

# Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Química y Manufacturera



## Diseño y Construcción de una Cámara de Niebla Salina para Ensayos de Corrosión Acelerados

### TESIS

Para optar el título profesional de:  
**INGENIERO QUIMICO**

Edith Perea Reátegui  
Bilma Yupanqui Porras

LIMA - PERU . 1988

Dedico este trabajo a mis padres, para quienes ésto significa una ilusión hecha realidad, y así es para mí, una verdadera satisfacción este logro.

EDITH.

A mi querida Madre que con  
su dedicación hizo posible  
que alcanzara la meta pro  
puesta.

BILMA.

## AGRADECIMIENTO

Realmente una página es muy pequeña para dar las gracias a todos aquellos que de una u otra forma hicieron posible la cristalización de este Proyecto.

Agradecemos particularmente la desinteresada cooperación de los integrantes del Grupo de Corrosión y Laboratorio de Operaciones Unitarias y especialmente a nuestro Jefe de Proyecto Ing. Eugenia Medico Bao y a nuestro Asesor Ing. Pedro Pizarro Solis.

Gracias, muchas gracias.

EDITH Y BILMA.

## INDICE GENERAL

### CAPITULO I

Resumen	1
Conclusiones	3

### CAPITULO II: ASPECTOS TEORICOS DE LA CORROSION

2.1.0	Definición y tipos de corrosión.	6
2.1.1	Tipos de corrosión.	8
	a. Clasificación según la naturaleza del medio corrosivo.	10
	b. Clasificación según su mecanismo .	10
	c. Clasificación de acuerdo a la apariencia del material corroído.	11
2.2.0	Corrosión atmosférica, factores metereológicos, variables y contaminantes.	
2.2.1	Factores metereológicos y variables.	16
	a. Humedad relativa del aire	17
	b. Humectación de la superficie metálica.	18
	c. Espesor de la capa de humedad	21
	d. Temperatura	24
2.2.2	Contaminantes	25
	a. Influencia de la contaminación por SO <sub>2</sub>	27
	b. Cloruros	28

2.3.0	Mecanismo de la corrosión atmosférica.	30
2.3.1	Mecanismo de los metales no férreos.	32
2.3.2	Mecanismo del hierro.	33
2.4.0	Tipos de atmósferas.	35

CAPITULO III. ESTUDIO CLIMATOLOGICO Y LA INFLUEN  
CIA DE LA CONTAMINACION EN EL GRA-  
DO DE CORROSIVIDAD DE LAS ATMOSFE-  
RAS.

3.1.0	Elementos para el análisis climatológico.	39
3.1.1	Diagramas anuales de variación de humedad relativa.	
3.1.2	Tiempo de humectación de la superficie me- tálica.	40
3.1.3	Temperatura.	41
3.1.4	Vientos.	42
3.2.0	Análisis climatológico de algunos puntos de la Costa Peruana.	
3.2.1	Estaciones situadas en el Norte	
	a. Estación del Dpto. de Piura.	42
	b. Estación del Dpto. de La Libertad.	43.
3.2.2	Estaciones situadas en la Zona Central.	
	a. Estación del Dpto. de Ancash.	44
	b. Estación de la Provincia Constitucional del Callao.	44

c. Estación del Dpto. de I ca.	45
3.2.3. Estación situadas en la zona Sur.	
a. Estación del departamento de Arequipa.	46
b. Estación del departamento de Moquegua.	46
3.3.0 Industrias diversas y otros su influencia en la contaminación.	47

#### CAPITULO IV. CAMARA DE NIEBLA SALINA

4.1.0 Justificaciones para el uso de la cámara de niebla salina.	61
4.1.1 Recomendaciones importantes y observaciones.	63
4.1.2 Ensayos de pulverización.	65
4.2.0 Semejanzas y diferencias de normas sobre cámara de niebla salina: ASTM, DIN, JIS.	69
4.3.0 Descripción del equipo.	73
4.4.0 Funcionamiento de la cámara de niebla salina.	77

#### CAPITULO V. DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL EQUIPO.

5.1.0 Cálculo del caudal máximo que circula del tanque de agua salina.	82
5.2.0 Presión de vacío necesario en la boquilla de salida del agua salina.	86
5.3.0 Cálculo del calor necesario para llevar el aire a 60°C en el tanque de humectación.	87

5.4.0	Cálculo del calor necesario para calentar el agua del tanque de humectación.	89
5.5.0	Diseño de la resistencia eléctrica del - tanque de humectación.	90
5.6.0	Diseño del gabinete de la cámara de niebla salina.	91
5.7.0	Especificaciones de diseño de los equipos auxiliares.	92
5.7.1	Tanques de alimentación.	92
5.7.2	Compresor.	93
5.7.3	Sistema de pulverización.	
5.8.0	Instrumentación.	94

## CAPITULO VI: ENSAYOS EN LA CAMARA DE NIEBLA SALINA

6.1.0	Ensayos en la cámara de niebla salina.	
6.1.1	Preparación y toma de muestras.	96
a.	Preparación de muestras.	96
b.	Selección de muestras.	97
c.	Duplicado de muestras.	100
d.	Identificación, tamaño y toma de muestras.	103
6.1.2	Material de ensayo.	105
6.1.3	Ensayos de acuerdo a la norma de probetas desnudas.	109



## INDICE DE APENDICES

APENDICE # 1	Método standard de prueba de niebla salina ASTM B117-64.	152
APENDICE # 2	Ensayo de corrosión DIN 50021	181
APENDICE # 3	Métodos de prueba de rociado salino JIS Z 2371	205
APENDICE # 4	Práctica standard para preparación, limpieza y evaluación de la corrosión en los especímenes de ensayo ASTM G1-81.	221
APENDICE # 5	Método standard para la preparación de paneles de acero para ensayar pinturas, barnices, lacas y productos relacionados.	239

- BIBLIOGRAFIA

- PLANOS

## INDICE DE TABLAS Y CUADROS

TABLA 2.0	Efectos de los electrolitos en la velocidad de corrosión.	31
TABLA 3.0	Velocidad y dirección de vientos.	58
TABLA 6.0	Calidad estructural del carbono SAE 1020.	106
TABLA 6.1	Determinación gravimétrica de la velocidad de corrosión.	
	a) Tiempo de exposición 24 horas.	119
	b) Tiempo de exposición 48 horas.	121
	c) Tiempo de exposición 72 horas	123
CUADRO # 1	Inversión total para la construcción de cámara de niebla salina.	149.
CUADRO # 2	Costo de un servicio de ensayo de corrosión acelerada de 24 horas.	150

## INDICE DE FIGURAS

FIG. 2.1	Variación de la corrosión en función de la humedad relativa.	19
FIG. 2.2	Velocidad de corrosión versus espesor de la película de humedad	23
FIG. 2.3	Corrosión versus temperatura.	26
FIG. 2.4	Humedad relativa versus formación de herrumbe.	38
FIG. 3.1	Diagramas anuales de humedad relativa.	49
FIG. 3.2	Ubicación de principales industrias y otras actividades que contaminan el ambiente, dirección de los vientos y H.R.	56
FIG. 4.0	Cámara de niebla salina.	80
FIG. 4.1	Vista interior de la cámara de niebla salina.	81
FIG. 4.2	Posición de las probetas de ensayo en la cámara.	81

FIG. 5.0	Diagrama de Balance de energía.	84
FIG. 6.0	Representación esquemática de los cambios en microestructura durante el enfriamiento de acero al 0.20% de carbono.	107.
FIG. 6.1	Acero al 0.20%de carbono.	108
FIG. 6.2	Probetas desnudas antes de someterse al medio corrosivo en la cámara de niebla salina.	109
FIG. 6.3	Probetas desnudas después de su exposición en la cámara de niebla salina.	113
FIG. 6.4	Probetas desnudas expuestas a 24, 48, 72 horas.	114
FIG. 6.5	Determinación de la velocidad de corrosión.	
	a) Tiempo de exposición 24 horas	120
	b) " " " 48 horas	122
	c) " " " 72 horas	124

FIG. 6.6	Probetas recubiertas según el sistema convencional.	134
FIG. 6.7	Probetas recubiertas según el sistema epóxico.	136
FIG. 6.8.a	Probetas recubiertas según el sistema convencional después de su exposición.	143
FIG. 6.8.b	Probetas recubiertas según el sistema epóxico después de su exposición.	144

## CAPITULO I

### RESUMEN

El desarrollo del presente trabajo ha constado principalmente en su primera etapa, sobre el diseño y la construcción de la Cámara de Niebla Salina. Se seleccionaron los materiales más adecuados y de bajo costo. En general, todas las partes de la Cámara han sido construidos en los Talleres de la Universidad Nacional de Ingeniería, salvo los servicios de reparación del compresor y fabricación de la estructura metálica de la Cámara.

Los diseños han sido realizados por el Grupo de Investigación teniendo en cuenta las restricciones que imponen normas. Los procedimientos de evaluación se ciñen a la Norma ASTM B 117 (E.E.U.U.) o sus equivalentes JIS Z 2371 (JAPON) y DIN 50021 (R.F.A.).

La Cámara de Niebla Salina se utiliza comunmente en la evaluación del comportamiento de los materiales

metálicos en atmósferas marinas. Así mismo, tiene un uso muy amplio en la evaluación comparativa de recubrimientos orgánicos. Existiendo, para la evaluación de muestras desnudas y con recubrimientos las correspondientes normas, tales como la ASTM 609 y la ASTM G1, entre las más importantes.

En este trabajo se ha tocado también puntos teóricos acerca de la corrosión en los metales.

Adicionalmente, se hace notar la tremenda importancia de prevenir la corrosión en los metales, mediante el análisis climatológico de la costa peruana.

Hemos puesto mucho empeño y dedicación en la obtención de un equipo de Cámara de Niebla Salina eficiente. Sabemos que todo trabajo es susceptible a ser mejorado, y el nuestro no es una excepción. Por lo que invitamos cordialmente a grupos de trabajo que empiecen esta excitante experiencia.

## CONCLUSIONES

Se ha logrado cumplir el objetivo del presente trabajo, el cual consistía en la construcción de un equipo de una cámara de niebla salina, basada o de acuerdo a las especificaciones de las normas ASTM B-117-64, DIN 50021 Y JIS 2371.

Con este equipo se han llevado a cabo pruebas satisfactorias de corrosión acelerada, con lo que se demuestra que es factible la construcción de este tipo de equipo en nuestro país a un costo menor que el importado.

En la construcción de la cámara se han utilizado materiales nacionales, y ha sido realizada por trabajadores de la U.N.I., con el debido asesoramiento de los profesores de la Facultad de Ingeniería Química Manufacturera.

Es necesario resaltar que este tipo de cámara de niebla salina es la primera construida en el Perú y se halla en la Facultad de Ingeniería Química Manufacturera.



El costo de un servicio de 24 horas en esta cámara ha sido calculada en 3,537 Intis. (Fines de marzo de 1988 ) De este costo el 70% le corresponde al insumo principal que es el cloruro de sodio.

Del análisis en base a datos de humedad relativa, temperatura, dirección y velocidad de vientos, en ocho diferentes puntos de nuestra costa peruana se ha observado, que la zona central, presenta una mayor predisposición a la corrosión atmosférica, donde la humedad relativa alcanza mayores porcentajes que en las otras zonas.

La zona norte de nuestra costa, presenta una predisposición menor que la zona central. En esta zona norte se alcanza valores de humedad relativa suficiente para favorecer la corrosión atmosférica.

La zona sur es la que presenta la menor predisposición a la corrosión atmosférica, debido a su menor porcentaje de humedad y la dirección de los vientos que no es favorable al traslado de las partículas de sal hacia la costa.

Se ha llevado a cabo en el equipo de cámara de niebla salina ensayos de acuerdo a la norma ASTM B 117-64, utilizando probetas de acero al carbono al 0.2%, las cuales han sido expuestas desnudas o con recubrimiento.

En las probetas desnudas de obtuvieron velocidad de corrosión de:

82.444 mpy para una exposición de 24 horas.

58.988 mpy para una exposición de 48 horas.

52.643 mpy para una exposición de 72 horas.

Cada una de ellas presentaban los productos normales de corrosión (herrumbre). El tipo de recubrimiento utilizado, en las probetas que fueron ensayadas con recubrimiento fueron el sistema de pintura convencional y el sistema de pintura epóxico, los cuales mostraron un comportamiento satisfactorio luego de un ensayo de 72 horas.

## CAPITULO II

### ASPECTOS TEORICOS DE LA CORROSION

#### 2.1.0.- DEFINICION Y TIPOS DE CORROSION (8,9,12,16,17)

Corrosión es la destrucción gradual del metal por reacciones químicas o electroquímicas con el medio que lo rodea, por lo cual, pierde sus propiedades físicas y mecánicas. No se considera la acción mecánica una causa de corrosión, por lo cual el desgaste o erosión un proceso de corrosión, sin embargo hay procesos de corrosión combinadas con acciones mecánicas como la corrosión-erosión, corrosión por esfuerzo, etc.

Así mismo existen otras definiciones afines :

#### - Definición de Transformación.-

Es la acción entre un metal o aleación en estado sólido o líquido y su ambiente, pudiendo ser esta deliberada y beneficiosa o fortuita y perjudicial.

#### - Definición de deterioro.-

Se considera a la corrosión metálica como el deterioro de un metal o aleación debido a su interacción con el medio ambiente, en que se

encuentre, viéndose afectadas en forma contraria aquellas propiedades que deben preservarse en el metal. Las reacciones de corrosión, no todas son negativas, algunas son necesarias llevarlas a cabo en algunos procesos tecnológicos.

La corrosión es un proceso inverso a la metalurgia extractiva, la gran mayoría de los metales se encuentran en la naturaleza en estado combinado que viene a ser su estado estable desde el punto de vista termodinámico, generalmente formando óxido.

Los metales puros al ser expuestos en sus aplicaciones prácticas a los medios o atmósferas tienden a volver al estado combinado, si óxido fué en un comienzo, el óxido tiende a convertirse, porque el metal es termodinámicamente inestable.

Para el estudio fundamental del fenómeno de corrosión, deberá conocerse las propiedades características estructurales del metal o aleación, la naturaleza del ambiente y las reacciones que ocurren en la interfase metal-ambiente.

Metal.- Debemos tener en cuenta su composición estructural atómica detallada, heterogeneidades, resistencia a la tracción, compresión.

Las heterogeneidades en un metal se clasifican en forma general en:

#### A NIVEL ATOMICO:

- Posiciones dentro de una capa superficial determinada variando de acuerdo al plano cristalográfico.
- Posiciones en los bordes de una capa superficial parcialmente llena.
- Defectos de punto en la capa superficial: vacancias, moléculas adsorbidas en la capa superficial.
- Moléculas desordenadas en el punto de salida de las dislocaciones.

#### A NIVEL MICROSCOPICO:

- Límites de grano
- Fases metálicas

#### A NIVEL MACROSCOPICO:

- Límites de grano
- Discontinuidades en la superficie metálica, rayaduras, discontinuidades en las películas de óxido o en recubrimiento metálicos o no aplicados.
- Factores geométricos en general.

Es importante conocer todos estos factores estructurales de metal porque nos dá a conocer detalles del proceso de corrosión. Ejm.: Las discontinuidades en las películas superficiales los contactos bimetálicos, etc, influirán enormemente en la cinética y localización de la reacciones de corrosión.

Ambiente.- Las reacciones de corrosión también dependerán de la naturaleza química de los ambientes o las condiciones ambientales del proceso en que se hallan.

Interfase metal/ambiente.-

Si se considera a la corrosión como una reacción química heterogénea, que se lleva a cabo en la interfase metal/ambiente (natural o propio del proceso), se podría expresar de la forma siguiente:



A: Metal

B: Reactante procedente del ambiente.

C y D: Productos de la corrosión, uno de ellos es la forma oxidada del metal y el otro será la forma reducida del metal.

#### 2.1.1. TIPOS DE CORROSION.-

Los metales pueden verse afectados por la corrosión en diferentes formas que estarán directamente relacionadas con la naturaleza del metal en sí y de las condiciones ambientales existentes.

Tratar de realizar una clasificación de la corrosión es un trabajo sumamente difícil, debido a que no se puede considerar todas las variables que afectan a un determinado tipo de corrosión.

Se ha realizado una clasificación en base a tres factores primordiales:

- Naturaleza del medio corrosivo
- Mecanismo
- Apariencia del material corroído

a) Clasificación de la corrosión según la naturaleza del medio corrosivo:

Debido al medio corrosivo, la corrosión puede clasificarse en:

- Corrosión gaseosa.- Cuando se lleva a cabo sin la condensación de humedad en la superficie metálica, es decir, en ausencia de una fase líquida o por encima del punto de rocío del medio.
- Corrosión atmosférica.- Este tipo de corrosión mayormente se presenta en las instalaciones industriales donde la velocidad de corrosión es una función de la naturaleza del metal, humedad y contaminantes.
- Corrosión líquida.- Este tipo de corrosión es de gran importancia debido al desarrollo de las industrias químicas y petroquímicas; las reacciones de corrosión en solventes orgánicos fuertes, viene siendo cada vez más comunes.
- Corrosión subterránea.- Es aquella producida por la acción del suelo, es decir por las sales presentes: pH, resistividad, presencia de bacterias aeróbicas, concentración de oxígeno, etc.

b) CLASIFICACION DE LA CORROSION SEGUN SU MECANISMOS:

Aquí se observa dos procesos de corrosión fundamen-

talmente distintos ya sea en su mecanismo de reacción como en las condiciones que se llevan a cabo, clasificándose en:

- Corrosión Química.- Son aquellas donde el metal o aleación reacciona directamente con el medio, el proceso afecta a toda la superficie metálica de manera similar, los productos de corrosión si no son volátiles o solubles forman una barrera sólida entre el metal y el ambiente realizando un impedimento al progreso del ataque.

- Corrosión electroquímica.- Se produce por un transporte simultáneo de electricidad a través de un electrólito, el proceso no afecta por igual a toda superficie metálica, en las regiones catódica no hay ataque, este tipo de corrosión contribuye mayormente, en el fallo de los metales.

Es probable que se lleve a cabo este tipo de corrosión cuando los metales se hallan en contacto con medios de conductividad electrolítica (agua, soluciones salinas, humedad de la atmósfera y de los suelos), los productos de corrosión es difícil que ejerzan una acción protectora realmente eficaz.

#### c) CLASIFICACION DE LA CORROSION DE ACUERDO A LA APARIENCIA DEL MATERIAL CORROIDO.

Esta clasificación se ha establecido de acuerdo al



aspecto externo que presenta el material corroído, esta clasificación es más conveniente si se quiere evaluar los daños producidos por la corrosión.

- Corrosión uniforme.- El ataque se extiende en forma homogénea sobre toda la superficie metálica y su penetración media es igual en todos los puntos lo cual nos permite calcular rápidamente la vida útil del material, mediante pruebas simples.

Este tipo de ataque puede ser fácilmente combatida, por lo cual no reviste mayor importancia.

- Corrosión localizada.- Es aquella en la cual, pequeñas zonas son corroídas siendo por lo tanto la forma más peligrosa de corrosión e inaceptable.

Se da principalmente cuando existe condición de estancamiento o flujo de velocidades pequeñas que permite la formación de celdas de acción local o las heterogeneidades en el metal, estructura, etc.

- Corrosión Galvánica.- Se produce cuando se pone en contacto dos metales diferentes en una solución o medio conductor, la diferencia de potencial eléctrico existente entre los dos metales crea un campo propicio para generar una pila, actuando el material menos noble como ánodo.

- Corrosión erosión.- Es aquella causada por el movimiento relativo entre el fluido corrosivo y la superficie metálica, habiendo efectos mecánicos de des-

gaste y de abrasión, con formación de burbujas de vapor en la superficie del metal o por deslizamiento de metales entre sí, debido a lo anterior se remueve de la superficie metálica, los films de óxido protectores.

- Corrosión en placas.- Abarca los casos intermedios entre corrosión uniforme y corrosión localizada, el ataque se extiende más en algunas zonas, pero se presenta como un deterioro generalizado.

- Corrosión por hendiduras.- Por diseño o construcción se ha formado unos huecos o hendiduras donde se concentra el medio agresivo por localización de suciedades por productos de corrosión.

- Corrosión por picado.- Es una forma localizada de ataque corrosivo que dá como resultado pequeños orificios que puede traspasar completamente ciertas partes de un equipo.

El ataque se localiza en puntos aislados de superficies metálicas pasivas y se propaga hacia el interior del metal, en ocasiones formando túneles microscópicos, presentándose algunas veces aisladas y otras veces dándole una apariencia rugosa al metal.

- Corrosión biológica. Se debe a la acción de bacterias o microorganismos en el proceso electroquímico de corrosión del acero de baja aleación y de media

aleación, ciertas bacterias produce derivados de su metabolismo que son agresivos:  $H_3PO_4$ ,  $H_2SO_4$ ,  $HNO_3$ , etc., productos que alteran el medio acelerando el ataque al acero.

- Corrosión catastrófica.- Se produce mayormente en calderas y hornos, motivadas por la acción de los combustibles cuyas cenizas depositadas en los tubos que presentan bajo punto de fusión, son generalmente pentóxido de vanadio, óxido de sodio y potasio produciéndose un ataque de una fase líquida a la superficie sólida del metal. La fase líquida disuelve con mucha facilidad el óxido protector de la superficie metálica formando costras que aumentan de tamaño y caen exponiendo nuevamente el metal a la ceniza que posteriormente se deposita y así sucesivamente, haciendo disminuir rápidamente el grosor de los tubos.

- Corrosión intergranular.- Se produce el ataque en los espacios que limitan los granos de un metal y que producen pérdidas de la resistencia mecánica y ductibilidad, los bordes del grano son generalmente anódico respecto al material del grano, este ataque se extiende hasta inutilizar el material afectado.

- Corrosión bajo tensiones.- Se presenta cuando un metal es sometido paralelamente a la acción de un medio corrosivo y a tensiones mecánicas de tracción se forman fisuras que pueden ser transgranulares e inter-

granulares y que propagan hacia el interior del metal hasta que las tensiones se relajan o el metal se fractura.

## 2.2.0 CORROSION ATMOSFERICA , FACTORES METEREOLÓGICOS, VARIABLES Y CONTAMINANTES (2,3,6,11,16)

La corrosión atmosférica en función del grado de humedad se divide en :

-Corrosión atmosférica seca.- Se asemeja a la corrosión a temperaturas altas, por lo que a temperatura ambiente sus efectos no son considerables las películas de óxido son extremadamente delgadas, por lo normal continuas y protectoras, no suelen superar los 40 a 60 amstrong. Son llamadas capas primarias, pueden ser ignoradas a efectos prácticos, puesto que la velocidad progresa en forma infinitesimal.

-Corrosión atmosférica húmeda.- para que este tipo de corrosión ocurra se necesita un valor mínimo de humedad relativa (Humedad Crítica), por debajo de la cual no hay corrosión apreciable.

En este tipo de corrosión se forman sobre las superficies metálicas las capas secundarias que son las que se toman en cuenta para efectos prácticos de la corrosión atmosférica. La corrosión atmosférica es posible cuando la superficie metálica está humedecida, el mecanismo de la corrosión es electroquímica. El electrolito es una capa de humedad que unas veces es extremada

mente delgada e invisible y otras veces moja visiblemente al metal. La corrosión depende del tiempo durante el cual la capa de humedad permanece sobre la superficie metálica, es decir, está fijada por la combinación de una serie de factores: humedad, temperatura, lluvia, condiciones de exposición, contaminación atmosférica, composición de metal, propiedades del óxido formado, etc.

La corrosión de los materiales en contacto con la atmósfera es una de las formas más comunes de la destrucción o deterioro de los metales o aleaciones, y puede entenderse como el ataque destructivo que estos materiales sufren en su exposición al aire a temperatura ambiente.

### 2.2.1 FACTORES METEOROLOGICOS Y VARIABLES.

En la corrosión atmosférica de los metales intervienen tanto los factores meteorológicos que determinan la presencia y duración de las capas de humedad sobre las superficies metálicas como factores de contaminación que aceleran considerablemente el proceso corrosivo.

La magnitud de la corrosión atmosférica depende fundamentalmente del tiempo durante el cual la superficie aparece húmeda, pero en realidad es determinada así mismo, por una combinación de factores como lluvia, temperatura, etc.

a).- Humedad relativa del aire.-

El valor de la humedad relativa del aire sirve para conocer lo cerca o lejos que está la atmósfera del estado de saturación y puede expresarse como la relación (en tanto por ciento) entre la presión parcial del vapor de agua en el aire ( $P_{H_2O}$ ) y la presión de saturación del aire en vapor de agua ( $P_S$ ) a la misma temperatura.

$$H.R. = 100 \times P_{H_2O} / P_S$$

Con hechos experimentales se ha comprobado que la velocidad de corrosión de hierro aumenta al incrementarse la H.R. aunque en términos absolutos esta velocidad puede seguir siendo pequeña pero experimenta una subida y notable elevación a partir del 60% al 70% de humedad relativa, especialmente si la atmósfera está contaminado.

La presencia de constituyentes solubles (sulfatos, cloruros, etc.) sobre la superficie metálica reduce el nivel de humedad relativa necesario para la agravación del proceso corrosivo.

Los propios productos de corrosión suelen bajar también el porcentaje de humedad relativa crítica siendo los higroscópicos los de mayor efecto en este sentido. La velocidad de corrosión (cuando se alcanza el régimen cuasi-estacionario) se relaciona con la hume-

dad relativa a través de la siguiente relación.

$$V_c = V_{c100} (H \times H_c / H_{100} - H_c)^2 \dots\dots (1)$$

$V_c$  : Velocidad de oxidación a una humedad relativa por encima de la crítica.

$V_{c100}$ : Velocidad de corrosión al 100% de humedad relativa

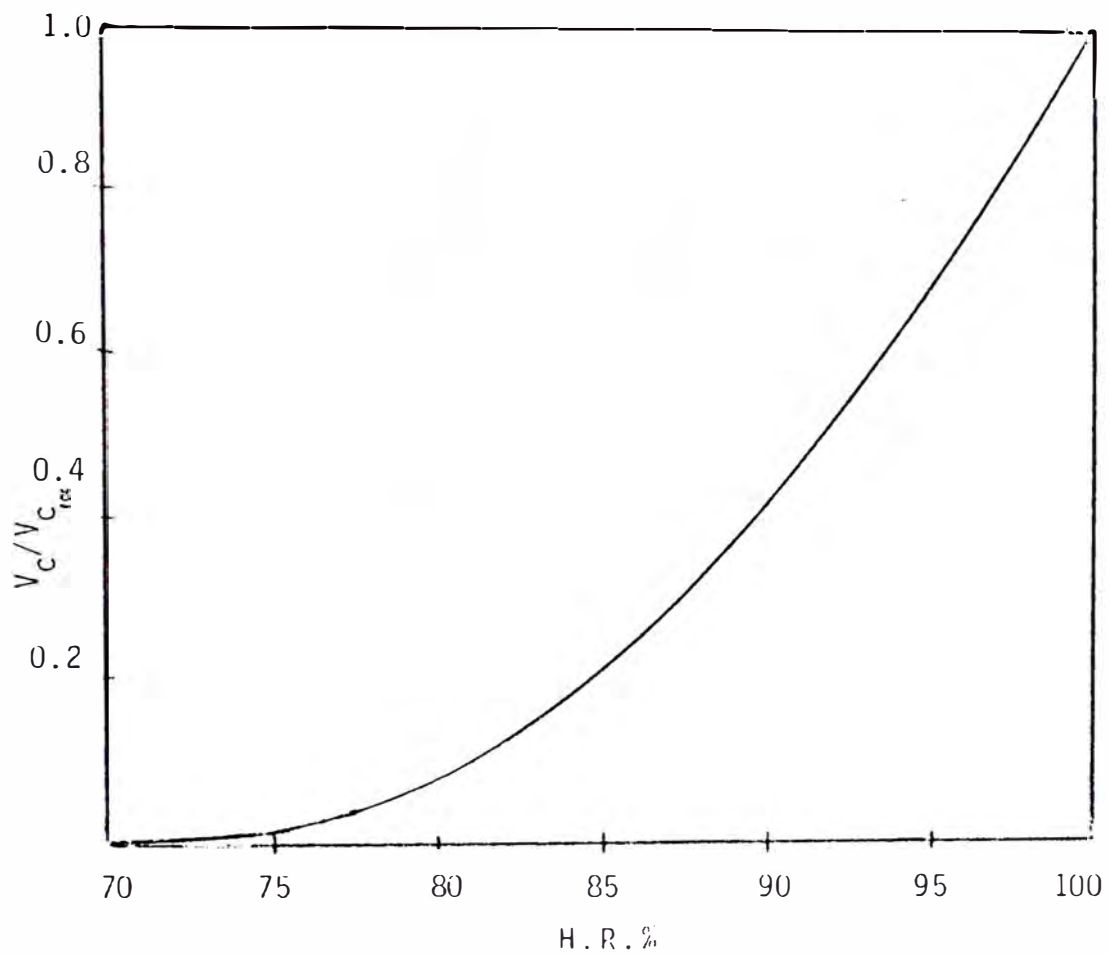
$H$  : Humedad relativa ambiental

$H_c$  : Valor de humedad crítica (la que una vez sobrepasada provoca una notable aceleración del proceso de corrosión) . Fig. 21

Conforme a esta relación la velocidad aumenta con la humedad relativa y lo hace rápidamente cuando la humedad relativa sobrepasa el 80% y 90%.

b).-Humectación de la superficie metálica. Debido al carácter electroquímico de la corrosión atmosférica, la formación de una capa de electrolito es condición previa para llevarse a cabo el proceso de corrosión.

En los períodos de precipitación de humedad (lluvia, rocío, niebla, etc.) las superficies metálicas se recubren de un depósito visible de agua. Esta película acuosa puede ser continua o discontinua como cuando el aire se enfría a una temperatura ligeramente por debajo del punto de rocío y el vapor empieza a condensar en forma de pequeñas gotas sobre el metal.



Variación de la velocidad de corrosión en función de la H.R., suponiendo que la Humedad crítica fuera del 70% y cumpla con la relación (1).

Fig. 2.1



La cantidad de agua depositada sobre la superficie durante el enfriamiento periódico del aire es mucho mayor que la humedad acumulada por condensación capilar o simple absorción física.

Se ha comprobado que durante la precipitación de lluvia, rocío o en presencia de brumas, las capas de humedad sobre las superficies verticales poseen a menudo espesores de 10 a 50 micrómetros. Sobre superficies horizontales son posibles encontrar espesores de 50 - 150 y excepcionalmente mayores de 200 micrómetros.

Las capas de espesor cercanas a 100 micrómetros tienden a escurrir de las superficies inclinadas (Knotkova-Cermakova - Vickova, 1972)

La difusión de oxígeno a través de la capa acuosa suele ser el factor controlante de la velocidad de corrosión. Esta velocidad aumenta al adelgazar la capa acuosa sobre el metal hasta alcanzar un valor máximo hasta espesores intermedios (Rosenfield 1972). Se comprende que la unión de las gotitas individuales para dar lugar a capas relativamente gruesas de electrolitos reduzca algo la velocidad de ataque por dificultar la velocidad de oxígeno.

Asimismo una excesiva disminución del espesor de la capa de humedad no favorece el proceso de corrosión debido a la alta resistencia ohmica de las películas excesivamente delgadas.

Para tiempos iguales el rocío puede ser más perjudicial que la lluvia, ya que las pequeñas gotas de rocío no escurren de la superficie metálica a diferencia de los de la lluvia que ejercen una acción de lavado y arrastre de los contaminantes sólidos y gaseosos.

La corrosión atmosférica es mucho más grave cuando la superficie esta visiblemente mojada que cuando se expone a una atmósfera húmeda sin precipitación aun cuando la H.R. alcanza valores tan altos como el 80 y 90% .

c).-Espesor de la capa de humedad.-

El espesor de la capa de humedad depositada sobre el metal repercute en la velocidad de corrosión. Se ha hecho ensayos llegándose a ver que la velocidad de corrosión bajo una película de 0.1 micrómetro, es sólo ligeramente inferior que bajo películas de espesor de 100 veces mayor. Si la película tiene 0.01micrómetro el proceso de corrosión se aminora sensiblemente.

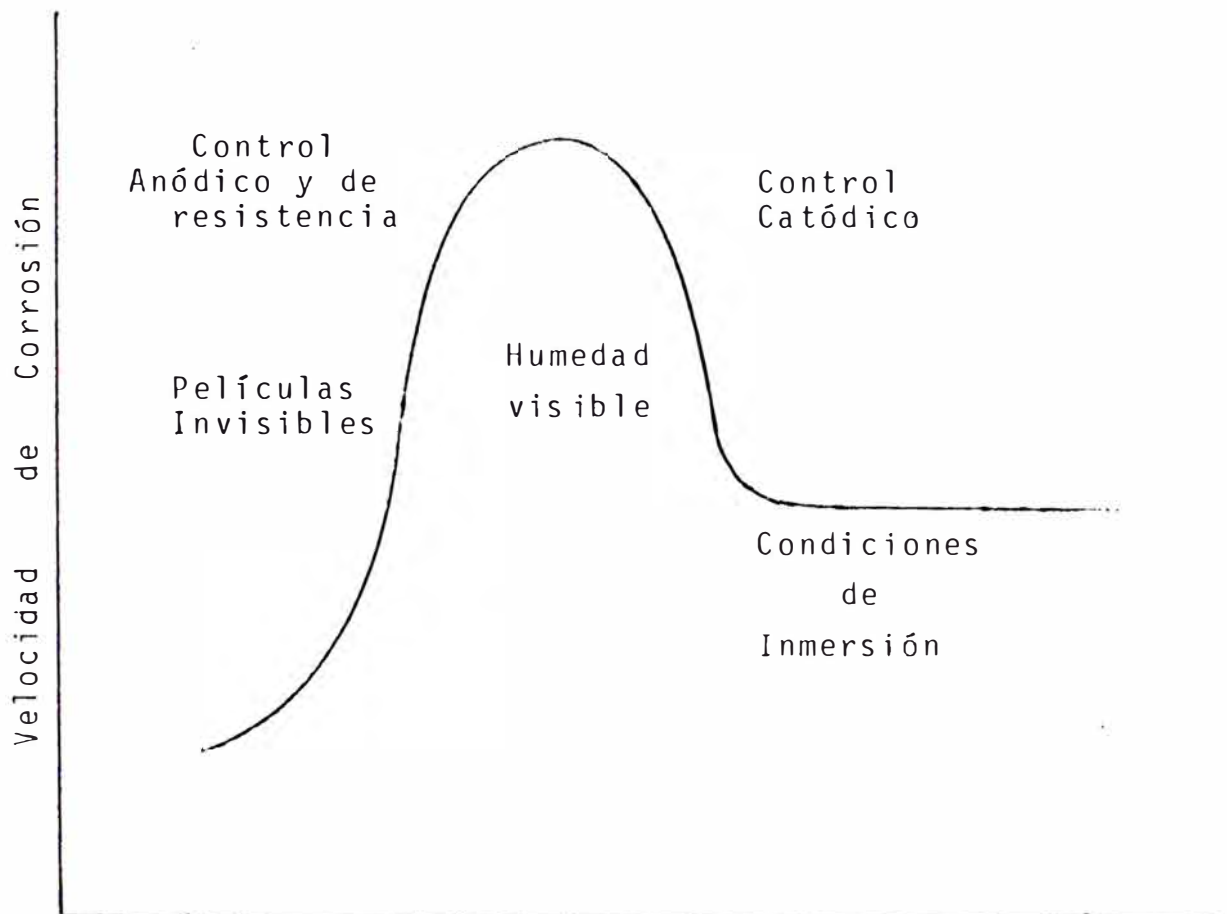
La corrosión causada por una capa acuosa expuesta a una atmósfera relativamente seca (42 al 68% H.R.), es pequeña debido a que el agua depositada sobre la superficie metálica se evapora con rapidez de modo que el periodo de corrosión durante el secado resulta realmente corto.

En una atmósfera más húmeda con el 78% de H.R. la velocidad de secado disminuye sensiblemente y la vida de la película de humedad se alarga pudiéndose producirse corrosiones apreciables. A una humedad del 100% no hay evaporación y el agua permanece retenida sobre la superficie del metal por lo que el espesor de la capa resulta mayor. Es perfectamente posible que la corrosión global habida a lo largo de un determinado intervalo de tiempo en el cual se alteran periodos de secado y humectación sea mayor que la experimentada por un metal permanentemente mojada en una atmósfera saturada de humedad, debido a la velocidad de difusión del oxígeno para la reacción catódica.

La figura 2.2 nos muestra la relación entre la velocidad de corrosión atmosférica y el espesor de la película de electrolitos sobre la superficie metálica.

Para espesores de unos 100 amstrong la corrosión no existe, la resistencia óhmica de la capa de electrolitos es enorme y la disolución metálica es difícil. A espesores crecientes la velocidad de corrosión aumenta a causa del descenso de resistencia de la película de electrolitos y por disminuir la polarización anódica.

Para espesores menores del máximo de la curva el proceso está determinado por el control anódico y de resistencia, con el adelgazamiento alcanzan valores considerables la polarización anódica y de resistencia.



Espesor de la película de humedad.

El espesor de la película de humedad condensada sobre la superficie metálica, influye en la velocidad de corrosión.

Fig. 2.2

En capas de humedad extremadamente delgadas el acceso casi ilimitado de oxígeno a la superficie metálica y la escasez de moléculas de agua para disolver los iones metálicos predispone a muchos metales y aleaciones, a la pasivación.

Cuando los espesores son superiores al máximo de la curva la reacción catódica es la predominante del proceso de corrosión, el papel de factor óhmico pierde importancia asimismo la polarización anódica.

La difusión de oxígeno a la superficie metálica es el proceso más lento y por lo tanto, controlante, ya que la película de humedad es suficientemente gruesa para que haya problemas en el acceso de oxígeno.

Se llega a un momento en el que el espesor no condiciona, es cuando la corrosión se estabiliza.

En el punto máximo de espesor versus velocidad de corrosión, en esta situación, la velocidad de transporte de oxígeno es la máxima compatible con un control catódico; el espesor es tal que aun no habiendo problemas en la llegada de oxígeno a la superficie metálica, es posible la disolución del metal y la hidratación de los iones libres esté manteniendo una conductividad en el electrolito aceptable.

#### d).-Temperatura.-

La temperatura puede tener influencia en la corrosión atmosférica en diversas formas, puede afectar la humedad relativa, el punto de rocío y el tiempo de hume-

tación y puede directamente afectar la cinética del proceso de corrosión.

La figura 2.3 muestra los efectos de incremento de la temperatura, en la velocidad de corrosión del hierro, zinc y cobre, conteniendo 16 mg/m<sup>3</sup> de HCl y 80% H.R. Se puede observar que en el cobre la variación de la temperatura no tiene mayor efecto, pero sí en el caso del hierro y zinc.

### 2.2.2.- CONTAMINANTES

La composición de capas de electrolitos de la superficie metálica está influenciada por la contaminación en gran medida. Los factores de contaminación (contaminantes gaseosos y sólidos), junto con los factores meteorológicos (humedad, lluvia, niebla y rocío, etc.) determinan la intensidad y naturaleza de los procesos. Se ha demostrado que el NaCl y el SO<sub>2</sub> son los principales contaminantes corrosivos de la atmósfera. La sal viene a la atmósfera desde el mar y de los suelos salinos. el anhídrido sulfuroso se encuentra en el aire debido a los humos industriales y de hogares domésticos y es producido por los combustibles líquidos y sólidos al quemarse.

Los niveles más altos de contaminación sulfurosa se registran en las áreas donde hay mayor concentración de industrias y en las grandes ciudades.

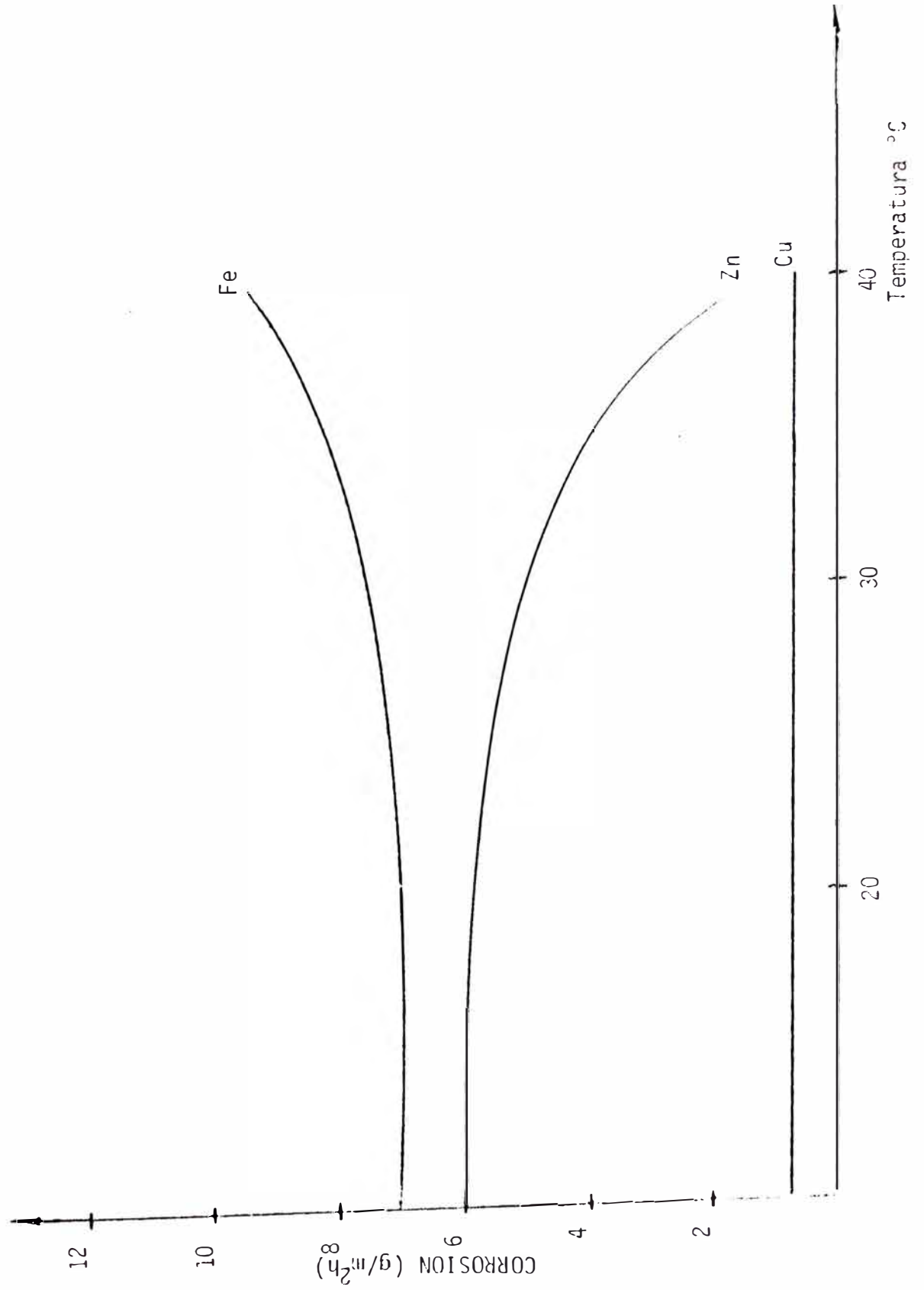


Fig. 2.3

#### a) .-INFLUENCIA DE LA CONTAMINACION POR SO<sub>2</sub> .-

Es muy frecuente la presencia SO<sub>2</sub> en la atmósfera en concentraciones que varían dentro de amplios límites de acuerdo con el carácter de las industrias, fuentes de energía de la zona, época del año, etc.

El ataque del metal se acelera considerablemente cuando la concentración de SO<sub>2</sub> supera los 0.1 miligramos/m<sup>3</sup> de igual modo se intensifica el deterioro de los recubrimientos protectores. En atmósferas con 10 a 100 ppm de SO<sub>2</sub> (27 a 270 mg/m<sup>3</sup>) la corrosión del acero no se hace significativa, mientras que la H.R. no supera el 68% . La concentración de SO<sub>2</sub> disminuye la H.R. necesaria para que se inicie la corrosión atmosférica a la vez que incrementa la velocidad del proceso. Para un mismo nivel de SO<sub>2</sub> la corrosión aumenta con la H.R.

Los productos de corrosión sobre la superficie metálica favorece la captación de agua y de contaminantes acelerando el proceso de corrosión.

A una H.R. mayor o igual a 80% y con 0.010 ppm de SO<sub>2</sub> casi todas las moléculas de SO<sub>2</sub> que chocan contra la superficie metálica recubierta de producto de corrosión se fijan a ella debido a la rápida oxidación del SO<sub>2</sub> absorbido, en presencia de óxido la capacidad de absorción, es apreciable a bajas humedades. Por ello el SO<sub>2</sub> puede acumularse en los productos de corrosión durante los periodos secos y afectar más tarde al



proceso corrosivo cuando la humedad se incrementa de nuevo. Los productos de corrosión de aire no son tan efectivos en absorber  $\text{SO}_2$  como lo son del hierro; menor todavía es la capacidad de absorción del  $\text{SO}_2$  para los productos de corrosión del cobre y aluminio, estos dos metales tienen una menor sensibilidad a la acción del  $\text{SO}_2$  atmosférico en comparación con la del hierro y zinc.

El mecanismo de corrosión de los metales por el  $\text{SO}_2$  implica varias etapas de la atmósfera por el metal en esta fase se debe tener en cuenta la condición superficial. Ejemplo: La rugosidad que determina el número de centros catalíticamente activos y que pueden influir en el grado de absorción del  $\text{SO}_2$ . Este gas se absorbe sobre la superficie metálica seca o se disuelve en la película acuosa cuando el metal está humedecido con formación de un electrolito de baja resistencia.

La oxidación del  $\text{SO}_2$  por el oxígeno de la atmósfera y su disolución en la capa de humedad produce  $\text{SO}_3$  y ácido sulfúrico que reaccionan por ejemplo con el fierro para dar sulfato ferroso y otros productos, como sulfito y tiosulfito.

#### b).-CLORUROS.-

Los iones de cloruro abundan en las atmósferas marinas en las que la fuente básica de mineralización

o constituyen las partículas de H<sub>2</sub>O salada arrastradas de aire sobre los mares. Se ha llegado a conocer que el viento transporta desde el mar hacia la playa 5 mg. de sal por minuto y metro de costa. Para que la sal acelere la corrosión, es necesario que la superficie metálica esté humedecida, se ha demostrado que un depósito de partículas de NaCl sobre la superficie del hierro, la corrosión empieza a notarse cuando la humedad relativa alcanza el 70% acelerándose notablemente a mayores humedades relativas.

Son únicamente las partículas de sal y gotitas salinas de tamaño superior a 10  $\mu$ m. los que depositándose sobre la superficie metálica causan la corrosión.

El viento es un factor importante en el arrastre de los cloruros y en la velocidad de corrosión así mismo se tendrá en cuenta la orientación del metal.

El viento arrastrando y pulverizando con el agua de mar sobre los metales influye directamente en desarrollo de la corrosión atmosférica, se ha llegado a comprobar que la corrosión sufrida por probetas situadas en diferentes lugares de la costa, la corrosión se incrementó en los meses que el viento soplabo con mayor fuerza ya que llevaba mayor cantidad de sal en su arrastre.

Pero tendrá que tenerse en cuenta la dirección del viento cuando este se realiza en forma que favorezca el transporte de cloruros hacia el lugar de exposición,

puede ejercer un efecto más importante que su propia velocidad. La orientación del metal como su inclinación afectan el proceso corrosivo, dado que se modifica el tiempo de humectación el aporte de los contaminantes, tiempo de humectación de polvo, acción de lavado por la lluvia.

En concentraciones bajas de cloruros, la velocidad de corrosión viene a ser casi constante, solamente cuando se incrementa la concentración de cloruros viene a ser significativo su incremento.

Los efectos específicos del cloruro de sodio y otras sales en la velocidad de corrosión del acero y otros metales han sido estudiados obteniéndose resultados que son mostrados en la tabla 2.0.

### 2.3.0 .- MECANISMOS DE LA CORROSION ATMOSFERICA (3,11)

Durante la corrosión atmosférica, la distorsión de la simetría de los cristales y la transición del metal en óxido se produce cuando los metales interactúan con el oxígeno y se forman las fases óxido como resultado de la difusión electroquímica, formándose los productos de corrosión, sales y compuestos hidratados del metal. La formación de capas de productos de corrosión puede condicionar en forma considerable la cinética de corrosión. En efecto, se considera que la corrosión atmosférica viene determinada por HR. superior a la

ELECTROLITOS	CORROSION (Pérdida de metal, mg/muestra)							
	HIERRO DULCE	ZINC	HIERRO GALVA NIZADO	COBRE	HOJA LATA	BRONCE	PLOMO	ALUMINIO
ClNa	165	11	12	40	2.8	12	2.3	0.6
Cloruro de Amonio	154	24	54	9	0.4	4	0.9	1.2
Sulfato de Sodio	48	8.1	34	2.4	3.8	1.0	0.7	0.7
Sulfato de Amonio	29	4.8	33.6	3.5	0.8	1.5	0.9	0.5

T A B L A 2.0

crítica y por la presencia de fases, vapores y otros contaminantes abrasivos, pero se debe tener en cuenta el posible efecto de los productos de corrosión. Estos pueden actuar impulsando (sales o ácidos solubles) o frenando el ataque (sales básicas pocos solubles y estables).

En un principio los productos de corrosión están actuando de forma contra productiva, ya que absorbe humedad (higroscópicos) y contaminantes gaseosos, existiendo un incremento inicial en la velocidad de corrosión, posteriormente puede actuar en forma favorable disminuyendo la velocidad de corrosión como consecuencia de hacerse las capas de éstos, cada vez más gruesas y compactas, dificultando la llegada de oxígeno a las superficies catódicas.

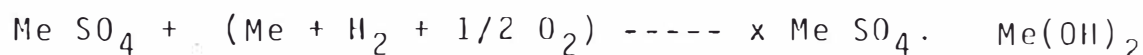
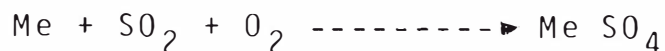
En atmósferas de alta corrosividad, los productos de corrosión se forman rápidamente. La causa de la corrosión no radica totalmente en la HR, contaminación atmosférica, productos de corrosión, etc, se ha observado la diferencia existente en el ataque del hierro y el de los metales no férricos, frecuentemente el hierro tiene una magnitud mayor. Una aplicación a esto podrá ser un mecanismo de ataque.

### 2.3.1.-MECANISMO DE CORROSION ATMOSFERICA DE LOS METALES NO FERREOS

En este caso los contaminantes aceleran la corrosión

pero necesitan consumirse dados que se encuentran o forman parte de los productos de corrosión.

Las reacciones fundamentales responden de acuerdo a la siguiente ecuación:

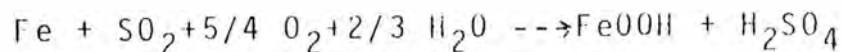


Lo más probable es que se dé la afortunada coincidencia de un mecanismo de ataque no catalítico con la formación de productos de corrosión protectores.

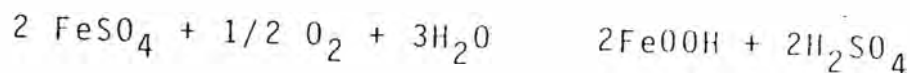
### 2.3.2.-MECANISMO DE CORROSION ATMOSFERICA DEL HIERRO.-

Durante la formación de herrumbe de hierro en una atmósfera contaminada de SO<sub>2</sub>, produce la formación y regeneración de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> de forma que el contaminante desempeñe el papel de catalizador del proceso, en el que cada una de las moléculas es capaz de extraer de la red metálica un crecido número de átomos formándose esencialmente FeOOH (goetita) como producto de corrosión, de acuerdo con el siguiente esquema:

Reacción global:



## Reacciones Parciales:



Estas dos ultimas reacciones muestran como el ácido sulfurico se regenera, constituye un auténtico ciclo de catálisis. Se forman hematitis que coexiste frecuentemente con la goetita en herrumbre.

Podriamos decir que la solución electrolitica que hace posible la corrosión, que pasan iones : Fe+2 a Fe+3 en presencia suficiente de O2 y Fe+3, segun la condiciones del medio se transforman en  $\alpha$ -goetita ( $\alpha$ -FeOOH, Fe2O3. H2O), que es el producto más frecuente de la corrosión y por ello, el componente mayoritario de la herrumbre.

En lugar de SO2 puede ser otros como el HCl, Cl2 o NaCl en este caso el ácido que se regeneraría en el proceso es el HCl .

#### 2.4.0.-TIPOS DE ATMOSFERAS (4.17)

La corrosión atmosférica varía notablemente dentro de diferentes áreas geográficas y con las condiciones atmosféricas locales propias.

La tierra con respecto a las condiciones climáticas está dividida en zonas templadas tropicales y árticas.

A su vez las zonas tropicales se pueden subclasificar en regiones secas y húmedas. Respecto a las condiciones atmosféricas locales se dividen en :

- Atmósferas Marinas
- Atmósferas Industriales
- Atmósferas Urbanas
- Atmósferas Rurales

Pero no se pueden muchas veces decir que una zona presente solamente un tipo de clima, se presenta dos o más tipos, pero será uno de ellos el que predomine mayormente dándole sus características propias.

Dentro de un número limitado de áreas locales pueden ocurrir condiciones atmosféricas denominadas microclimas.

En las áreas industriales, la velocidad de corrosión puede llegar a ser muchas veces mayor que los desiertos o regiones árticas.

Se deben tener en cuenta la orientación geográfica



por que debemos observar que los lados este y sur de una construcción metálica se corroen menos que los lados oeste y norte ya que esos lados expuestos al sol se secan rápidamente después de ser mojado por la lluvia y humedad .

En las áreas costeras con clima marino la sal común es un contaminante corrosivo natural en el aire. El contenido salino y la velocidad de corrosión aumenta con la altura sobre el suelo, la razón es que inmediatamente por encima del suelo, la vegetación disminuye la velocidad del viento y remueve las gotas de agua con sal.

El contaminante más peligroso del aire es el dióxido de azufre proveniente de los gases producto de la combustión del carbono, aceite y otros combustibles de motores. El contenido de  $\text{SO}_2$  en el aire varía dependiendo de la zona: en zonas urbanas y zonas industriales, varía entre 0.1 y 100  $\text{mg}/\text{m}^3$ .

La figura 2.4 muestra los resultados de pruebas de corrosión en laboratorio de planchas de acero pulidas expuestas a una atmósfera de aire puro y otro de aire contaminado de  $\text{SO}_2$ , con aumento de humedad relativa.

Los resultados fueron los siguientes:

- En aire puro la corrosión es poca y no aumenta mucho con el incremento de la humedad relativa.
- En aire contaminado, la corrosión también es poca, siempre que la humedad relativa no sea mayor del 70%.

En presencia de  $\text{SO}_2$  la velocidad de corrosión aumenta fuertemente a humedades relativas altas.

Las partículas sólidas de sulfato de amonio y hollín contaminantes en el aire, en áreas industriales aceleran el ataque debido a que éstas capturan humedad actuando como núcleos de condensación.

A temperaturas menores del punto de fusión del agua, el acero prácticamente no se corroe ya que los procesos electroquímicos requieren de agua en forma líquida.

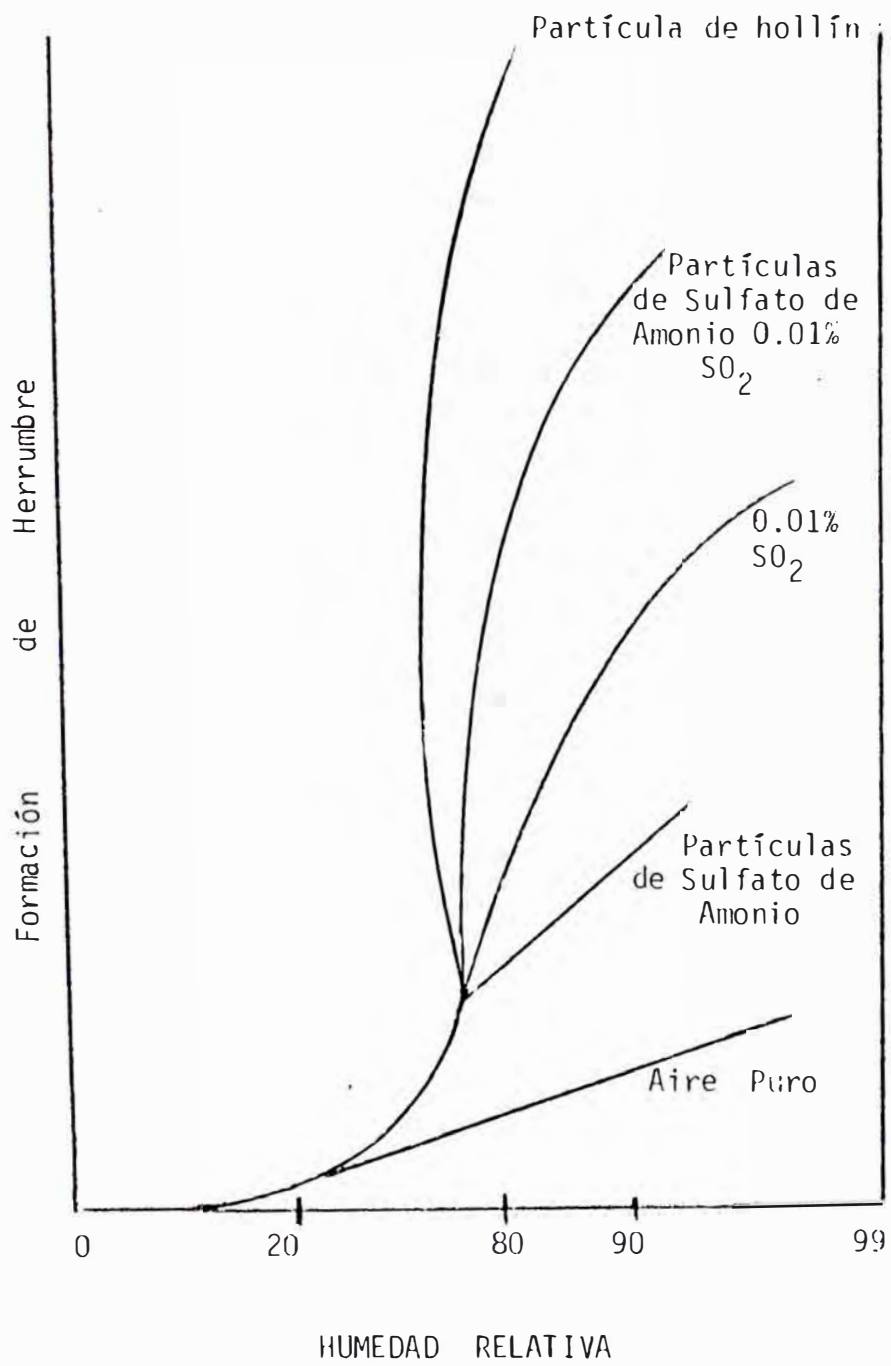


Fig. 2.4

## CAPITULO III

### ESTUDIO CLIMATOLOGICO Y LA INFLUENCIA DE LA CONTAMINACION EN EL GRADO DE CORROSIVIDAD DE LAS ATMOSFERAS

#### 3.1.0 ELEMENTOS PARA EL ANALISIS CLIMATOLOGICO (6)

La humedad relativa del aire es uno de los factores principales y decisivos para que se lleve a cabo la corrosión atmosférica en los metales, se sabe que por debajo de un determinado nivel de humedad relativa la corrosión se detiene o no se inicia y que este valor puede considerarse dentro de 60% a 80% de H.R.. Así mismo para que se lleve a cabo la corrosión dependerá del tipo de material, estado superficial, contaminantes, etc.. La humedad relativa repercute en la frecuencia y duración de los periodos de lluvia, rocío y nube, durante los cuales las superficies metálicas aparecen visiblemente mojadas y en los que las micropilas de corrosión desarrollan plenamente su actividad.

Pero no conocemos realmente la relación que pueda

existir entre H.R. media y tiempos totales de lluvia rocío o niebla, puede darse el caso de 2 poblaciones con la misma humedad relativa media pero que difieren considerablemente en días de lluvia o rocío. Se puede admitir que cuanto mayor sea la humedad relativa media de un lugar determinado tanto mayor debe ser la probabilidad de que se manifieste alguno de los fenómenos mencionados.

### 3.1.1. DIAGRAMAS ANUALES DE VARIACION DE HUMEDAD RELATIVA

Este tipo de diagrama nos ofrece una visión del nivel o niveles predominantes de humedad relativa en un lugar, permitiéndonos establecer rápidas comparaciones en cuanto a distribución y frecuencia de los períodos húmedos y secos.

En las figuras 3.1 se exponen diagramas de humedad relativa correspondiente a 8 ciudades situadas a lo largo de la costa peruana, datos que fueron proporcionados por el Servicio Nacional Meteorológico e Hidrológico (SENAHMD).

### 3.1.2. TIEMPO DE HUMECTACION DE LA SUPERFICIE METALICA

Se puede decir que la corrosión avanza principalmente durante los períodos de humectación visible de la superficie metálica, es práctico conocer el tiempo de humectación, pero no se puede conocer este dato por no tenerlo el SENAIMI.

Es difícil conocer cual de los fenómenos: lluvia, rocío o nube, es más favorable desde el punto de validez de la corrosión. La lluvia, la que moja la superficie metálica, puede no ser el de mejores consecuencias al limpiar la superficie de polvo y contaminantes, eliminando una de las causas de la corrosión atmosférica. Puede ser que las gotas de rocío y las minúsculas de niebla que no limpian la superficie metálica, puedan ejercer a veces un papel más importante que la propia lluvia, pero esto será siempre que el tiempo de humectación sea del mismo orden, pero no parece que unas pocas horas de rocío tengan mayor acción que un día de lluvia.

### 3.1.3. TEMPERATURA

La formación de rocío depende de la humedad relativa del aire y del cambio de temperatura; cuanto más seco esté el ambiente, mayor ha de ser el descenso de la temperatura que motive la condensación, por el contrario con una humedad relativa alta basta una ligera reducción de la temperatura para llevar la atmósfera al estado de saturación, por ejemplo con una humedad relativa del 80% se necesita un cambio de 3-4 ° C para que pueda producir la condensación de humedad mientras que a una humedad relativa del 50% hace falta que la temperatura disminuya en 9 a 10 ° C.



Se observa que el valor predominante de la humedad relativa media es menor de 60% , aunque en los últimos años (1981-1985), se ha incrementado en los meses de Julio- Setiembre para situarse dentro del rango de 70% a 80%.

Este rango favorece la corrosión, la variación de temperatura se considera positiva para que pueda existir la condensación y formación de película de humedad, porque decae en alrededor de 15 a 20 ° C, la velocidad de los vientos es de 2 a 4 m/seg, su dirección es hacia el sur, lo cual no favorece totalmente a la contaminación de la zona costera, ya que el viento no arrastra las partículas salinas hacia la costa.

Esta zona no es tan propicia para que exista una corrosión atmosférica severa.

b).- Estación del Departamento de: La Libertad  
Provincia de: Trujillo  
Distrito de: Trujillo

El valor de la humedad relativa reinante en esta zona es de más del 80% lo cual favorece enormemente la existencia de corrosión atmosférica. Su variación de temperatura es más o menos de 10 °C, lo cual permite la formación de rocío.

La dirección del viento es hacia el sur este lo cual es propicio para que el aire transporte los cloruros hacia



la costa. La velocidad del viento es de 3 a 6 m/seg. Esta zona presenta factores favorables para que se desarrolle una fuerte corrosión atmosférica.

### 3.2.2. ESTACIONES SITUADAS EN LA ZONA CENTRAL

a).- Estación del departamento de : Ancash

Provincia de : Santa

Distrito de : Chimbote

La humedad relativa se sitúa dentro del rango de 70-80% , la variación de temperaturas es de más o menos 12 ° C. lo cual permite que la superficie metálica se encuentre humectada. la dirección de los vientos es hacia el sur , su velocidad es 5-18m/seg.

En esta estación la corrosión atmosférica se ve favorecida por el valor de humedad relativa y el cambio de temperatura. pero no así por la dirección de los vientos que no favorece el traslado de los cloruros hacia la zona costera.

b).- Provincia Constitucional del Callao

Distrito del Callao

El valor de la humedad relativa es favorable en gran forma al desarrollo de la corrosión atmosférica por encontrarse en valores de más del 80%. la variación de temperatura es de más o menos 8 °C. con lo cual puede existir una capa de humedad, principalmente

durante las horas de la mañana y de la tarde.

La dirección de los vientos es de sur a sur-este y su velocidad es de 6 a 12 m/seg. Con esto podemos observar que el transporte de cloruros se realiza en forma que favorece la corrosión atmosférica.

En esta zona con los datos anteriores, se puede afirmar que es una zona favorable para que exista corrosión atmosférica, faltando observar la acción de los contaminantes.

c).- Estaciones situadas en el Departamento de Ica.

Provincia de: Nazca

Distrito de: San Juan de Marcona

En esta zona la humedad relativa predominante se encuentra entre los valores de 60 a 70%, la variación de temperatura es de más o menos 7 °C. la dirección de los vientos es el sur, sur-este y su velocidad es de 5 a 8 m/seg.

Con estos valores podemos decir que esta zona es favorable al desarrollo de corrosión atmosférica.

Provincia : Pisco

Distrito : San Marcos

La humedad relativa se encuentra en el rango de 70 a 80%; la dirección de los vientos no es favorable al

transporte de cloruros porque es hacia el sur y sur-oeste, su velocidad es de 1 a 3 m/seg y la variación de temperatura es de más o menos 8 °C.

Se puede observar que en un mismo departamento existen zonas que favorecen a la corrosión atmosférica mientras que en otras zonas no son favorables para el desarrollo de este tipo de corrosión.

### 3.2.3. ESTACIONES SITUADAS EN EL SUR DE LA COSTA PERUANA

- a).- Estación en el Departamento de : Arequipa  
 Provincia de : Arequipa  
 Distrito de : Camaná

La humedad relativa promedio en esta zona es de menos del 70%, aunque en los primeros meses del año tiene un valor entre 70 a 80%. La dirección de los vientos es sur-oeste y en los meses de mayo a junio es hacia nor-este, la velocidad es de 2 a 4 m/seg. la variación de temperatura es de más o menos 12 °C, en esta zona no existen factores que favorezcan mayormente a la corrosión atmosférica.

- b).- Estación en el Departamento de: Moquegua  
 Provincia de: Mariscal Nieto

La humedad relativa es de menos del 70%, en los primeros meses se situa entre 70 y 80%, la dirección de los

vientos es sur oeste teniendo una velocidad de 5 a 9 m/seg. Esta zona no presenta elementos favorables al desarrollo de una aguda corrosión atmosférica.

Se puede observar que los departamentos situados al centro de la costa peruana presentan factores climatológicos favorables al desarrollo de la corrosión atmosférica.

### 3.3.0. INDUSTRIAS DIVERSAS Y OTROS. SU INFLUENCIA EN LA CONTAMINACION (5)

La contaminación atmosférica ejerce un papel importante en la corrosión atmosférica.

Las principales impurezas gaseosas contaminantes que se encuentran en la atmósfera y que son positivas para el desarrollo de la corrosión atmosférica (conjuntamente con los factores climatológicos) son el anhídrido sulfuroso, cloruro de sodio, sulfuro de hidrógeno, óxidos de nitrógeno etc. Siendo de gran utilidad disponer de datos de agresividades en las diferentes zonas del país para poder seleccionar los materiales metálicos y recubrimientos para una protección eficaz contra la corrosión y emplear en cada caso el tratamiento anticorrosivo más adecuado.

No hemos encontrado ningún tipo de información sobre datos de agresividades en nuestro país, por lo cual

para darnos una idea al respecto, hemos hecho un mapa ubicando las industrias que mayormente contaminan nuestra atmósfera. Fig. 3.2

En este mapa se puede observar que las industrias y otras actividades que contaminan el ambiente se encuentran mayormente situadas en la zona costera del Perú.

Teniendo en cuenta la dirección de viento, humedad relativa, industrias y otros, podemos afirmar que la zona central de la costa es la que presenta mayor predisposición a la existencia de una agresiva corrosión atmosférica, dado que la humedad relativa, alcanza valores más que suficientes para que exista y se desarrolle corrosión atmosférica, la dirección de los vientos favorecen el transporte de los iones hacia la costa.

La zona norte, presenta factores necesarios que favorecen a la existencia de corrosión atmosférica, la zona sur de la costa, es la que presenta menor predisposición a que exista una corrosión atmosférica debida a que la humedad relativa alcanza valores que no favorece al desarrollo de la corrosión atmosférica, la dirección de vientos no ayuda al transporte o arrastre de las partículas de sal hacia la costa sureña.

Figura 3.1 a

DIAGRAMAS ANUALES DE HUMEDAD RELATIVA

ESTACION DE PIURA

Lat. : 05°12'

Long. : 80°12'

Alt. : 49 m.s.n.m.

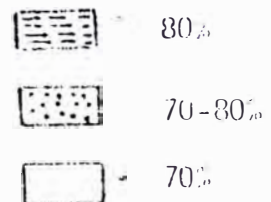
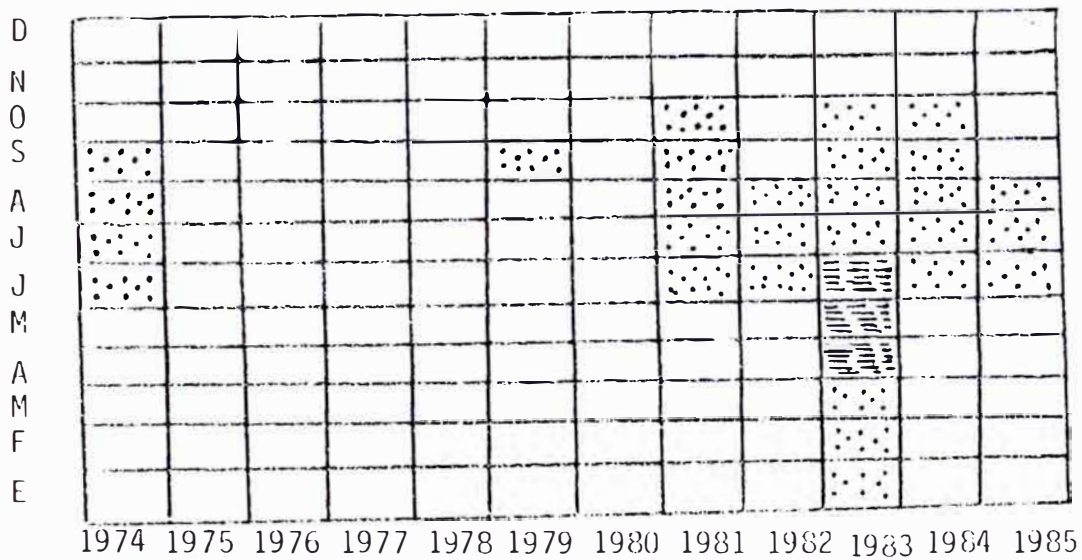


Figura 3.1 b

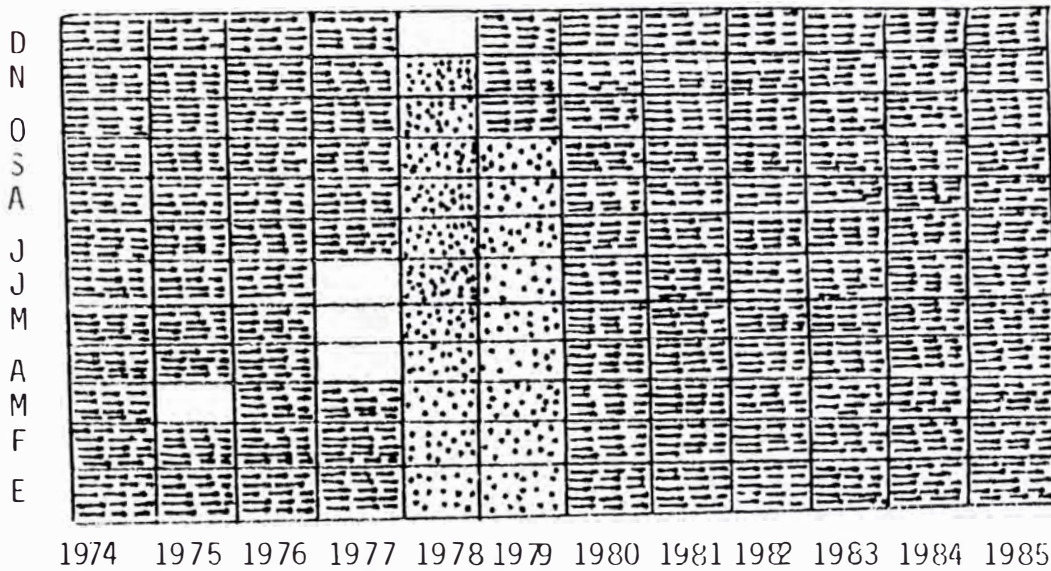
DIAGRAMAS ANUALES DE HUMEDAD RELATIVA

ESTACION DE TRUJILLO

Lat. : 08°05'

Long. : 79°06'

Alt. : 33 m.s.n.m.



[Horizontal lines] > 80%

[Dots] 70-80%

[Empty box] < 70%

Figura 3.1. c

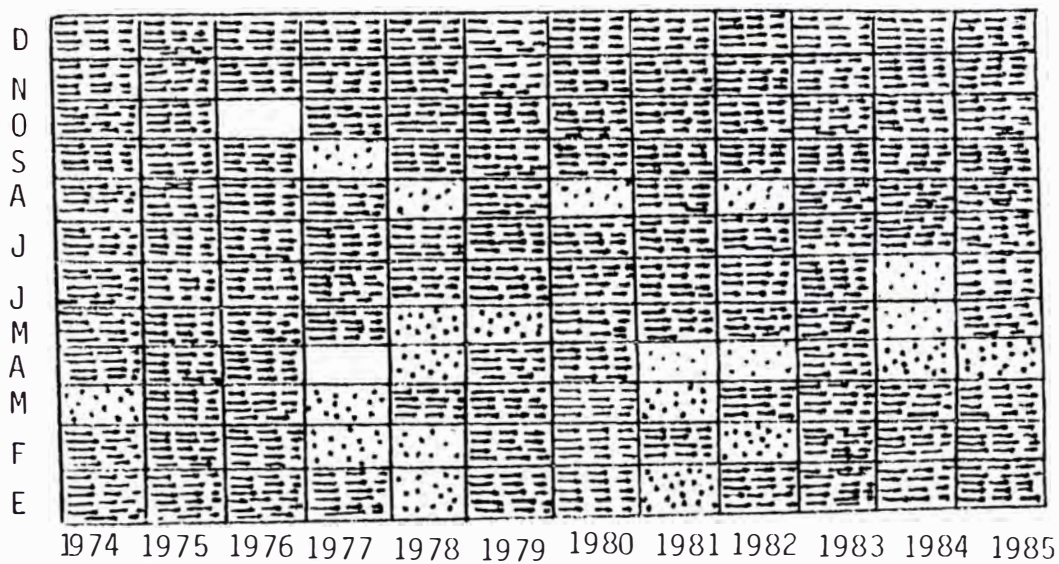
DIAGRAMAS ANUALES DE HUMEDAD RELATIVA


ESTACION DE CHIMBOTE

Lat. : 09°08'

Long. : 78°31'

Alt. : 11 m.s.n.m.



 > 80%

 70-80%


 < 70%



Figura 3.1. d

DIAGRAMAS ANUALES DE HUMEDAD RELATIVA

ESTACION DE LA PROVINCIA  
CONSTITUCIONAL DEL CALLAO

Lat. :12°00' Alt.:

Long. :77°07'

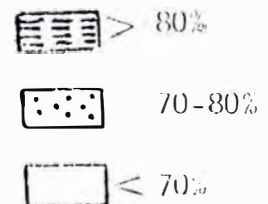
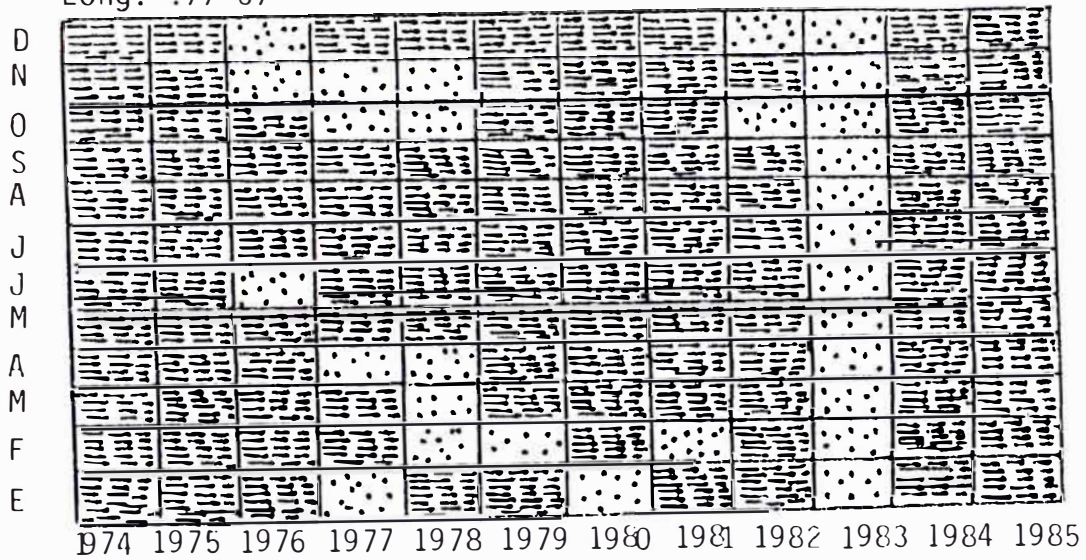


Figura 3.1. e

DIAGRAMAS ANUALES DE HUMEDAD RELATIVA

ESTACION DE SAN JUAN DE MARCONA

Lat. : 15°22'

Long. : 75°10'

Alt. : 31 m.s.n.m.

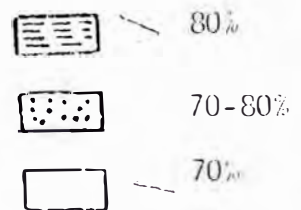
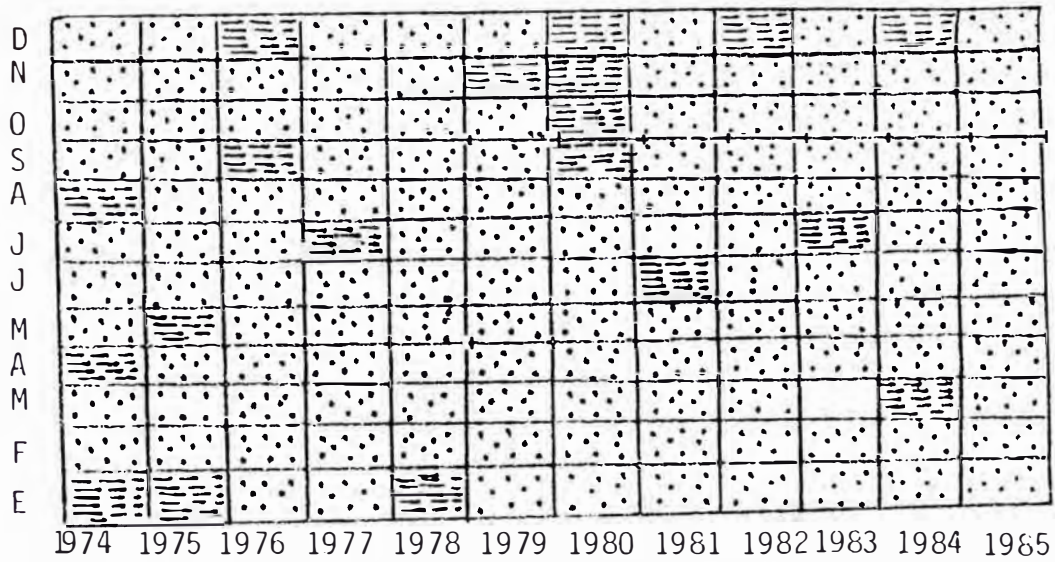


Figura 3.1. f

DIAGRAMAS ANUALES DE HUMEDAD RELATIVA  
 ESTACION DE PISCO

Lat. : 13°45'  
 Long. : 76°13'  
 Alt. : 7 m.s.n.m.

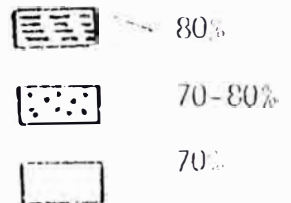
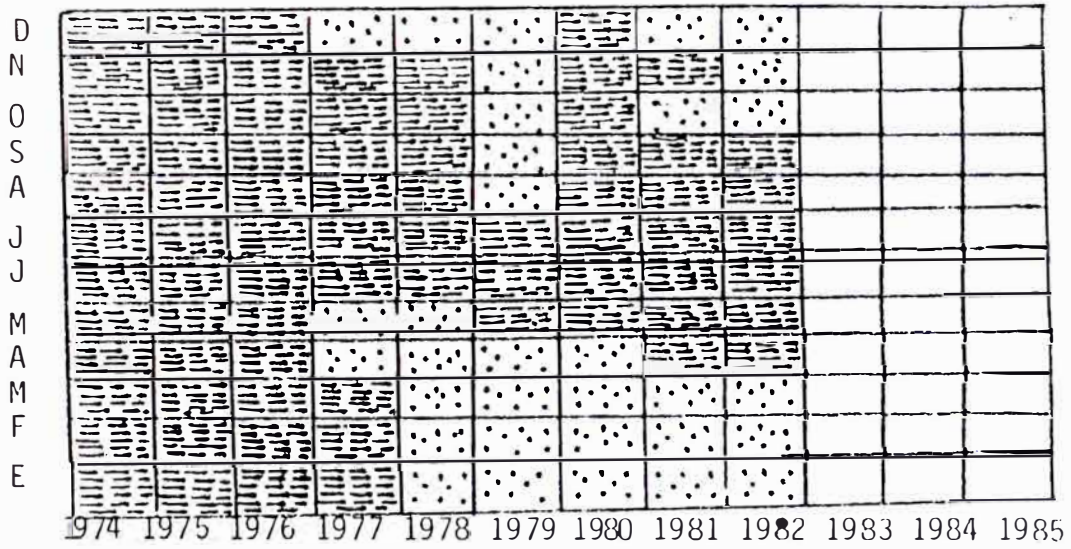


Figura 3.1.g

DIAGRAMAS ANUALES DE HUMEDAD RELATIVA

ESTACION DE AREQUIPA

Lat. : 16°21'

Long. : 71°34'

Alt. : 2,518 m.s.n.m.

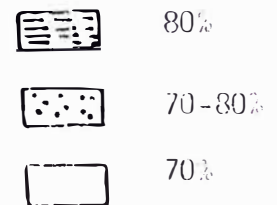
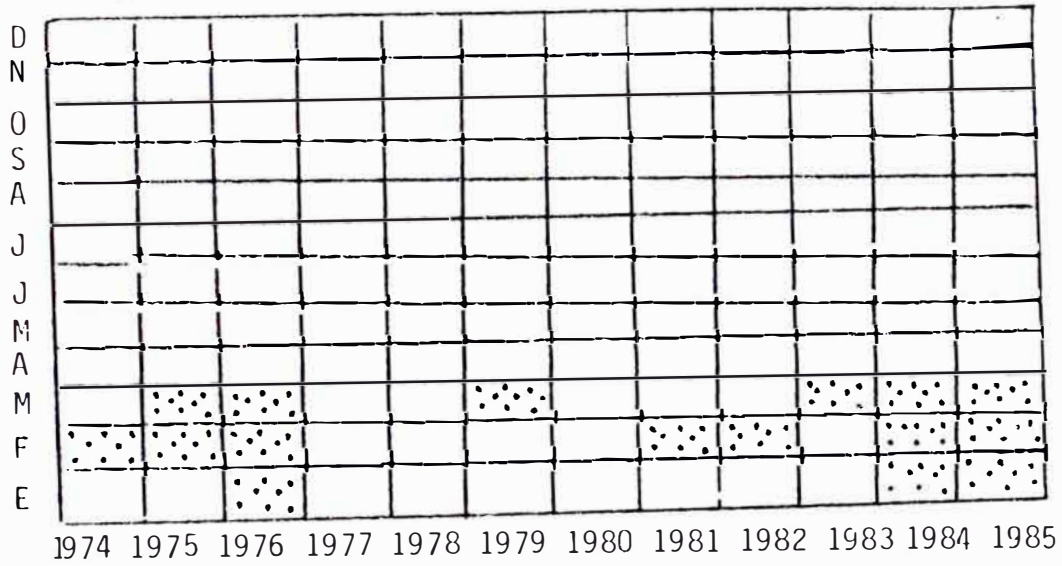


Figura 3.1 h

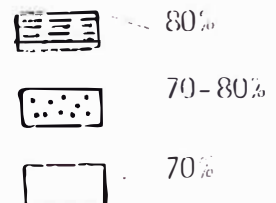
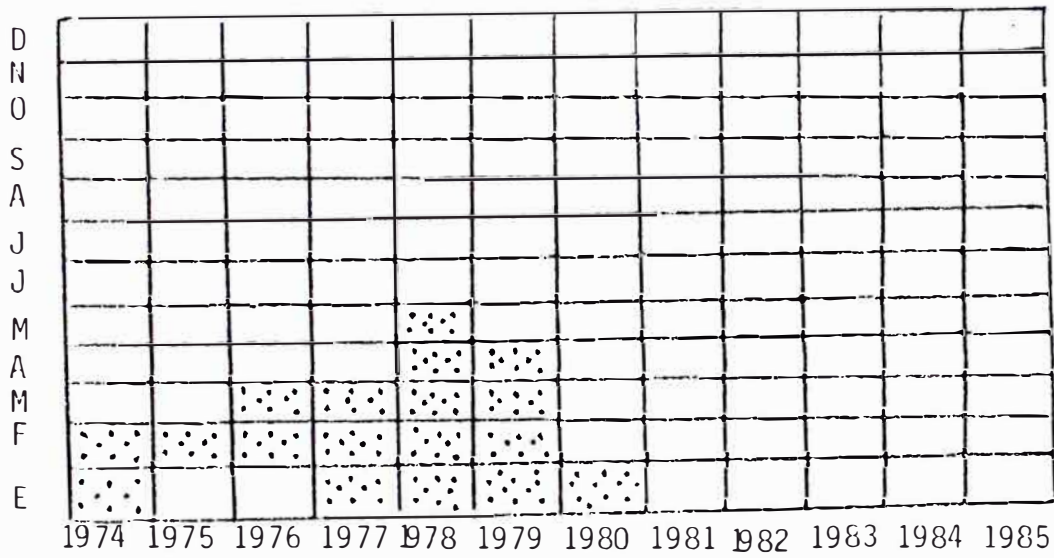
DIAGRAMAS ANUALES DE HUMEDAD RELATIVA

ESTACION DE MOQUEGUA

Lat. : 17°10'

Long. : 70°46'

Alt. : 1,412 m.s.n.m.













ESTACION DE ICA : SAN JUAN DE MARCONA

AÑOS	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1976	S-5	S-6	S-6	S-5	S-6	S-6	S-6	S-8	S-9	S-7	S-6	S-5
1977	S-5	S-6	S-5	S-6	S-5	S-5	S-6	S-6	S-6	S-6	S-6	S-7
1978	S-6	S-6	S-7	S-6	S-6	S-6	S-6	S-7	S-7	S-7	S-5	S-6
1979	S-5	S-6	S-5	S-5	S-6	S-4	S-5	S-6	S-7	S-6	S-6	S-6
1980	S-5	S-5	S-6	S-6	S-6	S-6	S-6	S-6	S-7	S-7	S-7	S-5
1981	S-5	S-5	S-7	S-7	S-6	S-7	S-8	S-8	S-9	S-8	S-8	S-7
1982	S-6	S-6	S-7	S-6	S-6	S-6	S-6	S-6	S-6	S-6	S-6	S-6
1983	S-7	S-7	S-6	S-6	S-7	S-7	S-6	S-5	S-7	S-7	S-6	S-6
1984	S-6	S-7	S-7	S-7	S-7	S-7	S-5	S-6	S-6	S-6	S-6	S-6
1985	S-6	S-6	S-6	S-6	S-6	S-4	S-5	S-7	S-7	S-6	S-6	

ESTACION DE ICA : PISCO

AÑOS	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1977	SW-11	SW-10	SW-10	SW-10	SW-10	SW-10	SE-13	SW-15	SW-10	SW-10	SW-10	SW-10
1978	SW-12	SW-11	SW-12		SW-10	SW-12	SW-10	SW-10	S -12	SW- 4	SW- 6	SW- 8
1979	SW- 4	SW- 5	SW- 6	SW- 6	SW- 3	SW- 3	SW- 3	SW- 4	SW- 5	SW- 6	SW- 6	SW- 5
1980	SW- 5	SW- 6	SW- 4	SW- 4	SW- 6	SW- 3	SW- 3	SW- 4	SW- 3	SW- 3	W- 3	SW- 3
1981	SW- 2	SW- 3	SW- 3	SW- 3	SW- 2	SW- 2	SW- 2	S - 4	S - 5	S/SW-3	SW- 3	S - 2
1982	S - 3	S - 3	W- 3	SW- 4		W- 3	S - 2	SW- 4	SW- 3	SW- 3	S - 4	SW- 4
1983	SW- 4	SW- 4	SW- 4	SW- 4	SW- 4	S - 5	S - 4	SW- 7	SW- 4	S - 4	S - 4	S - 4
1984	S - 5	S - 4	S - 4	S - 4	S - 4	SW- 4	SW- 4	S -11	S - 4	SW-10	S - 4	S -10
1985	S -10	S - 5	S -10	S - 4	S - 4	S - 3	S -11	SW-11	S - 4	S - 4	S -12	S - 4
1986	S -11	S -10	SW-10	SW-10	S - 2	S - 3	SW- 3	SW- 3	SW-10	SW-12	S -10	S -11



ESTACION DEL DEPARTAMENTO DE MOQUEGUA : MARISCAL NIETO

AÑOS	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1971	SW-5	SW-5	SW-4	SW-4	SW-4	SW-3		SW-3	SW-4	SW-5	SW-5	SW-4
1972	SW-5	SW-5	SW-5	SW-4	SW-4	SW-4	WSW-4	WSW-5	SW-5	WSW-4	SW-5	SW-4
1973	WSW-4	SW-5	SW-3	SW-3	SW-3	SW-3	SW-3	SW-4	SW-4	SW-4	SW-3	SW-4
1974	SW-4	SW-3	SW-3	SW-4	SW-3	SW-3	SW-3	SW-3	SW-3	SW-4	SW-5	SW-4
1975	SW-4	SW-4	S -4	SW-3	SW-3	SW-3	SW-3	SW-3	SW-4	SW-4	SW-4	SW-4
1976	SW-6	SW-9	SW-9	SW-3	SW-1	SW-9	SW-3		SW-2	SW-2	SW-3	WSW-4
1977		SW-4	SW-4	S -4	SW-4	SW-4	SW-3	SW-4	SW-4	S -4	S -4	S -4
1978	S -3	SSW-5	SSE-4	S -4	S -4	SW-2	SW-2	SW-3	SW-6	SW-5	S -3	S -5
1979	SW-4	SSE-4	SSW-3	SSE-3	SW-3	SW-3	SW-4	W-4	S -5	W-6	W-6	S -6

UBICACION DE PRINCIPALES INDUSTRIAS Y OTRAS ACTIVIDADES QUE CONTAMINAN EL AMBIENTE, DIRECCION DE LOS VIENTOS Y HUMEDAD RELATIVA

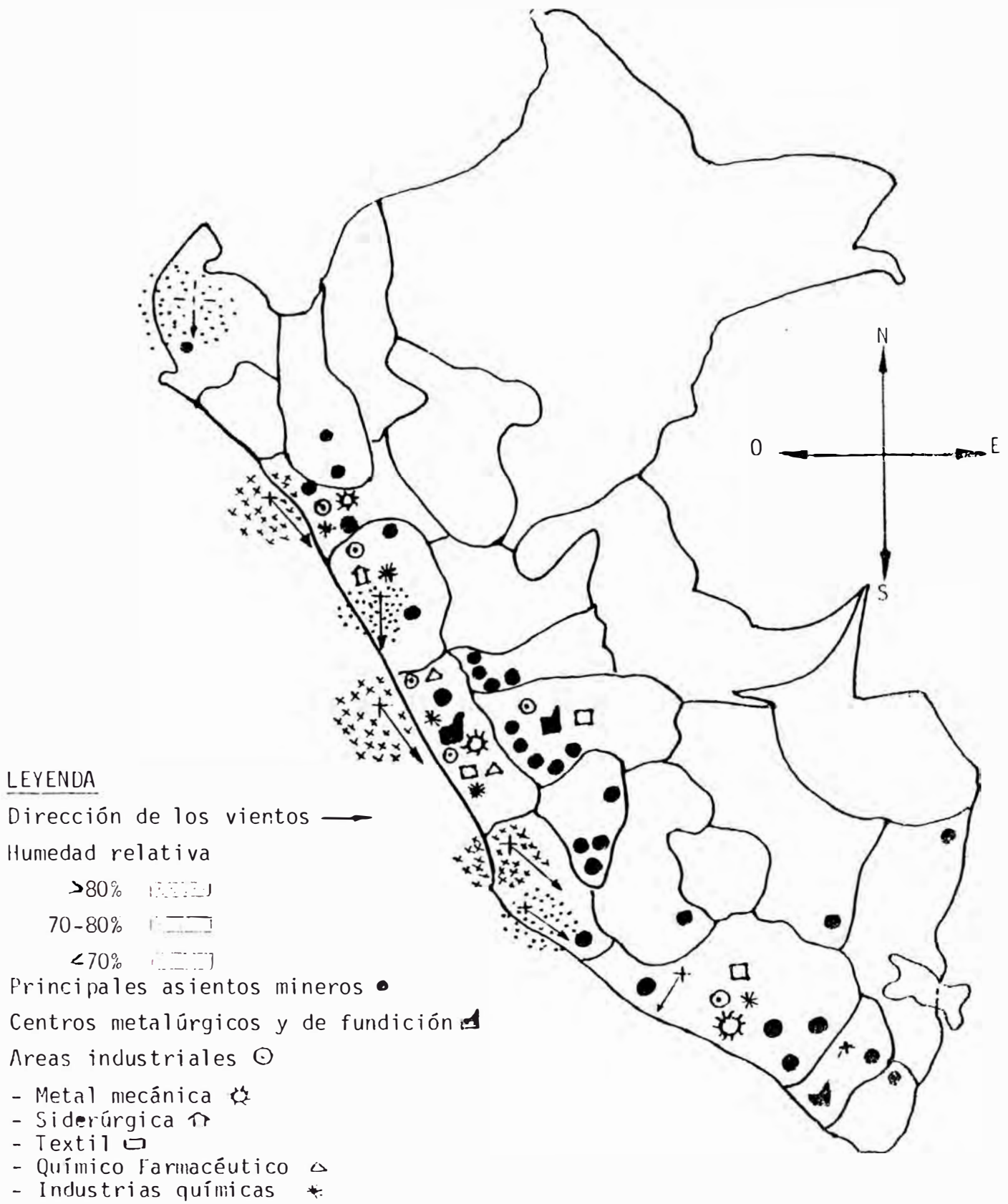


Figura 3.2

## C A P I T U L O I V

### CAMARA DE NIEBLA SALINA

#### 4.1.0 JUSTIFICACIONES PARA EL USO DE LA CAMARA DE NIEBLA SALINA (4)

La elección de los medios más convenientes para las pruebas de corrosión, dependen evidentemente de la finalidad de las mismas.

En lo que respecta a la investigación aplicada, es aconsejable utilizar en las pruebas de corrosión medios que se aproximen todo lo posible, a los que van a ser experimentados en servicio, siempre y cuando éstos garanticen la posibilidad de mantener una reproducibilidad adecuada.

Ahora bien, aunque este sea el ideal que debe aspirarse, frecuentemente es inevitable tener que apartarse de él, por que generalmente es muy difícil precisar la naturaleza del corrosivo que opera en las condiciones de servicio, y por que se puede necesitar que el ensayo no sea para una aplicación particular. Además

por que puede ser necesario obtener en caso breve resultados y valoraciones indispensables para el proyecto de alguna instalación o estructura, cuya duración se espera sea de largo tiempo. Para satisfacer, tal requerimiento se emplea frecuentemente la aceleración del proceso de corrosión aumentando la corrosividad de los medios.

Tal aceleración se debe llevar a cabo moderadamente y con precaución, ya que de otro modo la corrosión resultante guardaría poca relación con la que tiene lugar en servicio.

La ventaja del ensayo rápido es permitir la realización y persecución de condiciones de ensayos bien definidas, siendo por el contrario, variados los parámetros climáticos, no solamente al ritmo de días y de años, sino igualmente en función de periodos más cortos y más largos, según las diferentes regiones.

El ensayo rápido es una prueba comparativa muy utilizada. Este tipo de ensayo rápido de recubrimiento metálicos en una atmósfera que se asemeje a la próxima al mar fue indicada en 1914. Los efectos comparativos mostraron que los ensayos a la intemperie dan resultados diferentes según, por ejemplo, la distancia al borde del mar y que una clasificación en relación a un clima marítimo definido no era posible.

El ensayo a la niebla salina ha sido generalizado



para juzgar la resistencia a la corrosión. Ha sido incluido en numerosas normas y muchas veces clasificados en función de los espesores y de los tiempos mínimos de resistencia para espesores dados. (Ejemplo: 96 horas para 12 micras de Zn, 32 horas de 25 micras de Ni ). Esto ha conducido al hecho que generalmente el ensayo de la niebla salina es hoy el más conocido y el más utilizado.

#### 4.1.1 RECOMENDACIONES IMPORTANTES Y OBSERVACIONES

Dado los cambios que experimenta el agua de mar cuando está envasada, dicha agua no representa fielmente en el laboratorio el medio ambiente natural, y las pruebas de corrosión con ella efectuadas puede dar resultados muy variables, por lo tanto y para subsanar este inconveniente en pruebas destinadas a experimentar la corrosión por agua de mar en el laboratorio, frecuentemente se sustituye esta última por una solución de cloruro sódico al 5%, ya que es de garantía, se prepara fácilmente de una manera reproducible y es muy estable.

La concentración en sal puede influir sobre la velocidad de corrosión de varias formas. La conductividad de una solución al 20% es mayor que la del 5% por lo que favorece la corrosión. De otro lado el producto ácido necesario para la corrosión en la solución concentrada es notablemente menos soluble, lo que hace que

la velocidad de corrosión sea realmente más débil, resultando la solución al 20% ser tan corrosiva como la otra solución. Además hay un riesgo de obturación de boquillas para soluciones casi saturadas.

Para el buen funcionamiento de las boquillas mantener en el interior de la cámara una humedad equivalente o ligeramente mayor que el de la solución que se va a pulverizar, ya que si la humedad es demasiado baja la niebla tiende a perder agua y a convertirse en niebla seca, mucho menos corrosivas, siendo mayor la tendencia a obstruir la boquilla del pulverizador con sal. Pero si la humedad es demasiado elevada, la niebla tomará demasiada agua y se diluirá. Se obtuvieron datos para humedad relativa óptima para el máximo de corrosión; el tiempo de fallo de las muestras decrecía a medida que aumentaba la humedad relativa de 71% a 81%, pero era mucho más elevado en una atmósfera saturada.

Agua de mar sintética se puede preparar con las distintas sales o con la sal procedente de la evaporación del agua de mar. Estas soluciones ofrecen la doble ventaja de suministrar la acción compensadora del agua de mar y contener los constituyentes inorgánicos secundarios.

En las diversas prescripciones de ensayo consideradas, el agua del mar (cloruro sódico, con adición de calcio y sales de magnesio, etc) crea una complicación sin aportar ninguna ventaja. La velocidad de ataque

puede disminuir por formarse depósitos coloidales de hidróxido de magnesio. Naturalmente, el agua de mar no puede reproducirse según resultados de análisis solamente, por que contiene cantidades variables de sustancias vivas y orgánicas. Por ejemplo, Cyftir notó en el laboratorio diferentes modificaciones por acción de las bacterias que pueden extenderse a otras sustancias no orgánicas. Esta es la razón por la que la composición exacta no queda jamás bien definida.

El cloruro de sodio se utiliza también en soluciones destinadas a prueba de corrosión con otros fines distintos que los marinos, ya que es una sal que se puede disponer fácilmente y que contiene el ión cloruro, el cual es un ión muy pequeño que se encuentra muy abundante en esta sal, que atraviesa con relativa facilidad las películas protectoras y por consiguiente pueden ser causa frecuente de corrosión de servicio.

Se debe anotar que el agua destilada es un medio corrosivo de gran importancia, como ejemplo, llega a causar una corrosión por tensión en las aleaciones de base magnesio, siendo más adecuada para esto que el agua marina.

#### 4.1.2 ENSAYOS DE PULVERIZACION SALINA

Utilizamos el término " Ensayos de Pulverización " para referirnos al proceso de la exposición de las muestras a la pulverización directa de un determinado

corrosivo sobre ellas, o la exposición de las mismas a una nebulización más permanente de un corrosivo. La utilización puede ser continua (utilizado en América), utilizando preferentemente nebulización o intermitente, para lo cual se puede utilizar o niebla o pulverización directa. La aplicación de pulverización de sal o niebla intermitente se aproxima mucho más a las condiciones marinas y costeras por que permite que la cualidad higroscópica de los productos de corrosión, influyan en éstas, ya que el intervalo entre los sucesivos períodos de pulverización, es suficientemente largo; puede secarse los productos de la corrosión y la película protectora, y el consiguiente endurecimiento y agrietamiento de estos (como en condiciones naturales) puede tener, a su vez, una influencia importante sobre la corrosión posterior. El grado de aceleración de la prueba de pulverización con sal (o cualquier otra prueba que simule la exposición natural) no es definitiva, a no ser que este perfectamente definida, la localidad, estación del año y condiciones naturales, ya que de todos es conocido que éstas pueden variar dentro de unos límites muy amplios.

En las cámaras de pulverización salina, las gotitas llegan a las muestras por la acción de la gravedad y, por lo tanto, resultan muy poco apropiadas las muestras de forma compleja, debiendo recurrirse entonces a la pulverización manual.

La pulverización por fuerza centrífuga debería aportar un reparto más regular con una mejor reproducibilidad. A pesar que la niebla, muy fina, producida por Aparato Aerosol ( AEROSOL HESS ) sea la más activa y permita medir la corrosión, se debe desconfiar en cierto modo de los resultados. Según la opinión general, las gotas gruesas provocan la oxidación más rápidamente.

La cámara de niebla salina sigue siendo un ensayo relativamente barato y fácil de realizar, y que puede dar resultados prácticos, con muchos metales, si se utiliza con discreción. Algunas veces se ha empleado como prueba de control de porosidad de los recubrimientos electrodepositados, una exposición muy corta a la pulverización salina.

May y Alexander, realizaron pruebas comparativas a) con diversas soluciones en una cámara de pulverización continua, b) pruebas de exposición atmosféricas (en Kure Beach a 80 y 800 pies de distancia del mar), y c) pruebas de inmersión en agua de mar, y hallaron que los productos de corrosión formados sobre el hierro y el cinc, y la corrosión sobre acero con depósitos electrolíticos de cinc o de níquel, obtenidos en las pruebas de pulverización, presentan una mayor similitud con lo que se obtienen en las pruebas de inmersión en agua de mar, que con los que se obtienen en las pruebas atmosféricas de campo.

El número de veces de aplicación de pulverización por el procedimiento normal, es de una, dos o tres veces al día dejando que se sequen las muestras completamente durante las noches.

Se ha comprobado que con muestra de acero aumenta la pérdida de peso a medida que aumenta el volumen de cada ráfaga de pulverización.

Hatfield y Shirley, adoptaron otra disposición a este respecto, que consistió en situar unas muestras, en forma de lámina, horizontalmente sobre unos bastidores que pasaban una vez al día a través de una nube de pulverización continua, que surgía de un pulverizador accionado por un dispositivo de aire comprimido.

Debemos tener en cuenta en una cámara de niebla salina que la pulverización misma puede alterar la temperatura de la atmósfera dentro de la cámara, de no controlarse bien la temperatura del aparato suministrador de aire. Ahora bien, esto puede no tener mucha influencia sobre la temperatura de las muestras sometidas a pulverización intermitente, a no ser que el período de pulverización sea indebidamente largo.

Además, aunque no se pueda mantener constante la humedad relativa entre los períodos de pulverización intermitente (excepto el 100%, lo cual corrientemente es inadecuado), se puede obtener que las variaciones sean similares en cada ciclo, y en realidad es todo lo

que se requiere para obtener resultados reproducibles.

La humedad relativa en la cámara de pulverización frecuentemente no está determinada. Para una solución al 20 % se debe elevar la humedad relativa al 100 % , mientras que se utiliza para una solución saturada una humedad relativa del 75 % . Depende, entre otras variables del tamaño de la cámara de pulverización, del aislamiento térmico y de otros factores.

En lo que respecta a la temperatura, el ensayo en el laboratorio debe ser posible en todos los países. Un calentamiento generalmente es más sencillo de efectuar que un enfriamiento; la elección de la temperatura de 35 grados C, está, pues justificada como límite superior de la que se puede presentar.

#### 4.2.0 SEMEJANZAS Y DIFERENCIAS DE NORMAS SOBRE CAMARA DE NIEBLA SALINA ; ASTM, DIN, JIS.

(APENDICE 1.2.3)

ASTM: B117 - 64      DIN 50021      JIS Z 2371 - 1976

La capacidad de solución salina no debe ser menor de 15 ft <sup>3</sup> .	La cámara de ensayo deberá tener una capacidad mínima de 400 lt.	El tamaño recomendable de la cámara es 0.34 m <sup>3</sup> .
---------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------

La temperatura	La temperatura	La zona de exposi-
----------------	----------------	--------------------

<p>en la cámara debe ser mantenido en <math>35 \pm 2</math> °C.</p>	<p>en la cámara deberá tener <math>35 \pm 2</math> °C.</p>	<p>ción, donde las muestras serán colocadas debe estar en <math>35 \pm 2</math> °C.</p>
<p>El suministro de aire debe ser mantenido entre 10 - 25 PSI.</p>	<p>El aire comprimido utilizado para la producción de niebla atomizada tendrá una presión de 0.7 - 1.4 atm.</p>	<p>El aire comprimido que se usara para atomizar la solución salina tendrá una presión de 0.7 a 1.8 Kg-f/cm<sup>2</sup>.</p>
<p>La cámara que opera bajo este método deberá tener una humedad relativa de 95 a 98 %</p>	<p>Nos indica que la saturación de aire comprimido con agua es necesaria para evitar que con la expansión produzca un aumento de la concentración de cloruro de sodio en la solución nebulizada.</p>	<p>La humedad relativa en la cámara es 95-98 %, el aire del compresor deberá ser saturado para cumplir con este requisito de humedad relativa.</p>
<p>La muestra debe ser suspendida entre 15 y 30°</p>	<p>Las muestras deben formar con la horizontal un an-</p>	<p>El ángulo puede ser de 15 a 30°</p>



de la vertical y la tapa con una inclinación semejante.	gulo de 60 a 70° La caída de gotas del techo se evita al inclinar 30° en forma horizontal.	La solución salina de una muestra no debe caer en otra.
La solución salina debe estar preparada por disolución en 5±1 partes en peso de sal en 95 partes de agua destilada ó agua conteniendo no más de 200 ppm de sólidos totales.	El cloruro de sodio acuoso al 5%, en un litro de agua a la temperatura ambiente.	La solución deberá contener 5±1% (peso) de cloruro de sodio, al agua no deberá contener más de 200 ppm de material sólido.
El pH de la solución atomizada y recolectada a 35°C debe ser de 6.5 a 7.2.	El rango del pH debe ser de 6.5 a 7.2 medido a 25±2°C .	La solución resultante después de haber sido atomizada y recolectada debe estar entre 6.5 - 7.2 a 35°C.
La medida del pH debe ser hecho electrométricamente, usando un electrodo de vi-	La medida del pH se realiza electrométricamente usando timosulfonfortaleína de	El pH se mide electrométricamente (electrodo de vidrio con un puente saturado de cloruro de

drio con un puen- bromo como indi- potasio y colorimé-  
 te saturado de cador. tricamente con bro-  
 cloruro de pota- mo timol azul como  
 sio o colorimé- indicador.  
 tricamente usan-  
 do azul bromo  
 timol como indi-  
 cador.

El ajuste del pH En la regulación El pH se ajustará  
 se realizará con del pH se utili- con una solución  
 una solución de zará solución de diluida de ácido  
 hidróxido de so- ácido clorhídri- clorhídrico bajo  
 dio ó de ácido co ó de hidróxi- condiciones JIS K  
 clorhídrico. do de sodio. 8180 ó con hidró-  
 xido de sodio con-  
 centrado.

La solución re- La solución de La solución reco -  
 colectada en 16 cloruro de sodio lectada en 16 hra.  
 horas, 80cm<sup>2</sup> debe recolectado en 80cm<sup>2</sup> debe ser de  
 ser de 1 a 2 16hr., 80 cm<sup>2</sup> de- 0.5 a 3 ml/hr y  
 ml/hr, y debe be ser de 0.5 a3 debe contener 5±1%  
 contener 5 ± 1% ml/hr y debe de cloruro de so-  
 en peso de clo- contener 50±10 sodio.  
 ruro de sodio gr/lt de cloruro  
 de sodio.

#### 4.3.0 DESCRIPCION DEL EQUIPO

Para la construcción de nuestro equipo se revisó bibliografía especializada, normas respecto al tema y además se visitó lugares de la industria donde existía en servicio una cámara de NIEBLA SALINA. Con todo esto se trató de tener criterio para elegir un modelo eficiente y sencillo de acuerdo con nuestra realidad.

El equipo requerido para los ensayos de pulverización salina consiste en una cámara de ensayo, un compresor, un depósito de solución salina un tanque de humectación y calentamiento de aire comprimido, una o más boquillas pulverizadoras, soporte para las muestras, un sistema para darle calor a la cámara y los controladores necesarios para condicionar, debidamente a la cámara de pulverización salina. Observar Plano N° 1.

La cámara puede ser de material inerte tales como plásticos, vidrios o cerámicas pero preferentemente es construido de metal y revestido con plástico consistente o algún otro material equivalente.(Fig. 4).

En nuestro caso la cámara de niebla salina es de material plástico (policloruro de vinilo) y tiene lana de vidrio como aislante del medio ambiente. el espesor de aislante es 4 cm. El medio de calentamiento usado es de una sub-línea de aire caliente que se acciona por medio de una válvula. La línea de aire permanece abierta máximo cuatro minutos cada hora.

Se debe evitar que el tamaño de la cámara sea menor de

15 pies cúbicos para evitar dificultad al realizar los controles.

La tapa del gabinete de la cámara es del tipo de techo a dos aguas con una inclinación de  $30^\circ$  con la horizontal con el fin de evitar el goteo de la solución salina condensada.

El compresor es el tipo reciprocante que proporciona aire entre 80 y 100 PSI y tiene un tanque pulmón de 0.5 m<sup>3</sup> de capacidad.

En la línea de salida del compresor se halla un filtro de separación polvo, grasas y humedad.

El depósito de solución salina es de 30 cm. de diámetro y 58cm. de altura, el tanque es de fibra de vidrio y su capacidad fue calculada para contener solución salina suficiente para realizar ensayos por 12 horas, así mismo dentro de la cámara se halla un tanque en la base de la cámara de 217 cm<sup>3</sup> de capacidad que sirve para mantener una altura de succión constante, permitiendo con ello una pulverización uniforme. Este tanque permite que se pueda reponer solución salina en el tanque externo sin interrumpir el ensayo.

El tanque de humectación de aire comprimido es de acero revestido con fibra de vidrio y tiene en su interior una resistencia de 1220 watts. El tanque tiene un nivel que nos indica el gasto de agua desionizada. El nivel mínimo se marca por la altura en que se encuentra la resistencia. El nivel máximo ha sido determinado

experimentalmente para evitar el arrastre del agua por aire y asegurar una operación de 12 horas sin interrupción. El tanque internamente tiene un tubo agujerado por donde sale el aire y burbujea a través del agua.

A la salida del tanque de solución salina se ha instalado un rotámetro que nos permite regular el flujo de solución salina de tal manera que su valor se encuentre dentro del rango fijado por la norma: 1440ml/ hr.

Durante el período de pulverización la cámara se llena completamente de una neblina que se deposita en las muestra.

Para alcanzar condiciones más uniformes de pulverización y permitir que la neblina se deposite sobre la muestra por la acción de la gravedad, se ha dispuesto un interceptor de forma de cono invertido, que separa las gotas grandes que salen del pulverizador y que evitan el impacto directo de la solución atomizada sobre la muestra y que permite una distribución homogénea de la neblina en el compartimiento útil de la cámara .

Se aconseja dejar que la solución usada se elimine, a fin de evitar la contaminación de las muestras con los productos de la corrosión de metales distintos, o con pigmentos de pintura, ya que tal contaminación podría

afectar seriamente los resultados del ensayo. En nuestra cámara existe dos puntos de drenaje, comunicados al exterior por un tubo de 1/2 pulgada que va directamente al desagüe.

La bibliografía nos señala una mayor y más intensa corrosión en las muestras colocadas en sentido vertical que en las colocadas horizontalmente. Como es muy difícil colocar las muestras exactamente verticales, se recomienda una ligera desviación de la vertical de 15 a 30 grados, en nuestra cámara se ha considerado una desviación de la vertical de 15 y 30°. Las muestras están colocadas de tal modo que la solución usada no gotea sobre otra muestra.

Existen diversos modelos y materiales para la construcción de un pulverizador, nosotros elegimos el modelo de vidrio que se menciona en la norma JIS Z 2371-1976, que son dos tubos de vidrio, perfectamente unidos, montados dentro de un bloque de goma, o sobre un soporte para poder ajustar las posiciones relativas de los tubos del aire y del líquido.

Para evitar que las impurezas, que pueda contener el aire comprimido y la posible cristalización de la solución salina, bloqueen los surtidores, se ha colocado filtros para retener el polvo y aceite en la línea de aire comprimido, en la línea de solución salina y antes del ingreso a la cámara se ha colocado

filtro de tela con el fin de retener las posibles impurezas que pueda contener la solución salina.

#### 4.4.0 FUNCIONAMIENTO DE LA CAMARA DE NIEBLA SALINA

Momentos antes de empezar el arranque se debe revisar lo siguiente:

- a).-El nivel de agua en el tanque de humectación se encuentre en su punto máximo.
- b).-Los tanques de solución salina; interno y externo se encuentren llenos.
- c).-La válvula de alivio del tanque de humectación este cerrada.
- d).-El filtro de la línea de aire se halle limpio.
- e).-Que la válvula de la línea auxiliar del ingreso del aire a la cámara este abierta.
- f).-Que todas las conexiones dentro de la cámara esten correctas y bien sujetas.

Una vez chequeado lo anterior se procede al arranque de acuerdo a los siguientes pasos generales:

- 1.-Prender el sistema de calentamiento.
- 2.-Prender compresor.
- 3.-Cerrar la línea auxiliar de aire a la cámara y abrir la línea que va directo al pulverizador.
- 4.-Abrir la válvula de alimentación de solución salina.
- 5.-Abrir la cámara y colocar las probetas.
- 6.-Abrir la cámara y retirar las probetas.
- 7.-Apagar el compresor y el sistema de calentamiento,

y cerrar todas las válvulas.

Al prender el sistema de calentamiento, la resistencia eléctrica calienta el agua del tanque de humectación, cuando ésta llegue a la temperatura de 60°C lo que es indicado por el termostato, se prende el compresor.

La presión del aire de salida del compresor se regula a 20 PSI con ayuda de la válvula reductora de presión y manipulando la válvula de aguja. Este aire en el tanque de humectación se satura con agua, y calentándose hasta una temperatura de 55°C, ingresa luego a la cámara por la línea auxiliar y la calienta en 5 minutos, hasta una temperatura de 38°C, (lectura que se realiza en el termómetro digital o en el diodo sensor de temperatura).

Una vez alcanzada la temperatura de 38°C, se cierra la válvula de aire de la línea auxiliar, y se abre la válvula de la línea de ingreso del aire al pulverizador.

Luego se abre la válvula de compuerta en la línea de solución salina de tal manera que su flujo sea el necesario para reponer en el tanque interno la solución salina que ha sido gastada en el pulverizador (1440ml/hr).

Rápidamente se abre la cámara y se colocan las muestras que ya deberá estar listas para su ensayo; Así como los depósitos de recolección de condensado, al cerrar



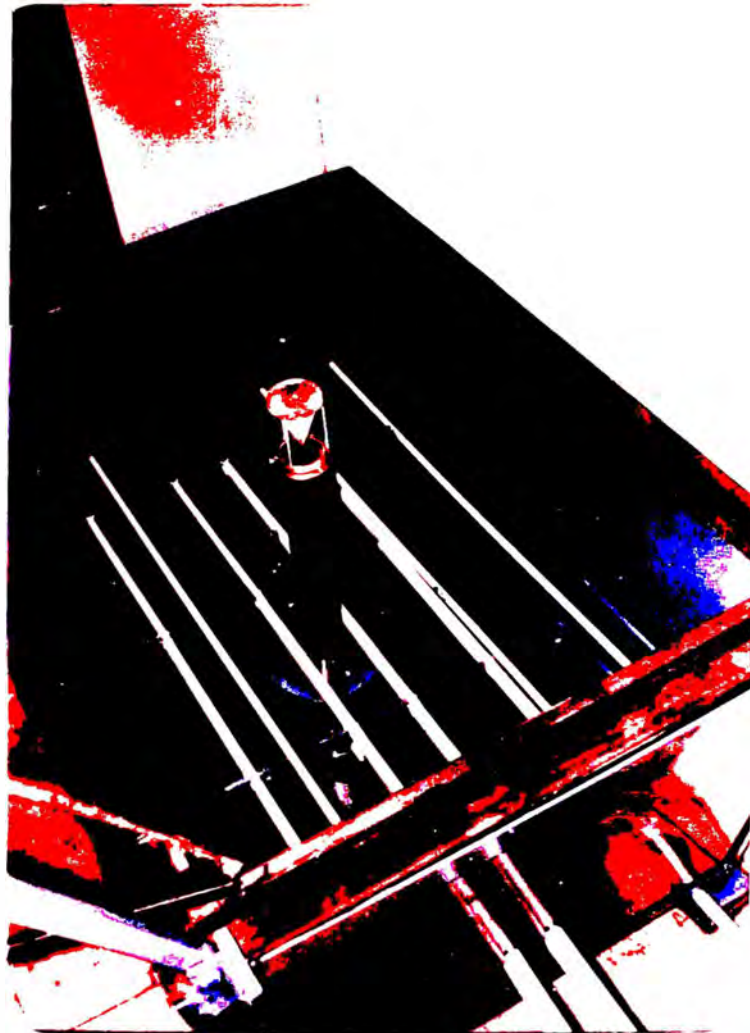
la cámara se chequea que la temperatura este de 33° C a 37° C , si estuviese en ese rango se inicia la prueba, si la temperatura fuese menor que 33° C se abre la válvula de la línea auxiliar por más minutos hasta que alcance la temperatura necesaria, momento en el cual se cierra la válvula auxiliar iniciándose la prueba.

Se controla la presión, temperatura, cada 1/2 h. durante las primeras 6 horas. Se ha notado experimentalmente que la temperatura desciende a 31.5 - 32° C en 1 hora por lo cual se abre parcialmente la válvula de la línea auxiliar para darle un calentamiento de unos 3 a 4 minutos cada hora, para mantener la temperatura en 33° C.

Luego de 16 horas de pruebas o más horas se abre la cámara para retirar los depósitos con el condensado recolectado. La medida de condensado recolectado debe realizar como mínimo cada 24 horas.

Al término del ensayo, se abre la cámara y se retiran las probetas.

Finalmente se cierran las válvulas de aire y de solución salina, y se desconecta el sistema de calentamiento.



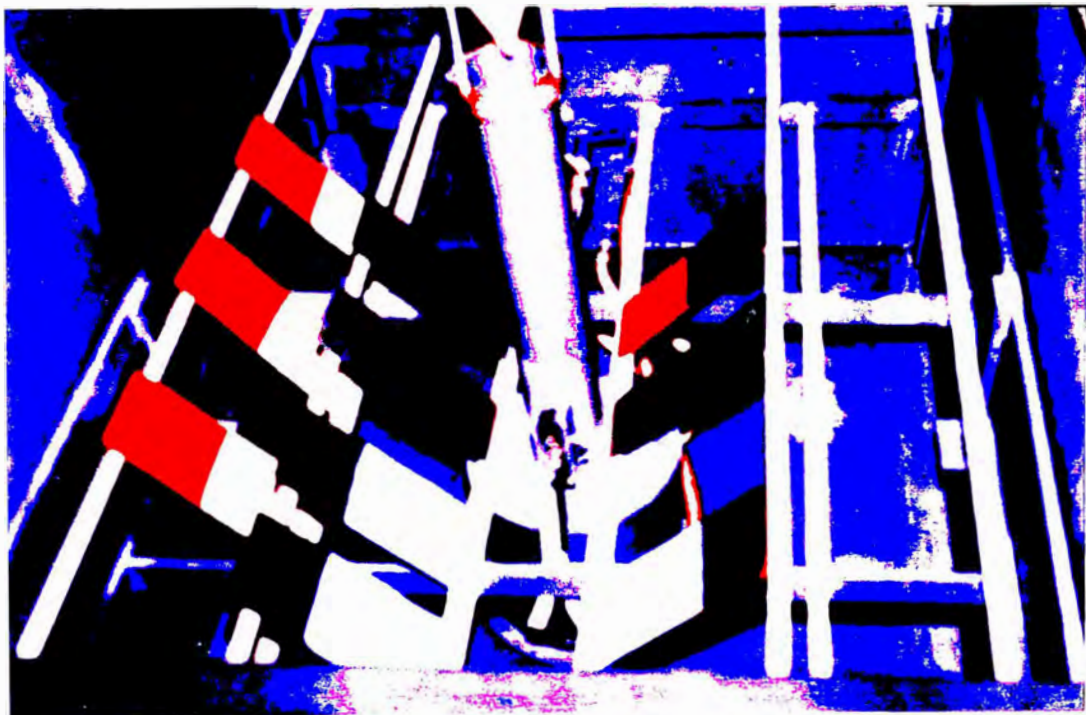
CAMARA DE NIEBLA  
SALINA

Figura 4.0



VISTA INTERIOR DE LA CAMARA DE NIEBLA SALINA

Figura 4.1



POSICION DE LAS PROBETAS DE ENSAYO EN LA CAMARA  
DE NIEBLA SALINA

Figura 4.2

## CAPITULO V

### DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL EQUIPO

(8,14)

#### 5.1.0 CALCULO DEL CAUDAL MAXIMO QUE CIRCULA DEL TANQUE DE AGUA SALINA.

Balance de energía entre los puntos 1 y 4. Fig. 50

De acuerdo con la norma ASTM B-117-64. la velocidad de pulverizado está dentro del rango 636-5256 ml/hr. se seleccionará un caudal de 1,440 ml/hr.

$$Q = 1.4 \times 10^{-5} \text{ pie}^3 / \text{seg} \quad (1440 \text{ ml/hr})$$

El diámetro de la boquilla según especificaciones de la norma JIS z 2371 - 1976: (0.06cm),  $1.97 \times 10^{-3}$  pies que corresponde a un área de:

$$A = 3.05 \times 10^{-6} \text{ pie}^2$$

Determinando la velocidad de salida en la tobera

$$V_2 = Q / A_2$$

$$V_2 = 4.36 \text{ pies/seg.}$$

Balance de energía:

$$\frac{P_1}{\gamma'} + \frac{V_1^2}{2gc} + Z_1 = \frac{P_4}{\gamma'} + \frac{V_4^2}{2gc} + Z_4 + \sum h_f$$

$$Z_1 = \sum h_f$$

Esto indica que la altura mínima del tanque es igual a la necesaria para vencer la caída de presión debido a la fricción.

Balance de energía entre 1 y 3:

$$\frac{P_1}{\gamma'} + \frac{V_1^2}{2gc} + Z_1 = \frac{P_3}{\gamma'} + \frac{V_3^2}{2gc} + Z_3 + \sum h_f$$

Asumimos:  $P_1 = P_3$

$$Z_1 = \frac{V_3^2}{2gc} + \sum h_f$$

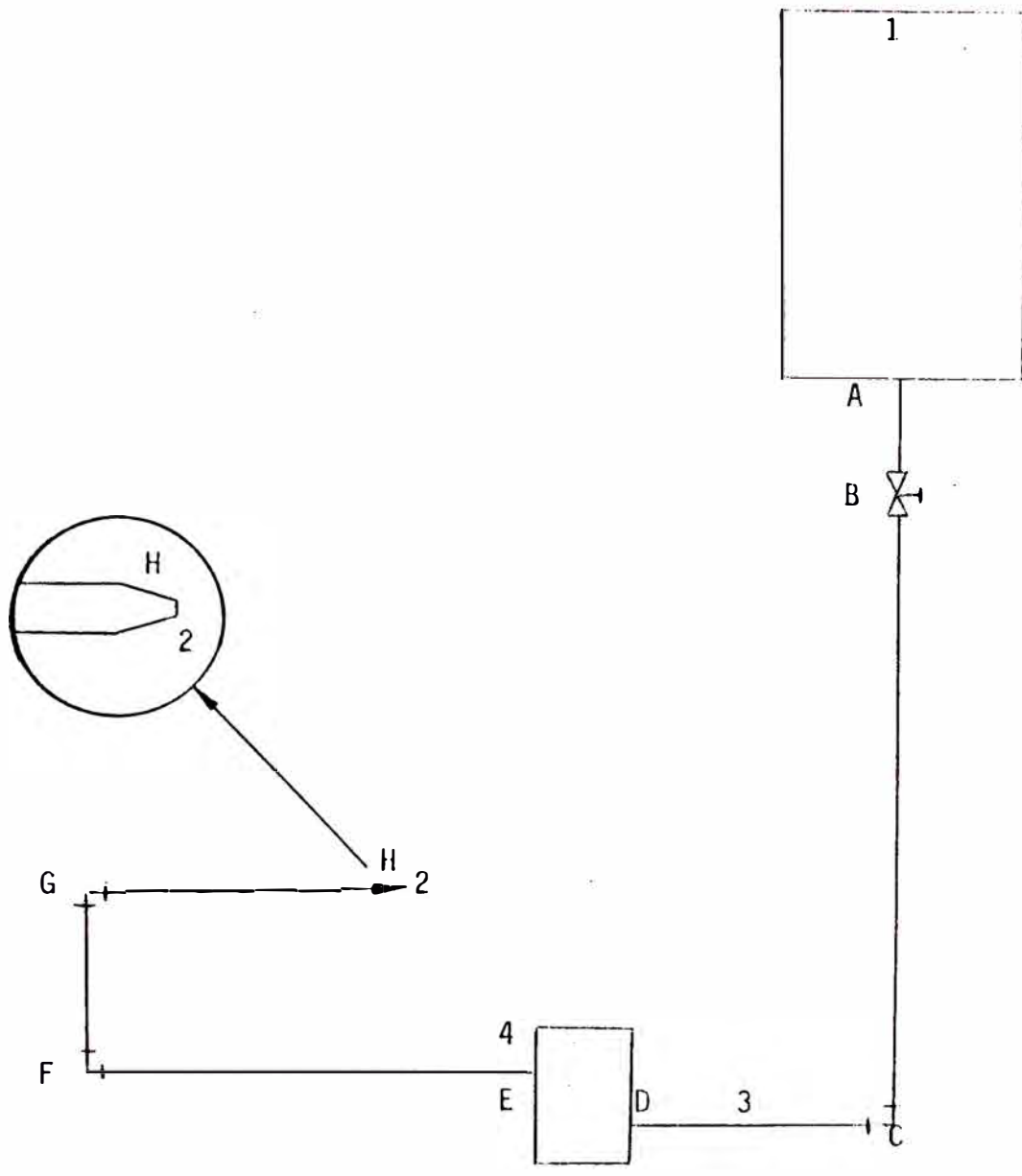


DIAGRAMA DEL BALANCE DE ENERGIA

Figura 5.0

$$Z_1 = \frac{V_3^2}{2gc} + \frac{V_3^2}{2gc} + \sum h_f$$

$$Z_1 = \frac{V_3^2}{2gc} (1 + \sum K)$$

Despejando  $V_3$

$$V_3 = \frac{2gc Z_1}{1 + \sum K}$$

$$Q_3 = A_3 \frac{2gc Z_1}{1 + \sum K}$$

Determinando la velocidad de la tubería, por continuidad,  $V_2 A_2 = V_3 A_3$

Para una tubería de 1/2 pulgada de diámetro (0.042 pies), corresponde a un área de  $A_3 = 1.36 \times 10^{-3} \text{ pie}^2$ , reemplazando en la ecuación de continuidad se obtiene  $V_3 = 0.0103 \text{ pies/seg.}$  Considerando un  $Z_1 = 160 \text{ cm.}$

Reemplazando valores en  $Q_3$ :

$$Q_3 = 1.36 \times 10^{-3} \text{ pie}^2 \times \frac{2 \times 32.2 \times 5.2}{1 + 53.28}$$

$$Q_3 = 338 \times 10^{-5} \text{ pie}^3 / \text{seg}$$

El caudal hallado  $338 \times 10^{-5} \text{ ft}^3 / \text{seg}$ , es el máximo, que puede fluir desde el tanque de solución salina hacia el tanque interno de la cámara.

Este valor hallado es mayor que el necesario, con lo cual, aseguramos una buena pulverización. Por lo tanto la posición asumida para el tanque es correcta.

Para obtener el valor requerido de flujo de solución salina utilizamos una válvula de compuerta.

#### 5.2.0 PRESION DE VACIO NECESARIO EN LA BOQUILLA DE SALIDA DEL AGUA SALINA.

De la Ecuación de Bernoulli entre 2 y 4:

$$\frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2gc} + Z_2 = \frac{P_4}{\rho} + \frac{V_4^2}{2gc} + Z_4 + \sum h_f$$

$$\frac{-P_2}{\rho} = (Z_4 - Z_2) + \frac{V_4^2}{2gc} + \sum h_f$$



$$\frac{-P}{\gamma^1} = \Delta Z + \frac{v^2}{2gc} (1 + 2K)$$

$$= 0.33 + \frac{(4.63)^2}{32.2 \times 2} \times (1 + 0.48)$$

$$\frac{-P}{2\gamma^1} = 0.84 \text{ pulg. de H}_2\text{O} = 0.35 \text{ psi de vacío}$$

Vacío que se logra obtener con ayuda del flujo de aire que sale de otra boquilla.

La alta velocidad del aire saliendo de la boquilla pasa a través de la boquilla de salida de agua salina, logrando el flujo de agua debido al vacío que provoca.

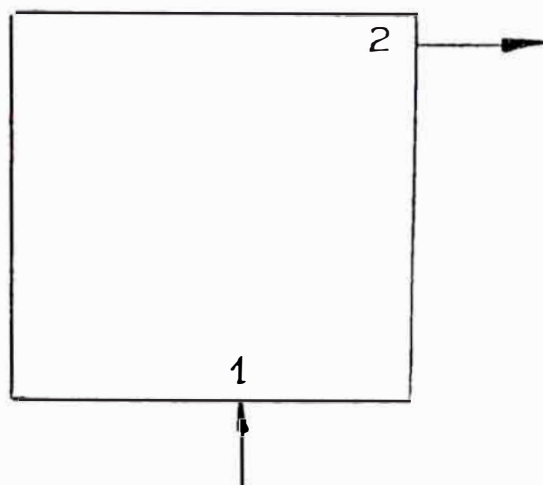
### 5.3.0 CALCULO DEL CALOR NECESARIO PARA LLEVAR EL AIRE A 60° C EN EL TANQUE DE HUMECTACION.

De la norma ASTM B-117-64 se obtienen los siguientes datos:

Flujo de aire  $m = 1.3 \text{ ft}^3 / \text{min.}$   
 Temperatura de operación de la cámara:  $35 \pm 2 \text{ C}$

Teniendo 60 °C de temperatura en el tanque de humectación se asegura la temperatura de operación en la cámara: 35 °C., siendo el  $T = 60 - 25 = 35 \text{ °C.}$

La humedad relativa en el punto 1 es de 85% (dato proporcionado por el SENAMHI). Considerando que en el punto 2 la humedad relativa es de 100%, de acuerdo a la misma norma se obtiene una humedad absoluta  $H_2 = 0.056$  lb agua por lb. de aire seco. A la entrada se obtiene una humedad absoluta a  $25^\circ\text{C}$  de  $0.017$  lb. de agua por lb. de aire seco.



Balance de calor.

$$Q = (H_2 - H_1)m + m \cdot C_p \cdot T \dots (II)$$

$$= 1,170 \text{ BTU/lb.}$$

$$= 1.29228 \text{ gr/lt. (0.0808 lb/ft}^3\text{)}$$

$$C_p = 0.237 \text{ Cal/gr } ^\circ\text{C (0.43 BTU/lb } ^\circ\text{C)}$$

Evaluando en (II)

$$Q = 1,170 (0.056 - 0.017) \times 1.3 \times 0.0808 + 0.43 \times 13 \times 0.0808 (35)$$

$$Q = 6.373752 \text{ BTU/min.}$$

Los porcentajes de calor latente del agua y sensible del aire son:

Calor latente del agua : 75.19%

Calor sensible del aire: 24.81%

#### 5.4.0 CALCULO DEL CALOR NECESARIO PARA CALENTAR EL AGUA DEL TANQUE DE HUMECTACION.

El agua del sistema de humectación deberá calentarse inicialmente a 60 °C para luego mantenerse en esa temperatura.

El volumen de agua a tratar de acuerdo al diámetro del tanque (34.5 cm).

$V = 18.7$  lts.

El calor necesario será:

$$Q = m C_p T \dots\dots (III)$$

De acuerdo a la norma JIS Z 2371-1976 la temperatura a la cual debe tratarse el agua es de 48° C, trabajándose los cálculos a 55°C como margen de seguridad por la posibles pérdidas de calor por radiación.

La densidad del agua a esta temperatura será 0.98565g/ml.

El calor específico del agua 1 Cal/g°C.

$$T = 55 - 25 = 30^\circ C$$

$$m = V\rho = 18700 \times 0.98565$$

$$m = 18417.86 \text{ grs.}$$

Evaluando (III)

$$Q = 552,535.8 \text{ Cal.}$$

### 5.5.0 DISEÑO DE LA RESISTENCIA ELECTRICA DEL TANQUE DE HUMECTACION.

a.- Por pruebas realizadas se obtuvo un tiempo promedio de calentamiento de 150 min.

De 5.4.0 tenemos que el calor necesario para calentar en un primer momento el tanque de humectación es 552.535.8 Cal. por lo cual se obtiene un flujo calórico de  $q = 3683.572 \text{ Cal/min.}$

$$q = W = 256.9 \text{ watts.}$$

Redondeando para el cálculo a 260 w.

En consecuencia las resistencias correspondientes a fuentes de abastecimiento eléctrico 110 y 220 V. se tiene  $R = V^2/W.$

$$R = 186 \text{ ohms (220 V)}$$

$$R = 46 \text{ ohms (110 V)}$$

b.- El flujo calorífico necesario para llevar el aire a 60°C obtenido en 5.3.0 es 6.4 BTU/min.

teniendo una potencia igual a 112.512 Watts.

La resistencia deberá tener una potencia mínima de 260 w, para asegurar un calentamiento inicial del volumen de agua en el tanque de humectación, y durante la prueba el aire alcance la temperatura de 60 C, que es la que asegura que en el interior de la cámara exista  $35^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$  de temperatura.

#### 5.6.0 DISEÑO DEL GABINETE DE LA CÁMARA DE NIEBLA SALINA.

- A.- El material utilizado en la fabricación es PVC (policloruro de vinilo) y acrílico.
- B.- La forma de la cámara es un prisma rectangular truncado e invertido.
- C.- La cámara de niebla salina no debe ser menor de 15 pies cúbicos según la norma ASTM B 117- 64 y no debe ser menor de 400 litros según la norma DIN 50021.  
Nuestra cámara cumple esta restricción.
- D.- La tapa es de acrílico en forma de techo de dos aguas formando un ángulo de  $120^{\circ}$  (según la norma ASTM B - 117 - 64, puede variar de 90 a 120 grados), esto evita que las gotas de la niebla caigan sobre las muestras.

- E.- El sello de agua se ha formado mediante unos canales de caucho, para darle mayor hermeticidad, alrededor de la tapa se ha colocado unas empaquetaduras.
- F.- La cámara debe tener un sistema de calentamiento para lo cual existe una línea auxiliar de ingreso de aire caliente. Esta línea es accionada cada hora, cortando en parte el flujo de pulverizado. Para evitar pérdida por transferencia de calor se ha colocado un aislamiento (lana de vidrio) de 4 cm. de espesor.
- G.- Un tanque interno cuya función es mantener un flujo constante en el pulverizado, mediante una dosificación adecuada.
- H.- El soporte para las probetas, es de material de PVC.

## 5.7.0 ESPECIFICACIONES DE DISEÑO DE LOS EQUIPOS AUXILIARES.

### 5.7.1 TANQUES DE ALIMENTACION

#### A.- TANQUE DE SOLUCION SALINA

Material de fibra de vidrio

Segun dato de la norma ASTM E - 117 - 64 la cantidad de solución salina consumida depende de la altura del silo, el rango variable de

presiones es de 636 a 5256 ml/hr., aproximadamente para unas 10 horas necesitamos un volumen de 20 a 50 litros.

Elegimos el margen superior y el volumen es de 50 litros.

Luego tenemos:

$$V = 50 \text{ lts.} = 50 \times 10^3 \text{ cm}^3 = \frac{D^2 h}{4} \dots (V)$$

Elegimos:  $h = 1.7 D$

de  $V$ ,  $D = 33.45 \text{ cm} = 30 \text{ cm.}$

$H = 58 \text{ cm.} = 60 \text{ cm.}$

#### B.- TANQUE HUMECTADOR

Material: acero revestido de fibra de vidrio.

El objetivo del tanque humectador es justamente humedecer el aire que viene del compresor y además calentarlo por medio de una resistencia.

$$V = 53 \text{ lts} = \frac{D^2 h}{4} (1.7 D)$$

$$D = 34.12 = 34 \text{ cm.}$$

$$H = 58 \text{ cm.} = 60 \text{ cm.}$$

#### 5.7.2 COMPRESOR

El compresor usado en nuestro equipo fue

de 1.5 HP y de tipo reciprocante. La presión que se requiere de este compresor según lo especificado por la norma ASTM B - 117-64 es de 20 lb/pulg<sup>2</sup>.

### 5.7.3 SISTEMA DE PULVERIZACION

- A.- Las toberas son de vidrio, siendo el diámetro mayor de 0.9 cm. y el diámetro menor es de 0.6 cm., por una de las toberas fluye la solución salina y por el otro el aire húmedo (98%) y a 40°C aproximadamente.
- B.- Tubo de PVC con un diámetro de 6 cm. y 38 cm de largo.
- C.- Cono de Acrílico, debido a su forma hace que exista una mejor distribución de la niebla salina.

### 5.8.0 INSTRUMENTACION

- Válvula de seguridad en el tanque de humectación para evitar la sobre presión. Material: Bronce.
- Válvula de alivio, cromada  
Se encuentra en el tanque de humectación. Nos sirvió además para completar el agua destilada, cuando se consumía por debajo del nivel mínimo.
- Termostato que nos sirve para regular la temperatura



en el tanque de humectación.

- Válvula de compuerta, es de material de bronce y nos sirve como purga del tanque de humectación.
- Válvula de agua de acero inoxidable que sirve para controlar la presión de aire en forma más exacta.
- Medidor de flujo de solución salina usamos para regular el flujo de solución salina.
- Medidor de flujo de aire.
- Filtro de aire está en la línea que sale del compresor hacia el tanque de humectación.
- Tablero de control es un tablero electrónico, para el control de la temperatura en la cámara.
- Reductor de presión.
- Un manómetro en el compresor y otro cerca del pulverizador.

Adjuntamos los siguientes planos de la Cámara de niebla salina.

Plano N° 2. Estructura Externa.

- " " 3. Cuerpo.
- " " 4. Detallado.
- " " 5. Atomizador.
- " " 6. Tanques de alimentación.
- " " 7. Porta probetas
- " " 8. Misceláneos.

## CAPITULO VI

### 6.1.0 ENSAYOS EN LA CAMARA DE NIEBLA SALINA (4,10)

#### 6.1.1. PREPARACION Y TOMA DE MUESTRAS

##### a) .-PREPARACION DE MUESTRAS

Al elegir y preparar los metales destinados a las pruebas de corrosión, se deben tener siempre presentes todos los factores relacionados con el metal por una posible influencia sobre el proceso y valoración de los efectos de la misma.

1. El potencial de electrodo del metal en las condiciones particulares consideradas.
2. El estado de agredación del metal incluyendo el carácter y tamaño del cristal, la presencia de poros o grietas y la naturaleza de la película superficial o cascarilla (incluyendo las que se formen durante la corrosión).
3. La ausencia de tensiones internas o externas.
4. El sobrevoltaje (en los casos en que pueda desprenderse gas hidrógeno).

5. La presencia de fases diferentes en el metal y su distribución (bien sea como soluciones sólidas o como segregados o inclusiones no metálicas).

Según la norma ASTM B117 - 64: La limpieza y preparación de muestras debe realizarse de acuerdo a las especificaciones del metal y como se encuentre su superficie. además esta norma indica que no se puede utilizar abrasivos (óxido de magnesio) o solventes, que sean corrosivos o protejan al metal; con respecto a la norma DIN 50021, esta no especifica la forma de preparación de las probetas.

En el apéndice V. se indica los procedimientos para la preparación de probetas sin recubrimiento. éstos pueden ser mecánicos, químicos o una combinación de ambos.

Así mismo, en este apéndice se hallarán métodos para el tratamiento de las probetas después de haberse llevado a cabo el ensayo.

#### b.-SELECCION DE MUESTRAS

Los fabricantes comerciales pueden proporcionar varias formas de metal tales como: fundiciones en arena, productos de extrusión, troquelados, chapa o banda laminada, alambre estirado, varilla o tubo y piezas forjadas. Otras pueden obtenerse en el mismo laboratorio, tales como las películas delgadas que se forman por evaporación en vacío. La forma a elegir debe ser, evidentemente, igual a la que se use en el

servicio al que se la destine.

Pero las piezas fundidas presentan las desventajas siguientes:

- Es difícil la producción de secciones delgadas, pero puede ser aconsejable.
- Difícil es la determinación exacta de la composición, ya que para ello es necesario contar con muestras analíticas moldeadas al mismo tiempo que una colada de otras muestras, a no ser que se pueda cortar de una determinada colada, un número de muestras que incluyan una muestra analítica.
- La porosidad puede ser mayor que en las otras formas y puede influir directamente en la corrosión, o crear dificultades en la valoración de la misma (se puede confundir la porosidad con el picado) y es probable que como variaciones sensibles e irregulares en las propiedades mecánicas.
- Puede darse una segregación en la colada capaz de causar trastornos graves en la corrosión, y puede así mismo variar de colada a colada, si el operario que trabaja con ello no está capacitado y no tiene experiencia en esta clase de trabajo.

Las piezas fundidas, no obstante, son aprovechables y ventajosas cuando se requiere una extensa forma de composiciones o formas complejas. También es difícil producir troquelados en secciones finas sino se utiliza un troquelado por impacto, y en este último caso la

longitud es limitada y se puede necesitar un troquelado separado para cada muestra. Los alambres en cambio, son muy útiles cuando se trata de hallar la razón por área de superficie o para determinar el efecto de la corrosión en la conductividad eléctrica, pero resultan menos eficientes para determinar la pérdida de propiedades mecánicas. Se usan con más frecuencia los productos laminados por las siguientes ventajas:

- Se utilizan más en el servicio
- Se pueden obtener en un amplio campo de espesores.
- Si bien ocurren casos, son poco frecuentes las variaciones en la resistencia a la corrosión de una chapa laminada.
- Se pueden obtener chapas de gran superficie permitiendo con ello la preparación de un elevado número de muestras iguales así como de muestras analíticas de una misma chapa.

En pruebas prácticas de corrosión, puede y debe utilizarse el metal comercial normal, por el contrario, en la investigación fundamental está justificada la producción especial del mismo para asegurarse un producto más uniforme o más apropiado.

El estado metalúrgico del metal puede depender del método de obtención empleado, o del tratamiento subsiguiente dado en el laboratorio, o de ambas cosas a la vez. A este respecto puede ser factores importantes, el trabajo en frío del metal, el

recocido, el tratamiento térmico por solubilización, y tratamiento térmico de precipitación, aunque la importancia de estos factores varia de acuerdo con los diferentes metales y sus aleaciones, para ciertos fines se prepara las superficies mecánica o químicamente, pero cuando se trata de pruebas destinadas a predecir el comportamiento del metal en servicio de aplicaciones en las que no exista preparación previa del mismo, evidentemente se prueba al metal tal y como esté.

El estado de la superficie del metal varia según la naturaleza y método de fabricación (superficie áspera y con escama o pulida y con acabado especular). Las piezas fundidas a veces tienen una película de óxido o cascarilla más gruesa que la del metal laminado, pero el recocido o el tratamiento térmico pueden tener un notable efecto a este respecto. Cuando estas operaciones mencionadas se llevan a cabo en el laboratorio, es aconsejable desengrasar las muestras antes de calentar, para obtener una uniformidad en los efectos a conseguir con muestras duplicadas, e incluso con una determinada muestra.

#### c.-DUPLICADO DE MUESTRAS

Cuando se trabaja con muestras que van a ser expuestas durante un periodo de tiempo determinado y en determinadas condiciones, es siempre aconsejable

realizar varios duplicados, aunque solo sea para evitar un posible mal resultado. El número de duplicados dependerá de la exactitud que se requiera para el valor medio, y de la dispersión que es de esperar en los resultados de cada uno de ellos. Y como el error standard del valor medio es inversamente proporcional al cuadrado del número de duplicados, pronto se alcanza un número más allá del cual es imposible su aumento (mínimo tres duplicados como regla general).

Cuando se sabe que la velocidad de corrosión es constante desde el principio de la exposición, será suficiente una sola serie de duplicados, pero si se supiera que la curva corrosión tiempo es rectilínea, pero que no pasa por el origen, entonces serían necesarias, por lo menos, dos series de duplicados. Si se trata de corrosión/tiempo, entonces se deben exponer, tres series para retirarlas después de tres períodos de tiempos crecientes.

Con otro método de valoración ejemplo, pérdidas de las propiedades mecánicas, se requiere un juego de series iniciales antes de la corrosión.

En el caso de que la valoración de las muestras no corroidas estén sujetas a ciertos cambios, por ejemplo, por envejecimiento, entonces son necesarios hasta tres grupos de duplicados para usarlos como control.

Las diferentes series de muestras tomadas para ser expuestas durante períodos de tiempos diferentes, o para comparación de las propiedades entre muestras corroídas o no, deben ser perfectamente comparables, han de tenerse en cuenta, no obstante, algunas variaciones menores, pero apreciables, en la resistencia a la corrosión del metal (ejm. variaciones originadas por la segregación, defectos de la superficie, o irregularidades de la película misma), o variaciones en el metal que afecten el método de valoración más que al proceso de corrosión (ejm. raspaduras en la superficie o variaciones en el estado metalúrgico que pudieran a su vez repercutir en las propiedades mecánicas). Luego se debe asegurar, mediante una selección apropiada de muestras, que cada serie de duplicados sea razonablemente representativa de todo el metal.

Esta selección puede ser al azar o de una manera ordenada.

Cuando se trate de una secuencia de muestras tomadas de cortes de una plancha laminada o de una colada determinada, deben numerarse las muestras para simplificar la selección, así como para una mejor distribución de las mismas durante la exposición, ejm. si hay 100 muestras, cortense 6 para una fila que numeradas 10, 30, 50, 70, 90, darán una serie



quintuplicada, pero estos numeros serian inadecuados si las muestras se cortasen en 10 ó 5 para cada fila, ya que de este modo no se obtendría la dispersión deseada. Si cualquier operación posterior, tal como tratamiento térmico del metal, o ensayos de corrosión reales, exigiera la división de las muestras en grupos, habría que cuidar que hubiese en cada grupo una representación de cada serie de duplicados.

Las muestras destinadas a ensayos de pinturas deben prepararse de manera que experimenten una corrosión general uniforme en ausencia de la protección de pintura. Separar completamente el tipo de pintura aplicada, de la naturaleza del metal a proteger, es difícil o imposible, ejemplo se ha visto que el pigmento que se considera más apropiado para esta clase de operación puede variar con el metal al que se aplica. Entonces al elegir el metal para las pruebas con pintura o sin pintura se debe tener muy en cuenta el objeto de las mismas y la aplicación que se tenga en perspectiva.

#### d.-IDENTIFICACION , TAMANO Y FORMA DE LAS MUESTRAS

Para pruebas prolongadas es conveniente registrar la posición que ocupa la muestra en el aparato de prueba o en el soporte del mismo, para hacer más fácil su identificación, en caso de que las marcas puedan borrarse durante el proceso.

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

Un espesor de 0.036" es conveniente para muchos fines. El comité Francés de aeronáutica adoptó 1 mm. (0.039 pulg.) para el diámetro del alambre.

En las pruebas exploratorias relacionadas con la protección que da la pintura al metal, muy finas, ejm. 0.0005 pulg. de grosor, de modo que la perforación indicaba pronto la presencia de una corrosión bastante apreciable. Así mismo se ha demostrado que el grosor inicial del metal puede afectar profundamente al proceso de corrosión y a los resultados de la misma.

A veces puede darse una variación en la estructura del metal a lo largo del espesor del mismo por ejemplo se observa con frecuencia que la extrusión puede tener en la superficie una capa de cristales equiaxiales cubriendo una estructura que afecta a la corrosión, esta última puede estar relacionada con el grosor del metal, sea cual fuere el método de valoración final empleado .

Las normas ASTM, DIN, JIS no especifica el tamaño y forma de las probetas, indicando que esto debe estar definido en las especificaciones del metal.

#### 6.1.2 MATERIAL DE ENSAYO:

En nuestras pruebas utilizamos el acero al carbono SAE 1020, que en Sider Peru tiene una designación de PDC-E21, cuya calidad estructural presentamos en la tabla 6

Observamos que el contenido de carbono es de 0.2% por lo cual, pertenece a los hipoeutectóides.

En las figuras: 6.0

6.1

Mostramos una representación esquemática de los cambios en microestructuras durante el proceso de enfriamiento del acero al carbono al 0.2%.

#### 6.1.3. ENSAYOS DE ACUERDO A LA NORMA DE PROBETAS DESNUDAS

Estas pruebas se realizaron a una temperatura de  $35 \pm 2^\circ\text{C}$  presión del compresor 20 lb/pulg<sup>2</sup>. Además el flujo de solución salina fue controlado en 1.440 ml/hr.

Las probetas a evaluar son de acero al carbono 1020 (SIDER-PERU) de 1mm de espesor y de 7.5 X 17.5cm.

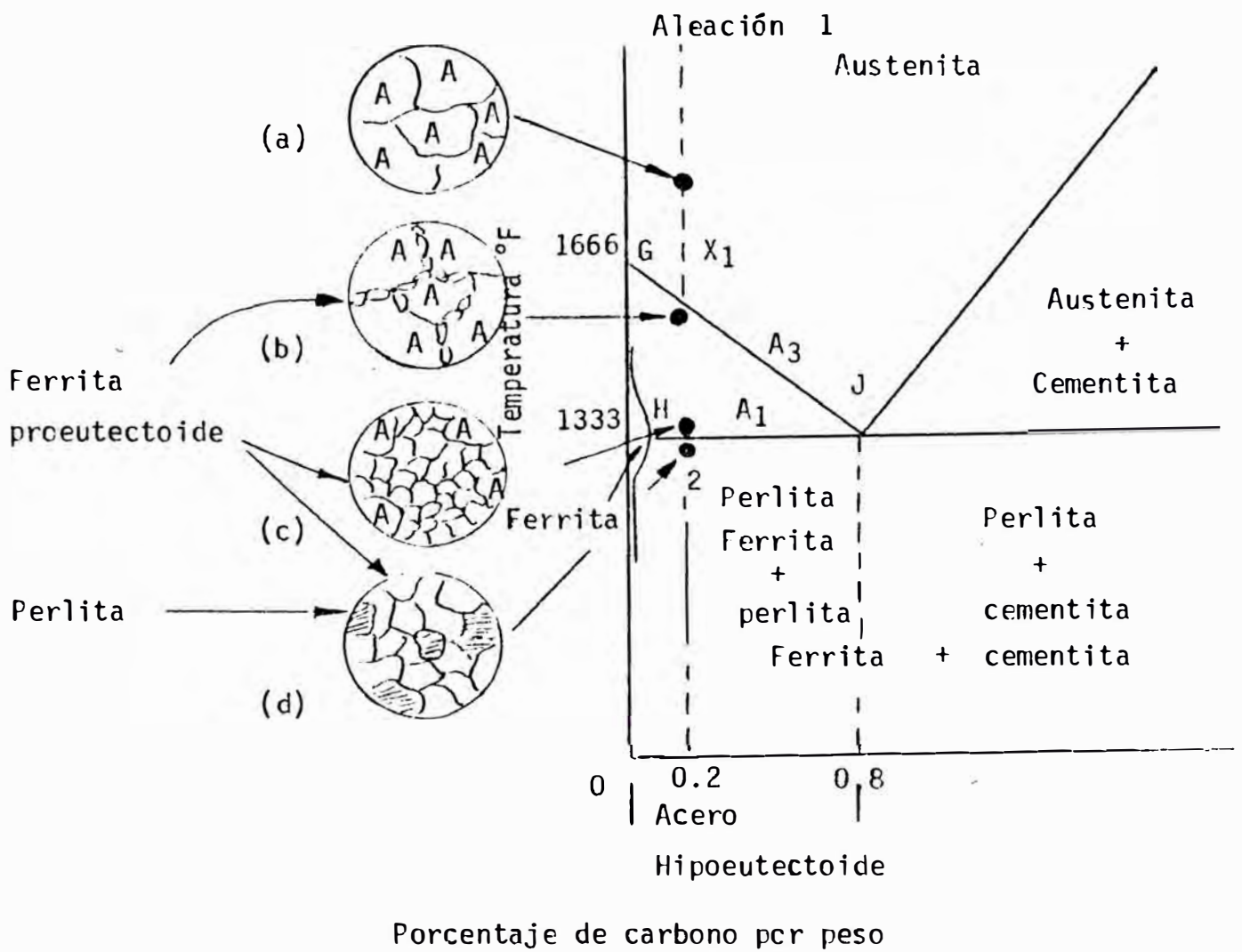
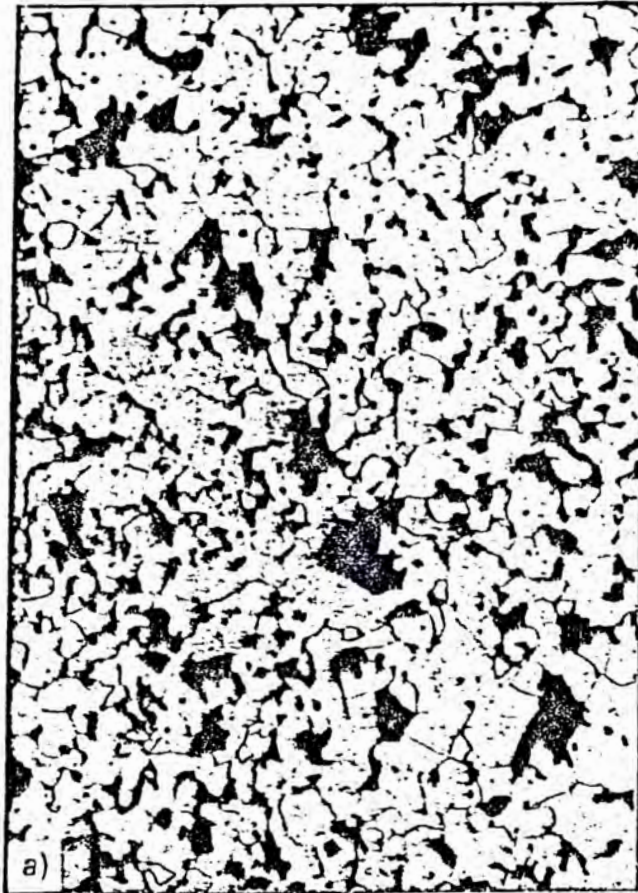


Figura 60

Representación esquemática de los cambios en microestructura durante el enfriamiento lento de acero al 0.20% de carbono.

a) Austenita, b) Formación de granos de Ferrita en las fronteras de grano de austenita, c) Crecimiento de granos de ferrita, la composición de Austenita es de 0.8% de carbono, d) La austenita se transforma a perlita a 1,333°F.



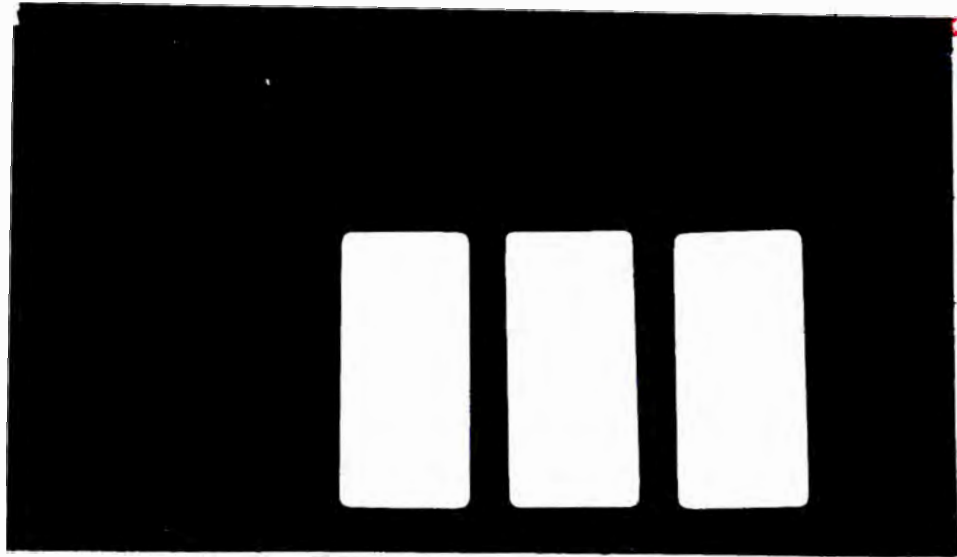
6.1 a Acero al 0.20% de Carbono enfriado lentamente (100x).



6.1 b Acero al 0.20% de Carbono enfriado lentamente (500x).

TABLA N° 6.0

CALIDAD ESTRUCTURAL DEL CARBON SAE 10 20											
DESIGNACION SIDER PERU	% COMP.QUIMICA EN LA CUCHARA			ENSAYO DE TRACCION				ENSAYO DE DOBLADO			
	C Máx.	P Máx.	S Máx.	R Kg/ mm <sup>2</sup> (MPa) mín.	F Kg/ mm <sup>2</sup> (MPa) mín.	% mín.	mm.	Sentido	Angulo	Mandrii	Sentido Probeta
PDC-E21	0,20	0,040	0,050	37 (370)	21 (210)	20	50	T	180°	1,5 e	T



Probetas desnudas antes de someterse al medio corrosivo en la Cámara de Niebla Salina.

Figura 6.2

## a) .-REPORTE DEL ENSAYO REALIZADO

## - DURACION DE LA PRUEBA

fecha de inicio 10.03.88

fecha de finalización 13.03.88

## - TIPO DE MATERIALES

tipo de sal Na Cl Q.P.

agua desionizada

## - CARACTERISTICAS DE LAS PROBETAS

Dimensiones 17.5 x 7cm

Nº de Probetas 9 probetas de acero al  
carbono 0.2%.

Forma Rectangular, con las  
esquinas redondeadas.

## PRE-TRATAMIENTO DE LAS PROBETAS

- a. Desengrado con detergente
- b. Lavado y enjuagado con agua destilada
- c. Decapado con HCl 20% (3 min)
- d. Lavado y enjuagado con agua destilada
- e. Lavado con alcohol
- f. Secado
- g. Enfriar en un desecador por 24 horas
- h. Pesado



## DATOS DE LECTURA DE TEMPERATURAS

FECHA	HORA	TEMPERATURA (° C )
10.03.88	8.00 p.m.	33.4
	9.00 p.m.	32.1
	10.00 p.m.	34.9
	11.00 p.m.	33.5
11.03.88	12.00 p.m.	32.1
	1.00 a.m.	32.4
	2.00 a.m.	34.9
	3.00 a.m.	32.
	4.00 a.m.	35.2
	5.00 a.m.	31.5
	6.00 a.m.	31.5
	7.00 a.m.	32.6
	8.00 a.m.	33
	9.00 a.m.	32
	10.00 a.m.	33.1
	11.00 a.m.	33.3
	12.00 m.	32.5
	1.00 p.m.	32
	2.00 p.m.	32.3
	3.00 p.m.	32.7
	4.00 p.m.	33.4
	5.00 p.m.	32.2
	6.00 p.m.	33.8
	7.00 p.m.	33.0
8.00 p.m.	Se retiraron 3 probetas después de 24 horas	
	9.00 p.m.	32.4
	10.00 p.m.	32.0
	11.00 p.m.	34.5
	12.00 p.m.	35.5
12.03.88	1.00 a.m.	33
	2.00 a.m.	33
	3.00 a.m.	33
	4.00 a.m.	33
	5.00 a.m.	33
	6.00 a.m.	33
	7.00 a.m.	35
	8.00 a.m.	33
	9.00 a.m.	32.5
	10.00 a.m.	32.5
	11.00 a.m.	33
	12.00 m.	33
		1.00 p.m.
	2.00 p.m.	32
	3.00 p.m.	32

	4.00 p.m.	32	
	5.00 p.m.	33	
	6.00 p.m.	32.5	
	7.00 p.m.	32.5	
	8.00 p.m.	32.0	Se retiraron 3 probetas a las 48 horas
	9.00 p.m.	32.5	
	10.00 p.m.	32.5	
	11.00 p.m.	32.5	
13 .03.88	12.00 p.m.	33	
	1.00 a.m.	32	
	2.00 a.m.	32.5	
	3.00 a.m.	32.5	
	4.00 a.m.	33.4	
	5.00 a.m.	32.5	
	6.00 a.m.	32.5	
	7.00 a.m.	33	
	8.00 a.m.	33	
	9.00 a.m.	32.5	
	10.00 a.m.	32.1	
	11.00 a.m.	33	
	12.00 m.	33	
	1.00 p.m.	32.5	
	2.00 p.m.	32	
	3.00 p.m.	32	
	4.00 p.m.	32	
	5.00 p.m.	33	
	6.00 p.m.	32.5	
	7.00 p.m.	32	
	8.00 p.m.	32	
	Se retiraron las 3 últimas probetas después de 72 horas		
	Observar Figs. 6.3 , 6.4.		

- Datos obtenidos durante la prueba.

a. Volumen promedio de solución de sal colectados en ml/h.

Colector	Volúmen colectado
----------	-------------------

1	0.29
---	------

2	0.30
---	------

3	0.24
---	------

b. pH de la sal colectada ; 7.15

c. Flujo de solución salina: 1440 ml/hr



Probetas desnudas después de su exposición en  
la Cámara de Niebla Salina.

Figura 6.3



Probetas desnudas expuestas a 24, 48 y 72 horas.

Figura 6.4

## INTERRUPCIONES

Fueron debido a que el sistema, para mantener la temperatura en 33°C necesita un calentamiento de 3 min cada hora. Para el retiro de las probetas, se necesita interrumpir la prueba por 5 minutos.

Interrupciones totales            240 minutos

b).-TRATAMIENTO DE LAS PROBETAS DESPUES DE FINALIZAR LA PRUEBA

- a. Eliminar los productos de corrosion con una escobilla de nylon.
- b. Enjuague con agua destilada
- c. Secado con aire caliente
- d. Sumergir la probeta en el baño de decapado de la siguiente composición

Acido clorhídrico al 20% en peso más inhibidor

Inhibidor urotropina (Hexameten tetramina) 2 gr/litro de solución de HCl al 20%.

Dejar la probeta sumergida en la solución por un lapso de tiempo que varía entre 5 segundos a 10 minutos en función de la superficie a tratar.

Se limpia la probeta con una escobilla en la solución (HCl + Inhibidor) un número de veces de terminado.

Enjuague con agua destilada

Secado

- Enfriar en un desecador por 24 horas
- Pesado

e. Repetir el procedimiento dado en (d) el número de veces necesario para obtener una gráfica de pérdida de peso en función del tiempo de decapado medio conveniente, esto es hasta que haya ataque al material por la total eliminación de los productos de corrosión.

#### 6.1.4.DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DE CORROSION:

$$\text{Velocidad de corrosión} = V_c = (K \times W) / (A \times T \times D)$$

Donde :

K = Constante =  $3.45 \times 10^{**6}$  para m.p.y. (milésimas de pulgada por año ).

T = Tiempo de exposición en horas.

A = Area en cm<sup>2</sup>.

W = Pérdida de peso en gramos.

D = Densidad en gr./c.c. = 7.86 gr./c.c., para Fe

Ejemplo de Cálculo :

Para el tiempo de exposición de 24 horas del gráfico se ve que para la probeta # 2 la pérdida de peso es de 0.6 gramos para un área de la superficie expuesta de  $(7.5 \times 17.5) = 131.25$  cm<sup>2</sup>.

Tenemos:

$$K = 3.45 \times 10^{**6}$$

$W = 0.6$  grs.

$A = 131.25$  cm<sup>2</sup>.

$T = 24$  horas.

$D = 7.86$  grs./c.c.

Con estos datos reemplazamos en la fórmula de  $V_c$  indicada y obtenemos:

$V_c = 83.605$  m.p.y.

En forma similar realizamos los siguientes cálculos:

	VELOCIDAD DE CORROSION	PERDIDA DE PESO	TIEMPO DE EXPOSICION	$V_c$
1	84.302	0.605	24 horas	
2	83.605	0.600	24 horas	82.444
3	79.425	0.570	24 horas	
4	61.311	0.880	48 horas	
5	59.917	0.860	48 horas	58.988
6	55.737	0.800	48 horas	
7	49.230	1.060	72 horas	
8	55.437	1.200	72 horas	52.643
9	53.414	1.150	72 horas	

Observar Tabla 6.1 y Fig. 6.5.

#### 6.1.5. CONCLUSIONES

De la observación visual de las probetas se ha notado la presencia de productos de corrosión de color rojizo en su capa más externa, que era poco adherente y no formaba una capa continua, debajo de esta capa se

observó un producto de corrosión de color negro más adherente que la anterior. notándose un aumento de esta característica conforme se acerca al metal base.

El producto que se forma adyacente al metal base está constituido por hidróxido ferroso ( $\text{Fe(OH)}_2$  de color negro), este producto es estable solamente en ausencia de aire. En condiciones de exposición atmosférica la capa externa de este producto sufre una ulterior oxidación formando el hidróxido férrico ( $\text{Fe(OH)}_3$ , de color rojo). Este hidróxido férrico se caracteriza por ser susceptible a contener un gran porcentaje de humedad, que favorece el proceso de oxidación (corrosión), este hidróxido tiende fácilmente a quebrarse por variaciones en su contenido de humedad, produciéndose el desconchamiento del hidróxido observado en los productos superficiales de las probetas.

De la observación de las probetas, con el microscopio se notó que las probetas presentaban algunas picaduras. La aparición de estas picaduras haya su explicación en la presencia de iones de cloruro en la cámara (5% en peso), el ión cloruro muestra gran propensión a iniciar focos de corrosión localizada y produce con el tiempo profundas picaduras en el acero.

De acuerdo a los datos obtenidos en la prueba de ensayos se determinó que la velocidad de corrosión



ENSAYO EN CAMARA DE NIEBLA SALINA

DETERMINACION GRAVIMETRICA DE LA VELOCIDAD DE CORROSION

MATERIAL DE ENSAYO : PROBETA DE ACERO AL CARBONO

TIEMPO DE EXPOSICION : 24 HORAS

PROBETA	I	DIFERENC. DE PESO	II	DIFERENC. DE PESO	III	DIFERENC. DE PESO
TIEMPO (SEG)						
0	94.1489	0	96.2516	0	93.8264	0
20	93.5685	0.5804	95.6525	0.5991	93.2562	0.5702
40	93.5448	0.6041	95.6325	0.6191	93.2433	0.5812
60	93.5331	0.6179	95.6137	0.6379	93.2249	0.6015
80	93.5285	0.6204	95.5977	0.6539	93.2128	0.6136
100	93.5224	0.6265	95.5875	0.6641	93.2107	0.6157

TABLA 6.1 a

0 ENSAYO EN CAMARA DE NIEBLA SALINA

DETERMINACION GRAVIMETRICA DE LA VELOCIDAD DE CORROSION

MATERIAL DE ENSAYO : PROBETA DE ACERO AL CARBONO

TIEMPO DE EXPOSICION : 48 HORAS

PROBETA TIEMPO (SEG)	IV	DIFERENC. DE PESO	V	DIFERENC. DE PESO	VI	DIFERENC. DE PESO
0	95.9589	0	89.1025	0	89.1	0
10	95.1492	0.8097	86.3226	0.7799	87.3619	0.7391
20	95.0922	0.8667	83.2505	0.852	87.322	0.773
30	95.0427	0.9162	83.221	0.8215	87.2971	0.8129
40	95.0152	0.9427	83.207	0.8955	87.2771	0.8229
50	94.989	0.9699	83.1974	0.9051	87.2745	0.8255
60	94.9682	0.9907	83.1811	0.9214	87.2673	0.8322

TABLA 6.1.b

9 ENSAYO EN CÁMERA DE HUELA SALINA

DETERMINACION GRAVIMETRICA DE LA VELOCIDAD DE CORROSION

MATERIAL DE ENSAYO : PROBEA DE ACERO AL CARBONO  
 TIEMPO DE EXPOSICION : 72 HORAS

PROBEA	VI	DIFERENC. DE PESO	VII	DIFERENC. DE PESO	VIII	DIFERENC. DE PESO	IX	DIFERENC. DE PESO
0	62.3588	0	97.8779	0	97.2992	0	97.2992	0
10	87.6735	0.8855	95.8938	1.0691	96.3676	0.9316	96.3676	0.9316
20	97.5694	0.9854	96.8942	1.1787	96.2301	1.0671	96.2301	1.0671
30	97.6985	1.0743	96.6211	1.2518	96.1143	1.1849	96.1143	1.1849
40	97.4269	1.1378	96.5562	1.2067	96.0405	1.2595	96.0405	1.2595
50	97.7769	1.1619	96.5418	1.3311	96.0041	1.2951	96.0041	1.2951
60	97.3651	1.1937	96.5202	1.3447	95.9876	1.3116	95.9876	1.3116

FIG. 6.1. C

# ENSAYO EN CAMARA DE NIEBLA SALINA

DEL METODO DE DORRICHSON, 24 HORAS

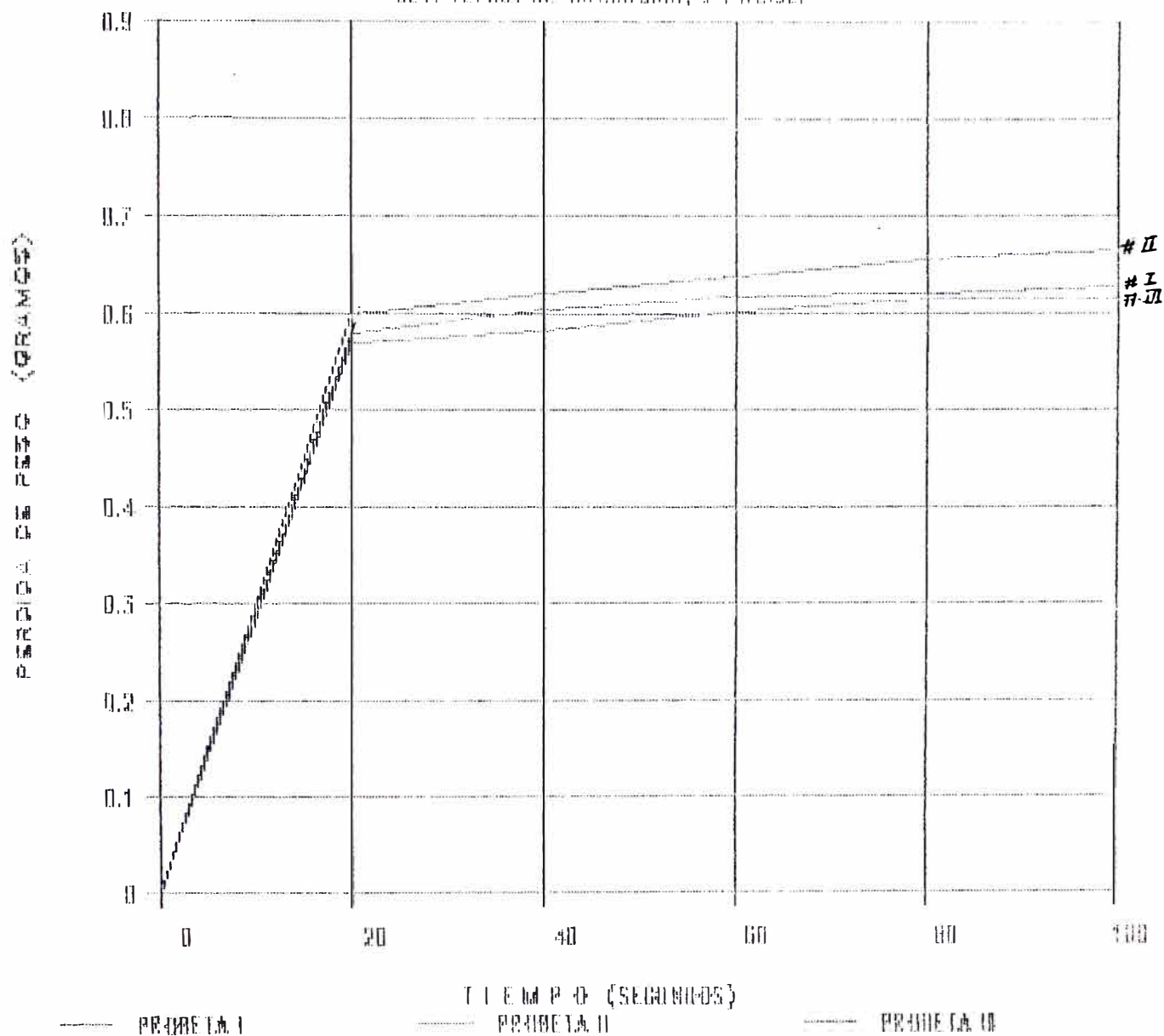


Figura 6.5 a

# ENSAYO EN CÁMARA DE NIEBLA SALINA

DEL VEHICULO DE DEFENSAS, 40 HORAS

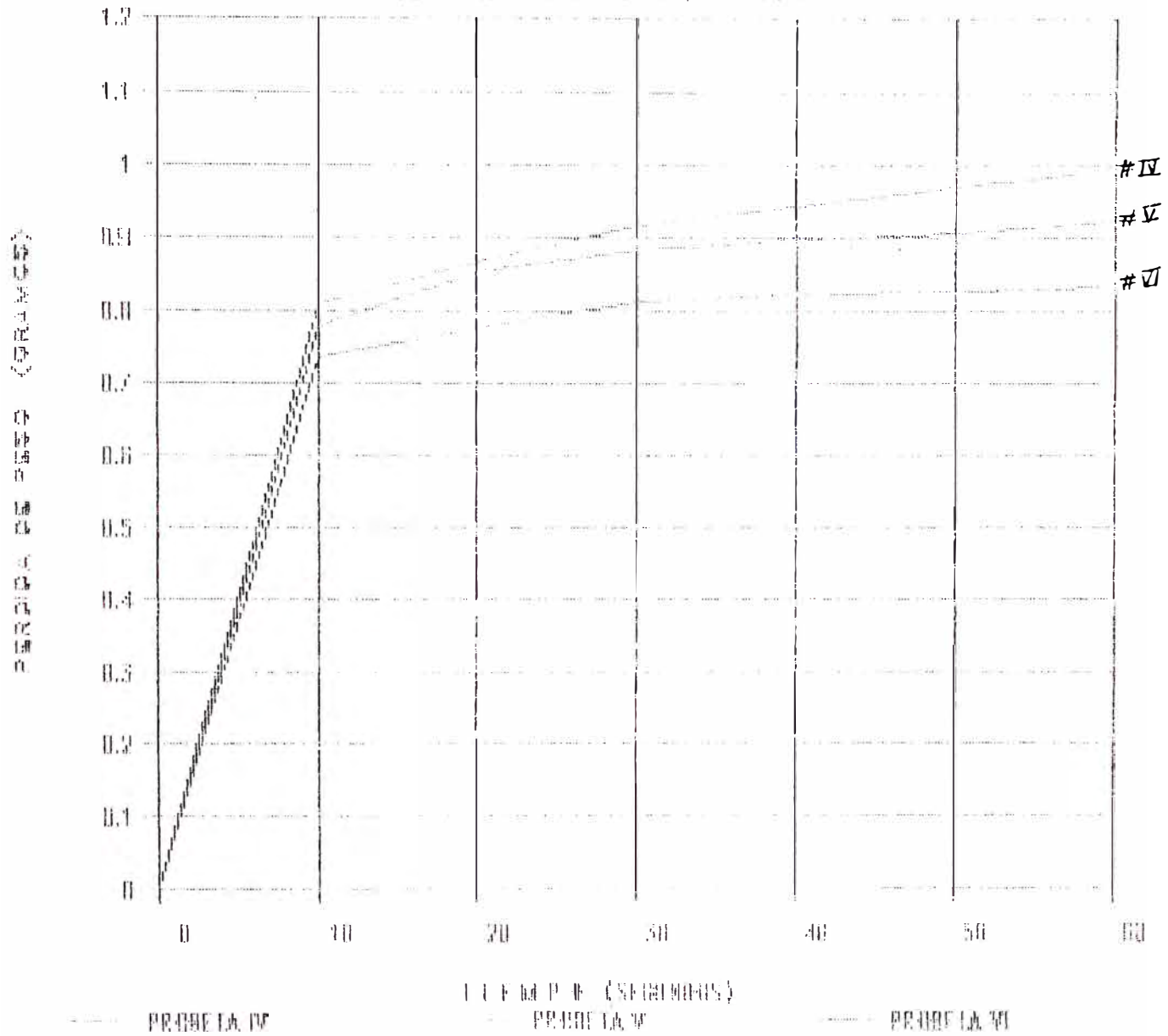


Figura 6.5 b

# ENSAYO EN CAMARA DE NIEBLA SALINA

DE 1. VETANO DE DIAMETRO, 7.2 NITROS

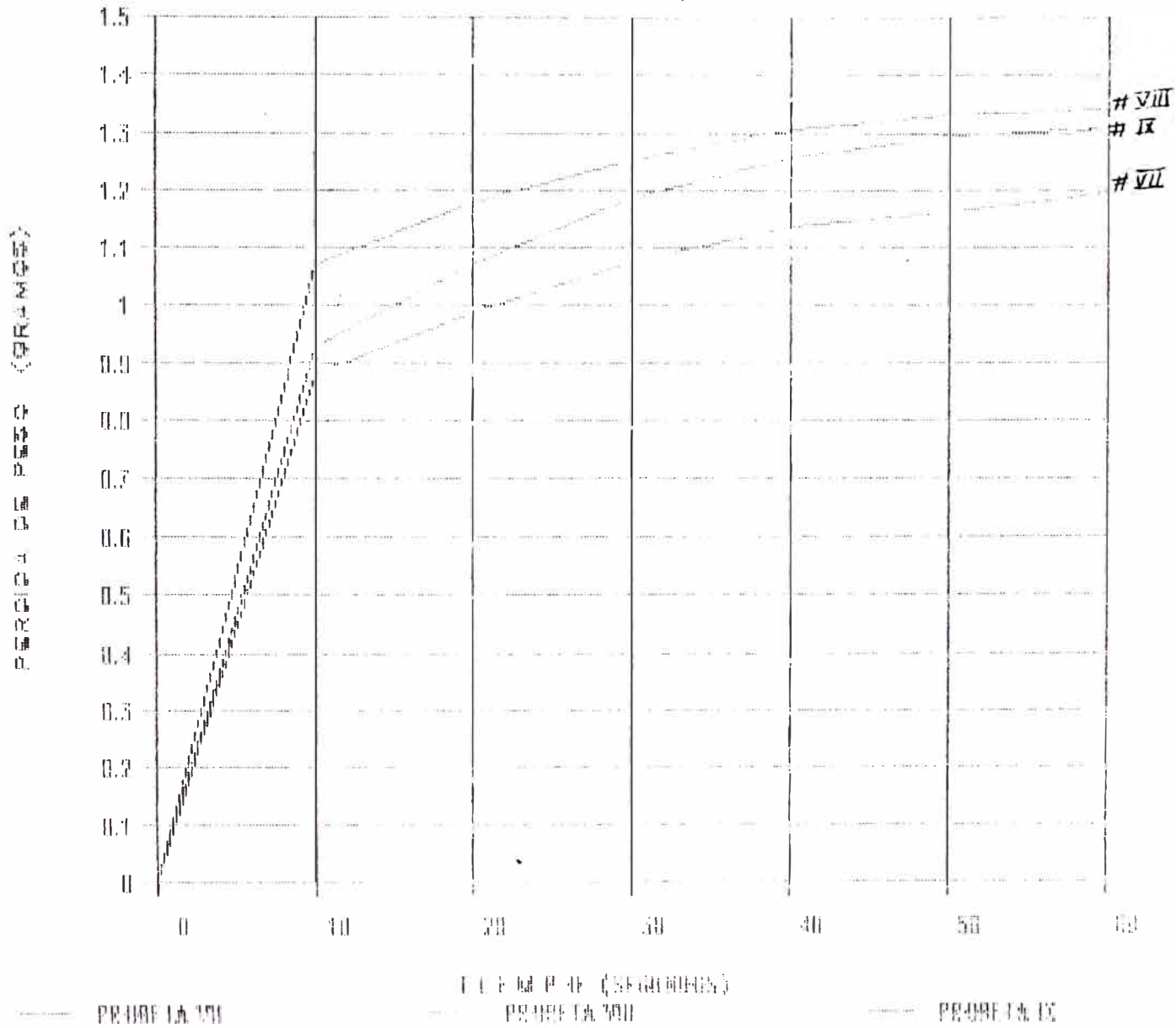


Figura 6.5 c

disminuye con el tiempo. Esto se debe a que se han formado óxidos e hidróxidos de hierro sobre la superficie del metal actuando como una barrera que impide la difusión de los elementos agresivos hacia el metal, haciendo que la velocidad de corrosión sea cada vez más lenta.

#### 6.2.0. ENSAYOS EN LA CAMARA DE NIEBLA SALINA CON PROBETAS CON RECUBRIMIENTOS (1,3.4. APENDICE 4)

##### 6.2.1. PREPARACION DE MUESTRAS

La norma ASTM - B117 - 64, no sugiere un determinado tipo de preparación pudiéndose hacer de acuerdo a la práctica comercial o de acuerdo al método ASTM D 609, (apéndice V ), donde se describe 3 métodos de preparación de probetas.

##### 6.2.2. MATERIAL DE PRUEBA DE ENSAYO

- a) .-Acero al carbono (ver página 105 )
- b) .-Los recubrimientos y su mecanismo de protección.

De los ensayos utilizados para determinar la resistencia a la corrosión de un recubrimiento, el más conocido y uno de los más controlables es el conocido como ensayo de la niebla salina, que es una prueba a corto plazo.

El tiempo transcurrido desde que se introduce la pieza hasta que comienza el ataque de la corrosión nos da una medida de la capacidad de resistencia del recubrimiento al ataque de la niebla salina a una determinada temperatura.

Como probetas se utilizan acero dulce de 10 x 30 cm. o bien de 7 por 15 cm. cuya superficie se prepara dejándola completamente libre de óxido y perfectamente desengrasada, esto cuando se trata de ensayar el comportamiento y/o la comparación de recubrimientos metálicos de determinados sistemas de recubrimientos. Cuando se trata de ensayos de control de calidad de artículos fabricados, la propia muestra será el objeto del ensayo, sin esa preparación previa puesto que ya el artículo tiene el recubrimiento.

Se ha propuesto como solución de ensayo una solución de 0.05 N de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> conteniendo además 24 grs. por litro de NaCl.

Para recubrimientos orgánicos antes de la iniciación del ensayo, las probetas pintadas deberán aclimatarse en condiciones standard de humedad y temperatura. En los recubrimientos normales de secado al aire el tiempo de aclimatación es de 7 días a  $20 \pm 5$  °C de temperatura y a  $60 \pm 5\%$  de humedad relativa. En los casos de secado a estufa se requieren 24 horas en las mismas condiciones de humedad y temperatura mencionadas



anteriormente, después del secado a estufa.

Si se desea determinar el progreso de la corrosión en un lugar desprovisto de recubrimiento orgánico se hará una incisión en dicho recubrimiento que abarque toda la longitud de la probeta y penetre hasta la superficie del metal.

Salvo indicación contraria, la cara posterior de la probeta, los bordes de la misma y todas aquellas zonas que contengan marcas de identificación deberán protegerse con un recubrimiento inalterable a los efectos de niebla salina, con tal fin se puede utilizar la cera de parafina.

La posición de las probetas, temperatura, cantidad de niebla y otros parámetros, son los mismos que los tratados en capítulos anteriores.

El objetivo principal de una prueba acelerada es causar una degradación del recubrimiento o falla en un período de tiempo más corto que bajo las condiciones naturales.

Existen diferentes equipos y métodos para llevar a cabo la degradación acelerada de recubrimiento. La prueba de spray salino, extensamente usado para la evaluación del comportamiento de recubrimiento y metales frente a la corrosión, fué originalmente diseñada para simular el efecto del aire marino sobre muestras de metales. Fue pronto descubierto que este medio salino artificial

también producía un deterioro acelerado de los metales recubiertos.

Existen variaciones en la prueba de spray salino, pudiéndose utilizar una solución de ácido acético. Se puede utilizar una solución con 3.25% de  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  y 0.25% NaCl, siendo la que más cercanamente corresponde a un medio industrial, pues se llegó a encontrar una de 14 años que con un 3.5% de solución de NaCl.

#### - MECANISMOS DE PROTECCION.

Para llevar a cabo la prueba acelerada, es necesario aplicar el recubrimiento a un metal. El espesor de la película, tipo de sustrato y los métodos de preparación y aplicación aunque crítica para los resultados no son parte de la prueba en sí.

El efecto inicial del spray salino es la deposición de una solución de sal sobre la superficie del recubrimiento. Hay tres mecanismos de protección de corrosión. Estos son:

El recubrimiento actuando como barrera, el recubrimiento como inhibidor y el recubrimiento de sacrificio.

#### - RECUBRIMIENTO COMO BARRERA.-

Este tipo de recubrimiento provee una barrera contra la penetración del agua y del oxígeno, a través del recubrimiento, los cuales deben estar presente en el

metal para que la corrosión ocurra.

El recubrimiento puede ser presentado como un dieléctrico que provee una alta resistencia eléctrica entre las superficies del electrolito (solución de sal) y la del metal conductivo. el grado de resistencia es determinado por la capacidad de recubrimiento para prevenir la transferencia de iones.

El recubrimiento fallará cuando se forme un ampollado bajo condiciones ambientales. En las pruebas de spray salino este mecanismo no será observado debido a la alta concentración de cloruro sobre la superficie, las fuerzas osmóticas son neutralizadas. Esta falta de observación del ampollado es una seria desventaja de esta prueba. Podría decirse que los resultados del spray salino no correlacionan a una exposición natural en sistemas en los cuales el ampollado osmótico es prevaleciente (alta humedad y baja concentración de sal).

Otro factor que afecta la permeabilidad de una película dada es la temperatura. Un incremento de temperatura favorece la movilidad de los polímeros pero podría darse el caso que el incremento de temperatura en ciertos tipos de recubrimientos podría formar una más ancha y más resistente estructura debido a la lixiviación de los plastificados.

## - RECUBRIMIENTO COMO INHIBIDOR

La acción de pigmentos inhibidores de los recubrimientos sobre el proceso de corrosión puede realizarse de modo directo o indirecto.

La acción directa corresponde a los inhibidores llamados solubles (cromato de zinc) que promueve el mantenimiento de una película superficial protectora de óxido sobre el metal. La acción indirecta la efectúa los inhibidores llamados básicos vía la formación de compuestos insolubles por su reacción con los productos o subproductos del vehículo.

En cualquiera de estos dos casos la acción del recubrimiento inhibidor es conseguir la polarización, una vez que el electrolito se ha difundido a través del recubrimiento.

La capacidad de un recubrimiento para resistir el ataque de cloruros depende de la naturaleza del pigmento inhibidor y las concentraciones relativas. Los cloruros son fácilmente absorbidos sobre el metal (superficie) y compiten con los pigmentos pasivantes tales como cromatos, de tal modo que previenen la pasivación. A altas concentraciones de cloruros, los cromatos podrían perder su efectividad completamente, debido a la incapacidad de proveer una concentración de inhibidor suficientemente alta. Conforme la temperatura se incrementa mayor es la cantidad de pigmento

requerido para prevenir la despasivación.

Los pigmentos inhibidores de alto pH se creen que reaccionan con la capa interior del recubrimiento para formar jabones ligeramente solubles. En presencia de oxígeno y agua, los jabones se oxidan para producir productos inhibidores de degradación solubles. Es probable que la presencia de altas concentraciones de cloruros interfieran también con sus mecanismos de inhibición.

Así, la normalmente alta concentración de cloruros en spray salino podrían grandemente decrecer la efectividad de los pigmentos inhibidores comparados a su acción en un medio intensivo de menos cloruro.

El spray salino, es por lo tanto, una prueba no muy confiable para un pigmento inhibidor.

#### RECUBRIMIENTO DE SACRIFICIO.

Los principales miembros de este grupo, los imprimantes ricos en zinc, contienen una muy alta carga de partícula de zinc para mantener una película conductiva. La presencia de zinc en contactos eléctricos como hierro, previenen efectivamente la formación de áreas anódicas en el hierro. El zinc funciona así el ánodo y el hierro el cátodo. En la presencia de una solución electrolítica el zinc se

corroe. con lo cual, protege al hierro.

Las características protectoras del recubrimiento, ricos en zinc no dependen solamente o primariamente del consumo de zinc. Sea el recubrimiento rico en zinc en el que existe matriz de silicato inorgánico conteniendo una alta carga de polvo de zinc. Los procesos de corrosión de zinc producen óxido de zinc, hidróxidos, carbonatos y otras sales, los cuales llenan la matriz porosa áltamente y crean una barrera para un ingreso posterior de oxígeno y mezcla. Esto limita grandemente la corrosión de zinc dentro de la película.

El valor y tipo de producto de corrosión dependen de varios factores, incluyendo el tipo de medio de exposición. Ha sido supuesto que la prueba de spray salino es apropiada para un recubrimiento de zinc porque el valor de reacción de zinc es demasiado alto y una barrera de protección no podría ser formada tan fácilmente.

Se ha mostrado por rayos X (difracción) que en algunas instancias, los productos de corrosión en spray salino son significativamente diferentes de los formados bajo una exposición a la atmósfera. De otro lado, el imprimante rico en zinc es muy efectivo en películas protectoras que presentan rajaduras o discontinuidad.

### 6.3.0. ENSAYOS CON RECUBRIMIENTOS EN LA CAMARA DE NIEBLA SALINA

Usando el Sistema Convencional y Epóxico.

Para realizar estos ensayos se utilizaron probetas de acero al Carbono de 17x7 cm., con un espesor de 3.8 mm. Las probetas tuvieron como preparación de la superficie el arenado blanco.

Se utilizaron dos sistemas de pintado:

Sistema convencional y sistema epóxico. Las pinturas fueron proporcionadas por TEKNO.

#### SISTEMA CONVENCIONAL

CAPA # 1 : Se utilizó anticorrosivo AZARCON F-116 el espesor recomendado es 1.5 mils por capa.

El repintado se debe hacer a las 24 horas.

CAPA # 2 : Se siguió el proceso anterior.

CAPA # 3 : Se usó el esmalte sintético TT-E-489 color marfil, debe tener un espesor de 1.5mils por capa, el repintado debe realizarse como mínimo a las 6 horas y como máximo a las 48 horas.

CAPA # 4 : Igual que la capa # 3

## E S P E S O R E S   R E C O M E N D A D O S

Z O N A		MAXIMO ESPESOR
1	presenta 1 sola capa	1.5 mils.
2	presenta 2 capas	3.0 mils.
3	presenta 3 capas	4.5 mils.
4	presenta 4 capas	6.0 mils.

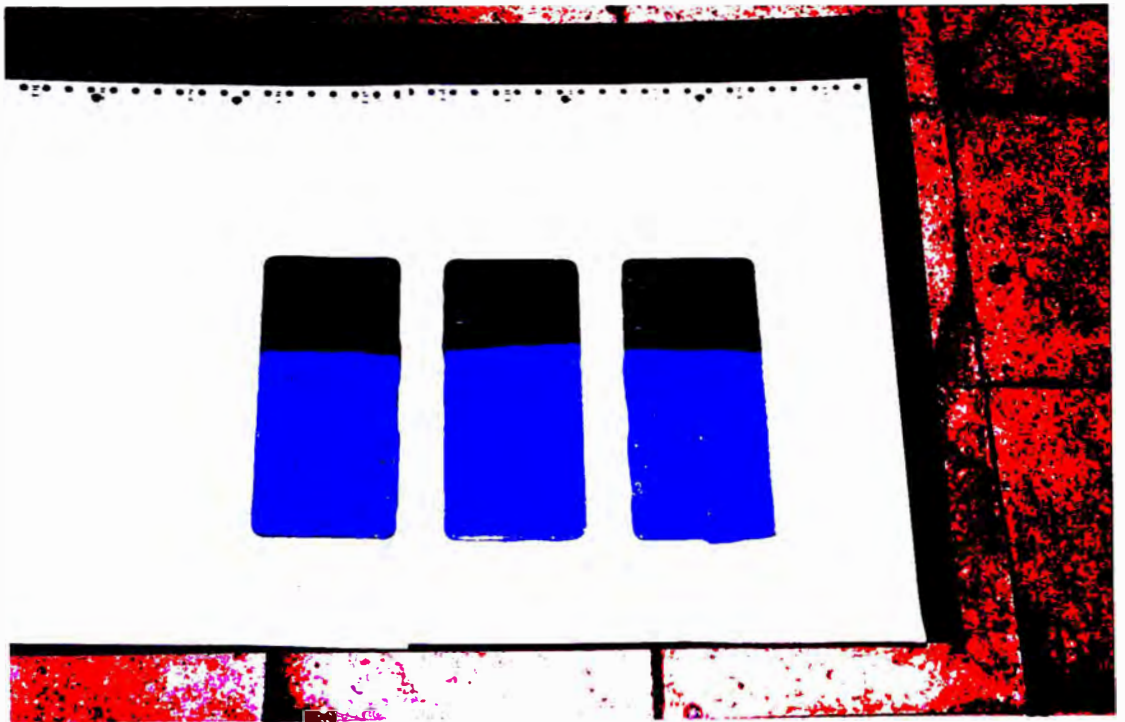
Para nuestro ensayo se siguieron las instrucciones, solamente en los espesores requeridos, hubieron ciertas variaciones debido a una mayor falta de práctica. Al cabo de los 7 días se midieron los espesores, se tomaron 3 medidas por cada zona de la probeta y se tomó un promedio. Fig. 6.6

## E S P E S O R E S

(mils.)

ZONA	1	2	3	4
PROBETA 1	2.0	3.5	5.5	6.5
PROBETA 2	1.8	3.4	5.8	7.0
PROBETA 3	2.2	4.0	5.0	6.8





Probeta recubierta según el sistema convencional para exposición en la Cámara de Niebla Salina.

Figura 6.6

## SISTEMA EPOXICO

## CAPA # 1 (SOBRE EL ARENADO)

Se mezcla el coaltar epoxi C-200 color negro con el endurecedor epoxi en la relación de 4 a 1, se deja reposar la mezcla por 30 min.

Se pinta en forma cruzada, es decir, en forma horizontal y vertical, el espesor óptimo es 7-8 mils.

El repintado se debe realizar como máximo a las 48 hrs. y como mínimo a las 6 horas.

## CAPA # 2

Se utilizó el esmalte epoxi celeste, y el endurecedor epoxi en una mezcla 1 a 1, se dejó reposar por 30 min, se pintó en forma cruzada, el espesor apropiado es 1.5 a 2 mils.

El repintado se debe hacer como máximo dentro de las 36 a 48 horas y como mínimo luego de 12 horas. El repintado se realizó luego de 24 horas.

## CAPA # 3

Se realizó igual que la capa # 2

En nuestra prueba, tal como se ha indicado, se siguieron las instrucciones mencionadas. Solamente hubieron ciertas variaciones con respecto al espesor recomendado. Fig. 6.7



Probetas con recubrimiento según el sistema epóxico, antes de someterse al medio corrosivo de la Cámara de Niebla Salina.

Figura 6.7

## E S P E S O R E S

(mils.)

ZONA	1	2	3
PROBETA # 1	7.8	9.0	11.5
PROBETA # 2	8.1	10.6	11.2
PROBETA # 3	18.9	10.5	14.0

## E S P E S O R E S R E C O M E N D A D O S

ZONA		ESP. MAXIMA
1	presenta 1 capa	8 mils
2	presenta 2 capas	10 mils
3	presenta 3 capas	12 mils

6.3.1.REPORTE DE LA PRUEBA DE EXPOSICION DE PROBETAS  
CON RECUBRIMIENTOS

## DURACION DE LA PRUEBA

- Fecha de inicio 10.03.88  
- Fecha de Finalización 15.03.88

## TIPO DE MATERIAS

- Sal NaCl Q. P.  
Agua DESIONIZADA

## CARACTERISTICAS DE PROBETAS

Nº DE PROBETAS 6 probetas con recubrimiento:  
 3 con sistema convencional  
 3 con sistema epóxico

DIMENSIONES 17.5 X 7 cm

a) .-METODO DE PRETRATAMIENTO: Arenado Blanco

b) .-METODO DE RECUBRIMIENTO: Pintado manual mediante brocha

Se hicieron incisiones con un elemento punzante en el recubrimiento en forma de aspa que abarcó toda la probeta. Estas incisiones se hicieron hasta encontrar el metal base.

## LECTURA DE TEMPERATURAS

FECHA	HORA	TEMPERATURA (°C )
10.03.88	8.00 p.m.	33.4
	9.00 p.m.	32.1
	10.00 p.m.	34.9
	11.00 p.m.	33.5
11.03.88	12.00 p.m.	32.1
	1.00 a.m.	32.4
	2.00 a.m.	34.9
	3.00 a.m.	32.7
	4.00 a.m.	35.2
	5.00 a.m.	31.5
	6.00 a.m.	31.5
	7.00 a.m.	32.6
	8.00 a.m.	33
	9.00 a.m.	32
	10.00 a.m.	33.1
	11.00 a.m.	33.3
	12.00 m.	32.5
	1.00 p.m.	32
	2.00 p.m.	32.3
	3.00 p.m.	32.7

	4.00 p.m.	33.4	
	5.00 p.m.	32.2	
	6.00 p.m.	33.8	
	7.00 p.m.	33.0	
	8.00 p.m.	Se retiraron 3 probetas desnudas después de 24 horas	
	9.00 p.m.	32.4	
	10.00 p.m.	32.0	
	11.00 p.m.	34.5	
12.03.88	12.00 p.m.	35.5	
	1.00 a.m.	33	
	2.00 a.m.	33	
	3.00 a.m.	33	
	4.00 a.m.	33	
	5.00 a.m.	33	
	6.00 a.m.	33	
	7.00 a.m.	35	
	8.00 a.m.	33	
	9.00 a.m.	32.5	
	10.00 a.m.	32.1	
	11.00 a.m.	33	
	12.00 m.	33	
	1.00 p.m.	33.5	
	2.00 p.m.	32	
	3.00 p.m.	32	
	4.00 p.m.	32	
	5.00 p.m.	33	
	6.00 p.m.	32.5	
	7.00 p.m.	32.5	
	8.00 p.m.	32.0	Se retiraron 3 probetas desnudas a las 48 horas
	9.00 p.m.	32.5	
	10.00 p.m.	32.5	
	11.00 p.m.	32.5	
13 .03.88	12.00 p.m.	33	
	1.00 a.m.	32	
	2.00 a.m.	32.5	
	3.00 a.m.	32.5	
	4.00 a.m.	33.4	
	5.00 a.m.	32.5	
	6.00 a.m.	32.5	
	7.00 a.m.	33	
	8.00 a.m.	33	
	9.00 a.m.	32.5	
	10.00 a.m.	32.1	
	11.00 a.m.	33	
	12.00 m.	33	
	1.00 p.m.	32.5	
	2.00 p.m.	32	
	3.00 p.m.	32	
	4.00 p.m.	32	
	5.00 p.m.	33	
	6.00 p.m.	32.5	
	7.00 p.m.	32	

	8.00 p.m.	32	Se retiraron 3 probetas desnudas después de 72 horas
	9.00 p.m.	33	
	10.00 p.m.	32.5	
	11.00 p.m.	33	
14.03.88	12.00 p.m.	34.5	
	1.00 a.m.	33	
	2.00 a.m.	32.5	
	3.00 a.m.	33	
	4.00 a.m.	32	
	5.00 a.m.	33.5	
	6.00 a.m.	34.5	
	7.00 a.m.	32	
	8.00 a.m.	32	
	9.00 a.m.	32.5	
	10.00 a.m.	33	
	11.00 a.m.	33.5	
	12.00 a.m.	33	
	1.00 p.m.	32.5	
	2.00 p.m.	32	
	3.00 p.m.	30	
	4.00 p.m.	32.5	
	5.00 p.m.	33	
	6.00 p.m.	32	
	7.00 p.m.	32	
	8.00 p.m.	33,	96 horas de exposición
	9.00 p.m.	32.5	
	10.00 p.m.	33.5	
	11.00 p.m.	32.5	
15.03.88	12.00 p.m.	32.5	
	1.00 a.m.	32	
	2.00 a.m.	33	
	3.00 a.m.	32	
	4.00 a.m.	33	
	5.00 a.m.	32.5	
	6.00 a.m.	33	
	7.00 a.m.	32.5	
	8.00 a.m.	33	
	9.00 a.m.	33	
	10.00 a.m.	32.5	
	11.00 a.m.	33	
	12.00 m.	32.5	
	1.00 p.m.	32.5	
	2.00 p.m.	33	
	3.00 p.m.	33	
	4.00 p.m.	32.5	
	5.00 p.m.	32.5	
	6.00 p.m.	33	
	7.00 p.m.	33	
	8.00 p.m.	33	120 horas de exposición, se concluyó la prueba, se retiraron las 6 probetas.

## 1.- Datos obtenidos

## a. Volumen promedio de solución de sal colectados

Colector	Volúmen colectado (ml/h)
1	0.29
2	0.30
3	0.24

b. pH de la sal colectada : 7.15

c. Flujo de solución salina: 1440 ml/hr

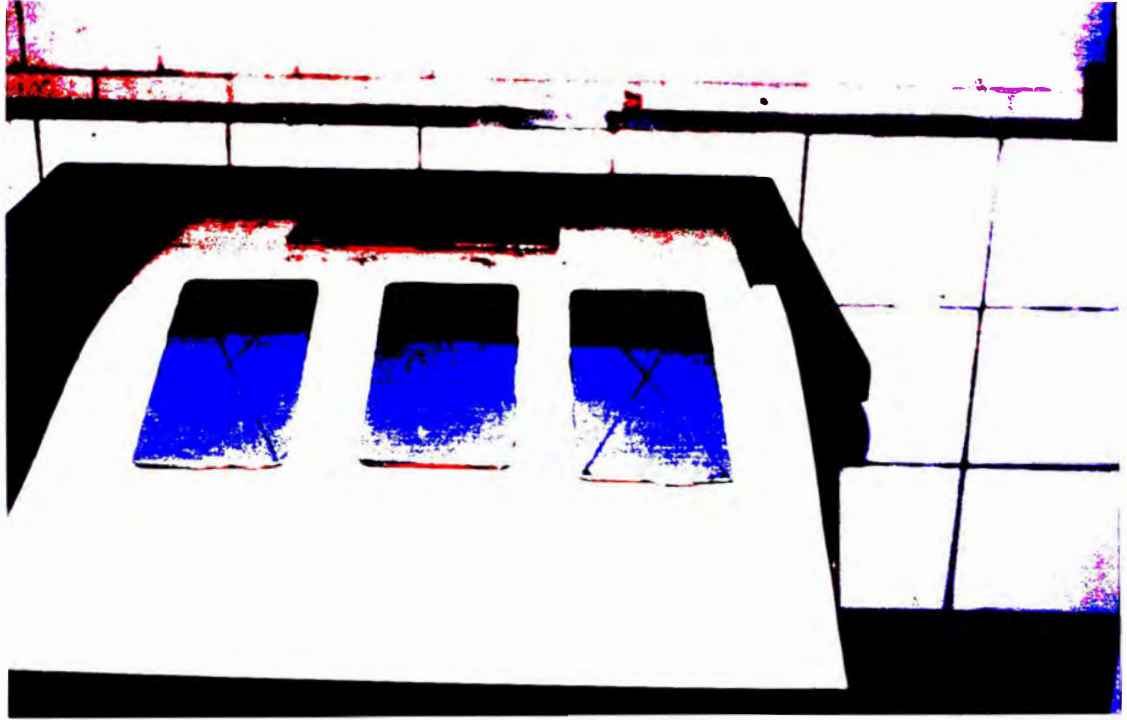
## INTERRUPCIONES

El sistema para mantener la temperatura a 35°C, requirió de un calentamiento con aire caliente saturado con vapor de agua de tres minutos por cada hora, interrumpiéndose durante esos tres minutos el pulverizado. Para el retiro de las probetas desnudas se interrumpió la prueba por cinco minutos. Las interrupciones totales fueron de 384 minutos.

## 6.3.2 CONCLUSIONES

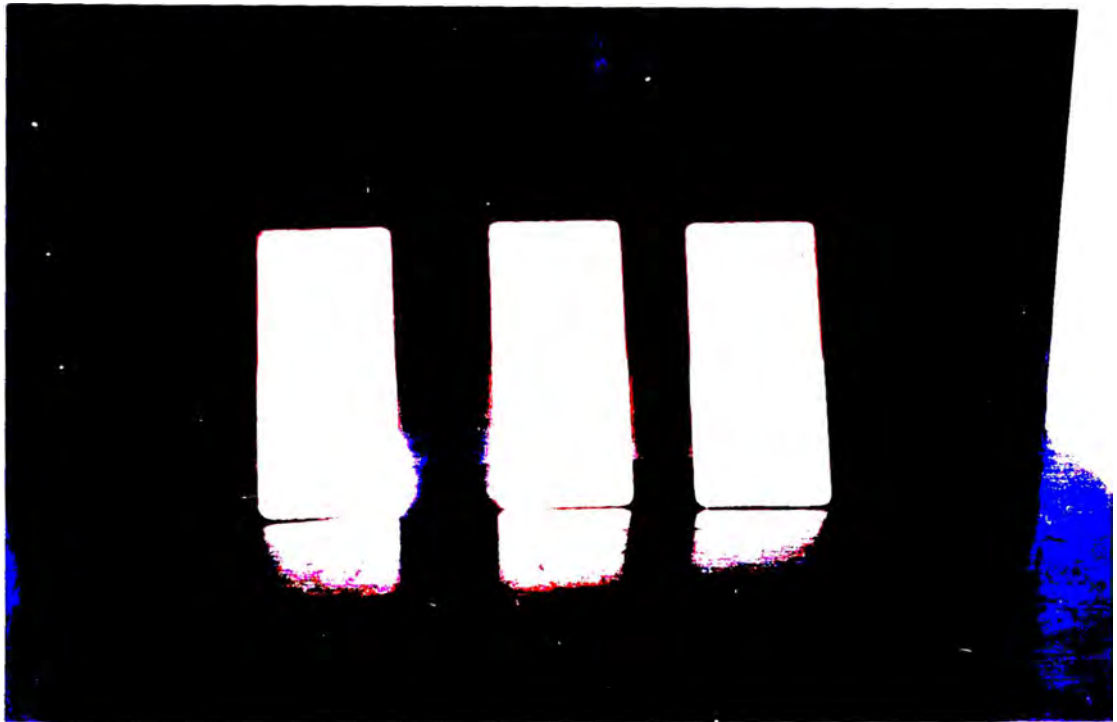
Luego de retirar las probetas se realizó una inspección ocular. En nuestras probetas no se ha podido observar una degradación del recubrimiento debido a que el tiempo de exposición fue muy corto para este tipo de ensayo.





Probetas con recubrimiento según el sistema convencional, después de una exposición de 120 horas en la Cámara de Niebla Salina.

Figura 6.8 a



Probetas con recubrimiento según el sistema epóxico, después de una exposición de 120 horas en la Cámara de Niebla Salina.

Figura. 6.8 b

## CAPITULO VII

### EVALUACION ECONOMICA

Se va dar una noción del costo de la Cámara de Niebla Salina que ha sido construida totalmente en la UNI.

#### COSTOS DIRECTOS

##### EQUIPOS:

En este rubro se ha considerado el costo de la cámara basado en los precios actuales (fines de Marzo de 1988) de los materiales a necesitarse y de la mano de obra.

- Planchas de PVC de 4 m x 0.75 m x 4 mm. de espesor.
- Plancha de Acrílico
- Lana de vidrio
- Soportes externos de platina
- Pegamentos
- Dispositivo de pulverización
- Mano de Obra

El costo del tanque de fibra de vidrio para la solución salina.

El costo del tanque de calentamiento del aire.

Compra de un compresor.

#### INSTALACION DEL EQUIPO

En este rubro consideramos el costo de los accesorios para la instalación del equipo, mano de obra, soportes etc.

## INSTRUMENTACION Y CONTROLES

Se necesitan rotámetros para gases y líquidos, filtros, control de temperatura, etc.

## CANERIAS Y TUBERIAS

Las tuberías a usarse son propias para resistir temperaturas de hasta  $\pm 80^{\circ}\text{C}$ , para evitar pérdidas de calor. Así mismo hemos incluido la mano de obra.

## INSTALACIONES ELECTRICAS

Hemos incluido los materiales necesarios para la instalación del servicio eléctrico, así mismo, el costo de la mano de obra se ha considerado.

Para cualquier otra necesidad que no se haya tomado en cuenta se ha considerado el rubro de eventuales.

Estos rubros se han resumido en el cuadro N<sup>o</sup> 1

Para costos indirectos hemos considerado Ingeniería y Su  
pervisión de la construcción de la Cámara de Niebla Sa  
lina.

## 7.2.-

CALCULO DE UN SERVICIO DE ENSAYO DE CORROSION ACELERADO  
EN LA CAMARA DE NIEBLA SALINA

Se ha realizado los cálculos necesarios para obtener el costo de un servicio de 24 horas en base a los requerimientos propios del ensayo: Cloruro de sodio, agua desionizada, electricidad, mano de obra del operario, etc.

Se encuentra en el cuadro Nº 2

## MANO DE OBRA

Considerando un personal que esté pendiente del funcionamiento de la máquina durante las 24 horas que dure el ensayo.

## INSUMO

3 Kg. de NaCl

660 Intis/Kg NaCl x 3 Kg NaCl = I/. 1,980.00

## ELECTRICIDAD

Considerando que la tarifa industrial menor es 0.8550 Intis / Kw-hr

0.8550  $\frac{\text{I/.}}{\text{Kw-Hora}}$  x 0.340 Kw x 24 horas = I/. 6.36

Agua desionizada : 100 lts.

5 Intis/lt x 100 lt = I/. 500.00

## DEPRECIACION

Para hallar la depreciación por día, se ha considerado que se va a dar 20 servicios durante el año de 24 horas, luego la depreciación por día será:

$$\frac{10,000 \text{ I/año}}{20 \text{ servicio de 24 horas /año}} =$$

$$= 500 \text{ Intis por servicio de 24 horas}$$

CUADRO N° 1

INVERSION TOTAL DE CAPITAL

INVERSION DE CAPITAL FIJO

Costos directos

Equipos	I/.	78,000.=
Instalaciones de equipo		2,500.=
Instrumentación y controles		22,000.=
Cañerías y tuberías		5,000.=
Instalaciones Eléctricas		4,000.=

<b>Costo directo total</b>	I/.	----- 111,500.=
----------------------------	-----	--------------------

Costos indirectos

Ing. y supervisión		15,000.=
<b>Costo indirecto total</b>	I/.	----- 15,000.=

<b>COSTO DIRECTO + COSTO INDERECTO</b>	I/.	126.500.=
----------------------------------------	-----	-----------

Eventuales		2,000.=
		-----

<b>INVERSI●N TOTAL DEL CAPITAL FIJO</b>	I/.	128,500.=
-----------------------------------------	-----	-----------

Capital de trabajo		3,000.=
		-----

<b>INVERSION TOTAL</b>	I/.	131,500.=
		=====

C U A D R O    N<sup>o</sup>    2

COSTO DE SERVICIO DE ENSAYO DE CORROSION ACELERADA

(24 HORAS)

COSTO DIRECTO	INTIS
Mano de Obra	450.=
Insumo	2,000.=
Potencia y serv. auxiliares	
- Electricidad	7.=
- Agua deionizada	500.=
Mantenimiento y reparaciones	30.=
Gastos de Laboratorio	30.=
 GASTOS FIJOS	
Depreciación	500.=
 GASTOS GENERALES	
Gastos varios	20.=
	-----
	Intis 3,537.=
	=====



### 7.3 CALCULO DE LA DEPRECIACION

Para el cálculo de la depreciación utilizamos el Método de la línea recta o lineal, mediante el cual se supone que el valor del bien decrece en forma lineal en función del tiempo.

$$d = \frac{V - V_s}{n}$$

d = depreciación anual en I/año

V = Valor inicial

V<sub>s</sub> = Valor de reventa, al finalizar su vida útil

n = Duración del período de vida útil, en años

Considerando :

V = I/. 128,500

V<sub>s</sub> = 28,500

n = 10 años

$$d = \frac{128,500 - 28,500}{10} = 10,000 \text{ Intis / año}$$

La tasa anual de depreciación de maquinaria y equipos es el 10% de capital aproximadamente.

## APENDICE N° 1

### METODO STANDARD DE PRUEBAS DE NIEBLA SALINA

#### ASTM-B117-64

#### 1. FINALIDAD

Este método establece las condiciones requeridas en el ensayo de pulverización con especificaciones determinadas, utilizando el equipo apropiado que se encuentra descrito en el apéndice I.

Este método no describe el tipo de muestra, o el tiempo de exposición a ser usado para un metal específico, ni la interpretación de los resultados obtenidos.

Se encontrará comentarios del uso de la prueba de niebla salina en el apéndice II

NOTA 1.- Este método no está limitado a

pulverizaciones de cloruro sódico en metales no ferrosos y aleaciones. El método FOG (PULVERIZACION SALINA) es aplicable también a pruebas de metales y también es usado para pruebas con recubrimientos orgánicos e inorgánicos, etc. especialmente donde tales pruebas son las bases para las especificaciones de productos o materiales.,

## 2. EQUIPO

2.1 El equipo requerido para los ensayos de pulverización salina consiste en una cámara de ensayo, un depósito de solución salina, un suministro conveniente (condiciones necesarias) de aire comprimido, una o más boquillas pulverizadoras, soporte para las muestras, un sistema para darle calor a la cámara y los controladores necesarios para condicionar debidamente a la cámara de pulverización salina. El tamaño y detalle de la construcción de la cámara son opcionales.

2.2. Las gotas de solución que se acumulan en el techo interno de la cámara salina no debe, ni esta permitido que caigan sobre las muestras durante las pruebas.

2.3. Las gotas de solución que caen de las muestras no deberían volver al depósito de solución salina para ser usada nuevamente.

2.4. El material usado en la construcción de la cámara debiera ser, tal que no afecte la corrosividad de la niebla salina.

### 3. MUESTRAS

El tipo y número de muestras a ser usadas, como, el criterio para la evaluación de los resultados debe estar definido en las especificaciones del metal o debe ser mutuamente acordado por el comprador y vendedor.

### 4. PREPARACION DE LA MUESTRA

4.1. Las muestras de metales y muestras con recubrimiento, deben ser convenientemente limpiadas. El método del limpiado debe ser de acuerdo a la naturaleza del metal y como se halle la superficie y si existe contaminación, pero no se puede usar abrasivos tales como el óxido de magnesio, ni otros solventes que sean corrosivos o forman películas protectoras.

El uso de una solución de ácido nítrico para la limpieza de muestras de acero inoxidable es permitible.

Se debe tener cuidado al tomar las muestras después de que han sido limpiados, para evitar la contaminación.

4.2. Los artículos o probetas metálicas seleccionadas, para revestirlos con pinturas u otros revestimientos orgánicos conocidos deben ser limpiados y preparados de acuerdo a la práctica comercial o por algún otro método conocido, o debe prepararse la probeta para recubrimiento de acuerdo al método de ASTM Designation D 609.

4.3. Las muestras recubiertas con pintura o con recubrimientos no metálicos, no deberán ser limpiadas o tocadas excesivamente antes de la prueba.

4.4. Cuando se desea determinar el desarrollo de la corrosión en un área abierta en la pintura, recubrimiento orgánico, hacer un raspado de líneas que debe ser solamente en la capa de pintura o recubrimientos inorgánicos con un instrumento filudo antes de la prueba. Las condiciones del raspado debe ser de acuerdo entre el comprador y vendedor.

4.5. Si no hay otra manera especificada el borde de las placas, o el duplicado de las muestras y el área que contiene la marca de identificación o el área en contacto con el estante (cámara) o el soporte

debe estar protegido con un recubrimiento apropiado (Wax Ceresin).

NOTA 2.- Es deseable cortar los especímenes de prueba de láminas o partes de láminas de aceros que ya han sido recubiertas (plateadas, pintadas o aplicadas con otros recubrimientos). Los bordes de los cortes deberán ser protegidos con pintura, cera, cintas u otros medios efectivos, de modo que se prevenga el desarrollo de efectos galvánicos entre tales bordes y el recubrimiento adyacente.

## 5. POSICION DE LAS MUESTRAS

5.1. La posición de las muestras en la cámara de niebla salina durante la prueba debe ser, en las condiciones que describimos:

5.1.1. Si no hay otra manera especificada la muestra debe ser soportada o suspendida entre 15 y 30° de la vertical y preferentemente paralela a la principal dirección del flujo horizontal de la pulverización salina a través de la cámara, basado sobre la superficie principal que se está probando.

5.1.2. Las muestras no deben estar en contacto entre ellas, ni con otro material que actíven o eviten el proceso de corrosión.

5.1.3. Cada muestra debe estar en un lugar libre y establecido en la cámara de nieba salina.

5.1.4. La solución salina que se deposita sobre una muestra no debe gotear sobre otra.

NOTA 3.- Materiales convenientes para la construcción o recubrimientos de las bases y los soportes son el vidrio caucho, plástico o madera recubierta, varas de metal no deben ser usados. Las muestras deben ser preferentemente soportada desde la parte de abajo o de los lados, ranuras de madera son adecuados para el soporte de los paneles.

Si es necesario un soporte secundario a la parte inferior de la muestra puede usarse ganchos de vidrio o alambres encerados a lo largo de la posición específica de la muestra.

## 6. SOLUCION SALINA.

La solución salina debe estar preparada por disolución en  $5 \pm 1$  partes en peso de sal en 95 partes de agua destilada, o agua conteniendo no más de 200 ppm. de sólidos totales. La sal usada debe ser sustancialmente cloruro de Na, libre de Niquel, Cobre y componentes secos, no más 0.1% de Ioduro de Sodio y no más de 0.3% de impurezas totales.

El pH de la solución salina debe ser tal que al ser atomizada a 35 ° F y ser recolectada, su rango se encuentra entre 6.5 a 7.2.

Antes de que la solución sea atomizada debe estar libre de sólidos

La medida del pH debe ser hecho electrométicamente a 25°C (77° F), usando un electrodo de vidrio con un puente saturado de cloruro de potasio o coloriméticamente, utilizando azul bromotimol como indicador (nota 6).

NOTA 4. La temperatura afecta el pH de la solución salina preparada con agua saturada con dióxido de carbono. el pH puede ser regulada a la temperatura del cuarto por los 3 siguientes métodos:

1. Cuando el pH. de la solución salina es regulada a la temperatura del cuarto y atomizada a 95° F, el pH de la solución colectada será mayor que el de la solución original, debido a la pérdida de dióxido de carbono a temperatura mayores.

Cuando el pH de la solución salina es regulada a la temperatura del cuarto, es necesario que sea menor que 6.5, así cuando que la solución recolectada después de



boquillas para la atomización de la solución salina debe estar libre de aceite y polvo y debe ser mantenido entre 10 y 25 PSI (69 a 172 KN/M<sup>2</sup>).

NOTA 7.- El aire comprimido debe ser libre de aceite y suciedad para lo cual se pasa a través de no menos de 610mm (2 ft. ) de un material convenientemente limpio como asbesto, lana, o alúmina activada.

NOTA 8.- Las boquillas atomizadoras tienen una presión crítica, a la cual un incremento anormal en la niebla ocurre si la presión crítica de las boquillas atomizadoras no están establecidas con certeza, mediante la instalación de reguladores de presión (VALVULA), se puede controlar la fluctuación de la presión del aire en 0.1 KN/M<sup>2</sup>. Con esto se minimiza la posibilidad de que las boquillas operen con la presión crítica.

## 8. CONDICIONES EN LA CAMARA DE PULVERIZACION SALINA.

### 8.1 TEMPERATURA

La zona de exposición de la cámara de pulverización salina debe estar mantenida en  $95 \pm 3^{\circ}$  F. La temperatura dentro de la zona de exposición del gabinete cerrado debe ser controlada por lo menos 2

la atomización a 35°C, obtendremos un pH entre el rango de 6.5 a 7.2, por este proceso. el pH de la solución recolectada se encontrará dentro de este rango.

2. Calentando la solución salina hasta que hierva y luego enfriándola a 95°F o manteniéndola a 95°F por aproximadamente 48 horas antes de regular el pH, produce una solución con un pH que materialmente no cambiará cuando es atomizada a 35° C.

3. Calentando, el agua con la cual se preparará la solución salina a 35°C ó más, para expeler el dióxido de carbono y regular el pH de la solución salina dentro del límite de 6.5 a 7.2, produce una solución cuyo pH no cambia materialmente cuando es atomizada a 35°C.

NOTA 5.- La solución salina recién preparada debe ser filtrada o decantada antes de ser vaciada al tanque o al final de la línea de solución salina al pulverizador, debe colocarse un filtro lo cual previene la obstrucción de la boquilla.

NOTA 6.- El pH puede ser regulada por la adición de ácido clorhídrico diluído o solución de hidróxido de sodio.

## 7. SUMINISTRO DE AIRE

7.1. El compresor del suministro de aire a las

veces al día, (excepto en sábados, domingos y fiestas) cuando la prueba de niebla salina no ha sido interrumpida para chequear, mover las probetas, abastecer la solución salina en el depósito.

NOTA 9.- Un método apropiado para controlar la temperatura es por un control continuo o por un termómetro el cual puede ser leído desde fuera del gabinete cerrado, las lecturas de las temperaturas deber ser obtenidas con la cámara de niebla salina cerrada, para evitar lecturas falsas, porque el bulbo húmedo es afectado cuando la cámara es abierta.

## 8.2. ATOMIZACION Y CANTIDAD DE NIEBLA.

Por lo menos 2 colectores deben estar situados en tal forma dentro de la zona de exposición tal que no gotee la solución salina directamente de las muestras u de otra fuente. Los colectores deben estar localizadas en la proximidad de la muestras, una cerca de alguna boquilla y otra lejos de la boquilla.

El pulverizado de solución salina debe ser tal que por cada 80 cm<sup>2</sup>. de dimensión horizontal debe recolectarse en cada colector 1.0 a 2.0 ml. de solución por hora como valor medio, basada en la acumulación de la cantidad nebulizada que se

acumula en el recolector durante 16 horas.

La concentración del cloruro de sodio colectado debe ser  $5 \pm 1$  por ciento en peso. el pH debe ser 6.5 a 7.2, este debe ser medido electrométicamente o coloriméticamente usando azul de bromotimol como indicador.

NOTA 10.- Un dispositivo conveniente para colectar son los embudos con la parte inferior insertada a través de corchos dentro de una probeta graduada o platos cristalizadores. los embudos deben tener un diámetro de 10 cm. y un área de 80 cm<sup>2</sup>.

NOTA 11.- La solución tendrá una gravedad específica de 1.0255 a 1.0400 a 25°C. con lo cual se conocerá la concentración.

La concentración puede ser determinada en la siguiente forma:

Diluir 5 ml. de la solución colectada a 100 ml. con agua destilada y agitar debidamente y pipetear 10 ml. y evaporarla, añadirle 40 ml. de agua destilada y 1 ml. de cromato de potasio al 1% (libre de cloruro) y titular con una solución de 0.1 N de Nitrato de Plata hasta la primera aparición de una coloración roja permanente. Se requiere de 3.4 a 5.5 ml. de solución

de 0.1 N de nitrato de Ag. para encontrar la concentración requerida.

## 9. CONTINUIDAD DE LA PRUEBA

9.1 Si no hay otra aclaración en las especificaciones sobre el material o el producto que está siendo probado, la prueba debe ser continuada enteramente durante el período de prueba. La operación continua implica que la cámara debe estar cerrada y la operación de atomización debe continuar excepto con pequeñas y necesarias interrupciones para inspeccionar o remover las muestras, chequear y reponer el gasto de la solución salina en el depósito. Debe tratarse que estas interrupciones sean mínimas.

## 10. PERIODO DE LA PRUEBA

10.1 El tiempo de la prueba debe ser establecido por las especificaciones sobre el material o productos que están siendo probados, o lo que ha sido acordado entre el comprador y vendedor.

NOTA 12.- Los períodos exposición recomendados son 16, 24, 48, 96, 200, 240, 500 ó 720 horas.

## 11. LIMPIEZA DE LAS MUESTRAS ENSAYADAS

11.1. Las muestras deben ser tratadas de la forma siguiente al finalizar la prueba, si no existe otra especificación sobre el material o producto a probarse.

11.1.1 Las muestras deben ser sacadas cuidadosamente

11.2.1. Las muestras pueden ser lavadas o sumergidos en una corriente de agua limpia con una temperatura no mayor que 100° F (38° C) para remover los depósitos de sal de su superficie y deben ser secados rápidamente, si es necesario, los productos de corrosión pueden ser removidos con una ligera cepillada, hasta que no se observe ninguna corrosión entre las capas del sustrato del metal.

## 12. EVALUACION DE RESULTADOS

12.1 Una cuidadosa é inmediata examinación debe hacerse a las muestras ensayadas ya secas y libre de productos de corrosión, en otros casos será de acuerdo a los requerimientos por las especificaciones del material o por el acuerdo entre el comprador y el vendedor.

## 13. REPORTE

13.1. La siguiente información debe ser obtenida si no existe otras prescripciones en las especificaciones sobre el material o producto ensayado.

13.1.1. Tipo de sal y agua utilizada en la preparación de la solución salina.

13.1.2. Todas las lecturas de la temperaturas , dentro de la zona de exposición de la cámara.

13.1.3. Datos diarios obtenidos de cada uno de los colectores:

a). volumen de la solución salina colectada en ml. por hora por 80 centímetros cuadrados.

b). concentración o gravedad específica a 95° F de solución colectada.

c). pH de la solución salina.

13.4. Tipo y número de las muestras, sus dimensiones o descripciones.

13.5. Método de limpieza de las muestras antes y después de la prueba.

13.6. Método y soporte o suspensión de la muestra en la cámara de niebla salina.

13.7. Descripción de la protección usada en el requerimiento 4.5.

13.8. Tiempo de exposición.

13.9. Interrupciones totales de las pruebas.

13.10. Resultado de todas las inspecciones realizadas.

NOTA 13.- Si algo del pulverizado de NaCl, que no hizo contacto con muestra alguna retorna al depósito de solución salina, es recomendable hallar la concentración o gravedad específica de la solución.

## APENDICE I

### A.1.1. GABINETE

A.1.1.1. a). El gabinete de la cámara de niebla salina standard debe disponer de diversos suministros, pero es pertinente tener ciertos accesorios antes que ésta funcione, de acuerdo a este método y que esté provista de controles necesarios para poder duplicar resultados.

A.1.1.2. El gabinete de sal spray consiste en una cámara, una torre de aire saturado, un depósito de solución salina, boquillas atomizadoras, soportes para las muestras, un sistema para proporcionar calor a cámara y los controles necesarios o deseada.



A.1.1.3. Los accesorios deben ser los más apropiados o pertinentes tales como el deflector de la torre de pulverización, el control automático del nivel para el reservorio de la solución salina, un control para el aire saturado.

A.1.1.4. El gabinete debe ser del tamaño suficiente para llevar a cabo las pruebas adecuadamente; en cámaras pequeñas hay dificultades de realizar los controles, se debe evitar que la capacidad sea menor de 15ft<sup>3</sup> (0.43m<sup>3</sup>).

A.1.1.5 La Cámara puede ser hecha de materiales inertes tales como plásticos, vidrios o cerámica pero preferentemente es construido de metal y revestido con plástico consistente o algún otro material equivalente.

#### A.1.2 EL CONTROL DE TEMPERATURA

A.1.2.1. El mantenimiento de la temperatura dentro de la cámara salina puede ser controlado por diferentes métodos. Es generalmente deseable un control de temperatura en los alrededores de la cámara y tratar que sea lo más estable posible.

Esto puede ser realizado colocando la cámara en un

cuarto a temperatura constante pero también puede ser conseguido por un enchaquetamiento de la cámara conteniendo agua o aire a una temperatura controlada.

A.1.2.2 El uso de calentadores sumergidos internamente en un reservorio de solución salina o de calentadores dentro de la cámara es perjudicial porque las pérdidas de calor son apreciables debido a la evaporación de la solución y al calor radiante que incide sobre los especímenes.

A.1.2.3 Todas las tuberías que están en contacto con la solución salina o spray deben ser de materiales inértres tales como el plástico. el orificio de las tuberías de venteo deberá ser del tamaño suficiente de modo que exista una mínima presión en la cámara, y deberá ser instalada de tal forma que ninguna solución pueda quedar atrapada. El extremo de la tubería de venteo deberá ser protegida de corrientes de aire que puedan causar fluctuación de la presión o vacío de la cabina.

### A.1.3 BOQUILLAS ATOMIZADORAS

A.1.3.1 Unas boquillas adecuadas pueden ser hechas de caucho duro, plástico u otros materiales inértres el tipo más comúnmente usado es el de plástico, es necesario que las boquillas atomizadoras para el aire y

la solución salina sean calibradas. Las condiciones de operación de una típica boquilla son dadas en la tabla 1.

A.1.3.2 A presiones normales puede verse que el consumo de aire es relativamente estable pero una marcada reducción en la solución pulverizadora ocurre, si el nivel de la solución salina baja por rebozo, apreciablemente en el tanque.

De esto modo el nivel de la solución en el depósito de la cámara debe ser mantenido automáticamente en una altura, para asegurar un pulverizado adecuado y uniforme durante la prueba.

A.1.3.3 Si la boquilla seleccionada no atomiza la solución salina uniformemente será necesario colocar un deflector o una pared que recoja la gotas grandes y de esta manera se evita que estas caigan sobre las muestras.

Es necesario que las boquillas seleccionadas produzcan en las condiciones operacionales (presión de aire seleccionado) el pulverizado debido.

La boquilla puede colocarse en el centro y en la parte superior de una tubería convenientemente situada.

#### A.1.4 AIRE DE ATOMIZACION

A.1.4.1 El aire usado para la atomización (pulverizado) debe estar libre de grasa, aceite y polvo, antes de utilizarlo el aire debe pasar por un filtro que debe estar siempre limpio.

El aire puede ser comprimido calentado, humidificado y limpiado, en una bomba rotativa de agua siempre que la temperatura del agua sea apropiadamente controlada.

Otra manera de limpiar el aire podría ser introduciéndolo por el fondo de una torre llenas con agua a través de una pared porosa o que tenga múltiples boquillas. El nivel del agua puede ser mantenido automáticamente para asegurar la adecuada humidificación.

La cámara que opere de acuerdo a este método y el apéndice deberá tener una humedad relativa entre 95 y 98%.

Desde que la solución salina de 2 a 6% dará los mismos resultados (el propósito para la uniformidad es poner o fijar en 4 a 6%).

Es preferible saturar el aire a buenas temperaturas antes de su ingreso a la cámara, la temperatura es como un seguro para obtener el pulverizado húmedo.

La tabla A.2 muestra la temperatura a diferentes presiones aquellos que son requeridos para compensar el efecto de enfriamiento de expansión a la presión atmosférica.

A.4.1.2 La experiencia muestra que hay más uniformidad en la atmósfera de la cámara cuando se incrementa la temperatura del aire de atomización, compensando suficientemente la pérdida de calor, excepto en aquellos en que la temperatura puede ser aumentada en pequeños gradientes.

#### A.1.5 TIPOS DE CONSTRUCCION

A.1.5.1 Un moderno gabinete de laboratorio es mostrado en la figura 1.

Las paredes en la cámara, no son usualmente construidas con vertederos en la parte superior debido a su tamaño y localización.

Deberá buscarse una localización apropiada de la boquilla, para evitar la acumulación en el techo y el goteo. Las boquillas pueden ser localizadas en el techo ó a 3 pies de la base interna de la cámara.

El número de boquillas depende del tipo y capacidad y

es relativo al área del espacio para la prueba. Un reservorio de 3 a 5 galones es necesario dentro de la cámara, con la altura debidamente controlada.

## APENDICE II

Uso del pulverizador salino

Pruebas en Investigación.

A.2.1. Los requerimientos detallados de este método están dados principalmente para el control de calidad y no deberá ser tomado como condiciones óptimas para estudios de investigación.

El ensayo ha sido utilizado en gran extensión con el propósito de comparar diferentes materiales o productos con un standard aceptable.

La reciente eliminación de muchas variables en la cabina y la mejora en los controles han hecho de los siguientes tres ensayos de niebla salina :ASTM B - 117, ASTM 23287 (Acido Acético) , ASTM E - 368. (Con cobre y ácido acético) herramientas útiles para muchos programas industriales, militares, de producción y calificación.

A.2.2. El ensayo ha sido usado con el propósito de comparar diferentes materiales o productos.

Deberá ser notado que raramente existe una relación directa entre la resistencia de la niebla salina y la

resistencia a la corrosión u otro medio, debido a la química de las reacciones, incluyendo la formación de películas y sus efectos protectores que varían grandemente con las condiciones encontradas.

Se debe ser conciente de la composición errática de las aleaciones básicas, de la posibilidad de amplias variaciones en la calidad y espesor de productos recubiertos de un mismo lote y obtenidos al mismo tiempo, y de la consecuente necesidad de una determinación matemática del número de especímenes requeridos, para la obtención de una muestra adecuada, para propósitos de ensayo. En conexión con esto es importante apuntar que el método ASTM B 117 no es aplicable al estudio o ensayo de placas con recubrimientos de cromo decorativos (níquel-cromo o cromo, níquel-cromo) sobre aceros o fundiciones a base de zinc, o de recubrimientos de cadmio sobre aceros. Para este propósito los métodos ASTM 287, 368 están disponibles, los cuales son considerados para comparación de aluminios tratados químicamente (cromatado, fosfatizados o anodizado).

El método B 117 es considerado el más útil en la estimación del comportamiento relativo de materiales en atmósferas marinas. Este método simula las condiciones básicas con algunas variaciones en la humedad ó la temperatura ó ambos.

A.2.3 Cuando una prueba es usada para investigaciones puede resultar ventajoso operar con soluciones de diferentes composición ó concentración ó a diferentes temperaturas. En todos los casos es necesario el control de la temperatura y humedad.

A.2.4 Las especificaciones de los materiales debe ser siempre escrita en términos de los requerimientos standard del método apropiado de pulverizado salino.

#### TIPICO GABINETE DE PULVERIZADOR SALINO

- 0 Angulo de la tapa 90 a 125°
1. Termómetro y termostato
2. Control automático de agua
3. Torre de humidificación
4. Controlador y regulador automático de temperatura.
5. Calentador de inmersión no corrosivo.
6. Abertura múltiple de entrada de aire
7. Tubo de aire para la boquilla pulverizadora.
8. Calentador en la base
9. Tapa operada hidráulicamente.
10. Soportes para las muestras
11. Depósito interno.
12. Boquilla pulverizadora ubicada sobre el depósito convenientemente diseñada y deflectores.
- 12A. Tubo de pulverizado ubicado generalmente en el



centro de la cabina.

13. Sello de agua.
14. Combinación de desfoque de aire y desague de sal salina.
16. Separación entre el desfoque de aire y de solución salina.
17. Tubo de desfoque del aire
18. Aparato nivelador automático para el reservorio
19. Trampa para el tubo de desague
20. Espacio vacío para el enchanquetamiento de agua.

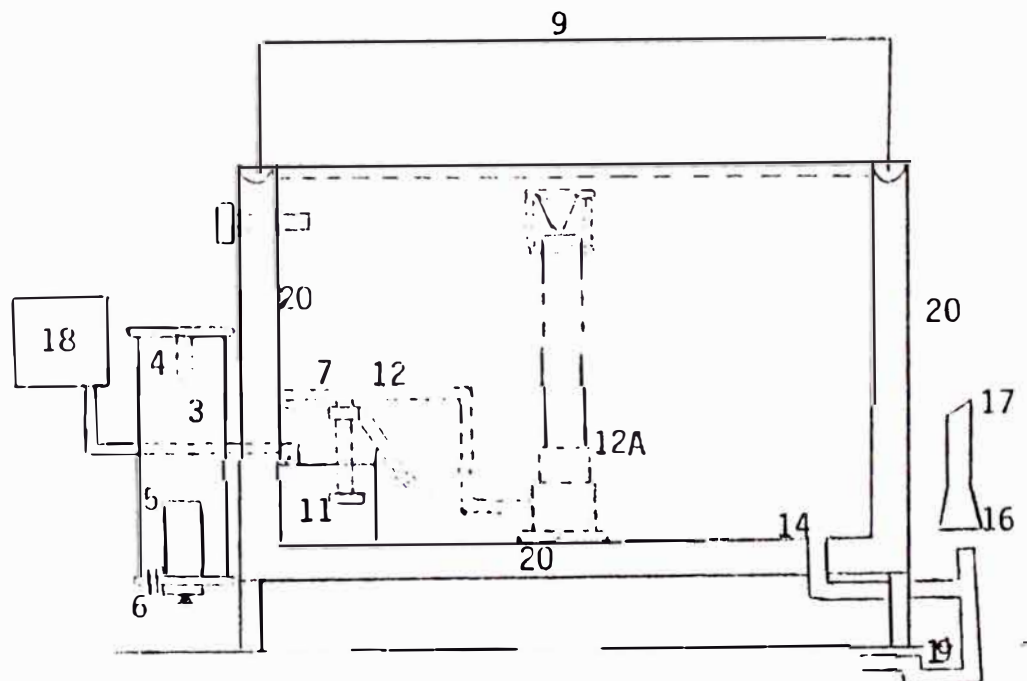
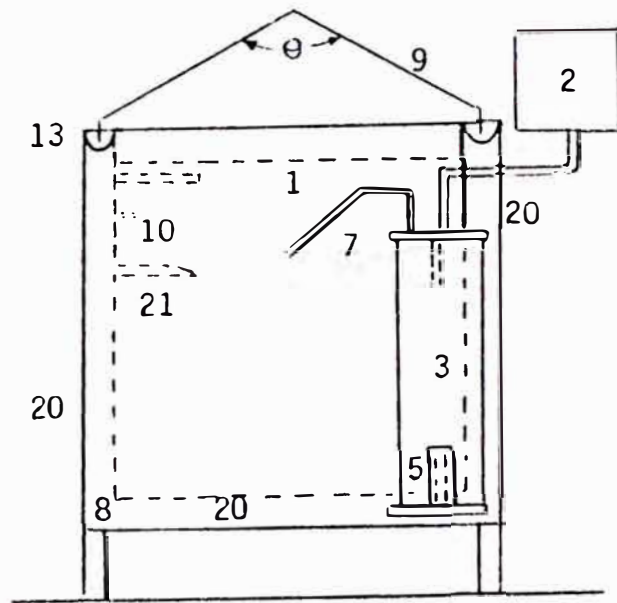


Figura A1. GABINETE TIPICO DE CAMARA DE NIEBLA SALINA

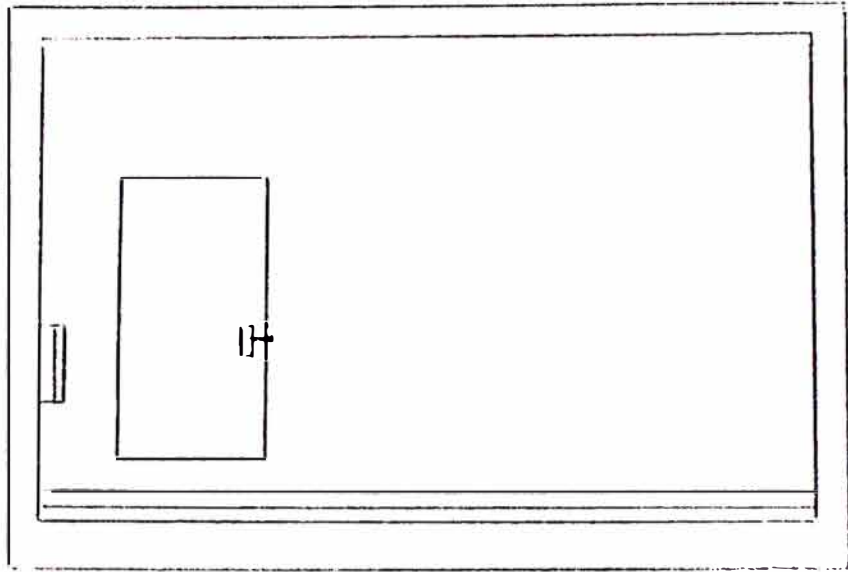


Figura A.2

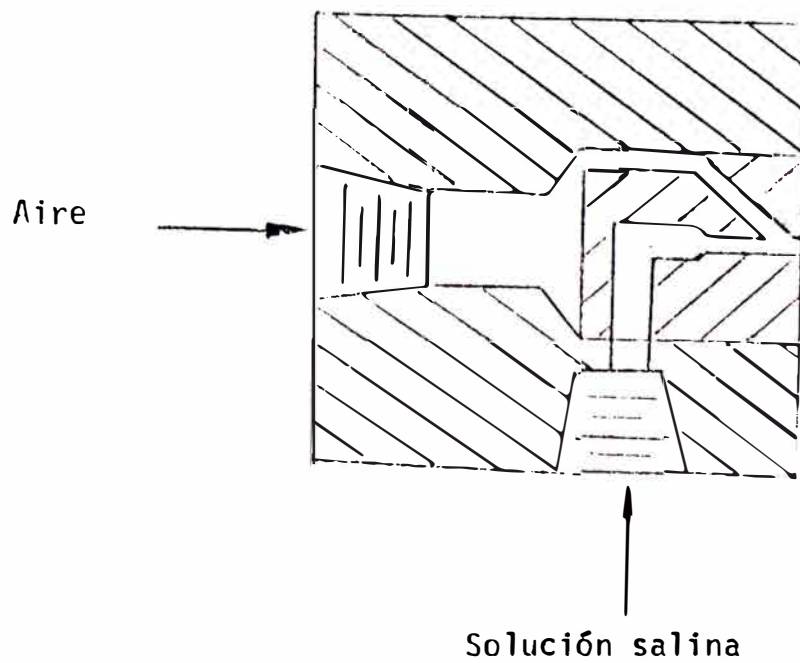


Figura A-3. TIPICO PULVERIZADOR SALINO.

TABLA A1  
 CARACTERISTICAS DE OPERACION DE UNA TIPICA BOQUILLA  
 PULVERIZADORA.

ALTURA DEL SIFON (IN)	FLUJO DE AIRE ( LT/MIN )				CONSUMO DE SOLUCION ( ML/HR )			
	PRESION DE AIRE PSI				PRESION DE AIRE PSI			
	5	10	15	20	5	10	115	20
4	19	26.5	31.5	36	2100	3840	4584	4556
8	19	26.5	31.5	36	636	2760	3720	4320
12	19	26.5	31.5	36	0	1380	3000	3710
16	19	26.5	31.5	36	0	780	2124	2904

TABLA A.2

TEMPERATURA Y PRESION REQUERIDAS PARA LA OPERACION DE LA  
PRUEBA A° 95 F.

	PRESION DE AIRE PSI			
	12	14	16	18
T (° F)	114	117	119	121

## APENDICE Nº 2

### ENSAYOS DE CORROSION

#### DIN 50021

ENSAYOS DE NIEBLA POR ATOMIZACION CON SOLUCIONES DE CLORURO SODICO

NORMA DIN 50021

Para las conexiones de esta norma con la recomendación ISO/R1456 = 1970 (publicada por la International Organization for Standardization - ISO) y la recomendación ASTM B 117-73 (publicada por la American Society for Testing and Materials ASTM), véanse las sección aclaraciones al final de la norma.

En esta norma los datos que llevan el signo %, son porcentajes en peso.

#### 1. FINALIDAD.-

Esta norma define las condiciones de los dispositi-

vos de pruebas de corrosión y los medios atacantes, que corresponden a los distintos ensayos de niebla por atomización. Esto tiene como finalidad, que todos los ensayos en cámara de niebla salina, que se basan en normas o acuerdos, se lleven a cabo en condiciones uniformes

La norma no se ocupa de la preparación de las muestras, de la duración del ensayo, del tratamiento de las muestras después del ensayo, ni de evaluación de los resultados.

De los procedimientos nombrados en la sección 2, el que debe de ser aplicado para un determinado caso debe ser acordado, siempre que en esta norma no quede ello definido.

## 2. CONCEPTOS.-

En lo que respecta a esta norma, los ensayos de niebla por atomización son ensayos en los que el medio agresivo es una solución de cloruro de sodio al 5% (componente principal), que es continuamente atomizada (ver tabla 1). La atomización se realiza con ayuda de aire comprimido.

Se diferencian 3 ensayos de niebla por atomización, según la Tabla 1:

- Ensayo de niebla salina por atomización SS DIN 50021

- Ensayo de niebla salina con ácido acético por atomización ESS DIN 50021
- Ensayo de niebla salina con cloruro cúprico y ácido acético por atomización CASS DIN 50021.

### 3. EQUIPO.-

El equipo esquematizado en la ilustración consta esencialmente de las partes que a continuación se explican. Todas las partes del equipo que estén en contacto con la niebla salina o con la solución de prueba, deben estar fabricados de un material que no sea afectado por la solución de prueba o la niebla salina.

#### 3.1 CAMARA DE ENSAYOS.-

Es necesario una cámara de ensayos que pueda ser calentada y con compensación de presión. Además, que posea dispositivos para la medición y regulación de una temperatura de ensayo de  $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  en los ensayos SS DIN 50021 y ESS DIN 50021 ó de  $50^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  en el ensayo CASS DIN 50021 a cámara cerrada. La cámara de ensayos debe tener un volumen mínimo de 400 lt. (véanse las aclaraciones) y deberá estar construida de tal modo que las gotas de la niebla atomizada no caigan del techo, de las paredes laterales ó de las placas de impacto sobre las probetas. La caída de gotas del



techo se evita cuando este se inclina al menos unos 30 grados de la horizontal. La solución de prueba atomizada no debe volver al depósito de reserva. El compartimiento útil para el ensayo, es aquel que se encuentra fuera del chorro atomizador de forma cónica y en el que se proporciona una distribución uniforme de la niebla atomizada, conforme al punto 6.2, en su cuarto párrafo.

### 3.2 TOBERA DE ATOMIZACION.-

Para la producción de niebla atomizada se utiliza un inyector autoaspirante de aire comprimido de poliacrilato o de cloruro de polivinilo, sin aguja reguladora de limpieza rápida, con un orificio de tobera de 1 mm de diámetro y un ángulo de dispersión de aproximadamente 30 grados que trabaje con una sobrepresión de 0.7 a 1.4 bar (0.7 a 1.4 kp/cm<sup>2</sup>) y que tenga un nivel de succión de 200 mm a 500 mm. Es conveniente instalar un dispositivo de medición y de regulación para el paso del líquido (véase la ilustración). Con este dispositivo se gradua y controla la cantidad atomizada en la solución de prueba, de modo que la cantidad de niebla atomizada captada en la cámara cada hora esté de acuerdo a lo indicado en el punto 6.2

Hay que tener en cuenta que el chorro atomizador no

debe estar dirigido directamente hacia la probeta. Para llegar a la probeta, es necesario que el chorro de ensayo se dirija hacia una placa de impacto o hacia una pared del equipo (ejemplo 1, véase la ilustración) o en caso de que la tobera esté colocada en la base de la cámara, se suministrará un tubo conductor (ejemplo 2, véase la ilustración).

El número y la disposición de la tobera pulverizadora se selecciona de tal manera que se cumpla los requerimientos sobre compartimiento útil dado en punto 6.2.

El empleo de otros tipos de tobera, contruidos de materiales que no influyan en el efecto de la niebla salina, es permitido, en cuanto que la niebla atomizada producida cumpla con lo indicado en el punto 6.2

### 3.3 RECIPIENTE NIVELADOR CON CONDUCTOR.-

El recipiente nivelador debe ser construido para la solución de prueba atomizada de modo que el nivel de aspiración permanezca constante durante el total de la prueba.

### 3.4 TUBERIA DE AIRE COMPRIMIDO CON SEPARADOR DE ACEITE Y DE SOLIDOS , Y EL HUMECTADOR DE AIRE

El humectador de aire debe ser construido de modo que el aire comprimido se sature con agua durante la prueba a la temperatura necesaria (véase punto 4.2). En el conductor o tubería de aire comprimido del humectador de aire hacia la cámara de ensayos se debe instalar un instrumento para la medición de la presión en la tobera.

### 3.5 SOPORTE DE MUESTRAS.-

Los soportes de muestras deben permitir que se coloque el objeto de prueba en el compartimiento útil de la cámara de ensayos, y además de que no exista contacto directo entre las probetas. La superficie esencial de la probeta (cada superficie "esencial" es determinada según el caso) debe ser inclinada de 60 a 75° de la horizontal y no debe caer ninguna gota de una probeta sobre otra. Se debe procurar que en los puntos de encuentro entre muestra y soporte de muestras no se produzca ninguna corrosión condicionada por el contacto, por ejemplo la corrosión galvánica o la corrosión por rendijas.

### 4. SOLUCION DE PRUEBA.-

Para producir la solución de prueba según los puntos 4.1, 4.2, 4.3. el agua tiene que ser destilada o completamente desmineralizada. su conductividad eléctrica a

25°C ± 2°C no puede ser mayor de 20 µs/cm. y el contenido de sólidos no puede ser mayor de 100 mg/kg. La solución de prueba debe ser filtrada antes de emplearse para evitar una obstrucción de la tobera pulverizadora provocada por los sólidos suspendidos. La solución debe una sola vez ser atomizada y no debe volverse a utilizar.

#### 4.1 SOLUCION DE PRUEBAS EN ENSAYOS DE SS DIN 50021

4.1.1 La solución de cloruro de sodio acuoso aproximadamente al 5% se produce a través de la disolución de 50 g ± 10 g de cloruro de sodio en 1 lt de solución a la temperatura ambiente. El cloruro de sodio para ser utilizado tiene que responder al menos a las exigencias de limpiezas del DAB 7 (Farmacopea Alemana, Trabajo N° 7, 1968).

4.1.2 El valor del pH de una solución de cloruro de sodio tiene que ser regulado, de modo tal que la niebla atomizada captada tenga un valor de pH de 6.5 a 7.2 medido a 25°C ± 2°C. Para la regulación del pH se emplea ácido clorhídrico diluido químicamente puro o solución de hidróxido de sodio. El valor pH debe ser determinado electrométricamente a 25°C ± 2°C empleando un electrodo de vidrio o colorimétricamente empleando azul de bromotimol como indicador. La niebla atomizada captada debe contener 50 g/l ± 10 g/l de cloruro

de sodio.

#### 4.2 SOLUCIÓN DE PRUEBAS PARA ENSAYOS ESS DII 50021

4.2.1 La solución de cloruro de sodio acuosa aproximadamente al 5% se produce diluyendo 50 g  $\pm$  5 g de cloruro de sodio en un litro de la solución a temperatura ambiente. El cloruro de sodio para ser utilizado tiene que responder al menos a las exigencias de limpieza del DAB 7 4 (Farmacopea alemana, Trabajo N<sup>o</sup> 7, 1968).

4.2.2 El valor del pH de la solución de cloruro de sodio se regula con ácido acético, que cumple al menos con las exigencias de limpieza del DAB 7 (Farmacopea alemana, Trabajo N<sup>o</sup> 7, 1968), se debe regular de tal manera que el pH tanto de la solución que se atomiza como de la niebla captada sea de 3.1 a 3.3 a 25 grados centígrados más menos 2 grados centígrados. Para esto son necesarios aproximadamente de 1 a 3 g/l de ácido acético (calculado como ácido acético glacial). El valor pH debe ser medido electrométricamente a 25°C  $\pm$  2°C, utilizando un electrodo de vidrio. La niebla atomizada captada debe contener 50 g/l  $\pm$  10 g/l de cloruro de sodio.

#### 4.3 SOLUCION DE PRUEBAS PARA ENSAYO CASS DIN 50021

4.3.1 Se utiliza una solución acuosa de cloruro de sodio al 5%, según el punto 4.2.1. A la solución de cloruro de sodio se añade por cada litro  $0.26 \pm 0.02$  g de cloruro cúprico  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  químicamente puro. Luego se regula el valor de pH en ácido acético de tal manera que tanto la solución que se atomiza, como la neblina captada tenga un valor de 3.1 a 3.3 a  $25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ . El valor de pH tiene que ser medido electrométicamente a  $25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$  utilizando un electrodo de vidrio.

#### 5.- AIRE COMPRIMIDO

El aire comprimido utilizado para la producción de niebla atomizada con una sobrepresión de aproximadamente 0.7 a 1.4 bar (0.7 a 1.4  $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ) debe estar exento de suciedad, petróleo y alguna otra impureza. Por eso, el aire comprimido se conduce a través de separadores normales de líquido y petróleo y finalmente a través de un filtro a presión de cerámica, de modo que se eliminen el 99.5% de las impurezas contenidas. El aire comprimido purificado debe contener por cada metro cúbico menos de 0.2 mg. de petróleo y partículas de polvo de menos de 5  $\mu\text{m}$  de magnitud.

Finalmente se satura con agua totalmente desmineralizada el aire comprimido purificado en un tanque de humectación, a una temperatura tal que el aire después de la expansión, llegue a una temperatura de aproximadamente 35°C, o a una temperatura de 50°C, para el ensayo CASS DIN 50021.

NOTA: La saturación del aire comprimido con agua es necesaria para evitar que con la expansión produzca un aumento de la concentración de cloruro de sodio en la solución atomizada.

## 6. CONDICIONES DURANTE LOS ENSAYOS DE NIEBLA ATOMIZADA

### 6.1 TEMPERATURA DEL ENSAYO.

Durante el ensayo SS DIN 50021 y ESS DIN 50021 la temperatura en el compartimiento útil de la cámara de prueba tiene que ser de 35°C ± 2°C, mientras que durante el ensayo CASS la temperatura tiene que mantenerse en 50°C ± 2°C. Al abrir la cámara de ensayos (véase el punto 3) la temperatura desciende por poco tiempo. La temperatura se debe medir con una frecuencia tal que, toda fluctuación de ésta pueda ser registrada.

NOTA: se recomienda registrar la variación de la temperatura en el tiempo con un termógrafo y con ayuda de un buen aislamiento térmico, asegurar una

distribución uniforme de la temperatura en la cámara de prueba.

## 6.2 CANTIDAD Y DISTRIBUCION DE LA NIEBLA ATOMIZADA.

La cantidad de solución de prueba que se atomiza en la unidad de tiempo, dentro de la cámara de ensayo, se fija de manera que se consiga recolectar en un recipiente con un embudo de  $80\text{cm}^2$  de área horizontal,  $1.5\text{ ml/h} \pm 0.5\text{ ml/h}$  como valor medio para un período de 16 horas en el ensayo SS DIN 50021 y CASS DIN 50021. En el caso del ensayo DIN ESS 50021, el valor medio de lo recolectado debe ser para un lapso de 8 horas de  $1.5\text{ ml/h} \pm 0.5\text{ ml/h}$ . El recolector debe estar instalado en el fondo de la cámara .

Resulta necesario el empleo de la tobera descrita en el punto 3.2, pues la regulación de la cantidad de solución de prueba atomizada a una determinada sobrepresión del aire comprimido y a una altura constante de aspiración, solo se efectúa con la ayuda de los dispositivos de medida y regulación de flujo, situados fuera de la cámara de pulverización. Se admiten otros métodos para regular la cantidad de solución de prueba atomizada, de forma que exista una distribución uniforme en el compartimiento útil de la cámara de ensayos.



Para la comprobación de la distribución uniforme de la niebla atomizada en el compartimiento útil de la cámara de ensayos tienen que colocarse al menos dos equipos colectores en el fondo de la cámara de ensayos, en la vecindad de los soportes de muestras, estando uno colocado cerca de la tobera y el otro a la mayor distancia posible de ésta.

Las gotas que caen de la cubierta y las paredes de la cámara de ensayos, de la placa de impacto, del soporte de muestras y de las probetas no deben llegar por ningún motivo al recipiente colector. Como recipientes colectores son apropiados, por ejemplo, un embudo de vidrio o de plástico de 10 cm. de diámetro ( 78.5 cm<sup>2</sup> de captación) que se une a una probeta graduada de vidrio o plástico mediante un tapón de jebe.

### 6.3 INTERRUPCION DE LA ATOMIZACION Y APERTURA DE LA CAMARA DE ENSAYOS.

Los ensayos de niebla atomizada son ensayos de larga duración. La atomización de la solución de prueba es continua durante la duración total de la prueba. Solo se permite las interrupciones de la atomización durante la prueba, cuando la cámara de ensayos tiene que ser abierta para extraer las probetas para su evaluación apropiada o para colocarlas nuevamente en caso necesario. La cámara se debe mantener abierta el menor

tiempo posible.

#### 7. INFORME DEL ENSAYO.-

El informe del ensayo debe contener:

- El tipo y característica de la probeta.
- Resumen de la prueba.
- Duración de la prueba.
- Volumen de la cámara de prueba en litros, y de existir, mencionar las desviaciones con respecto a la norma.
- Fecha del ensayo.

### ACLARACIONES

La prueba SS DIN 50021 concuerda ampliamente con los datos correspondientes en la designación ASTM B 117-73 "Standard Method of Salt Spray (Fog) Testing" , según el punto 2.0.

La concordancia con la designación ASTM comprende solo el dispositivo de pruebas, el agente de prueba y las condiciones durante el ensayo de niebla salina. En cambio, a diferencia de la norma ASTM, no se menciona aquí nada sobre la preparación de las probetas, la duración de la prueba, el tratamiento de las probetas, después del ensayo para el reconocimiento de los posibles puntos de corrosión, la evaluación de los resultados, y los datos requeridos para el informe de la prueba.

Estos datos quedan reservados para las normas especiales para las diversas sustancias, así como para los acuerdos especiales.

Con respecto al grado de pureza del cloruro de sodio necesario para la preparación de las soluciones para el ensayo, la ASTM B 117-73 prescribe que para este fin solo se puede emplear cloruro de sodio que estén sustancialmente libre de níquel y cobre, y que no contenga más del 0.1% de yoduro de sodio en un contenido de impurezas totales no mayor del 0.3%. En la ASTM B 117-73 se encuentra, además la advertencia de que el cloruro de sodio de diversas procedencias puede contener sustancias accesorias ("aditivos") con un efecto inhibitor de la corrosión que no permite su empleo en la preparación de soluciones de prueba. Por esta razón, la ASTM B 117-73 prescribe acuerdos entre los "contratantes" para la realización de los análisis y la determinación de valores límites complementarios para los elementos o combinaciones químicas presentes en el cloruro de sodio, que parten de los valores indicados en la especificación; sin dar a conocer, sin embargo, procedimientos para el examen de la acción inhibitor, o bien para la identificación analítica de los aditivos correspondientes.

Por otro lado, se debe constatar que hasta ahora no se

ha observado que el cloruro de sodio recomendado para la preparación de las soluciones pulverizadoras, correspondiente al grado de pureza LAB 7, contenga aditivos inhibidores de la corrosión en cantidad perjudicial; o bien que un producto de este tipo no presente la pureza sustancial de cobre y níquel que exige la ASTM B 117-73, así como la ausencia de NaI en una cantidad menor a 0.1%.

Para el "Test de la Neblina de Agua Salada" en pinturas o recubrimientos parecidos, es válida la DIN 53 167, en la que se puede emplear el mismo aparato de control y las mismas condiciones de prueba correspondientes a la SS DIN 50021.

Para el Test de la neblina de agua salada de recubrimientos de fosfato, es válida la norma DIN 50 942.

Según el punto 2, las pruebas ESS DIN 50021 y CASS DIN 50021 coinciden exactamente con las pruebas correspondientes a la recomendación ISO/R 1456 - 1970: "Electroplated coating of nickel plus chromium", ("Depots électrolytiques de nickel plus chrome" o "Revestimientos de cromo-níquel chapado electrolíticamente).

La denominación CASS es la abreviación de "copper accelerated acetic acid-salt spray (fog) testing". Fue traspasada a la norma alemana, porque está introducida internacionalmente.

En particular, se debe mencionar aún lo siguiente:

#### ACERCA DEL PUNTO 1.0

Con respecto al campo de aplicación de cada procedimiento de prueba, es extraordinariamente difícil delimitar las posibilidades. Por eso, el punto 1 ha evitado nombrar campos de aplicación particulares. Más bien exhorta, principalmente, a que el o los procedimientos de prueba se acuerden dependiendo de cada caso particular. Sin embargo en este punto hay que mencionar que el test de la neblina de agua salada SS DIN 50021 posee un campo de aplicación mucho mayor que los dos procedimientos que se norman aquí. El SS DIN 50021 sirve, de preferencia para el análisis de sustancias metálicas, así como de revestimiento inorgánicos metálicos y no metálicos, sobre metales; y se le emplea también para el análisis de sistemas de pintado. En cambio, las pruebas ESS DIN 50021 y CASS DIN 50021 se emplean generalmente solo para el análisis de revestimientos metálicos y no de revestimientos orgánicos.

#### ACERCA DEL PUNTO 3.1.

El volumen mínimo de la cámara de prueba de 400 litros, corresponde a la ASTM B 117-73. Se ha conservado esta norma a pesar que en Alemania se continúa usando aparatos con cámaras de pruebas más pequeñas. Sin embargo después de minucioso análisis e intensa discusión sobre

la idoneidad de las cámaras de menor dimensión, el círculo de trabajo competente ha llegado a determinar que cuando se emplea dichos aparatos pequeños, no en todos los casos se garantiza una comparabilidad de los resultados de la prueba. Pero, la comparabilidad de los resultados debe estar asegurada lo más que se pueda por la norma, además de ser económicamente justificable.

Se debe elegir la forma y la medida de la cámara de prueba de tal modo que, con la configuración óptima del espacio de empleo, estén aseguradas las condiciones del párrafo 6 de esta norma.

#### ACERCA DEL PUNTO 3.2.

La forma de funcionamiento que se indica para la (s) tobera(s) de aire comprimido autoaspiradora(s), significan un estrangulamiento del caudal de la tobera a un lado del líquido de modo que a una presión de aire y altura de aspiración constantes, solo una parte del caudal pulverizante de la tobera surte efecto.

En caso de emplear toberas pulverizadoras de varias partes, es conveniente mandar a graduar o graduar uno mismo las toberas adquiridas, al caudal máximo de pulverización a una presión de aire de alrededor de 1 bar (1 Kp/cm<sup>2</sup>), marcando y fijando esta posición antes de armarlas. Esto hace más fácil volver a regular la

tapa de la tobera movable al rendimiento máximo, cuando se tiene que desarmar las toberas para limpiarlas. La experiencia nos enseña que para una cámara de prueba de hasta 10 metros cúbicos de volumen sobre un área de casi 5 m<sup>2</sup> (en caso de área rectangular con una relación de lados de 1:1 hasta 1:1.5) basta una tobera pulverizante como la indicada en el punto 3.2.

#### ACERCA DEL PUNTO 4.1.2

Cuando se emplea agua conteniendo CO<sub>2</sub> para la preparación de una solución de cloruro de sodio, al regular el valor pH, se debe considerar que al pulverizar la solución a 35°C se desprende CO<sub>2</sub>, y por ello la solución captada de nuevo tiene un valor pH mayor al de la solución antes de la pulverización. Por esta razón, una solución de cloruro de sodio preparada con agua conteniendo CO<sub>2</sub>, debe ser regulada a 25°C ± 2°C, a un valor pH por debajo de 6.5 para que la solución captada nuevamente tenga un valor pH de 6.5 hasta 7.2.

Para probar si el valor del pH de la solución antes de la pulverización está correctamente regulada, se saca 50 ml, se deja cocer a fuego lento por casi 30 seg. y se enfría a 25°C ± 2°, luego se mide el valor del pH. Si el valor pH medido oscila entre 6.5 y 7.2, el valor del pH de la neblina pulverizadora captada oscila también entre 6.5 y 7.2.



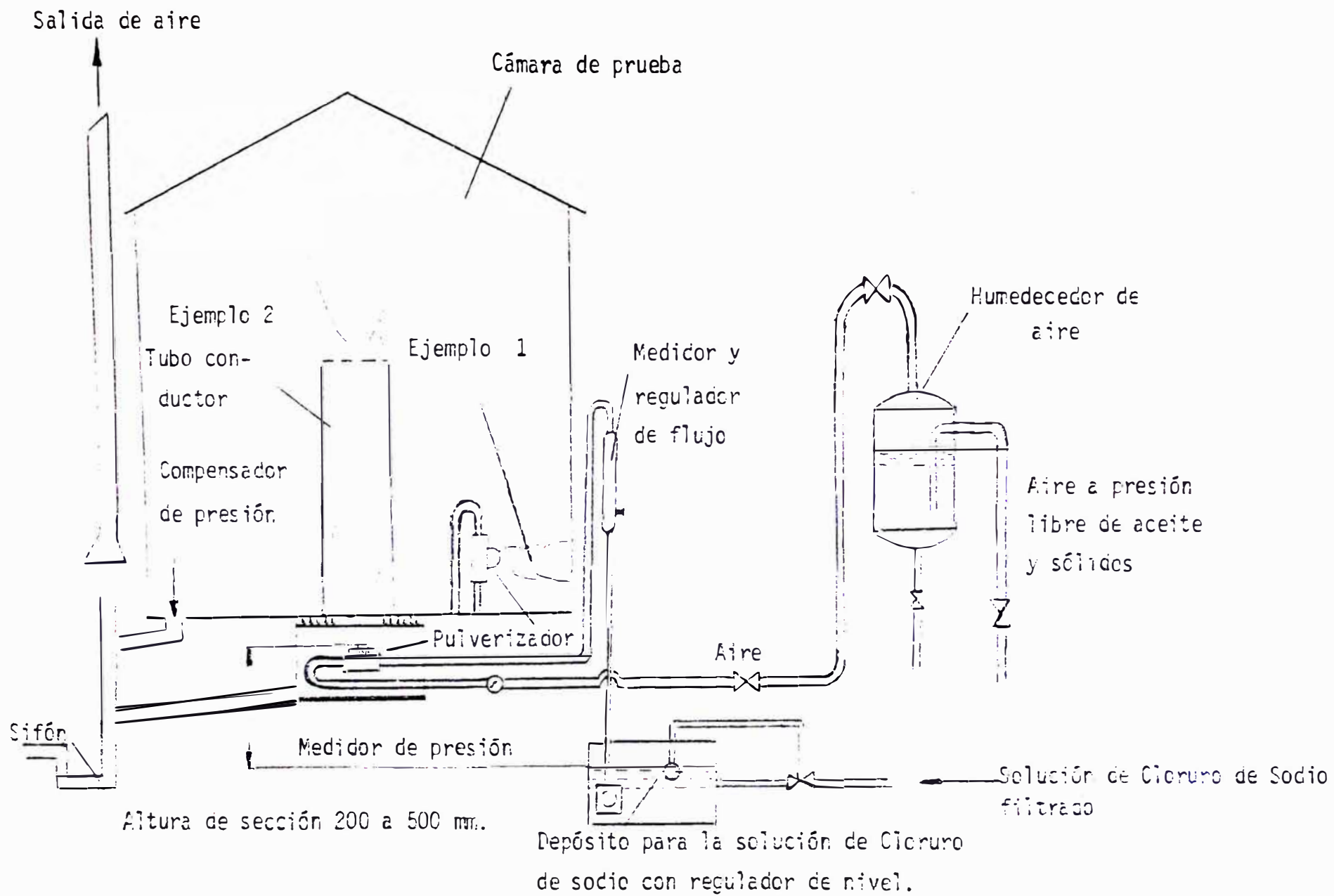
## ACERCA DEL PUNTO 5.0

Al salir de la tobera el aire comprimido se expande a la presión atmosférica y se enfría. Para garantizar una temperatura en la solución pulverizada de 35°C o bien, 50°C, el aire comprimido saturado con agua debe tener una temperatura mayor. En el cuadro 2 se indican valores empíricos de la temperatura (humectador del aire-temperatura) que están relacionados con la sobrepresión del aire comprimido, en una forma tal que luego de la expansión se llegue a una temperatura de 35°C (en caso de la SS DIN 50021 y la ESS DIN 50021) o bien 50°C (en caso de la CASS DIN 50021).

	CALIFICACION INDICACIONES	ENSAYO DE NIEBLA SALINA POR ATOMI- ZACION SS DIN 50021	ENSAYO DE NIEBLA SALINA POR ATOMI- ZACION DE ACIDO ACETICO. ESS DIN 50021	ENSAYO DE NIEBLA SA- POR ATOMIZACION DE CLORURO CUPRICO, ACI- DO ACETICO. ASS DIN 50021
PARA SOLUCION ATOMIZADA	CONTENIDO DE CLORURO SODICO EN gr/lit	50 ± 10	50 ± 5	
	OTROS SUPLENMIOS	NINGUNO	ACIDO ACETICO PARA REGULAR EL VALOR pH DE 3.1 a 3.3 CON (25 ± 2) °C	0.26g/lit + 0.02g/lit Cu Cl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O y acido acetico para regular el valor pH de 3.1 a 3.3 con (25 ± 2) °C
SOLUCION CAPTADA	CONTENIDO DE CLORURO SODICO EN gr/lit	50 ± 10		
	VALOR pH	6.5 a 7.2 CON (25 ± 2) °C	3.1 a 3.3 con (25 ± 2) °C	
	TEMPERATURA EN EL COMPARTIMIENTO DE ENSAYOS °C	(35 ± 2)		(50 ± 2)

**TABLA 1 - ENSAYO DE NIEBLA POR ATOMIZACION**

Figura . REPRESENTACION ESQUEMATICA DEL EQUIPO DE PRUEBA CON DOS EJEMPLOS PARA LA DISPOSICION DEL PULVERIZADOR.



## APENDICE N° 3

### METODOS DE PRUEBA DE ROCIADO SALINO (PULVERIZACION)

JIS Z 2371

#### 1.-OBJETIVO.

Este estandard industrial Japonés especifica un método de resistencia a la prueba de corrosión de metales o metales protegidos con cubiertas orgánicas o inorgánicas de acuerdo con el método de prueba de rociado (pulverización) salina.

#### 2.-AFARATOS

2.1.-Los aparatos necesarios para la prueba de rociado salino debe ser una cámara de niebla, un tanque de agua salada, alimentador de aire comprimido, inyector atomizador, muestras de prueba, abastecimiento para la cámara de calor y medios de control. En caso de tener conforme todas las condiciones de este estandard, la forma o tamaño y detalle de construcción del aparato puede ser opcional.

2.2.-Las gotas de solución recogidas en la cubierta de la cámara de niebla no debe caer en la muestra.

2.3.-Las gotas de solución que caen de la muestras no deben devolverse al tanque de agua salado

o no debe usarse otra vez en la prueba.

2.4.-El material empleado en el aparato debe ser de tal forma que no afecte la corrosividad de la niebla.

### 3.-MUESTRAS DE PRUEBAS

La forma, tamaño y número de muestras a usarse, así como el criterio debe ser de acuerdo con el estándar especificado para el material o productos de prueba.

### 4.-PREPARACION DE LAS PIEZAS DE PRUEBA

4.1.-Las muestras metálicas y muestras con cubiertas metálicas deben estar muy limpias. La limpieza se debe llevar a cabo por un método ordenado teniendo en cuenta la naturaleza de la superficie y los contaminantes. Cuidando que los abrasivos u otros como precipitados pastosos de carbonato de calcio y óxido de Magnesio no detergente, no causen una corrosión o una película protectora, en tal caso no se debe aplicar. La muestra, después de la limpieza no se debe recontaminar otra vez por descuido de manipuleo.

4.2.-La muestra cubierta con pintura o con cubiertas no metálicas antes de la prueba no se debe limpiar o someterse a otro tratamiento.

4.3.-Cuando se necesite medir el desarrollo de la corrosión de una área desgastada en la pintura o cubierta orgánica, si no se especifica de otra manera, hay que descubrir el metal antes de la prueba y se debe raspar la cubierta con un instrumento filudo. Las condiciones del raspado estarán de acuerdo con el comprador y el productor.

4.4.-Si no se especifica de otra manera los filos de la cubierta de materiales dobles (duplex), o la parte en contacto con las pruebas se protegerán con una cubierta adecuada, estable y bajo las condiciones dadas.

Estandares aplicables:

J15 K 8150 - Cloruro de sodio

J15 K 8180 - Acido Hidroclórico.

#### 5.-POSICION DE LAS MUESTRAS DURANTE LA PRUEBA

Durante la prueba, la posición de las muestras en la cámara de niebla salina estarán en conformidad con las siguientes condiciones:

(1).-Si no se especifica de otra manera, la superficie principal de las muestras se inclinarán un cierto ángulo ( $\theta$ ) con la vertical, dentro de un rango que no afecte el resultado final de la prueba y se sujetará o

suspenderá (2\*) en paralelo con la dirección principal del flujo horizontal de la niebla (o del rociado) a través de la cámara.

(2).-Las muestras no estarán en contacto con otra cosa que no sea el soporte .

(1\*) El ángulo de 15 ó 30 grados se considerará como estándar

(2\*) En los soportes se puede emplear materiales como vidrio, goma (caucho), plástico, madera, etc; la muestra deberá ser sujeta preferiblemente de la parte de arriba o de un lado.

(3).-Cada muestra se colocarán de tal manera que no interfiera la libre aplicación de la niebla (rociado) en las demás muestras

(4).-La solución salina de una muestra no debe caer en otra muestra.

Pueden emplear materiales ásperos a fin de sujetar muestras lisas. Si la muestra se debe mantener en una posición fija se pueden suspender con ganchos de vidrio o cuerdas vinílicas (si es necesario la muestra se sujetará por la parte baja).

## 6.-SOLUCION SALINA

A fin de preparar esta solución salina, se disuelve la sal en agua destilada, o agua con material sólido no

más de 200 ppm para una concentración (3) de sal de  $5 \pm 1\%$  (en peso). Use el equivalente de sal para clase extra pura en J15 K 8150, Cloruro de sodio (asegúrese de usar la sal refinada vendida por la corporación de Monopolio de Japón) La solución salina debe estar a  $35^{\circ}\text{C}$  para ser atomizada y el pH tendrá un rango de 6.5 a 7.2 (4) antes de ser atomizada, la solución no debe contener sólidos suspendidos (5). Hacer la medida del pH electrométricamente para más exactitud se hará con electrodo de vidrio saturado con un puente de cloruro de potasio. Asegúrese de medir con otro método por ejemplo, nosotros usamos el método colorimétrico con azul de bromotimol como indicador (6).

NOTA 3.—La solución a una temperatura de  $33$  a  $35^{\circ}\text{C}$  tendrá una gravedad específica de 1.0268 a 1.0413 a una concentración específica. La gravedad específica se confirmará preferiblemente todos los días.

NOTA 4. El pH de la solución salina preparada con agua contiene gas  $\text{CO}_2$  a temperatura ambiente, se afecta por la temperatura, el pH, se puede ajustar por cualquiera de los siguientes 3 métodos:

1.— En el caso que el pH de la solución salina es ajustado a la temperatura ambiente y atomizado a  $35^{\circ}\text{C}$ , el pH de la solución resultante es mayor que el de la solución original, porque se pierde  $\text{CO}_2$  gaseoso a altas



temperaturas. Al ajustarse el pH de la solución salina a la temperatura ambiente, el pH se ajustará a no más de 6.5, tanto así que permita que la solución resultante, después de haber sido atomizada a 35°C, tenga un pH de 6.5 a 7.2.

Se tomarán cerca de 50 ml. de solución salina preparada a temperatura ambiente, se calentará por 30 seg., se enfriará y medirá el pH. Cuando se halla ajustado el pH de la solución salina entre 6.5 y 7.2 por este procedimiento, el pH de la solución bajo condiciones de atomización a 35°C, estará dentro de ese rango.

2.- Si la solución salina, se calienta y se enfría a 35°C se mantiene por 48 horas a esa temperatura, antes de haberse ajustado el pH. El pH del atomizado siempre será 35°C, sin tener muchos cambios.

3.- Para librar el CO<sub>2</sub> gaseoso del agua que será usada en la preparación de la solución salina, se calentará (el agua) a 35°C o más, y el pH de la solución se ajustará entre 6.5 y 7.2. La solución obtenida no presentará muchos cambios en el pH, al atomizarse a 35°C.

NOTA 5 Para que la boquilla del soplete no se atore, la solución salina se filtrará o decantará antes de ser vaciada en el tanque, o en el tubo principal por donde pasará la solución que se atomizará, se colocará un filtro de vidrio o un apropiado tejido de algodón.

NOTA 6 El pH se ajustará con una solución diluida de ácido hidroclicórico bajo condiciones JIS K 8180 o con hidróxido de sodio bajo condiciones JIS K 8576 de hidróxido de sodio concentrado.

## 7.- ABASTECIMIENTO DE AIRE

El aire comprimido que se usará para atomizar la solución salina, debe estar libre de aceite y polvo (7) y la presión será de 0.7 a 1.8 KgF/cm<sup>2</sup> (0.0687 a 0.1765 Mpa).

OBSERVACION.- Las unidades y valores dados en están de acuerdo con el sistema internacional de unidades (SI), se muestran como referencia de información.

NOTA 7.- El aire de abastecimiento se puede limpiar de aceite y polvos haciéndolo pasar a través de agua purificadora (o depuradora) o a través de cualquier otro material purificador, como asbesto, lana de carnero, viruta, fibra de vidrio, o alúmina activada de un grosor de por lo menos 60 cm.

## 8.- CONDICIONES EN LA CÁMARA PULVERIZADORA DE SAL

8.1 TEMPERATURA.- Mantener la zona de exposición donde las muestras serán colocadas dentro de la cámara pulverizadora a  $35 \pm 2^{\circ}\text{C}$ . y controlar las

temperaturas (8) por lo menos dos veces al día, en la mañana y en la noche.

NOTA 8 El método de apuntar las temperaturas será de preferencia complementado con un continuo control con termómetro capaz de ser las temperaturas desde fuera. Las temperaturas se leerán fuera de la cámara de pulverización cerrada.

8.2 CANTIDAD DE NIEBLA.- Colocar por lo menos dos colectores de niebla limpios dentro de la zona de exposición, de tal manera que no gotee la solución de las muestras o de cualquier otra parte. Colocar los colectores cerca de las muestras de prueba, uno cerca a las boquillas del soplete y el otro lo más lejos posible.

Con un promedio de 16 o más horas de trabajo, verificar que cada colector recoja de 0.5 a 3.0 ml de solución por hora para cada 80 cm<sup>2</sup> de área (9). La concentración de la solución recogida debe ser de  $5 \pm 1\%$  (10). Además el pH de la solución recogida debe ser de 6.5 a 7.2. Medir el pH electrométicamente o por colorimetría con azul de bromotimol como indicador.

NOTA 9: Para hacer el instrumento colector, es útil el uso de un embudo de vidrio, insertado a través de

tapones con un cilindro (medido), ó también puede ser un platillo cristalizador. El embudo o platillo de 10 cm de diámetro tendrá un área aproximada de 80 cm.<sup>2</sup>.

10) Cuando al medir la temperatura entre 33 a 35°C la gravedad específica de la solución es de 1.0263 a 1.0413, encontraremos la concentración específica. La concentración también se puede medir de la siguiente manera: diluir 5 ml de solución recogida a 100 ml con agua destilada y mezclarla. Pipetear 10 ml en un plato evaporador. Añadir 40 ml de agua destilada y 1 ml de solución de K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> al 1% (libre de cloruro), y titular con Ag NO<sub>3</sub> 0.1 N hasta la primera aparición de una coloración roja permanente. Si la solución necesita entre 4.4 y 5.5 ml. de Ag NO<sub>3</sub> 0.1N obtendremos la concentración específica.

8.3 Las boquillas de los sopletes se colocarán directa o indirectamente de tal manera que la pulverización no caiga directamente sobre las muestras de prueba.

## 9. CONTINUACION DE LA PRUEBA

Sin otra nueva especificación, en las especificaciones en el material o producto sometido a prueba, continuar con las pruebas durante el periodo de prueba. La cámara se mantendrá cerrada, pero en los momentos que se necesite inspeccionar (un corto tiempo) se removerán

las muestras de prueba, o también cuando se necesite chequear o aumentar la solución en el reservorio etc. las muestras serán manipuladas continuamente. La manipulación, se harán tratando de minimizar las interrupciones.

#### 10. PERIODO DE PRUEBA.

El período de prueba será designado según las especificaciones del material o el producto que será probado.

#### LIMPIEZA DE LAS MUESTRAS DE PRUEBA DESPUÉS DE LA PRUEBA

Si no hay otras especificaciones en la cubierta del material o en los productos de prueba, las muestras se tratarán de la siguiente manera después de la prueba.

1. Sacar las muestras cuidadosamente
2. Para remover la sal depositada de la superficie de las muestras, de prueba, lavar las muestras con agua a temperatura ordinaria (ambiente) y secar cuidadosamente. Para observar alguna corrosión en el metal se removerá el producto de corrosión con un cepillado ligero.

## 12. EVALUACION DEL RESULTADO

La evaluación del resultado de los resultados de la prueba se complementará con el respectivo material o manufacturas estandar o se hará de acuerdo entre el comprador y el fabricante.

## 13. APUNTES Y REPORTE.

Sin otras especificaciones para el material y manufactura estandar, se tomarán apuntes de los siguientes requerimientos respectivos:

1. Tipo de sal y agua usada en la preparación de la solución salina.
2. Lectura de temperatura en la zona de exposición de la cámara.
3. Apuntes diarios de valores numéricos obtenidos de cada experiencia, de acuerdo a los siguientes puntos.
  - a) volumen (ml) de solución salina recogida por hora para 80 cm<sup>2</sup>.
  - b) Concentración o gravedad específica a 35 °C. de solución recogida.
  - c) pH de la solución recogida (o recolectada).
4. Forma, dimensiones o número de piezas o partes, o tipo de muestra.
5. Método de limpieza usado en la pieza de prueba antes y después de la prueba.

6. Soportes o métodos de suspensión de los artículos dentro de la cámara de pulverización salina.
7. Tipo de protección usada en el paso 4.4
8. Período de exposición
9. En caso de interrupción, la causa y el período de interrupción.
10. Resultados de todas las inspecciones.

#### REFERENCIAS:

Los siguientes datos se muestran como referencia y no es parte de un standard.

#### CONSTRUCCION DE LA MAQUINA (O APARATO).

##### 1. Forma del aparato.

Para encontrar las condiciones requeridas en la forma del aparato tomamos como referencia la fig. 1.

Para el material de la estructura, acero revestido de caucho o caucho plástico, revestimiento de acero, porcelana, vidrio, metal Monel, y una adecuada cubierta de fibra puede ser muy buena.

El recipiente para guardar la solución salina con un pH de no más de 6.5. debe ser preferiblemente de caucho, o plástico revestido de acero (o una cubierta de acero y un plástico o caucho), o porcelana o vidrio.

La boquilla del soplete deberá ser preferiblemente hecho de vidrio, metal monel, caucho duro o plástico. La boquilla de vidrio mostrada como referencia en la fig.2, necesita una presión de aire de 0.8 a 1.3 kg/cm<sup>2</sup> (0.0784 ó 0.1275 Mpa). Generalmente, en una cámara de 0.34 m<sup>3</sup> es recomendable atomizar durante 24 horas 3.8 lts. de solución.

La boquilla de metal monel mostrada como referencia en la fig. 3 es muy fuerte y no hay problema de que se quiebre.

Cuando se absorbe a una altura de 20 cm. con una tobera tipo sifón (atubado) se usa el modelo de pulverizador redondeado hecho íntegramente de metal monel, tal que la solución referente a la fig. 1 pueda ser atomizada.



## TABLA DE REFERENCIA 1

Presión de aire de atomización M Pa	0.868	0.1079
Aire de Atomización M <sup>3</sup> /mm	0.013	0.016
Solución salina atomizada lt/hora	0.57	0.72

Los orificios de las boquillas deben ser cepilladas preferiblemente para que la niebla pueda ser finamente esparcida durante el uso. Como se muestra en la fig. 1 la boquilla (el soplete) y las descargadores de niebla, se deberían colocar de tal manera que la niebla producida pueda caer en la muestra por gravedad y el roce horizontal de la niebla y la muestra sea un mínimo.

Para que la concentración de la sal en las partículas de sal de la niebla no difiera de la concentración de sal en la solución, antes de la atomización el abastecimiento de aire debe tener entre 95 y 98% de humedad al momento de ser descargado dentro de la cámara cerrada.

Como en el caso de ser descargado de la boquilla, cuando el aire comprimido se expande sin una disminución apreciable en la temperatura, la humedad relativa decrece puntualmente. Para prevenir este defecto y permitir que el aire tenga entre 95 y 98% de humedad relativa es necesario que el aire esté saturado

con vapor a alta temperatura, pero es enfriado a 35°C en la cámara.

Para cumplir con estos requerimientos es necesario que el aire comprimido limpio, burbujee a través de un saturador anticorrosivo, mezclado con agua caliente a una temperatura definida. Como las pequeñas burbujas se saturan casi al instante no interesa la altura de la columna de agua por la que pasa la burbujas. El agua dentro del saturador debe ser cambiada cada semana para remover las impurezas del aire.

Cuando la presión del aire reboza la boquilla del soplete a una cierta Presión Crítica, ocurre un incremento anormal en la corrosividad de la pulverización del Agua Salina, si la presión con la boquilla no se puede soportar, se coloca una válvula adecuada para regular la presión, entonces la presión de aire se puede regular entre 0.007 kg/cm<sup>2</sup> (0.000687 Mpa) para que el soplete no trabaje a una presión crítica.

#### OBSERVACION:

Durante la manipulación de la pulverización del agua salina, cuando el saturador está a una temperatura adecuada y la concentración de la niebla recogida es demasiado alta, se ve que el aire no tiene gran efecto sobre las burbujas.

## 2. CONTROL DE TEMPERATURA.

Para mantener la temperatura dentro de la cámara hay varios métodos, es preferible que el aire que entra no esté a menos de 35 grados C. la tolerancia cumple con los siguientes requerimientos:

- 1) Cumplir con los requerimientos especificados en 8.1
- 2) La conductividad de calor en las paredes de la cámara y la temperatura ambiente.
- 3) La cantidad de aire que pasa dentro de la cámara.
- 4) Para saturar el aire, al momento de ser descargado dentro de la cámara de tal manera que tenga una humedad relativa de 95 a 98%. Las temperaturas necesarias para los valores de las diferentes presiones del aire comprimido se dan en la tabla 2 como referencia.

TABLA 2

Presión de Aire (Mpa)	0.0833	0.0980	0.1225
Temperatura °C.	45	47	50

Es preferible que en general la temperatura ambiente de la cámara pulverizadora de la sal sea regulada para mantenerla (la temperatura) tan uniforme como sea posible. Para cumplir con este propósito el aparato es colocado en un termostato, o se rodea con agua caliente a una temperatura definida. Una cámara completamente aislada, se puede calentar haciendo circular solamente aire precalentado. Como este método incrementa rápidamente la temperatura al abrir la cámara es necesario usar calor auxiliar con control automático. El usar un calentador eléctrico de inmersión en el tanque de agua salina, no es un requerimiento necesario.

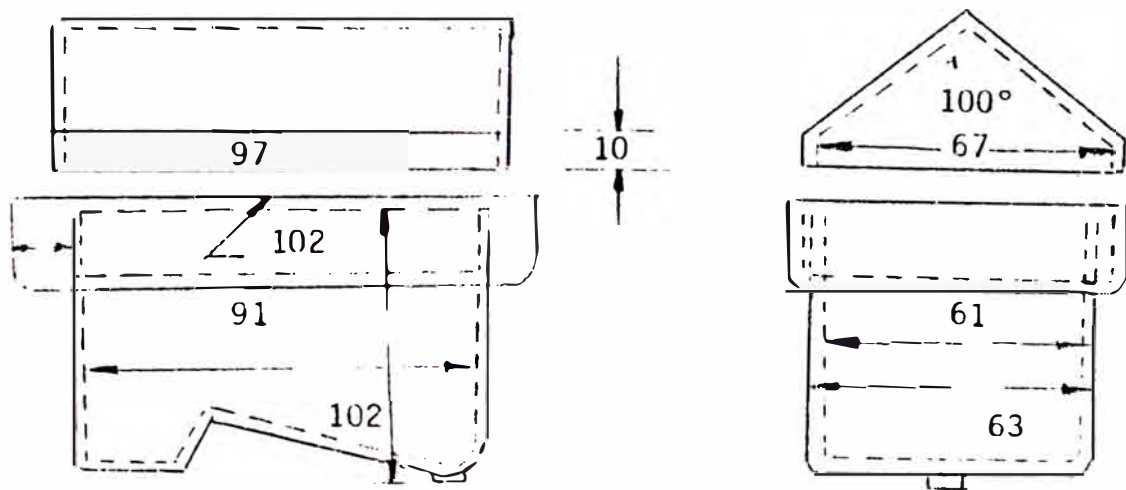
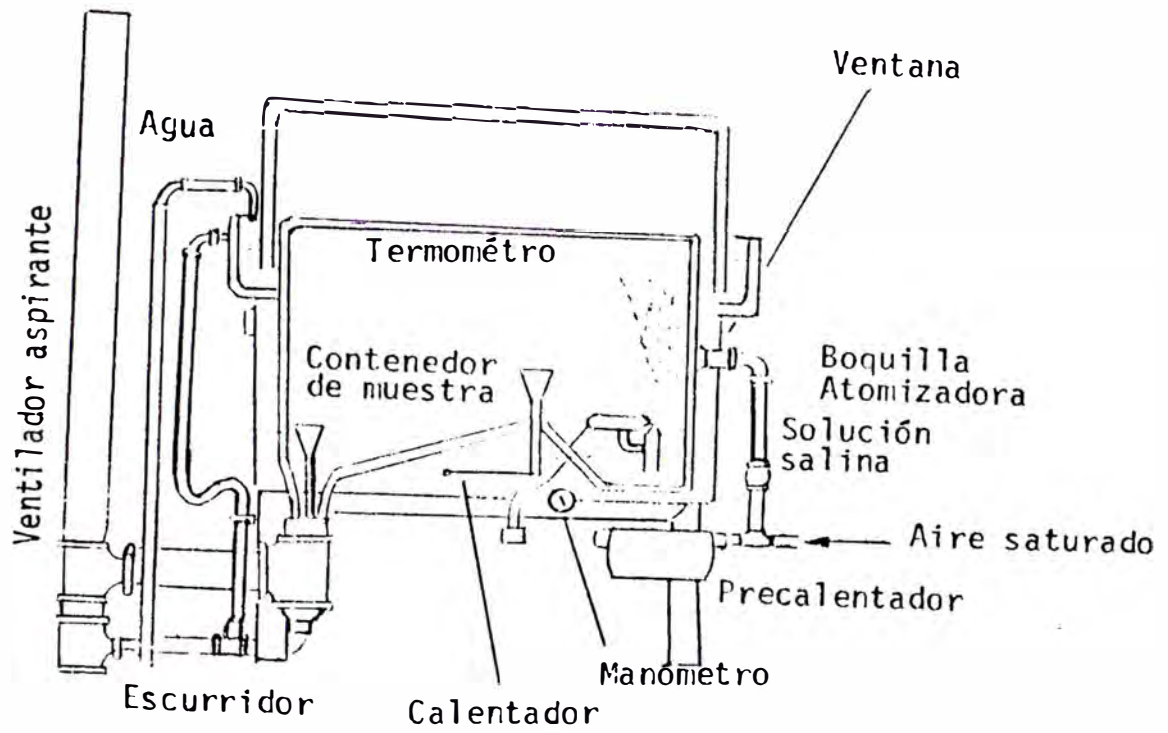


Figura 1. Aparato de prueba para pulverización salina

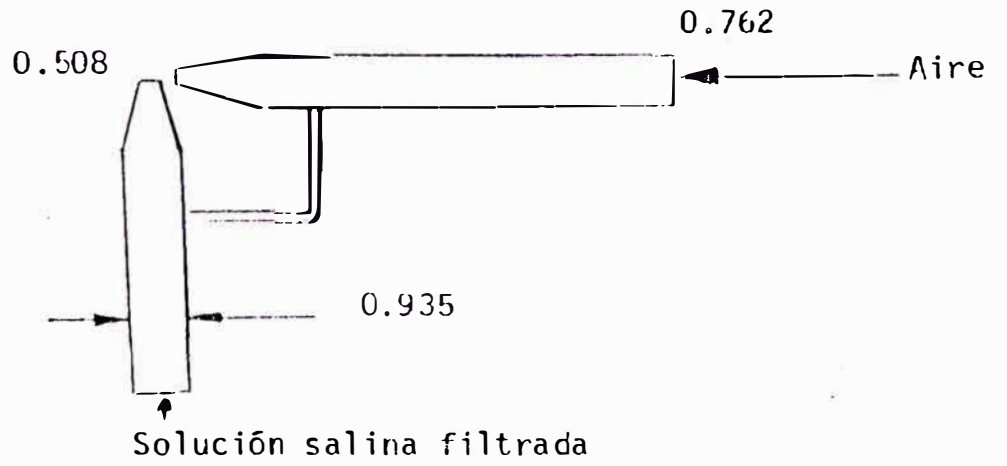


Figura 2. PULVERIZADOR DE VIDRIO

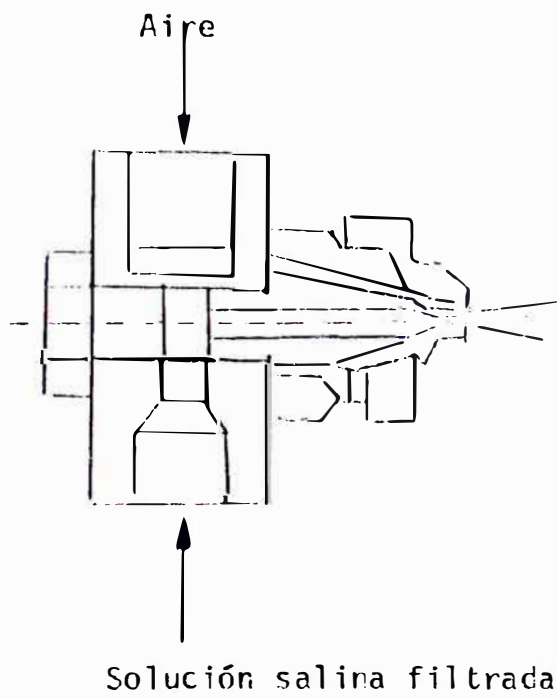


Figura 3. PULVERIZADOR DE METAL-MONEL

## APENDICE N° 4

### PRACTICA ESTANDARD PARA PREPARACION, LIMPIEZA Y EVALUACION DE LA CORROSION EN LOS ESPECIMENES DE ENSAYO.

#### ASTM G1-81

#### 1.-OBJETIVO:

1.1 Esta práctica sugiere procedimientos para la preparación de especímenes metálicos sólidos sin recubrimientos para ensayos de corrosión en laboratorio, y para los productos al final del ensayo, y para evaluar los daños que se han producido. Se ha enfatizado en la evaluación de la corrosión por mediciones de la pérdida de masa y picado.

NOTA 1- Precaución: En muchos casos el producto de la corrosión sobre los metales Ti y Zr están constituidos por un depósito de óxido duro y bien adherido que dificulta su extracción por métodos mecánicos primarios ordinarios. En estos casos, la velocidad de corrosión se establece pesando la ganancia de su peso en vez de la pérdida.

#### 2.-BIBLIOGRAFIA APLICABLE

##### 2.1- Estandar ASTM:

A 262 Práctica recomendada para detectar la susceptibilidad al ataque intergranular en

aceros inoxidable.  
D 1384  
G 31  
G 46

### 3.-IMPORTANCIA Y USO

3.1- No es pertinente a esta práctica, declaraciones de su importancia y uso.

### 4.-MUESTREO

4.1- El muestreo de los productos está fuera de los objetivos de esta práctica.

### 5.-METODOS PARA LA PREPARACION DE LOS ESPECIMENES DE ENSAYO

5.1- Condición de la superficie.

5.1.1- Una superficie comercial, lo más parecida a aquella que se usará en servicio, producirá los resultados más significativos en ensayos de corrosión en el laboratorio que simulan exposiciones en servicio al medio ambiente.

5.1.2- En caso de ensayos más minuciosos del metal ó del medio ambiente será preferible una superficie acabada standard. Esto podría lograrse por:



5.1.2.1- Desengrasado con un solvente orgánico o calor y un limpiador alcalino.

NOTA 2 Los álcalis calientes o solventes clorinados pueden atacar a algunos metales.

NOTA 3 La limpieza por ultrasonido puede ser beneficioso en procedimientos de limpieza antes y después del ensayo.

5.1.2.2- Baño en una solución apropiada ( en algunos casos los limpiadores químicos disueltos en la sección 7 serán suficientes ) en caso se presenten óxidos o manchas.

5.1.2.3- Pulido sobre una pulpa de un abrasivo conveniente o en papel abrasivo (ver prácticas recomendadas A262, D1384, y G631). Los bordes y las caras del espécimen se pulirán para remover las rebabas.

5.1.2.4 Enjuague total y secado.

## 5.2 Condición Metalúrgica

Cuando la preparación de los especímenes cambien la condición metalúrgica del metal, se usarán otros métodos de preparación o se corregirán las condiciones metalúrgicas en un tratamiento subsiguiente. Por ejemplo el corte de un espécimen a su tamaño, es un trabajo en frío que posiblemente fracture los bordes.

Estos bordes se maquinarán o el espécimen se recortará.

5.3- Los especímenes limpios y secos deberán medirse y pesarse. Se sugiere tomar las dimensiones determinadas en la tercera medición, la masa determinada en la quinta medición.

## 6.-METODO PARA LA LIMPIEZA ELECTROLITICA DESPUES DEL ENSAYO.

6.1- La limpieza electrolítica es un método conveniente para la mayoría de los metales comunes.

6.1.1- Es típico el siguiente método :

Después de escobillar para remover los productos de corrosión ligeramente atacados, electrolizar los especímenes como siguen:

H2 SO4 (g.e.e 1.84)	28ml
inhibidor orgánico	2ml (ver nota 4 )
agua	1lt.
temperatura	75° C (167° F)
tiempo	3 minutos
ánodo	carbon o plomo (Pb) (nota 5)
cátodo	especimen de ensayo
densidad de corriente	20 A/cm <sup>2</sup>

NOTA 4 En vez de usar 0.2% en volumen de cualquier

inhibidor apropiado. puede utilizarse aproximadamente 0.5 gr/lt. de inhibidores como diorthotolyl thiourea, quinoline ethiodide, o betanaphthol quinoline.

NOTA 5 Cuando se usa ánodo de Pb, el Pb podría depositarse sobre el espécimen y producir error en la pérdida de masa. Si el espécimen es resistente al ácido nítrico, se utilizará un baño rápido en 1Hl de ácido nítrico, salvo esta opción, el Pb es el ánodo preferido ya que facilita una más eficiente remoción de los productos de corrosión.

6.2 Debe observarse que este tratamiento puede resultar en la redeposición del metal como el Cu, de los productos de corrosión reducibles y así disminuir la pérdida aparente de masa.

## 7.- MÉTODOS PARA LA LIMPIEZA QUÍMICA DESPUES DEL ENSAYO

NOTA 6 Precaución: Este método puede ser peligroso para el personal. No debe ser realizado sin supervisión profesional.

### 7.1.- Aleaciones de Cu. y Ni.- Baño en:

HCl (g.e 1.19)	500 ml.
Agua	1 lt.
Temperatura	ambiente
Tiempo	1 a 3 min.

NOTA 7 Para evitar las pérdidas de metal durante la limpieza, deaerar la solución con nitrógeno puro antes de usarla.

7.2.- Aleaciones de Al.- Es conveniente el siguiente método:

7.2.1.- Baño en:

Acido crómico (CrO <sub>3</sub> )	20 g.
Acido fosfórico (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , q.e. 1.69)	50 ml.
Agua	1 lt.
Temperatura	80°C (176°F)
Tiempo	5 a 10 min., hasta limpiar.

7.2.1.1 Si permanece una película sumergir en: Acido nítrico (HNO<sub>3</sub> q.e. 1.42)

Temperatura	ambiente
Tiempo	15 min., o hasta limpiar.

NOTA 8 Precaución: Remover los depósitos extraños así como los productos de corrosión antes del tratamiento con HNO<sub>3</sub> para evitar reacciones violentas que pueden resultar en ataque a la aleación de aluminio (ver 7.9).

7.3.- Aleaciones de Ti. Inmersión en:

Fosfato Trisódico ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ )	150 g.
Agua	1 lt.
Temperatura	Ebullición
Tiempo	5 min.

#### 7.4.- Aleaciones de Pb.

Son convenientes los siguientes métodos:

7.4.1 De preferencia, usar el procedimiento electrolítico de la sección 6.

7.4.2 Sumergir en:

Acido acético (99.5%)	10 ml.
Agua	1 lt.
Temperatura	Ebullición
Tiempo	5 min.

7.4.3 Alternativamente, inmersión en:

Acetato de Amonio	50 g.
Agua	1 lt.
Temperatura	Caliente
Tiempo	5 min.

7.4.3.1 Esta solución remueve el óxido de Plomo ( $\text{PbO}$ ) y el sulfato de Plomo ( $\text{PbSO}_4$ ).

7.5.-Zinc. Son convenientes los siguientes métodos.

7.5.1.-Baño en:

Hidróxido de amonio (NH <sub>4</sub> OH, g.e., 0.90)	150 ml
Agua	1 lt.
Temperatura	Ambiente
Tiempo	Varios minutos.

7.5.2.-Luego inmersión en:

Acido crómico (CrO <sub>3</sub> )	50 g.
Nitrato de plata (AgNO <sub>3</sub> )	10 g.
Agua hasta completar	1 lt.
Temperatura	Ebullición
Tiempo	15 a 20 seg.

NOTA 9.- Al preparar la solución de ácido crómico, es conveniente disolver separadamente el nitrato de Ag y añadirlo al ácido crómico en ebullición para evitar la excesiva cristalización del cromato de Ag. El ácido crómico debe estar libre de sulfato para evitar el ataque del Zinc.

7.5.3.- Sumergir en:

Acido yodhídrico (g.e., 1.5, HD)	25 ml
Agua para completar	1 lt.
Temperatura	Ebullición
Tiempo	1 minuto

7.6.-Aleaciones de Ni

Baño en:

Acido crómico (CrO3)	150 g.
Cromato de Ag (Ag <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub> )	10 g.
Agua para completar	1 lt.
Temperatura	
Tiempo	

### 7.7.-Hierros y Aceros

Son convenientes los siguientes métodos :

7.7.1.-El Método del hidruro de sodio caliente es excelente para estos casos desde el punto de vista de la fácil remoción de los productos de corrosión y del mínimo ataque sobre el metal. Se prefieren otros métodos debido a que es peligroso y requiere un equipo algo más sofisticado. Una elección alternativa es la limpieza electrolítica (ver sección 6).

### 7.7.2.-Baño en la solución de Clarke

Acido clorhídrico (HCl, d.e 1.19)	1 lt.
Trióxido de antimonio (Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	20 g.
Cloruro estañoso (Sn Cl <sub>2</sub> )	50 g.
Temperatura	Ambiente
Tiempo	hasta 25 min.

7.7.2.1.- La solución debe agitarse vigorosamente o el espécimen fusionarse con un complemento no abrasivo de madera o goma.

## 7.7.3.-Sumergir en:

Acido sulfurico ( $H_2SO_4$ , g.e. 1.84)	100 ml.
Agua hasta hacer	1 lt.
Temperatura	50°C (120 F)

## 7.8.-Aceros Inoxidables:

7.8.1.-Son utiles los métodos dados en 7.7.1

## 7.8.2.-Inmersión en:

Acido nitrico ( $HNO_3$ , g.e. 1.42)	100 ml.
Agua hasta hacer	1 lt.
Temperatura	60°C (140 F)
Tiempo	20 minutos.

## 7.8.3.-Alternativamente sumergir en:

Citrato de amonio	150 g.
Agua hasta hacer	1 lt.
Temperatura	70°C (158 F)
Tiempo	10 a 60 minutos.

7.9.-En algunos casos puede utilizarse la limpieza mecánica en vez de o como complemento al tratamiento químico para remover los depósitos adherentes groseros.

Un rascador relativamente blando o una escobilla de cerdas de fibra dura evitarán rayaduras o remoción de



metal sobre la superficie del espécimen. Sin embargo, con este método no se pueden remover todos los productos de las picaduras.

NOTA 10.- La limpieza mecánica vigorosa solo es aplicable cuando las pérdida de masa son grandes, y por lo tanto los errores en pérdida de masa, producirán solo errores pequeños en las velocidades de corrosión. Correcciones con ensayos en blanco serán difíciles de aplicar.

7.10.-En todos los métodos mencionados los especímenes deberán enjuagarse después de la limpieza y escobillarse ligeramente con una escobilla de cerdas bajo una corriente de agua. La inmersión para limpieza podrá repetirse como sea necesario. Después del enjuague, los especímenes se secarán y se pesarán.

## 8.-CALCULO DE LA VELOCIDAD DE CORROSION

8.1.-Con cualquier método usado, está presente la posibilidad de remover metal sólido, lo que resulta en error en la determinación de la velocidad de corrosión. Para chequear, uno o más especímenes limpios y pesados se volverán a limpiar con el mismo método y se pesarán.

Las pérdidas producidas por este segundo tratamiento se pueden usar como una corrección aproximada del primer tratamiento (ver apéndice 2 para un método más exacto)

8.2.-Con el área superficial total inicial del espécimen (dando tolerancias para el cambio en área debido a los agujeros de montaje) y la pérdida de masa durante el ensayo determinados, la velocidad de corrosión promedio podrá obtenerse de:

$$\text{Velocidad de Corrosión} = (K \times W) / (A \times T \times D)$$

donde:

- K = Constante (ver 8.2.1)  
 T = Tiempo de exposición en horas, con aproximación de 0.01h.  
 A = Área en cm<sup>2</sup> con aproximación de 0.01 cm<sup>2</sup>  
 N = Pérdida de masa en g, con aproximación de 1 mg.  
 D = Densidad en gr/cm<sup>3</sup> (ver apéndice 1)

8.2.1.-Para expresar las velocidades de corrosión se usan diferentes unidades. Con las unidades utilizadas arriba, la velocidad de corrosión puede calcularse en diversas unidades con los siguientes valores de K.

Unidades deseadas de la velocidad de Corrosión	Constante (K) en la ecuación en la velocidad de corrosión.
Milésimas de pulgada por año (m.p.a.)	$3.45 \times 10^6$

Fulgadas por año (p/a)	$3.45 \times 10^2$
Fulgadas por mes (p/m)	$2.87 \times 10^4$
Milímetros por año (mm/a)	$8.76 \times 10^7$
Micrómetros por año (u/a)	$8.76 \times 10^6$
Picómetros por segundo (pm/s)	$2.78 \times 10^6$
Gramos por metro cuadrado por hora (g/m.h)	$1.00 \times 10^4 \times D^A$
Miligramos por decímetros cuadrado por día (m.d.d)	$2.40 \times 10^6 \times D^A$
Microgramos por metro cuadrado por segundo ( $\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{s}$ )	$2.78 \times 10^6 \times D^A$

(A).-La densidad no es necesaria para calcular la velocidad de corrosión en estas unidades, la densidad en la constante K anula la densidad en la ecuación de velocidad de corrosión.

NOTA 11.- Si se desea, estas constantes pueden usarse para convertir la velocidad corrosión de unas unidades a otras. Para convertir de unidades X a unidades Y, multiplicar por  $KY/KX$ , por ejemplo:

$$15 \text{ mp/a} = 15(2.78 \times 10^6) / (3.45 \times 10^2) \text{ pm/s}$$

8.3.- Las Velocidades de Corrosión calculados a partir de la pérdida en masa pueden ser engañosos cuando existe un deterioro altamente localizado, como en la corrosión por picaduras o agrietamiento. Si la corrosión está en forma de picaduras, puede medirse con

Fulgadas por año (p/a)	$3.45 \times 10^3$
Fulgadas por mes (p/m)	$2.87 \times 10^2$
Milímetros por año (mm/a)	$8.76 \times 10^4$
Micrómetros por año (u/a)	$8.76 \times 10^7$
Picómetros por segundo (pm/s)	$2.78 \times 10^6$
Gramos por metro cuadrado por hora (g/m.h)	$1.00 \times 10^4 \times D^A$
Miligramos por decímetros cuadrado por día (m.d.d)	$2.40 \times 10^6 \times D^A$
Microgramos por metro cuadrado por segundo ( $\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{s}$ )	$2.78 \times 10^6 \times D^A$

(A).-La densidad no es necesaria para calcular la velocidad de corrosión en estas unidades, la densidad en la constante K anula la densidad en la ecuación de velocidad de corrosión.

NOTA 11.- Si se desea, estas constantes pueden usarse para convertir la velocidad corrosión de unas unidades a otras. Para convertir de unidades X a unidades Y, multiplicar por  $KY/KX$ , por ejemplo:

$$15 \text{ mp/a} = 15(2.78 \times 10^6) / (3.45 \times 10^6) \text{ pm/s}$$

8.3.- Las Velocidades de Corrosión calculados a partir de la pérdida en masa pueden ser engañosos cuando existe un deterioro altamente localizado, como en la corrosión por picaduras o agrietamiento. Si la corrosión está en forma de picaduras, puede medirse con

un calibrador de profundidad o con un compás de micrómetro con puntas de fungue (ver práctica recomendada 646). Los métodos microscópicos determinarán la profundidad del picado enfocándolo desde la superficie hasta el fondo, cuando se observa desde arriba (usando el botón de enfoque) o examinando la sección que ha sido montada y pulida metalográficamente. El factor de picadura es la relación entre la penetración más profunda del metal a la penetración promedio (medida por la pérdida de masa).

8.4 Otros métodos para evaluar los deterioros de la corrosión son:

8.4.1. Apariencia.- la degradación de la apariencia por oxidación, enmohecimiento, o empañamiento.

8.4.2. Propiedades mecánicas.- Habrá una pérdida aparente en la resistencia a la tensión como resultado de la reducción del área de la sección transversal.

Esta pérdida resultará si existe un cambio metalúrgico, como que ocurran rupturas. Las pérdidas en la resistencia a la tensión y la elongación resultará de un ataque localizado como agrietamiento.

8.4.3. Propiedades eléctricas.- Por agrietamiento o picadura se produce pérdidas en la conductividad aparente .

8.4.4.-Examen Microscópico: La ruptura, exfoliación, agrietamiento o ataque intergranular puede medirse por examen metalográfico de secciones convenientemente preparadas.

## 9.-INFORME

9.1.-El informe incluirá las posiciones, composiciones y tamaños de los especímenes, condición metalúrgica preparación de la superficie y métodos de limpieza post-corrosión así como las mediciones del deterioro de la corrosión tal como (calculado de la pérdida de masa), profundidad máxima del picado, o pérdidas en las propiedades mecánicas.

## 10.-PRECISION Y EXACTITUD

10.1.-No se ha determinado precisión y exactitud para esta práctica.

## APENDICES

### 1.0 Densidades de una variedad de metales, aleaciones

Aleaciones de Cu	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )
Cobre	8.94
Latones:	
Bronce comercial 220	8.80
Bronce rojo 230	8.75
Bronce de cartuchería 260	8.52
Metal Muntz 280	8.39
Admiralty 442,443,444,445	8.52
Bronce al Al 687	8.33
Aleaciones de Al	
Bronce al Al 5% 608	8.16
Bronce al Al 8% 612	7.78
Composición M	8.45
Composición G	8.77
Bronce fosforoso 5% 510	8.86

2.0 Métodos para determinar pérdida de masa cuando la limpieza puede atacar el metal base .

2.1.- Repetir el procedimiento de limpieza varias veces, pesar después de cada limpieza, plotear la pér-

didada de masa vs el tiempo total de limpieza o el # de limpiezas, ver fig. 2.1 La ordenada en la intersección de las 2 líneas es la pérdida de masa producida solo por los productos de corrosión. El método se aplica particularmente a la limpieza electrolítica, ver sección 6.



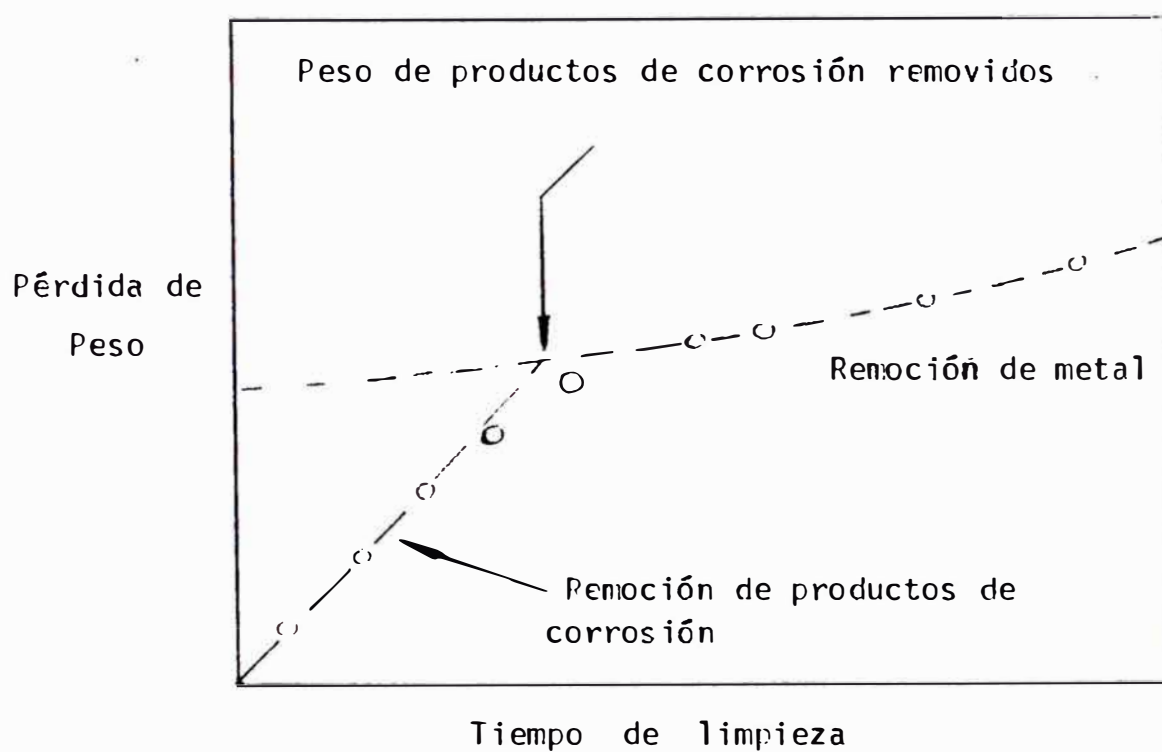


Figura 2.1 PERDIDA DE PESO VERSUS TIEMPO DE EXPOSICION DEL ESPECIMEN DURANTE LA LIMPIEZA.

## APENDICE N° 5

ASTM DESIGNACION D 609-61 (REVISADO EN 1968)

METODOS ESTANDARD PARA LA PREPARACION DE PANELES DE ACERO PARA ENSAYAR PINTURAS, BARNICES, LACAS Y PRODUCTOS RELACIONADOS.

### OBJETIVO

1- (a) Este método prescribe el tipo de paneles de acero a usarse y el procedimiento a seguir en su preparación para ensayar pinturas, barnices, lacas y productos relacionados.

(b) Se cubren 3 métodos de preparación de paneles:

METODO A.- Paneles para ensayar en aceros sin tratamiento químico.

METODO B.- Paneles para ensayar en aceros lavados con ácido fosfórico.

METODO C.- Paneles para ensayar en aceros tratados químicamente.

### PANELES DE ENSAYO

2.- Los paneles de ensayo deben prepararse en acero

laminado en frío nuevos y libres de óxidos cuyos espesores estén dentro del rango de 0.024 a 0.038" (0.61 a 0.96 mm). El acero responderá a las especificaciones para flejes de acero al carbono laminado frío (designación ASTM: A109), las especificaciones para chapas de acero al carbono laminado en frío (designación ASTM: A 366) y tendrán una dureza rockwell de 55 a 75 en la escala B. tendrá una superficie bruta de 30 a 50 micro pulgadas (promedio aritmético), laminado. Se permitirá como máximo 15 a 20 micropulgadas (promedio aritmético) de pulido plomo en la superficie del acero.

(Nota 1) El acero será cubierto en el laminador con un compuesto conveniente para prevenir el herrumbrado en el almacenado.

Después de cortado el acero en paneles, el recubrimiento se removerá como se describe en el método A. los paneles suministrados limpios serán envueltos en un panel impregnado con nitrato dicidohexilamonio, o equivalente y luego sellados en un sobre o envoltura a prueba de agua. Si se requiere el recubrimiento del panel limpio con un compuesto anti-oxidante conveniente, el envoltorio interior puede ser un papel de pH neutro o polietileno. Estos paneles no deberán tener un tamaño menor de 2 3/4" x 5 7/8" . Los bordes y las esquinas deberán ser alisados y redondeados.

NOTA 1 El pulido plomo, es un método de pulido uniforme de la superficie del acero con fajas abrasivas para reconocer las contaminaciones de la superficie que pueden influenciar la uniformidad de los resultados de los ensayos obtenidos con los paneles de ensayo de acero.

Para asegurar la extracción total de la superficie contaminada, la superficie original deben ser removido completamente lo que se determina con inspección visual, en cualquier caso, se remueve un mínimo de 0.0003 pulgadas de superficie.

Poner mucho cuidado en la operación de los aparatos de pulido y en la limpieza de los paneles para ensayo a fin de asegurar que cascajos y partículas de acero no queden sobre la superficie pulida.

#### SOLVENTES Y REACTIVOS

(a) Alcohol desnaturalizado (95%)

- Especialmente alcohol desnaturalizado correspondiente a cualquiera de los siguientes fórmulas de la U.S. Bureau of internal reveniul:

S.D 2-B, 5D-3A; 5 D 1 Z- A, SD 13 - A SD 23 - A, SD - 28, SD 30, SD 32, SD 35, SD 35 - A.

(b) Hidróxido de amonio (g.e. 0.90)

Hidróxido de amonio concentrado (NH<sub>4</sub>OH)

(C) Alcohol metílico (metanol) de acuerdo a las especificaciones para el alcohol metílico (metanol) (designación ASTM: D1155).

(D) Acido fosfórico (1:1) mezclar volúmenes iguales de ácido fosfórico concentrado ( $H_3PO_4$ , 85%) y agua destilada.

(e) Mezcla solvente- preparar una mezcla solvente consistente de volúmenes iguales de Varish Maker y Pointer's nafta (VM y P ) y xileno. o de 3 volúmenes iguales de (VM y P ) y un volumen de etilenglicol monoetil eter de acuerdo a las especificaciones. Para el etileno glicol monoetil eter se tiene la designación ASTM: D 331)

NOTA 2 Previo acuerdo entre el comprador y el suministrador puede usarse otras combinaciones de solventes mencionadas en el párrafo e.

(f) tricloroetileno estabilizado conformado y mantenido de acuerdo a las especificación Army-Navy para el tricloroetileno disolvente estabilizado (AN-T-37a)

METODO A: paneles para ensayo en aceros sin tratamiento

4.- Restregar vigorosamente los paneles libres de óxidos en ambos lados con un humedecido en el solvente para remover la capa de grasa o aceite. Limpiar los paneles como se describe en el procedimiento 1, solvente en spray procedimiento 2, desgrasado al vapor. Paro procedimiento 3, escobillado con solvente. párrafos (a), (b) o (c). No se dejará marcas del arenado en la superficie del panel (a) procedimiento 1: Limpieza con solvente en spray

-Rociar la mezcla solvente (sección 3(c) ) hacia abajo en ángulo agudo con la superficie del panel usando una pistola de spray operada con el extremo del líquido abierto y el extremo de atomizador completamente cerrado.

La práctica preferida es apoyar los paneles en un bastidor a un ángulo de aproximadamente 25° de la vertical y mantener la pistola del spray tal que el chorro esté dirigida verticalmente hacia abajo. Los pies de los paneles deben descansar sobre proyecciones, tal como uñas, que permitan al solvente escurrir al extremo del fondo. Dirigir el solvente sobre la superficie del panel del modo que escurra en forma oscilante moviendo el spray progresivamente desde el tope de la base del panel hasta que todo los solubles, manchas ligeramente adheridas hayan sido lavadas. El tratamiento mínimo consiste de 5 lavados tres por el lado a ensayar y dos por el reverso. Alternar el lavado, iniciando y acabando con el lado a ser ensayado.

Dejar secar los paneles a temperatura ambiente hasta que se evapore todo el solvente (aprox. 15 min.). Luego frote los paneles vigorosamente con un paño limpio y deshilachado para remover cualquier mancha o mugre.

Después de este tratamiento sumergir un panel de cada veinte, momentáneamente en agua destilada, si no se forma una película continua repetir todo el proceso de limpiado (Nota 3).

Luego cubrir los paneles limpios inmediatamente o almacenarlos en un desecador hasta que se necesite. Tratar los paneles limpiados por el suministrador como los limpios cuando la original cubierta exterior impermeable no esté quebrada. No tocar los paneles con los dedos durante todo el proceso de preparación.

NOTA 3 Algunas veces puede ser necesario sumergir los paneles en alcohol metílico para obtener una superficie libre de fracturas de agua. Cuando es así, sumergir los paneles en alcohol metílico. Extraer, secar a 125 ó 200°F y dejar enfriar a temperatura ambiente antes de cubrirlo o almacenarlo.

(b) Procedimiento 2. Desgrasado al vapor suspender los paneles en un desgrasador del tipo de vapor conteniendo tricloroetileno estabilizado y dejar que permanezcan sobre el solvente hirviendo hasta que alcance la temperatura del vapor, en la que la etapa de condensación en los paneles no ocurra mayormente. Dejar los paneles enfriar a la temperatura ambiente, frotar vigorosamente con un paño limpio, deshilachado, sumergir en alcohol metílico, secar y chequear para las

grietas de agua, como se describe en procedimiento 1.

(c) Procedimiento 3. Limpiado con solvente al cepillo. Friccionar con una escobilla fuerte el panel con la mezcla solvente (sección 3e) hasta que todas las manchas ligeramente adheridas hayan sido limpiadas, luego limpiar con chorros de solventes limpio. Dejar secar los paneles a temperatura ambiente o forzar el secado a una temperatura no mayor de 30°F. Dejar enfriar los paneles a temperatura ambiente, frotar los paneles vigorosamente con un paño limpio y deshilachado y chequear para las grietas de agua como se describe en el proceso 1.

METODO B. Paneles para ensayar en acero limpiados con ácido fosfórico.

5. Los paneles libres de óxidos limpiados forma standard, como se describe en el método A, incluyendo el frotado con un paño limpio y deshilachado.

Después del frotado, remojar los paneles en ácido fosfórico (1:1) a  $80 \pm 5^\circ\text{F}$ . por un minuto (nota 4). Enjuagar los paneles inmediatamente rociando con agua destilada por un mínimo de 15 segundos y notar si se forma una película continua. Rocíar todos los paneles que conserven una película continua (esto es, que no muestren grietas de agua) con alcohol desnaturalizado



al 95% al cual se ha añadido 1%, en volumen, de hidróxido de amonio (g.e. 0.90). Secar los paneles a una temperatura entre 125 a 200°F y cubrirlos inmediatamente o almacenarlos en un desecador hasta su posterior uso. No tocar los paneles con los dedos durante el proceso de preparación.

NOTA 4. No usar la solución de ácido fosfórico para limpiar más que 100 pies cuadrados de superficie de panel por litro de solución.

METODO C. Paneles para ensayo en aceros tratados químicamente.

6. Usar paneles standard libre de óxidos.

Cubrir los paneles con un recubrimiento de fosfatos u otra conversión de recubrimiento representativo de la performance en operación.

Las condiciones de tratamiento se acordarán entre el comprador y el vendedor.

## BIBLIOGRAFIA

1. AVNER, SYDNEY H.  
Introducción a la Metalurgia Física  
2da. Edición México, Mc. Graw Hill
2. BROWN P.W. and L.W. MASTERS  
Factors Affecting the Corrosion of  
Metals in the Atmosphere  
National Bureau of Standards, Building  
Materials División, Center for Building  
Technology, Washington D.C.
3. CARTER V.E.  
Atmospheric Corrosion of iron Ferrous Metals  
19 Newholme Lane, Water Field  
Yorshire, U.K.
4. CHAMPION F.A.  
Ensayos de Corrosión  
Ediciones Urmo, Bilbao
5. ESPADA L., SANCHEZ A.M., VILAR J.C.  
Departamento de Química  
Escuela Técnica Superior de Ingenieros.  
Industriales.

6. FELIU S. MORCILLO M.  
Corrosión y Protección de los Metales en la  
Atmósfera.  
Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas.
7. FOUST A.S.  
Principio de Operaciones Unitarias.  
Cía. Editorial Continental S.A.  
De C.V. México.
8. GUTTMAN H.  
Metal Corrosion in the Atmosphere  
ASTM. STP. 435. 1968.
9. MATAMALA R. Miguel  
Universidad de Concepción de Chile  
Facultad de Ingeniería.
10. Mc. Geary L. Frank  
Corrosión Testing.
11. MICKAILOVSKY U.M.  
Theoretical and Engineering Principles of  
Atmospheric Corrosion of Metals  
Institute of Physical Chemistry  
U.S.S.R. Academy of Science Moscow. Soviet Union
12. Compton Kenneth G.  
Atmospheric Corrosion  
NACE-1970

13. PIATTI LUIGI

Materiales de la Ingeniería Química

Ed. Urmo S.A. de Ediciones Bilbao-  
España.

14. JHON PERRY

Manual de Ingeniería Química.

15. SILENCE W.L.

Material Engineering Using Test and Service  
Histories to select Metal Alloys

Urmo S.A. Ediciones.

16. TOMASHOV N.A.

Theory of Corrosion and Protection of Metals.

Mc Millan Co. Nueva York.

17. TUDELA F.

Corrosión Atmosférica.

U.P. La Católica.

18. TÖDT FRITZ

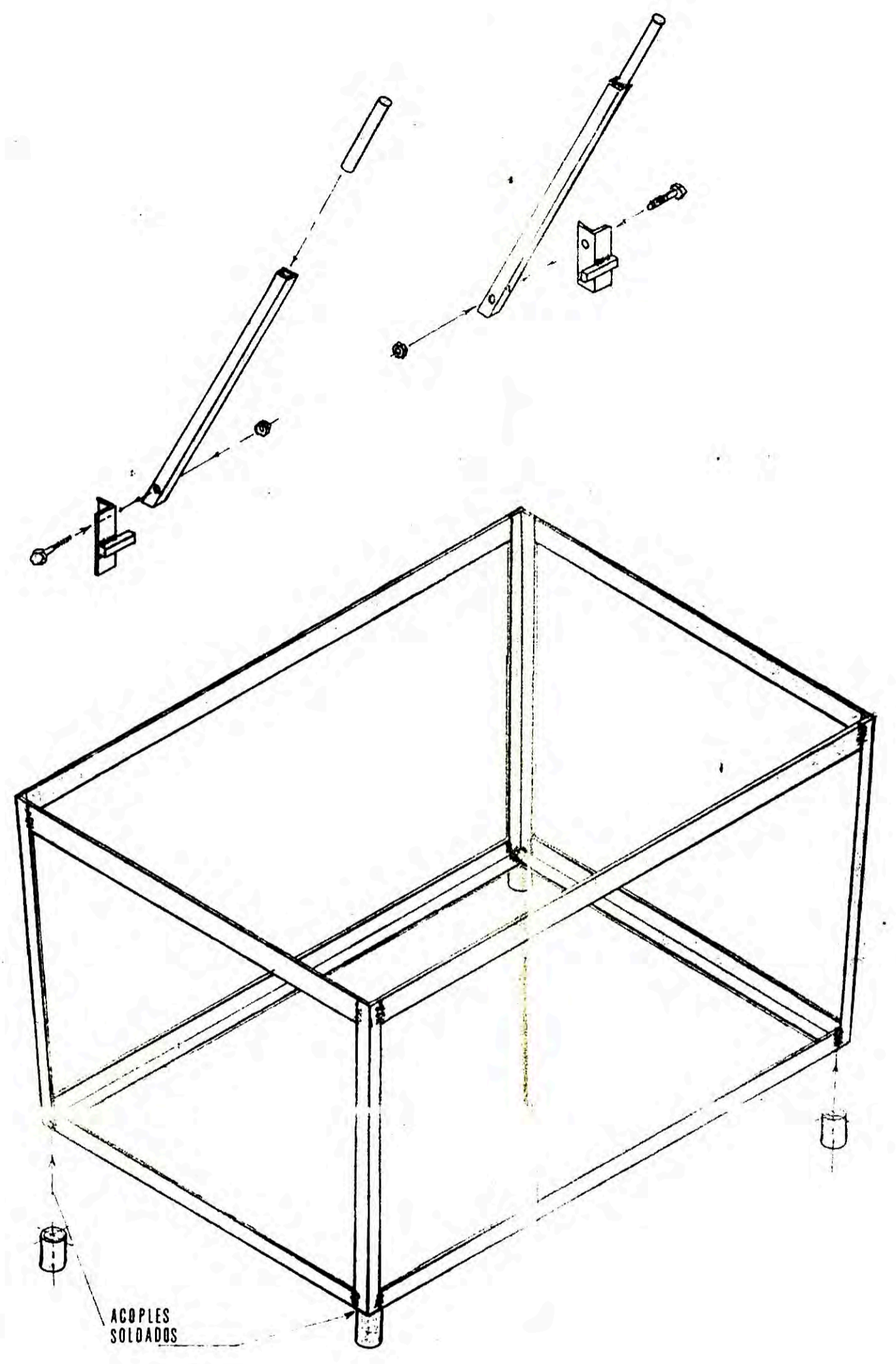
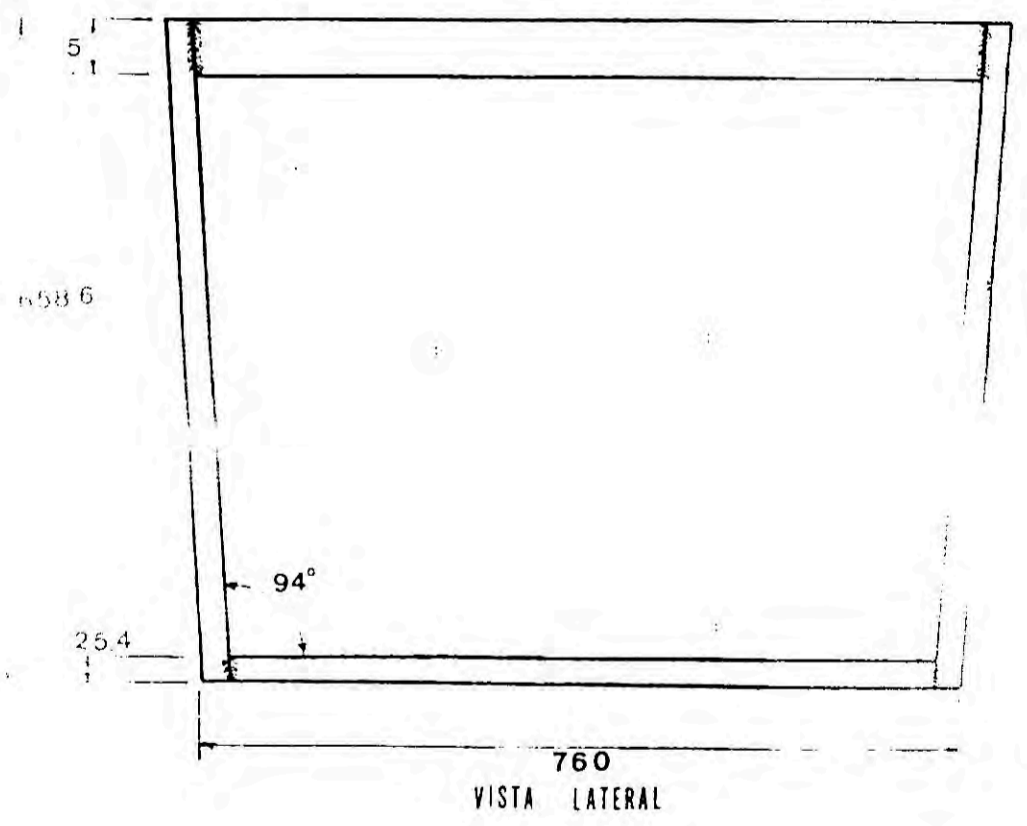
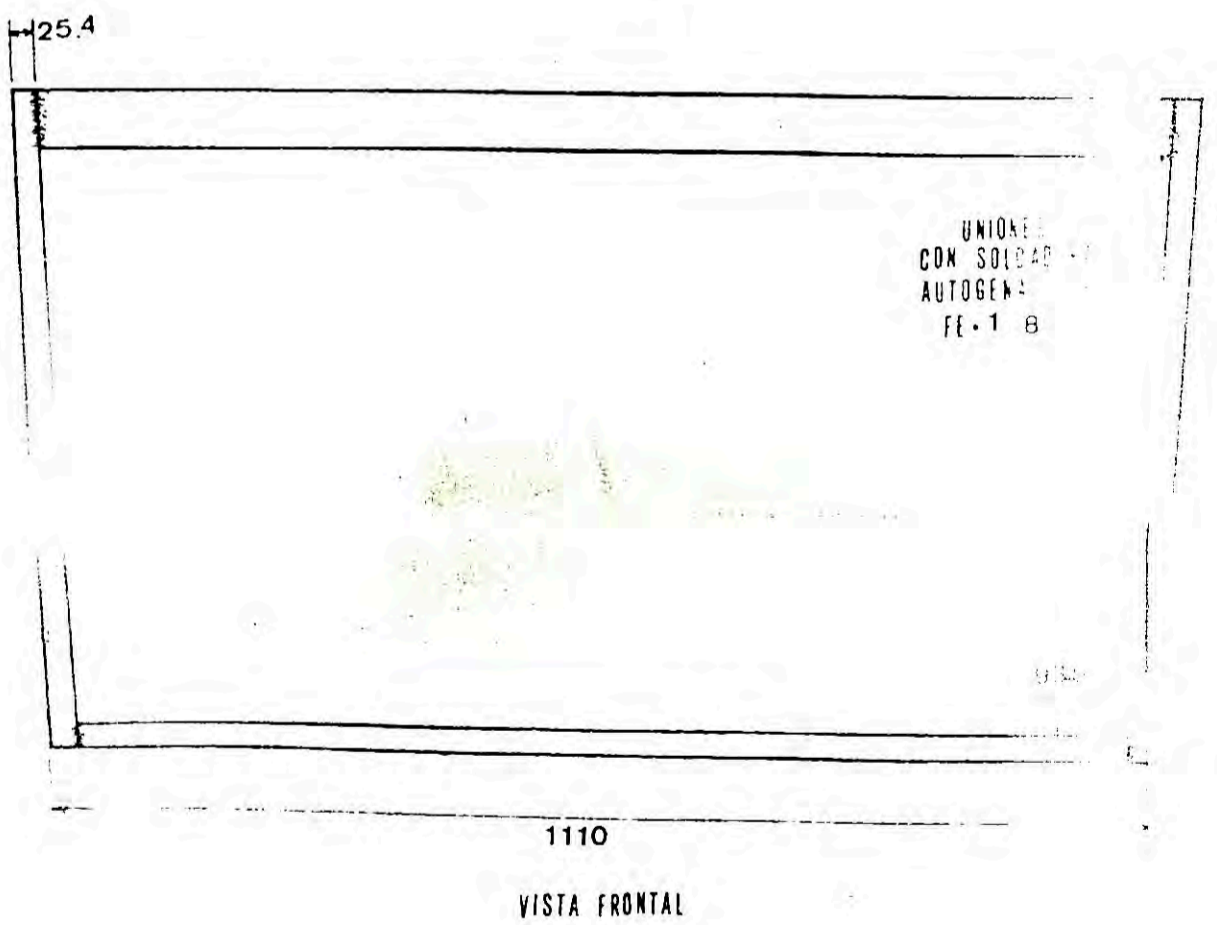
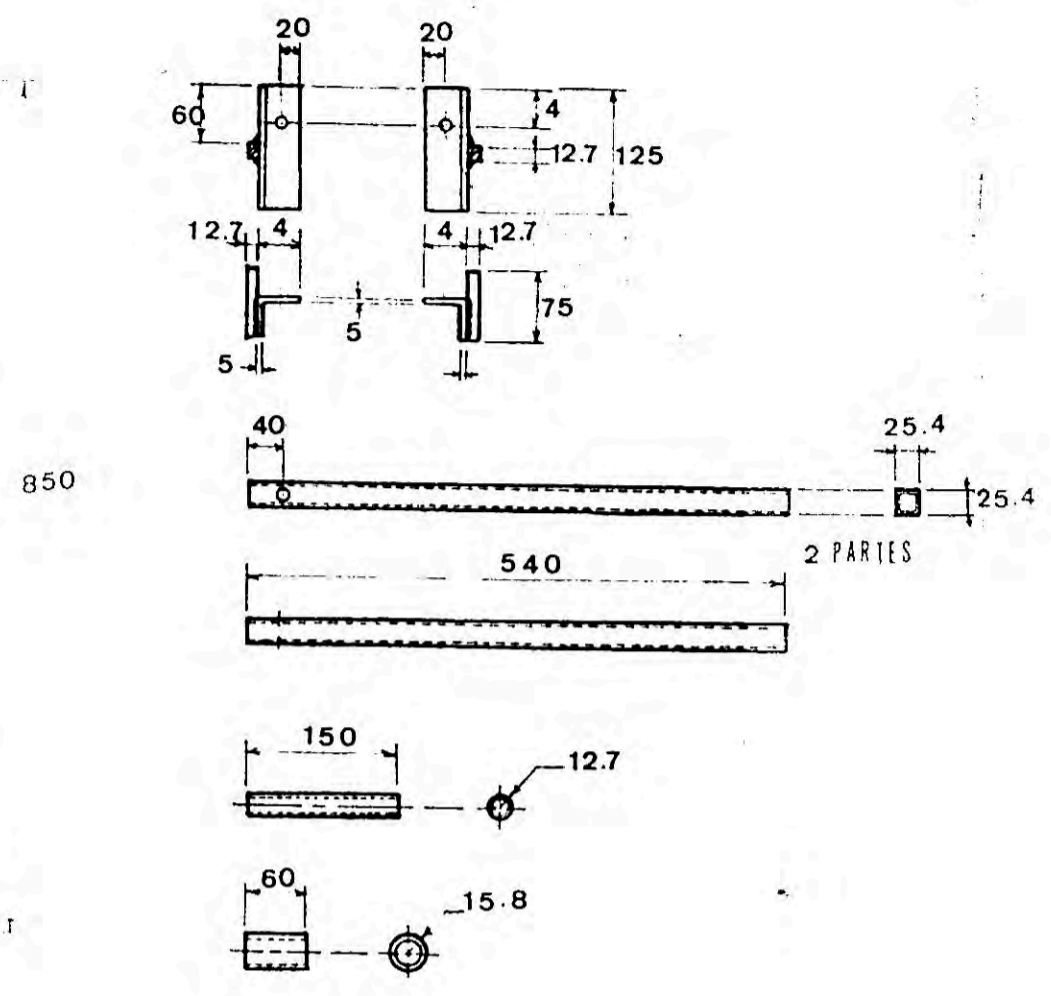
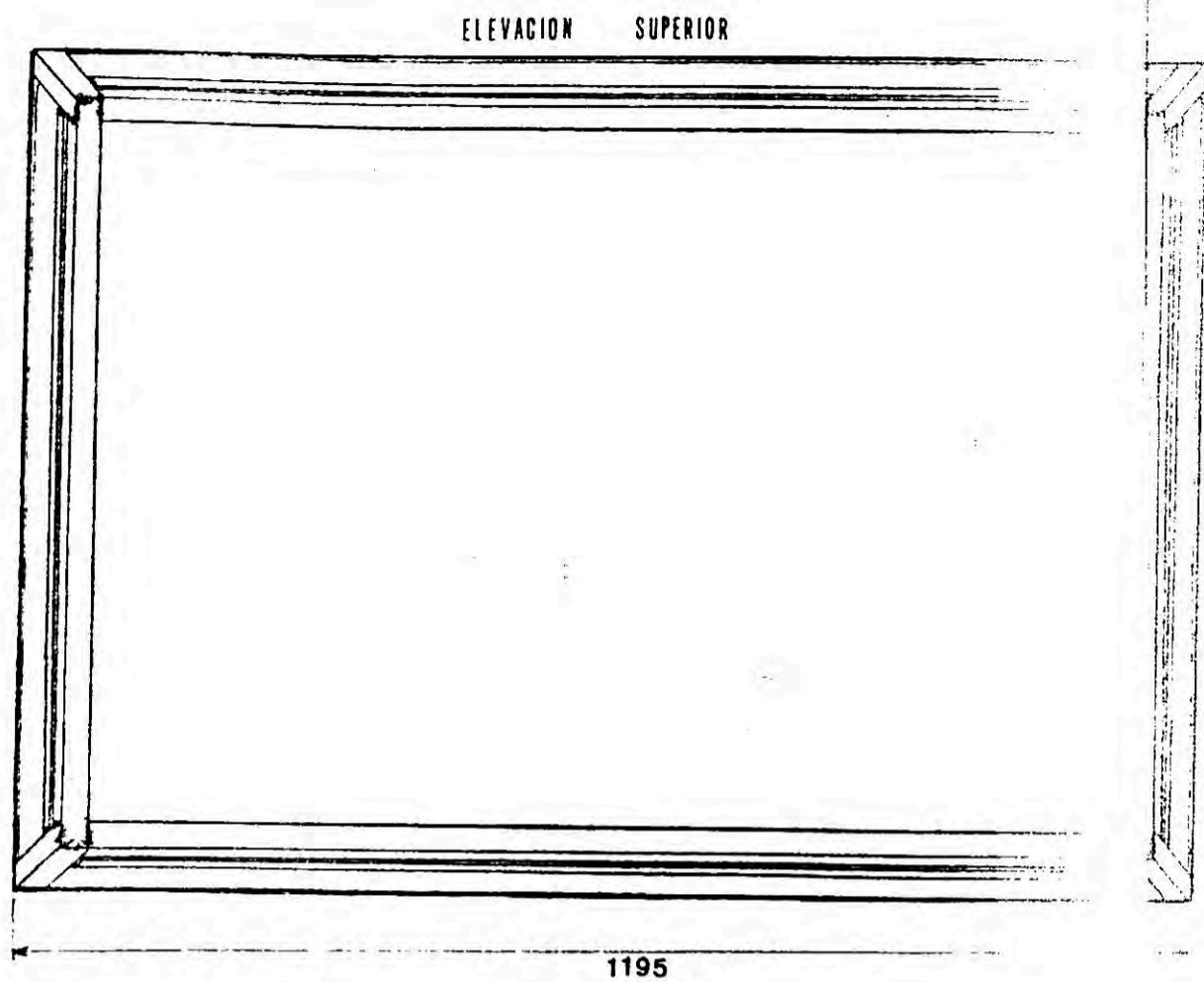
Corrosión y Protección.

Ed. Aguilar-Madrid.

19. UHLIG HERBERT H.

Corrosion and Corrosion Control and  
Introduccion to Corrosion Science  
and Engineering.

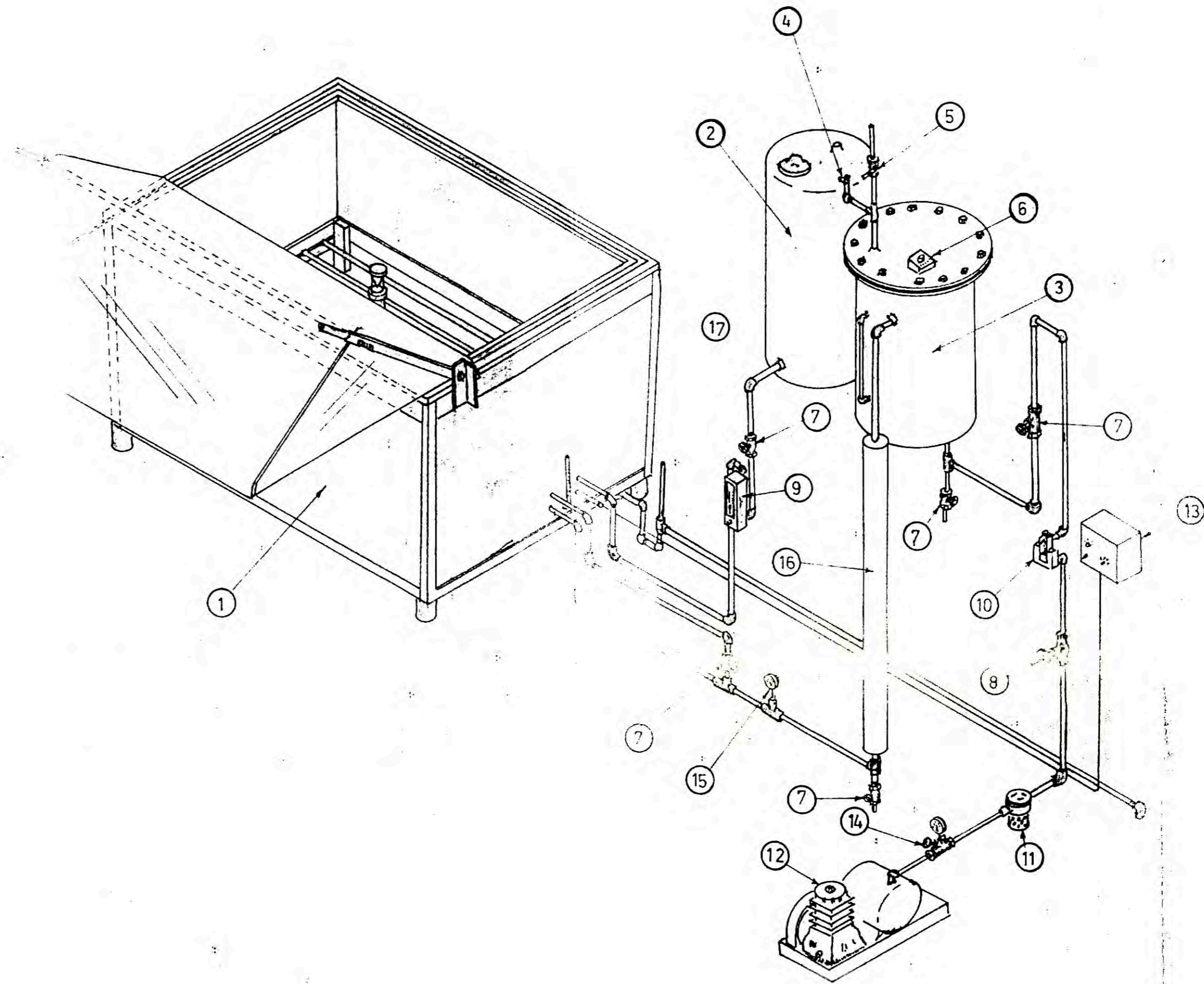
Ed. Jhon Wiley & Sons Inc.



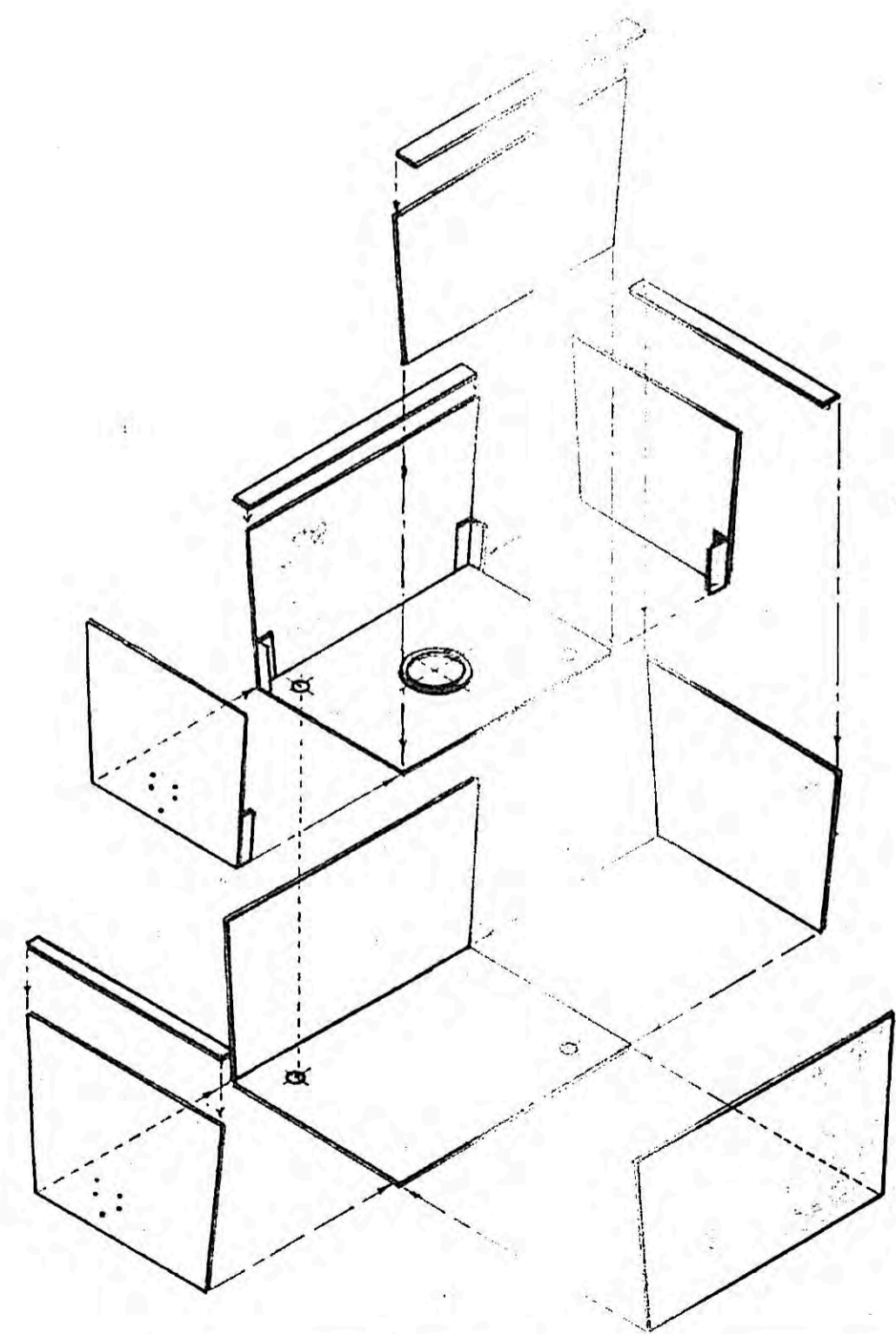
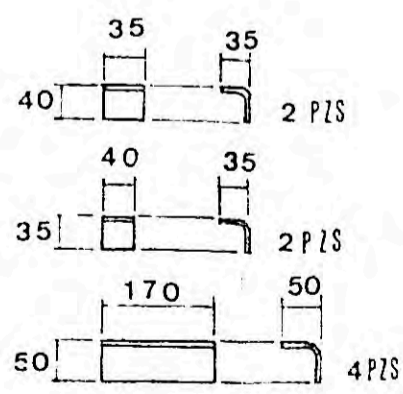
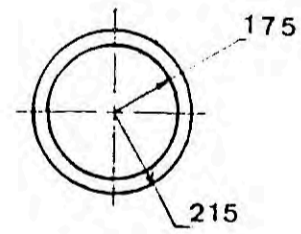
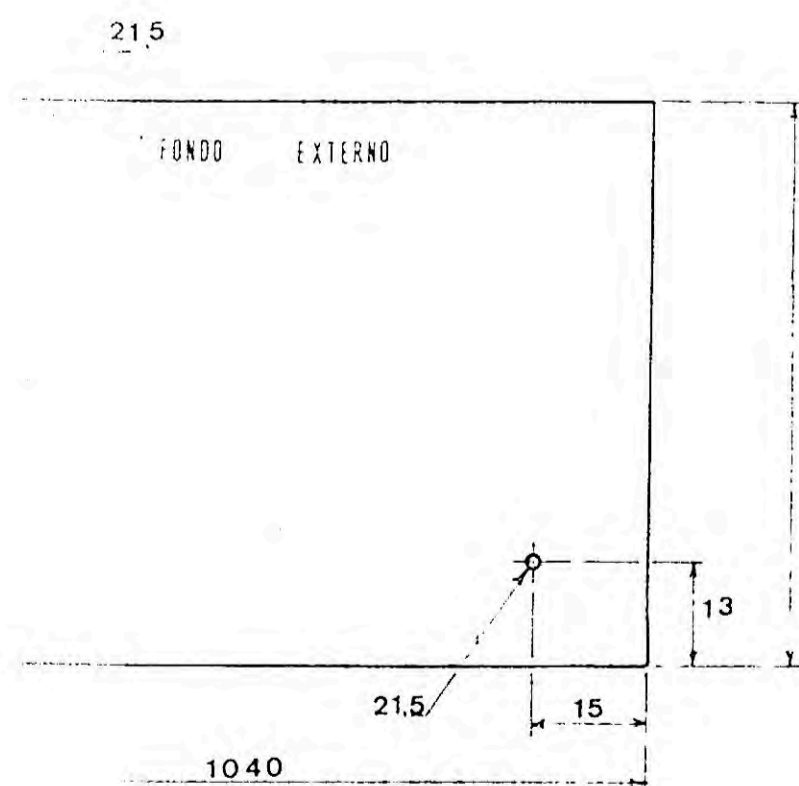
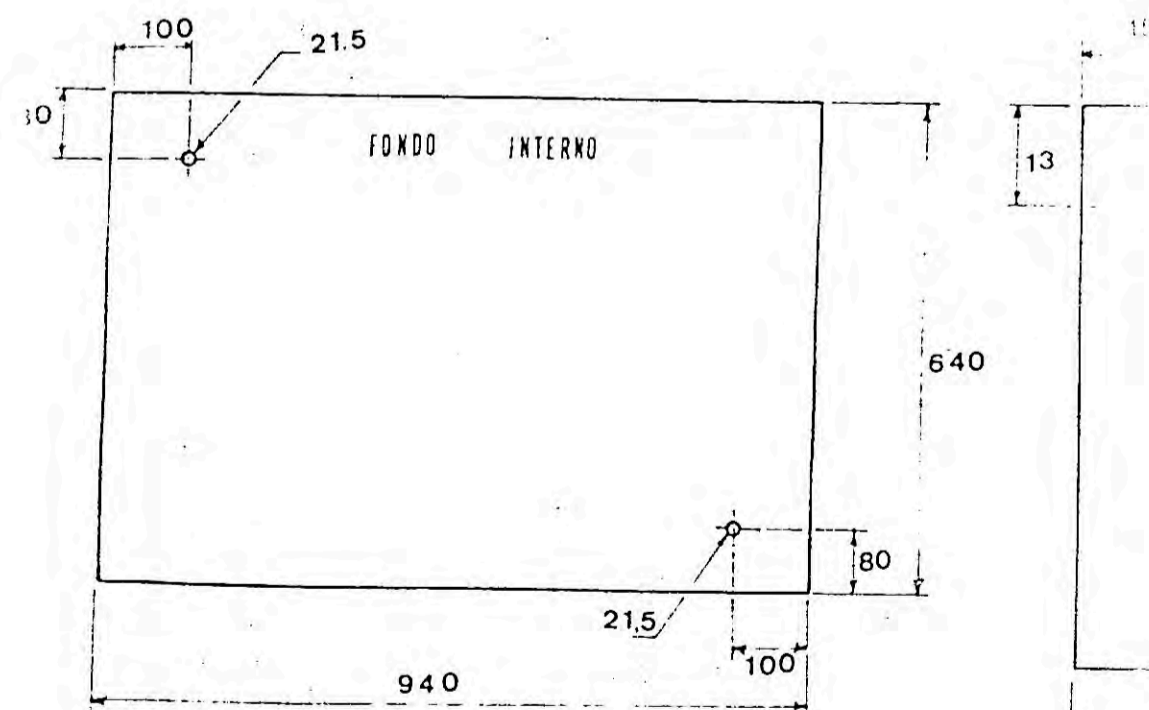
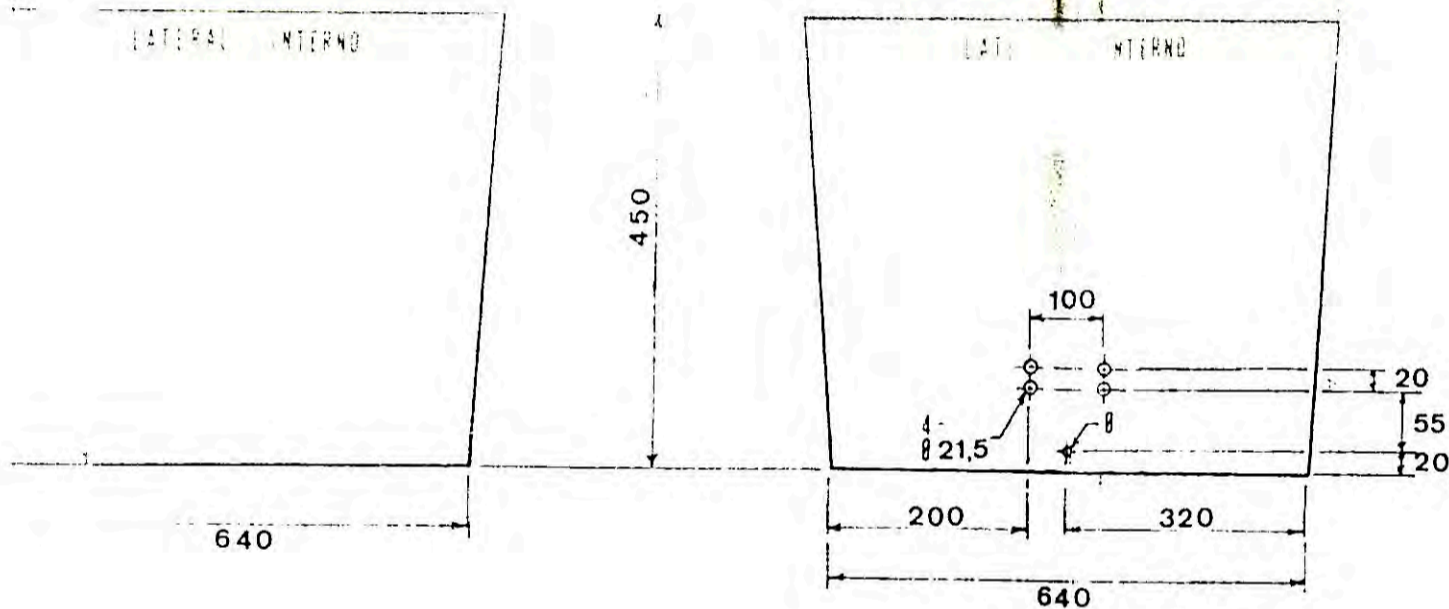
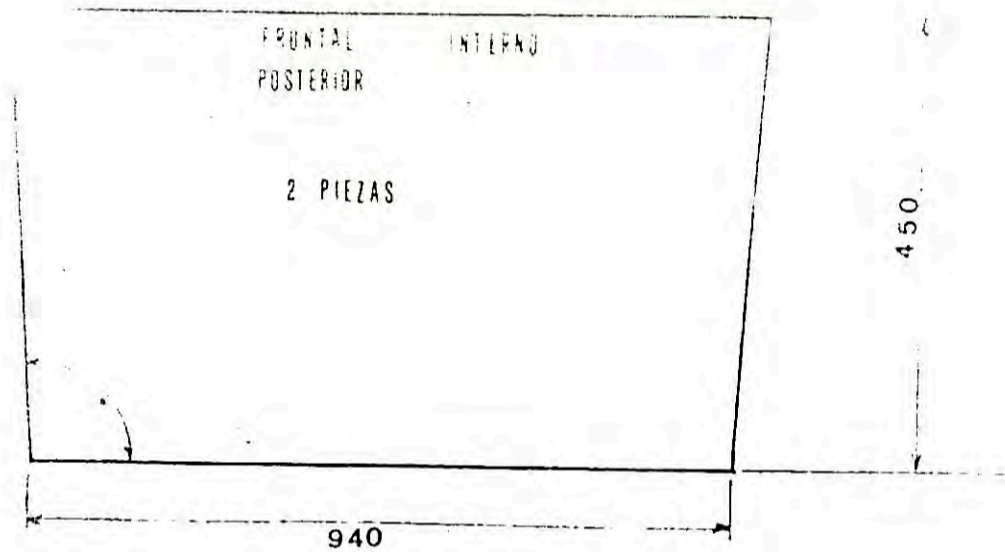
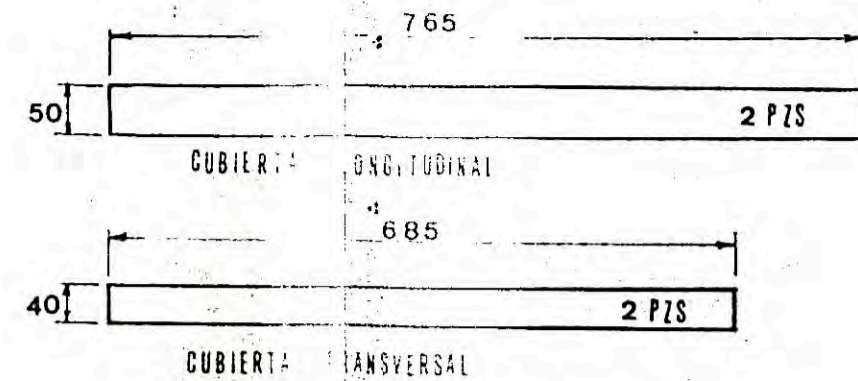
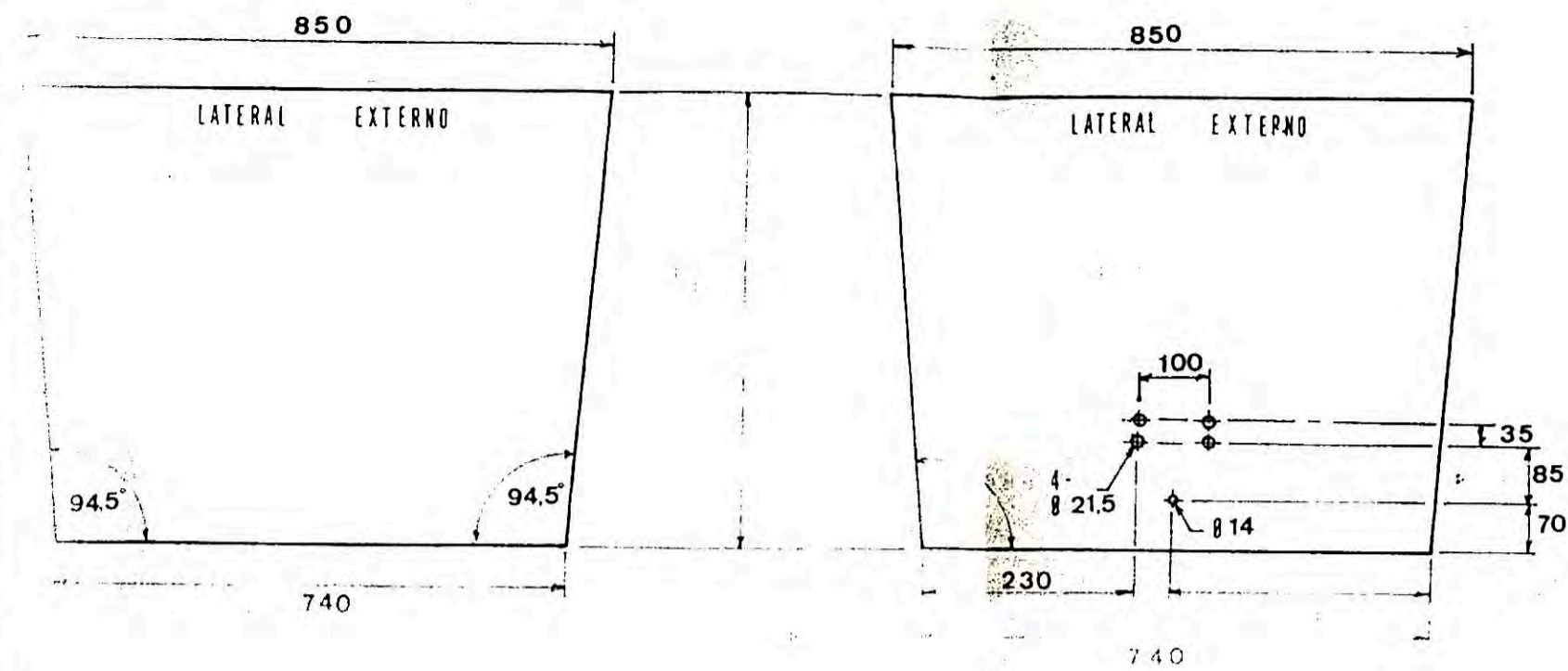
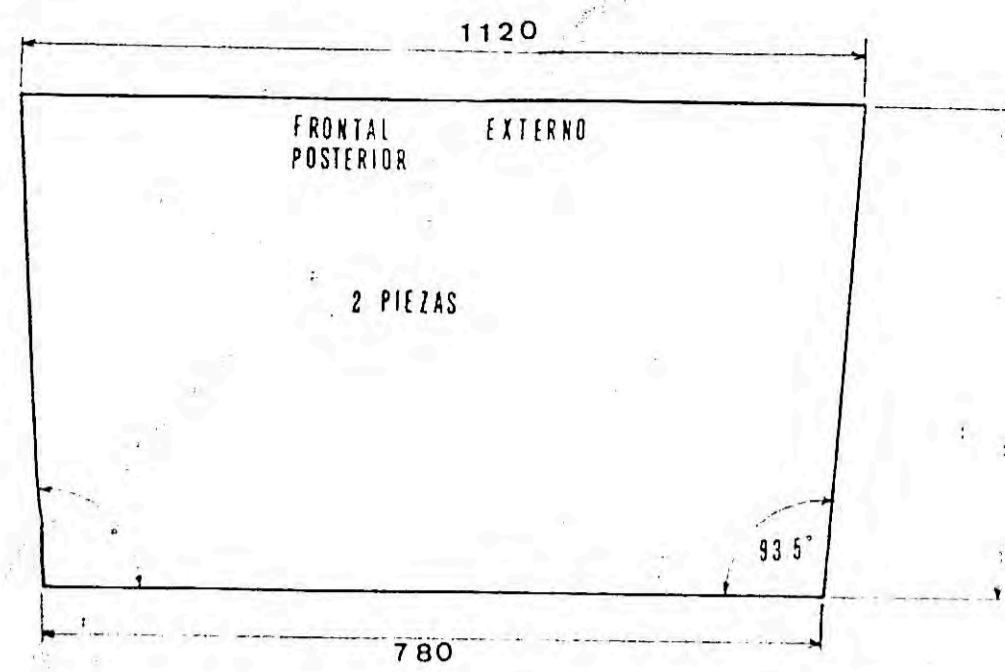
NOTA  
 • MEDIDAS EN mm  
 • ESTRUCTURA DE FIERRO 1x1/8 2x3/16

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA		DISEÑADO POR: E. PEREA - B. YUPANQUI	
<b>CÁMARA DE NIEBLA</b>		DIBUJADO POR A.H.S.	
<b>ESTRUCTURA EXT.</b>		REV Y APROB ING° EUGENIA MEDICO B	
FECHA: 29.03.88	ESCALA: 2:15	FIRMA <i>Eugenio Medico B</i>	

- ① CAMARA DE NIEBLA
- ② TANQUE DE SOLUCION SALINA
- ③ TANQUE DE HUMECTACION DE AIRE
- ④ VALVULA DE SEGURIDAD
- ⑤ VALVULA DE ALIVIO
- ⑥ TERMOSTATO
- ⑦ VALVULA DE COMPUERTA
- ⑧ VALVULA AGUJA
- ⑨ MEDIDOR DEL FLUJO DE SOLUCION
- ⑩ MEDIDOR DEL FLUJO DE AIRE
- ⑪ FANAL DE AIRE
- ⑫ COMPRESOR
- ⑬ TABLERO DE CONTROL
- ⑭ REDUCTOR DE PRESION
- ⑮ MANOMETRO
- ⑯ AISLANTE DE ASBESTO
- ⑰ MEDIDOR DE NIVEL

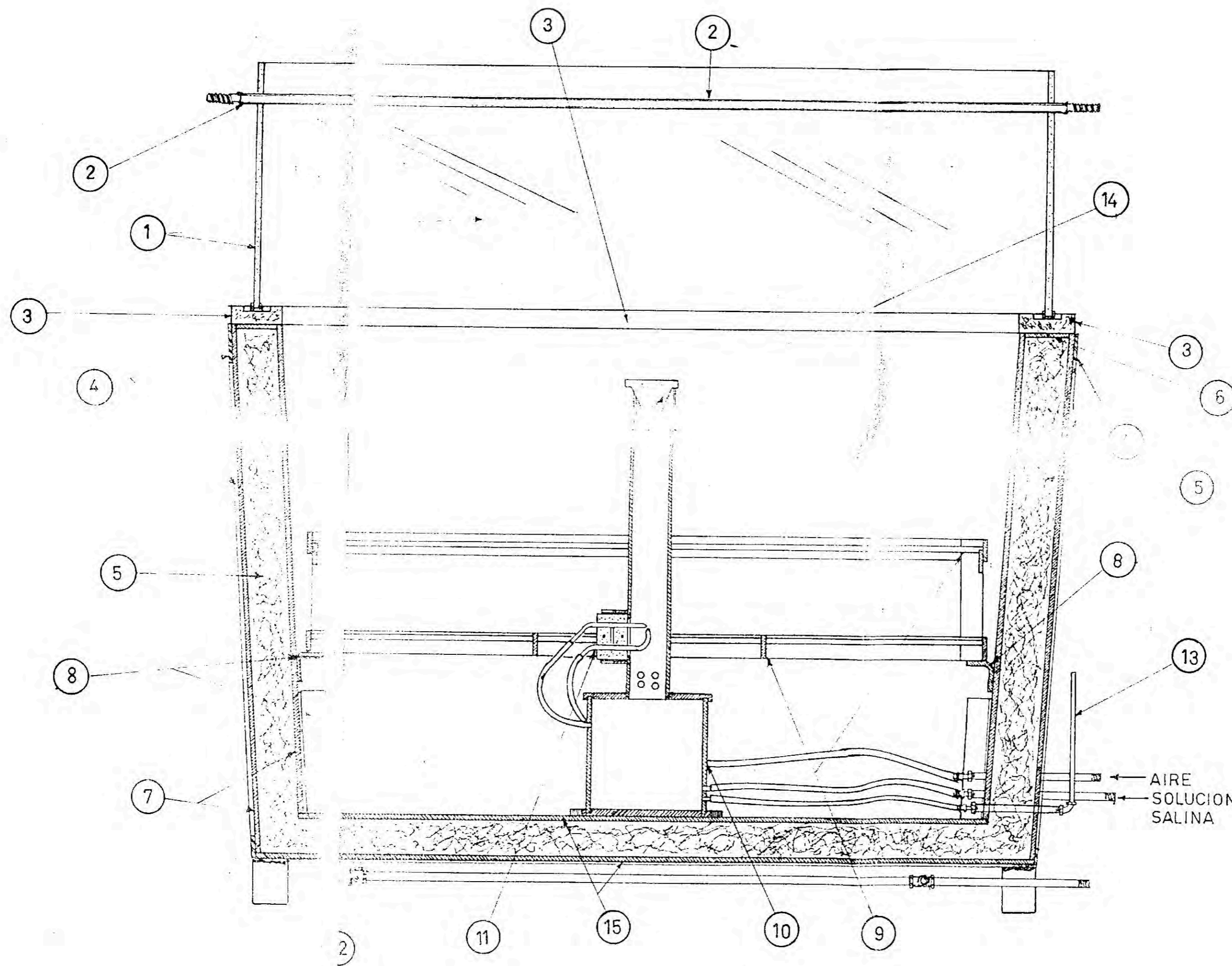


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA		DISEÑADO POR: E. PEREA - B. YUPANODI	
<b>CÁMARA DE NIEBLA</b>		DIBUJADO POR A. H. S.	
<b>ISOMETRICO</b>		REV. Y APROB.: ING. EUGENIA MEDICO B.	
FECHA: 29.03.88	ESCALA: 2:25	FIRMA: <i>Eugenio Medico</i>	



NOTA: TODOS LOS MATERIALES SON DE PVC  
TODAS LAS MEDIDAS EN mm

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA		DISEÑADO POR: E. PEREA - B. YUPANQUI
<b>CAMARA DE NIEBLA</b>		DIBUJADO POR: A. H. S.
<b>CUERPO</b>		REVISADO Y APROBADO ING. EUGENIA MEDICO B.
FECHA: 29.03.88	1:10	FIRMA: <i>Eugenio Medico B.</i>



- ⑨ PORTA PROBETAS
- ⑩ RESEVORIO DE SOLUCION SALINA
- ⑪ TUBO
- ⑫ DRENAJE
- ⑬ MEDIDOR DE NIVEL
- ⑭ COND. DISPERSANTE
- ⑮ FONDOS

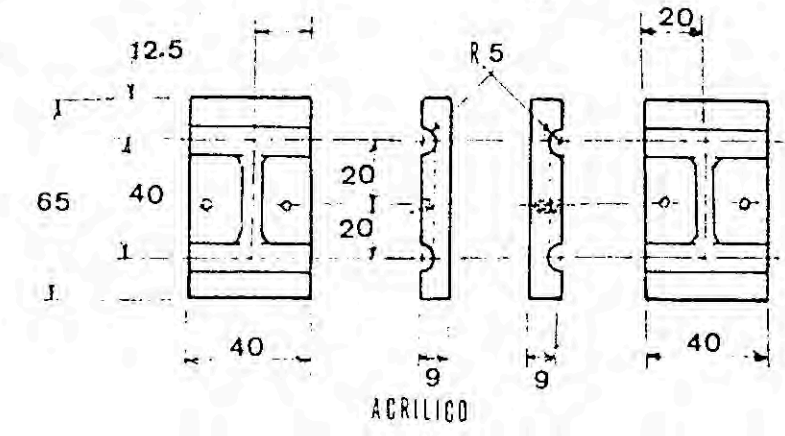
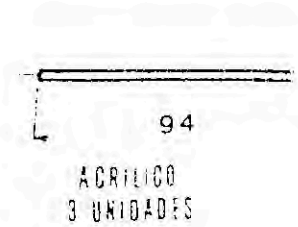
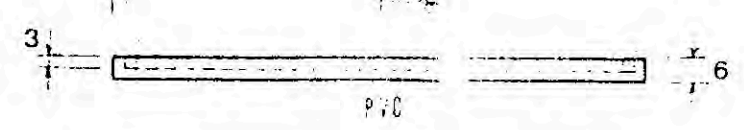
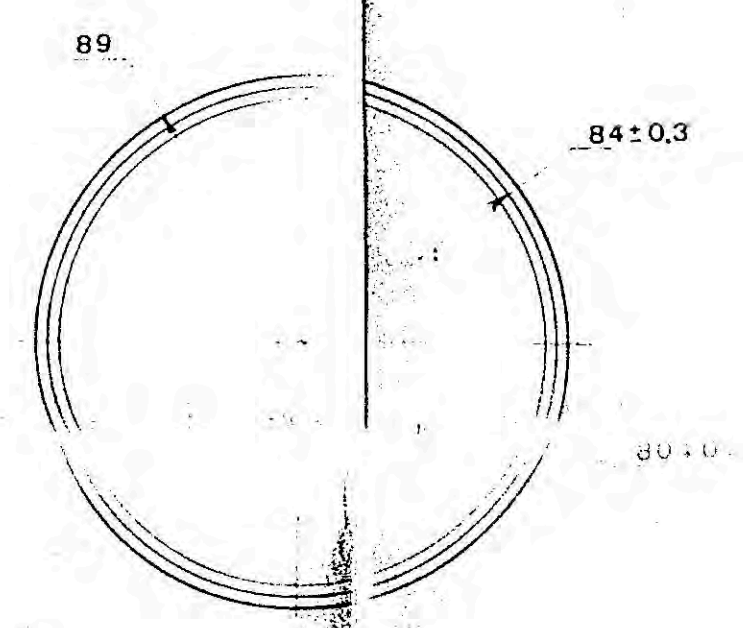
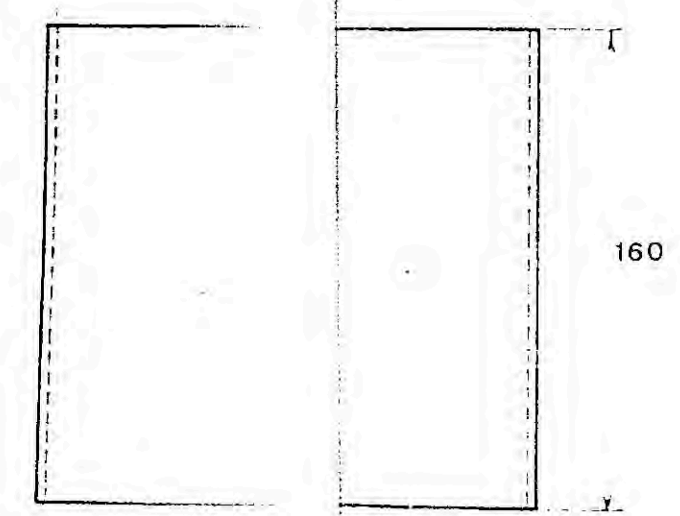
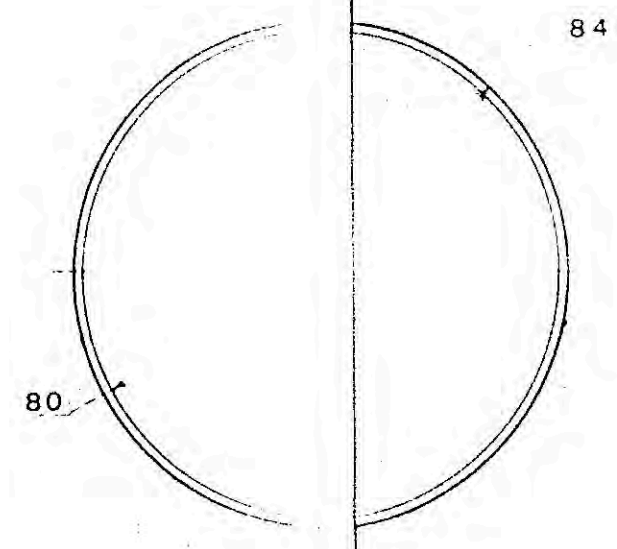
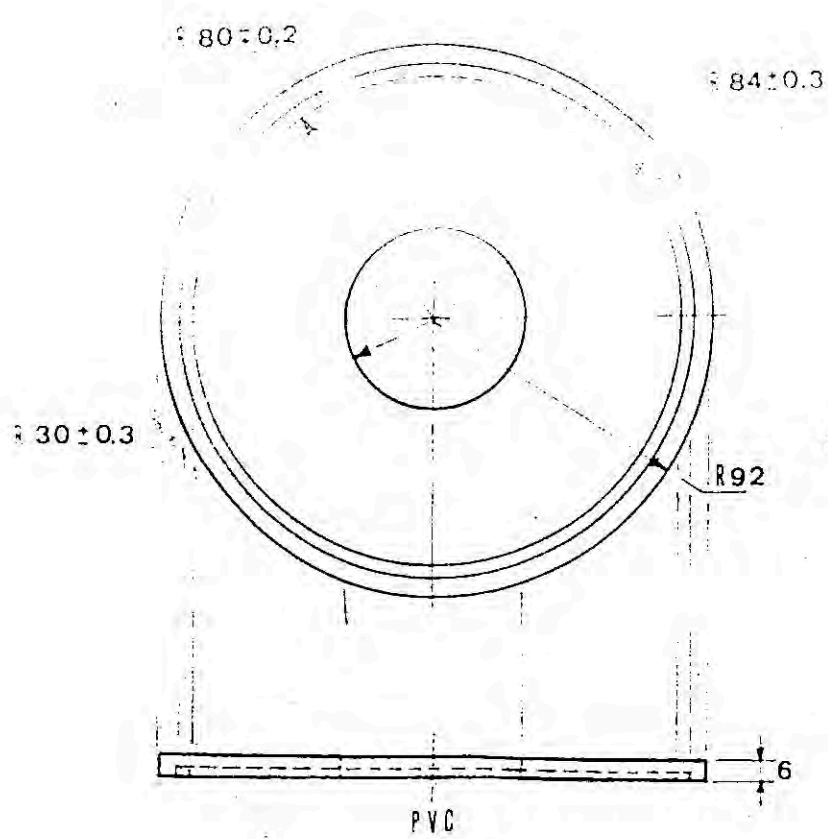
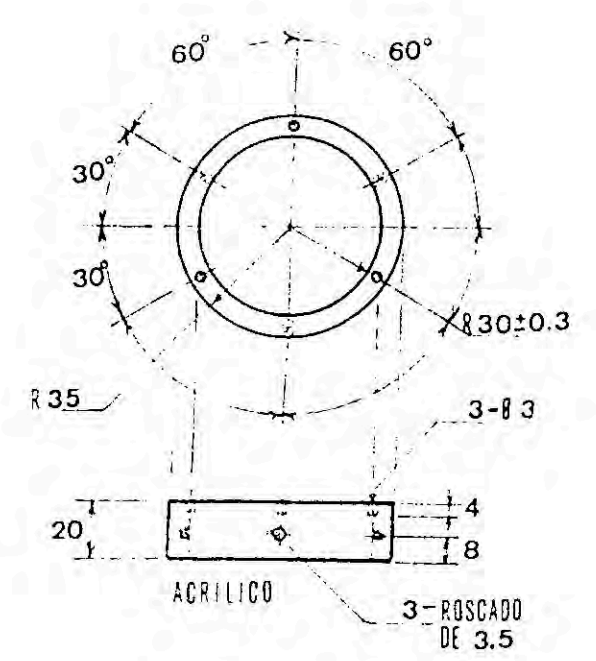
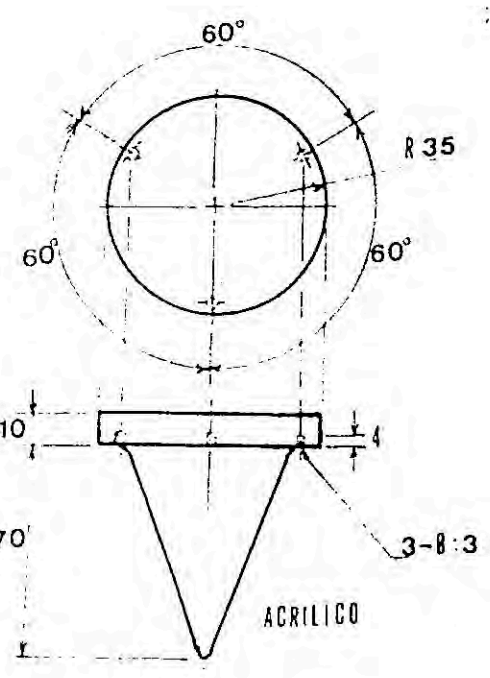
← AIRE  
← SOLUCION SALINA

CORTE LONGITUDINAL

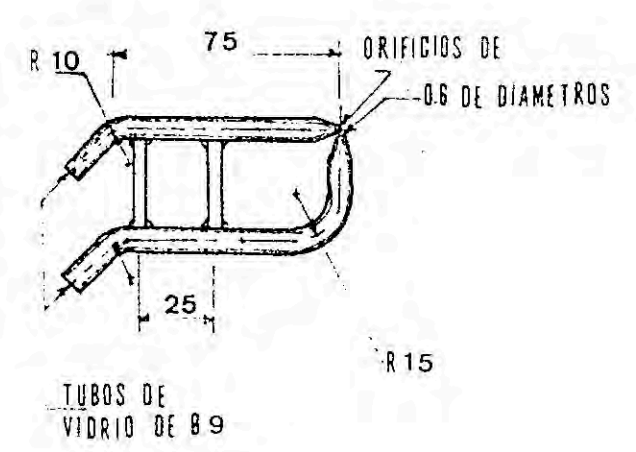
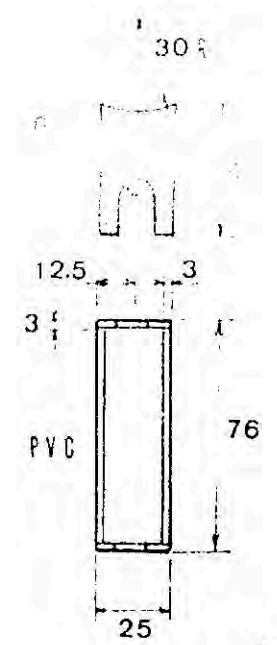
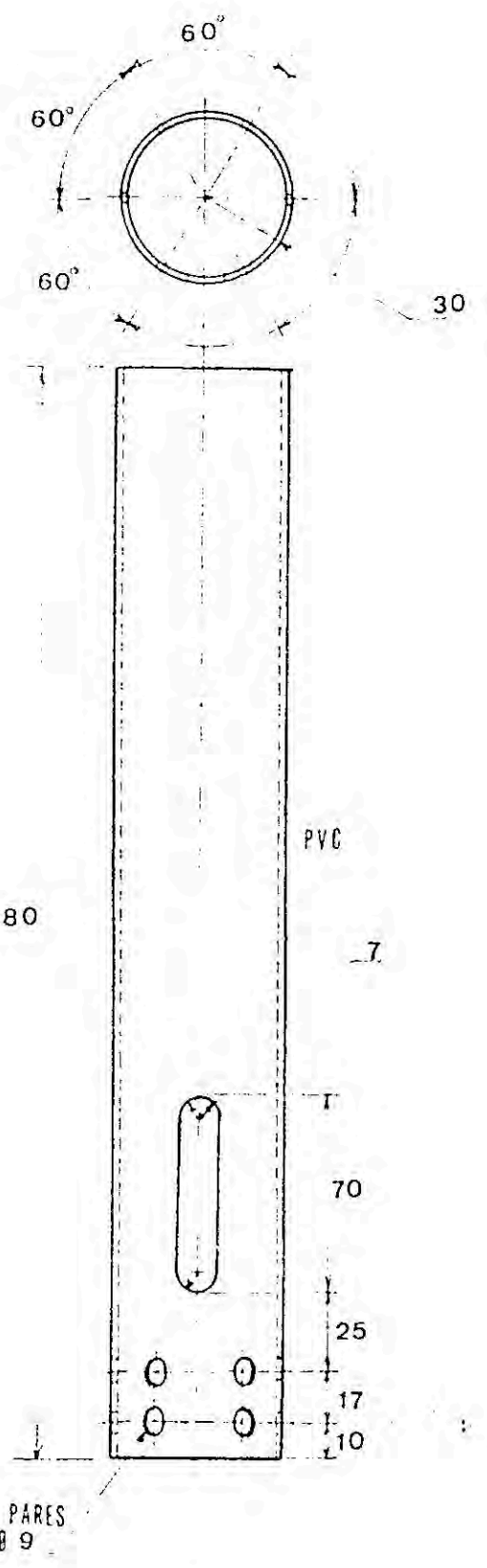
- ① TAPA VISOR MOVIL
- ② EJE DE APOYO DE LA TAPA
- ③ SELLO DE AGUA
- ④ ESTRUCTURA EXTERNA
- ⑤ AISLANTE DE LANA DE VIDRIO
- ⑥ CUBIERTA
- ⑦ PAREDES LATERALES
- ⑧ SOPORTES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE YANACAJA		DISEÑADO POR: E. PEREA - B. YUPANQUI
<b>CÁMARA DE NEBLA</b>		DIBUJADO POR: A. H. S.
<b>DETALLE</b>		REV. APROB. ING° EUGENIA MEDICO B.
FECHA: 29.03.88	1:5	FIRMA

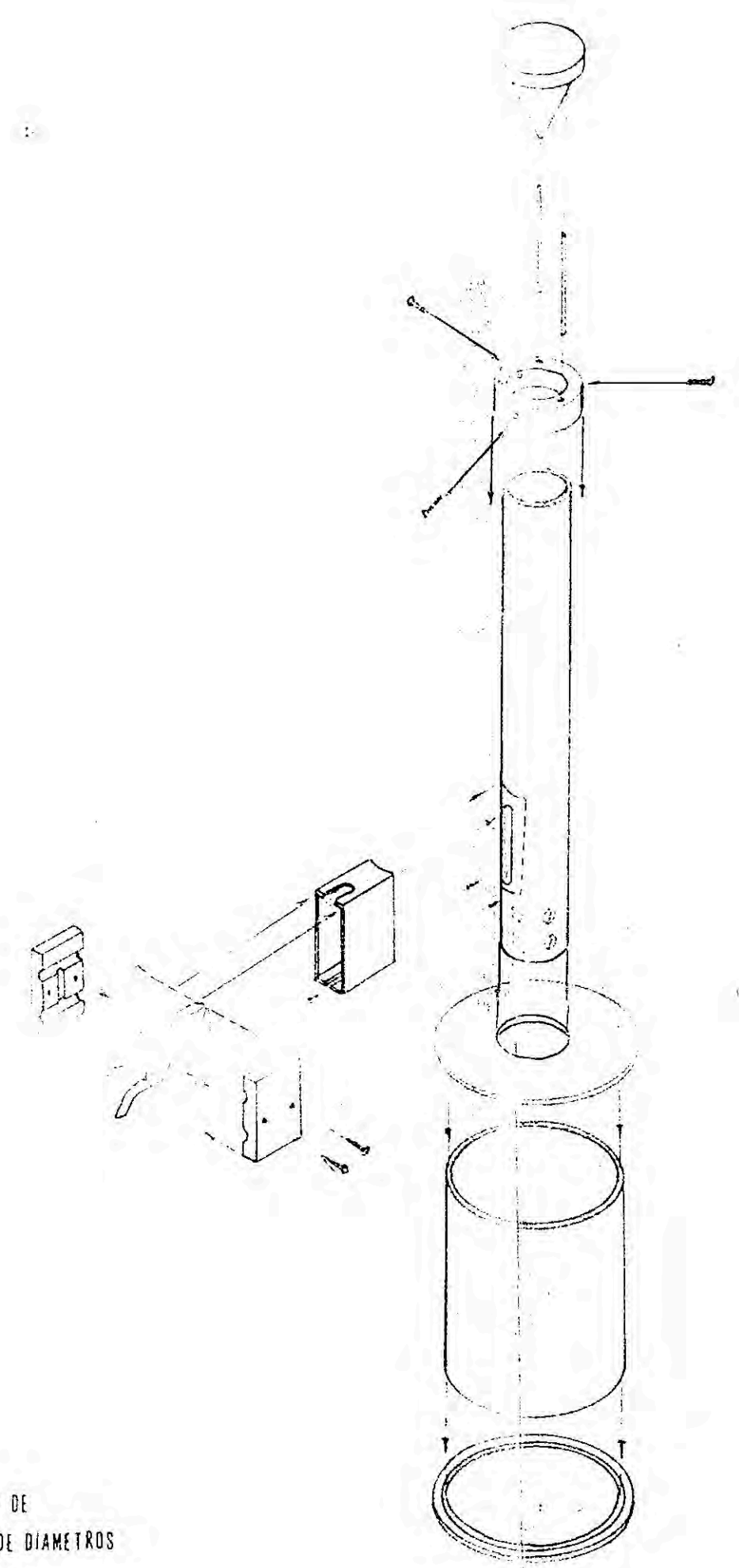




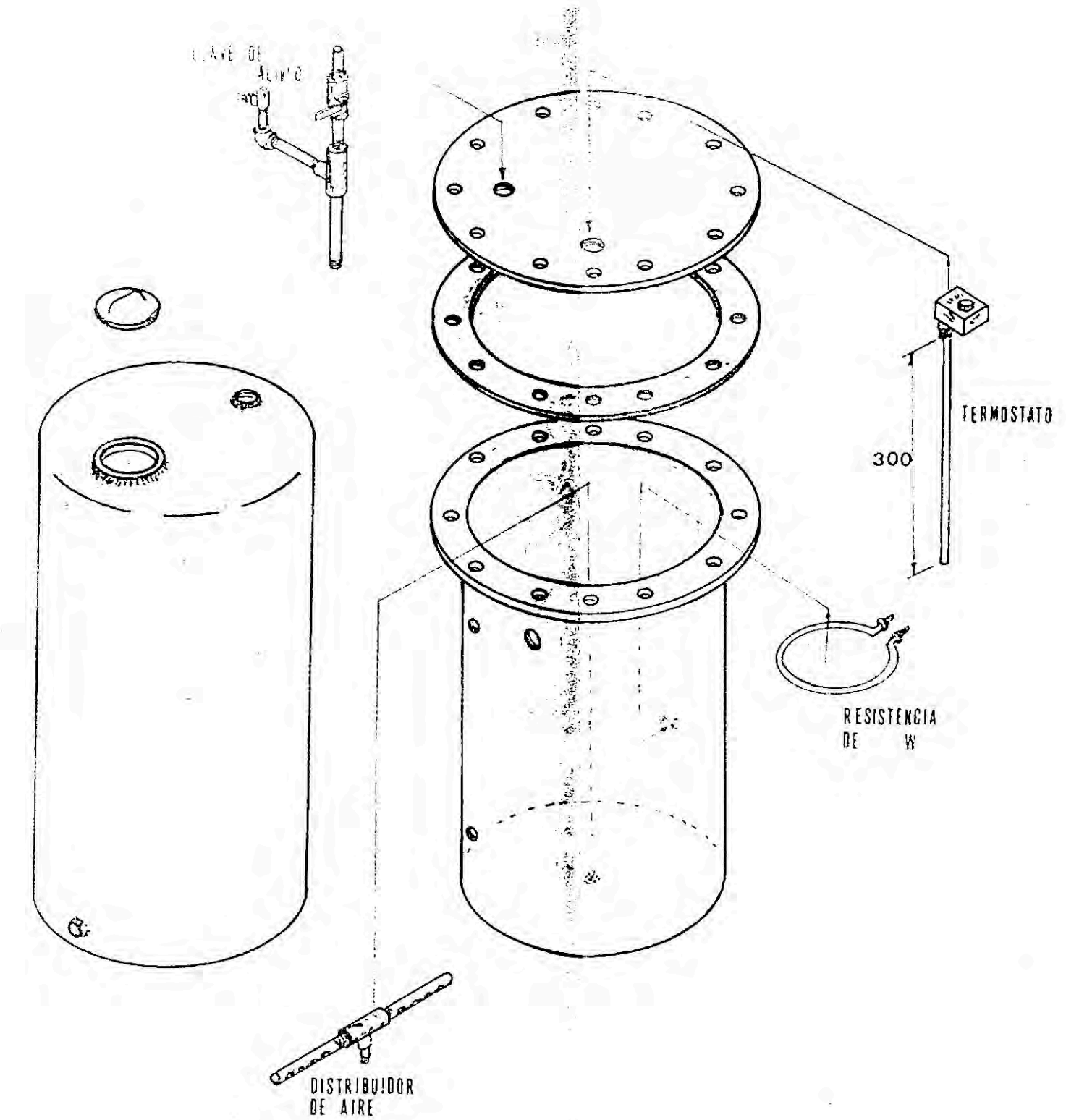
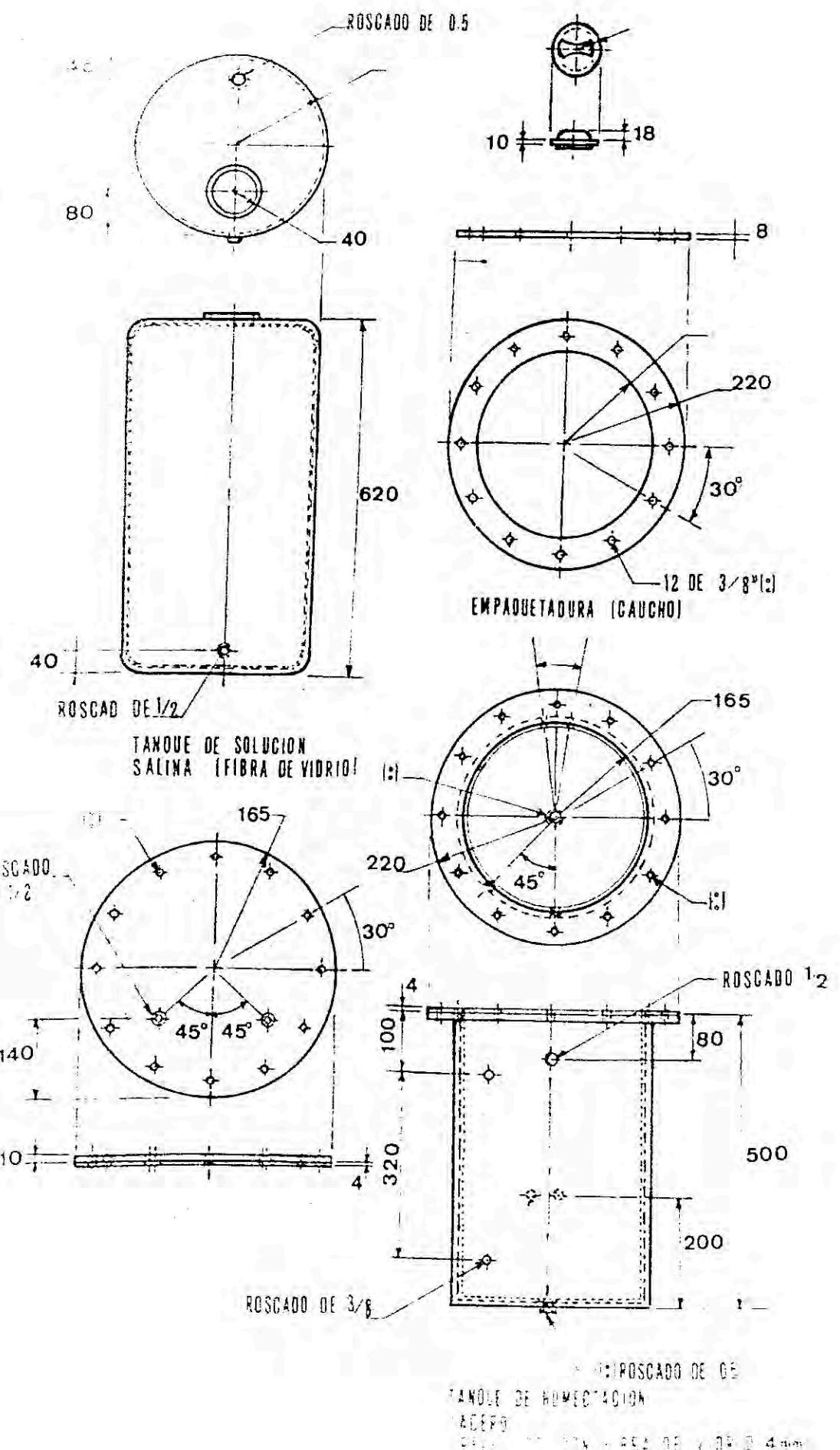
TOBERA



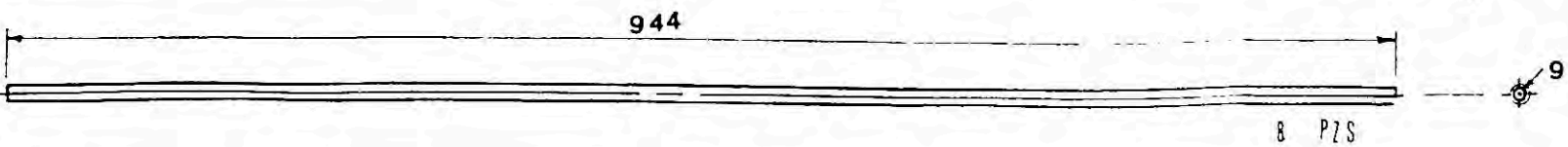
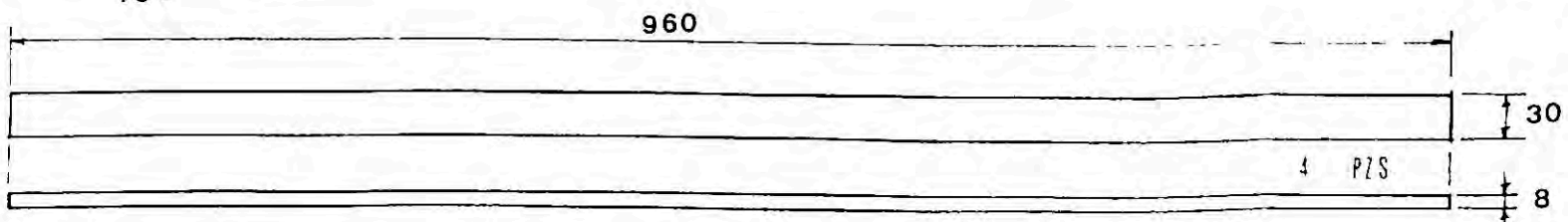
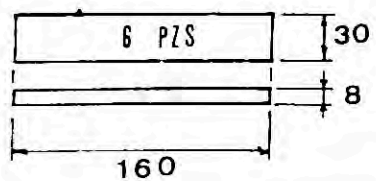
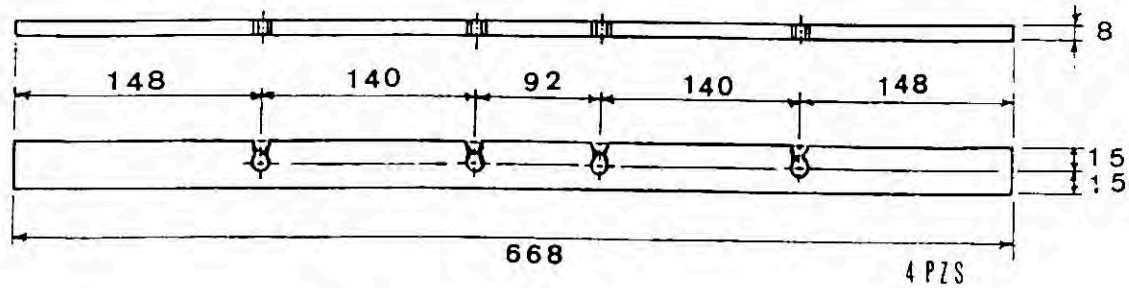
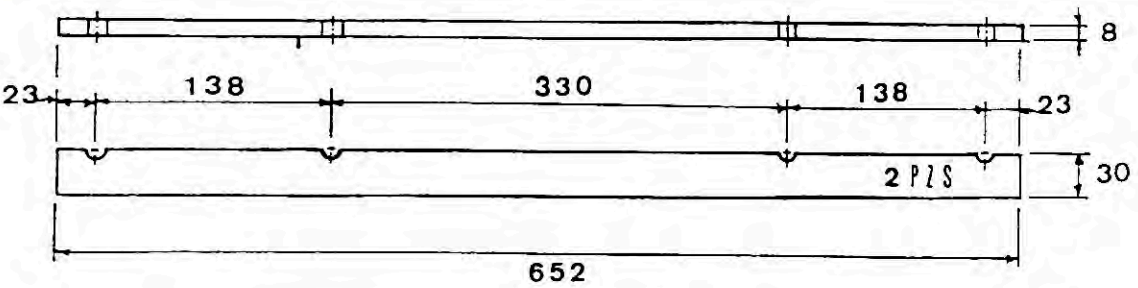
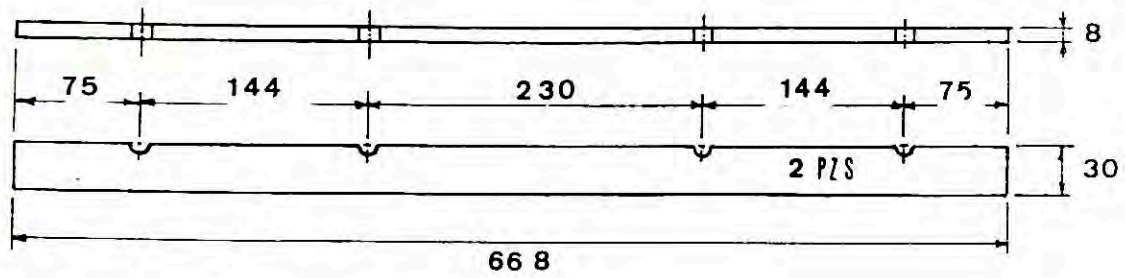
TUBOS DE VIDRIO DE Ø9



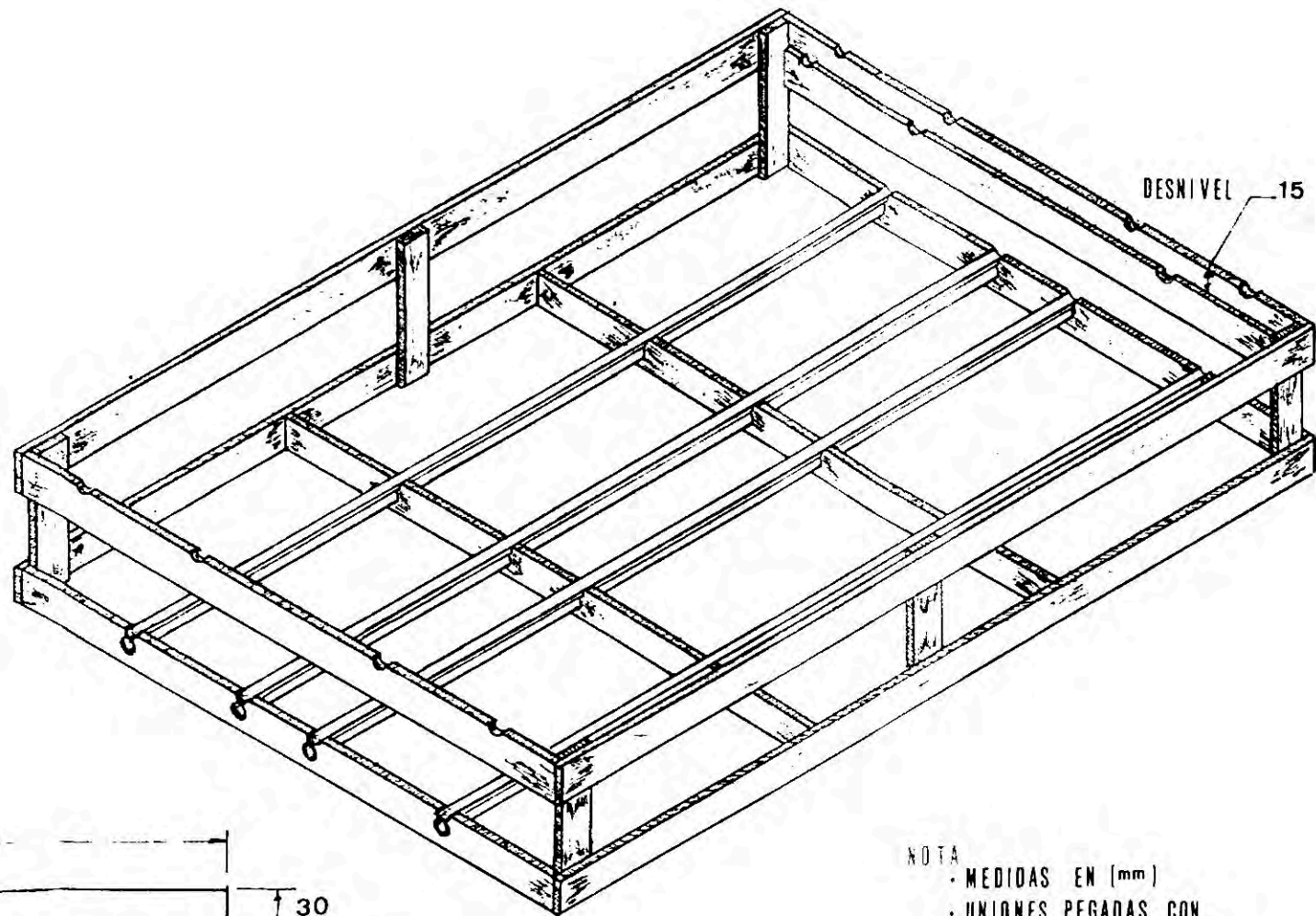
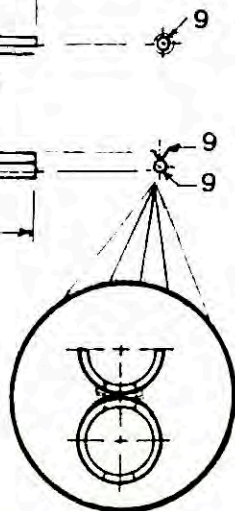
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA		DISEÑADO POR: E. PEREA - B. YUPANQUI
<b>CÁMARA DE NIEBLA</b>		DIBUJADO POR: A.H.S.
<b>ATOMIZADOR</b>		REV. Y APROB.: ING. EUGENIA MEDICO B.
FECHA: 29.03.88	ESCALA: 2:5	FIRMA: <i>Eugenio Salvo</i>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA	DISEÑADO POR E. PEREA - B. YUPANQUI
<b>CÁMARA DE NIEBLA</b>	DIBUJADO POR: AHS
<b>TANQUES DE ALIMENTACION</b>	REV. APROB. ING. EDGEM A. MEDRANO
	1952

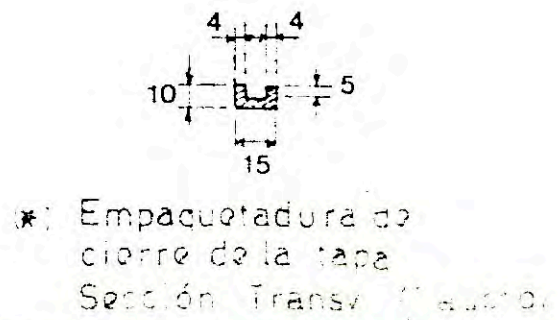
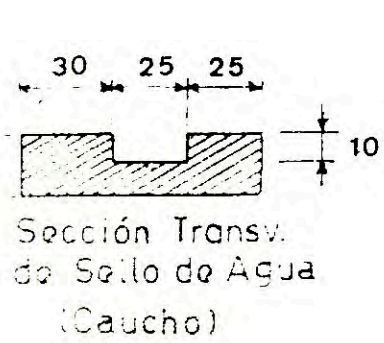
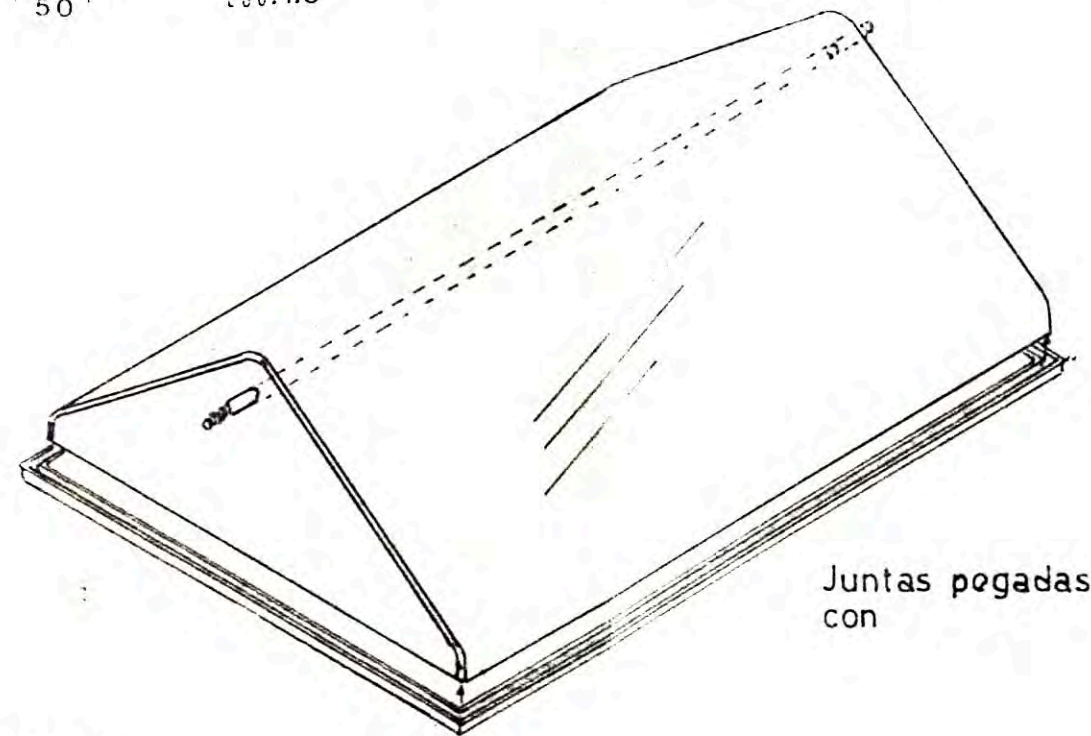
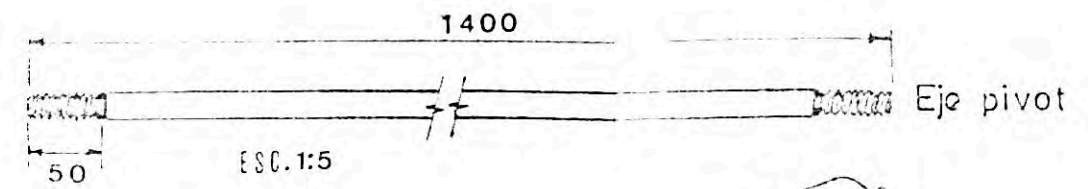
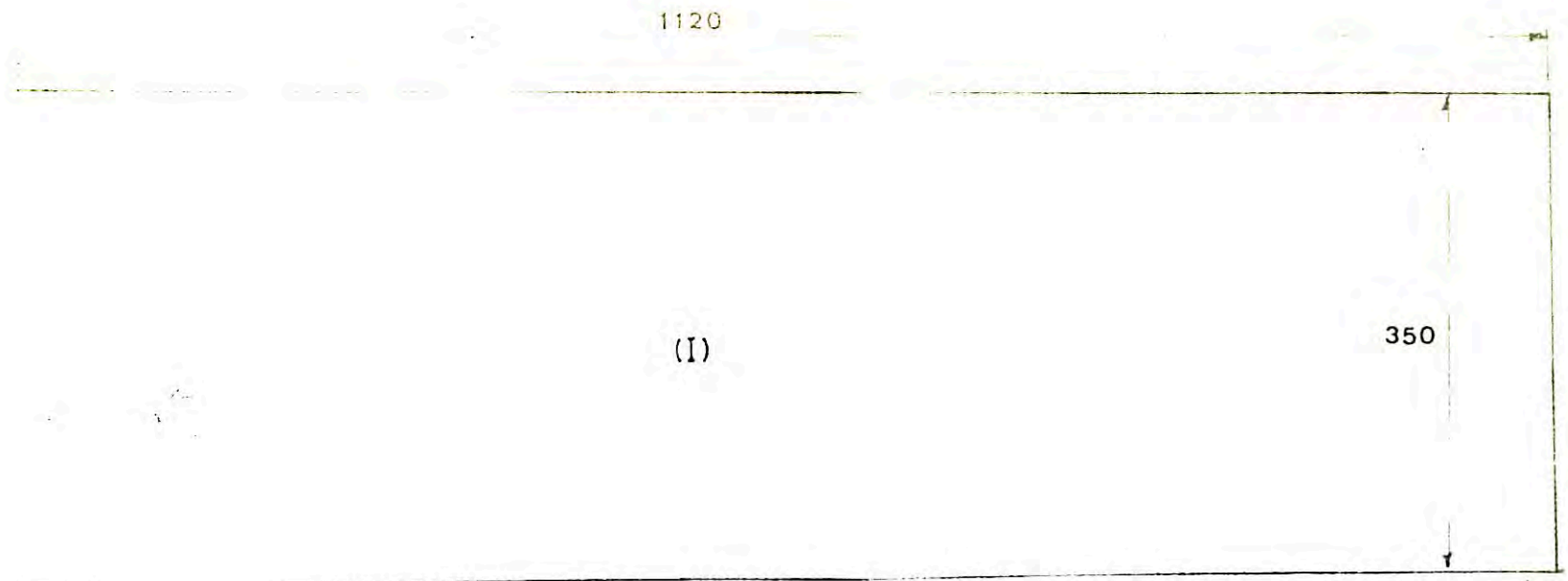
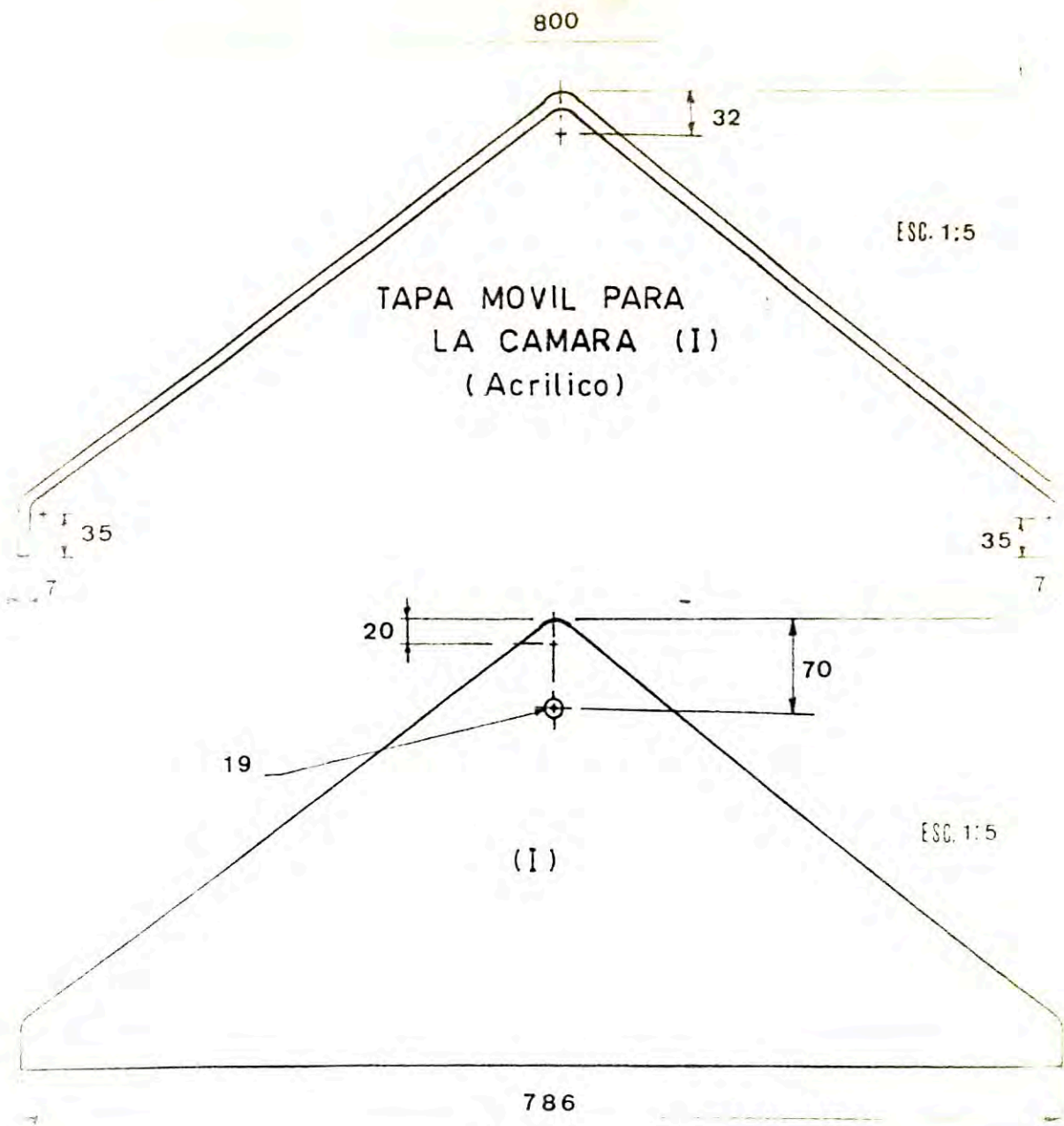


AGUJEROS DE



NOTA  
 • MEDIDAS EN (mm)  
 • UNIONES PEGADAS CON  
 • MATERIALES DE PVC

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA		DISEÑADO POR: E. PEREA-B. YUPANQUI.	
<b>CÁMARA DE NIEBLA</b>		DIBUJADO POR: A.H.S.	
<b>PORTA-PROBETAS</b>		REV. APROB.: ING <sup>o</sup> EUGENIA MEDICHO B.	
FECHA: 29.03.88	ESCALA: 1:5	FIRMA: <i>Eugenio Medicho</i>	



Longitud según el caso, a necesidad

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA		DISEÑADO POR: E. PEREA - B. YUPANQUI
<b>CÁMARA DE NIEBLA</b>		DIBUJADO POR: AHS
<b>MISCELANEOS</b>		REV. APROB. ING° EUGENIA MEDICO
FECHA: 29.03.88	NO CADA	FIRMA: <i>Eugenio Medico</i>