOSFERA (2)

de **pavón**, pero vale la **pena** **introducir** **algo**; sabiendo que la **protección** por la **capa** de **óxidos** desarrollada sobre la superficie **del** **acero** durante **los** **procesos** de pavonado es **escasa**, **anulándose** ante la **acción** de un medio de marcadas condiciones agresivas. Debido a esto se **recurre** a reforzar las propiedades **anticorrosivas**

del recubrimiento por medio de impregnaciones con **productos** diversos como aceites, tales como: SAE 30, SAE 40, Silicona, Oliva, etc. La **manera** en que en **este** trabajo se va a llevar a **cabo** con **respecto** a la **evaluación** de la resistencia a la **corrosión**, se lo **hará más explícito** en adelante, pero básicamente se construirán una serie de tres grupos de **gráficos** donde veremos en **cada** uno de **ellos** mucha **información**, por ejemplo sabremos **cómo** **progresó** la **corrosión** para cada temperatura de pavonado, **que** **para** nuestro **caso** se trabajó en valores de temperatura de 400, 450, 500 y 550 grados centígrados, **además** **veremos** cuál temperatura nos **sirvió** mejor **para** el **proceso**, y qué tipo de tratamiento **posterior** al pavonado, **para** nuestro **caso** fueron básicamente tres: **impregnación** posterior en aceite SAE 30, **secada** al ambiente, o templada en agua.

1.2 CAMARA DE NIEBLA SALINA, USO Y NORMA ASTM.

Dentro de los ensayos de **corrosión** tenemos uno muy importante que **corresponde** a las **pruebas** de **pulverización** salina, o **también** llamados, "**pulverización** (niebla) **salina**", esta prueba **está** proyectada **para** **metales** **férreos** o no **férreos**, con o sin revestimiento **orgánico**.

El método de rociado salino fue inventado en 1939 y registrado bajo la designación B117 en el manual de las normas ASTM; es el método más utilizado para evaluar recubrimientos.

Este método consiste en someter la muestra que se quiere evaluar a la exposición de un rociado aire - agua salada (controlado), a fin de simular una atmósfera marina, que es para lo que fue creada, debido a que en las regiones marinas, se tienen características especiales de agresividad por la acción de la humedad asociada al alto grado de cloruro de sodio que abunda en esta atmósfera.

Sin embargo es preciso indicar que la pulverización intermitente da mejores resultados que la pulverización continua, por cuanto se aproxima más a las condiciones marinas costeras. La cámara de niebla salina utilizada para la evaluación de la resistencia a la corrosión de las probetas pavonadas, se encuentra en el laboratorio de "Metalurgia" de la ESPOL, esta cámara fue construida por la Ing. Ana María Paredes Desiderio, donde en su proyecto de grado "Resistencia a la corrosión en superficies protegidas por pinturas marinas en la atmósfera controlada", se puede encontrar más información complementaria respecto a este tema; podemos observar la cámara de niebla salina en la figura 1.3. Es importante saber la manera en que

hay que operar esta cámara, debido a ello se explicará la técnica de operación a continuación.

OPERACION

- a) Llenar el reservorio que se encuentra en el interior con una solución de NaCl al 3 %.
- b) Llenar el humidificador con agua destilada hasta el nivel indicado.

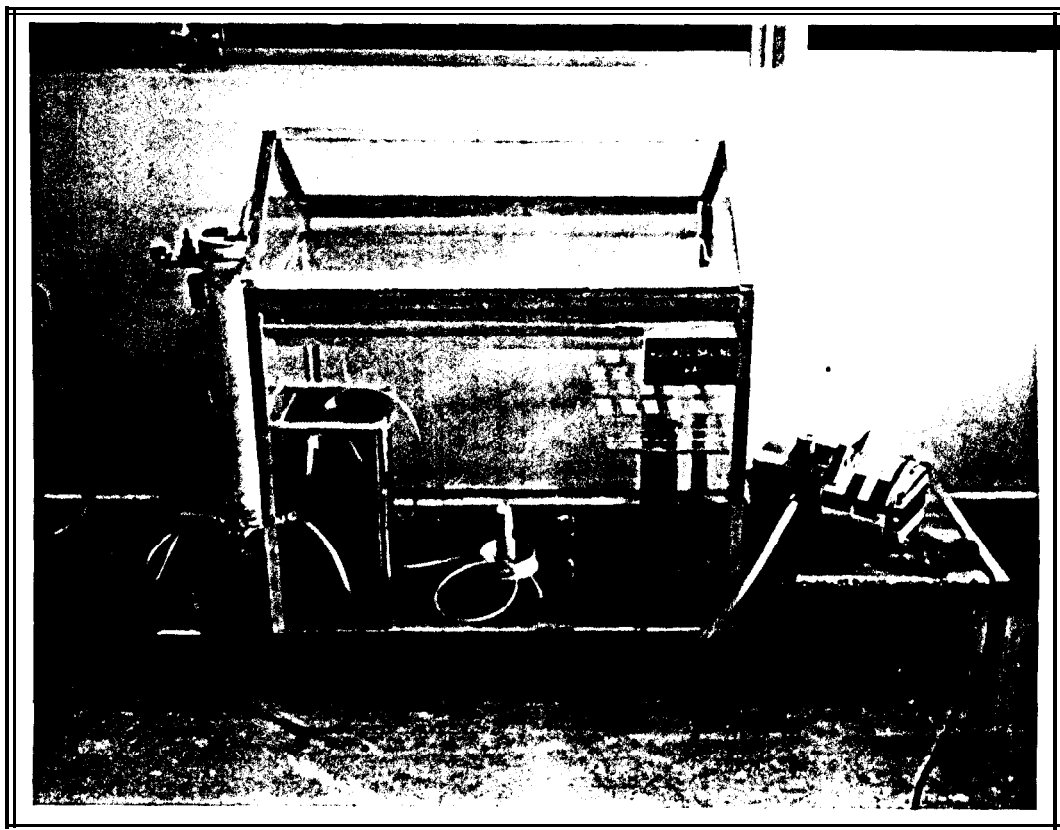


FIGURA 1.3 CAMARA DE NIEBLA SALINA.

- c) Verificar que la llave de paso esté en posición cerrada, y la válvula del manómetro completamente

abierta.

- d) Verificar que la boquilla de **atomización** esté en **posición** requerida.
- e) Conectar el enchufe al suministro de **energía eléctrica** (110 V), y simultáneamente abrir el **paso del aire** presurizado al sistema.
- f) Activar la resistencia **del** humidificador.
- g) Esperar un tiempo de 5 **minutos**, hasta que la resistencia adquiera la temperatura necesaria **para proceder** a ensayar.
- h) Activar el **compresor**, abrir la **llave de paso**, para de esta forma pulverizar el agua **salada** y obtener el efecto de rociado **salino.(s)**

En la **figura 1.4**, podemos observar la **cámara** en **pleno** funcionamiento, otra **cosa** importante **para** el uso de esta **cámara** es la **calibración** y puesta en **punto** que es el tema a **continuación**.

CALIBRACION Y PUESTA EN PUNTO

Aquí veremos los **parámetros** que se **deben** controlar, que **permitirán** conseguir el **éxito** o el **fracaso** de la **experimentación**, esta **calibración** hay que efectuarla en dos partes:



- a) Se regula la temperatura a la que **deberá estar** el termostato, **esto s e** lo consigue posicionando la perilla a 45° C.
- b) Realizar una inspección visual, que **el diámetro** de la5 **partículas atomizadas** que **inciden** sobre las **probetas** sea menor que 1 mm.

TABLA VII

VARIABLES MEDIDAS EN EL CICLO EXPERIMENTAL

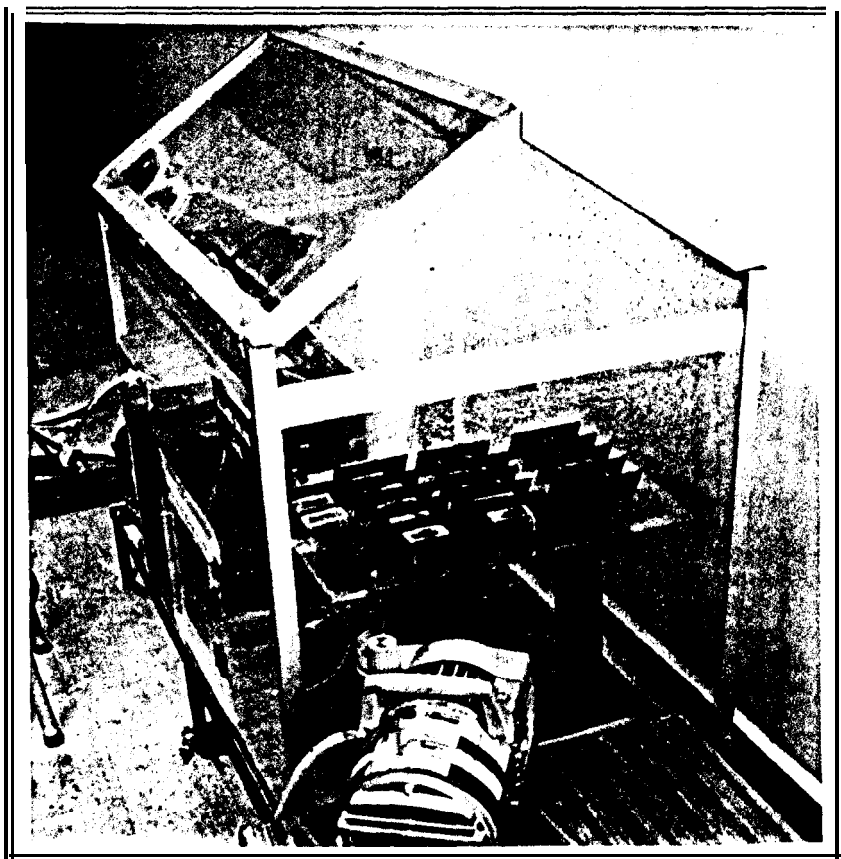
VARIABLES	
TEMPERATURA DE OPERACION	35° C
TEMPERATURA EXTERIOR	27° C
HUMEDAD RELATIVA INTERIOR	80 %
pH	7
TIPO DE SOLUCION	NaCl(3%)

- c) Otra **cosa** importante es la **posición** que las **probetas** vayan a tener en **el** interior de la **cámara** durante la **exposición**, el portaprobetas es especialmente construido **para** que **éstas**, **se** encuentren a 15 y 30 grados con **respecto** a la vertical, **además** las muestras no **deben** de estar en contacto unas con **otras**, **ni** con material **metálico** alguno.

Luego de seguir estos **pasos** correctamente, las pruebas **serán** correctas.

INSPECCION VISUAL

Como se puede **observar**, este ensayo de **corrosión** acelerado nos van a dar resultados que van a depender mucho de la **apreciación** individual de **cada** persona que realiza el ensayo.



BIBLIOTECA

FIGURA 1.4 CAMARA DE NIEBLA SALINA EN FUNCIONAMIENTO

Además para el caso de este proyecto, donde hablamos de pavonado, queda a **criterio** de la persona el **número**

de horas que van a **ser** expuestas las probetas a la niebla salina, **para** nuestro **caso** fueron de 1, 2, 3, 4, y 5 horas de **exposición**, **cada** hora **se** sacaban las **probetas** de la **cámara** y se realizaba la **respectiva**

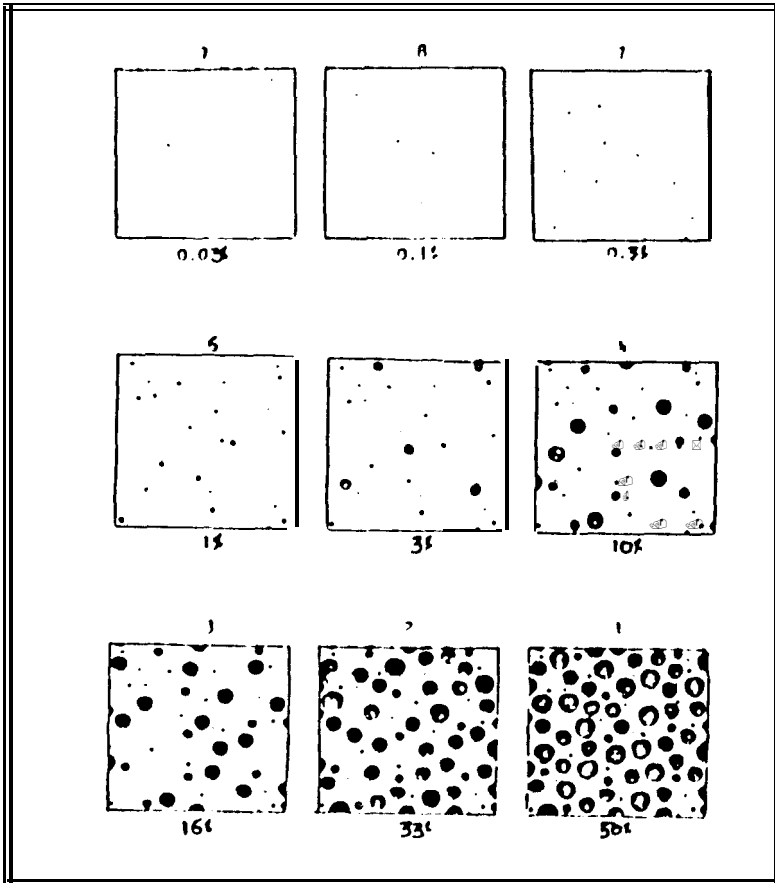


FIGURA 1.5 RANGOS DE PORCENTAJE DE SUPERFICIE CORROIDA. (7)

inspección visual utilizando la **norma** ASTM D 610, la **misma** que se la puede observar en la figura 1.5.

Una vez realizadas las pruebas de **corrosión** con las **probetas** pavonadas en la **cámara** de niebla salina, se procedió a tabular los **valores**, que más adelante

podremos observar en el capítulo II, sección 2.3.

1.3 ANALISIS QUIMICO DEL BANO DE PAVONADO.

Es importante saber lo que ocurre en la superficie de la pieza sometida al **proceso**. En lo que se refiere a **los** químicos utilizados aún **se** encuentra en estudio en muchos **países**, refiriéndonos **básicamente** a la combinación de soda caustica, con nitrato de **potasio**; en tal **caso** el punto importante que es de nuestro **interés** es un **diagrama** binario **del sistema** hierro - oxígeno, donde se pueden apreciar **los** tres **tipos** de **óxidos** que **se** forman. Sabemos sobre la estabilidad de **los** óxidos de aluminio y **romo** al quedar **estos** metales expuestos a la **atmósfera**.

El hierro, en **estas** condiciones, **se** recubre de una **capa** esponjosa de color rojizo **ocre**, de óxido **férrico** (Fe_2O_3), de nulo valor protector. **No** obstante, cuando esta **capa** de óxido ferroso - **férrico** (**magnetita**), aparece de **color** negro, **oscuro**, muy impermeable a **los** reactivos **gaseosos**, opaca y adherente.

En realidad en la **oxidación** a elevada temperatura **del** hierro en la **atmósfera** se **forman** tres **capas** de otros tantos **óxidos** de hierro, como podemos observar en la figura 1.6. Para que la **oxidación** genere con preferencia el óxido ferroso **férrico**, el **óxido** más



protector, se deben aplicar procedimientos especiales.

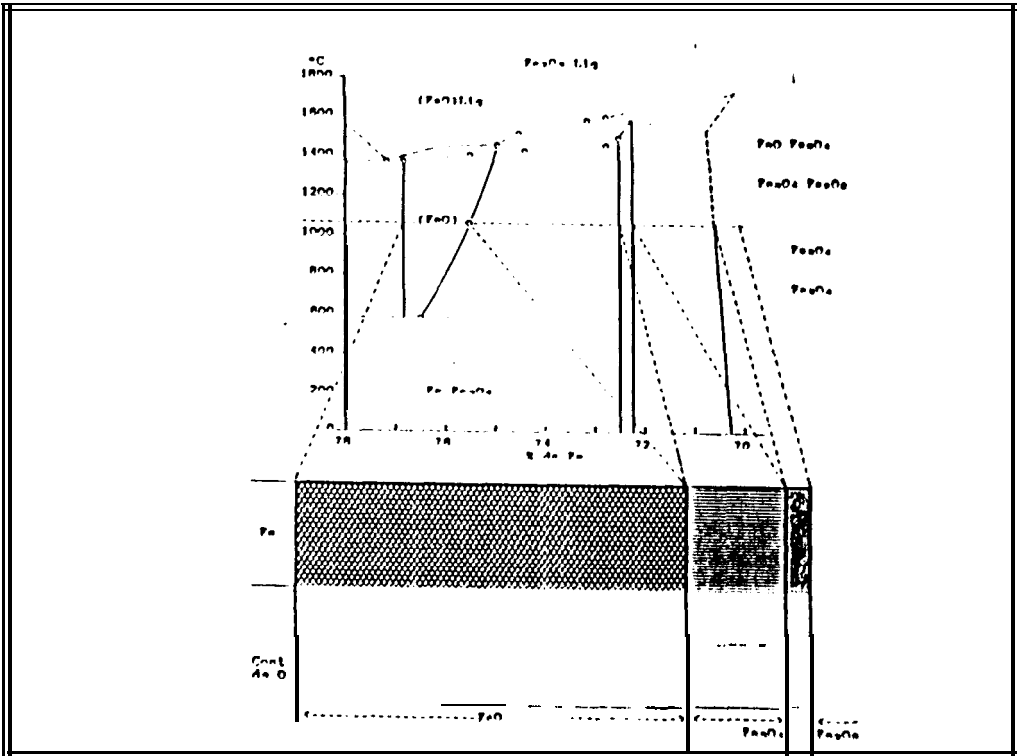


FIGURA 1.6 DIAGRAMA BINARIO DEL SISTEMA HIERRO OXIGENO, DONDE SE APRECIAN LOS TRES TIPOS DE OXIDOS FORMADOS.

Estos procesos especiales de recubrimiento son por ejemplo el caso del pavonado, que como se mencionó anteriormente, sirve para producir un recubrimiento de óxido al calentar la pieza de acero en un baño básico de sales fundidas. La capa de óxido es negra, oscilando su aspecto desde el opaco lustroso, según el previo acabado superficial del acero.

1.4 USOS Y APLICACIONES INDUSTRIALES.

Es importante reconocer la importancia del proceso, no sólo desde el punto de vista económico, sino además desde el punto de vista de desarrollarse en este campo, especialmente en nuestro país el Ecuador, y más que nada en estos momentos que vamos a entrar en una zona de libre comercio, donde se va a tener una gran competencia con los países del área andina, es indispensable tener productos y procesos de manufactura de calidad.

Es importante saber además que la corrosión está produciendo grandes pérdidas materiales, y algunos fallos por corrosión. También son los causantes de pérdidas de vidas humanas, es por esto que es también importante no sólo este proceso de pavonado, sino también otros que van a ayudar en cierta medida la violencia del fenómeno de la corrosión.

Actualmente la técnica del pavonado se limita a tres aplicaciones industriales: (1) (2)

a) Protección de piezas de acero obtenidas pulvimetalúrgicamente. Este procedimiento de conformación metálica implica existencia de porosidad residual y las técnicas convencionales de recubrimientos metálicos realizados en disoluciones y sales fundidas no son aptos para este tipo de piezas, pues se introducen en los poros y después

ocasionan problemas internos de **corrosión**. Por este motivo **el** acero **pulvimetalúrgico** se pavona en fase de vapor.

- b) Acabado de piezas de acero **rápido**. La **capa** de magnetita aumenta la vida de estas piezas.
- c) Acabado **decorativo** de piezas **de artesanía**, de reconocido prestigio **internacional**.
- d) **Además**, debido a que con **ciertas variaciones del proceso** se pueden conseguir coloraciones, **se** pueden **hacer** infinidad de objetos decorativos **para** el hogar como: **lámparas, marcos de cuadros**, de ventanas, **camas**, y en otro campo por ejemplo se pueden pavonar engranajes, clavos, paletas, tubos etc.

CAPITULO II



EXPERIMENTACION - EQUIPO UTILIZADO

BIBLIOTECA

2.1 PREPARACION DE LAS PROBETAS DE ENSAYO

Teniendo en cuenta que **los** recubrimientos de **los metales** se basan en la adherencia con el sustrato, sea por union física, sea por **reacción** superficial, **se** comprende **fácilmente** que cualquier material presente en la superficie del metal a recubrir **tendrá** influencia en el **proceso**.

La existencia de materiales **extraños** diseminados **sobre** la superficie ocasionará **defectos** en el recubrimiento, no **sólo** en el tocante a la adherencia, **resistencia** a la **corrosión** o **continuidad** del recubrimiento, **sino** **también** en los efectos de acabado **estético**.

Las impurezas **sólidas** pueden provenir de etapas anteriores a la **del** recubrimiento: **fabricación**, **almacenado**, **empleo**, etc. En cualquier **caso** la **elección** de procedimiento **más** adecuado **para su eliminación se**

basará en el conocimiento de las impurezas **que** pueden presentarse. Teniendo en cuenta la **composición** química, las impurezas pueden clasificarse en:

- **orgánicas**
- inorgánicas

Dentro de este **apartado** incluiremos las de **tipo metálico**, tales como residuos de operaciones anteriores: trefilado, laminado, mecanizado, **etc.(1)**

Las impurezas de tipo **orgánico** pueden aparecer como residuos de **los** lubricantes empleados en las operaciones de conformado **y** tratamiento **térmico**, humectantes, pinturas, barnices, etc.

Las inorgánicas **estarán** conformadas por **óxidos**, **hidróxidos** y carburos **formados** en **los** tratamientos mecánicos y **térmicos**. También **los** procesos de corrosión **contribuirán** a producirlos. En este **apartado** incluiremos restos de abrasivos, a base de alumina o carburo de silicio; restos de **lubricantes inorgánicos**, como disulfuro de molibdeno y otros.

Es importante conocer esto, debido a que el material antes de **ser** pavonado, debe de realizarse una adecuada **preparación** superficial, dependiendo de esta **preparación**, tendremos **que las** piezas pavonadas soportarán de **diversas maneras** el fenómeno de la

corrosión. La preparación superficial de las probetas de ensayo para este proyecto se las preparó de la manera más óptima como se puede observar en la figura 2.1.

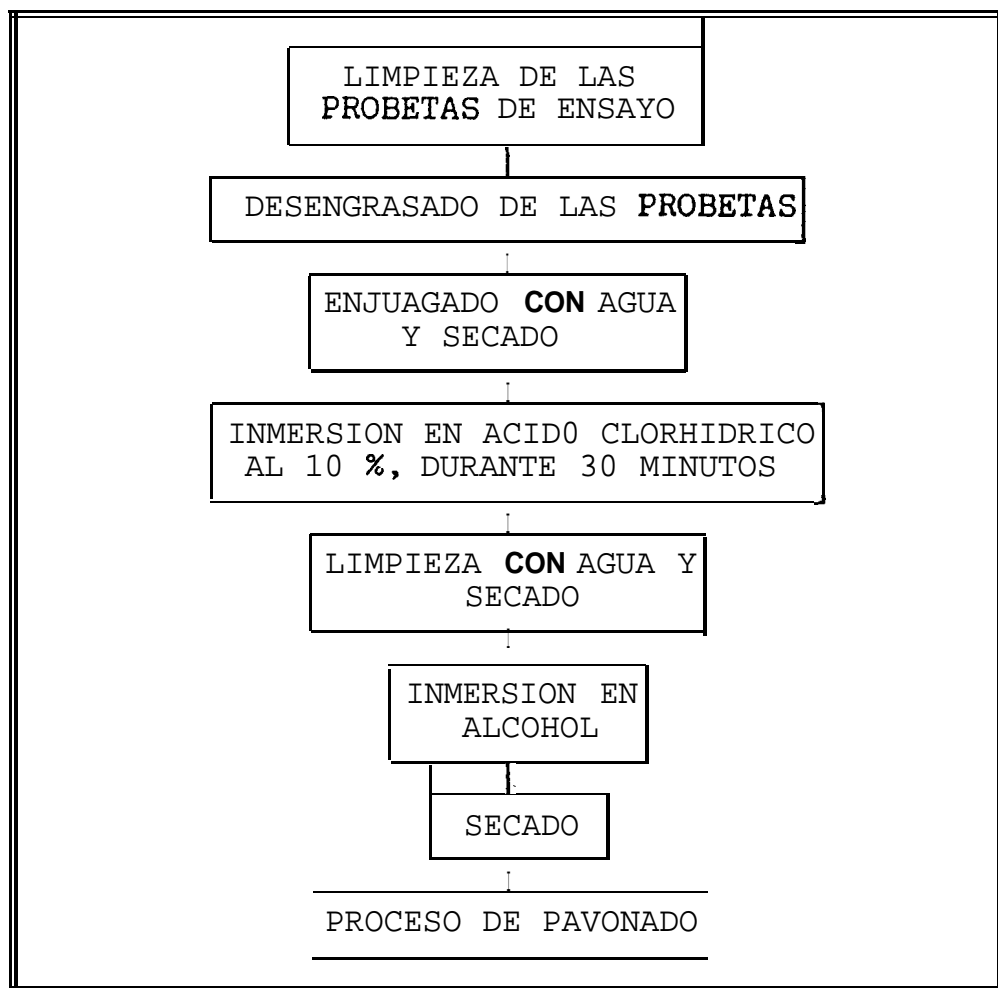


FIGURA 2.1 PREPARACION DE LAS PROBETAS DE ENSAYO

Hablando ya de la metodología a emplearse se la va a describir a continuación:

- a) Limpiar las probetas cuidadosamente con agua y detergente y un cepillo con cerdas de plástico,

posteriormente con un **pañ**o suave; **ésta** corresponde a la **operación** de desengrasado, donde se **saca** la grasa que se encuentra en la **probeta**, inclusive hay que utilizar guantes de **plástico**, **para** no impregnar la grasa de **los** dedos en la **probeta**.

- b) Posteriormente **deben** de ser enjuagadas con agua limpia **y** secarlas.
- c) Colocamos las **probetas** en una **solución** de Bcido clorhidrico al 10 %, durante un tiempo de 30 minutos; esto depende de la **concentración del** Bcido, en tal **caso** visualmente debemos de observar **qué** tan limpias van quedando las **probetas** a medida que pasa el tiempo, inclusive si se las **mueve** dentro **del** Bcido, el decapado **será más** veloz; esta **operación** es la que se denomina decapado,
- d) Posteriormente se las **saca del** Bcido, y se las enjuaga en agua limpia **para** luego **secarlas**.
- e) **Para** evitar **oxidación** ante⁸ del **proceso** de pavonado, podemos sumergir las **probetas** en alcohol, luego secarlas y llevarlas al crisol.

Como podemos ver, **aquí está** descrita la metodología que se usó en este proyecto **para** limpiar las probetas, **pero** es importante saber que **existen** muy variadas **maneras** de preparar las **probetas** superficialmente

antes de cualquier proceso, en el caso del desengrasado existe la "pirogeneración", mediante llama directa sobre la superficie, o inmersión directa en un baño de metal fundido, el proceso Sendzimir etc., o mediante "Disolventes orgánicos", "Medios alcalinos".(1)

Luego en el caso del decapado hay muchas otras maneras, esto puede ser consultado en la Tesis de Grado titulada "Galvanización, preparación de superficies".

El método de limpieza que se usó en este trabajo fue el mencionado anteriormente y que se observa claramente en la figura 2.1, y que nos dio muy buenos resultados.(8)

2.2 PROCESO DE PAVONADO.

Para la realización del proceso, es importante conocer el equipo necesario, y además saber qué tipo de precauciones necesarias hay que tomar, para de esta manera evitar cualquier tipo de accidente; a continuación tenemos una nómina del equipo utilizado:

EQUIPO UTILIZADO

a) 4 recipientes de plástico para contener:

- Agua
 - Agua + detergente
 - Acido clorhídrico
 - Alcohol
- b) 130 probetas de ensayo de 10 x 5 x 0.2 cm. de hierro.
- c) Medidor digital de temperatura.
- d) Termocupla tipo K.
- e) Crisol de hierro.
- f) Horno, capaz de alcanzar hasta 1000° C.
- g) Alambre para soportar las probetas durante el proceso.
- h) 2 galones de ácido clorhídrico al 10 %.
- i) 1 galón de alcohol.
- j) 30 Kg. de soda cáustica.
- k) 10 Kg. de nitrato de potasio.
- l) 1 galón de aceite SAE 30.
- m) Papel filtro.
- n) Guantes térmicos y de plástico.
- ñ) Gafas protectoras.



BIBLIOTECA

o) **Mangas** largas, o mandil.

Una vez se tuvo todo este equipo, se procedió a pavonar siguiendo el siguiente procedimiento:

PROCEDIMIENTO

El procedimiento que se empleó para pavonar fue en grupos de 5 probetas, donde cada 5 probetas fueron cuidadosamente limpiadas como se explicó en la sección 2.1.

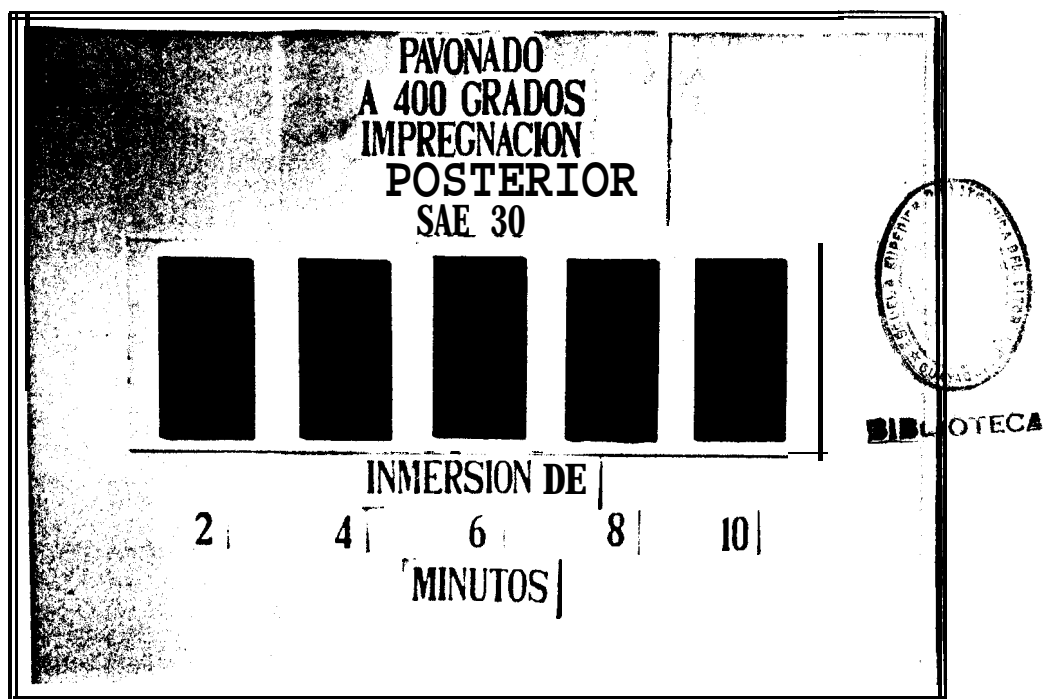


FIGURA 2.2 PAVONADO IMPREGNACION POSTERIOR SAE 30

a) Una vez tenemos las probetas preparadas y las sales fundidas en el crisol, concretamente soda cáustica - nitrato de potasio (3/1), introducimos

cuidadosamente 5 probetas, estando el horno a 400 grados centígrados.

b) Al cabo de los dos primeros minutos, se saca 1 probeta, luego se mete a los 4, 6, 8 y 10 minutos.

c) El primer grupo de cinco probetas, luego del baño de sales fundidas se templaron en agua, al otro grupo se lo dejó enfriar al ambiente, y al otro grupo se lo sumergió en aceite SAE 30 caliente no más de 100° C, como impregnación posterior después del proceso de pavón.

d) Una vez tenemos las 15 probetas, en tres grupos de cinco, volvemos a repetir el proceso para tener dos resultados.

e) Luego repetimos el paso a, pero ahora a 450° C, luego a 500° c, y finalmente a 5500 c.

PRECAUCION.- Hay que tener mucho cuidado al introducir las probetas debido a que la solución tiende a salpicar, hay que trabajar muy protegido.

Podemos observar la figura 2.2, 2.3, y 2.4 donde se observa grupos de 5 probetas, concretamente en la figura 2.2 tenemos probetas pavonadas con impregnación posterior en SAE 30 y se puede observar los diferentes tiempos de inmersión, mientras que en la figura 2.3, se pueden ver las cinco probetas

pavonadas con el templado posterior en agua y en la

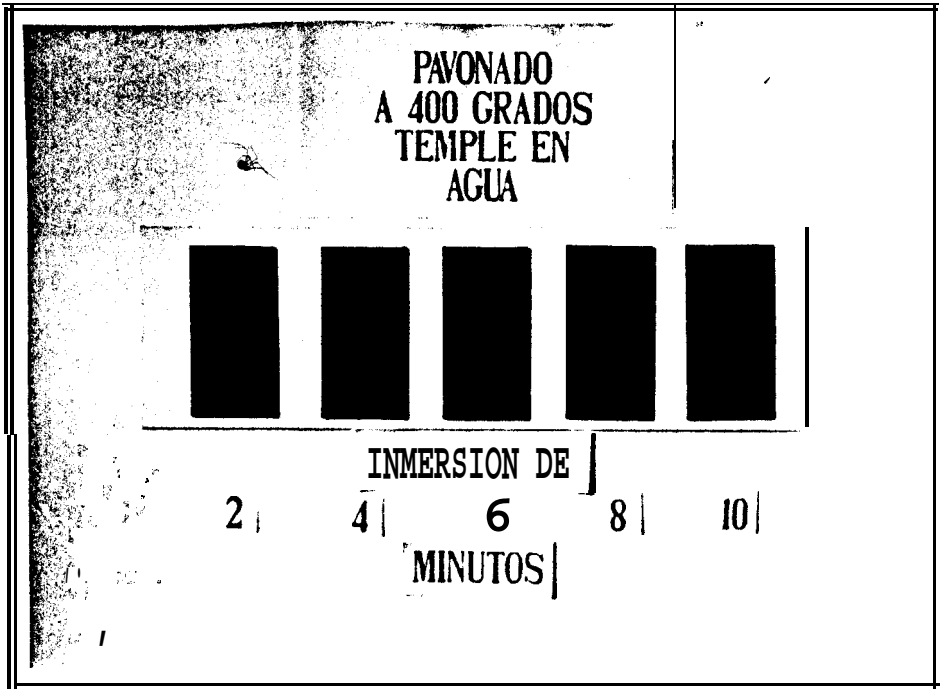


FIGURA 2.3 PAVONADO CON TEMPLADO POSTERIOR EN AGUA

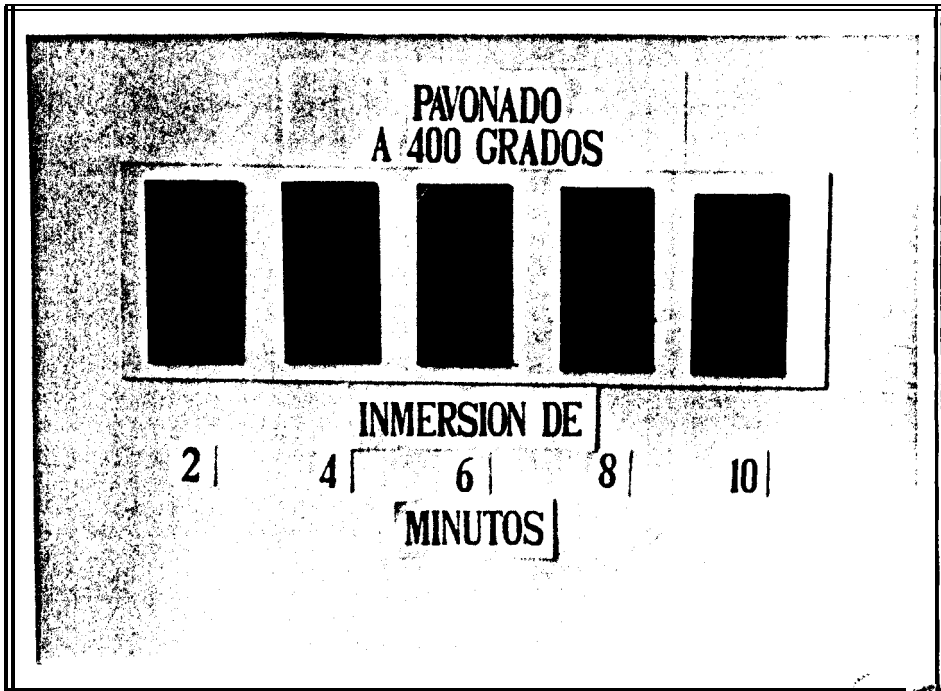


FIGURA 2.4 PAVONADO ENFRIADAS AL AMBIENTE



figura 2.4, **las probetas** pavonadas, enfriadas al ambiente. Aparentemente **las probetas** en las **figuras** lucen iguales, pero sin embargo no ocurre eso, las **impregnadas** posteriormente en aceite tienen un mejor brillo, pero ~~en~~ la prueba de niebla salina, no daremos cuenta **cuáles** mejor van a **soportar** la resistencia a la **corrosión**.

2.3 EVALUACION DE LA RESISTENCIA A **LA** CORROSION MEDIANTE EL **USO** DE LA CAMARA DE NIEBLA SALINA. (ENSAYO RAPIDO DE RESISTENCIA A LA CORROSION)

La forma en que se **realizó** la **evaluación** de la resistencia a la corrosion en la **cámara** de niebla salina **está** explícita en el capítulo I, **sección** 1.2, en base a esto **se** elaboraron 4 tablas que corresponden al porcentaje de **superficie** corroída **para las probetas** que se pavonaron a distintas **temperaturas**, y tratamiento posterior al pavonado.

En las tablas VIII, IX, X, XI, se presentan **los** resultados correspondientes a **las pruebas** en la **cámara** de niebla salina durante 1 hora de pruebas, 2, 3, 4 y **cinco** horas.

Se **llegó hasta** 5 horas debido a que fue un tiempo suficiente **para** efectuar la **evaluación**.

TABLA VIII
PAVONADO A 400° C - INMERSION EN KN03 - NaOH (3/1)

PORCENTAJE DE SUPERFICIE CORROIDA

TEMPLADAS EN AGUA

TIEMPO DE INMERSION (min)	HORAS EN NIEBLA SALINA				
	1	2	3	4	5
2	35%	45%	55%	70%	80%
4	30%	40%	50%	65%	70%
6	23%	35%	45%	60%	65%
8	20%	28%	40%	55%	60%
10	10%	20%	27%	50%	60%

SECADAS AL AMBIENTE

TIEMPO DE INMERSION (min)	HORAS EN NIEBLA SALINA				
	1	2	3	4	5
2	20%	22%	35%	50%	55%
4	20%	22%	28%	45%	50%
6	15%	18%	25%	40%	45%
8	10%	15%	25%	40%	42%
10	10%	15%	20%	30%	35%

IMPREGNACION POSTERIOR ACEITE SAE 30

TIEMPO DE INMERSION (min)	HORAS EN NIEBLA SALINA				
	1	2	3	4	5
2	13%	20%	25%	35%	50%
4	10%	12%	20%	30%	40%
6	5 %	10%	18%	20%	35%
8	3 %	9 %	10%	15%	25%
10	1 %	6 %	8 %	10%	16%

TABLA IX
PAVONADO A 450° C - INMERSION EN KNO₃ - NaOH (3/1)

PORCENTAJE DE SUPERFICIE CORROIDA					
TEMPLADAS EN AGUA					
TIEMPO DE INMERSION (min)	HORAS EN NIEBLA SALINA				
	1	2	3	4	5
2	10%	20%	30%	40%	50%
4	14%	16%	33%	35%	40%
6	7 %	10%	20%	30%	42%
8	5 %	7 %	15%	25%	35%
10	3 %	5 %	10%	16%	25%
SECADAS AL AMBIENTE					
TIEMPO DE INMERSION (min)	HORAS EN NIEBLA SALINA				
	1	2	3	4	5
2	3 %	5 %	18%	25%	26%
4	2 %	3 %	16%	20%	22%
6	1 %	2 %	10%	16%	20%
8	-	1 %	5 %	10%	15%
10	-	1 %	3 %	8 %	10%
IMPREGNACION POSTERIOR ACRITE SAE 30					
TIEMPO DE INMERSION (min)	HORAS EN NIEBLA SALINA				
	1	2	3	4	5
2	5 %	8 %	16%	20%	28%
4	3 %	5 %	15%	18%	20%
6	2 %	3 %	10%	13%	15%
8	1 %	2 %	15%	18%	20%
10	-	1 %	8 %	9 %	12%

TABLA X
PAVONADO A 500° C - INMERSION EN KNO₃ - NaOH(3/1)

PORCENTAJE DE SUPERFICIE CORROIDA

TEMPLADAS EN AGUA

TIEMPO DE INMERSION (min)	HORAS EN NIEBLA SALINA				
	1	2	3	4	5
2	3 %	8 %	10%	30%	40%
4	1 %	5 %	8 %	25%	29%
6	-	3 %	6 %	20%	33%
8	-	3 %	5 %	10%	15%
10	-	2 %	3 %	12%	15%

SECADAS AL AMBIENTE

TIEMPO DE INMERSION (min)	HORAS EN NIEBLA SALINA				
	1	2	3	4	5
2	0.3 %	1 %	5 %	13%	20%
4	-	0.1 %	2 %	10%	15%
6	-	-	1 %	5 %	10%
8	-	-	-	3 %	5 %
10	-	-	-	2 %	3 %

IMPREGNACION POSTERIOR ACEITE SAE 30

TIEMPO DE INMERSION (min)	HORAS EN NIEBLA SALINA				
	1	2	3	4	5
2	0.1 %	1 %	3 %	10%	13%
4	-	-	1 %	2 %	5 %
6	-	-	-	-	2 %
8	-	-	-	3 %	5 %
10	-	-	-	1 %	2 %

TABLA XI
PAVONADO A 550° C - INMERSION EN KNO₃ - NaOH (3/1)

PORCENTAJE DE SUPERFICIE CORROIDA

TEMPLADAS EN AGUA

TIEMPO DE INMERSION (min)	HORAS EN NIEBLA SALINA				
	1	2	3	4	5
2	3 %	5 %	16%	30%	45%
4	1 %	3 %	10%	16%	20%
6	-	1 %	3 %	10%	15%
8	-	-	1 %	5 %	8 %
10	-	-	1 %	2 %	2 %

SECADAS AL AMBIENTE

TIEMPO DE INMERSION (min)	HORAS EN NIEBLA SALINA				
	1	2	3	4	5
2	-	3 %	10%	13%	25%
4	-	1 %	5 %	10%	15%
6	-	-	3 %	7 %	10%
8	-	-	1 %	4 %	7 %
10	-	-	1 %	2 %	3 %

IMPREGNACION POSTERIOR ACEITE SAE 30

TIEMPO DE INMERSION (min)	HORAS EN NIEBLA SALINA				
	1	2	3	4	5
2	-	1 %	10%	16%	30%
4	-	-	1 %	6 %	10%
6	-	-	-	3 %	5 %
8	-	-	-	2 %	3 %
10	-	-	-	1 %	2 %

Las tablas VIII, IX, X, XI, nos muestran el porcentaje de corrosión de la superficie expuesta a la corrosión en la cámara de niebla salina; a continuación se muestra la figura 2.5, donde podemos apreciar un grupo de 15 probetas, las cuales fueron pavonadae a una

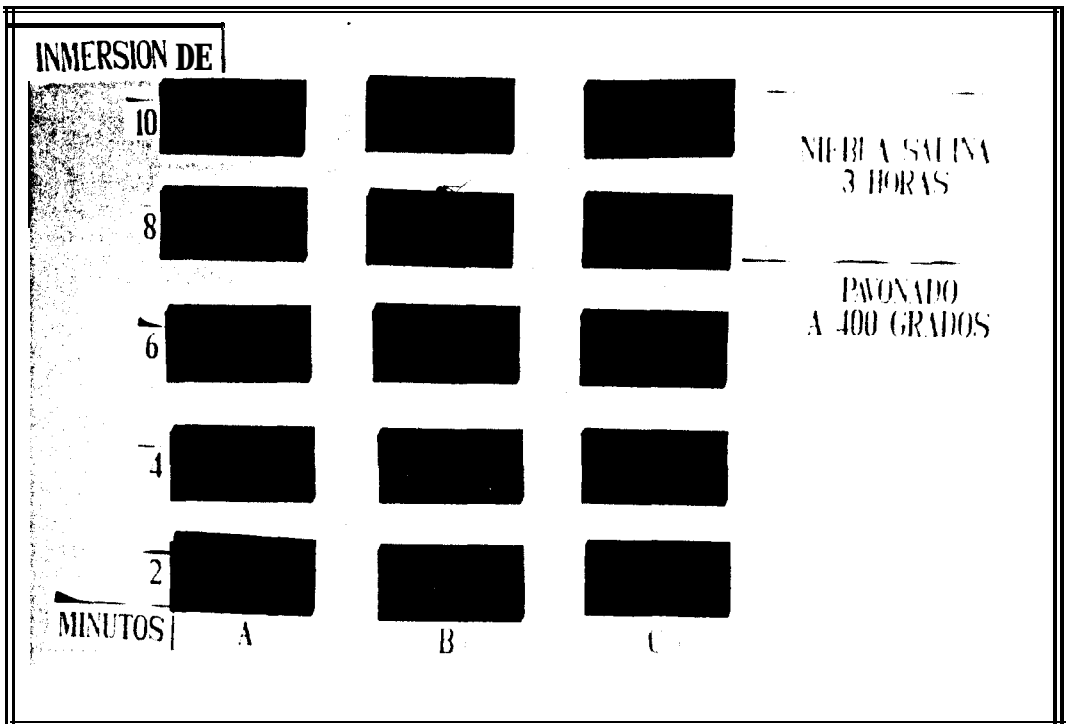


FIGURA 2.5 PROBETAS PAVONADAS A 400° C, SOMETIDAS A 3 HORAS DE NIEBLA SALINA.

temperatura de 400° C, podemos observar del costado izquierdo los minutos de inmersión, mientras que las probetas de la columna A, corresponden a las impregnadae posteriormente con aceite SAE 30, la columna B, son las probetas que fueron templadas en agua, y finalmente, las probetas de la columna C, son las que fueron enfriadas en el ambiente.

2.4 ESPESOR DE LA CAPA DE PAVONADO

Es importante el **análisis** de la **capa** de **pavón formada** en la superficie de la **probeta**; en lo que se refiere a **los** procedimientos **álcali cáustico - nitrato**, tenemos que **los** objetos de **acero** **que** fueron previamente **limpiados** superficialmente, se sumergen en la **solución** por un **lapso** de 30 minutos aproximadamente, de esta **manera** podemos conseguir **espesores** desde 0.0025 a 0.0051 cm.

El espesor de recubrimiento **crece** con la temperatura, y conjuntamente con ello la **resistencia** a la **corrosión**; esto se lo puede observar claramente en la figura 2.6, donde se pavonaron **probetas** de **acero dulce** a **diferentes** **tiempos** y temperaturas. Como podemos observar, la resistencia a la **corrosión** de **las** **probetas** pavonadas a 560° C, vuelve a disminuir, este **hecho** tiene **fácil explicación** debido a que a esta temperatura se inicia la **formación** de un **óxido** que es de **menor** eficacia protectora que la magnetita, estable **ésta** a temperaturas **más bajas.**(2)

2.5 CONTROL DE LA COMPOSICION DEL BANO DE PAVONADO

El control de la **composición del baño** de **pavón** **es** importante, debido a que **estos** **baños** son propensos a



PAVONADO en $\text{KN03} - \text{NaOH}$ (3/1)

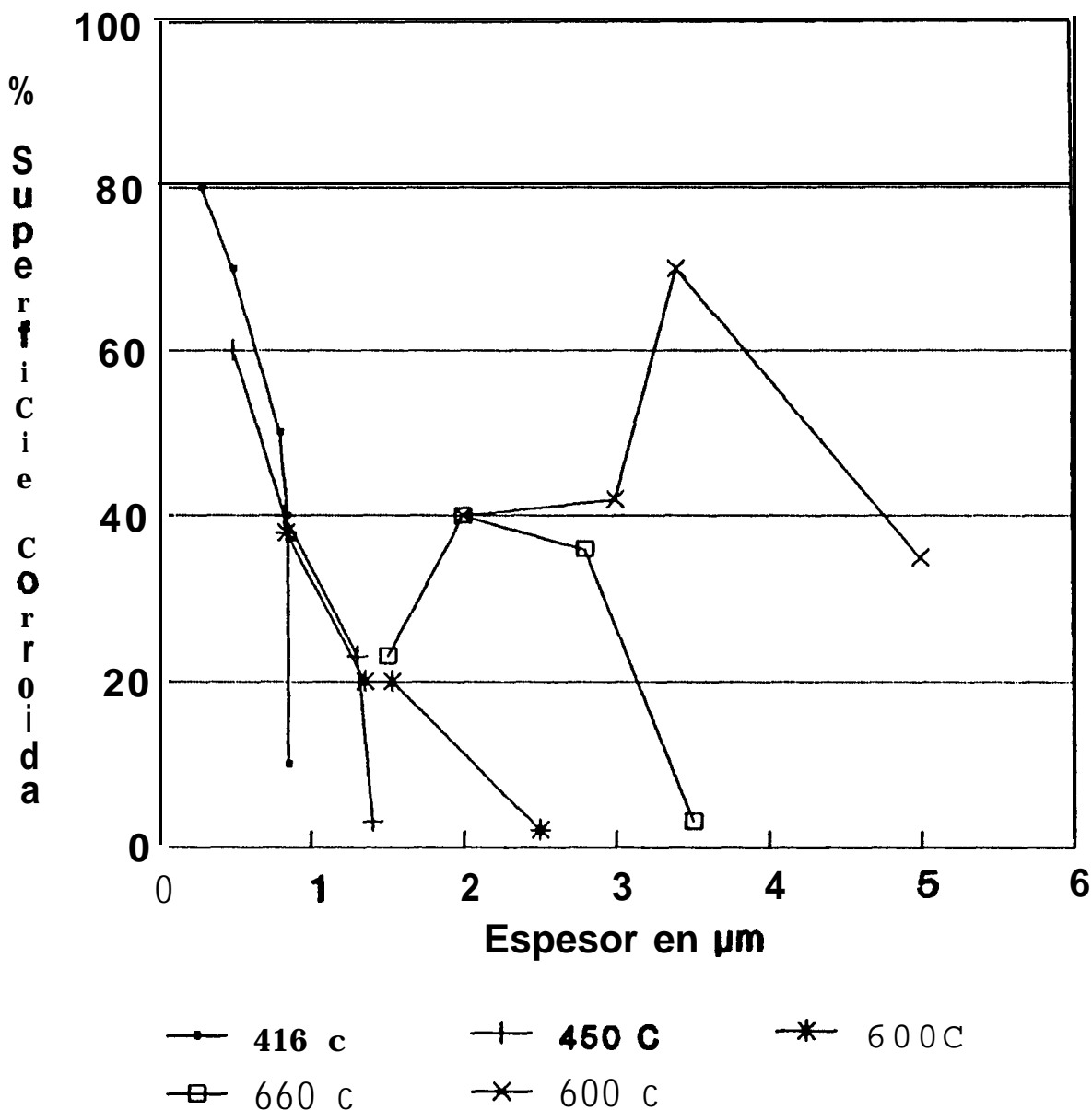


FIGURA 2.6 PROBETAS DE ACERO DULCE PAVONADAS A DIFERENTES TIEMPOS Y TEMPERATURAS (°C)

alterarse con el uso, debido a la acumulación de sales de hierro, retardándose de esta manera su acción.

Existen químicos que son capaces de reactivar la solución para que ésta alcance nuevamente la fuerza inicial que tenía para formar el óxido negro en la superficie del material, estos compuestos se denominan activadores y pueden seleccionarse del grupo de compuestos que forman complejos con las sales de hierro tales como "Cianuros, Tanatos, Tartratos".

En el caso del método "Jetal", transcurrido cierto tiempo de su empleo, se observa que el baño ha quedado de tal manera exhausto, es decir ya no se produce la coloración que se esperaba al máximo, pobre o muy débil, este estado se llega a conseguir cuando se debería haber tratado aproximadamente 280 dm². de superficie por cada 4.5 litros de solución.

Cuando el baño empieza a perder eficacia se añade 1/2 Kg de "Cianuro Sódico" por cada 100 Kg de baño, y si es necesario, sosa cáustica y algo más de nitrato para reemplazar las pérdidas por arrastre. Este tratamiento de regeneración se repite cuando sea necesario, requiriéndose una adición de 162 gramos de cianuro sódico por cada 10 mt². de metal tratado.

El cianuro sirve para eliminar el exceso de iones de hierro de la solución mediante la formación de

ferrocianuro sódico, $\text{Na}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$; el hierro desaparece de la solución al pasar al anión complejo. Las reacciones que ocurren están descritas en las ecuaciones (1) y (2), de la sección 1.1, correspondiente al capítulo I.

Otra cosa importante que hay que tener en cuenta es que, el crisol donde se va a trabajar inicialmente debe estar completamente limpio, debido a que si no lo está, éste al elevarse la temperatura y al estar en contacto con las sales fundidas, se va a limpiar, y las sales no van a servir, perderán completamente su eficacia.

Por la experiencia que se adquirió en este proyecto, sabemos que igualmente el primer y segundo baño, lo vamos a perder inicialmente debido a que debemos de pavonar al comienzo las paredes del crisol, debido a que es un área muy grande con respecto a las probetas, esto también se lo aplicará en un proceso a gran escala.

2.6 IMPREGNACIONES POSTERIORES AL PAVONADO

Debido a la porosidad de los óxidos de hierro que constituyen el recubrimiento, el acero ya pavonado admite una impregnación posterior con cuerpos orgánicos capaces de ser absorbidos por la película de

pavón. La acción protectora se debe a una obstrucción de los poros de la película de pavón.

Se han ya realizado experimentaciones con diferentes impregnaciones posteriores, concretamente unos 30 productos, quedando finalmente 3 productos importantes para la etapa posterior al pavonado. El producto impregnante en el caso de los aceites, se lleva a cabo mediante inmersión en caliente a una temperatura no mayor que los 100° C, durante un tiempo del orden del minuto, permitiendo de este modo la facilidad de penetración del aceite a través del recubrimiento.

Las probetas una vez fueron impregnadas en aceite, se las cuelga para que escurra el sobrante, y posteriormente se procede a secarlas. La manera en que se secaron las probetas en este proyecto fue con papel filtro, aunque en algunos talleres artesanos utilizan la miga de pan o serrín.(9)

Como se puede ver, la evaluación con muchas impregnaciones sería un trabajo sumamente extenso, por este motivo se realizó la experimentación con una de las impregnaciones más extensamente usadas en el proceso como es el aceite SAE 30.

Además, es importante saber que la manera en que se realizó el proceso para este tipo de impregnación, es igualmente aplicable para otra impregnación realizada

con aceite. A continuación se puede apreciar en la figura 2.7 las impregnaciones que se han realizado, y su duración frente a la corrosión. (FIGURA 2.7)(e)

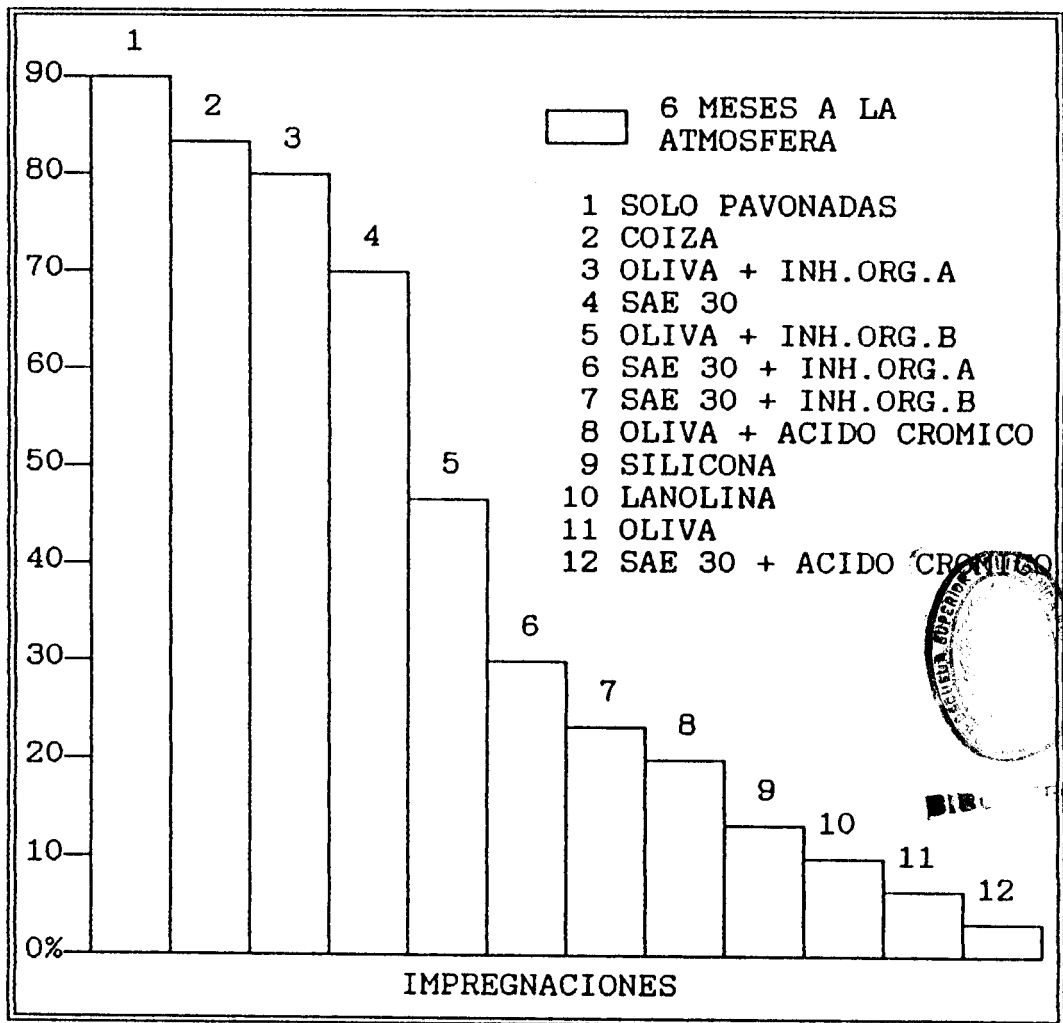
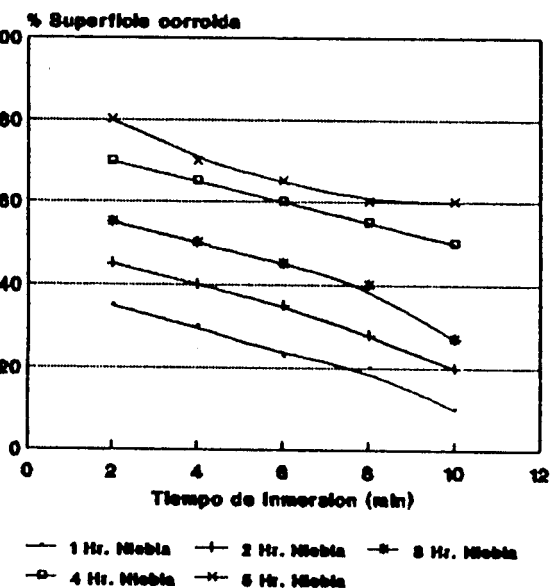


FIGURA 2.7 PROBETA DE ACERO DULCE DE SUPERFICIE LISA PAVONADAS A 500° C, DURANTE 5 MINUTOS.

2.7 RESULTADOS OBTENIDOS.

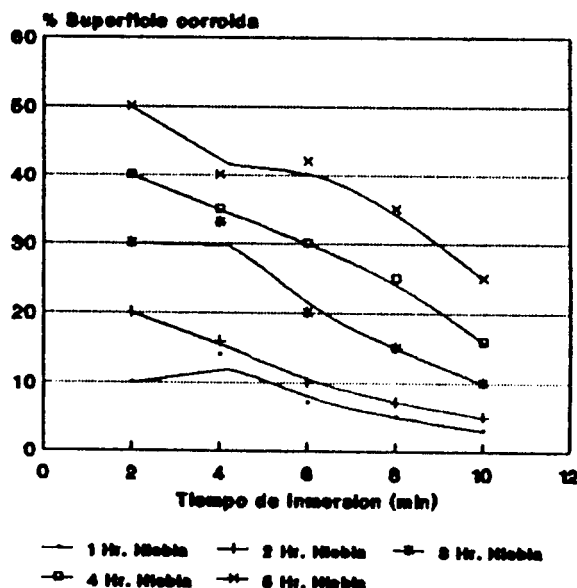
a) Los resultados obtenidos fueron muy buenos, se pavonaron las probetas como se esperaba de acuerdo al procedimiento, y se realizó la evaluación

Pavonado a 400 C en KNO₃ - NaOH (3/1)



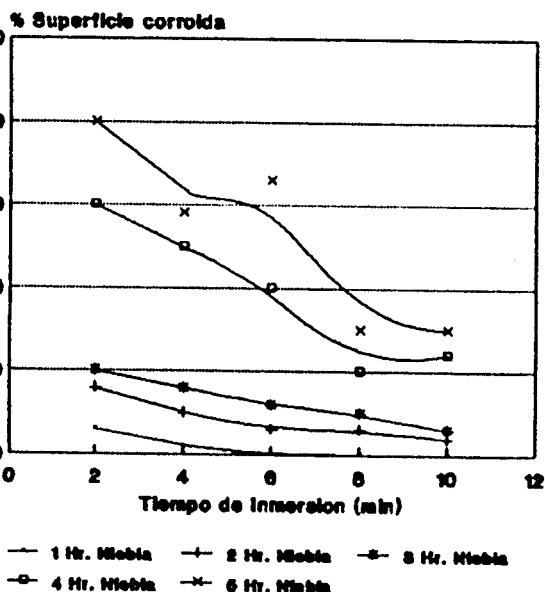
TEMPLADA EN AGUA

Pavonado a 450 C en KNO₃ - NaOH (3/1)



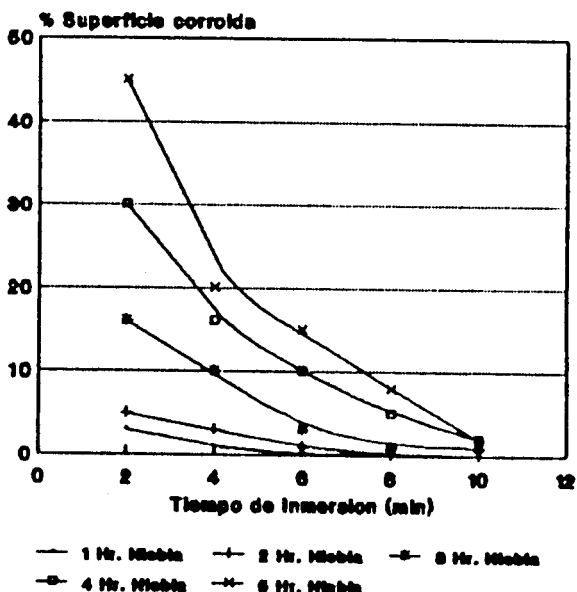
TEMPLADA EN AGUA

Pavonado a 500 C en KNO₃ - NaOH (3/1)



TEMPLADA EN AGUA

Pavonado a 550 C en KNO₃ - NaOH (3/1)

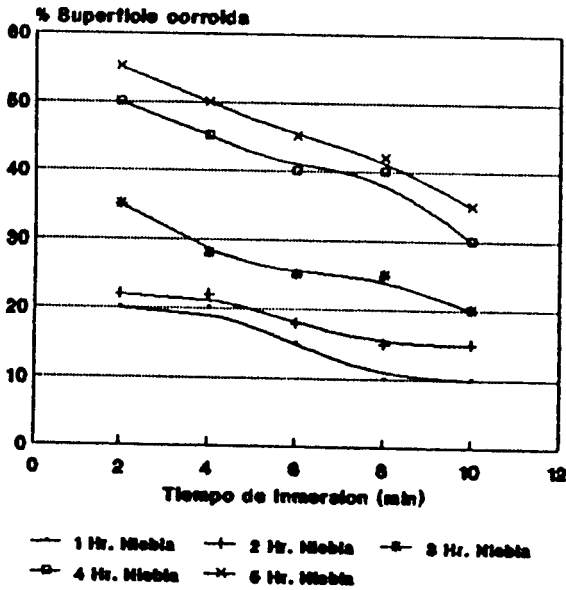


TEMPLADA EN AGUA

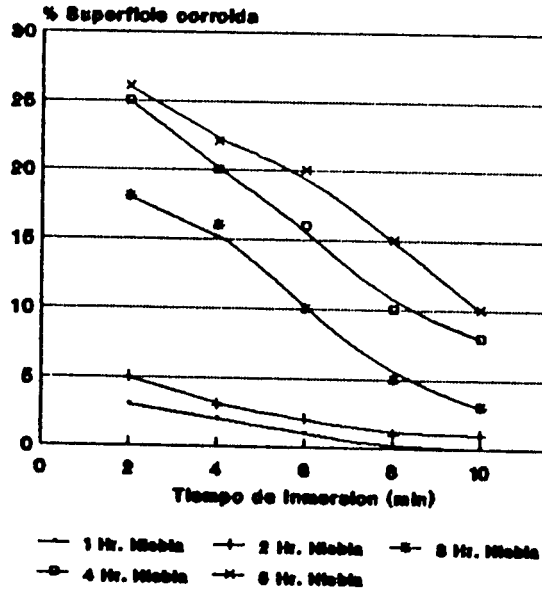
FIGURA 2.8 PRINCIPALES GRAFICOS
CORRESPONDIENTES AL APENDICE I



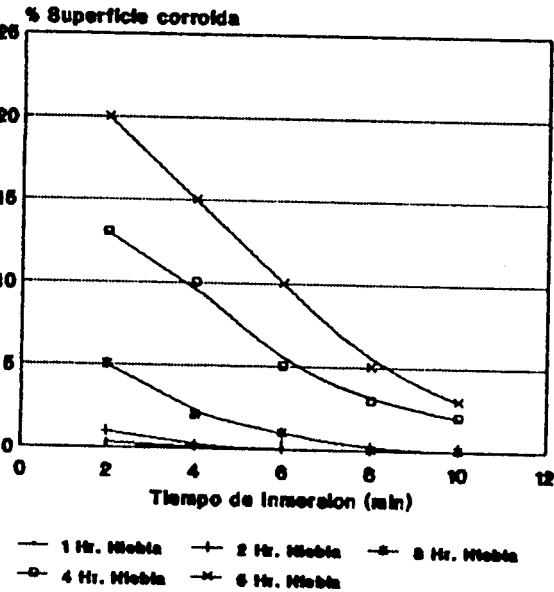
Pavonado a 400 C en KNO₃ - NaOH (3/1)



Pavonado a 450 C en KNO₃ - NaOH (3/1)



Pavonado a 500 C en KNO₃ - NaOH (3/1)



Pavonado a 550 C en KNO₃ - NaOH (3/1)

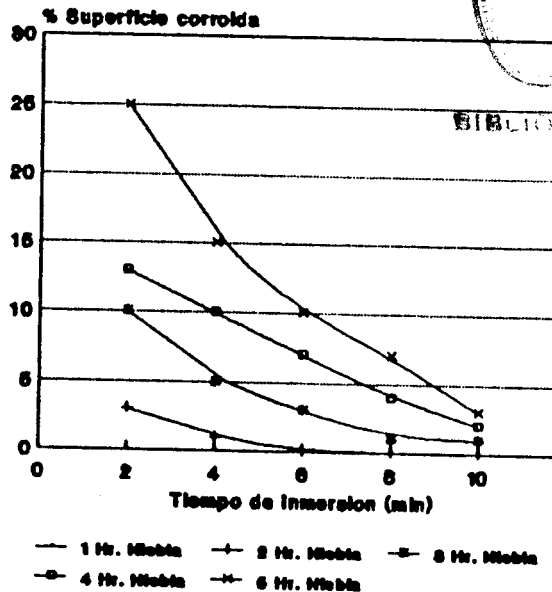
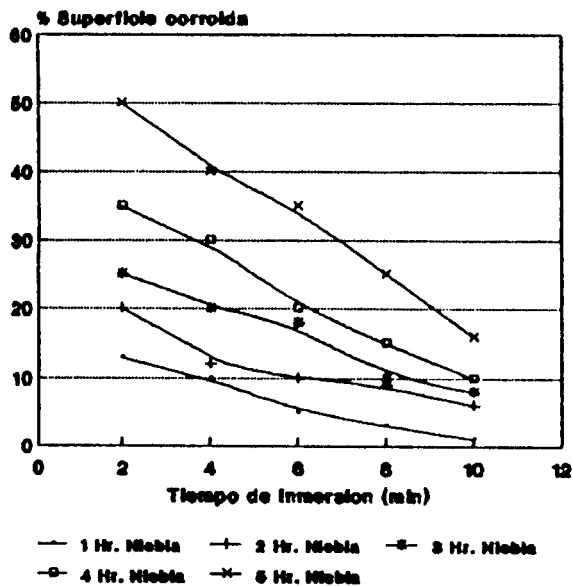


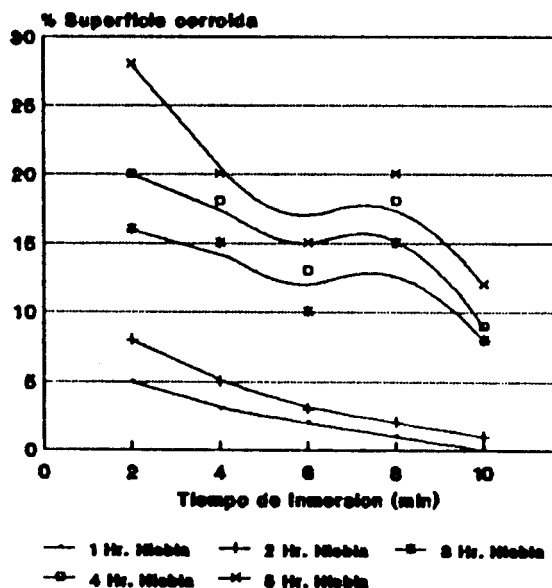
FIGURA 2.9 PRINCIPALES GRAFICOS
CORRESPONDIENTES AL APENDICE I

Pavonado a 400 C en KNO₃ - NaOH (3/1)



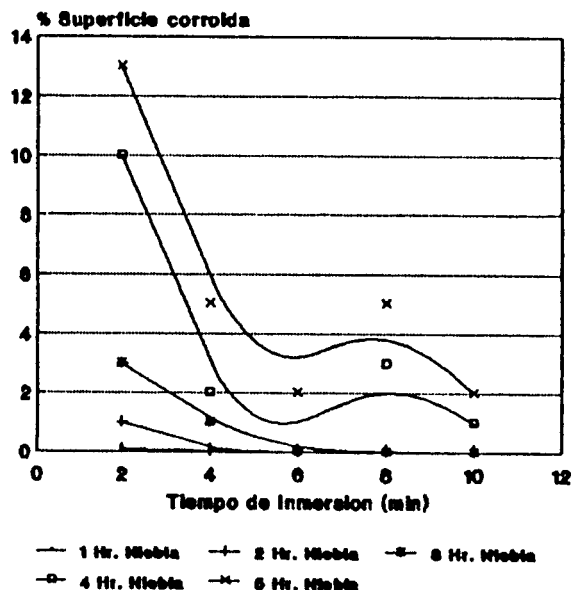
IMPREGNACION SAE 30

Pavonado a 450 C en KNO₃ - NaOH (3/1)



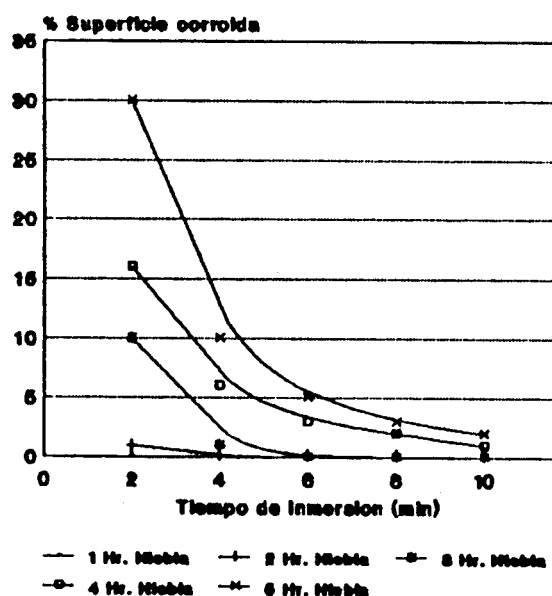
IMPREGNACION SAE 30

Pavonado a 500 C en KNO₃ - NaOH (3/1)



IMPREGNACION SAE 30

Pavonado a 550 C en KNO₃ - NaOH (3/1)



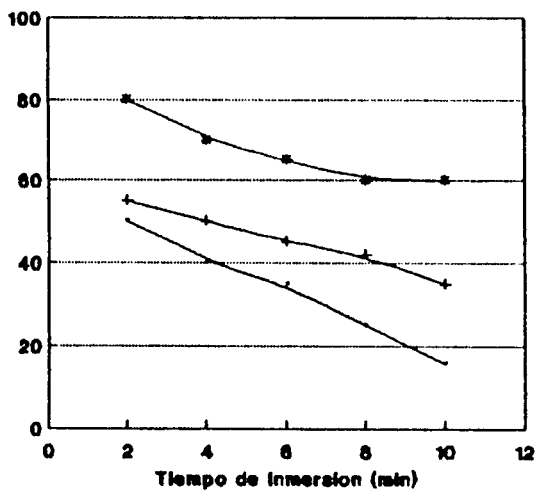
IMPREGNACION SAE 30

FIGURA 2.10 PRINCIPALES GRAFICOS
CORRESPONDIENTES AL APENDICE I

correspondiente en la cámara de niebla salina, estos valores se encuentran tabulados en las tablas VIII, IX, X, XI.

- b) Con estos datos se decidió realizar 3 tipos de gráficos, los cuales para todos los casos el eje de las X corresponde al tiempo de inmersión de las probetas en el baño de sales fundidas, que para nuestro caso fue de $\text{KNO}_3 - \text{NaOH}$ (3/1), y en el eje de las Y, tenemos el porcentaje de superficie corroída, medido de acuerdo con la norma ASTM D610. Para poder efectuar el análisis respectivo, en el apéndice I tenemos el primer grupo de gráficos que nos muestran cómo fue progresando la corrosión en las probetas a medida que pasaban las horas en niebla salina, estos gráficos corresponden además para cada temperatura de pavonado que fueron de 400, 450, 500 y 550 grados centígrados, y para cada tratamiento posterior, que en este trabajo fueron: templadas en agua, enfriadas al ambiente, e impregnación en SAE 30.
- c) En el apéndice II, tenemos otro grupo de gráficos, los cuales nos permiten ver para cada temperatura, y para cada hora de niebla salina, qué tipo de tratamiento posterior dio mejores resultados.
- d) Finalmente en el apéndice III, podemos ver el

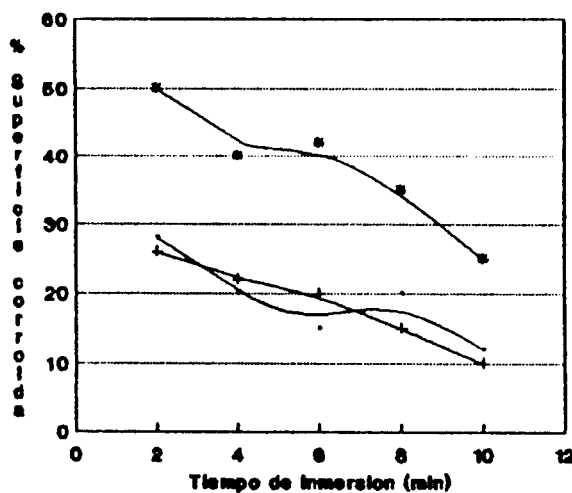
Pavonado a 400 C en KNO₃ - NaOH (3/1)



— IMPREG. SAE 30 + SECADA AL AMB
—*— TEMPL. EN AGUA

6 HORAS NIEBLA SALINA

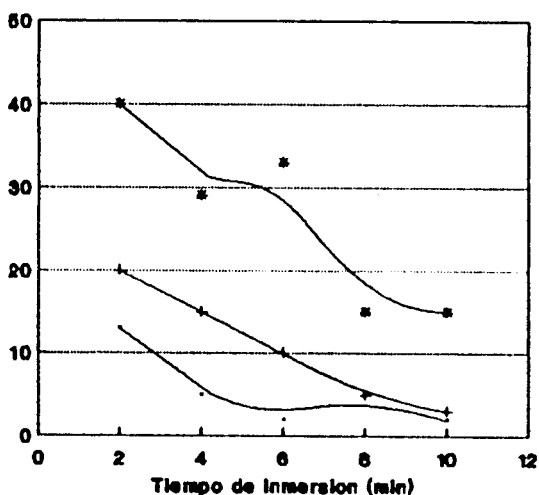
Pavonado a 450 C en KNO₃ - NaOH (3/1)



— IMPREG. SAE 30 + SECADA AL AMB
—*— TEMPL. EN AGUA

6 HORAS NIEBLA SALINA

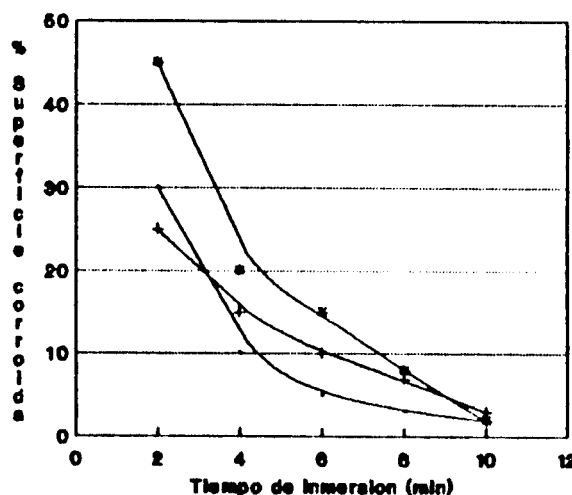
Pavonado a 500 C en KNO₃ - NaOH (3/1)



— IMPREG. SAE 30 + SECADA AL AMB
—*— TEMPL. EN AGUA

6 HORAS NIEBLA SALINA

Pavonado a 550 C en KNO₃ - NaOH (3/1)



— IMPREG. SAE 30 + SECADA AL AMB
—*— TEMPL. EN AGUA

6 HORAS NIEBLA SALINA

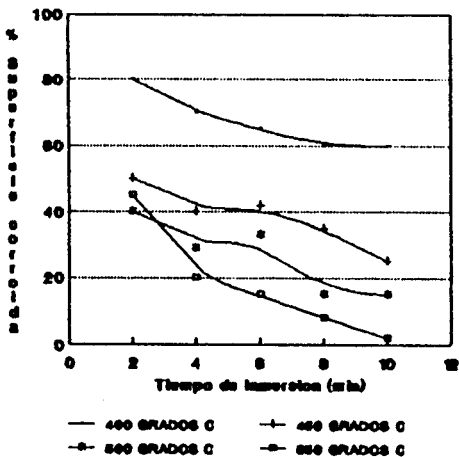
FIGURA 2.11 PRINCIPALES GRAFICOS
CORRESPONDIENTES AL APENDICE I



último grupo de gráficos, los cuales nos permiten ver cuál fue la temperatura más apropiada para el pavonado para cada tratamiento posterior, y para cada hora de niebla salina.

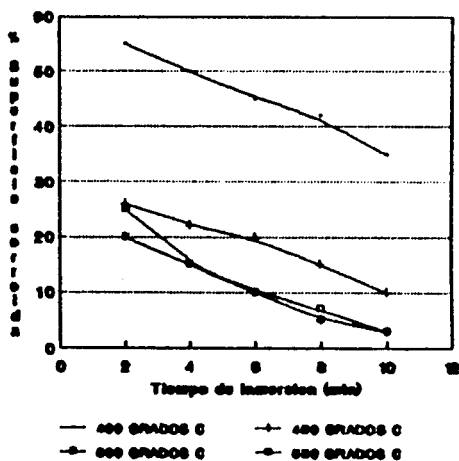
- e) En el capítulo III, se efectúa un análisis de los resultados dados por estos gráficos; en la figura 2.8, 2.9, 2.10, podemos ver el primer grupo de gráficos correspondientes al apéndice I.
- f) En la figura 2.11, podemos ver los 4 principales gráficos correspondientes al apéndice II, nótese que sólo esta figura 2.11 corresponde a las probetas evaluadas 5 horas de niebla salina.
- g) En la figura 2.12, podemos ver los gráficos correspondientes a sólo 5 horas de niebla salina, que son los más importantes correspondientes al apéndice III.

Pavonado en KNO₃ - NaOH (3/1)



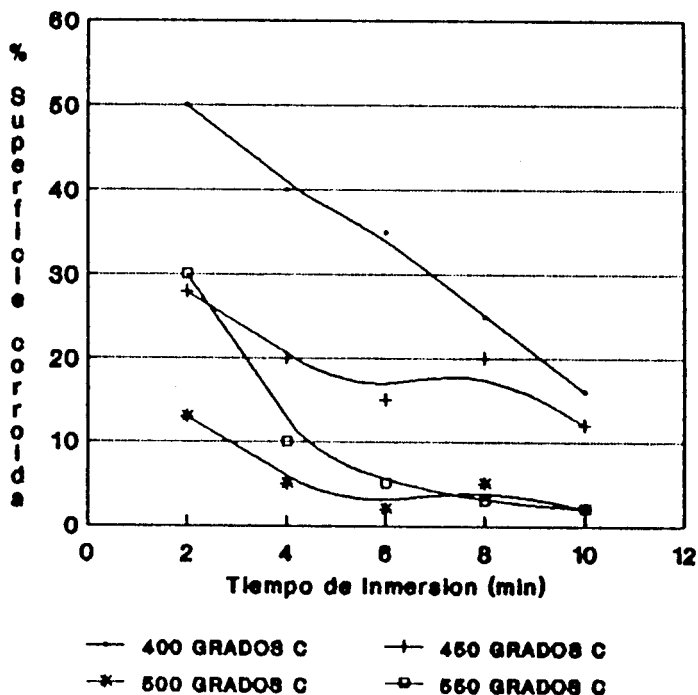
5 HORAS NIEBLA SALINA / TEMP. EN AGUA

Pavonado en KNO₃ - NaOH (3/1)



5 HORAS NIEBLA SALINA / SEC. AL AMBIENTE

Pavonado en KNO₃ - NaOH (3/1)



5 HORAS NIEBLA SALINA / IMPREG. SAE 30

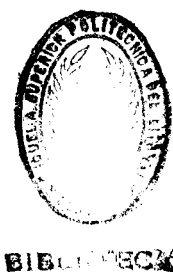


FIGURA 2.12 PRINCIPALES GRAFICOS
CORRESPONDIENTES AL APENDICE III

CAPITULO III



DISCUSION DE RESULTADOS

BIBLIOTECA

Del capítulo anterior se puede advertir que existen una gran cantidad de gráficos, en los cuales se han combinado los diferentes parámetros de influencia en la tecnología del pavonado.

Debido a la gran cantidad de gráficos, resulta impráctico realizar el análisis con todos ellos, especialmente los que involucran las horas de niebla salina a las cuales fueron sometidas las probetas, por este motivo sólo analizaremos los gráficos que nos proporcionen información sobre las probetas ensayadas durante 5 horas de niebla salina, los cuales se los puede observar en la figura 2.11 y 2.12.

El empleo de la cámara de niebla salina, para los ensayos sucesivos, permite pruebas más rápidas y con un medio agresivo constante y fuerte, y de esta manera no es necesario esperar tanto tiempo en el caso que las probetas se las expusiera al medio ambiente.

- a) Primeramente, vamos a analizar el primer grupo de gráficos correspondientes al apéndice I, los cuales también se encuentran en las figuras 2.8, 2.9 y 2.10. En la figura 2.8, que corresponde a las probetas templadas en agua luego del proceso de pavonado, podemos ver que tenemos una mayor resistencia a la corrosión en aquellas probetas que fueron introducidas en la solución por 10 minutos, que por ejemplo las que estuvieron solamente 4 minutos en el baño, esto es lógico, debido a que al aumentar el tiempo de inmersión, aumenta el espesor de la capa de pavón y la resistencia a la corrosión.
- b) Podemos observar que las curvas tienden a suavizarse, luego de los 10 minutos de inmersión, como se puede ver en la figura 2.8, en el pavonado a 500° C con probetas templadas en agua.
- c) De igual manera, si observamos la figura 2.9, podemos ver que también el porcentaje de superficie corroída, tiende a disminuir a medida que se aumentaba el tiempo de inmersión en el baño de sales fundidas, puesto que al cabo de 10 minutos de inmersión las curvas tienden a suavizarse. Este grupo de gráficos corresponde a probetas pavonadas y dejadas enfriar al ambiente.
- d) En el caso de la figura 2.10, se notó también que la corrosión disminuye a medida que aumenta el tiempo de

inmersión en el baño de sales fundidas. Estas curvas corresponden a las probetas con impregnación posterior en aceite SAE 30. Podemos decir que un tiempo óptimo de pavonado será de 10 minutos de inmersión, para cada temperatura de pavonado y para cada tratamiento posterior.

- e) Las curvas de la figura 2.11, nos muestran que tratamiento posterior tuvo mejor resultado frente a la corrosión, este análisis es de 5 horas de niebla salina; hemos podido apreciar que el mejor tratamiento posterior fue el de impregnación posterior en aceite SAE 30; es importante la manera en que se procede a efectuar la impregnación, donde el aceite debe estar a una temperatura no superior que los 100° C, debido a que haciéndolo de este modo, se facilita la penetración del aceite a través del recubrimiento. Además es importante la manera en que se realiza el secado del producto sobrante. En estudios ya realizados, se comprobó que una de las mejores maneras de secar las probetas con impregnación posterior en aceite es mediante el uso de papel filtro, debido a que de esta manera la pieza absorbe mayor cantidad de aceite, que si se realiza el secado por ejemplo con miga de pan.
- f) En la figura 2.11, se puede observar que las probetas templadas en agua, tienen una menor resistencia a la corrosión, que las simplemente pavonadas, secadas al

ambiente; durante el proceso se pudo ver que las probetas simplemente pavonadas, luego que ya se enfriaron en el ambiente, al enjuagarlas con agua, se desprendía el exceso de sal acumulada durante el enfriamiento; en cambio las templadas en agua al ser enjuagadas ya no tenían esta capa; podemos decir de que el pavón adquiere una mayor resistencia a la corrosión debido a esta impregnación natura que se forma en la superficie de la probeta durante el enfriamiento de la misma, mientras que las templadas en agua, esta capa desapareció, y por consiguiente disminuida la resistencia a la corrosión. Se puede decir que esta película en cierta manera tapa la porosidad de la capa de pavón en el caso de las probetas simplemente pavonadas.

g) En la figura 2.12, podemos analizar ahora qué temperatura fue la ideal para el proceso. Los gráficos corresponden a las probetas ensayadas a 5 horas de niebla salina; podemos darnos cuenta de que tanto para las probetas enfriadas al ambiente como para las probetas impregnadas con aceite SAE 30, la mejor temperatura fue la de 500° C. Para temperaturas menores a 500° C, el espesor de la capa de pavón, no es el más adecuado; y a valores de temperatura mayores a 500° C, se inicia la formación de "wustita" (FeO), que es un óxido de menor eficacia protectora que la magnetita,



estable ésta a temperaturas más bajas. Es decir se comprueba entonces de que la mejor temperatura para pavonar es de aproximadamente 500° C, luego de esta temperatura ya la resistencia a la corrosión va a disminuir por la presencia de "wustita", como se mencionó anteriormente.

- h) Finalmente se notó de que las probetas debían ser preparadas de la mejor manera posible, debido a que se hicieron algunas pruebas con probetas no muy bien preparadas, en el sentido de que el material tenía ciertas imperfecciones en su superficie y se notó de que la corrosión empezaba por esa zona. Es importante que la probeta esté completamente limpia y lisa.



BIBLIOTECA

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En base al análisis de resultados hechos anteriormente, se puede realizar una guía del proceso de pavonado, para de esta manera evitar cualquier tipo de problema posterior que involucre pérdida de dinero, hasta peligro para el operario.

Esta guía es parte de las conclusiones obtenidas en base a la evaluación del proceso.

- a) La temperatura óptima para pavonar es de 500° C, y el tiempo óptimo de inmersión puede ser entre 6 y 10 minutos; Se puede observar en la figura 2.12, que la curva de porcentaje de superficie corroída se suaviza entre los 6 y 10 minutos de inmersión.
- b) La superficie de la pieza debe estar completamente limpia, liberada de grasas, y completamente lisa, no debe existir ningún tipo de rayadura.
- c) El horno debe tener un adecuado regulador de temperatura.
- d) En caso de utilizar un crisol de acero de bajo carbono, el mismo debe estar libre de óxidos de hierro. Se puede

considerar el uso de crisoles de acero inoxidable para el pavonado de piezas pequeñas.

- e) Para todas las temperaturas y tratamiento posterior ensayado, se puede observar que a mayor tiempo de inmersión mayor es la resistencia a la corrosión.
- f) Para obtener la mejor resistencia a la corrosión, se debe realizar una impregnación posterior en aceite SAE 30 a una temperatura de inmersión no mayor a 100° C.
- g) No es conveniente pavonar a más de 500° C, debido a que se comienza a formar "Wustita" (FeO), óxido de menor eficiencia protectora.
- h) Usar piezas preferentemente lisas.
- i) Tener precaución con la soda cáustica, debido a que quema la piel. Usar guantes y mascarilla.
- j) Se recomienda evaluar otros medios de impregnación posterior, que mejore la resistencia a la corrosión de la superficie pavonada.
- k) Investigar y evaluar métodos de pavonado a temperaturas más bajas entre 120 y 140° C, que podrían ser de uso más práctico para aplicaciones de maquillaje industrial.
- l) Difundir la aplicación de este método en el sector de la pequeña y gran industria, para mejorar el aspecto

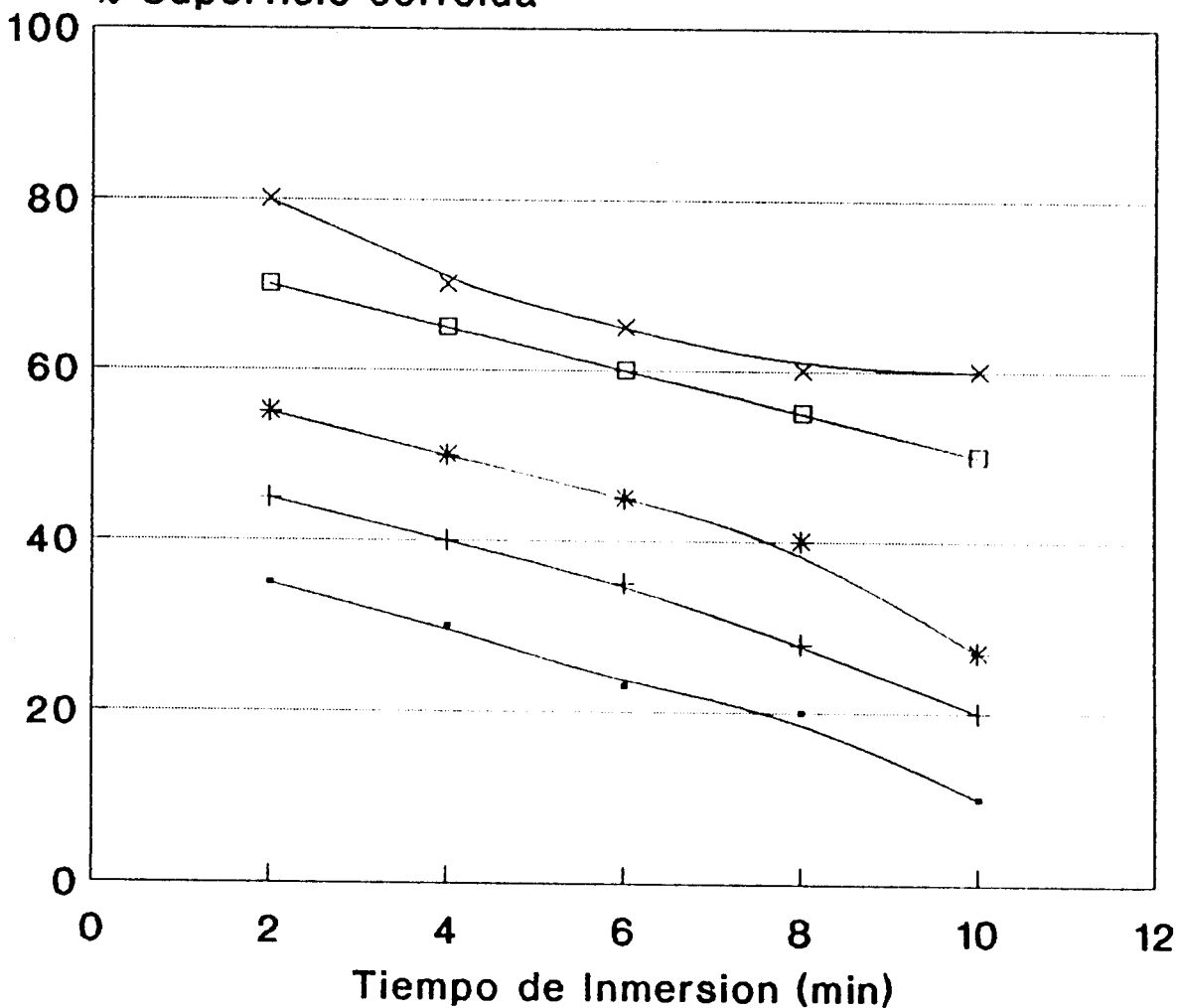
superficial de sus productos metálicos.

- m) Investigar la aplicación del proceso, para la generación de capas superficiales de magnetita que mejore la resistencia al desgaste de herramientas de corte tales como: brocas, machuelos, tarrajas, etc.

A P E N D I C E I

Pavonado a 400 C en KNO₃ - NaOH (3/1)

% Superficie corroida

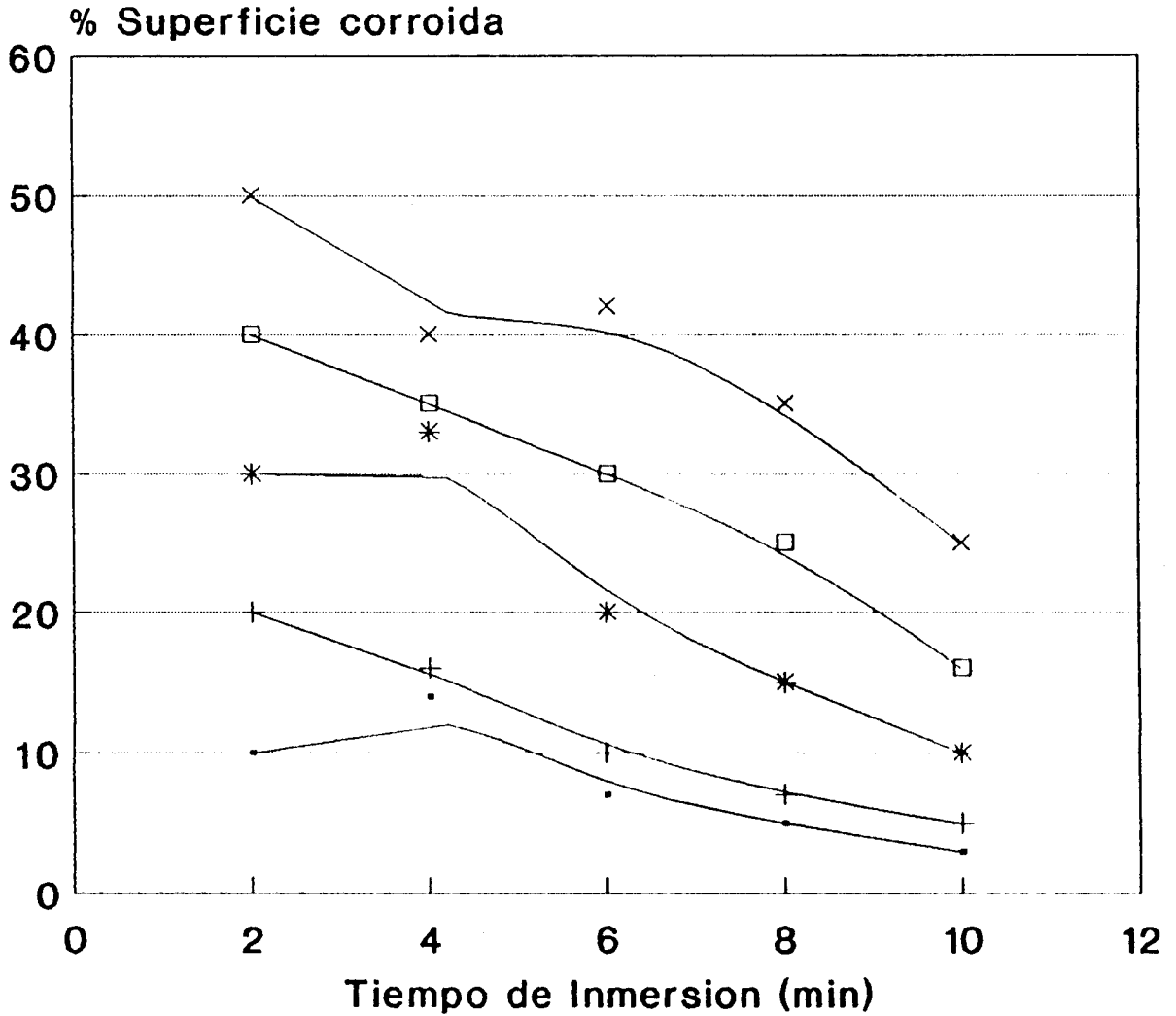


—●— 1 Hr. Niebla —+— 2 Hr. Niebla —*— 3 Hr. Niebla
 —□— 4 Hr. Niebla —x— 5 Hr. Niebla

TEMPLADA EN AGUA



Pavonado a 450 C en KNO₃ - NaOH (3/1)

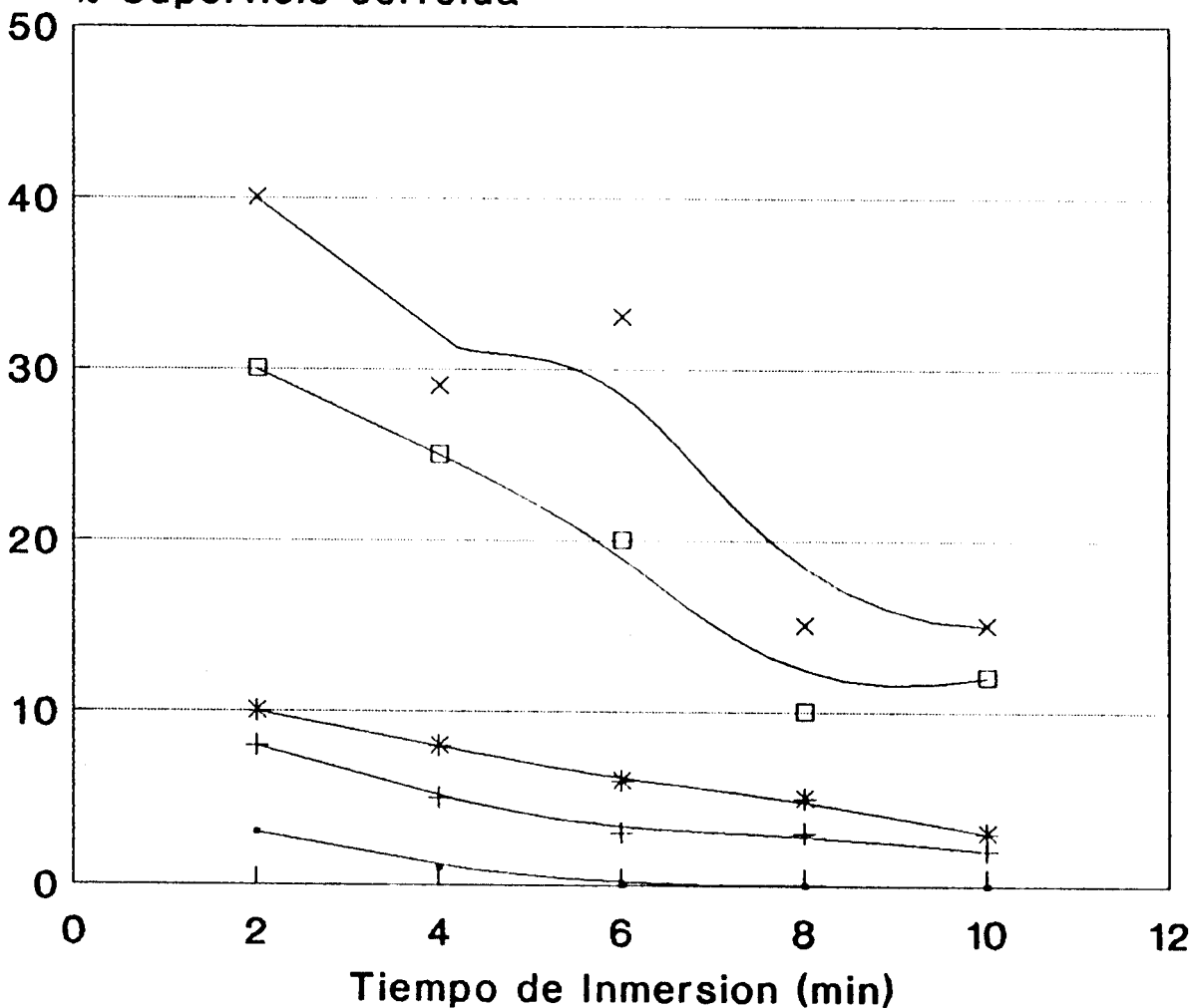


● 1 Hr. Niebla + 2 Hr. Niebla * 3 Hr. Niebla
 □ 4 Hr. Niebla × 5 Hr. Niebla

TEMPLADA EN AGUA

Pavonado a 500 C en KNO₃ - NaOH (3/1)

% Superficie corroída

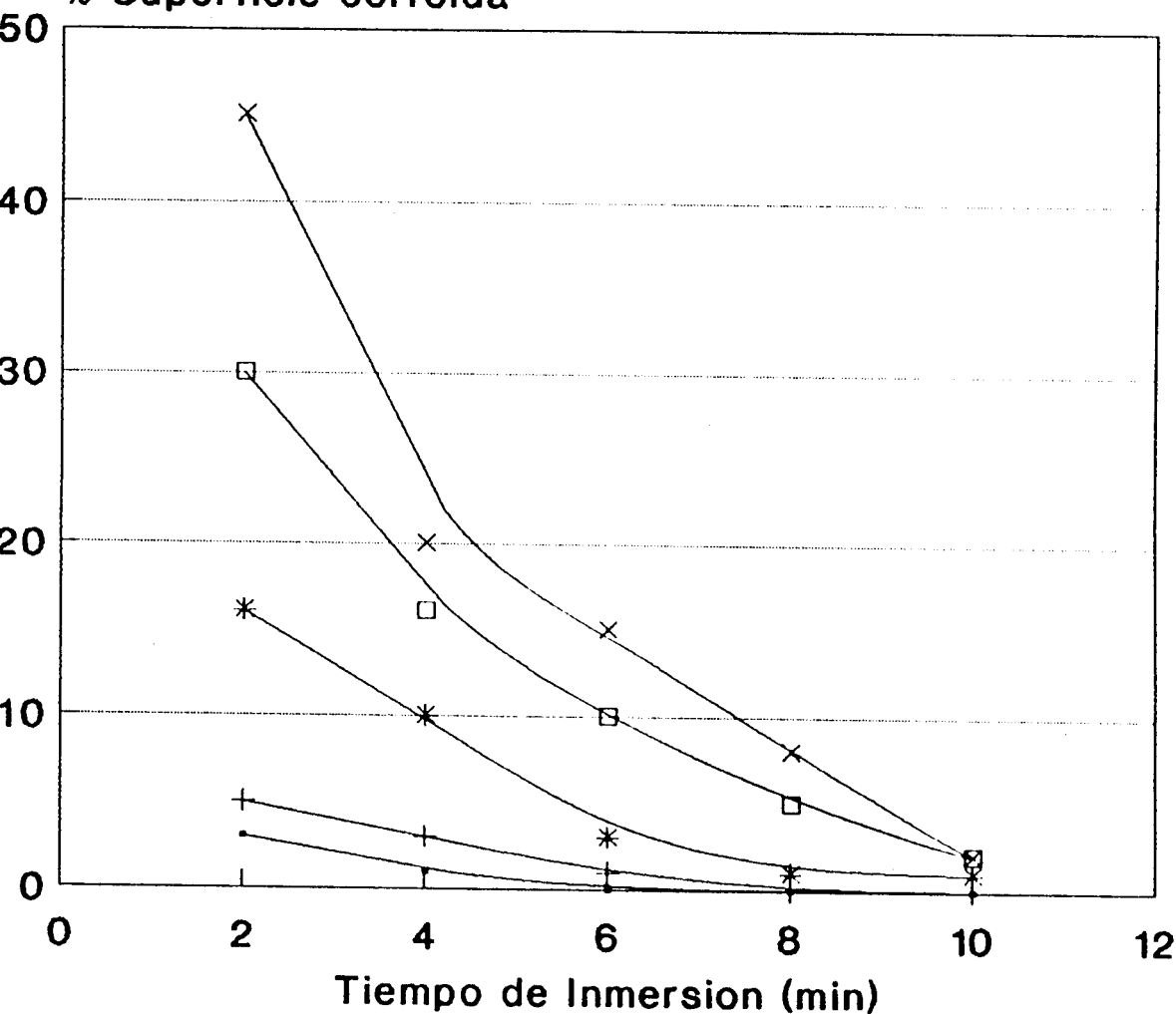


—●— 1 Hr. Niebla —+— 2 Hr. Niebla —*— 3 Hr. Niebla
—□— 4 Hr. Niebla —x— 5 Hr. Niebla

TEMPLADA EN AGUA

Pavonado a 550 C en $\text{KNO}_3 - \text{NaOH}$ (3/1)

% Superficie corroída

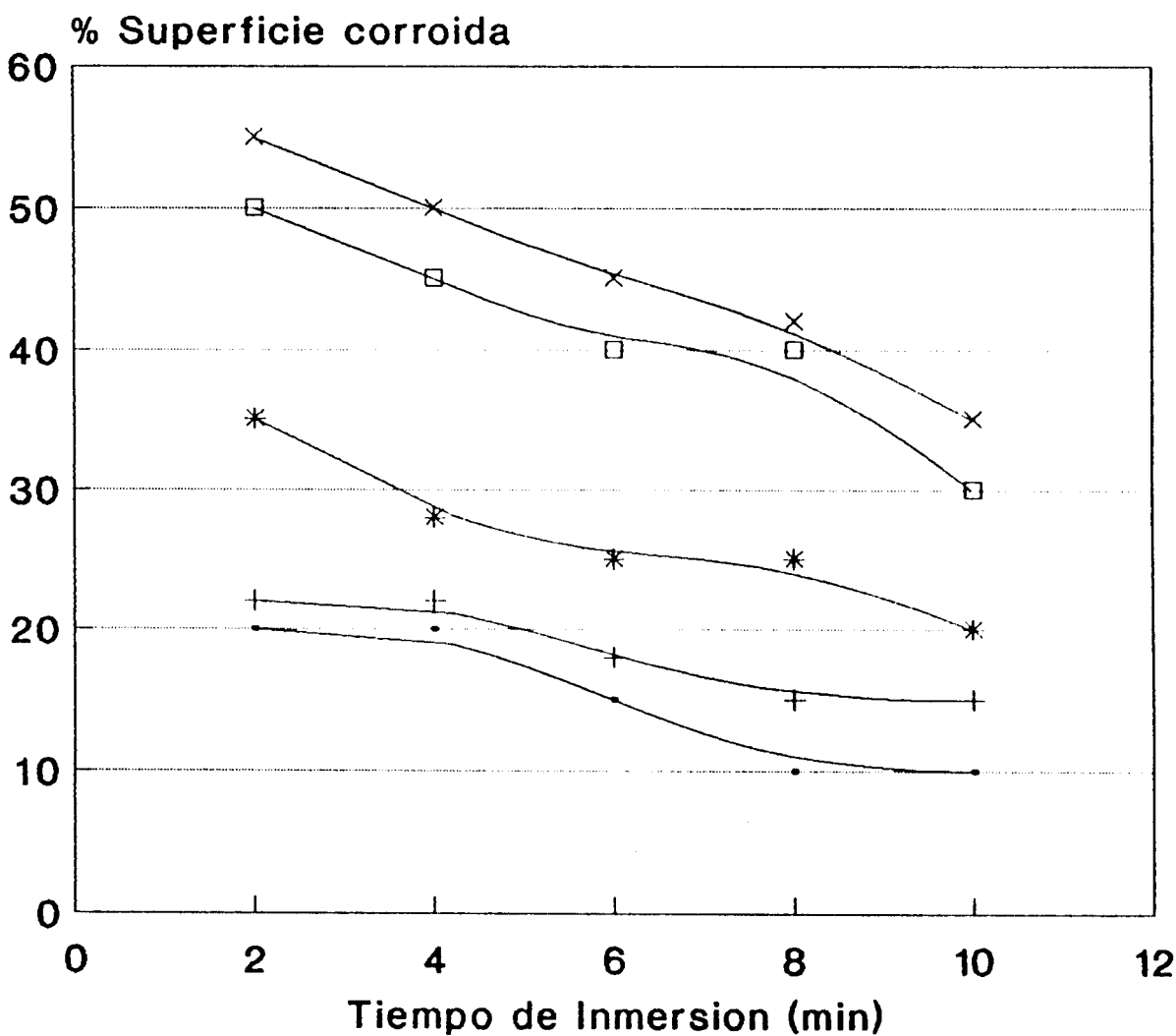


—•— 1 Hr. Niebla —+— 2 Hr. Niebla —*— 3 Hr. Niebla
 —□— 4 Hr. Niebla —x— 5 Hr. Niebla

TEMPLADA EN AGUA



Pavonado a 400 C en KNO₃ - NaOH (3/1)

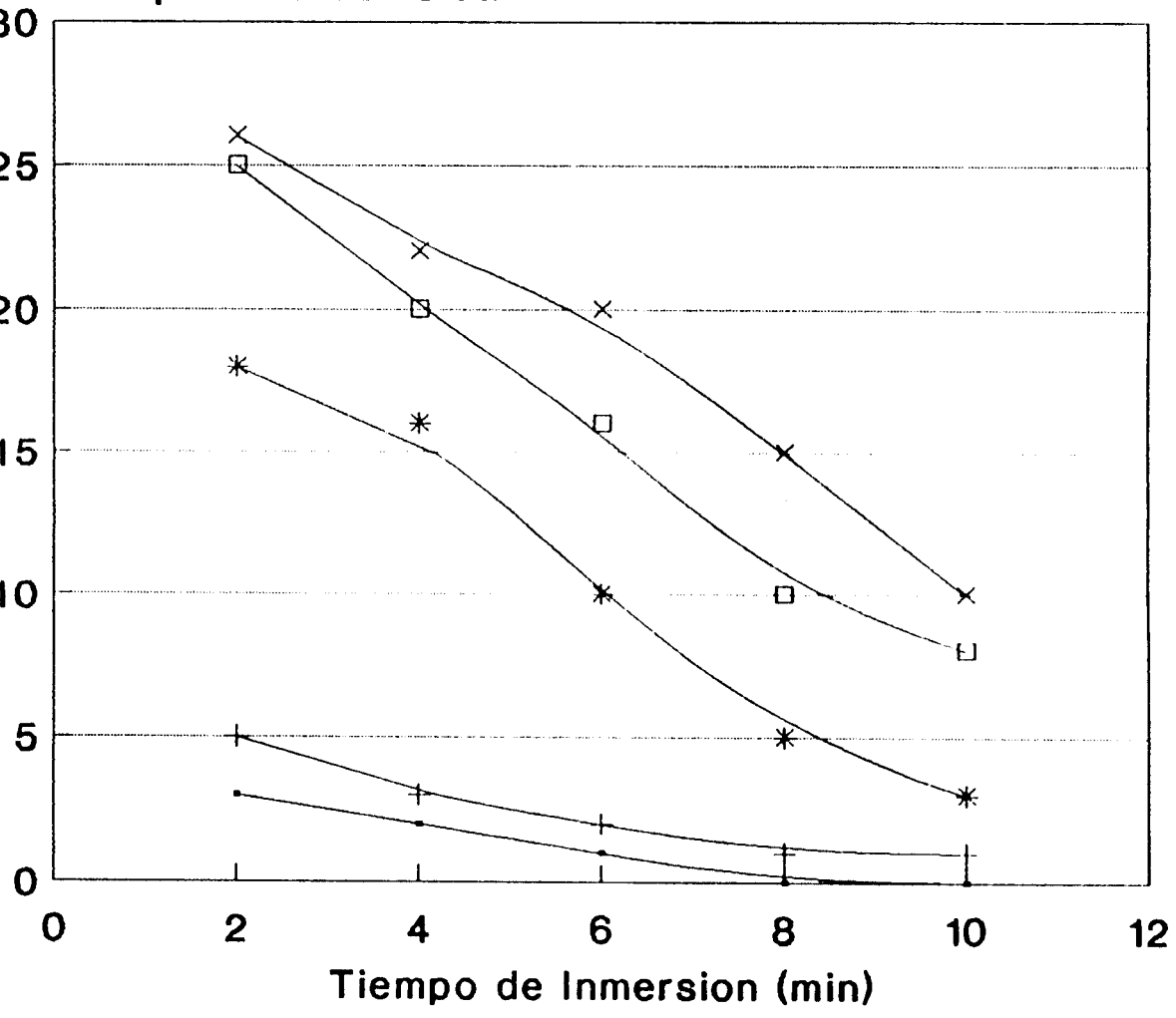


—●— 1 Hr. Niebla —+— 2 Hr. Niebla —*— 3 Hr. Niebla
 —□— 4 Hr. Niebla —×— 5 Hr. Niebla

SECADA AL AMBIENTE

Pavonado a 450 C en KNO3 - NaOH (3/1)

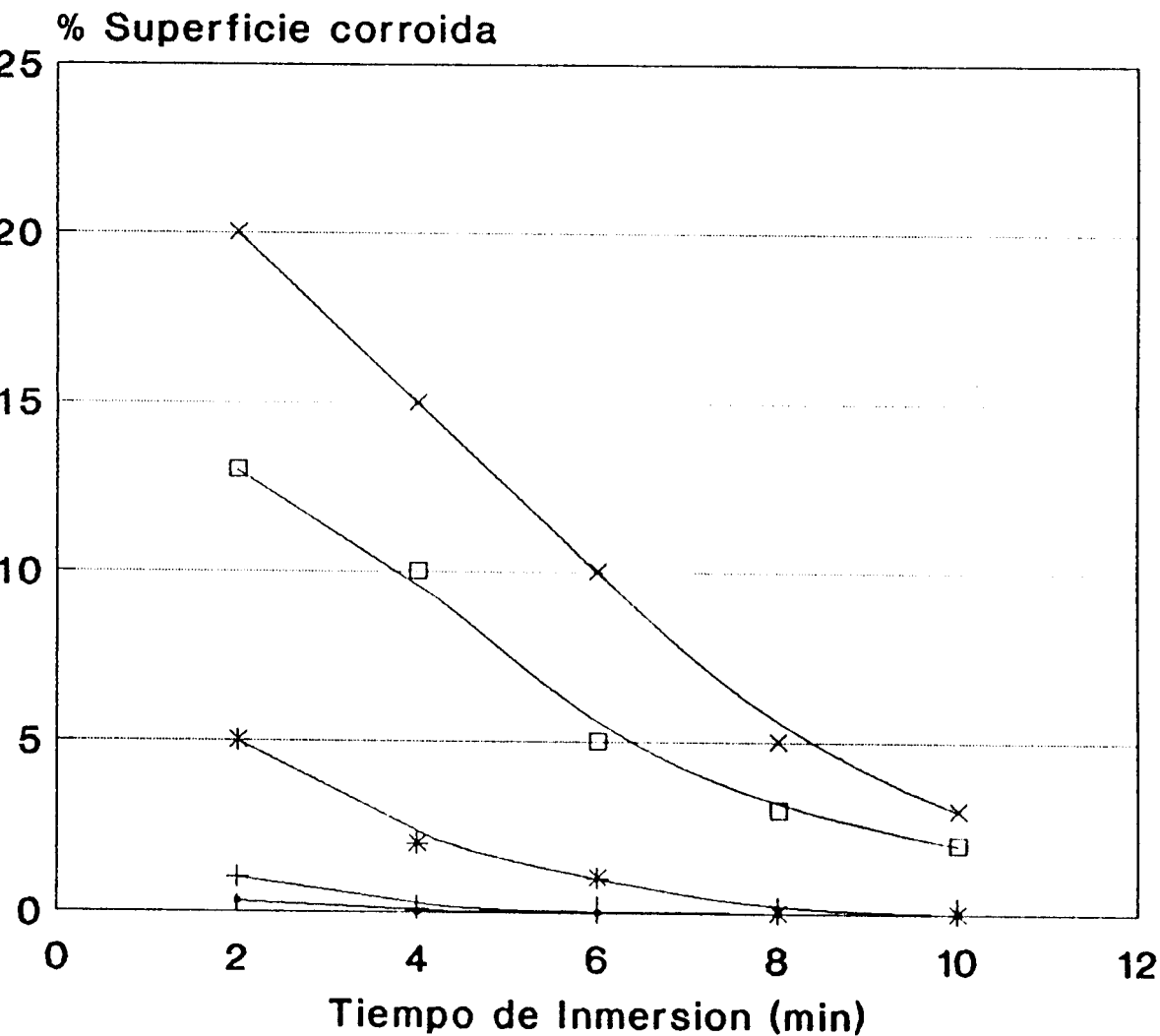
% Superficie corroída



—•— 1 Hr. Niebla —+— 2 Hr. Niebla —*— 3 Hr. Niebla
—□— 4 Hr. Niebla —x— 5 Hr. Niebla

SECADA AL AMBIENTE

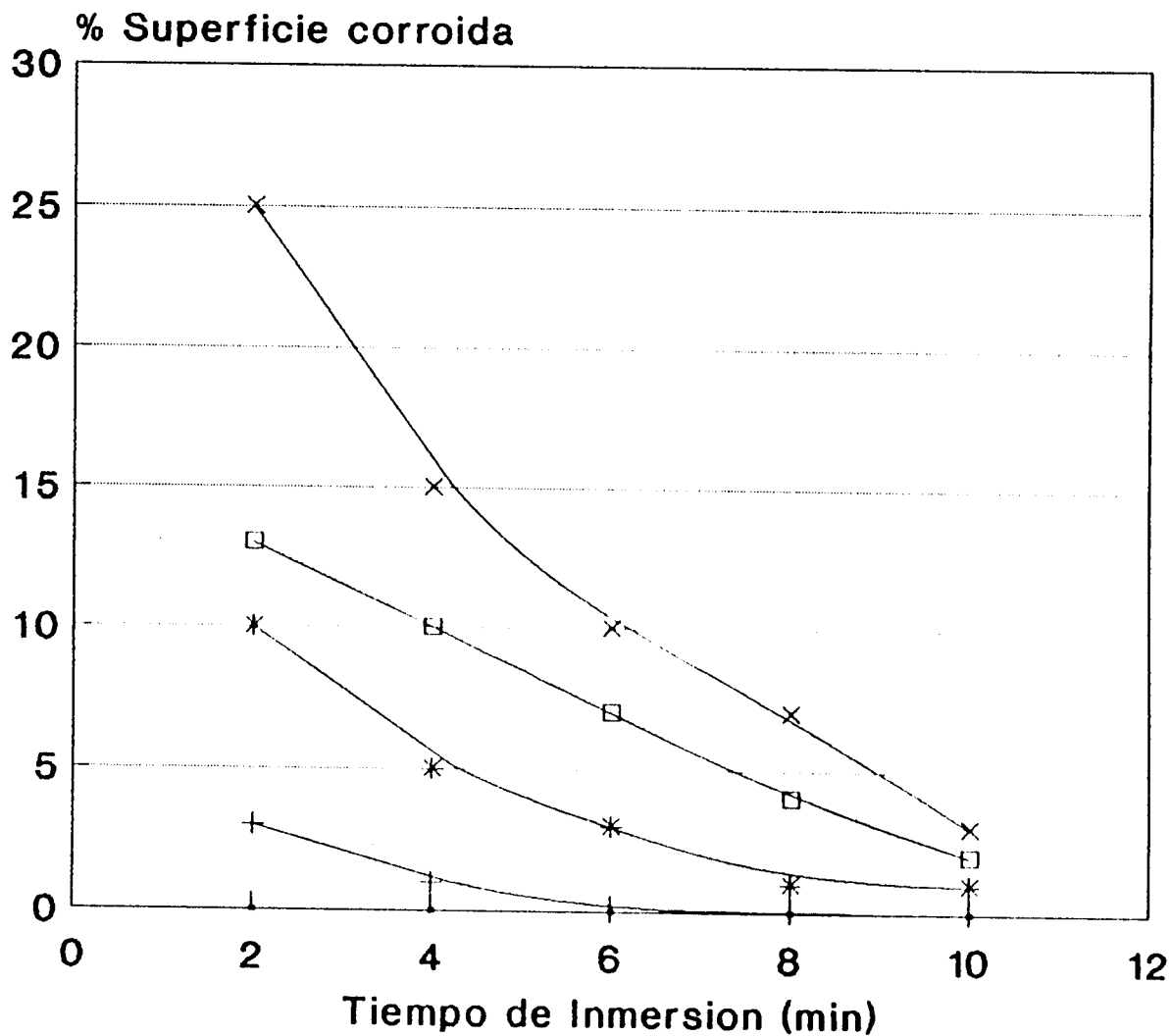
Pavonado a 500 C en KNO₃ - NaOH (3/1)



—+— 1 Hr. Niebla —+— 2 Hr. Niebla —*— 3 Hr. Niebla
 —□— 4 Hr. Niebla —×— 5 Hr. Niebla

SECADA AL AMBIENTE

Pavonado a 550 C en KNO₃ - NaOH (3/1)



—+— 1 Hr. Niebla —+— 2 Hr. Niebla —*— 3 Hr. Niebla
 —□— 4 Hr. Niebla —x— 5 Hr. Niebla

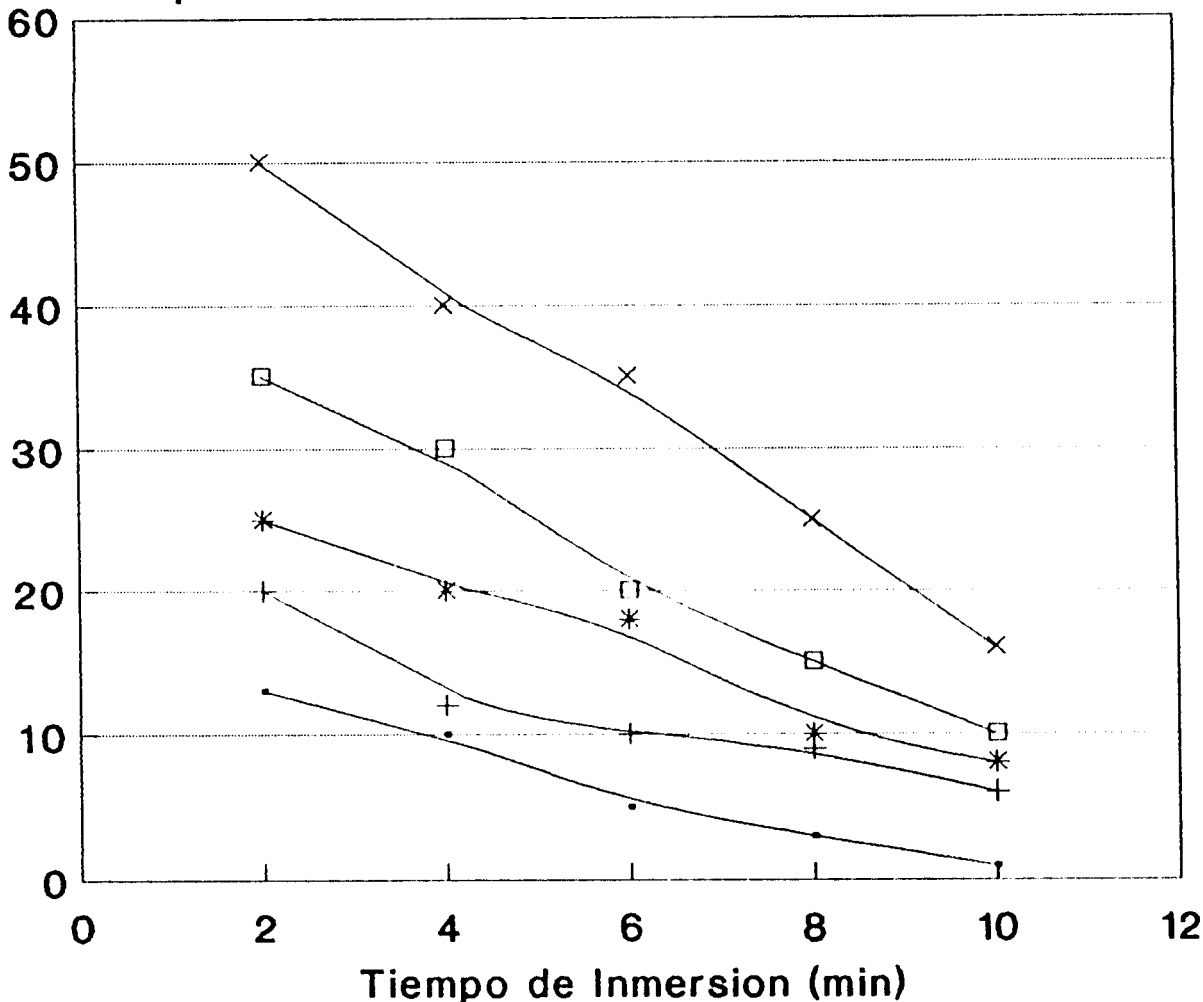
SECADA AL AMBIENTE



BIBLIOTECA

Pavonado a 400 C en KNO₃ - NaOH (3/1)

% Superficie corroida



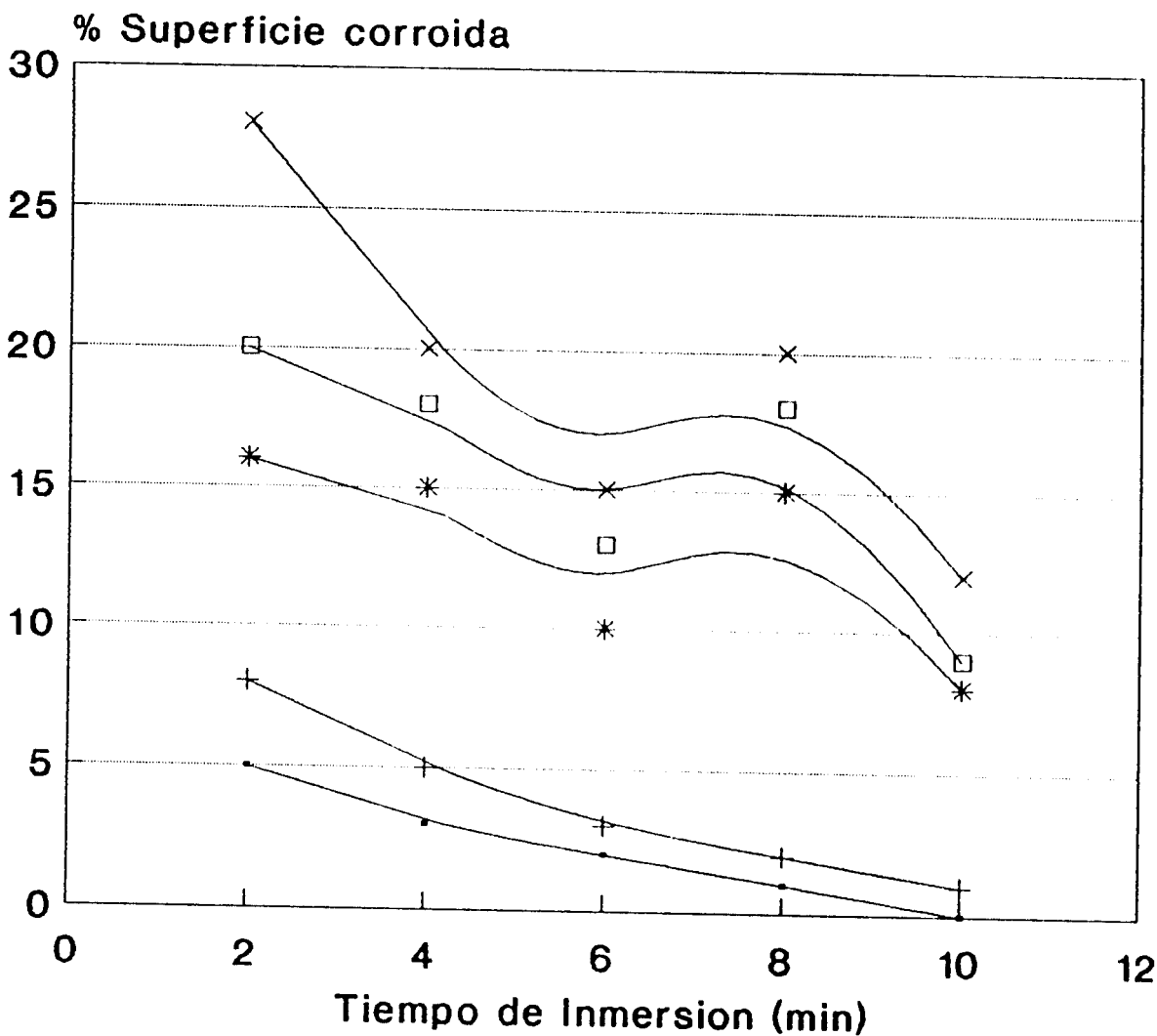
—•— 1 Hr. Niebla —+— 2 Hr. Niebla —*— 3 Hr. Niebla
—□— 4 Hr. Niebla —x— 5 Hr. Niebla

IMPREGNACION SAE 30



BIBLIO

Pavonado a 450 C en KNO₃ - NaOH (3/1)

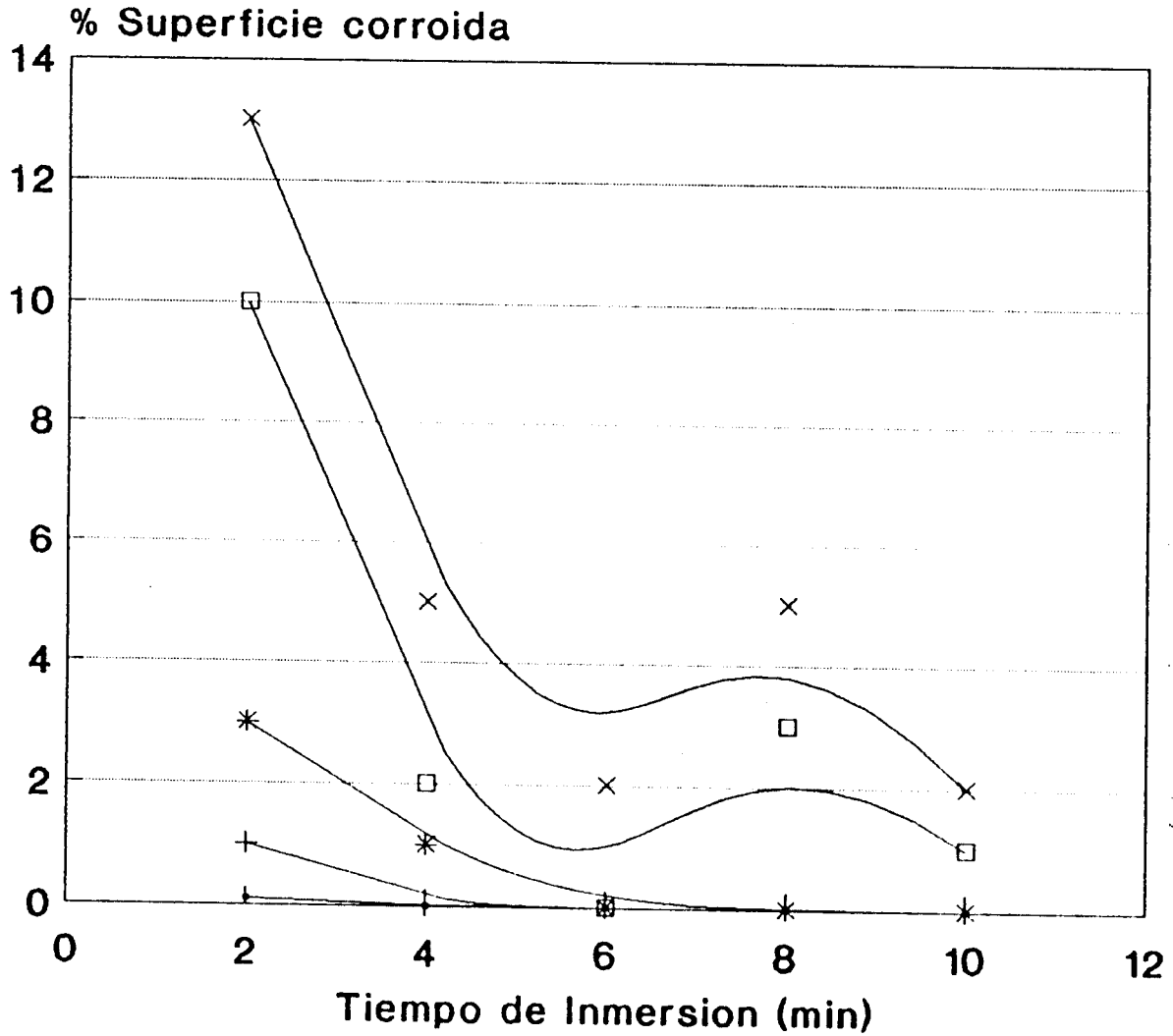


—●— 1 Hr. Niebla —+— 2 Hr. Niebla —*— 3 Hr. Niebla
 —□— 4 Hr. Niebla —x— 5 Hr. Niebla

IMPREGNACION SAE 30



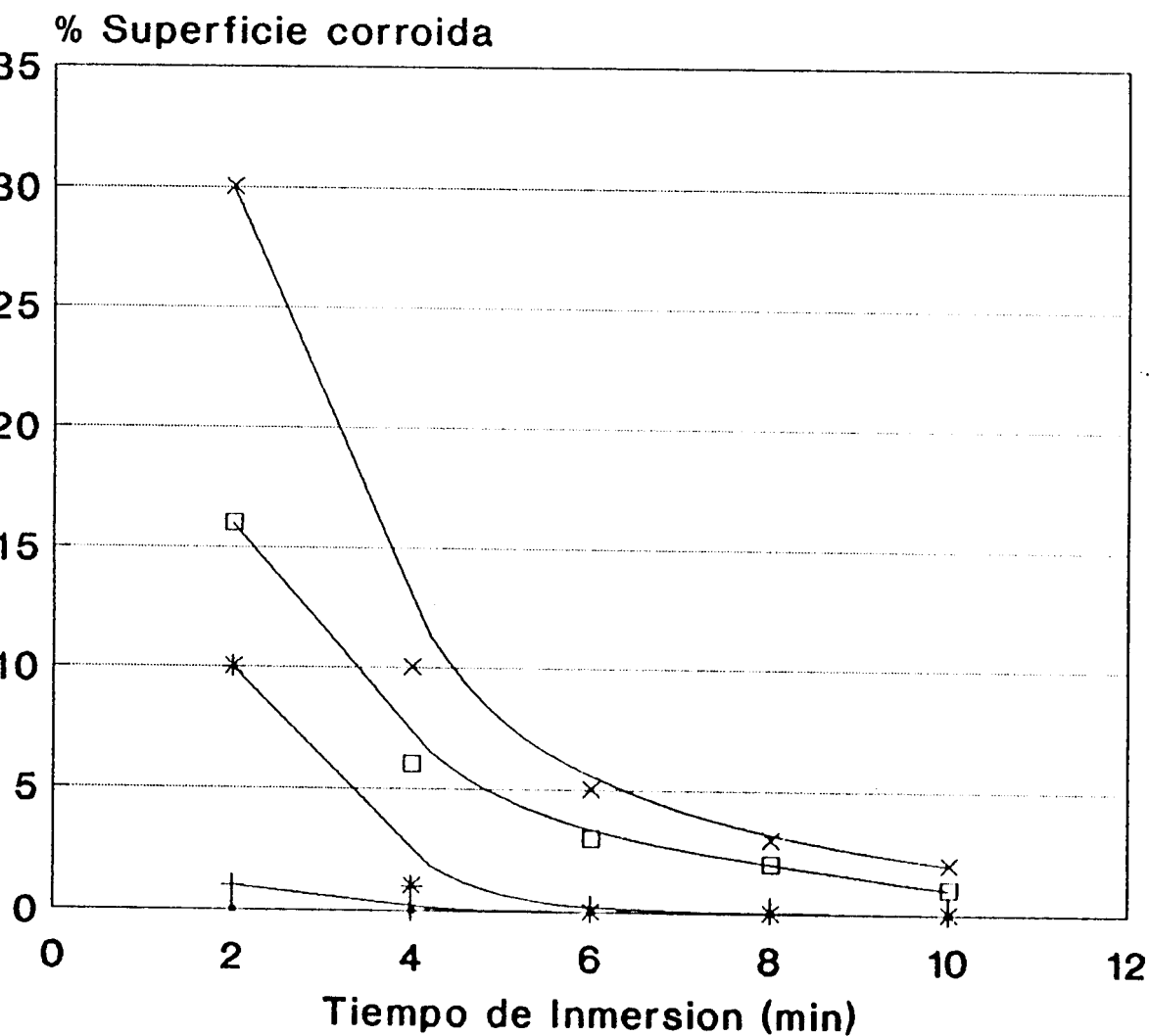
Pavonado a 500 C en KNO₃ - NaOH (3/1)



—●— 1 Hr. Niebla —+— 2 Hr. Niebla —*— 3 Hr. Niebla
 —□— 4 Hr. Niebla —x— 5 Hr. Niebla

IMPREGNACION SAE 30

Pavonado a 550 C en KNO₃ - NaOH (3/1)

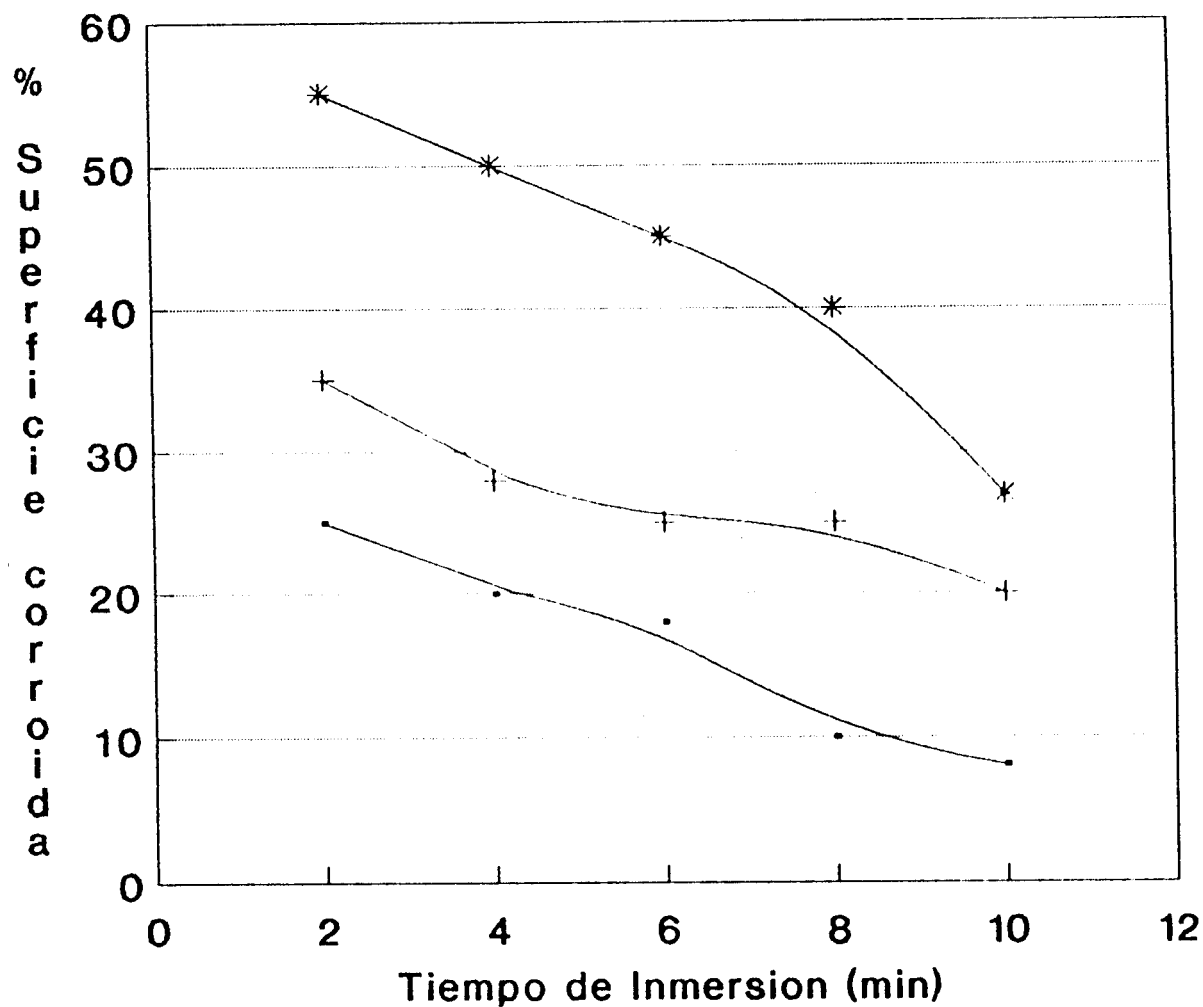


—•— 1 Hr. Niebla —+— 2 Hr. Niebla —*— 3 Hr. Niebla
—□— 4 Hr. Niebla —x— 5 Hr. Niebla

IMPREGNACION SAE 30

A P E N D I C E I I

Pavonado a 400 C en KNO₃ - NaOH (3/1)



—●— IMPREG. SAE 30

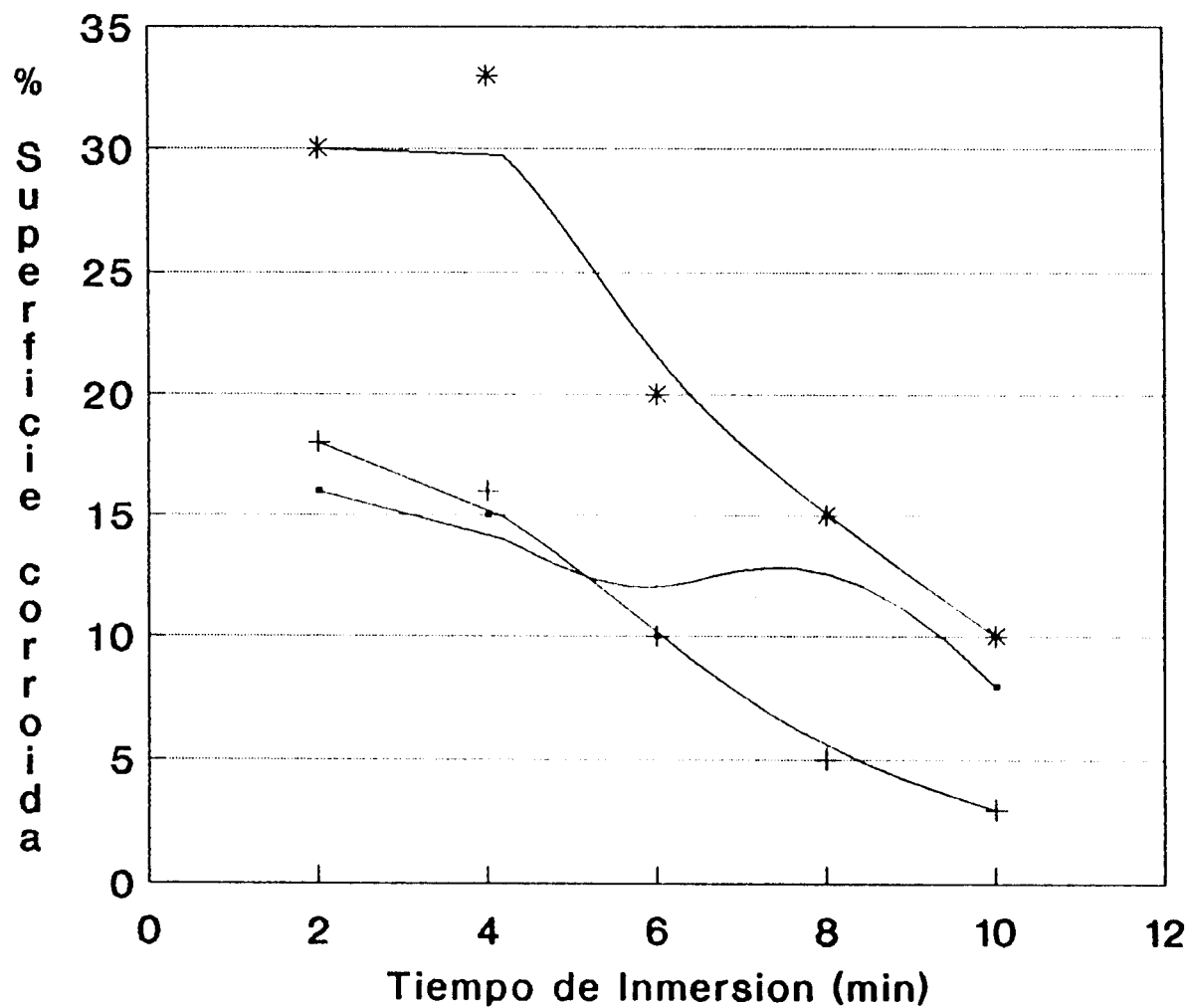
—+— SECADA AL AMB

—*— TEMPL. EN AGUA

3 HORAS NIEBLA SALINA



Pavonado a 450 C en KNO₃ - NaOH (3/1)



—●— IMPREG. SAE 30

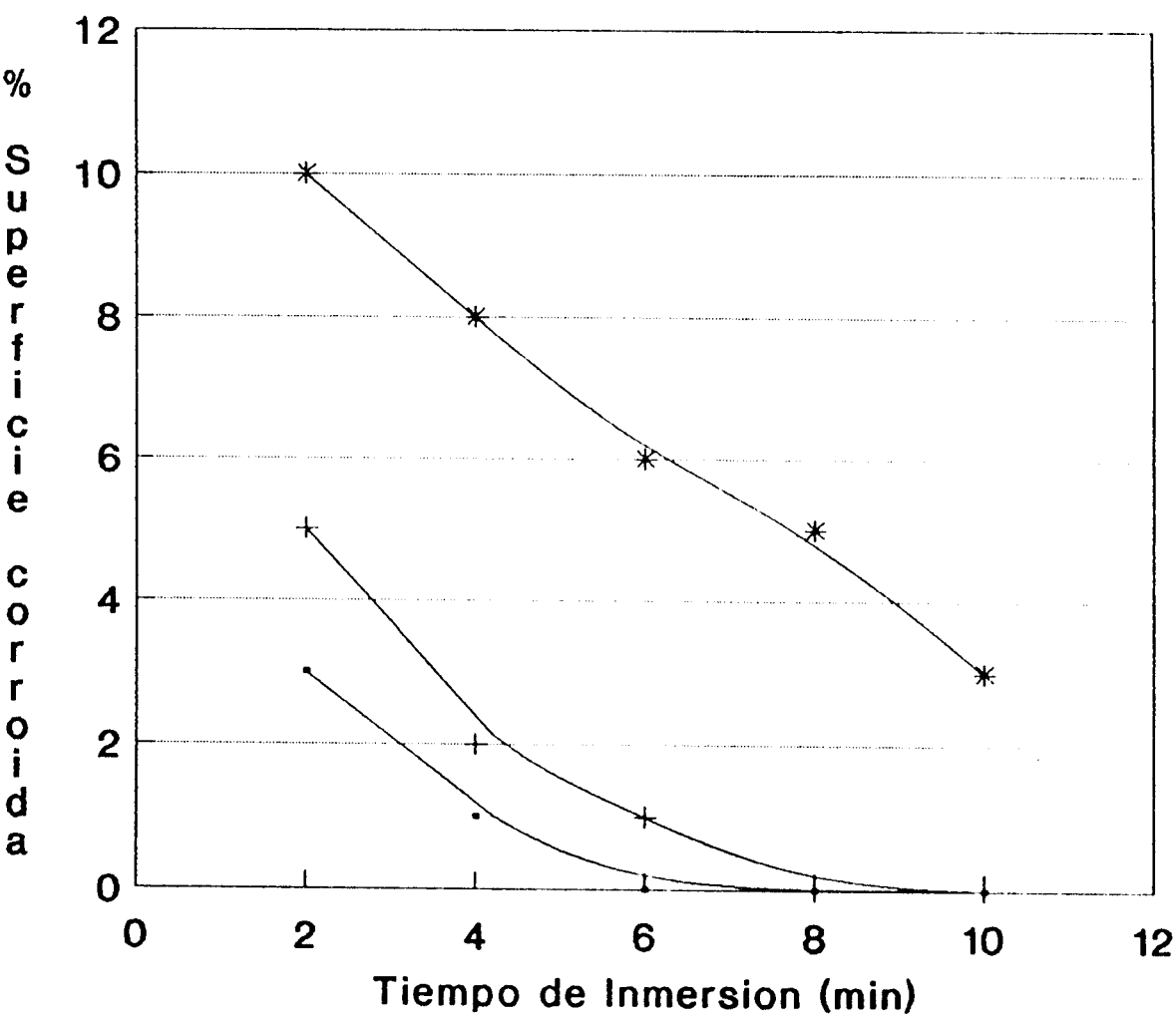
—+— SECADA AL AMB

—*— TEMPL. EN AGUA

3 HORAS NIEBLA SALINA



Pavonado a 500 C en KNO₃ - NaOH (3/1)

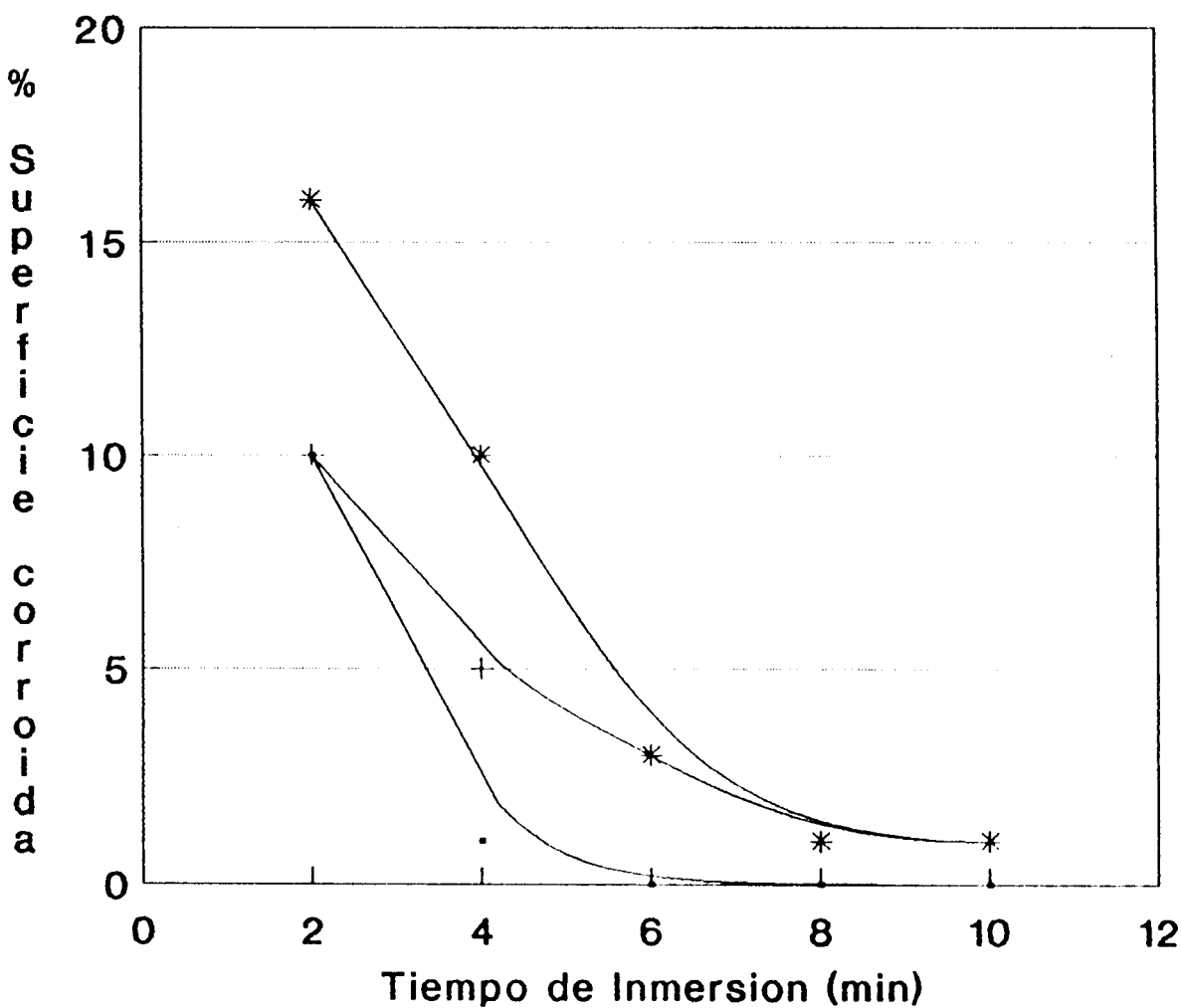


—●— IMPREG. SAE 30
—*— TEMPL. EN AGUA

—+— SECADA AL AMB

3 HORAS NIEBLA SALINA

Pavonado a 550 C en KNO₃ - NaOH (3/1)



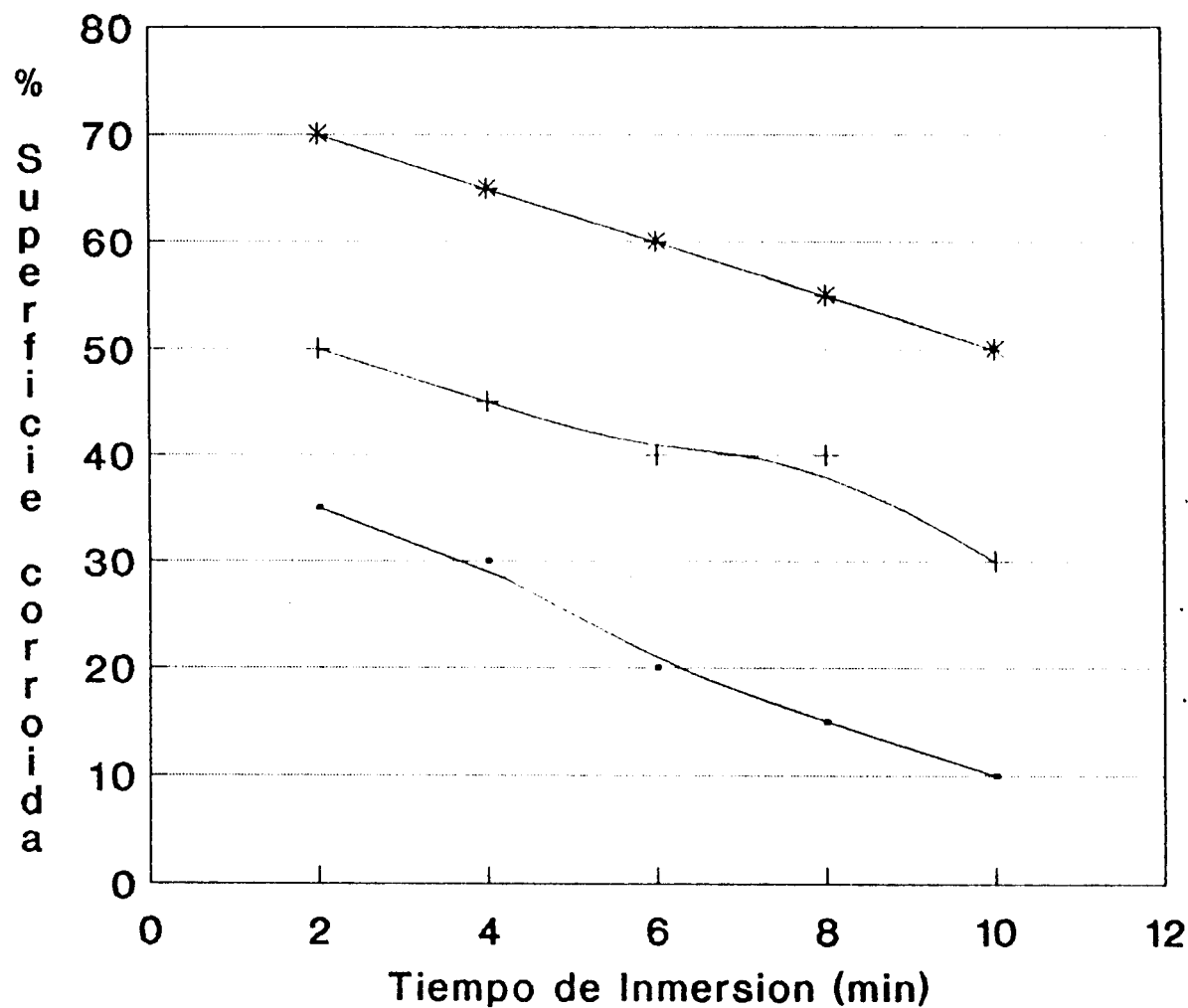
—•— IMPREG. SAE 30

—+— SECADA AL AMB

—*— TEMPL. EN AGUA

3 HORAS NIEBLA SALINA

Pavonado a 400 C en KNO₃ - NaOH (3/1)



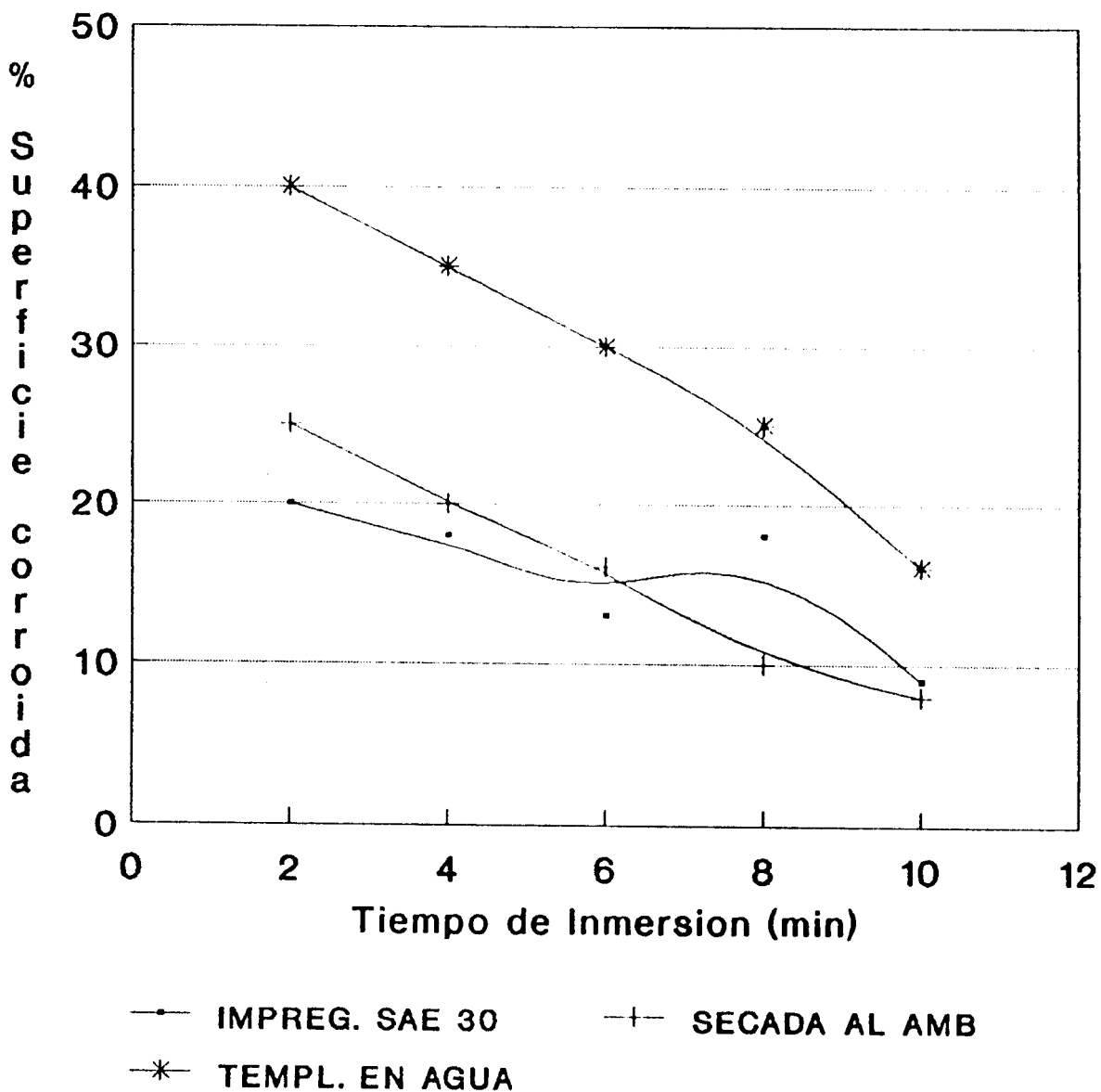
—•— IMPREG. SAE 30

—+— SECADA AL AMB

—*— TEMPL. EN AGUA

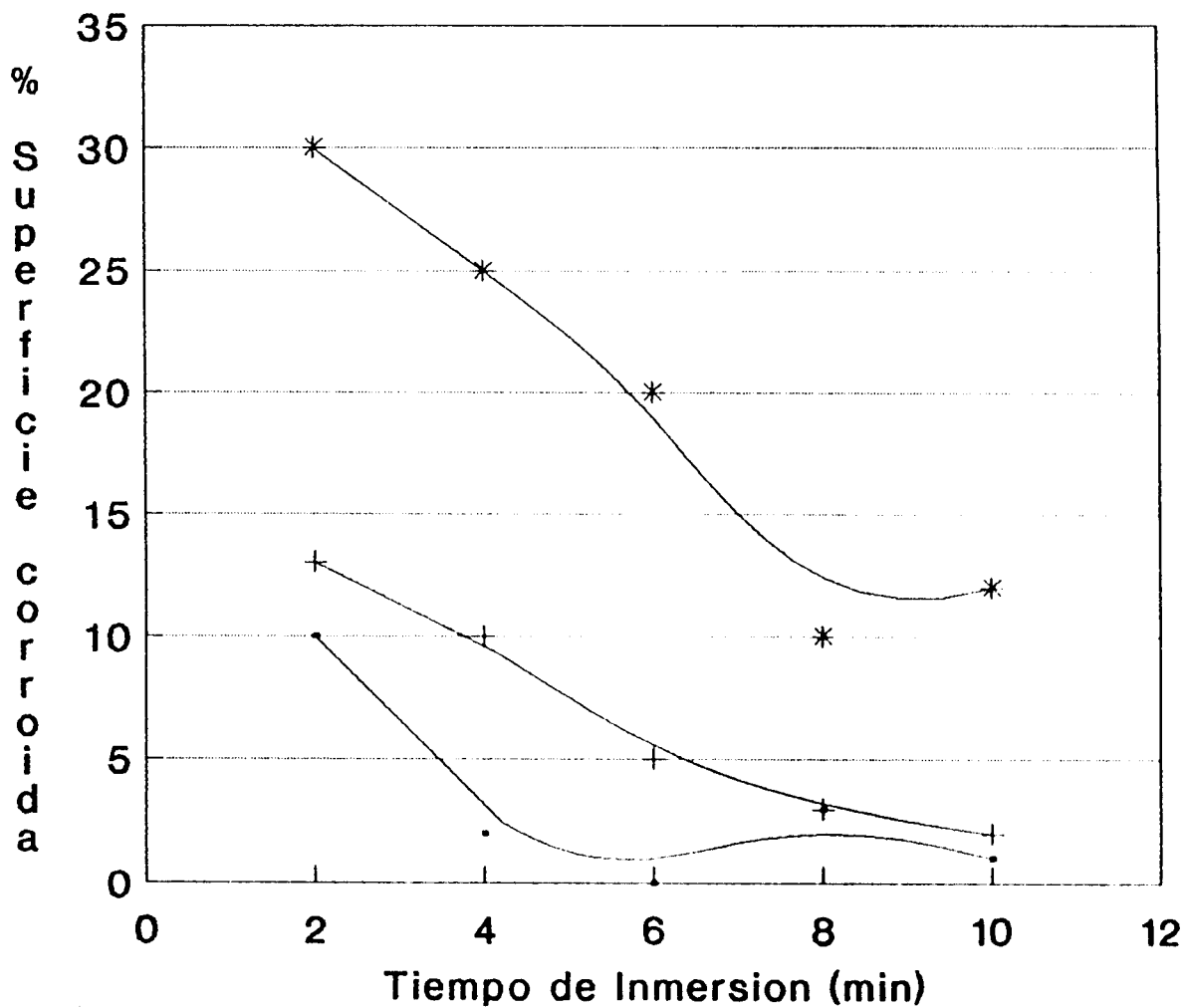
4 HORAS NIEBLA SALINA

Pavonado a 450 C en KNO₃ - NaOH (3/1)



4 HORAS NIEBLA SALINA

Pavonado a 500 C en KNO₃ - NaOH (3/1)



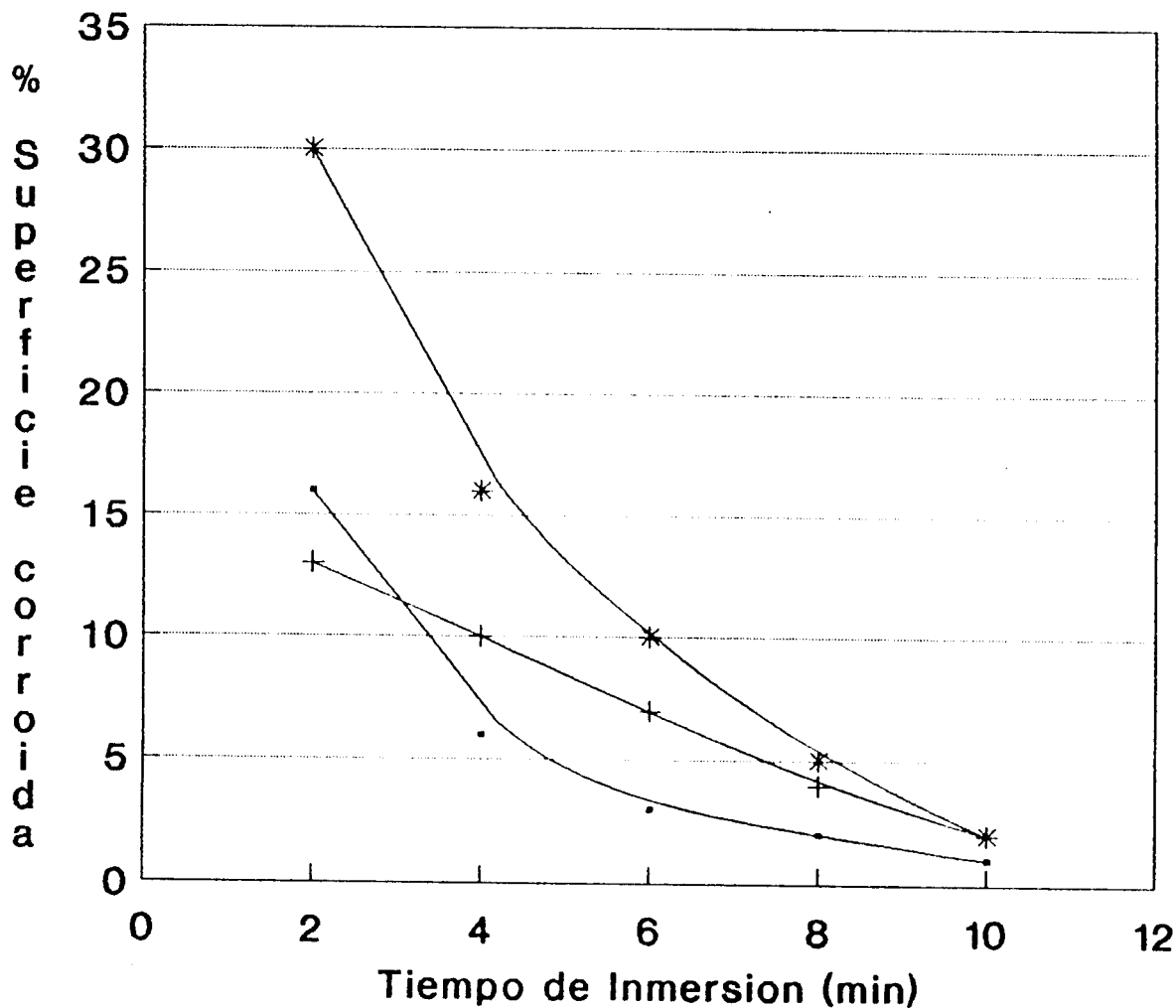
—●— IMPREG. SAE 30

—+— SECADA AL AMB

—*— TEMPL. EN AGUA

4 HORAS NIEBLA SALINA

Pavonado a 550 C en KNO₃ - NaOH (3/1)



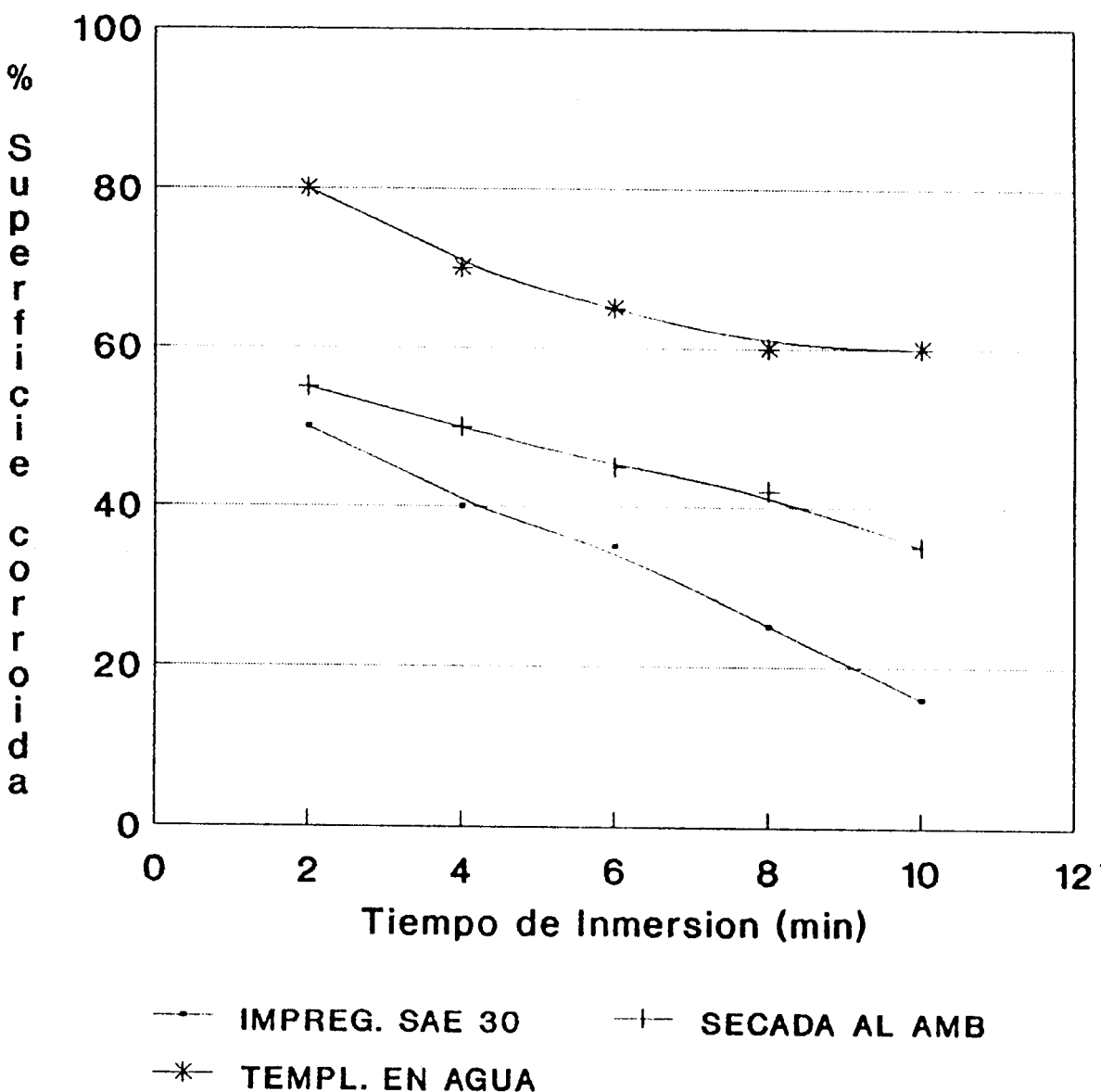
—•— IMPREG. SAE 30

—+— SECADA AL AMB

—*— TEMPL. EN AGUA

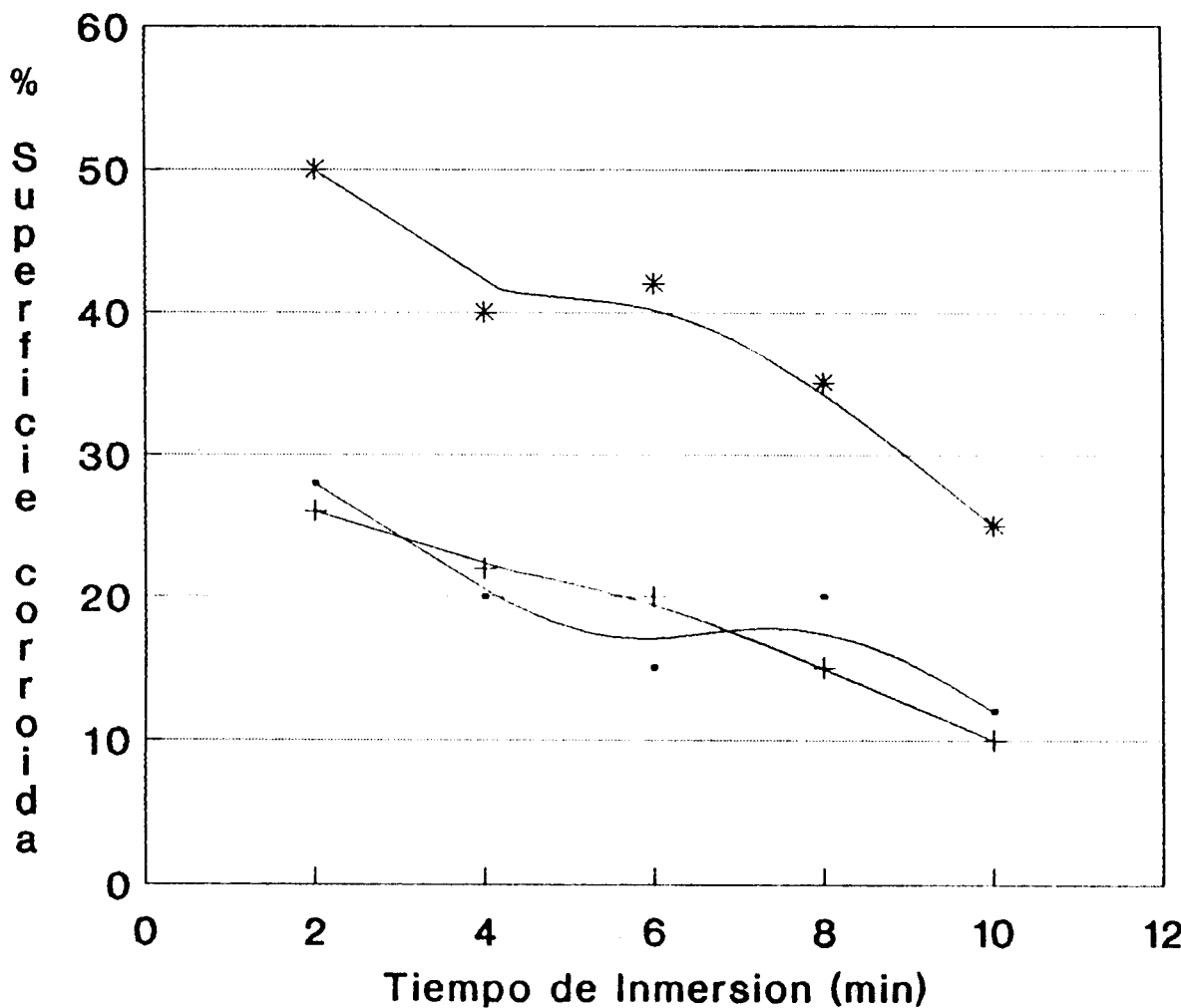
4 HORAS NIEBLA SALINA

Pavonado a 400 C en KNO₃ - NaOH (3/1)



5 HORAS NIEBLA SALINA

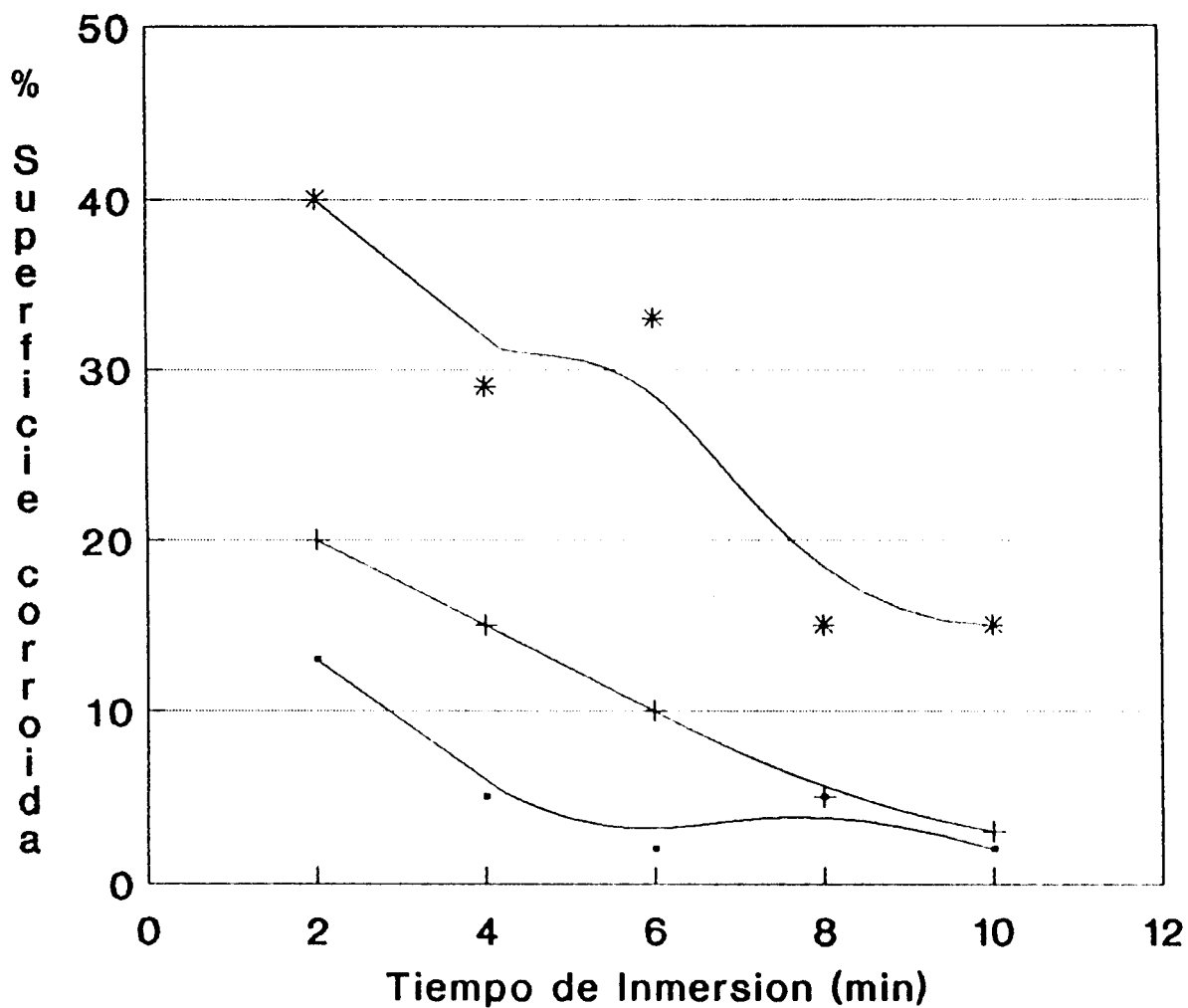
Pavonado a 450 C en KNO₃ - NaOH (3/1)



—●— IMPREG. SAE 30 —+— SECADA AL AMB
 —*— TEMPL. EN AGUA

5 HORAS NIEBLA SALINA

Pavonado a 500 C en KNO₃ - NaOH (3/1)



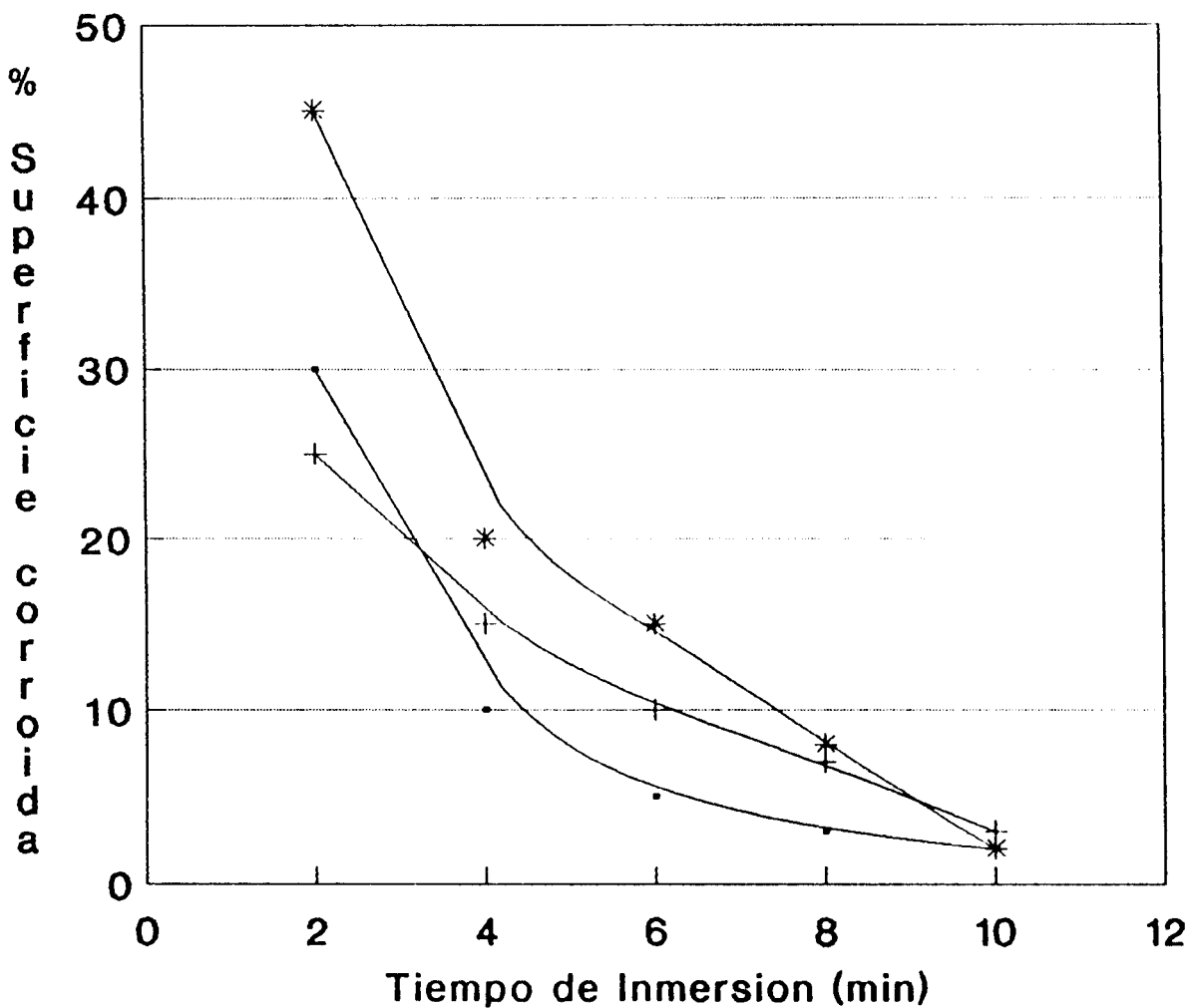
--- IMPREG. SAE 30

--- SECADA AL AMB

*--- TEMPL. EN AGUA

5 HORAS NIEBLA SALINA

Pavonado a 550 C en KNO₃ - NaOH (3/1)



—●— IMPREG. SAE 30

—+— SECADA AL AMB

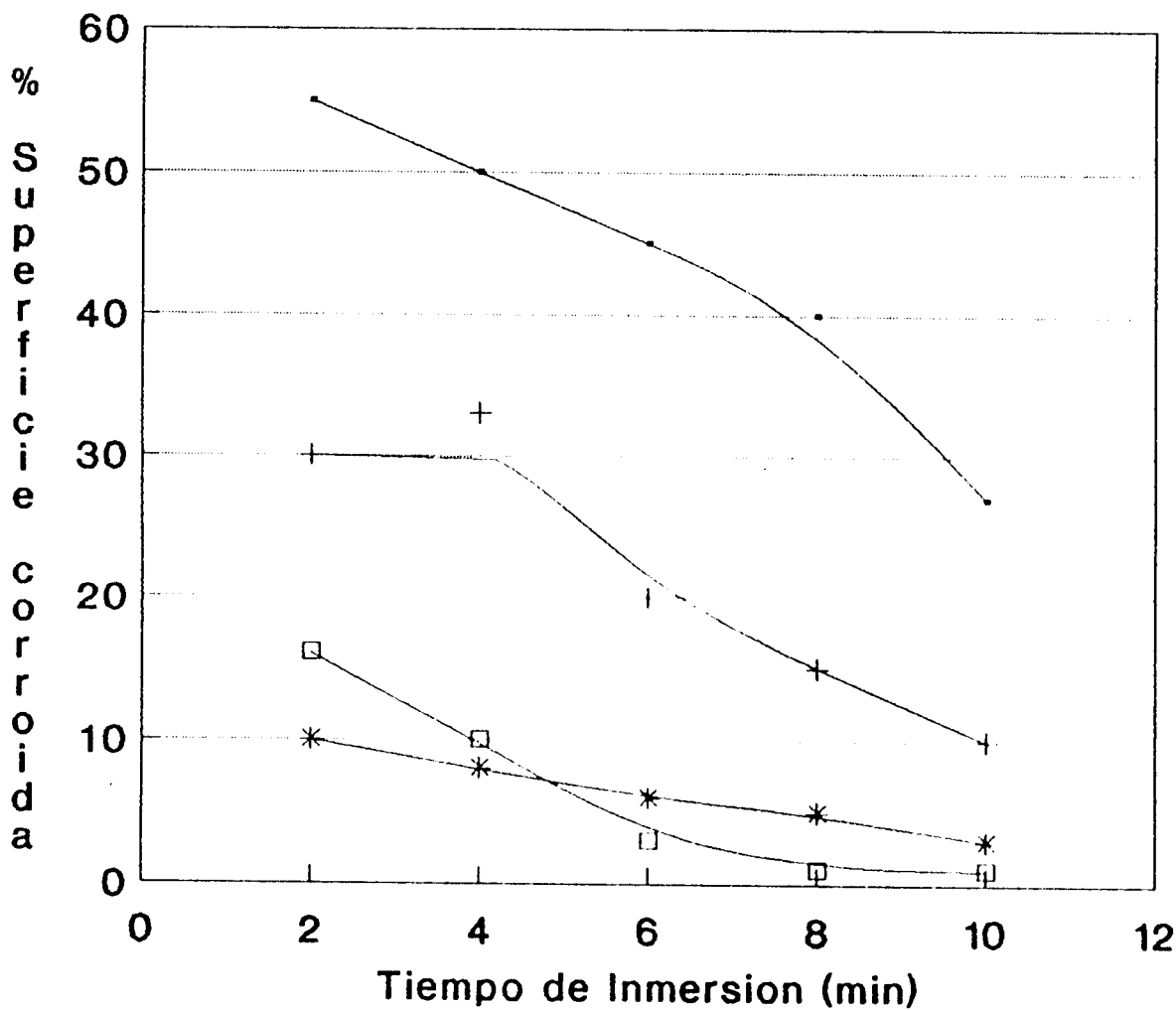
—*— TEMPL. EN AGUA

5 HORAS NIEBLA SALINA

A P E N D I C E I I I

Pavonado

en KNO_3 - NaOH (3/1)

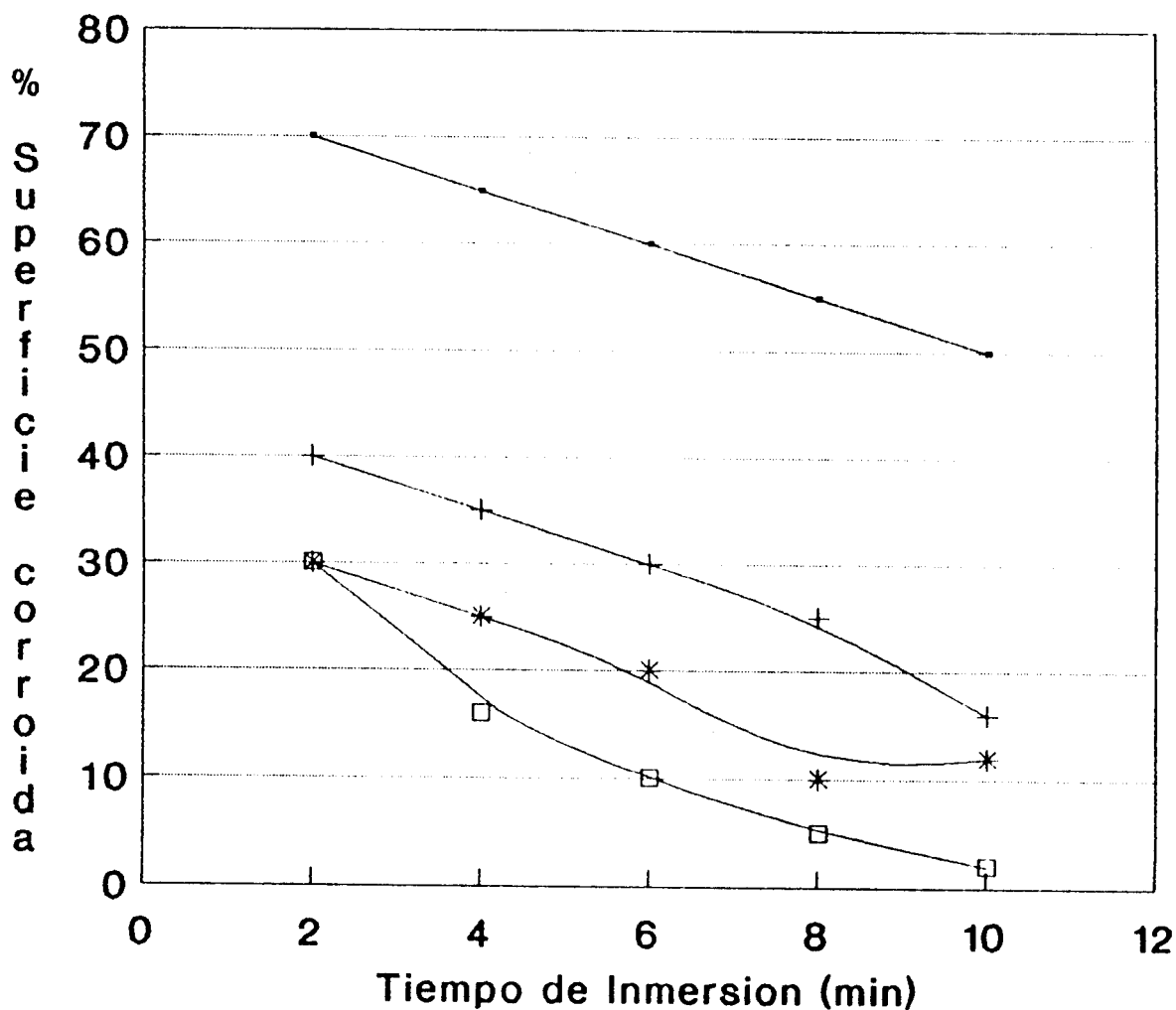


—●— 400 GRADOS C —+— 450 GRADOS C
 —*— 500 GRADOS C —□— 550 GRADOS C

3 HORAS NIEBLA SALINA / TEMP. EN AGUA

Pavonado

en KNO_3 - NaOH (3/1)

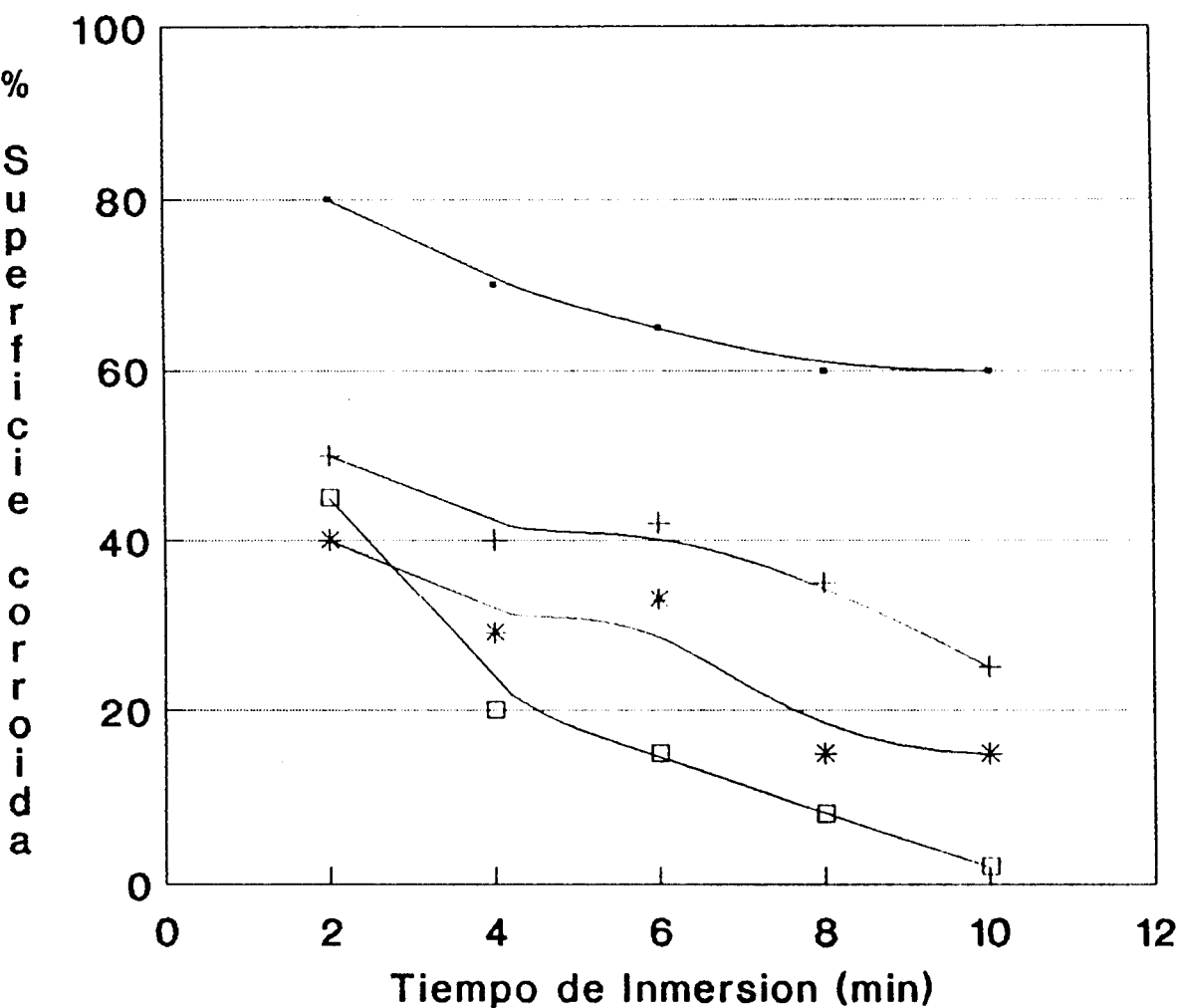


—●— 400 GRADOS C —+— 450 GRADOS C
—*— 500 GRADOS C —□— 550 GRADOS C

4 HORAS NIEBLA SALINA / TEMP. EN AGUA

Pavonado

en $\text{KNO}_3 - \text{NaOH}$ (3/1)



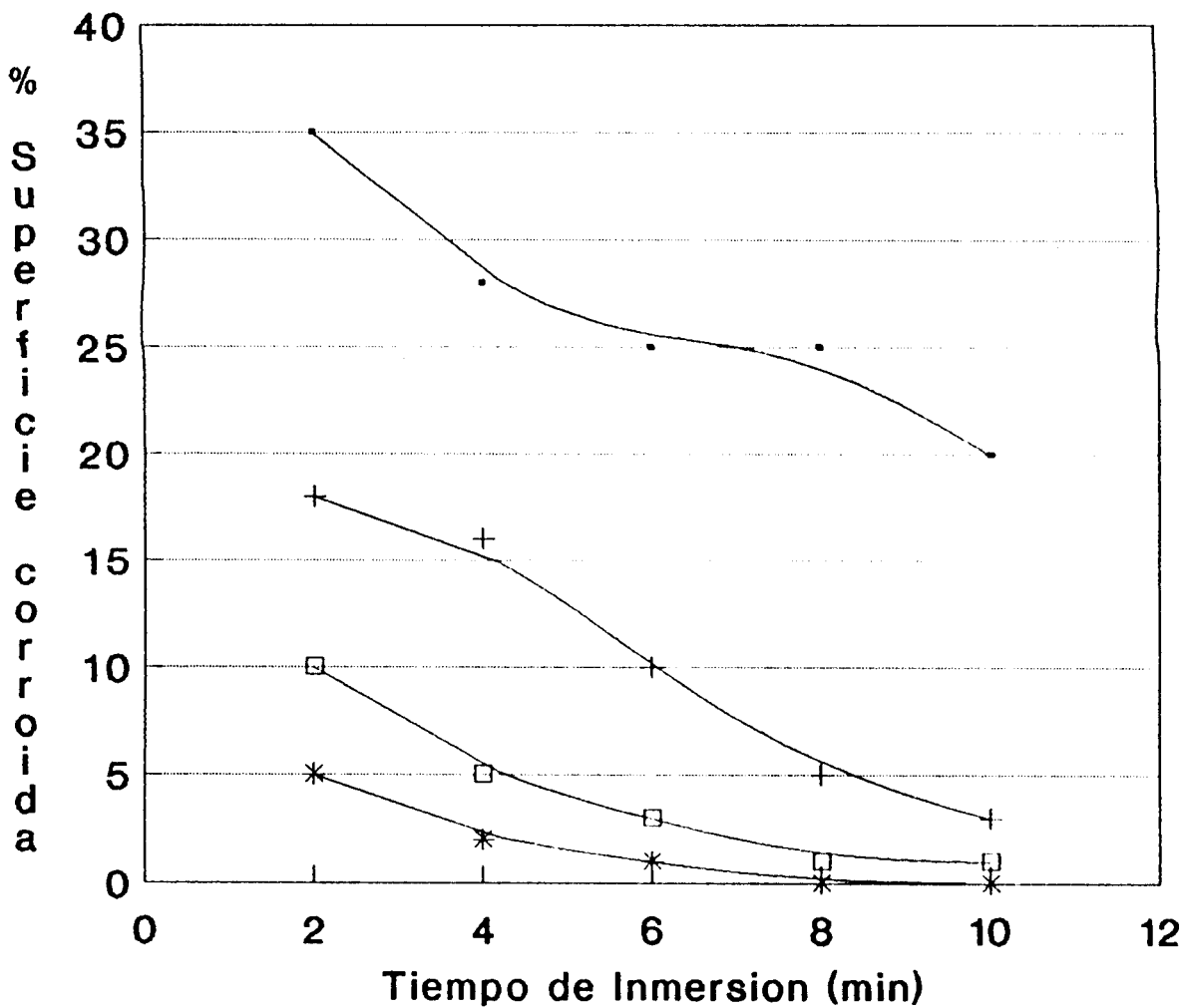
-•- 400 GRADOS C -+ 450 GRADOS C
 -* 500 GRADOS C -□ 550 GRADOS C

5 HORAS NIEBLA SALINA / TEMP. EN AGUA



Pavonado

en $\text{KNO}_3 - \text{NaOH}$ (3/1)



—●— 400 GRADOS C

—+— 450 GRADOS C

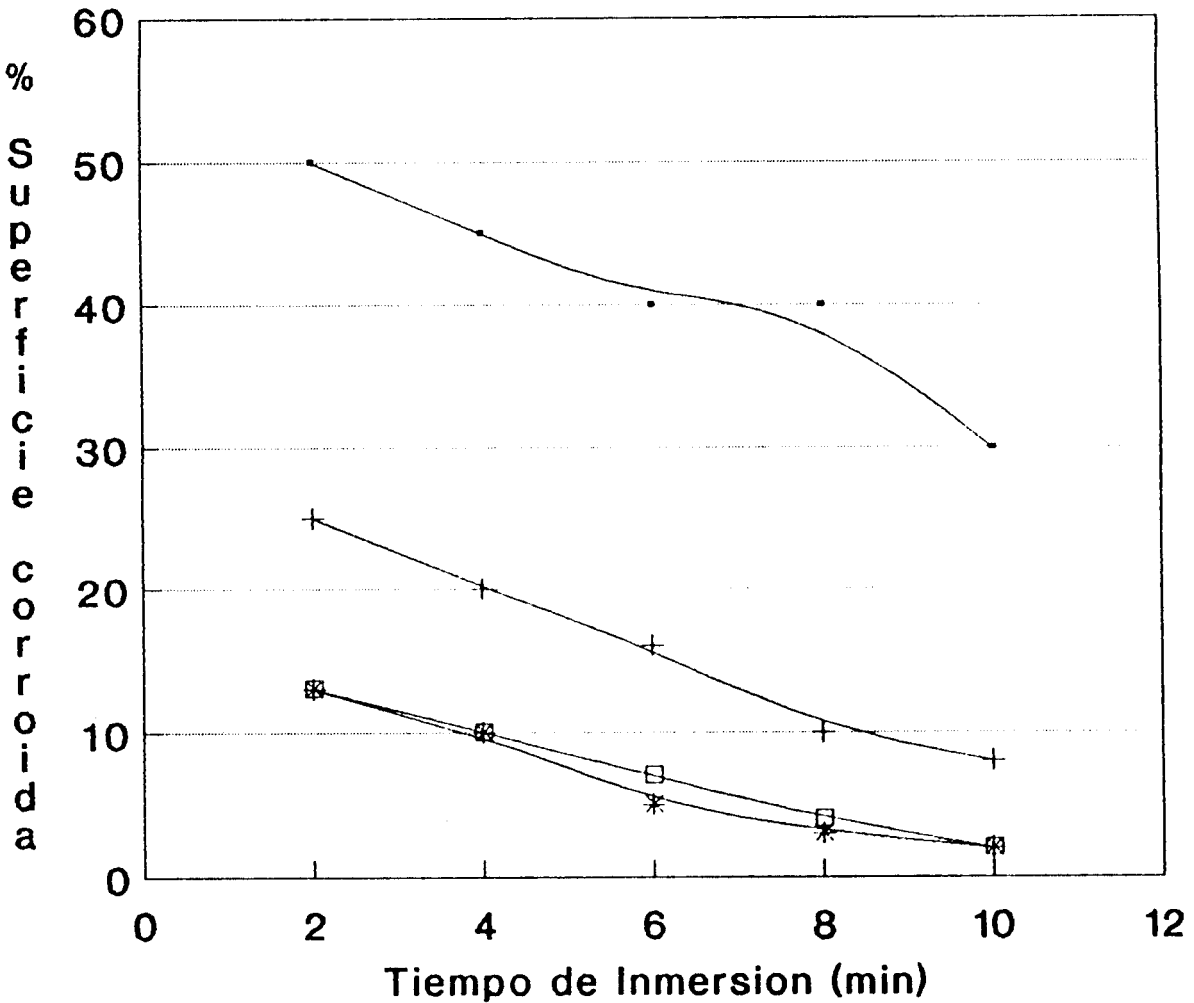
—*— 500 GRADOS C

—□— 550 GRADOS C

3 HORAS NIEBLA SALINA / SEC. AL AMBIENTE

Pavonado

en KNO_3 - NaOH (3/1)



—●— 400 GRADOS C

—+— 450 GRADOS C

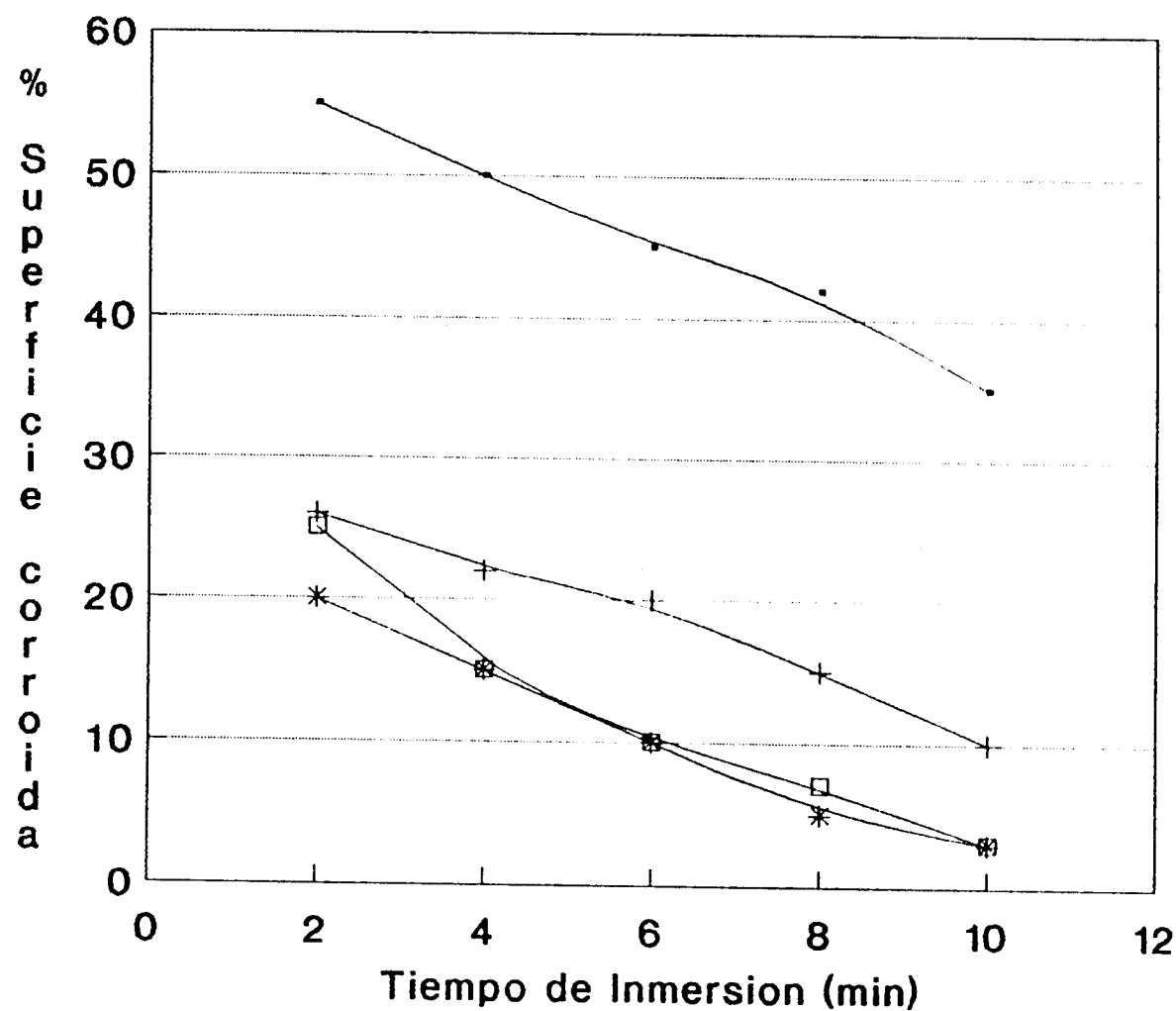
—*— 500 GRADOS C

—□— 550 GRADOS C

4 HORAS NIEBLA SALINA / SEC. AL AMBIENTE

Pavonado

en KNO_3 - NaOH (3/1)



—●— 400 GRADOS C

—+— 450 GRADOS C

—*— 500 GRADOS C

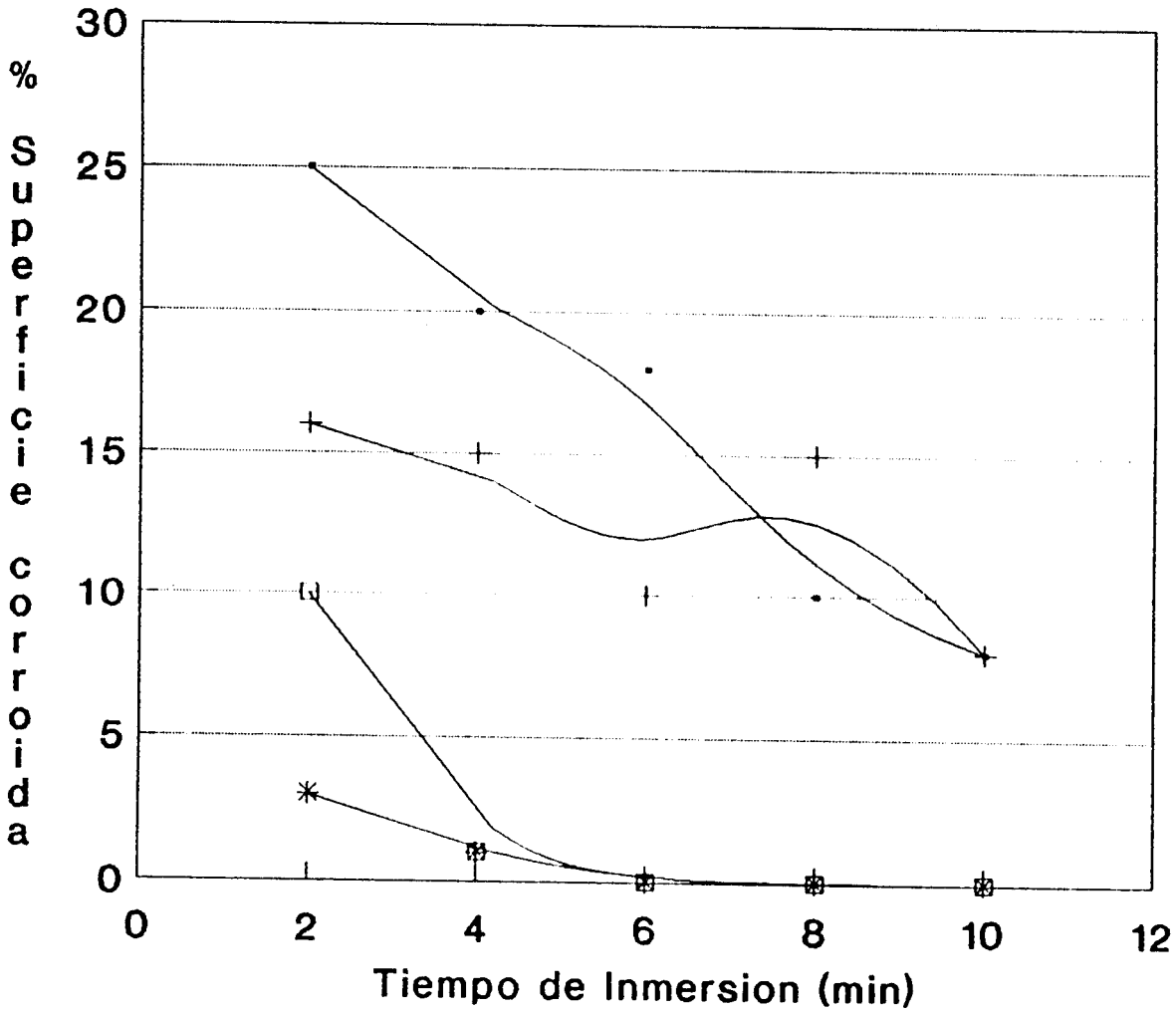
—□— 550 GRADOS C

5 HORAS NIEBLA SALINA / SEC. AL AMBIENTE



Pavonado

en $\text{KNO}_3 - \text{NaOH}$ (3/1)

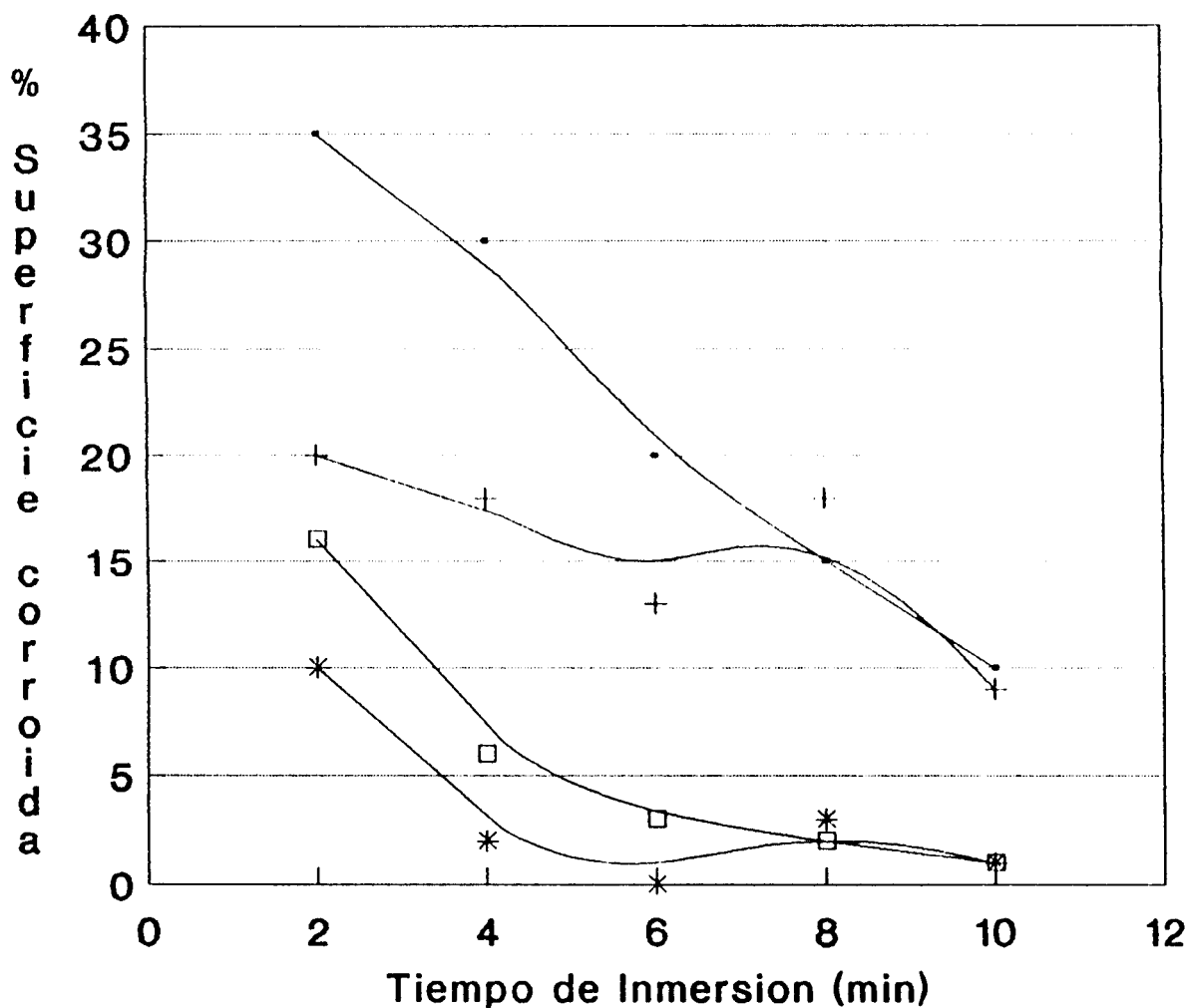


—●— 400 GRADOS C —+— 450 GRADOS C
 —*— 500 GRADOS C —□— 550 GRADOS C

3 HORAS NIEBLA SALINA / IMPREG. SAE 30

Pavonado

en $\text{KNO}_3 - \text{NaOH}$ (3/1)

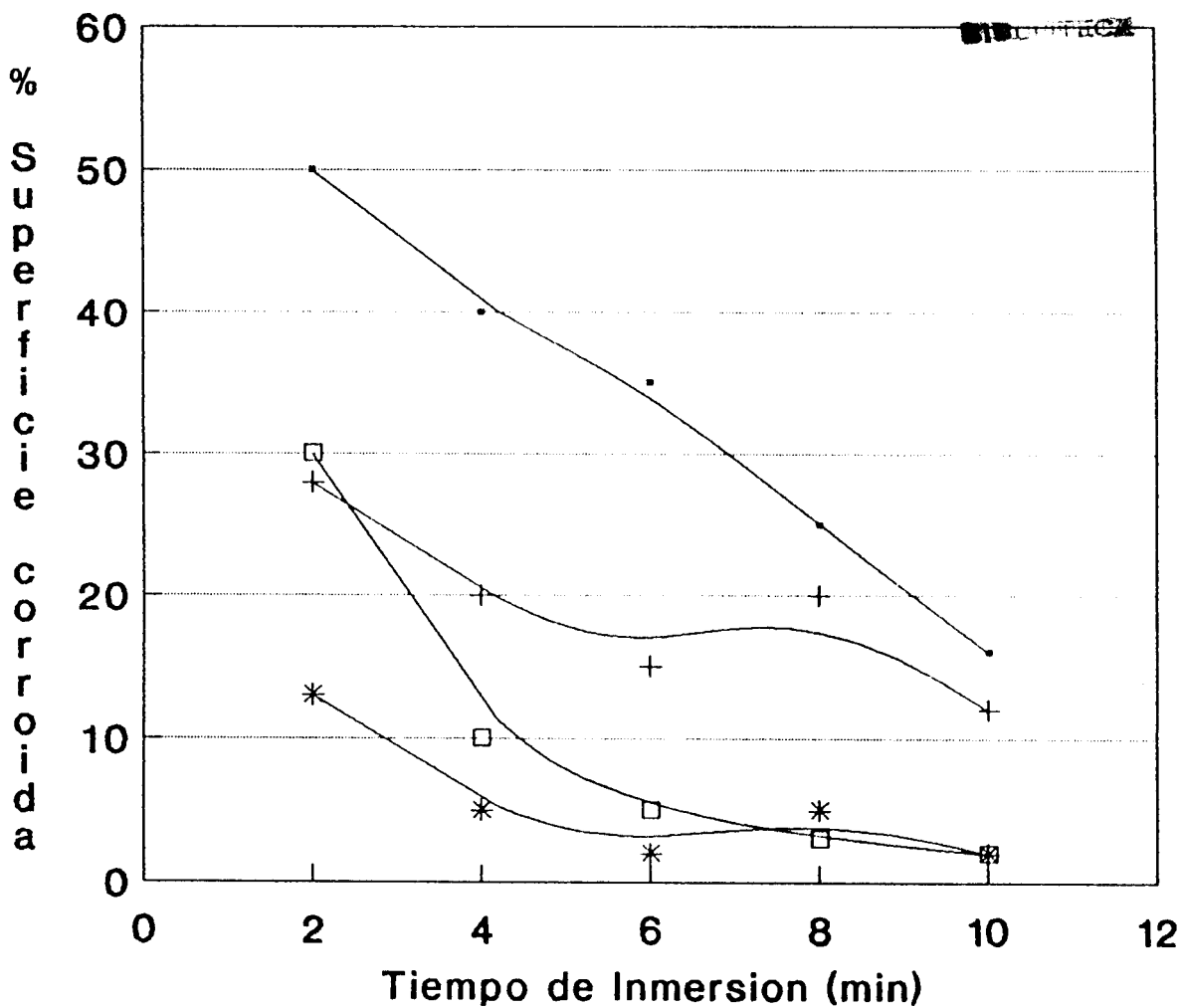


-•- 400 GRADOS C -+- 450 GRADOS C
 -* 500 GRADOS C -□- 550 GRADOS C

4 HORAS NIEBLA SALINA / IMPREG. SAE 30

Pavonado

en $\text{KNO}_3 - \text{NaOH}$ (3:1)



—●— 400 GRADOS C

—+— 450 GRADOS C

—*— 500 GRADOS C

—□— 550 GRADOS C

5 HORAS NIEBLA SALINA / IMPREG. SAE 30

BIBLIOGRAFIA

1. • Peré Molera Solá, Recubrimientos de los Metales, (Marcombo 1989).
2. M. Martín / A. Caballero / M.A. Guillen / S. Feliú, "Propiedades Protectoras de la Capa de Pavón en Relación con las Condiciones de su Obtención", Revista de Metalurgia, Vol 8, No 3 (Mayo - Junio 1972), pp. 179 -183.
3. H. Silman, Acabado Químico y Galvanoplástico de los metales, (Brooklyn, Chemical Publishing, 1978).
4. F.A. Lowenheim, Electroplating - Fundamentals or Surface Finishing, (Hackensack, 1988).
5. Hiscox y Hopkins, El Recetario Industrial, (Mc Graw Hill, 1982).
6. M. Paredes, "Resistencia a la Corrosión en Superficies Protegidas por Pinturas Marinas en la Atmósfera Controlada" (Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1990).
7. Nace, Corrosion Control by Organic Coating, (Reading Houston Texas, Henry Leidheiser Jr, 1981).
8. D. Peñafiel, "Galvanización. Preparación de Superficies" (Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1980).
9. M. Martín / A. Caballero / M.A. Guillen / S. Feliú. "Influencia de las Impregnaciones Posteriores al Pavonado en el Comportamiento Frente a la

Corrosión", Revista de Metalurgia, Vol 8, No 5
(Septiembre - Octubre 1972), pp. 337 -342.