



T  
620.11223  
V175  
e2



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**  
*FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA*

**EVALUACION DE LAS PINTURAS EN MEDIOS SUMERGIDOS Y  
SEMISUMERGIDOS**

( PROYECTO MICAT )

**PROYECTO DE GRADO**  
Previo a la Obtención del Título de

**INGENIERO MECANICO**

*PRESENTADO POR:*

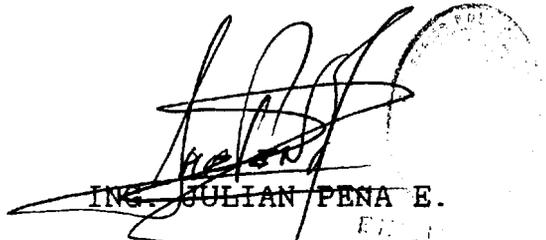
**Héctor Eduardo Valle Garay**

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

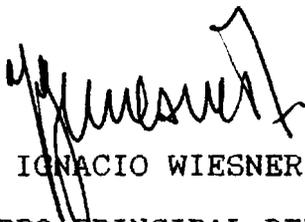
**1990**



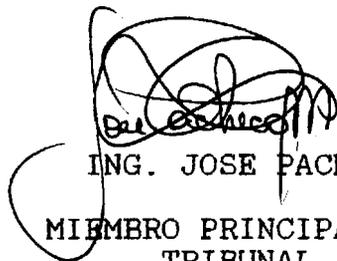
ING. NELSON CEVALLOS  
DECANO  
FAC. ING. MECANICA



ING. JULIAN PENA E.  
DIRECTOR DE  
PROYECTO DE GRADO



ING. IGNACIO WIESNER  
MIEMBRO PRINCIPAL DEL  
TRIBUNAL



ING. JOSE PACHECO  
MIEMBRO PRINCIPAL DEL  
TRIBUNAL

DECLARACION EXPRESA

" La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en este Proyecto de Grado, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Tópico de graduación)

Hector Valle G  
HECTOR EDUARDO VALLE GARAY

## AGRADECIMIENTO

A Dios, por su fidelidad.

A mi madre por su apoyo

moral y material.

Al Ing. JULIAN PEÑA ESTRELLA,

por la gran ayuda brindada

para la culminación de éste

proyecto.

DEDICATORIA

A mi Madre

A mis Hermanos

## RESUMEN

Este trabajo consiste de dos etapas:

En la primera parte se somete a tres sistemas de pinturas aplicados sobre acero comercial, a los ensayos de inmersión total y parcial en agua de mar. A las muestras de acero previamente se las preparó superficialmente hasta un grado de metal blanco usando procedimientos industriales de limpieza, esto con el objeto de determinar sobre que tipo de superficie los sistemas de pintura responden mejor.

La investigación se llevó a cabo usando análisis comparativo respecto de patrones visuales, siguiendo técnicas de ensayo normalizadas que ofrecen resultados confiables, y se obtuvieron resultados que garantizan a las pinturas como una forma adecuada de protección contra la corrosión.

En la segunda parte se estudia la forma como se desarrolla la corrosión en los aceros (SAE 1010 y ASTM A131), al ser sometidos a pruebas de inmersión total y parcial en agua de mar. Mediante el método gravimétrico se determinó la pérdida de peso, además se realizó análisis visual y

metalográfico para establecer la destrucción sufrida en los aceros examinados.

Los sistemas examinados son dos Epoxicos y uno con base Alquitrana, a los cuales en los capítulos posteriores se los denominará sistema uno, dos y tres respectivamente.

El sistema uno (Epóxico) y los sistemas dos y tres (Epóxico y Alquitrán de Hulla), pertenecen a proveedores diferentes.

Todos los sistemas anteriores fueron recomendados por los distribuidores para ser aplicados sobre partes que van a trabajar total o parcialmente sumergidos en agua de mar.

## INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN .....	VI
INDICE GENERAL.....	VIII
INDICE DE FIGURAS.....	X
INDICE DE TABLAS.....	XIII
NOMENCLATURA.....	XIV
INTRODUCCION.....	16
CAPITULO I LA CORROSION EN MEDIOS SUMERGIDOS.....	18
1.1 La naturaleza y diagnostico de la corrosión en medios sumergidos.....	18
1.2 Influencia de los diferentes tipos de la corrosión en los aceros comerciales.....	28
1.3 Los recubrimientos orgánicos y sintéticos como forma de protección.....	32
1.4 Ensayos acelerados por inmersión total y parcial.....	40
CAPITULO II INGENIERIA DE PROYECTO.....	44
2.1 Determinación del procedimiento experimental.....	44
2.2 Construcción de equipos.....	48
2.3 Preparación de las muestras a ensayar.....	51

	Pág
2.4 Control de las variables del examen.....	52
2.5 Inspección periódica de las muestras y toma de datos.....	52
2.6 Tablas de datos .....	57
CAPITULO III EVALUACION DE RESULTADOS.....	59
3.1 Determinación de la razón de corrosión.....	59
3.2 Determinación del tipo más común de corrosión.....	64
3.3 Determinación de la influencia de la corrosión en las propiedades mecánicas y características físicas.....	67
3.4 Determinación de las fallas más comunes en los recubrimientos examinados según el tiempo de exposición y el acabado superficial.....	68
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	86
APENDICE.....	91
BIBLIOGRAFIA.....	95

## INDICE DE FIGURAS

Fig.	Pág.
1 Comportamiento de la curva de polarización catódica.....	22
2 Ilustración esquemática del funcionamiento de una pila de corrosión.....	24
3 Corrosión en una columna introducida en el fondo del mar.....	31
4 Esquema básico del ensayo de inmersión parcial....	41
5 Equipo utilizado para los ensayos.....	50
6 Formato de registro para control de variables....	53
7 Formato de registro para control de daños.....	56
8 Razón de corrosión en función del tiempo de exposición para el acero SAE 1010.....	62
9 Razón de corrosión en función del tiempo de exposición para el acero ASTM A131.....	63
10 Formas de corrosión presentes en el acero SAE 1010 y en el acero ASTM A131 sometidos al ensayo de inmersión total.....	65

Fig.	Pág.
11 Formas de corrosión presentes en el acero SAE 1010 y en el acero ASTM A131 sometidos al ensayo de inmersión parcial.....	66
12 Apariencia general en función del tiempo de exposición, (inmersión total, granallado).....	70
13 Color en función del tiempo de exposición, (inmersión total, granallado).....	71
14 Brillo en función del tiempo de exposición, (inmersión total, granallado).....	72
15 Cambio de color en función del tiempo de de exposición, (inmersión total, granallado).....	73
16 Apariencia general en función del tiempo de exposición, (inmersión parcial, granallado).....	74
17 Color en función del tiempo de exposición, (inmersión parcial, granallado) .....	75
18 Brillo en función del tiempo de exposición, (inmersión parcial, granallado) .....	76
19 Cambio de color en función del tiempo de de exposición, (inmersión parcial, granallado).....	77
20 Apariencia general en función del tiempo de exposición, (inmersión total, arenado).....	78
21 Color en función del tiempo de exposición, (inmersión total, arenado).....	79
22 Brillo en función del tiempo de exposición, (inmersión total, arenado).....	80

Fig.	Pág.
23 Cambio de color en función del tiempo de de exposición, (inmersión total, arenado).....	81
24 Apariencia general en función del tiempo de exposición, (inmersión parcial, arenado).....	82
25 Color en función del tiempo de exposición, (inmersión parcial, arenado).....	83
26 Brillo en función del tiempo de exposición, (inmersión parcial, arenado).....	84
27 Cambio de color en función del tiempo de de exposición, (inmersión parcial, arenado).....	85

## INDICE DE TABLAS

Tabla	Pág.
I Factores que producen fallas por corrosión.....	26
II Valores medios de penetración de ataque.....	30
III Tipos de aglutinante y su forma de curado.....	35
IV Escala y descripción del grado de daño.....	55
V Valores promedio de daño (inmersión parcial, granallado).....	57
VI Valores promedio de daño (inmersión total, granallado).....	57
VII Valores promedio de daño (inmersión parcial, arenado).....	58
VIII Valores promedio de daño (inmersión total, arenado).....	58
IX Datos y resultados para el acero SAE 1010.....	61
X Datos y resultados para el acero ASTM A131.....	61
XI Valores promedio de dureza de los aceros examinados.....	68

## NOMENCLATURA

A	=	Area
ASTM	=	Sociedad Americana para Ensayos de Materiales
°C	=	Grado centígrado
cm <sup>2</sup>	=	Centímetro cuadrado
cm <sup>3</sup>	=	Centímetro cúbico
dm	=	Decímetro
dm <sup>2</sup>	=	Decímetro cuadrado
Fig.	=	Figura.
gr	=	Gramo
hr	=	Hora
HR	=	Humedad relativa
m	=	Metros
mdd	=	Miligramo por decímetro cuadrado por día
min	=	Minutos
mil	=	Milésima de pulgadas
ml	=	Mililitros
mpy	=	Milésima de pulgada por año
pH	=	Potencial de Hidrógeno
Pag.	=	Página
psi	=	Libras por pulgadas cuadradas
S 1	=	Sistema uno
S 2	=	Sistema dos

S 3 = Sistema tres

t = Tiempo

W = Peso

TEMP. = Temperatura

## INTRODUCCION

Las pinturas ofrecen la manera más versátil de proteger un metal contra la corrosión, ya que no existe superficie a la que no pueda ser aplicada alguna forma de recubrimiento de pintura, si se exceptúan las destinadas a soportar temperaturas muy elevadas. El total de superficies metálicas protegidas por medio de pinturas es muy superior al conjunto de superficies protegidas con todos los demás tipos de recubrimientos. Se ha probado que por cada 100 m<sup>2</sup> de superficie metálica expuesta a la corrosión, unos 85-90 m<sup>2</sup> están protegidos por revestimientos de pintura.

Aunque con la aplicación de un recubrimiento de pintura se persigue aislar la superficie metálica del medio corrosivo, muy raras veces se consigue plenamente ya que todas las películas orgánicas son permeables en cierto grado, aparte de que muchas tienen o adquieren defectos físicos ocasionales. Por consiguiente, las propiedades de barrera mecánica de las pinturas se completan con la adición de sustancias capaces de inhibir o pasivar la superficie del metal frente al medio ambiente. El objetivo del presente trabajo, es determinar un procedimiento experimental que permita realizar una evaluación segura de las pinturas

existentes en el mercado nacional, recomendadas para ser aplicadas sobre elementos que van a trabajar total o parcialmente sumergidos en agua de mar, ya que en los actuales momentos dicho procedimiento de control de calidad no existe.

## CAPITULO I

### LA CORROSION EN MEDIOS SUMERGIDOS

#### 1.1. LA NATURALEZA Y DIAGNOSTICO DE LA CORROSION EN MEDIOS SUMERGIDOS.

Naturaleza.- La causa básica de la corrosión es la inestabilidad de los metales en sus formas refinadas para mantenerse en éstas condiciones requieren una energía libre mayor y por esta razón, tienden a volver a su estado natural de óxidos; ya que éste estado es más estable debido a que requiere una menor energía libre.

La corrosión no es sino, el flujo de electricidad entre ciertas áreas de una superficie metálica a través de una solución conductora. Esto causa la destrucción del metal o área que actúa como ánodo de donde sale la corriente para entrar a la solución.

La solución que conduce la corriente es un electrolito, es decir un líquido que contiene iones.

Se debe recordar que los iones son átomos o grupos de átomos en solución cargados electricamente. Por ejemplo, el agua pura, contiene iones de hidrógeno positivo e iones de hidróxido (OH) cargados negativamente en igual concentración, la corriente eléctrica es llevada pues a través de la solución por movimiento de iones, las sustancias ácidas o alcalinas son considerablemente más ionizados que el agua por eso son mejores electrolitos.

Por lo tanto, para que se produzca corrosión, debe haber siempre un electrólito que contenga muchos iones y dos electrodos. Estos electrodos pueden ser dos metales diferentes o pueden ser áreas diferentes de la misma pieza metálica. En cualquier caso, debe existir una diferencia de potencial para que la electricidad fluya entre ellas. Un alambre o camino metálico es necesario para completar el circuito para el flujo de electrones.

Durante la corrosión, en el ánodo ocurre lo siguiente: átomos cargados positivamente dejan la superficie sólida y entran en la solución como iones positivos, mientras cargas negativas correspondientes son dejadas en forma de electrones en el metal, las cuales hacen al ánodo negativo con respecto al electrolito, estos electrones viajan hacia el cátodo

para neutralizar los iones positivos. La pérdida de iones en el ánodo se llama oxidación y la ganancia de electrones en el cátodo se llama reducción.

En el caso del hierro, cada átomo de hierro que pasa a ser ion con dos cargas positivas deja libre dos electrones que viajan a través del metal hacia el cátodo. Mientras esto sucede en el ánodo, el cátodo está recibiendo electrones a través del metal, los cuales neutralizan a los iones de hidrógeno cargados positivamente que han llegado a la superficie del cátodo a través del electrólito. Al perder su carga los electrones, los iones positivos vuelven a ser átomos neutros y pueden combinarse entre ellos para formar hidrógeno gaseoso ( $H_2$ ). Además se puede formar  $(OH)^-$  y producirse una acumulación de  $(OH)^-$  que aumenta la alcalinidad en el cátodo o hace a la solución menos ácida.

La oxidación en el ánodo y reducción en el cátodo se producirán al mismo tiempo y a equivalentes tasas, pero la corrosión o autodesintegración ocurrirá casi siempre en las áreas que actúan como ánodos.

Si se pone una pieza de hierro en una solución de ácido clorhídrico se observa una fuerte formación de burbujas de hidrógeno, bajo estas condiciones el

metal se corroerá rápidamente. La usual disolución del metal ocurre solamente en las zonas anódicas, con burbujas de hidrógeno que se forman en las zonas catódicas; aunque parezca que éstas emergen de toda la superficie, en realidad dichas burbujas se están produciendo en zonas catódicas bien definidas. Lo que sucede es que las áreas anódicas y catódicas se alternan de tiempo en tiempo, esto permite que la corrosión se produzca uniformemente.

Si se pudiera ver esto con un potente microscopio, se observaría muchas pequeñas áreas catódicas y anódicas en la superficie del metal. Hay muchas causas para que se formen éstas diferentes áreas tales como: inclusiones, heterogeneidades imperfecciones superficiales, orientación de granos, esfuerzos localizados, etc. Si se pudiera ver un solo ánodo y un solo cátodo en una vista gigante, se observaría electrones libres, debido a la formación de iones de hierro, fluyendo a través del metal desde el ánodo hacia el cátodo, donde ellos encontrarán los iones de hidrógeno en solución, los cuales actúan como aceptadores de electrones en la superficie catódica. El hidrógeno entonces aparece como un gas rodeando la superficie metálica. Este fenómeno ocurrirá siempre en electrolitos ácidos, sin embargo en electrolitos neutros como la solución de

cloruro de sodio , la evolución de hidrógeno gaseoso es muy lenta y la acumulación de una capa de hidrógeno en el metal disminuye la reacción por un proceso llamado polarización catódica (ver Fig. 1)

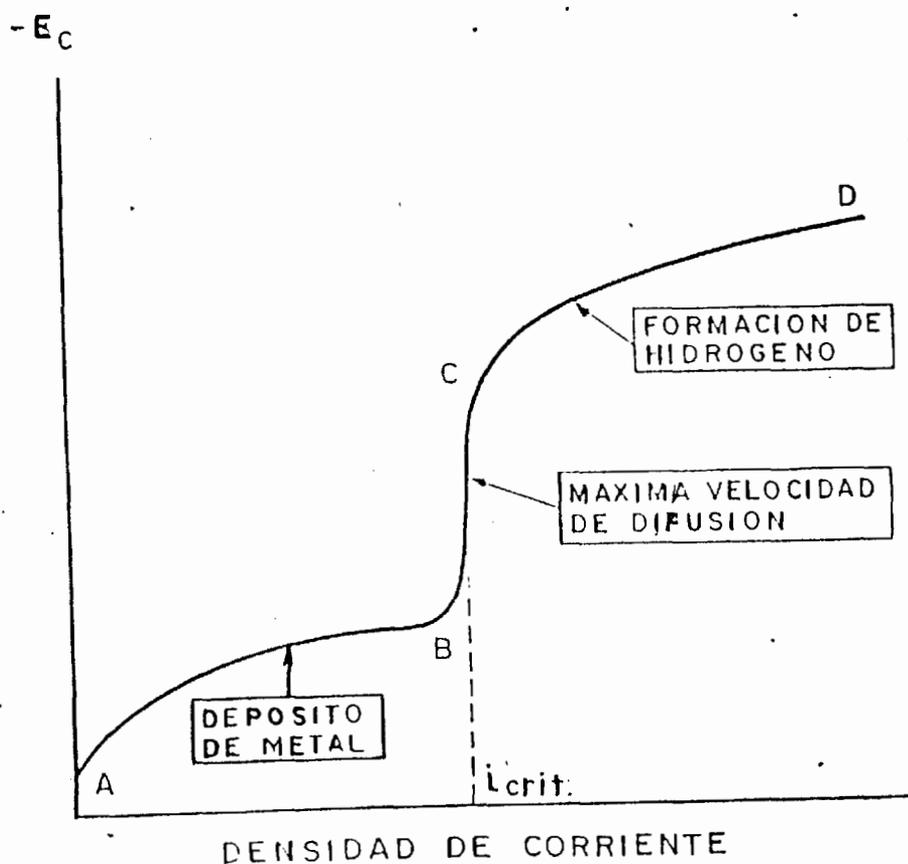
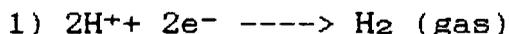


Fig. 1 .- Comportamiento de la curva de polarización catódica.

Sin embargo, el oxígeno disuelto en el electrólito puede combinarse con el hidrógeno acumulado para formar agua, disminuyendo la concentración de hidrógeno frente al cátodo produciendo su despolarización y permitiendo que la corrosión continúe. Esto quiere decir que la reacción catódica puede producir evolución de hidrógeno.



Los productos iniciales que se forman en el ánodo y en el cátodo generalmente intervienen en posteriores reacciones que finalmente forman los productos de corrosión comunes conocidos por nosotros.

Por ejemplo, para el caso del hierro en agua, los iones oxidrilo formados en las reacciones catódicas, al emigrar a través del electrólito hacia el ánodo, encuentra iones que se combinan para formar hidróxido ferroso, que al ser oxidado por el oxígeno en solución, forma el hidróxido férrico que precipita, éste es el producto de la corrosión comunmente conocido, (ver Fig. 2).

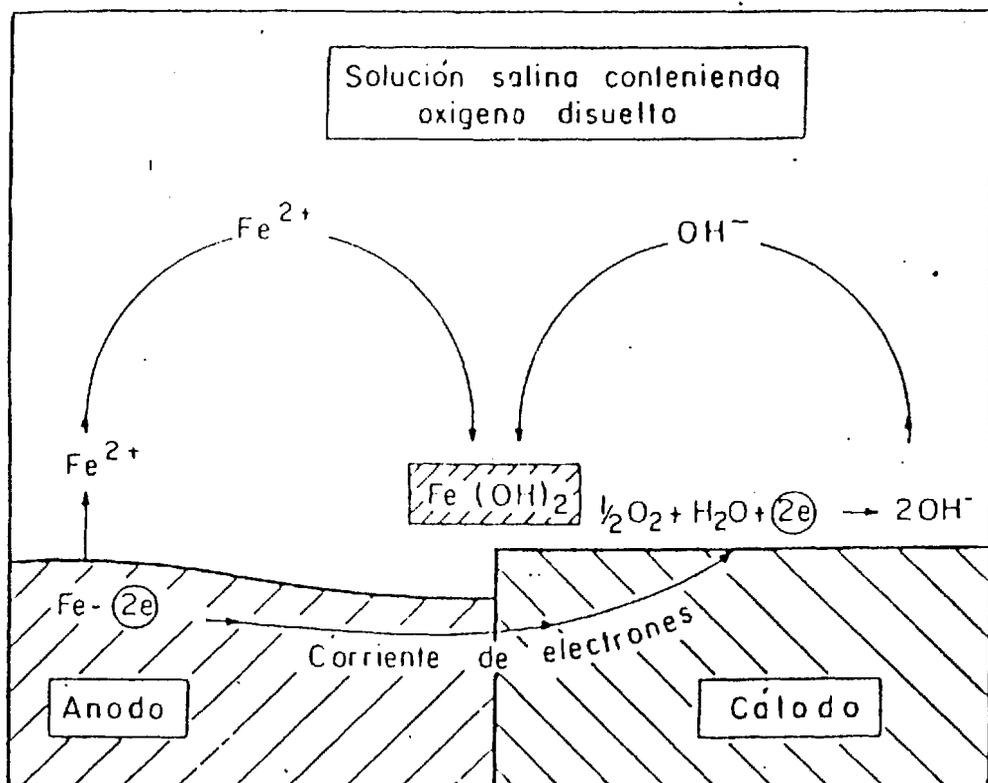


Fig. 2 .- Ilustración esquemática del funcionamiento de una pila de corrosión en agua de mar.

Diagnóstico.- Una vista panorámica de los varios tipos de problemas provenientes de la corrosión en los aceros sumergidos en agua de mar, se puede obtener revisando algunos casos históricos, esta revisión ubica los principales factores de las fallas dentro de tres categorías:

- Características del metal.
- Forma del medio.
- Detalles de diseño.

Una guía extra que puede servir en el análisis de falla es la tabla I, esta información se puede usar para anticipar posibles dificultades producidas por la corrosión.

TABLA I  
FACTORES QUE PRODUCEN FALLAS POR CORROSION

I MATERIALES	II FORMA DEL MEDIO	III DISEÑO
<p>1.- COMPOSICION O SELECCION FUERTE</p> <p>A) Mayor</p> <p>B) Menor</p> <p>C) Suceptible a formas pecu- liares de corrosión.</p> <p>2.- CONDICIONES FUERTES</p> <p>A) T.T. Impropio</p> <p>B) fabricación impropia</p>	<p>1.- TEMPERATURA</p> <p>2.- VELOCIDAD</p> <p>3.- OXIDACION MEDIA</p> <p>4.- IMPUREZAS</p> <p>5.- FACTORES ESPECIALES</p> <p>6.- MICRO Y MACRO ORGANISMOS</p> <p>7.- CORRIENTES EXTRANAS</p>	<p>1.- EMPAQUE</p> <p>2.- ESFUERZOS DEMASIADO ALTOS</p> <p>3.- TRAZADO IMPROPIO</p>

Al examinar los avances obtenidos, la posibilidad de que cualquiera de los factores listados puedan estar presentes en un diseño propuesto existe, por lo que la selección de materiales para una aplicación particular bajo condiciones de medios conocidos, se basa en el concepto de que una falla que puede originarse, se debe poder predecir y evitar. Al realizar esta predicción uno se debe preguntar:

¿La falla cuando o donde va a ocurrir?

¿Esta se va a extender rápidamente?

Se debe proceder con cuidado al predecir una falla que ocurrirá por corrosión cuando éstas incógnitas sean difíciles de resolver.

Los factores de costo también se deben tomar en cuenta dentro de la predicción. Las limitaciones de espacio impiden ilustrar todos los factores que permitirían realizar un mejor Diagnóstico.

La destrucción severa por una muy alta tasa de ataque uniforme ocurre raramente, fallas más frecuentes se pueden predecir a partir de resultados provenientes de alguna forma de ataque localizado, como son las picaduras, corrosión por empaque, corrosión galvánica, ataque intergranular, corrosión por fatiga

erosión por cavitación, corrosión selectiva de una fase o de un constituyente. Formas de corrosión que generalmente están presentes cuando el electrólito es agua de mar.

## 1.2 INFLUENCIA DE LOS DIFERENTES TIPOS DE CORROSION EN LOS ACEROS COMERCIALES.

En el agua de mar el proceso anódico de disolución del metal tiene lugar con suma facilidad, pues a la abundancia de electrólito se suma el hecho del elevado contenido de ion cloruro, que hace posible una elevada velocidad anódica con poca polarización.

En comparación con otros metales o aleaciones, el acero constituye una de los materiales de construcción menos caros, por lo cual es ampliamente utilizado frente al agua de mar. No solo se emplea en estructuras móviles o fijas dentro del mar sino también en conducciones y plantas industriales. El hierro y los aceros poco o medianamente aleados no se pasivan en agua salada, o tienden a perder su pasividad. Aún en el caso de acero de alta aleación, el estado pasivo no es totalmente estable, por lo que existe el riesgo de picaduras.

En el mar, el ataque generalizado muestra un

progreso casi rectilíneo con el tiempo, a pesar de la acumulación de los productos de corrosión o de incrustaciones marinas sobre la superficie metálica, sin embargo, en éste medio el acero sufre también ataque por picaduras, con velocidades locales de penetración mucho mayores. La presencia de cascari-lla de laminación sobre el acero especialmente si ocupa una gran porción del área expuesta, incrementa significativamente la velocidad de picado, ya que proporciona un área cotódica enorme para las pequeñas áreas anódicas de metal desnudo.

La mayoría de los metales de uso corriente se corro-en en el agua de mar secundados por el proceso cató-dico de reducción del oxígeno disuelto.

Bajo condiciones estáticas, o de suave agitación del electrólito, el proceso de corrosión permanece bajo control catódico, subordinado al transporte de oxí-geno hasta la superficie metálica. El control cató-dico resta importancia al efecto de composición del acero en la velocidad de corrosión por el agua de mar, que es, por termino medio, de 0.12 mm por año, en agua de mar no contaminada. En aguas contamina-das el ataque puede sobrepasar notablemente dicho valor debido a la superposición de otras acciones.

En la tabla II se muestran valores de penetración media del ataque, en mm/año, al cabo de dos años de inmersión en diferentes puntos geográficos.

TABLA II

PENETRACION MEDIA DEL ATAQUE AL CABO DE DOS AÑOS(8)

LUGAR DE INMERSION	ACERO(mm/año)
Barcelona	0.43
Cadiz	0.23
La Rochelle	0.18
Portsmouth	0.17
Miami	0.25
Drobak	0.11

La corrosión se mantiene a un nivel casi constante hasta profundidades apreciables, puesto que la agitación y convección proveen de agua de mar aireada y prácticamente saturada de oxígeno a tales zonas.

Por otro lado, la corrosión desciende de modo considerable sobre los objetos enterrados en el fondo del mar, ya que la falta de convección reduce extremadamente el suministro de oxígeno. Sin embargo, si la estructura se prolonga fuera del suelo marino, den-

tro del agua la aireación diferencial se podrá reflejar en una fuerte corrosión localizada sobre la porción enterrada del metal (ver Fig. 3).

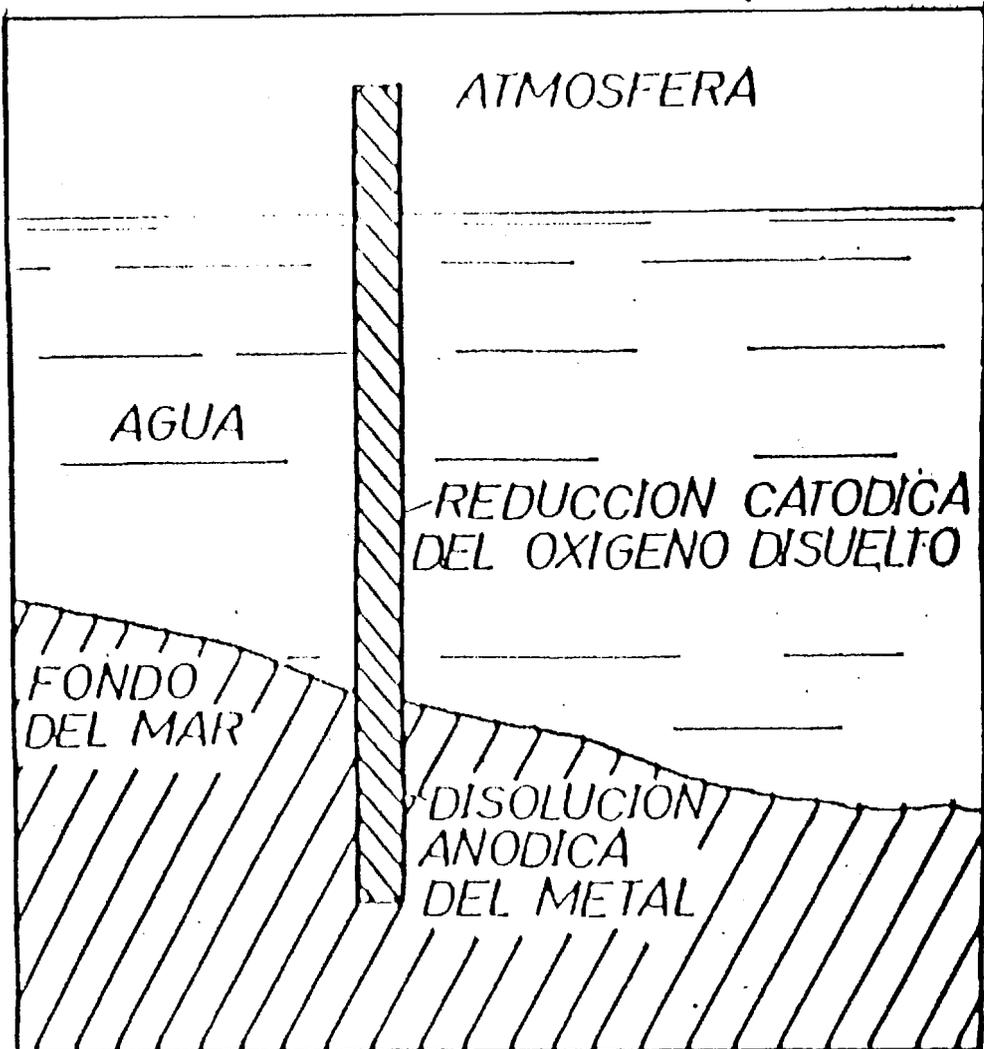


Fig. 3 .- Columna metálica introducida en el fondo del mar.

En las estructuras que sobresalen del mar, por ejemplo pilotes metálicos, los máximos efectos corrosivos se registran del lado de la atmósfera, en una zona solo algo por encima de la línea de agua, en la que el ataque puede ser unas tres a cinco veces más intenso que en condiciones de total inmersión; Este hecho se deja interpretar teniendo en cuenta la llegada más fácil de oxígeno al metal a través de la delgada capa de electrólito en la zona de ascensión capilar y mojado del metal y el efecto de arrastre de los productos de corrosión por el oleaje.

Sería normal esperar que un aumento de temperatura acelerara la reacción química y , por tanto, la corrosión; pero como la solubilidad del oxígeno decrece al subir la temperatura, se llega a un punto a partir del cual se registra el efecto contrario. El agua de mar fresca es mucho más corrosiva que el agua de mar desaireada a causa del oxígeno presente en la primera.

### 1.3 LOS RECUBRIMIENTOS ORGANICOS Y SINTETICOS COMO FORMA DE PROTECCION.

Muchos productos tanto naturales como manufacturados se presentan en forma de recubrimientos, aplicados

por el hombre desempeñan una función superficial que puede ser de protección y embellecimiento.

Los recubrimientos se pueden aplicar mediante distintas técnicas y son productos de diferentes tipos que se agrupan todos bajo el nombre de pinturas.

Se define a la pintura como aquel producto que se presenta en forma fluida, y que es capaz de transformarse en una película sólida, tenazmente adherida al sustrato sobre el que se aplica, a temperaturas relativamente bajas.

Las pinturas, consideradas de forma genérica, pertenecen a un grupo muy amplio de productos químicos, conjuntamente con otros materiales tales como: cauchos, adhesivos, fibras, plásticos.

Actualmente existen centenares de tipos de pinturas y diversas variantes de cada tipo, pero todas tienen una propiedad común, ellas se aplican en forma líquida y son capaces de transformarse en películas sólidas y continuas después de su aplicación. Existen diversos grados de viscosidad o fluidez y diferentes mecanismos para convertir la película de pintura en un recubrimiento seco.

Algunos tipos de pinturas son catalizados, otros deben secar al horno otros secan rápidamente, algunos secan lentamente y otros nunca quedan duros.

No obstante, todo tipo de pintura debe contener un ingrediente esencial que tenga la capacidad de formar una película continua sobre la superficie pintada. Este componente fundamental es a menudo denominado aglutinante o ligante, y acostumbra a ser de naturaleza oleosa o resinosa y no solamente es capaz de formar película, sino también de atrapar en ella una cierta cantidad de partículas de productos minerales o colorantes. Estas partículas insolubles se acostumbra a denominar pigmentos. Tanto el aglutinante como el pigmento pueden estar compuestas por mezclas de diversos productos.

El aglutinante o ligante, que debe estar en forma líquida en el momento de aplicar la pintura, recibe entonces el nombre de vehículo, existen varios métodos para convertir el vehículo líquido en aglutinante o ligante sólido. La tabla III muestra según el tipo de aglutinante el mecanismo de formación de película.

TABLA III

TIPOS DE AGLUTINANTE Y SU FORMA DE CURADO(9)

CLASES DE AGLUTINANTES	FORMACION DE PELICULA
Bituminosa	Sólo evaporacion
Alquídic	Necesita oxígeno para se- car
Epoxiéster	Necesita oxígeno para se- car
Oleoresinoso	Necesita oxígeno para se- car
Fenólico 100%	Necesita oxígeno para se- car
Clorocaucho	Sólo evaporación
Vinílico	Sólo evaporación
Vinil/Acrílico	Sólo evaporación
Epoxy de 2 componentes	Sin oxígeno

En lo que respecta a los medios analizados en éste trabajo, específicamente se quiere señalar que se considera como superficies sumergidas a:

- Tuberías submarinas.
- Estacas y estructuras.
- Cascos de embarcaciones de acero al carbono.
- Fondo interno de tanques para petróleo crudo.

- Tuberías para refrigeración con agua salada.
- Bombas para agua salada.

Los tipos de revestimiento relacionados con esta clase de servicios son los exclusivamente basados en las resinas epóxicas, con agentes de curado poliamídicos, notablemente se usa composiciones ricas en zinc, composiciones de alquitrán epóxico, composiciones epóxicas, etc.

Aquí no se tiene propiamente un sistema de pintura que atienda a todos estos requisitos, por lo que se tomará solamente los sistemas que se desempeñan mejor para cada uno de estos equipos, los mismos que se describen a continuación:

Tuberías submarinas.- El tipo de revestimiento que mejor atiende éste caso, es el que emplea composición de resina epóxica con dos componentes, curada a una temperatura entre 60 y 100 °C formando película seca con espesores de 250 micrones como mínimo, con dos capas.

La preparación de la superficie en éste caso es un tratamiento abrasivo a metal blanco.

Las tuberías son generalmente soldadas, siendo la

soldadura esmerilada y toda la región revestida con una composición epóxica de cura submarina.

Estacas y estructuras sumergidas en agua de mar.-

La mayoría de éstas piezas han sido revestidas después del montaje; y ya sumergidas, sin embargo se aconseja también proteger usando sistema de protección catódica mediante ánodos de sacrificio.

Este revestimiento es realizado por medio de una composición epóxica sin solventes, de dos componentes en forma de masa consistente y aplicada con una mano mojada en capas de 3 a 6 mm de espesor sobre una superficie preparada a un grado de acabado a metal casi blanco.

Cuando las piezas son recubiertas con pintura en tierra firme antes del montaje, se usa el siguiente sistema:

- a) Preparación de la superficie con abrasivos al grado de metal blanco.
- b) Aplicación de una capa de composición epóxica rica en zinc de dos componentes formando película seca de 50 a 70 micrones de espesor.

Cascos de embarcaciones de acero al carbono.- Para la pintura de éste tipo de superficies se acostumbra adoptar un criterio diferente a los que se aplica en protección contra la corrosión. Las pinturas anticorrosivas tradicionales para cascos de embarcaciones utilizan composiciones bituminosas especialmente procesadas, o composiciones a base de aceites secantes asociados a la brea y sus derivados, pigmentadas apenas con óxido de hierro. Su finalidad principal parece ser la de evitar la formación de pilas galvánicas, aislando la película anti-incrustante de la superficie de acero al carbono ya que esa película tiene en su pigmentación óxido cuproso y óxido de mercurio que actúan como ánodo en relación al hierro lo que podría acelerar la corrosión.

En los últimos tiempos esta apareciendo una preferencia por el uso de alquitrán epóxico como pintura anticorrosiva en capa con espesor de 300 micrones.

Las películas anti-incrustantes tradicionales emplean vehículos constituidos por derivados de brea, permiten una disgregación vigorosa de la película, liberando un agente letal a la vida marina, que es principalmente óxido cuproso y óxido de mercurio.

La duración de éstas pinturas en embarcaciones en

movimiento es de 3 a 6 meses. En los últimos tiempos existe una preferencia por el uso de composiciones vinílicas, con pigmentación de óxido cuproso como pintura anti-incrustante sin embargo su uso es limitado debido a su alto costo.

Fondo interno de tanques para petróleo crudo.- El petróleo crudo viene casi siempre mezclado con agua salada, que generalmente se separa y crea medios fuertemente corrosivos, tanto que han existido problemas de corrosión severa en tanques nuevos.

Un sistema de pintura estandarizado para éste tipo de usos es el alquitrán epóxico, formando una película seca de 300 micrones de espesor.

Tuberías para refrigeración de agua salada.- Se distingue en éstas tuberías dos sectores: El de entrada de agua fría y el de salida de agua caliente. Aquí se tratará apenas del revestimiento interno de esas tuberías, un revestimiento interno que se ha mostrado satisfactorio y económico es el de argamasa de cemento portland. Aunque presenta problemas de roturas en el trecho de agua fría en algunos casos se emplea como revestimiento una masa de alquitrán de hulla aplicado en caliente.

Alquitrán epóxico también se aplica en los trechos de agua fría con la superficie previamente limpiada con arena hasta un acabado comercial y un espesor de película de 300 micrones.

#### 1.4 ENSAYOS ACELERADOS POR INMERSION TOTAL Y PARCIAL.

Inmersión Parcial.- Cuando la muestra esta sólo parcialmente inmersa, se puede mantener alejado del corrosivo el punto de contacto de esta con el soporte que la sostiene, evitando así la aceleración local de ese punto que se puede dar cuando la inmersión es total. Esto es interesante además por que en el servicio se dan más frecuentemente las condiciones de inmersión parcial que total; sirva de ejemplo la idea de que corrientemente, los recipientes que contengan líquidos están más parcial que totalmente llenos del mismo; por consiguiente, las pruebas de laboratorio en éstas condiciones son de gran importancia práctica.

Si no existe acentuación del ataque en el nivel o línea de agua, es decir en el lugar donde la muestra corta la interfase gas líquido, se pueden utilizar dispositivos sencillos. Sin embargo, cuando se trata del aluminio y sus aleaciones en medios más corrosivos, el ataque se concentra preferentemente en

la línea de agua, a no ser que existan ciertas condiciones especiales que controlen la distribución del mismo, es decir cuando se quiere que el ataque sea más intenso en la línea de agua, se pueden acelerar los efectos de corrosión manteniendo exacto el nivel del líquido (ver Fig. 4).

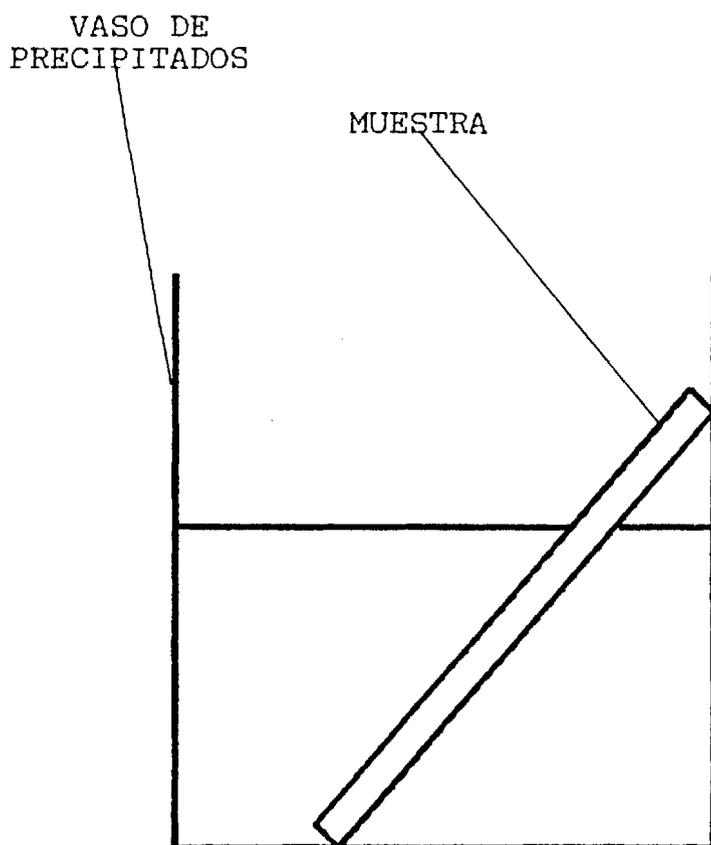


Fig. 4 .- Principio básico de un ensayo de inmersión parcial.

Inmersión Total.- La inmersión total de las muestras dentro del corrosivo gaseoso ó líquido, requiere condiciones relativamente simples, pero hay que tener en cuenta un número de factores para alcanzar una adecuada reproducibilidad de los resultados. A éste respecto algunos autores han señalado una serie de factores físicos que se indican a continuación y que pueden afectar la velocidad de corrosión en soluciones salinas estacionarias:

- Estado de la superficie de la muestra.
- Tamaño, forma y método de suspensión de la misma
- Profundidad de inmersión.
- Tamaño y forma de la vasija.
- Volumen del líquido corrosivo.
- Estabilidad del aparato.
- Temperatura y particularmente sus variaciones.

La principal dificultad experimental en las pruebas de inmersión total estriba en que debe haber contacto de la muestra con el dispositivo que le sirve de apoyo dentro del electrólito y que dicho contacto puede acelerar localmente la corrosión. Este efecto se puede minimizar usando contactos puntiagudos y el

mínimo posible de ellos. Otro procedimiento para limitar la corrosión a una determinada parte, consiste en envolver la parte que se quiere liberar de la corrosión en papel secante encerado, fundiendo la cera mientras se envuelve.

Cuando se trabaja con soluciones acuosas que van a estar sometidas al aire u oxígeno, es conveniente asegurar de que el suministro de oxígeno sea el adecuado para todas las muestras, e igual para todas ellas, excepto cuando se desea que la aireación diferencial influya en la corrosión. Esto no es difícil de conseguir si se trata de velocidades de corrosión muy bajas; la dificultad comienza cuando se trata de velocidades de corrosión altas, como ocurre por ejemplo con el hierro y el acero en soluciones salinas.

## CAPITULO II

### INGENIERIA DE PROYECTO

#### 2.1 DETERMINACION DEL PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

En el diseño de cualquier examen acelerado de resistencia a la falla de pinturas, se debe tener en cuenta los factores que influyen en los resultados del mismo, tales como: temperatura, humedad relativa, pH, velocidad del medio electrolítico, oxígeno disuelto.

Es importante señalar que esta clase de exámenes, por ser de tipo natural impiden su completa estandarización, por lo que para cada uno de los mismos se debe determinar el procedimiento experimental a seguir.

En esta prueba la norma ASTM D870-54 (Apendice), ha sido adaptada según las necesidades, esta adaptación se la ha realizado en función de las indicaciones proporcionadas por los proveedores de los recubrimientos en lo que respecta a la aplicación de los sistemas de pinturas y al medio corrosivo al que van

a ser expuestos.

En este examen, se simulará un medio natural para la exposición en el que la temperatura, humedad relativa y pH son factores que varían con el tiempo, se asumirá que la velocidad del medio electrolítico es cero y se asumirá además que la solución no contiene oxígeno disuelto.

Antes de examinar las muestras, se las debe secar, pero con un procedimiento tal que solamente remueva el líquido de la superficie. Durante la revisión que debe ser efectuada cinco min. después de realizada la operación de secado, se debe tratar de determinar la presencia de fallas tales como: ampollamiento, arrugas, asperezas, pérdida de adherencia, cambio de color, brillo.

En lo que respecta al diseño de un examen acelerado de corrosión, la experiencia muestra que todos los metales y aleaciones no responden de igual forma a ciertos factores que afectan la corrosión, por lo que dichos exámenes dan resultados indicativos solamente.

Es importante señalar que los exámenes de corrosión son diseñados fundamentalmente para investigar la corrosión general, aunque se pueden diseñar exámenes

para investigar formas de corrosión tales como la galvánica, corrosión por celdas de concentración, corrosión selectiva, corrosión por partición, corrosión por picaduras, corrosión bajo esfuerzos.

La selección de las condiciones del laboratorio debe estar determinada por las condiciones del examen, por lo que si el examen es una guía para la selección de un material como en nuestro caso, factores como: temperatura, pH, humedad relativa, velocidad de la solución; deben ser controlados durante el ensayo.

El efecto de la velocidad de la solución no se determina en un examen de laboratorio normal, por lo, que la solución vá a ser mantenida en absoluto reposo.

La solución del examen no debe ser aireada ya que si se vá a inyectar oxígeno, se requiere de técnicas especiales como son el calentamiento de agua y luego una purga con nitrógeno .

El volumen de la solución debe ser lo suficientemente grande, como para evitar cualquier cambio en la corrosividad durante el examen, debido a la perdida por evaporación de los constituyentes corrosivos o por acumulación de los productos de la corrosión.

Se recomienda la siguiente relación para determinar

el volumen requerido de la solución para la realización del ensayo:

20 ml/cm<sup>2</sup>

El tiempo de contacto del metal con la solución se debe tomar en cuenta al momento de analizar los resultados. Es importante señalar que materiales que se corroen rápidamente como el acero, no requieren de exámenes prolongados para obtener flujos exactos de corrosión.

Después de ser sometidas al examen, las probetas se deben limpiar, pero antes, se debe tomar nota de la ubicación de los depósitos, variación en los productos de la corrosión. El no efectuar la limpieza correctamente puede ocasionar variaciones en los resultados.

En la operación de limpieza se deben remover todos los productos de la corrosión con una mínima remoción de material examinado.

Los métodos de limpieza son tres: mecánicos, eléctricos y químicos. En nuestro caso se realizará una limpieza mecánica que implica pasos como: fregado, raspado y cepillado.

En este ensayo, la masa perdida durante la prueba, vá a ser usada como la principal medida de la corrosión.

En lo que respecta al recipiente para el examen se utilizará una camara hecha de material sintético, aunque vale la pena señalar, que en el caso de electrolitos corrosivos al plástico, se pueden usar recipientes de vidrio.

## 2.2 CONSTRUCCION DE EQUIPOS

Para la evaluación de los sistemas de pinturas el equipo se construyó siguiendo las indicaciones de la norma ASTM D870-54 (apendice), que dice que por cada  $\text{cm}^2$  expuesto de la probeta debe existir por lo menos  $40 \text{ cm}^3$  de solución de examen, aparte de que el recipiente para el ensayo, debe tener dimensiones tales que permita a las probetas estar separadas entre sí por lo menos 13 mm.

Cabe señalar además, que el recipiente para el examen debe estar hecho de un material inalterable por lo que debió ser construido de vidrio y de forma tal que sea hermético con el fin de evitar problemas con la variación de volumen producido por la evaporación del líquido de examen.

## CALCULO:

Número de sistemas a ensayar	3.
Número de probetas por sistema	3.
Total de probetas	9.
Dimensión de las probetas	7.5 cm x 5 cm.
Area expuesta por probeta	$37.5 \text{ cm}^2 \times 2 \text{ lados} = 75 \text{ cm}^2$ .
Area expuesta total	675 cm <sup>2</sup> .
Volumen requerido	$675 \text{ cm}^2 \times 40 \text{ cm}^3/\text{cm}^2 = 27000 \text{ cm}^3$

Si se calcula la raíz cúbica de 27000 se obtiene que la mínima dimensión por lado es de 30 cm, en la Fig.5 se esquematiza el equipo con las dimensiones finales.



Fig. 5 .- Equipo para ensayos de inmersión total y parcial.

### 2.3 PREPARACION DE LAS MUESTRAS A ENSAYAR.

La preparación de las muestras se la realizó según las indicaciones de los proveedores de los recubrimientos, así se observa que como regla general los sistemas de pinturas deben ser aplicados sobre una superficie libre de impurezas y con un buen perfil de anclaje. Estos requerimientos se consiguen con una adecuada preparación superficial, a nivel industrial los métodos de preparación superficial más utilizados son el granallado y la limpieza con chorro de arena.

Con este ensayo se vá a determinar además sobre que tipo de acabado superficial los sistemas de pintura responden mejor, tanto el obtenido por granallado como el obtenido por limpieza con chorro de arena.

En lo que respecta a la aplicación de los diferentes sistemas de pinturas, se ha escogido una de las técnicas de pintado más utilizada como es la aplicación con brocha. Durante la aplicación de los recubrimientos se siguió todos los pasos indicados en las especificaciones, en lo que respecta a tiempo de curado, espesor de capa seca y control de la temperatura ambiente y humedad relativa al momento de pintar.

Después de pintadas las muestras se destruyó parte

del recubrimiento con el fin de simular un daño mecánico, procurando siempre que dicho daño mecánico, sea similar en todas las muestras.

#### 2.4 CONTROL DE LAS VARIABLES DEL EXAMEN.

En los ensayos acelerados que sirven para determinar la resistencia de los sistemas de pinturas a la falla los cambios que se producen en parámetros tales como temperatura, pH, humedad relativa deben ser registrados con el fin de determinar el grado de influencia de la variación de dichos parámetros en los daños producidos en los sistemas de pinturas, en la figura 6 se muestra un formato de registro que permite llevar un control diario de las variables anteriormente mencionadas.

#### 2.5 INSPECCION PERIODICA DE LAS MUESTRAS Y TOMA DE DATOS.

En los ensayos acelerados de resistencia a la falla de pinturas, se deben realizar inspecciones periódicas para llevar un control del tipo y evolución de los daños, esto permitirá una vez terminado el ensayo, determinar cual de los sistemas de pinturas examinados es el que ha sufrido más daño, la forma como evolucionarán los mismos y como influyó el acabado superficial.



La evaluación de los daños se realizó por medio de técnicas comparativas usando patrones visuales, es decir se prepara una muestra extra la cual sirve como patrón para comparar con las probetas que estan siendo ensayadas. Al realizar la evaluación se usa una escala numérica que vá del 1 al 10 en la que el número 10 representa la inexistencia de daño y el número 0 representa un daño generalizado en toda la superficie.

Los valores de daños asignados a los sistemas de pintura dependen del examinador, aunque debe existir una relación entre el nivel de daño de todos los sistemas examinados, En la tabla IV se muestra una escala recomendada para realizar la evaluación, además en la figura 7 se muestra un formato de registro que permite llevar un control periódico de los daños producidos en los sistemas de pinturas.

TABLA IV  
ESCALA Y DESCRIPCION DEL GRADO DE DAÑO(2)

GRADO DE FALLA	DESCRIPCION DEL DAÑO
10	0%
9	10%
8	20%
7	30%
6	40%
5	50%
4	60%
3	70%
2	80%
1	90%
0	100%

ENSAYO DE INMERSION:		PROCESO DE PREP. SUP.:											
PARAMETROS CONTROLADOS	CAMARA A				CAMARA B				CAMARA C				
APARIENCIA GENERAL													
DECOLORACION													
BRILLO													
CAMBIO DE COLOR													
EROSION													
ROMPIMIENTO SUPERFICIAL													
AGRIETAMIENTO													
DESPRENDIMIENTO													
AMPOLLAMIENTO													
NOTA													

Fig. 7 .- Formato de registro de daños.

## 2.6. TABLAS DE DATOS.

TABLA V  
VALORES PROMEDIO DE DAÑO

INMERSION PARCIAL				GRANALLADO								
TIEMPO (DIAS)	APARIENCIA GENERAL.			COLOR			BRILLO			CAMBIO DE COLOR.		
	S 1	S 2	S 3	S 1	S 2	S 3	S 1	S 2	S 3	S 1	S 2	S 3
3	9	9.3	9	9.8	9.4	9.4	9.6	8.9	9.2	10	10	10
4	8.2	8.5	9	9.3	8.8	8.7	9.3	8.4	9	10	9.8	9.5
5	7.7	8.5	8.9	8.8	8.6	8.6	9.1	8.3	9	9.9	9.6	9.4
7	7.3	8.3	8.4	8.4	8.1	8.3	9	7.3	8.8	9.7	9.4	9.2
9	5.7	7.1	8	8.1	7.8	8	8.8	7.8	8.6	9.7	8.8	9

TABLA VI  
VALORES PROMEDIO DE DAÑO

INMERSION TOTAL				GRANALLADO								
TIEMPO (DIAS)	APARIENCIA GENERAL.			COLOR			BRILLO			CAMBIO DE COLOR.		
	S 1	S 2	S 3	S 1	S 2	S 3	S 1	S 2	S 3	S 1	S 2	S 3
3	9.9	9.6	9.7	10	9.7	9	10	9.8	9	10	10	10
5	9.6	9.5	9.5	9.8	9.5	9	10	9.6	9.3	10	9	10
8	9.3	9.3	9.4	9.8	8.5	9	10	8.5	9.5	9.9	9	10
11	9.1	9.2	9	9.7	8.5	9	9.5	8.5	9	9.5	8.5	9
12	8.8	8.7	8.6	9.6	8	8.8	9.3	8.3	8.7	9.7	8.2	8.8
15	8.3	8.2	8.3	9.6	8	8.8	9	8.1	8.5	9.4	8	8.5

TABLA VII  
VALORES PROMEDIO DE DAÑO

INMERSION PARCIAL				ARENADO								
TIEMPO (DIAS)	APARIENCIA GENERAL.			COLOR			BRILLO			CAMBIO DE COLOR.		
	S 1	S 2	S 3	S 1	S 2	S 3	S 1	S 2	S 3	S 1	S 2	S 3
3	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
5	10	9.8	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
7	10	9.7	10	10	9.9	10	9.9	9.9	10	10	10	10
9	9.8	9.5	9.8	10	9.7	9.9	9.9	9.6	10	9.9	9.8	10
11	9.5	9.5	9.3	9.8	9.5	9.7	9.7	9.4	9.6	9.7	9.5	9.7
13	9	8.5	9	9.5	9	9.3	9.3	8.5	9	9.5	8.5	9.2

TABLA VIII  
VALORES PROMEDIO DE DAÑO

INMERSION TOTAL				ARENADO								
TIEMPO (DIAS)	APARIENCIA GENERAL.			COLOR			BRILLO			CAMBIO DE COLOR.		
	S 1	S 2	S 3	S 1	S 2	S 3	S 1	S 2	S 3	S 1	S 2	S 3
3	10	9.8	10	10	9.8	10	10	9.8	10	10	10	10
5	10	9.4	9.7	10	9.5	9.7	9.7	9.5	9.8	10	9.8	10
7	9.7	9.3	9.4	9.7	9.3	9.5	9.5	9.3	9.6	9.6	9.3	9.5
9	9.3	8.5	8.8	9.2	9	9	9	8.5	8.8	9.2	8	9
11	9.1	8.2	8.5	8.9	8.8	8.8	8.8	8.3	8.6	9	7.8	8.8

## CAPITULO III

### EVALUACION DE RESULTADOS

#### 3.1 DETERMINACION DE LA RAZON DE CORROSION.

Para determinar la razón de corrosión se usó el método gravimétrico, el cual implica la medición del peso y las longitudes de las muestras antes y después de la exposición al medio corrosivo.

El tiempo de exposición se relaciona con los parámetros anteriores por medio de la siguiente ecuación:

$$mdd = DW / (T * A)$$

en donde :

mdd = Pérdida de masa en miligramos,  
por decímetro cuadrado, por día.

T = Tiempo (días)

A = Area (dm<sup>2</sup>)

Ejemplo de cálculo:

Acero SAE 1010 sometido al ensayo de inmersión parcial.

Peso inicial: 177.7 grs

Dimensiones: 0.53 cm \* 45 cm \* 90 cm

Tiempo de exposición : 3 días

Area expuesta: 8607.34 cm<sup>2</sup>

Peso final : 177.6 grs

$$\text{mdd} = \text{DW} / (\text{T} * \text{A})$$

$$\text{mdd} = (97.7 - 97.6) * 1000 / 3 * 0.860734$$

$$\text{mdd} = 38.73$$

Con el procedimiento de cálculo anterior se obtienen los valores de razón de corrosión que se tabulan a continuación, (ver tablas IX y X); seguidamente en las figuras 8 y 9 se muestra la forma como se comporta dicha razón de corrosión respecto del tiempo de exposición.

TABLA IX

DATOS Y RESULTADOS PARA EL ACERO SAE 1010

ENSAYO	PESO INI. (grs)	LONG. (cm)	ESPE. (cm)	ANCHO (cm)	AREA EXP. (dm <sup>2</sup> )	TIEMPO (días)	PESO FINAL (grs)	mdd
INMERSION PARCIAL	177.7	94	0.53	45	1.0	3	177.7	33.30
	177.4	94	0.54	45	1.0	4	177.2	50.00
	176.7	94	0.54	45	1.0	5	177.4	60.00
INMERSION TOTAL	177.3	94	0.55	45	1.0	3	177.3	33.31
	177.5	94	0.55	45	1.0	4	177.3	50.05
	177.4	94	0.55	45	1.0	5	176.6	60.44

TABLA X

DATOS Y RESULTADOS PARA EL ACERO ASTM A131

ENSAYO	PESO INI. (grs)	LONG. (cm)	ESPE. (cm)	ANCHO (cm)	AREA EXP. (dm <sup>2</sup> )	TIEMPO (días)	PESO FINAL (grs)	mdd
INMERSION PARCIAL	202.8	94	0.62	45	1.02	3	202.7	32.71
	203.1	94	0.61	45	1.02	4	203	34.50
	204	94	0.63	45	1.02	5	203.8	39.20
INMERSION TOTAL	203.2	94	0.62	45	1.02	3	203.2	32.70
	203.9	94	0.63	45	1.02	4	203.8	34.50
	203.9	94	0.62	45	1.02	5	203.8	39.60

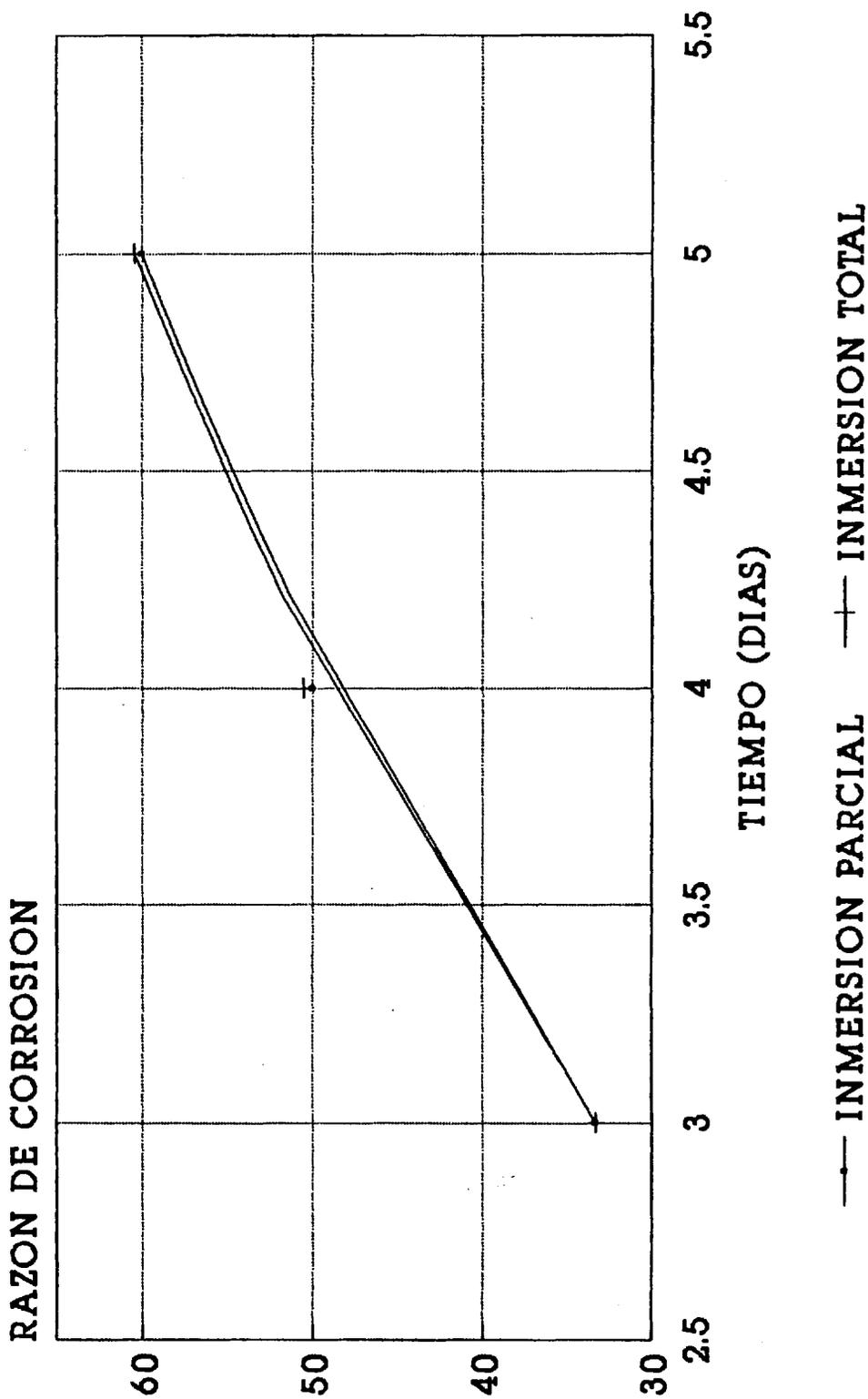
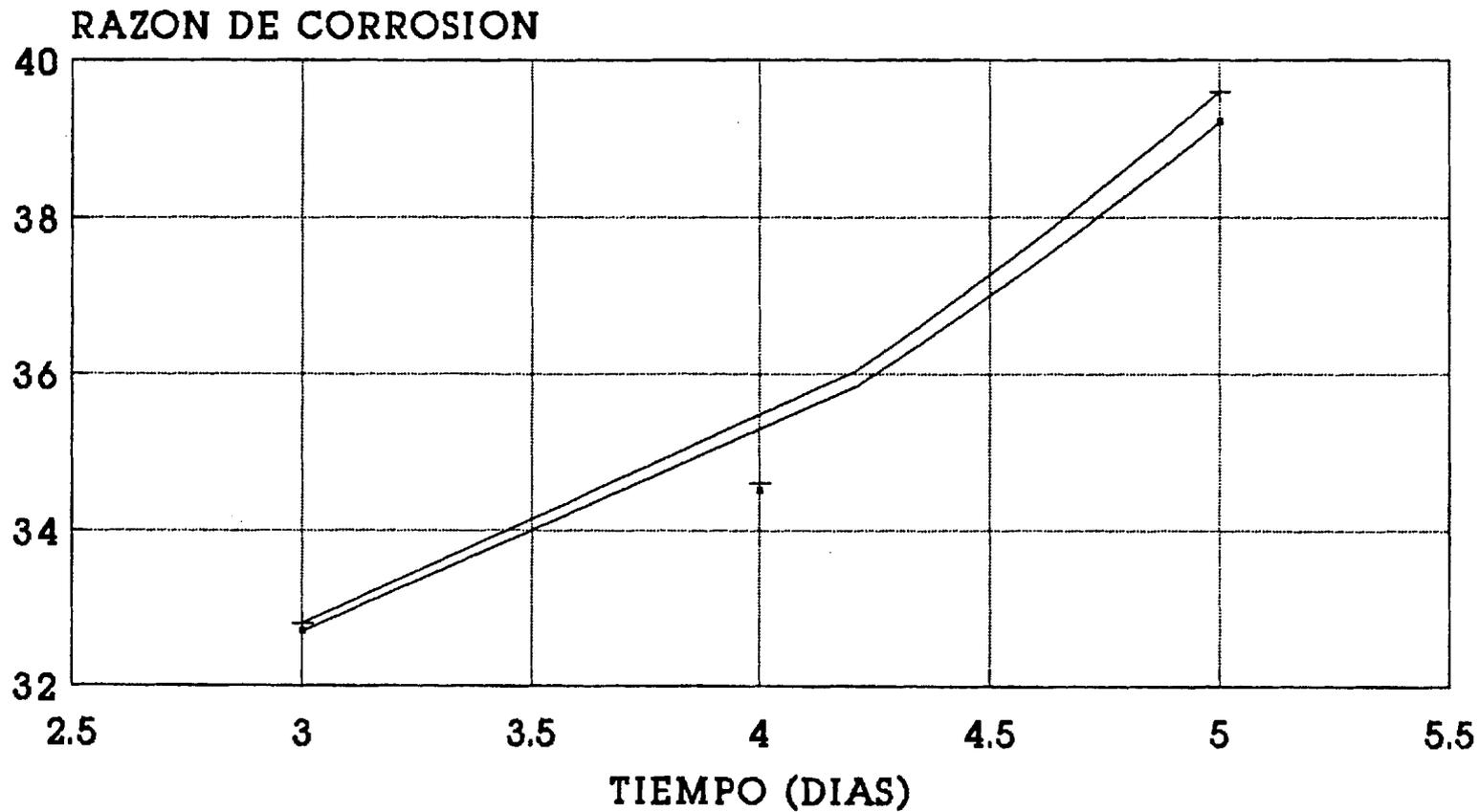


Fig. 8 .- Razón de corrosión Vs Tiempo  
(acero SAE 1010)



—●— INMERSION PARCIAL    —+— INMERSION TOTAL

Fig. 9 .- Razón de corrosión Vs Tiempo  
(acero ASTM A131)

### 3.2 DETERMINACION DEL TIPO MAS COMUN DE CORROSION

Inmersión total.- El hierro y los aceros poco o medianamente aleados no se pasivan en agua salada. En las muestras de acero SAE 1010 sometidas al ensayo de inmersión total, el tipo de corrosión que se presentó es el generalizado, y con un progreso casi rectilíneo con el tiempo, en el caso del acero ASTM A131 también esta presente la corrosión de tipo general aunque en un grado mucho menor, esto debido a que el estado pasivo en el que se encuentra este tipo de acero no es totalmente estable, lo que los hace muy susceptibles a los ataques por picaduras con velocidades de penetración mucho mayores.

En la figura 10 se muestra la forma como se desarrollo la corrosión, la forma como se distribuyeron los depósitos y las características de los mismos en los dos tipos de aceros examinados.

Inmersión parcial.- En las muestras de acero sometidas al ensayo de inmersión parcial se presentó, otro tipo de corrosión debido a las características del ensayo, así tenemos que se produce corrosión por aireación diferencial, que ocasiona el ataque del metal en las zonas menos expuestas al oxígeno proveniente de la atmosfera, este tipo de ataque se

acentúa en la interfase gas líquido como se muestra en las figuras, además se observa la presencia de corrosión general sobre el resto de la superficie, siendo la parte más afectada la que se encuentra sumergida (ver Fig. 11).

BIB

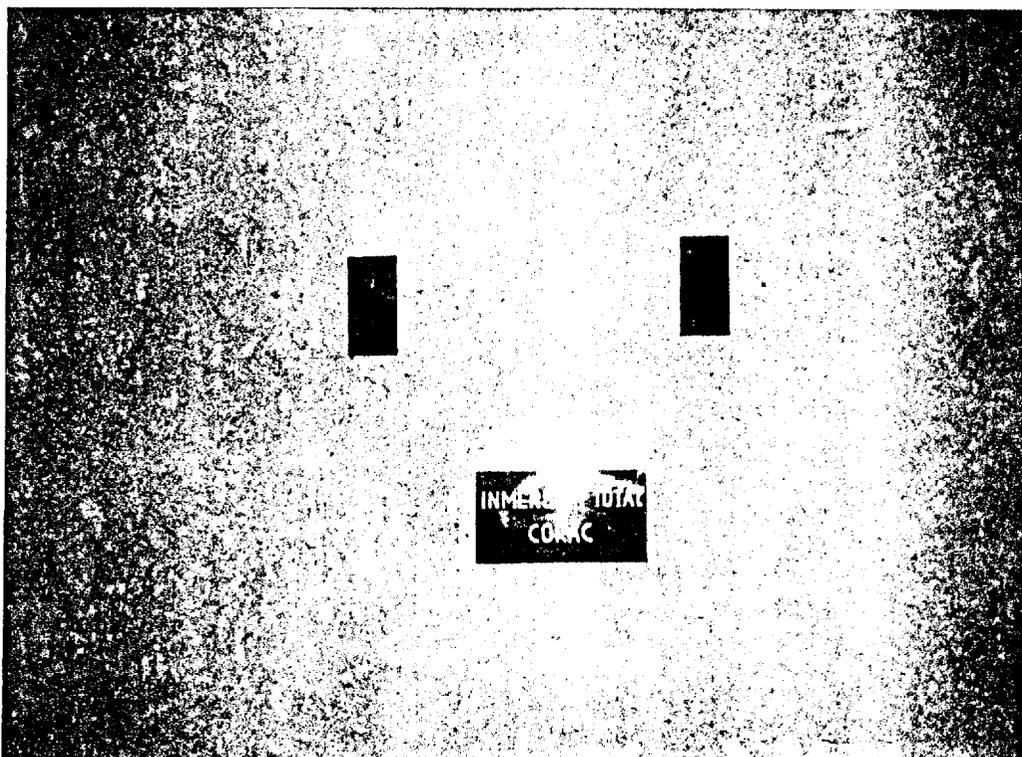


Fig. 10 .- Forma como se presenta la corrosión en el acero SAE 1010 y en el acero ASTM A131 sometidos al ensayo de inmersión total.

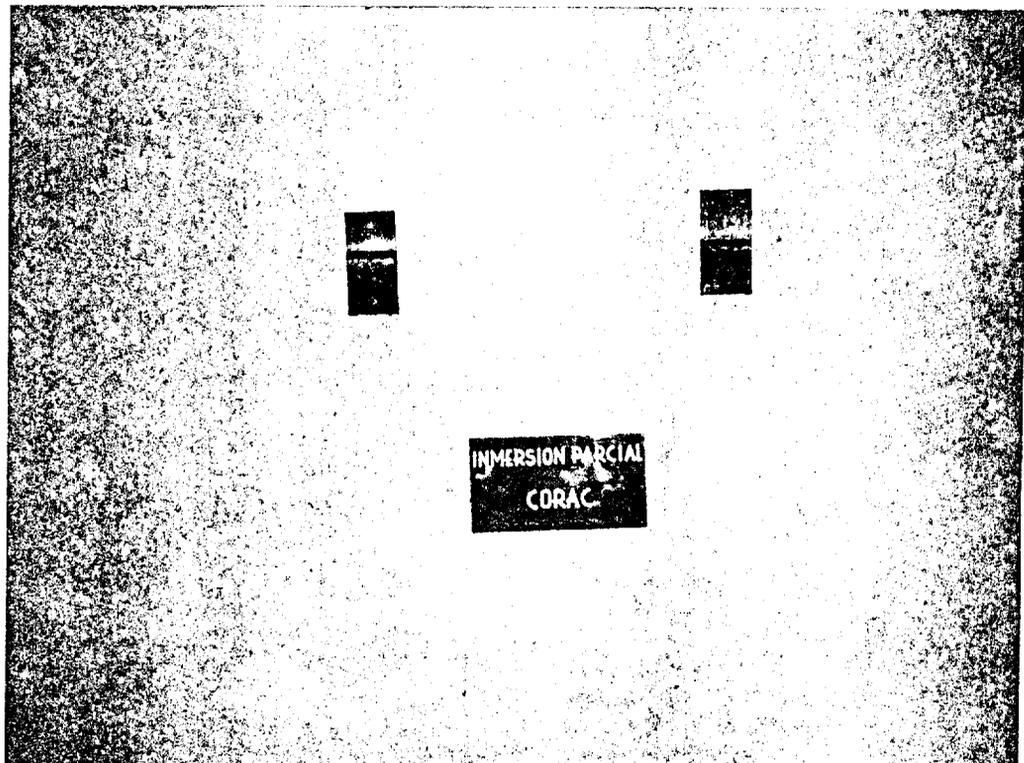


Fig. 11 .- Forma como se presenta la corrosión en el acero SAE 1010 y en el acero ASTM A131 sometidos al ensayo de inmersión parcial.

Debido al corto periodo de exposición y a los análisis de tipo metalográfico, se descarta la presencia de corrosión altamente localizada como son las picaduras, ataque intergranular, que afectan grandemente las propiedades, tales como la resistencia mecánica.

### 3.3 DETERMINACION DE LA INFLUENCIA DE LA CORROSION EN LAS PROPIEDADES MECANICAS Y CARACTERISTICAS FISICAS.

Una forma segura de determinar la influencia de la corrosión en las propiedades mecánicas es realizando pruebas de dureza a muestras ensayadas y sin ensayar, en el caso de muestras que fueron sometidas al ensayo de inmersión parcial, se deben tomar valores de dureza tanto en la zona que estuvo sumergida así como en la que no lo estuvo.

Los valores de dureza obtenidos (ver tabla XI) muestran que la variación en las propiedades mecánicas es inexistente aunque en exámenes más largos los resultados pueden ser diferentes debido a factores tales como resquicios existentes, bordes de grano reactivos, efecto de la anisotropía cristalina, segregaciones, etc, que en condiciones adecuadas forman micropilas de corrosión que ocasionan ataque intergranular y agrietamiento lo cual trae como consecuencia variación en las propiedades mecánicas.

TABLA XI  
VALORES OBTENIDOS DE DUREZA HRB

ACERO COMUN				ACERO NAVAL			
INMERSION PARCIAL		INMERSION TOTAL	SIN EXAMINAR	INMERSION PARCIAL		INMERSION TOTAL	SIN EXAMINAR
ZONA SUMERGIDA	SIN SUMERGIR			ZONA SUMERGIDA	SIN SUMERGIR		
70	70	70	70	86	86	86	86

En lo que respecta a la influencia de la corrosión en las características físicas, la misma se determina por técnicas comparativas es decir observando la forma como queda la superficie despues de ser sometida al ensayo de corrosión, y compararla con la superficie de una muestra sin ensayar.

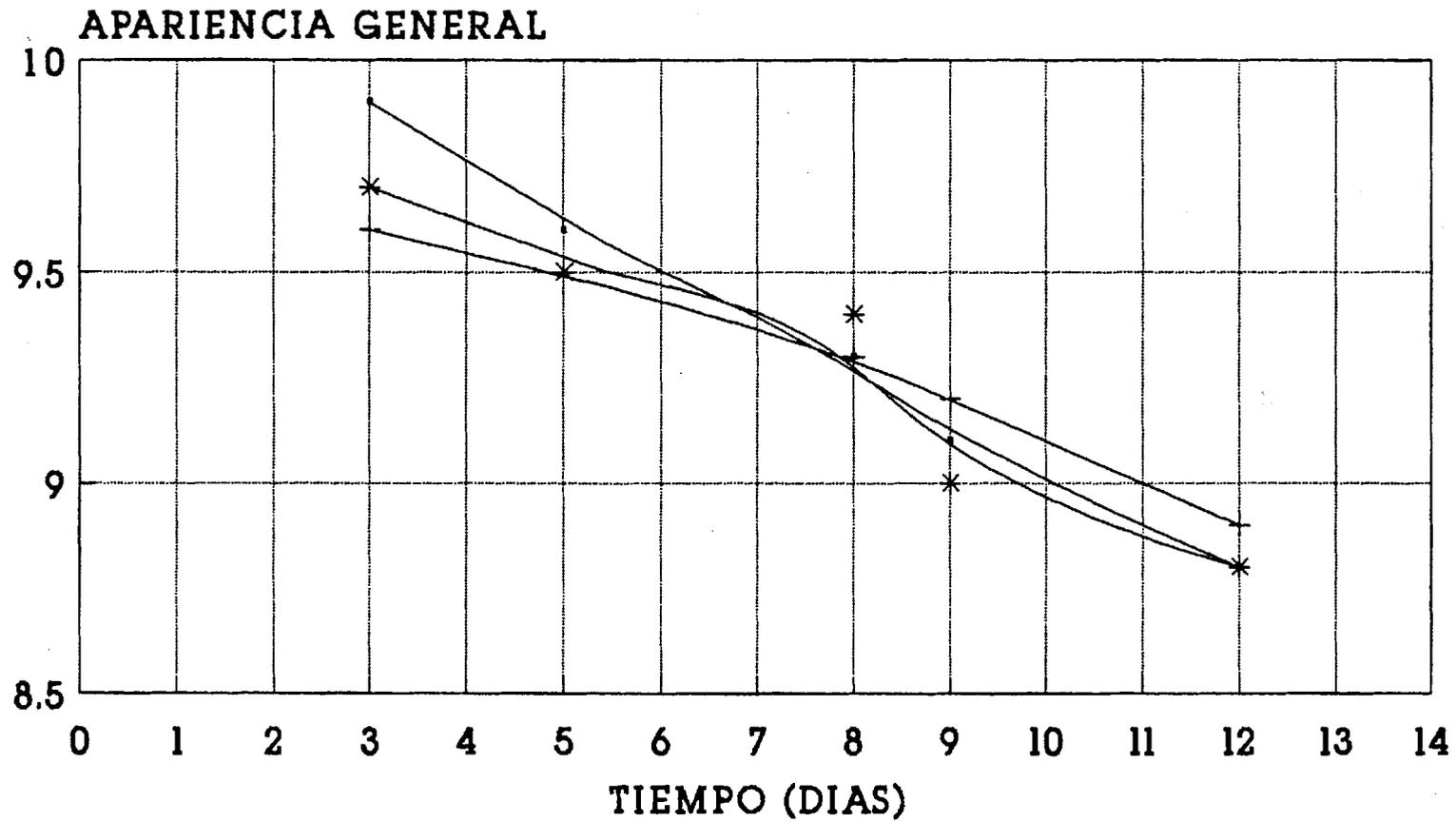
#### 3.4 DETERMINACION DE LAS FALLAS MAS COMUNES EN LOS RECUBRIMIENTOS EXAMINADOS SEGUN EL TIEMPO DE EXPOSICION Y EL ACABADO SUPERFICIAL.

Durante la realización de las pruebas, el control periódico de las muestras ensayadas, permitió determinar la presencia de fallas desde su origen y la forma como evolucionaron las mismas.

Las fallas detectadas fueron las siguientes: cambios

en la apariencia general, decoloración, pérdida de brillo, cambios en el color original. Daños más graves tales como erosión, rompimiento superficial, agrietamiento no estuvieron presentes debido al corto tiempo de exposición.

El desarrollo y grado alcanzados por las fallas se muestran en las figuras que se adjuntan a continuación, (ver Fig. 12 a 27) aquí se observa además la forma como influye el acabado superficial previamente otorgado a las probetas y el tiempo de exposición durante el cual estuvieron siendo ensayadas las mismas.



—+— SISTEMA 1
—\*— SISTEMA 2
—+— SISTEMA 3

Fig. 12 .- Apariencia general Vs Tiempo  
(inmersión total, granallado)

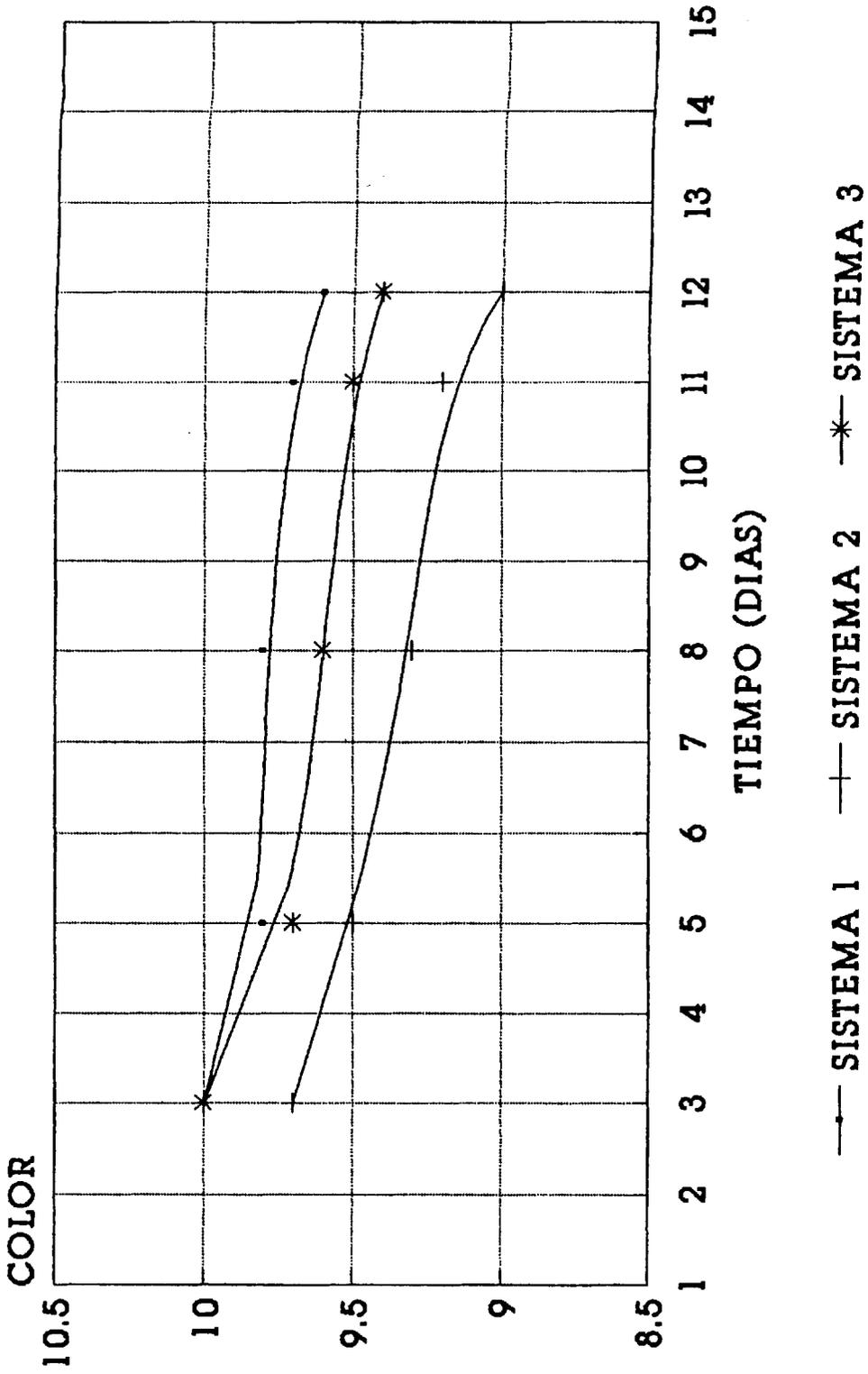


Fig. 13.- Color Vs Tiempo  
(Inmersión total, granallado)

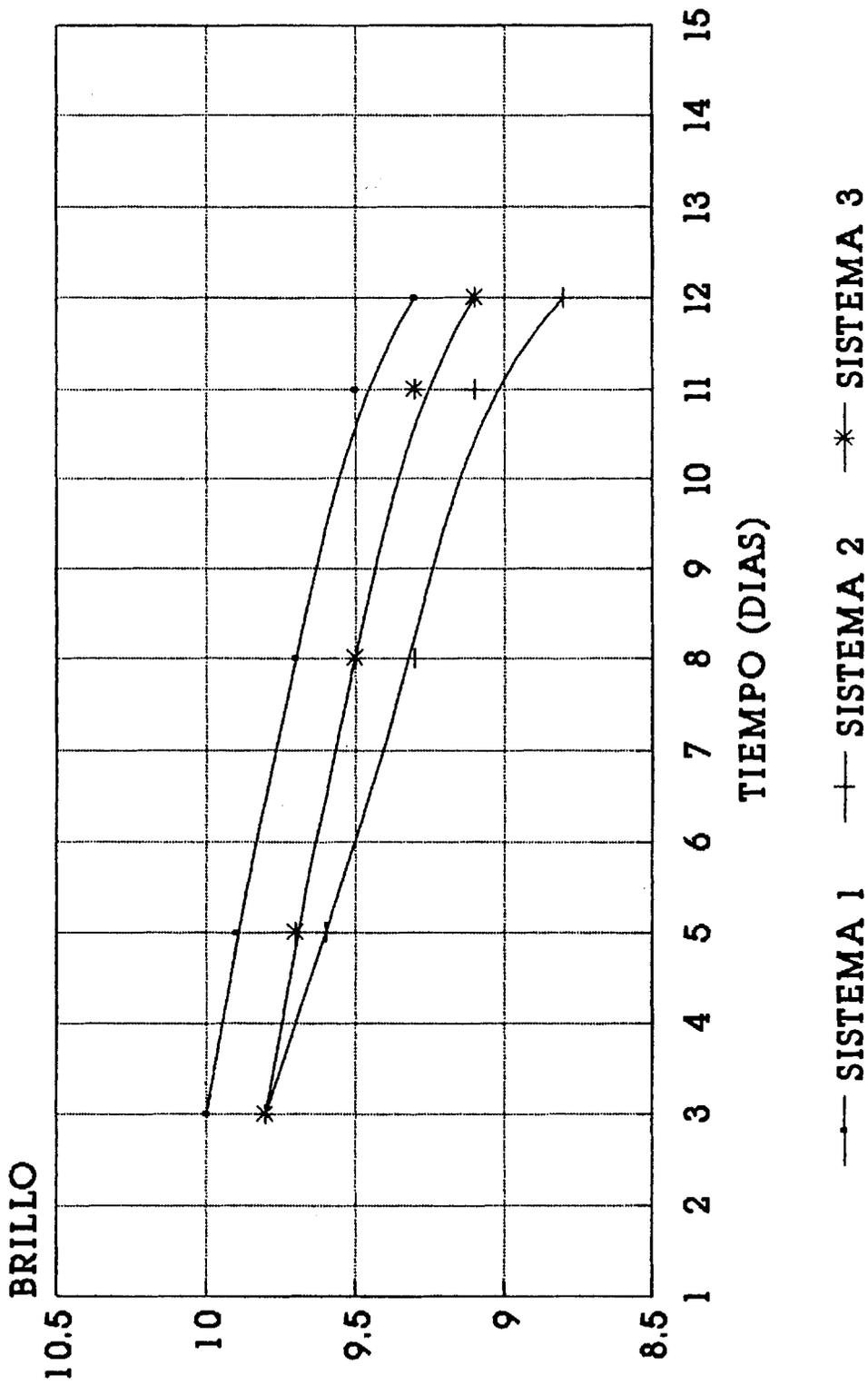


Fig. 14.- Brillo Vs Tiempo  
(Inmersión total, granallado)

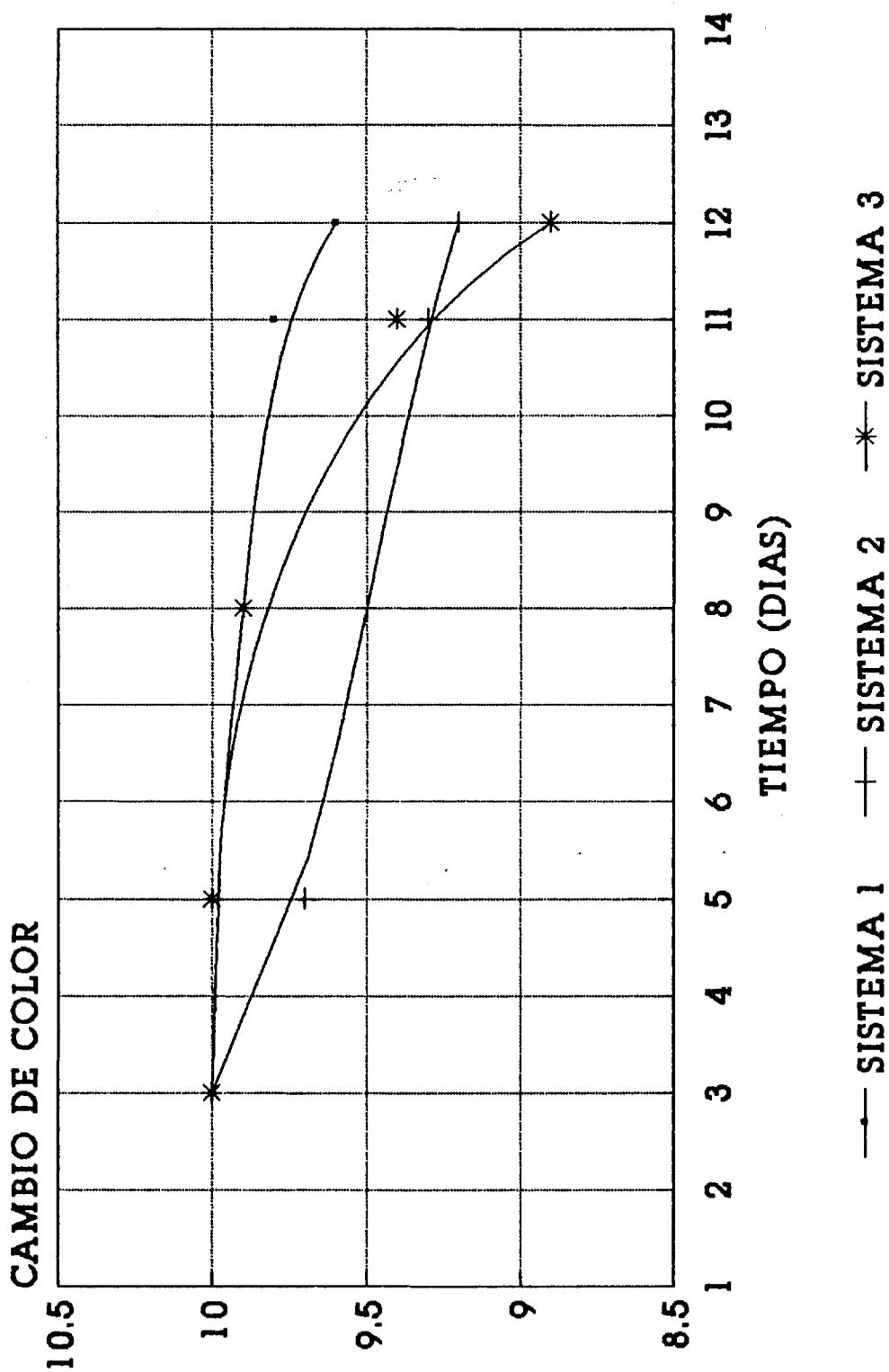


Fig. 15 .- Cambio de color Vs Tiempo  
(inmersión total, granallado)



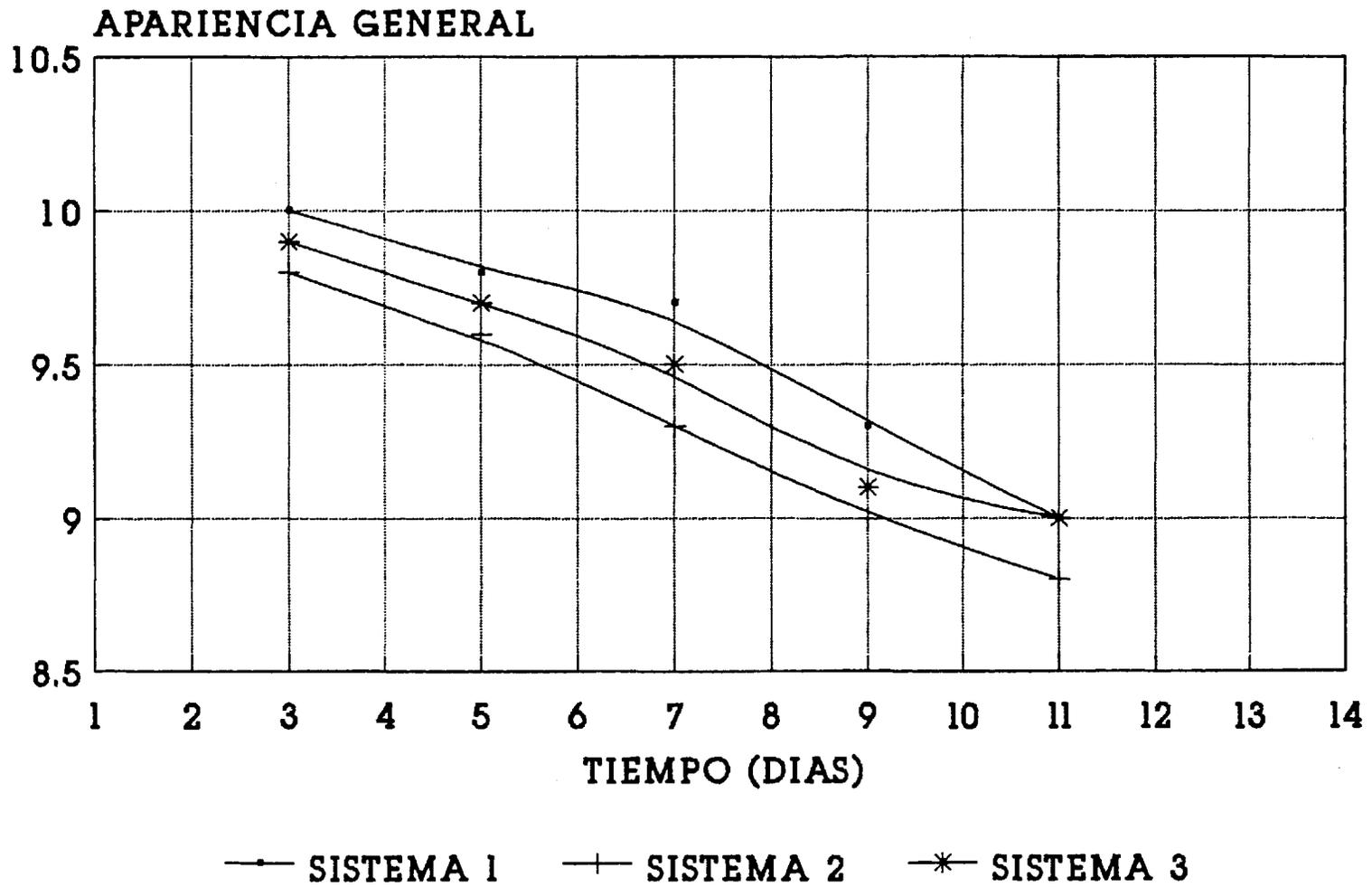


Fig. 16 .- Apariencia general Vs Tiempo  
(inmersión parcial, granallado)

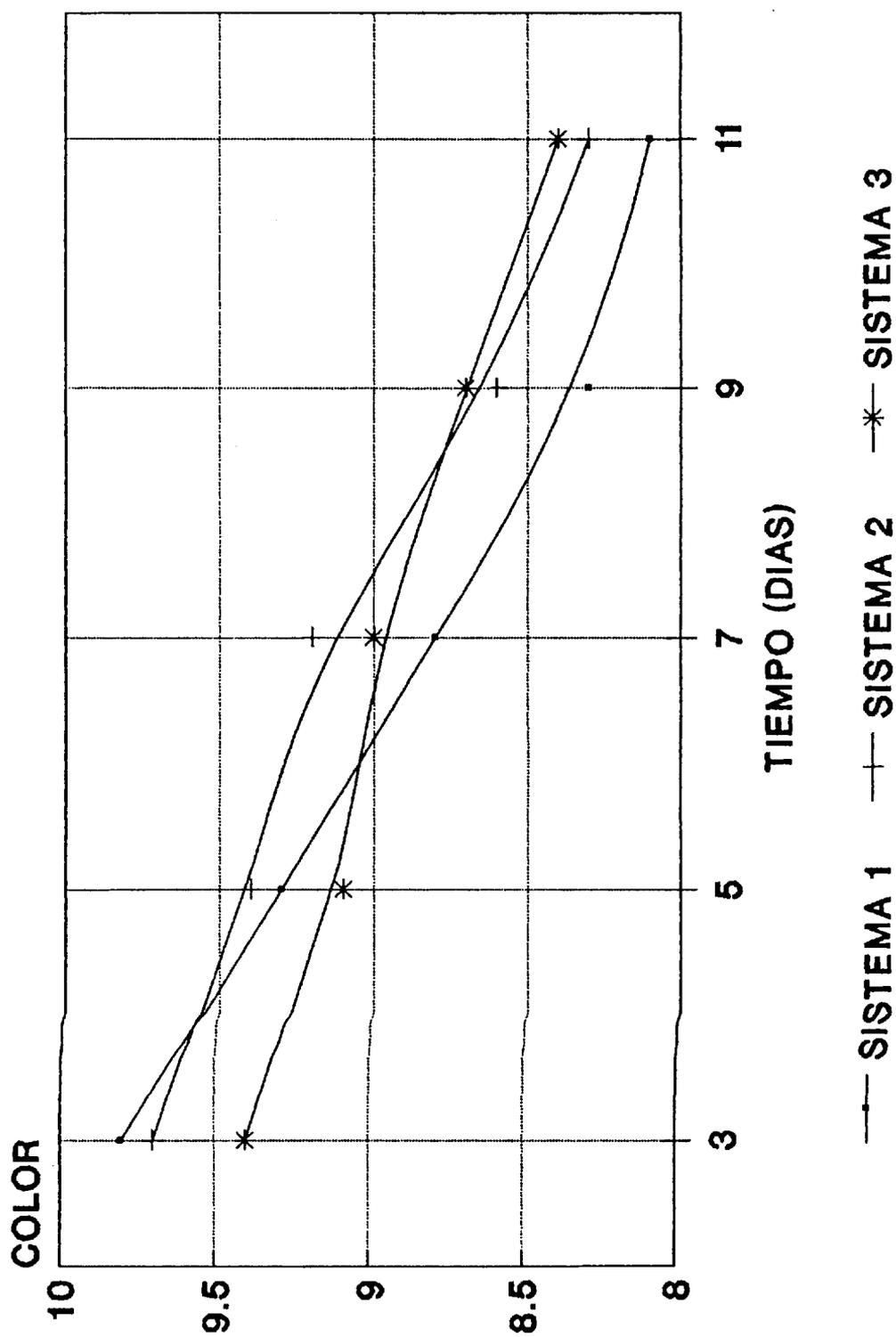


Fig. 17 .- Color Vs Tiempo  
(inmersión parcial, granallado)

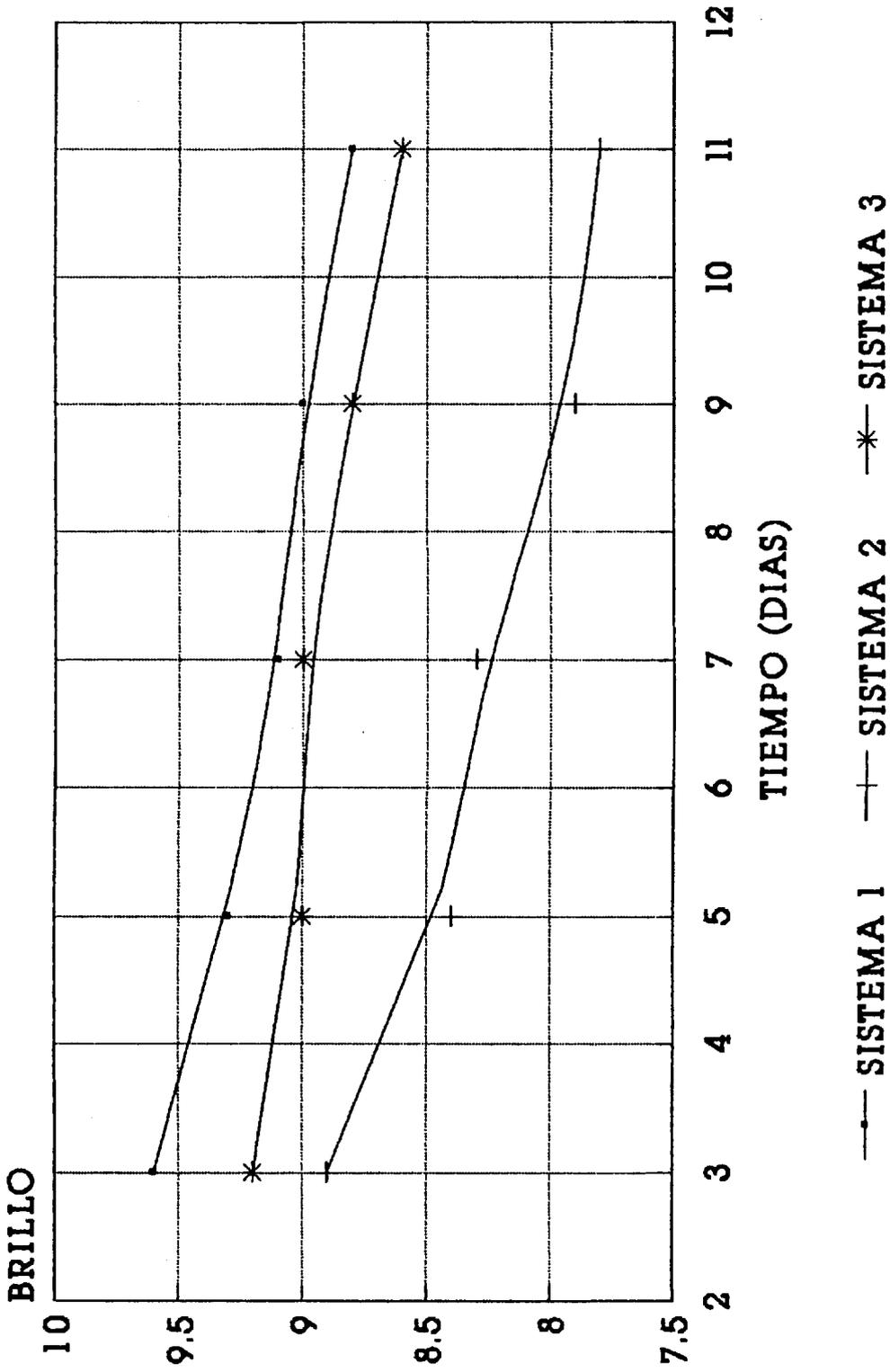


Fig. 18 .- Brillo Vs Tiempo  
(inmersión parcial, granallado)

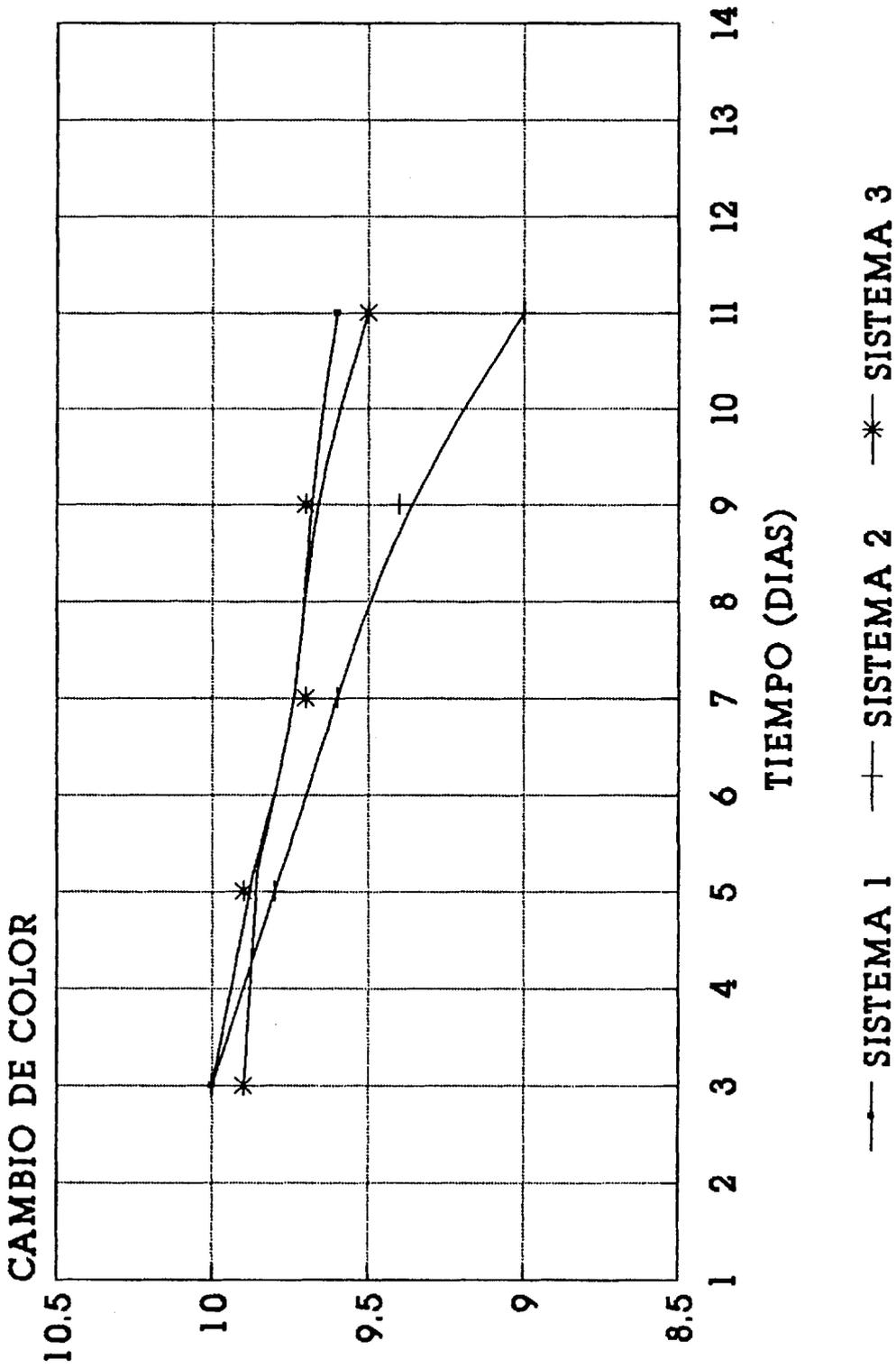


Fig. 19.- Cambio de color Vs Tiempo  
(inmersión parcial, granallado)

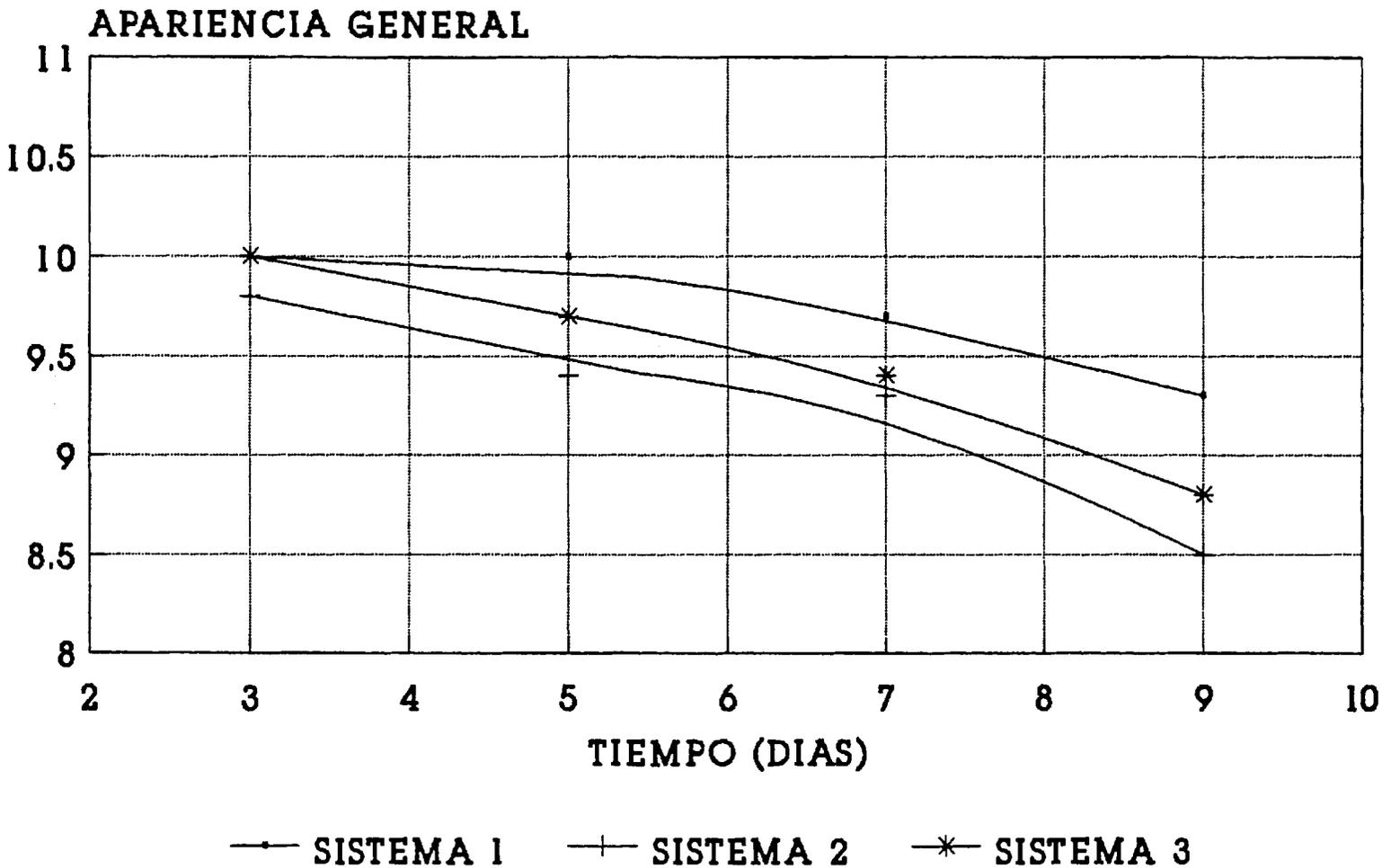


Fig. 20 .- Apariencia general Vs Tiempo  
(inmersión total, arenado)

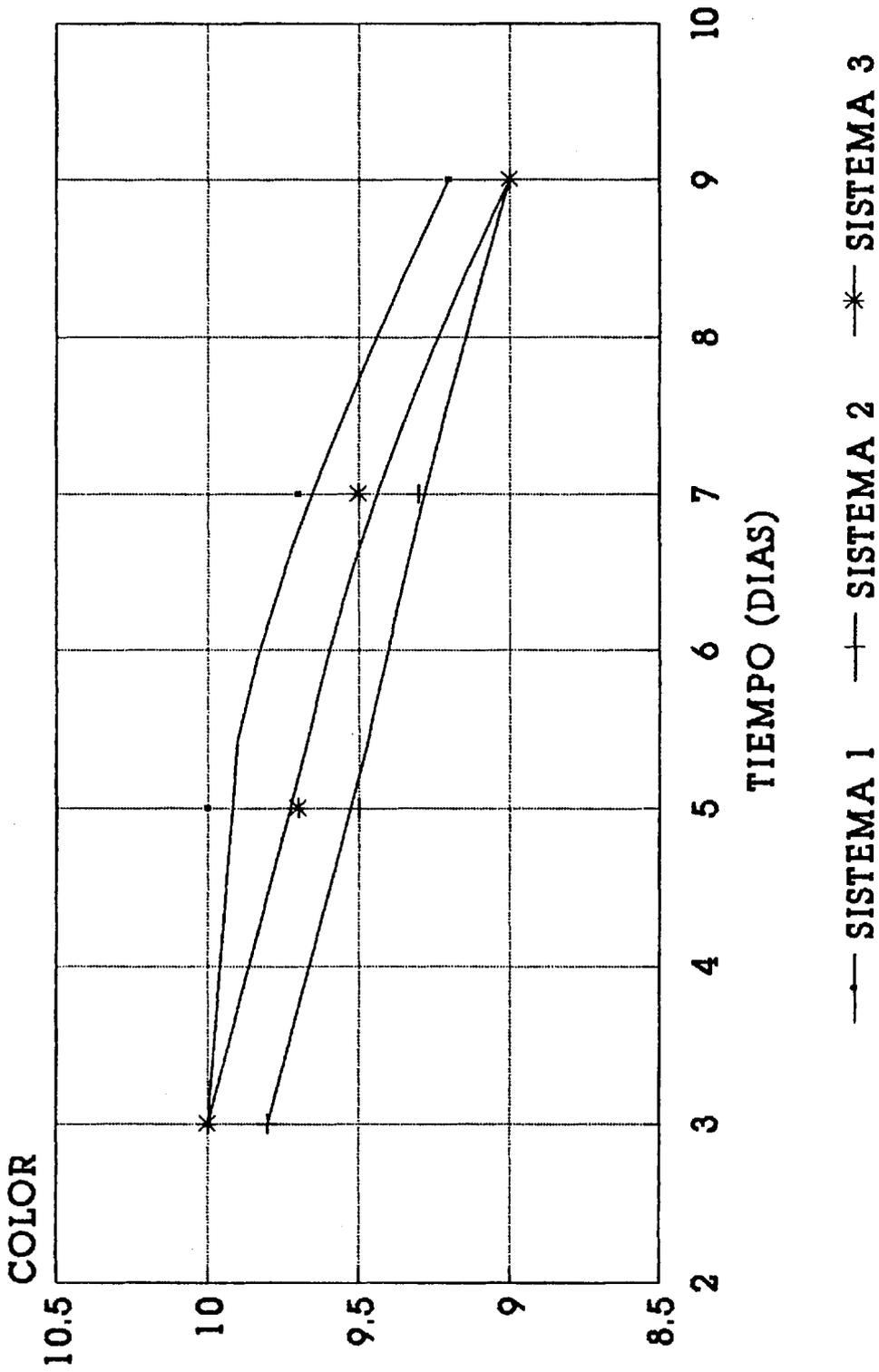


Fig. 21.- Color Vs Tiempo  
(inmersión total, arenado)

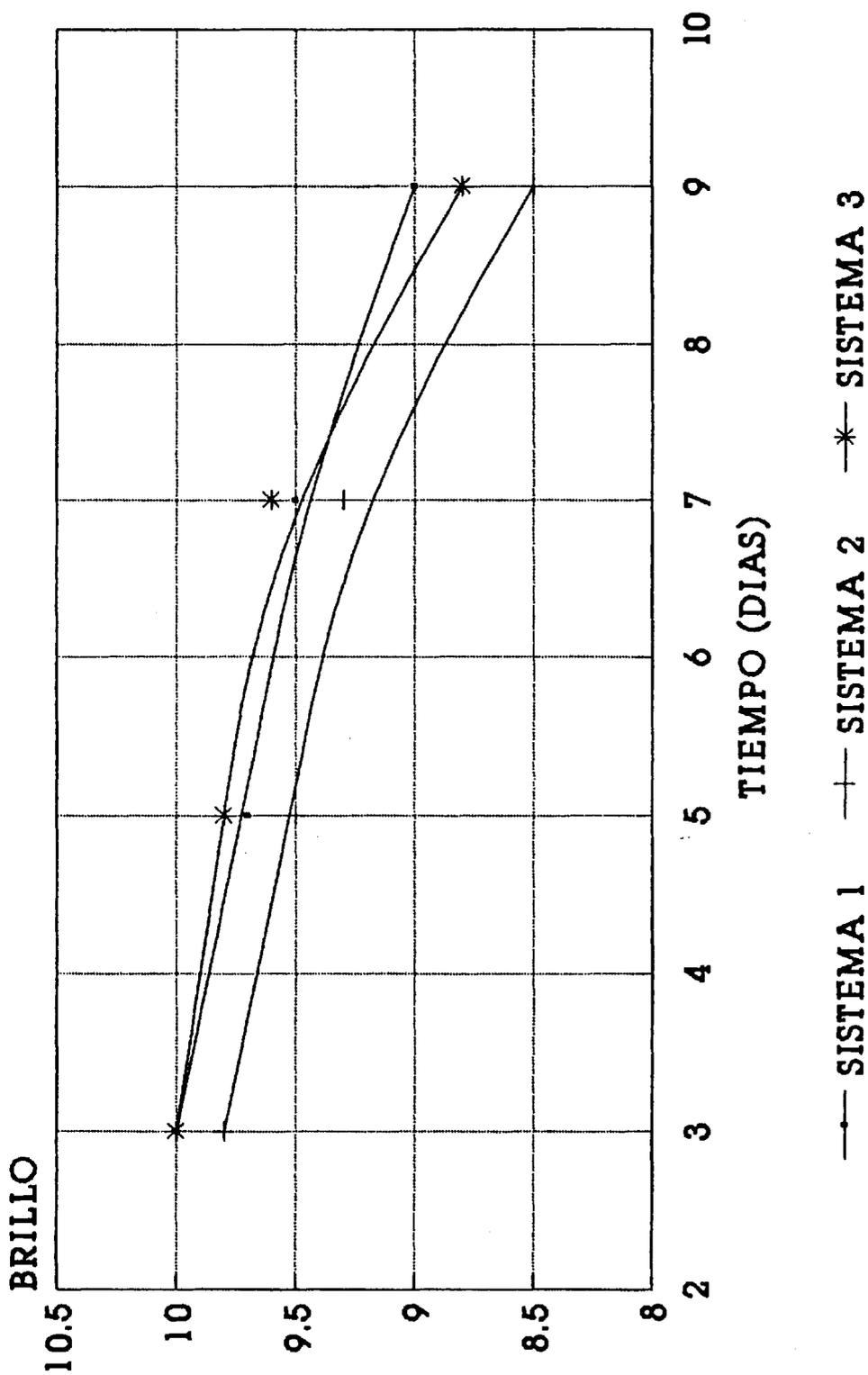


Fig. 22.- Brillo Vs Tiempo  
(inmersión total, arenado)

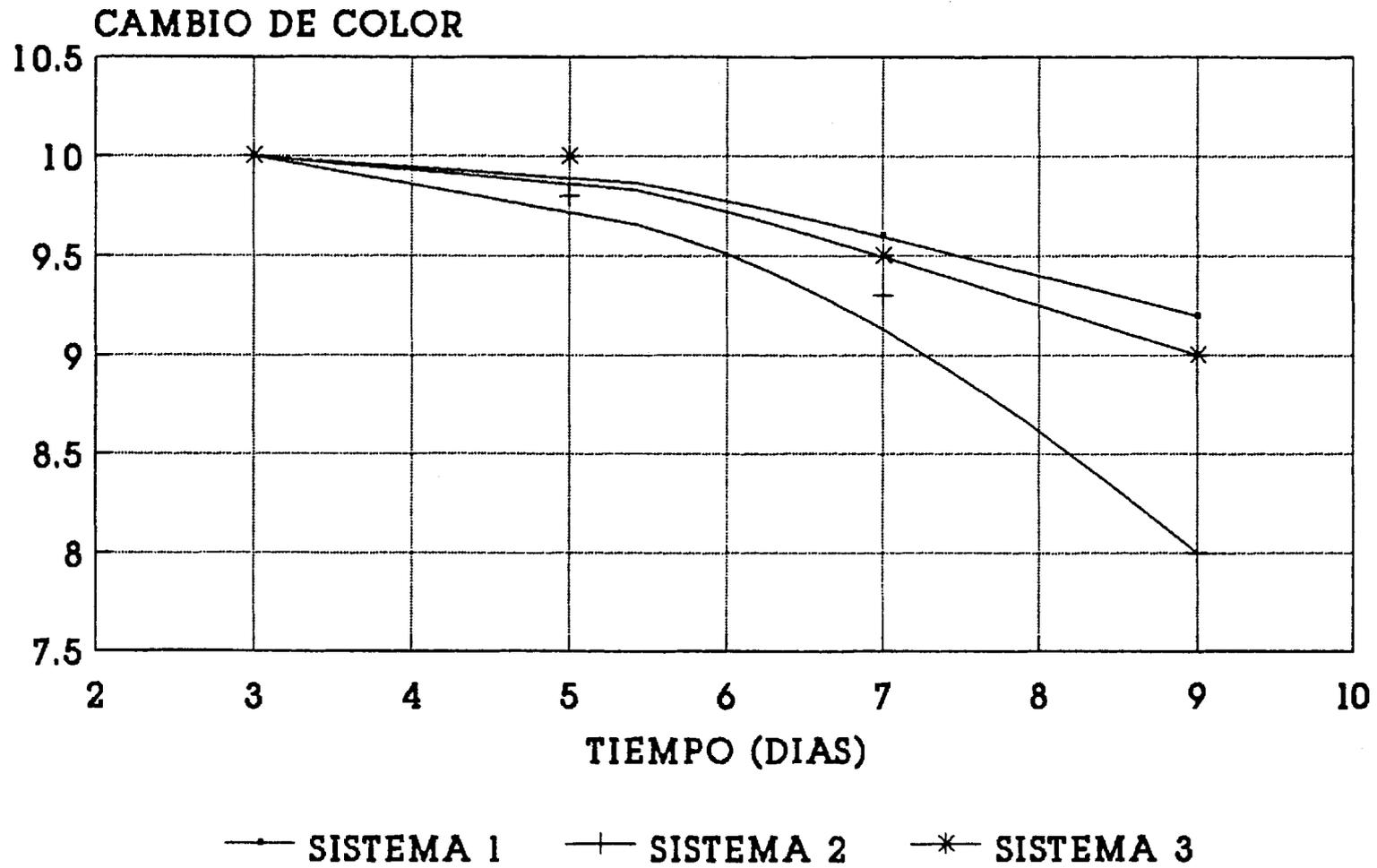


Fig. 23 .- Cambio de color Vs Tiempo  
(inmersión total, arenado)

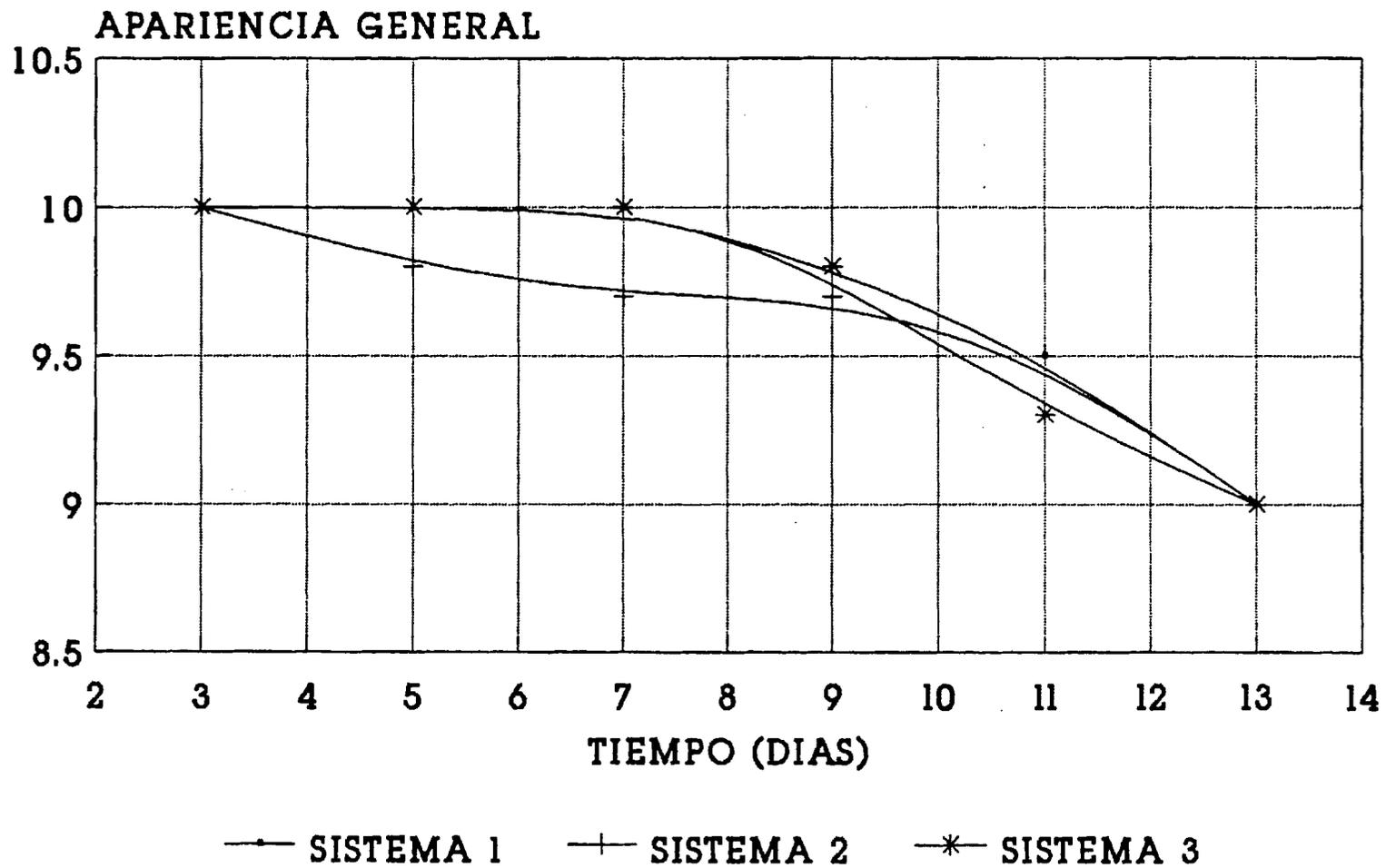


Fig. 24 .- Apariencia general Vs Tiempo  
(Inmersión parcial, arenado)

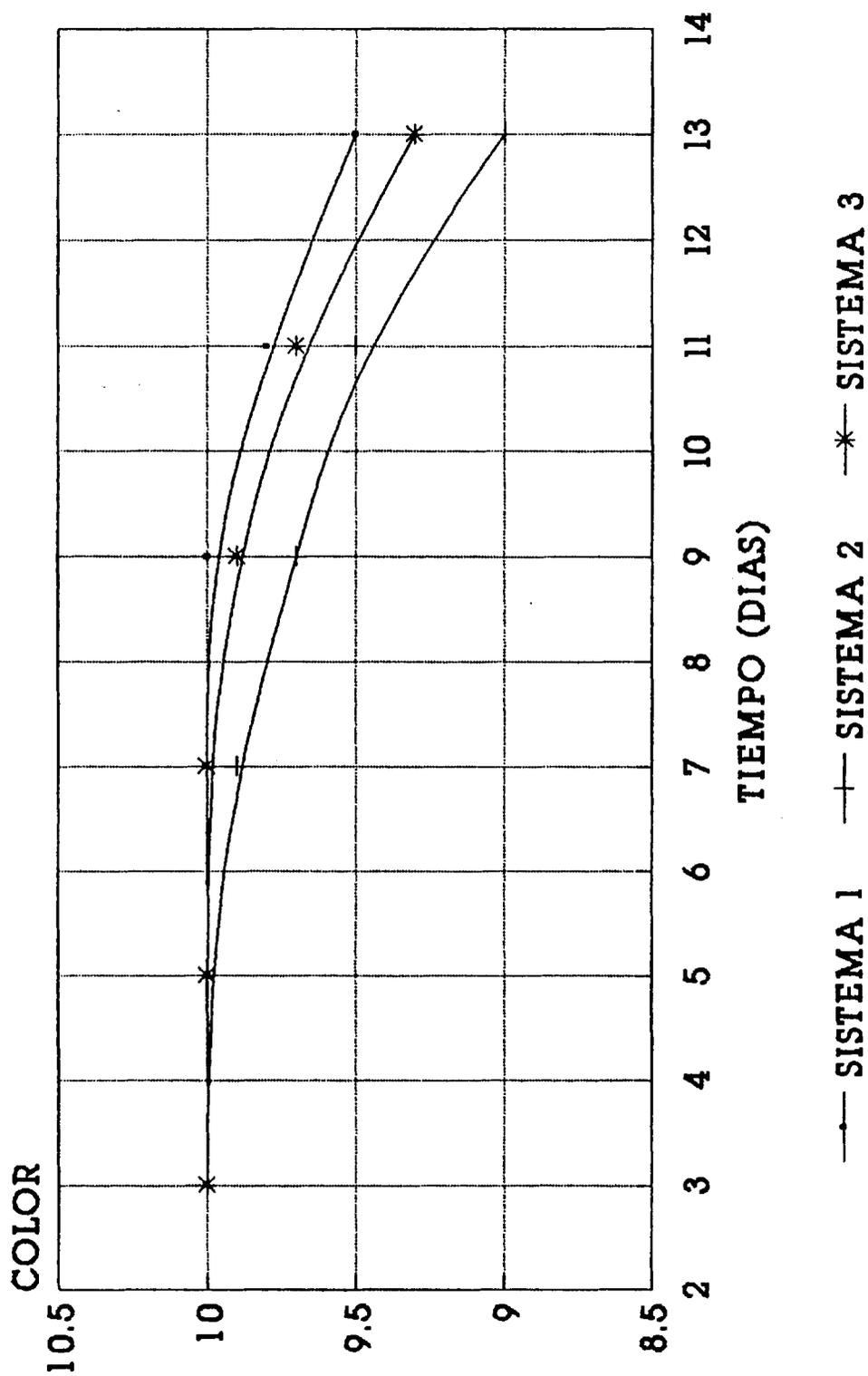


Fig. 25.- Color Vs Tiempo  
(Inmersión parcial, arenado)

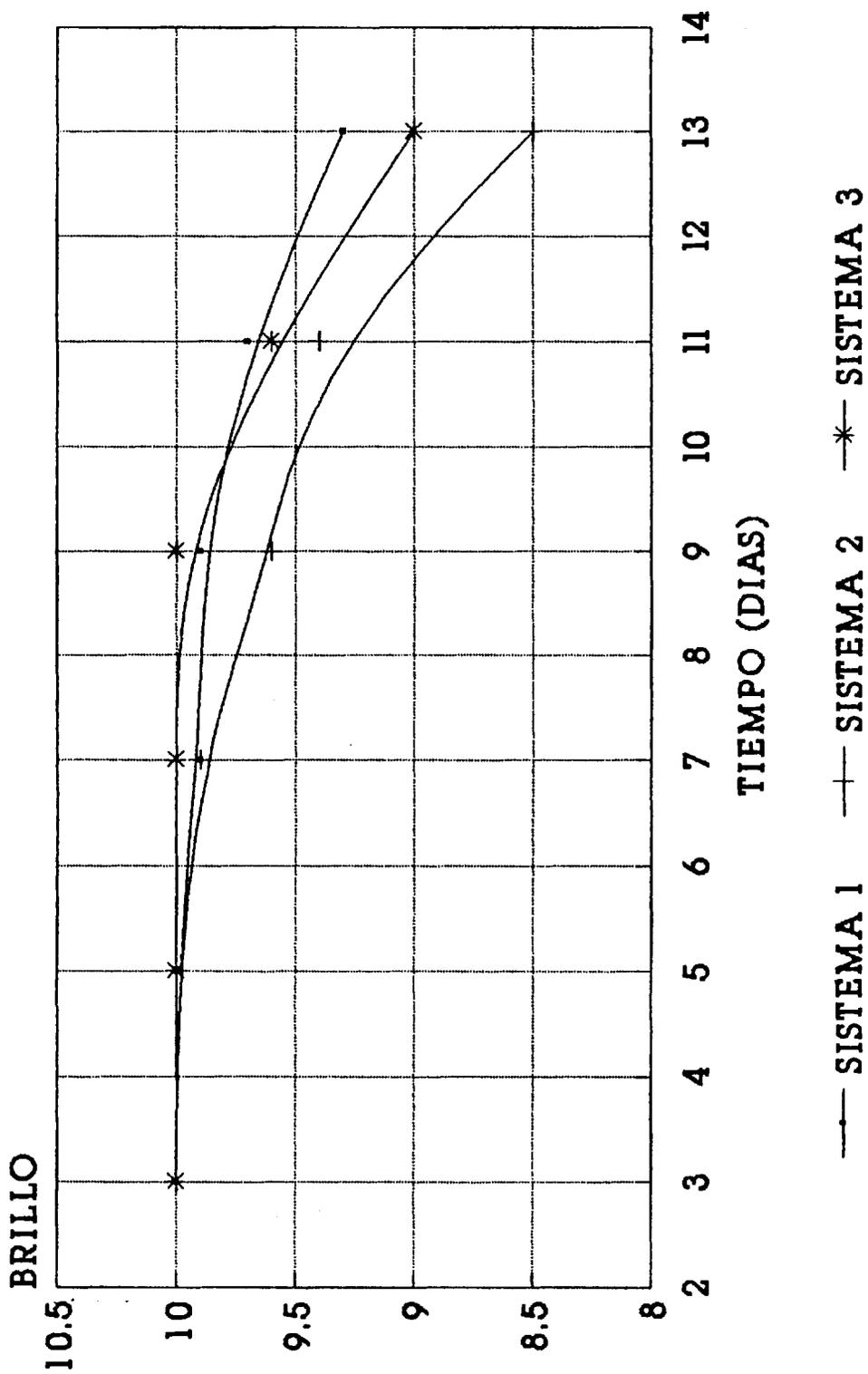


Fig. 26.- Brillo Vs Tiempo  
(Inmersión parcial, arenado)

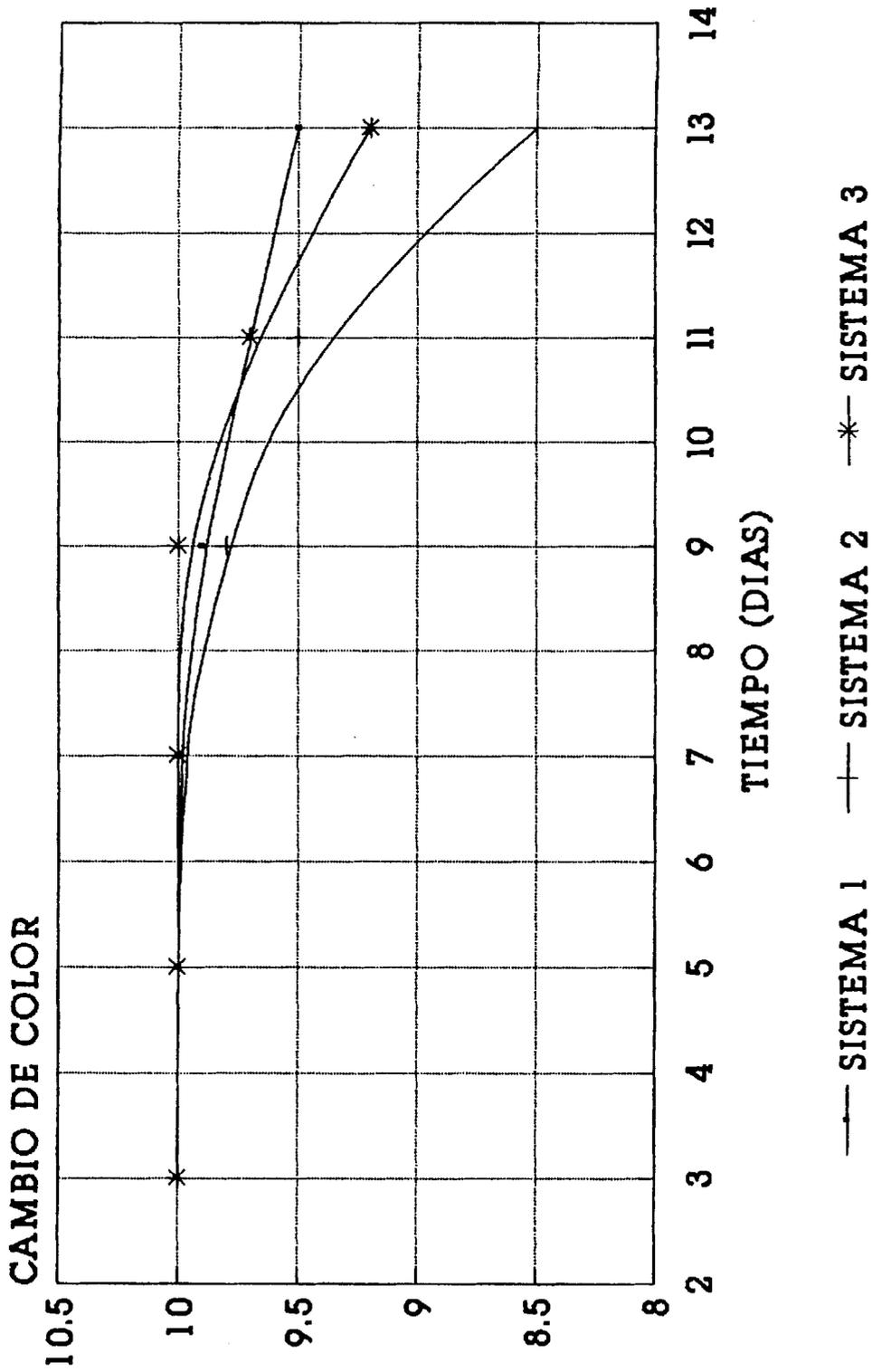


Fig. 27 .- Cambio de color Vs Tiempo (Inmersión parcial, arenado)

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

En lo que respecta al examen de los aceros sin recubrimientos podemos concluir que:

1).- La corrosión que se presentó es del tipo general, con ciertas variaciones en la distribución de los productos dependiendo del tipo de ensayo principalmente.

2).- Existen otros tipos de ataques por corrosión como el localizado, que generalmente se presenta en los aceros resistentes a la corrosión como el ASTM A131, pero se comprobó por medio del análisis metalográfico, que éste tipo de corrosión no estuvo presente y esto debido al corto tiempo de duración del ensayo.

3).- Cuando el proceso de corrosión se prolonga, se forman hidróxidos, óxidos, y películas salinas sobre la superficie de los metales, que disminuyen, a menudo la velocidad de corrosión. Por tanto, la magnitud de las pérdidas por corrosión en un período largo de tiempo dependerá de la influencia de los propios productos de la

corrosión en el proceso.

4).- El ión cloruro es el constituyente más nocivo en el agua de mar desde el punto de vista de la corrosión . Su naturaleza corrosiva parece guardar relación con su pequeño volumen iónico, que le permite penetrar con relativa facilidad algunos tipos de películas protectoras.

5).- El oxígeno disuelto en el agua de mar desempeña un papel primordial, ya que suministra la sustancia para la reacción catódica. La inmensa superficie de contacto mar/aire, la constante agitación mecánica y la enérgica convección natural, hacen que el agua de mar esté aireada hasta profundidades considerables.

6).- En el agua de mar, el proceso anódico de disolución del metal tiene lugar con mucha facilidad pues a la abundancia de electrolito, se suma el hecho del elevado contenido del ión cloruro, que hace posible un elevada velocidad anódica con poca polarización.

En lo que respecta a los sistemas de pintura examinados. se concluye que:

1).- Tanto en el ensayo de inmersión parcial como total. el sistema uno (epóxico) es el que ofrece mejores resultados, especialmente cuando se aplica sobre partes

granalladas.

2).- En lo concerniente al tipo de ensayo, el ensayo de inmersión parcial ofrece resultados mucho más reales que el ensayo de inmersión total, ya que en la práctica la inmersión parcial de partes y equipos se presenta con mayor frecuencia.

3).- Es importante señalar además, que no se deben considerar a las pinturas como productos eléctricamente aislantes, que dejan pasar corriente a su través solo cuando la película ha sido dañada mecánicamente, lo que en realidad sucede es que cuando las pinturas se encuentran inmersas en algún electrolito, adquieren carga eléctrica producida por ciertos elementos presentes en el aglutinante y capaces de ser separadas en iones, por lo que las pinturas se vuelven permeables a los iones de carga opuesta.

4).- En las pinturas sí influye el espesor de película ya que todos los constituyentes de las mismas son hasta cierto punto permeables, en consecuencia algunos elementos como el agua pueden difundirse lentamente a través de la película sin disgregarla, por lo que la velocidad a la que el agua pasa a través de la película disminuye al aumentar el espesor de la misma.

5).- En lo que respecta a la limpieza superficial previa a

la aplicación de la pintura, cuando se trata de grandes partes o equipos, se debe señalar que el chorreado abrasivo con arena es el único método eficaz , produciendo simultáneamente una superficie rugosa que proporciona un buen perfil de anclaje para las pinturas. En el caso de partes pequeñas, se puede usar el granallado aunque teniendo siempre en cuenta posibles dificultades con la energía que almacena la pieza debido a la deformación plástica que sufre la misma, cuando se produce el impacto de la granalla sobre la superficie.

#### RECOMENDACIONES

1).- La orilla del mar es el sitio adecuado para realizar éste tipo de ensayos, ya que las condiciones imperantes son las condiciones a las que van a estar sometidos los sistemas de pinturas en la realidad.

2).- Al efectuar la evaluación de los daños producidos en los recubrimientos, la misma se debe realizar bajo similares condiciones de iluminación para evitar errores por mala apreciación.

3).- Realizar análisis metalográficos para determinar la presencia de corrosión localizada.

4).- Tratar de que las condiciones imperantes en el ensayo

de corrosión sean lo más parecidas a las condiciones naturales.

5).- El tiempo de exposición recomendado sería aquel que permita observar la formación y desarrollo de cualquier tipo de falla (15 días).

6).- Reportar todas las situaciones externas que podrían influenciar los resultados, tales como: temperatura, humedad relativa, pH.

7).- Cuando se realice el ensayo en laboratorio, con agua de mar natural, reemplazarla periódicamente, para evitar la descomposición de la misma por falta de oxigenación.

8).- En el caso de largos períodos de exposición (6 meses ó más) , no es necesario producir daños mecánicos en los recubrimientos , ya que el tiempo de vida útil de éstos es de un año aproximadamente.

9).- Un estudio interesante resultaría de evaluar individualmente cada una de las capas que forman parte de los sistemas de pintura, incluyendo la capa anti-incrustante

## APENDICE

## METODO ESTANDAR DE EXAMEN POR INMERSION DE ACEROS REVESTIDOS.

### 1. ALCANCE

1.1 Este método sirve para determinar la resistencia a la falla de una manera acelerada de revestimientos tales como: pinturas, varnices, lacas y productos semejantes aplicados sobre superficies de acero, cuando están sumergidos total o parcialmente en cualquier electrólito.

### 2. EQUIPOS

2.1 Contenedor .- Debe estar hecho de un material que no se corroa como el vidrio, el plástico, el hierro galvanizado, etc. El contenedor debe ser lo suficientemente grande para acomodar los especímenes a una distancia no menor a los 13 mm entre cada uno.

2.2 El líquido de examen puede ser agua destilada.

### 3. ESPECIMEN DEL EXAMEN.

3.1 Los especímenes del examen deben ser una muestra cualquiera de acero cubierta con algún revestimiento.

3.2 Las muestras y los soportes deben ser seleccionados y preparados de acuerdo con los requerimientos del procedimiento del examen.

#### 4. REVESTIMIENTO DEL ESPECIMEN.

4.1 A menos que de otra manera se especifique el recubrimiento examinado debe ser aplicado de acuerdo con los métodos usados en los procesos de manufactura.

El revestimiento debe ser aplicado a un espesor de película determinado, o a un espesor de película dentro de un rango determinado. El tiempo de secado y las condiciones de éste son anotadas en las especificaciones para los exámenes de los recubrimientos, los especímenes recubiertos no deben ser excesivamente limpiados o manoseados antes del examen.

#### 5. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

5.1 Inmersión.- Después de que los recubrimientos están secos, se debe sumergir el espécimen parcialmente en el líquido de examen y mantenerlo a una temperatura constante, o dentro de un rango de temperaturas establecido previamente, el líquido de examen debe ser cambiado por lo menos cada 72 horas, para

eliminar la contaminación que facilmente se detecta con el cambio de apariencia del líquido.

## 5.2 Revisión de las muestras.

Cuando las muestras van a ser examinadas se las debe secar pero con un procedimiento tal que solamente remueva el líquido de la superficie, durante la revisión que debe ser efectuada cinco min. despues de realizada la operación de secado se debe tratar de determinar la presencia de fallas tales como ampollas y arrugas. En el caso de existir un gran número de muestras, la operación de secado y revisión se puede realizar en posta. A menos que de otra manera se especifique no se debe tomar en cuenta las fallas que se encuentran a una distancia menor de 13 mm del filo.

Nota 1.- Ampollamiento, arrugas, asperezas, desintegración, pérdidas de adherencia, cambio de color y otras fallas específicas deben tambien ser tomadas en cuenta en estos exámenes.

## 5.3 Duración del examen.

Se debe realizar el examen durante un período de tiempo tal que se pueda evaluar el grado de falla.



## BIBLIOGRAFIA

- 1.- F.A.Champion, Ensayos de Corrosion, (2da. Edición; Bilbao: Urmo, 1970), pp 24-39 .
- 2.- Annual Book of ASTM Standard, volumen 27 (Philadelphia Annual Book 1979) .
- 3.- Annual Book of ASTM Standard, volumen 10 (philadelphia Annual Book 1979).
- 4.- F.L.Laque, Marine Corrosion Causes and prevention (Reading, New York: John Wiley & Sons, 1975), pp 45-55.
- 5.- H. H. Ulling, Corrosion and corrosion control (2da Edicion, New York, 1971),pp 245-256.
- 6.- NACE;Corrosion Control by Organic Coatings, (Houston , NACE, 1981), pp 97-103.
- 7.- NORMA CUBANA, Sistemas de Normas de Protección Contra la Corrosión. Recubrimientos de Pinturas y Barnices. Probetas para ensayos. NC 12-04-11:81

8.- La Corrosión y técnicas convencionales de protección  
(Folleto, Facultad de Ingeniería en Mecánica, Escuela  
Superior Politécnica del Litoral, 1990).

9.- Manual de pinturas HEMPEL, 1988