



614-12
56
22

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

**DETERMINACION DE NIVELES DE SO₂ EN LA ATMOSFERA MEDIANTE
EL METODO DEL DIOXIDO DE PLOMO EN ZONAS INDUSTRIALES
LOCALES**

(PROYECTO MICAT)

PROYECTO DE GRADO

Previo a la **Obtención** del Título de

INGENIERO MECANICO

PRESENTADO POR:

Winston Ivan Jiménez Pinto

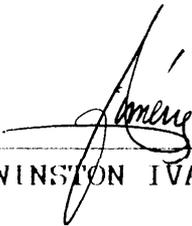
GUAYAQUIL - ECUADOR

1990

DECLARACION EXPRESA

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

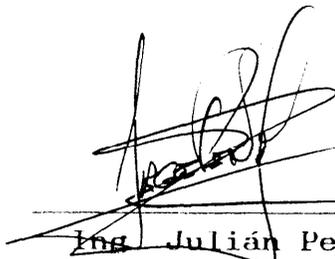
(Reglamento de Tópico de Graduación



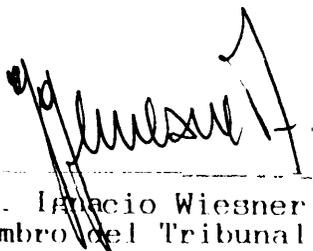
WINSTON IVAN JIMENEZ PINTO



Ing. Jorge Duque R.
Decano Encargado de la FIM



Ing. Julián Peña E.
Director del Tópico



Ing. Ignacio Wiesner
Miembro del Tribunal



Ing. Jaime Barrera
Miembro del Tribunal

AGRADECIMIENTO

- A Dios.
- A mis padres, por su constante apoyo.
- Al Ing. Julián Peña, por su valiosa ayuda.
- Al Dr. Sebastián Feliú.
- Al CICYT, por financiar el proyecto.
- Al Ing. Francisco Torres.
- Al Dr. Julio Avilés.
- Al Ing. Raúl Lascano.
- A todos mis compañeros.

A MI MADRE

A MI PADRE

A MI HERMANA

RESUMEN

3/11/77

La actividad industrial y humana, crean problemas de contaminación ambiental, Estos polucionantes emitidos a la atmósfera, tienen una marcada influencia en el proceso de corrosión de los metales,

El objetivo de éste tema, es el de poner a consideración la técnica del Dióxido de Plomo, para la absorción del SO_2 existente en el medio, mediante pruebas In Situ.

El Capítulo 1, que estudia con cierto detalle al anhídrido sulfuroso, también abarca un método británico para la captación y medición de la rapidez de deposición del SO_2 de la atmósfera; además de la presentación de ecuaciones para la determinación del nivel de concentración de Dióxido de Azufre, en relación a la distancia desde la fuente emisora del contaminante antes mencionado, que servirán para comparación en el capítulo final,

El Capítulo 2, se ocupa con mayor detalle del desarrollo del proceso, así como la ilustración por fotografías de las zonas seleccionadas para la experimentación, dimensionamiento de los componentes de la cámara captadora de SO_2 , datos proporcionados por las

centrales termoeléctricas en la ciudad de Guayaquil,

Finalmente, en el capítulo 3, se emite un análisis de la experiencia obtenida, la cual será muy útil para investigaciones futuras.

No se pretende haber sido original al redactar éste trabajo de investigación; pero se ha aprovechado en lo posible, la información procedente de otros autores; pericia de expertos en la materia de corrosión, en especial la del Dr. Sebastián Feliú M.

INDICE GENERAL

	PAG.
RESUMEN	VI
INDICE GENERAL _____	VIII
INDICE DE GRAFICOS _____	X
INDICE DE TABLAS _____	XII
NOMENCLATURA _____	XIII
INTRODUCCION _____	xv
CAPITULO 1	17
PRINCIPIOS FUNDAMENTALES	17
1.1 Método del Dióxido de Plomo para la captación de SO ₂ _____	20
1.2 Ventajas y desventajas del método del Dióxido de Plomo _____	23
1.3 Método analítico y análisis químico para la evaluación de SO ₂ _____	25
1.4 Obtención de la concentración de SO ₂ en rela- ción a la distancia desde la fuente _____	28
CAPITULO II	35
DESARROLLO DEL PROCESO _____	35
2.1 Selección de zonas para la realización de pruebas _____	35
2.2 Técnica operativa _____	39

2.3 Obtención de datos _____	45
CAPITULO III	55
COMPARACION Y EXALUACION DE RESULTADOS _____	55
3.1 Análisis de resultados _____	57
3.2 Clasificación de las zonas según la agresivi- dad ambiental del SO ₂ _____	61
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	62
APENDICE	65
BIBLIOGRAPIA _____	73

INDICE DE GRAFICOS

Nº	Descripción	Pág,
1	Velocidad de corrosión del Acero respecto a la humedad relativa.....	19
2	Cámara de captación del SO ₂ ambiental,,,,,,,,,,,,,	21
3	Desviación estándar de la concentración horizontal del penacho.....	31
4	Desviación estándar de la concentración vertical del penacho.....	32
5	Altura efectiva de una chimenea.....	33
6	Planta a Vapor Guayaquil.....	35
7	Cámara de captación de SO ₂ en Gral, Gómez y Eloy Alfaro.....	36
8	Cámara de captación de SO ₂ en La Prosperina.....	36
9	Vista de las chimeneas de EMELEC e INECEL.....	37
10	Cámara para SO ₂ en el Salitral.....	38
11	Caja de la cámara captadora de SO ₂	39
12	Base de la caja para experimentación.....	40
13	Detalle del poste de la caja de madera.....	40
14	Dimensionamiento del poste donde irán las láminas, metálicas	41
15	Medidas de las láminas metálicas.....	41

16 Cilindro para experimentación.....	42
17 Ancho de banda para la aplicación del adhesivo sobre el cilindro.....	44
18 Rapidez de Deposición mensual de SO ₂ en las zonas.	58
19 Concentración mensual de SO ₂ en las zonas.....	59
20 Detalle del Disco de Petri para la captación del SO ₂	67

NOMENCLATURA

a	= Area del dióxido de plomo, (mg)
b	= Número de días de exposición de la muestra
C	= Concentración, (ppm)
C(x)_{máx}	= Concentración máxima, (ppm)
cm²	= Centímetro cuadrado
d	= Diámetro de la chimenea, (m)
dm²	= Decímetro cuadrado
Ec.	= Ecuación
g	= Gramos
H	= Altura efectiva de la chimenea, (m)
h	= Elevación del penacho, (m)
°K	= Grados Kelvin
Kg	= Kilogramos
m	= Metros
m²	= Metros cuadrados
mg	= Miligramos
mm	= Milímetros
PbO₂	= Dióxido de plomo
ppm	= Partes por millón
Q	= Rapidez de emisión del polucionante (g/seg)
SO₂	= Anhidrido sulfuroso o dióxido de azufre
SO₃	= Trióxido de azufre

seg = Segundos

T = Temperatura gases - Temperatura del Aire, ($^{\circ}\text{K}$)

T_s = Temperatura de los gases a la salida, ($^{\circ}\text{K}$)

u = Velocidad media del viento (**m/seg**)

V_s = Velocidad de salida de los gases, (**m/seg**)

W₁ = Peso del sulfato de bario en el cilindro expuesto, medido en miligramos.

W₂ = Peso del sulfato de bario en el cilindro testigo, medido en miligramos.

x = Distancia a favor del viento desde la fuente emisora, medido en metros.

π = 3.1416

σ_y = Desviación estándar de la concentración horizontal del penacho, evaluado en **términos** de la distancia a favor del viento, (m)

σ_x = Desviación estándar de la concentración vertical del penacho, evaluado en **términos** de la distancia a favor del viento, (m)

INTRODUCCION

La mayoría de las industrias del país, en determinadas etapas de la fase de producción, consumen combustible para el aprovechamiento de su poder calorífico. Los gases generados como resultado de la combustión del hidrocarburo, ocasionan problemas de contaminación o polución ambiental.

En los actuales momentos, no se cuenta con dispositivos o equipos, para la cuantificación de los niveles de concentración y rapidez de deposición de varios polucionantes, tales como: SO_2 , CO , NO , NO_2 , etc., que a más de contaminar el aire, intervienen en el proceso de corrosión de estructuras metálicas en asentamientos industriales y urbanos.

Entre los agentes corrosivos, anteriormente mencionados, sin lugar a dudas, el SO_2 o anhídrido sulfuroso, es el más significativo, y el de mayor interés.

Lo que se pretende en el presente trabajo, es proporcionar un método normalizado⁽¹¹⁾ para la captación y cuantificación de la rapidez de deposición del SO_2 del ambiente, a fin de establecer la agresividad del medio en diferentes

zonas pre-establecidas en la ciudad de Guayaquil.

CAPITULO 1

PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

Anhidrido sulfuroso , también llamado dióxido de azufre (SO_2), es un gas incoloro, picante al ser inhalado, y altamente reactivo como estimulador de la corrosión **atmosférica** para el acero. Este gas proviene de la combustión de combustibles sólidos y líquidos **que** contengan azufre.

Aproximadamente más de los **2/3** de la emisión de éste gas, se origina de la combustión en plantas termoeléctricas para la generación de energía, un 8% resulta de las emisiones industriales; y un 5% es eliminado del escape de los automotores circulantes en la **ciudad**(**13**). Por lo tanto se da mayor contaminación en las centrales eléctricas, debido a que usan como combustible el residuo de petróleo, Bunker C ó Combustible No. 6; y éste presenta un 1.5% en contenido de azufre; a diferencia de la gasolina y del diesel **que** contienen **0,3%** y **0.8%** respectivamente, **ya que** son hidrocarburos más **refinados**(**12**).

Una vez emitido el SO₂ a la atmósfera, éste se dispersa a causa de la velocidad del viento predominante en la zona, e interactúa con la humedad relativa reinante en el ambiente, para luego concentrarse a nivel del suelo. De aquí que el depósito de azufre en las superficies o la acción del mismo, permite clasificar zonas como: área rural, área industrial y área urbana.

Por consiguiente el depósito de SO₂ es mayor en la zona industrial que en la zona urbana.

La presencia de éste contaminante, y su interacción con la humedad, ocasiona un fenómeno conocido como lluvia ácida.

Esto se debe a la transformación del SO₂ en SO₃, mediante una reacción catalítica, por efectos de los rayos solares; y, al combinarse con el vapor de agua de la atmósfera, origina ácido sulfúrico, esto es:



Si la humedad relativa del medio sobrepasa al 80%, el vapor de agua del ambiente se condensa, formando un rocío sobre la superficie metálica; y como ésta película húmeda tiene carácter ácido, **ésta** es la causa principal de la corrosión del metal o el deterioramiento de su recubrimiento protector (pintura), ver Fig. Nº 1.

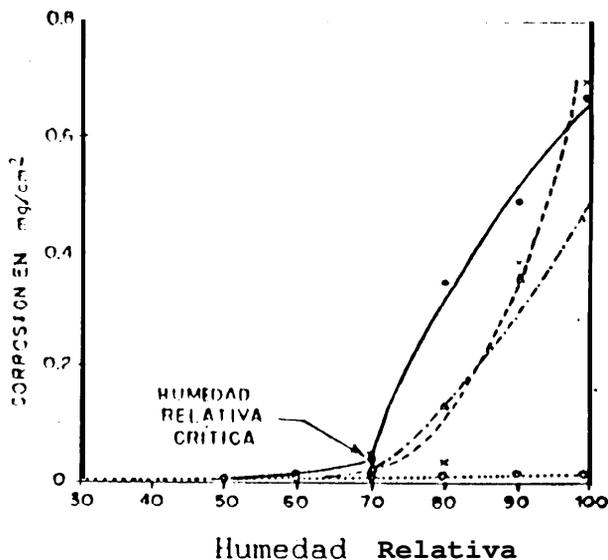


Fig. Nº 1.- Velocidad de Corrosión del Acero respecto a la Humedad Relativa(E)

Es posible tener elevados niveles de concentración de SO_2 ; pero si la atmósfera está desprovista de suficiente vapor de agua como para condensarse, el SO_2 no ejerce daño alguno sobre el acero a temperatura ambiente; pero en cambio influye notablemente en la salud humana.

Por lo tanto, existe una estrecha relación entre el nivel de anhídrido sulfuroso y la humedad relativa presente.

A continuación, en la Tabla 1, se muestran algunos efectos del SO_2 en algunos materiales.

TABLA 1

EFECTOS DEL ANHIDRIDO SULFUROSO(=)

POLUCIONANTE	MATERIAL AFECTADO	EFECTOS
SO ₂	<ul style="list-style-type: none"> - Metal - Materiales de construcción - Papel y Cuero - Tejidos 	<ul style="list-style-type: none"> - Corrosión - Reacciones Químicas - Fragilización - Desintegración

1.1. METODO DEL DIOXIDO DE PLOMO PARA LA CAPTACION DE SO₂

Cuando se habla de contaminación ambiental, el SO₂ es reportado como niveles de concentración; y se indica en partes por millón (ppm), mg/lt, etc.. En lo que a corrosión concierne, interesa más hablar de razón 0 rapidez de deposición del polucionante a estudiar; para ello se usó de una técnica que fué desarrollada en Inglaterra por los científicos B.H. Wildson y F.J. McConnell en 1932, para la captación del dióxido de azufre(1).

Dicha técnica, consiste en la exposición al aire de una superficie reactiva cilíndrica de PbO₂, contenida en una caja por un período de 30 días

aproximadamente; y al cabo de éste lapso, **se** determina la **cantidad** de sulfato formado, **Fig. Nº 2.**

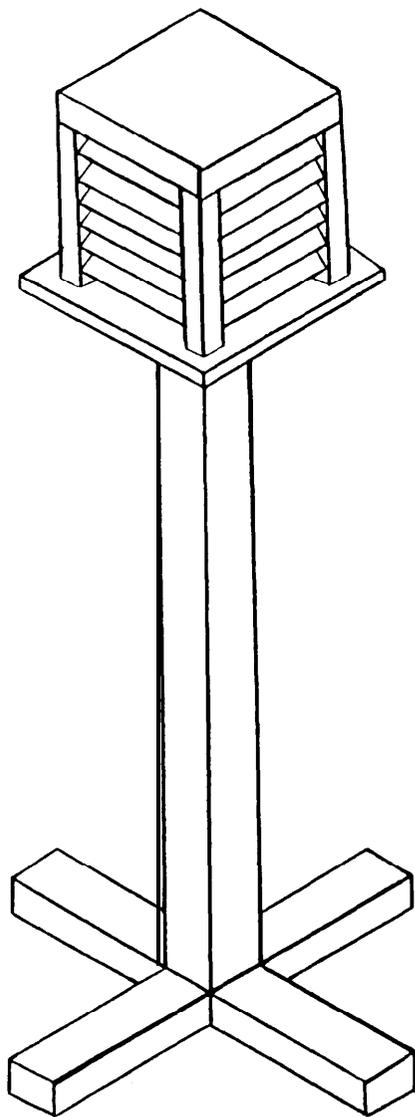


Fig. Nº 2.- Cámara para captación del **SO2 ambiental.**

exposición (100 cm²), permitiendo una mayor oxidación de anhídrido sulfuroso de la atmósfera.

1.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL METODO DEL DIOXIDO DE PLOMO

La técnica inglesa descrita en la sección anterior, posee ciertas ventajas y desventajas, en lo que a su aplicación se refiere; entre las cuales se pueden mencionar las siguientes:

VENTAJAS:

- Da un índice directo de la actividad de los óxidos de azufre del ambiente.
- Brinda una adecuada información, en lugares donde un análisis de los compuestos de azufre, resultaría caro y agotador a la vez.
- El monto de la inversión requerida para la fabricación del panel, es mínimo, comparado con el precio de adquisición de dispositivos delicados y complejos, para la obtención y medición del nivel de contaminantes.
- Facilidad en la construcción de la estación de

prueba.

- No requiere de excesivos cuidados, ni de mantenimiento, cuando la cámara esté en uso.
- Es **muy** cómodo el traslado **del equipo de prueba** hasta el sitio donde se **realiza** la experimentación.

DESVENTAJAS:

Son pocas las desventajas del método, entre las cuales se puede mencionar:

- Requiere una marcada atención en el manejo de las muestras cuando se realice el análisis químico correspondiente a cada mes, a fin de no contaminarlas con otros implementos de laboratorio que pudiera contener sulfatos.
- Para la obtención de la ecuación que indique la rapidez de deposición mensual en **una zona** determinada, se necesita una gran **cantidad de** pruebas durante largos períodos de tiempo, que **tendrían que ser analizados estadísticamente.**

1.3 METODO ANALITICO Y ANALISIS QUIMICO PARA LA EVALUACION DEL SO₂.

A continuación, se describe el procedimiento para la obtención de la rapidez de deposición del anhídrido sulfuroso, según lo recomienda la norma⁽¹¹⁾.

Reactivos.-

- a. Agua destilada.
- b. Carbonato de Sodio.
- c. Acido Clorhídrico al 50%.
- d. Solución de Cloruro de Bario al 10%.
- e. Indicador Rojo de Metilo (se disuelve 0.02 gramos de rojo de metilo en 60 ml. de alcohol etílico; y la dilución con agua destilada hasta 100 ml.).

Análisis químico.-

1. Desprender la tela impregnada, y llevar ésta a un vaso de precipitación.
2. Lavar con agua destilada la tela, y cualquier resto de pasta que pudiera quedar adherida al cilindro, agregar al vaso de precipitados, hasta completar un volumen de 100 ml.

3. Añadir al vaso de precipitación 5 gramos de carbonato de sodio, mientras se mantiene la agitación. Dejar reposando la solución por 3 horas, y agitar ocasionalmente.
4. Posteriormente calentar a ebullición (en una platina calentadora), y mantener durante una media hora, mientras se añade agua para conservar el volumen inicial.
5. Filtrar luego a través de papel filtro.
6. Al filtrado, añadir de 2 a 3 gotas del indicador rojo de **metilo**, agregando después ácido **clorhídrico**, hasta viraje a rojo.
7. Añadir otros 2 ml. de ácido clorhídrico, diluir con agua destilada hasta 300 ml.; y calentar la solución hasta ebullición.
8. Con una pipeta, echar 10 ml. de solución de cloruro de bario; mantener la solución cercana al punto de ebullición durante 30 minutos, y dejar reposar durante una noche.
9. Filtrar el líquido reposado **a través de papel** filtro.

10. Calcinar el papel filtro y su contenido a 800°C en un crisol de porcelana previamente **tarado**.

11. Dejar enfriar, añadir luego **2 gotas de ácido** , sulfúrico, para eliminar el exceso de ácido; **ca-** lentar **nuevamente a 800°C**; enfriar y volver a **pesar**.

La rapidez de deposición se determina analíticamente por diferencia de pesos, en la siguiente **expresión** matemática:

$$\text{mg SO}_3/\text{m}^2/\text{día} = \frac{3430 (W_1 - W_2)}{a \cdot b} \quad \text{Ec. 1}$$

donde: W_1 = Peso del sulfato de bario en el cilindro expuesto (mg).

W_2 = Peso del sulfato de bario en el cilindro testigo (mg).

a = **Area** del dióxido de plomo (cm^2).

b = Número de días **de exposición de la** muestra.

NOTAS:

1. El peso del sulfato de bario del cilindro de referencia, el cual se determina de la misma **manera**

no debe exceder de 2 mg.

2. **Excesiva** pasta fijadora, crea **problemas con el secado del PbO_2 , originando una contracción y consecuentemente una rotura de la capa.**

3. Para lograr una fácil comparación de los resultados con datos ya existentes, se recomienda realizar las observaciones al principio del mes y cambiar las muestras al término del mismo, aunque por lo general, no se debe prolongar excesivamente éste tiempo.

4. **Para tarar el crisol,** se debe colocar a éste en una estufa a $1050C$ por 1 hora; para posteriormente ponerlo en un desecador, hasta que se enfríe; y finalmente pesarlo en una balanza analítica.

1.4. OBTENCION DE LA CONCENTRACION DE SO_2 EN **RELACION** A LA DISTANCIA DESDE LA FUENTE.

Las chimeneas de las centrales termoeléctricas, constituyen las principales fuentes estacionarias de contaminantes.

El SO_2 emitido principalmente **por** las mismas, **se**

mezcla inmediatamente con la atmósfera; y su dilución se incrementa a medida que el viento arrastra el penacho de la chimenea.

A fin de estimar la concentración existente en una zona, se hace uso de la ecuación que involucra el fenómeno de la dispersión, utilizando el modelo del penacho de Gauss; el cual es un método de simple aplicación, que puede dar resultados útiles.

Es de particular interés, para fines prácticos, la determinación analítica de la concentración a nivel del suelo a una cierta distancia de la fuente emisora, a través de la fórmula empírica desarrollada por Graham Sutton⁽²⁾, que expresa:

$$C(x) = \frac{Q}{\pi u \sigma_z} \exp - \left[(1/2) (H/\sigma_z)^2 \right] \quad \text{Ec. 2}$$

donde:

C = concentración del polucionante, **g/m³**.

Q = rapidez de emisión del polucionante,
g/seg.

u = velocidad media del viento, **m/seg.**

σ_y = desviación estándar de la concentración
horizontal del penacho, evaluado en

términos de la distancia **x**, **a favor del** viento, (m).

σ_z = desviación estándar de la concentración vertical del penacho, evaluado en términos de la distancia **x**, **a favor del** viento, (m).

H = altura efectiva de la chimenea, (m).

x = distancia a favor del viento desde la fuente emisora, (m).

Hay que destacar que σ_y y σ_z son una función de factores meteorológicos, del tipo de **estabilidad** atmosférica; y su comportamiento se indica en las Figuras 3 y 4 respectivamente; y el máximo nivel de concentración a nivel del suelo, **ocurre cuando:**
 $\sigma_z = 0.707 H.$

Por lo tanto:

$$C_{máx} = \frac{0.117 Q}{u \sigma_y \sigma_z} \quad \text{Ec. 3}$$

En la Tabla II, se muestran los diferentes **grados de** estabilidad atmosférica.

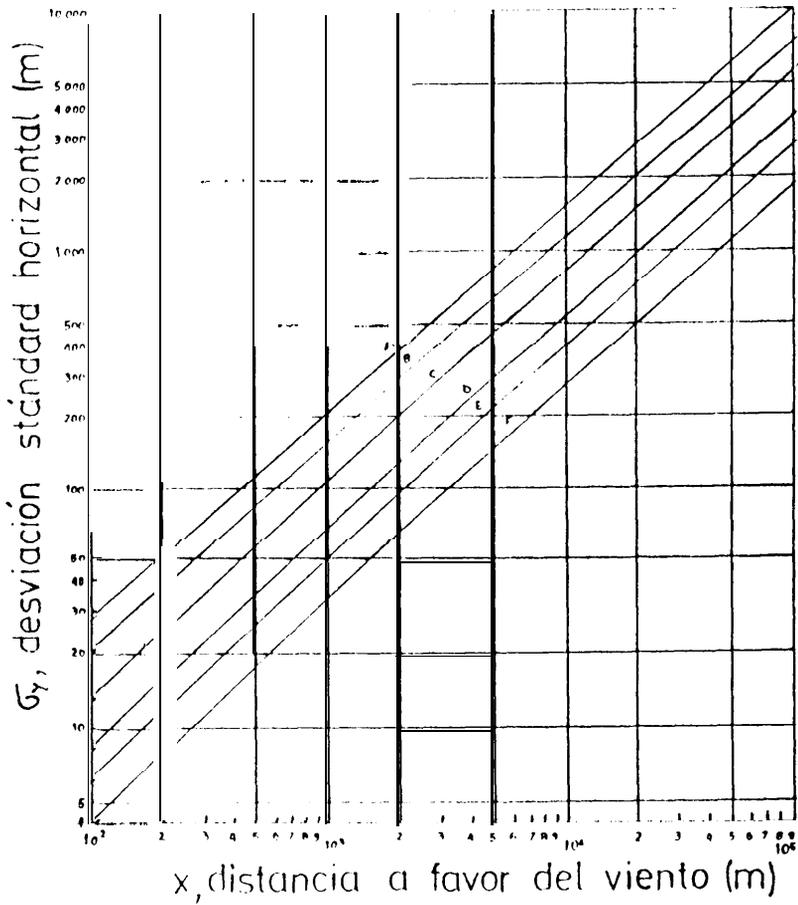


Fig. Nº 3.- Desviación estándar de la concentración horizontal del penacho.

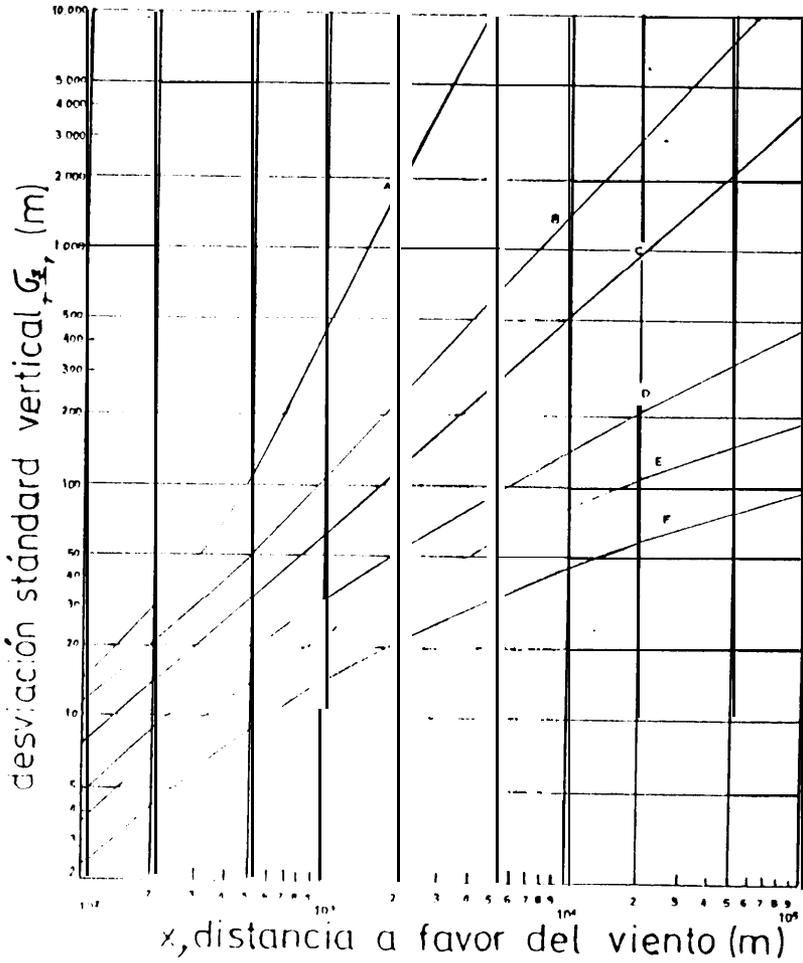


Fig. N^o 4.- Desviación estándar de la concentración vertical del penacho.

TABLA II

TIPOS DE ESTABILIDAD ATMOSFERICA(6)

Velocidad del Viento (m/seg)	Día			Noche	
	Radiación Solar				
	Intensa	Moderada	Leve	Nublado	Claro
< 2	A	A-B	B	E	F
2	A-B	B	C	E	F
4	B	B-C	C	D	E
6	C	C-D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

A - extremadamente inestable
 B - moderadamente inestable
 C - levemente inestable

D - Neutral
 E - Levemente estable
 F - Hodetadarente estable

La altura efectiva de la chimenea, está en función del alto da la mioma, y de la elevación del penacho desde el orificio de salida, ver Fig. Nº 5.

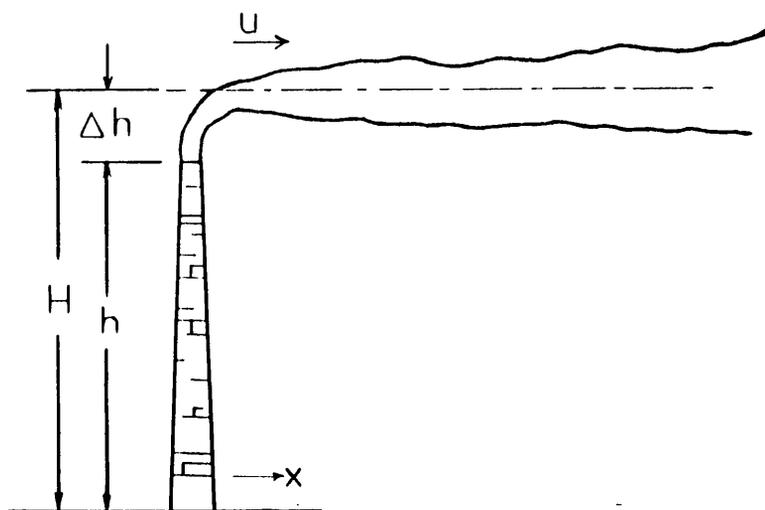


Fig. Nº 5.- Altura efectiva de una chimenea.

La elevación del penacho, se la obtiene mediante la ecuación de Davidson y Bryant⁽⁶⁾, que indica:

$$h = d \left[\frac{V_{\text{e}}}{u} \right]^{1.4} \left[1 + \frac{T}{T_{\text{e}}} \right] \quad \text{Ec. 4}$$

donde: h = elevación del penacho (mts).

d = diámetro de la chimenea (mts).

Ve = velocidad de salida de los gases (m/seg)

u = velocidad del viento (mts/seg).

Ts = temperatura de los gases a la salida OK.

T = temperatura gas-temperatura del aire OK

Por lo tanto: $H = h + h$ Ec. 5

CAPITULO II

DESARROLLO DEL PROCESO

2.1. SELECCION DE ZONAS PARA LA REALIZACION DE PRUEBAS.

Con el fin de establecer datos referenciales del nivel de anhídrido sulfuroso existente en el ambiente, y su influencia en la velocidad de corrosión de los metales, se escogieron 3 zonas, que se indican en las Figuras Nº 6 al 10.

* PRIMERA ZONA: Gral. Gómez y Eloy Alfaro (EMELEC).

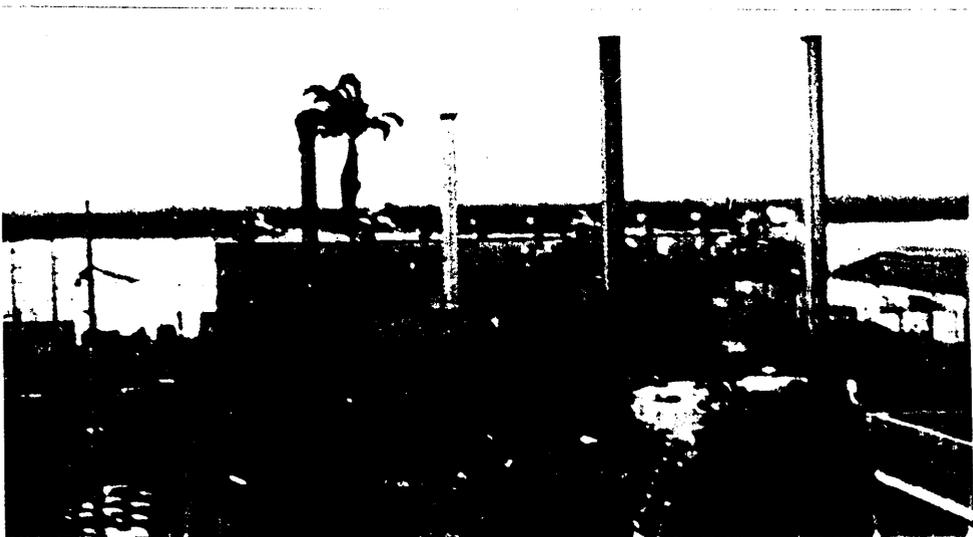


Fig. Nº 6.- Planta a Vapor "Guayaquil".
(Ambiente Urbano)



Fig. N^o 7.- Cámara de captación de SO₂ en Gral. Gómez y Eloy Alfaro. (Ambiente urbano)

* SEGUNDA ZONA: La Prosperina.

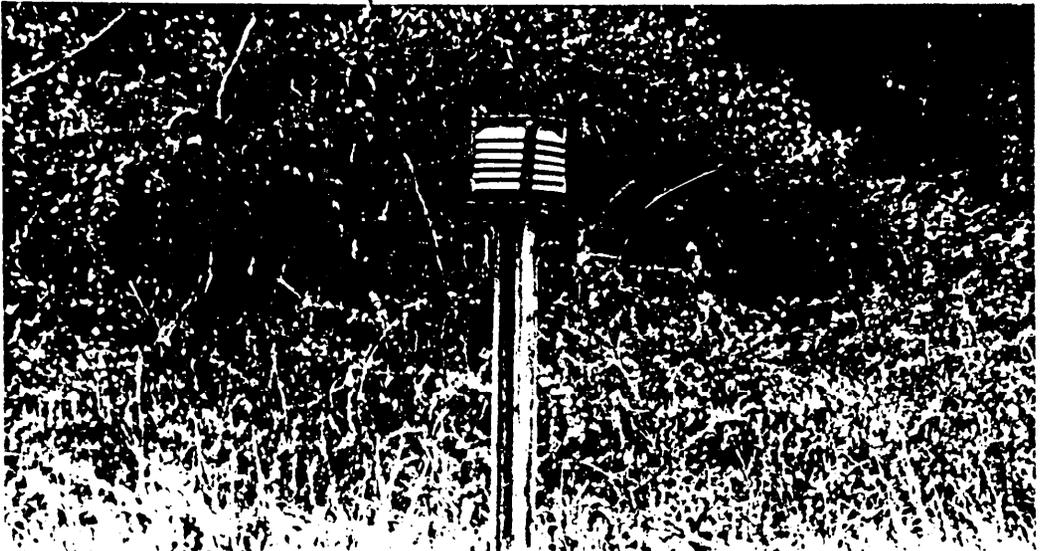


Fig. N^o 8.- Cámara de captación de SO₂ en La Prosperina. (Ambiente Rural).

* TERCENA ZONA: El Salitral, Km. 7½, Vía a la Costa.



Fig. Nº 9.- Vista de las chimeneas de EMELEC e INECEL. (Ambiente Industrial).

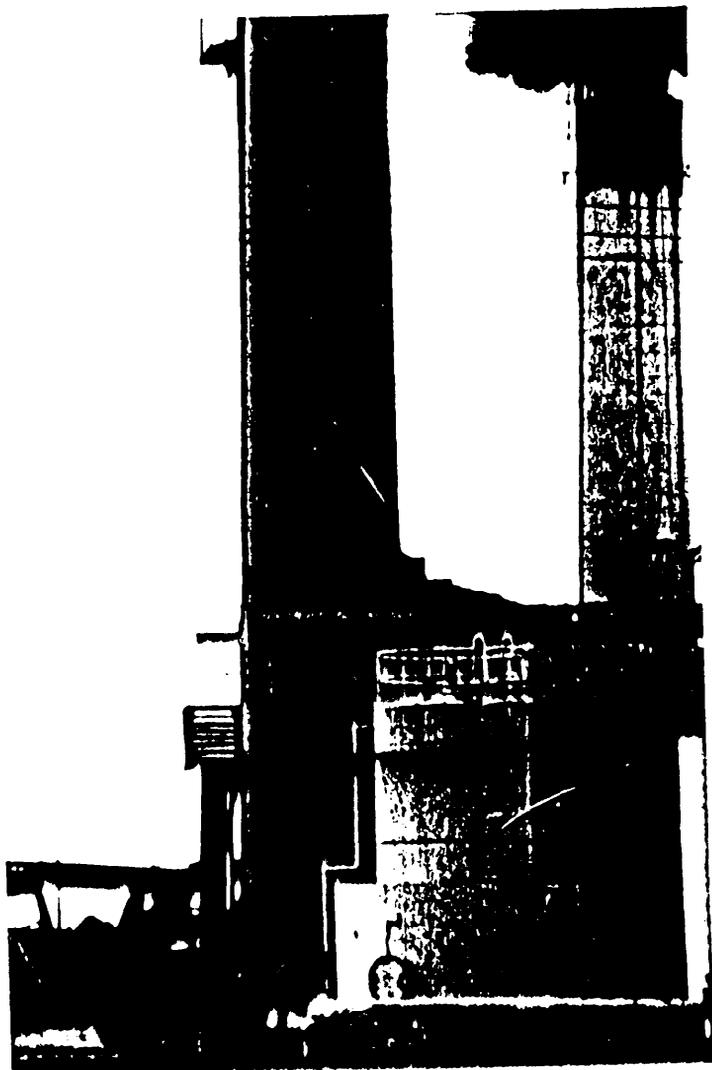


Fig. N^o 10.- Cámara para SO₂ en el Salitral.
(Ambiente Industrial).

2.2. TECNICA OPERATIVA.

La estación del equipo de experimentación constó de lo siguiente:

1. Una caja, Fig. Nº 11, que pudo haber **sido hecha** de metal o madera. Si se empleaba **madera, ésta** debía ser laqueada o barnizada, **caso contrario,** se utilizaba un metal resistente **a** la corrosión. En el **presente** trabajo se empleó madera.

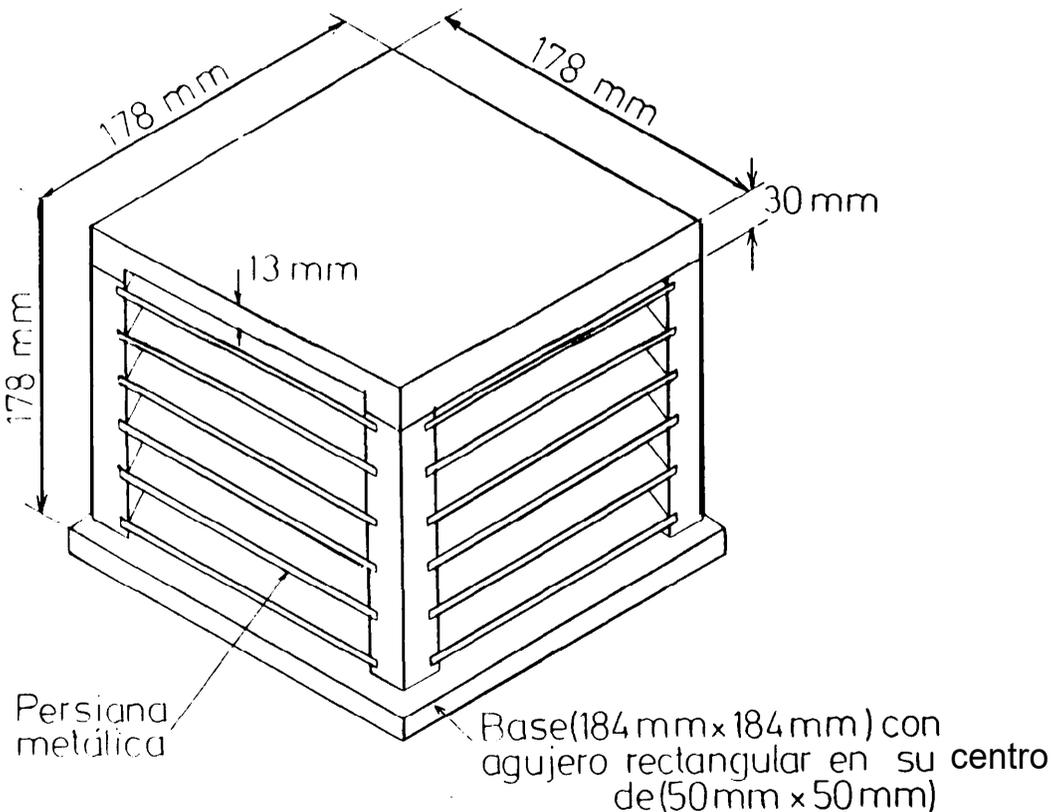


Fig. Nº 11.- Caja de la cámara captadora de SO₂.

La caja fué asegurada **a** una **base por** medio de un candado, de manera que aseguró protección contra

saqueos, Fig. N^o 12.

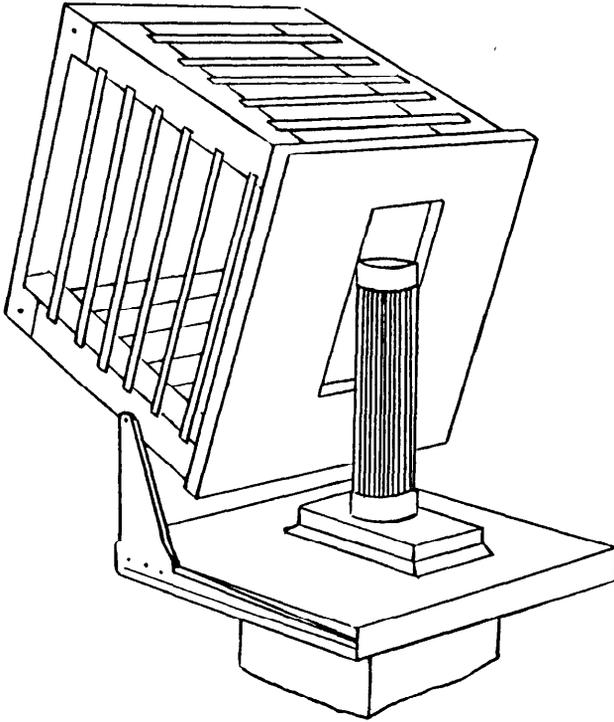


Fig. N^o 12.- Base de la caja para experimentación.

Dicha base estaba sostenida por un poste, cuyas dimensiones se indican en la Fig. N^o 13.

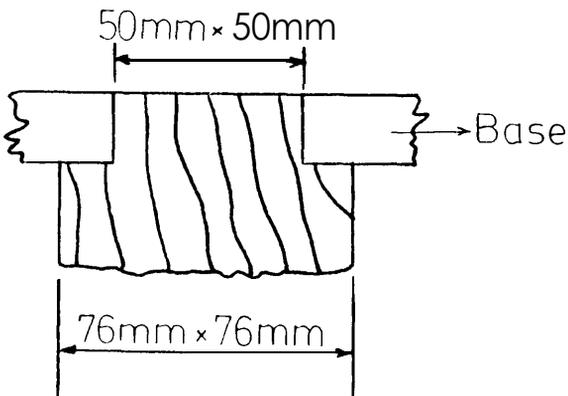


Fig. N^o 13.- Detalle del poste de la caja de madera.

2. Las paredes laterales de la caja, constituyeron una persiana metálica, y las rejillas de la misma estuvieron dispuestas a un ángulo de 45° , para proveer un máximo resguardo de la lluvia, Fig. N $^\circ$ 14 y Fig. N $^\circ$ 15.

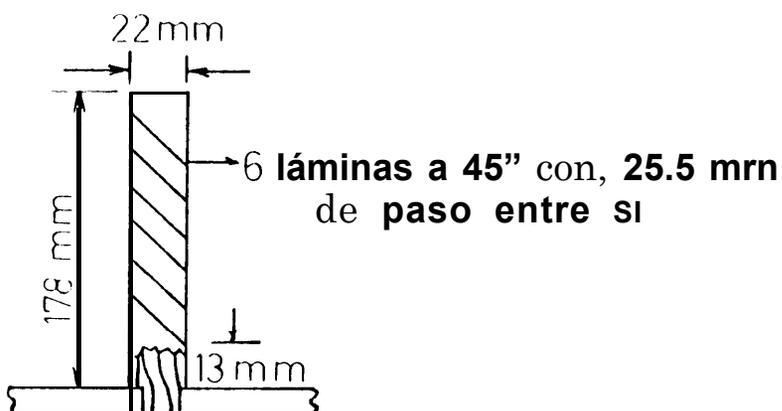


Fig. N $^\circ$ 14.- Dimensionamiento del poste donde irán las láminas metálicas.

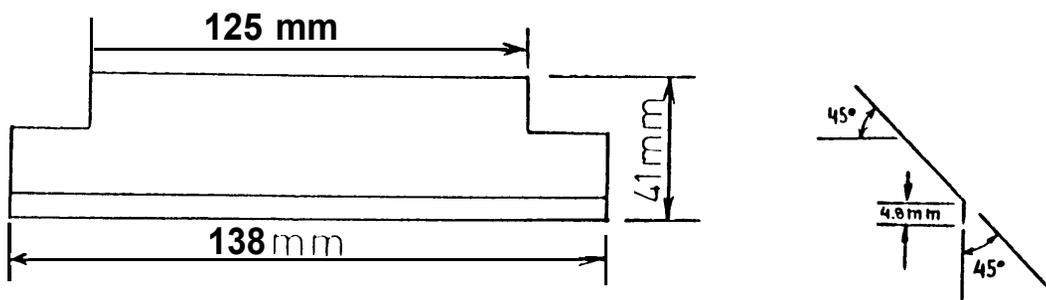


Fig. N $^\circ$ 15.- Medidas de las láminas metálicas.

La persiana fué de un material adecuado, como por ejemplo: Aluminio o Cinc.

3. Un cilindro, con las dimensiones especificadas en la Fig. N^o 16.

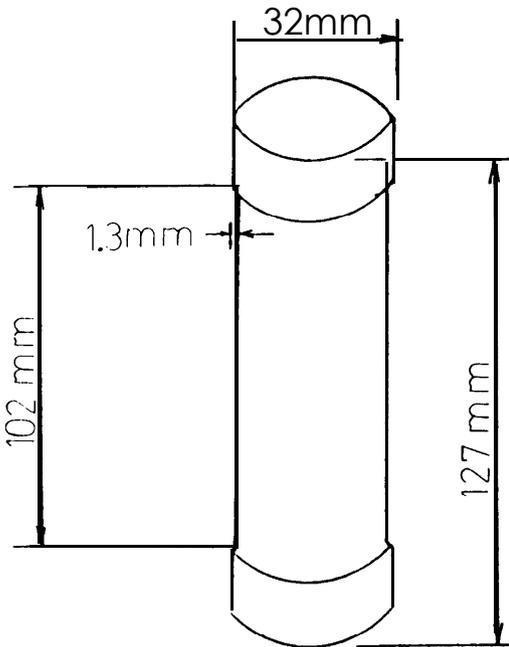


Fig. N^o 16.- Cilindro para experimentación.

El material de fabricación del cilindro, no debía reaccionar con el peróxido de plomo que se encontraba en la superficie lateral. **Para** ello se utilizó PVC. Cabe añadir, que el diámetro externo del cilindro, debía ser tal, que el área de la superficie donde va impregnado el Dióxido de Plomo, fuera aproximadamente 100 **cm²**.

4. Un pedazo de tela, para la aplicación del Dióxido de Plomo-

Reactivos Utilizados.-

- a. Dióxido de Plomo (PbO_2).
- b. Goma de Tragacanto en polvo o Goma Arábica (en caso de no disponer de la primera).
- c. Alcohol Etílico del 95%.

Elaboración de los cilindros de experimentación -

Dos días antes de la prueba de exposición, se preparó los cilindros que eran necesarios siguiendo el procedimiento que indica la **norma⁽¹¹⁾**:

1. En una tela, se recortó un cuadrado de 10 cm. de lado; y se la arrolló alrededor del cilindro. Dicha tela fué fijada con un adhesivo de contacto, que contenía un mínimo contenido de azufre en su composición.
2. Se aplicó el pegamento, en una anchura de banda como se muestra en la Figura **Nº 17**.

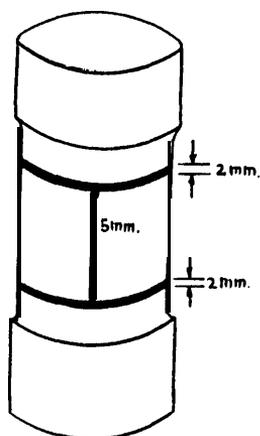


Fig. No 17.- Ancho de banda, para la aplicación del adheivo o pegamento sobre el cilindro.

3. Una vez que empezó a endurecer el pegamento pegamento, se colocó con sumo cuidado la tela, hasta que los bordes de la misma coincidieron.
4. Para preparar el fijador de la pasta, se disolvieron 2 gramos de goma de tragacanto, (o en su lugar, goma arábica), en 10 cm³ de etanol; inmediatamente se añadió 190 cm³ de agua destilada, mientras se mantenía la agitación de la mezcla.
5. En la preparación de cada cilindro se emplearon 8 gramos de dióxido de plomo.
Dicha cantidad se pesó en un recipiente muy bien lavado, para luego agregar 5 cm³ del fijador (cuya elaboración se indicó en el literal ante-

rior); agitando hasta que la pasta **obtenida** tenga una consistencia uniforme.

6. La pasta se la aplico de tal manera que cubra la totalidad de la tela adherida en la superficie lateral del cilindro, sin que quedara espacio en blanco alguno.

7. Posteriormente, el cilindro preparado fue llevado a un medio desecante, como por ejemplo: **unc** desecador. Se lo dejó allí por lo menos 36 horas, o hasta que el cilindro tuviera que ser utilizado.

2.3. OBTENCION DE DATOS.

Para tener una idea del grado de contaminación por SO_2 y de la localización de la estación captadora, se realizó un estudio en base a los siguientes puntos:

a) Centrales Termoeléctricas: Se obtuvo por parte de Inecel y Emelec (en Guayaquil), los parámetros de funcionamiento de sus respectivas unidades turbogeneradoras; para luego, haciendo uso de las ecuaciones 2, 3 y 4 (Sección 1.4), determinar la posición donde tiene lugar el máximo nivel de SO_2 .

b) Salud Humana: Fué necesario contar con datos referenciales, con el propósito de determinar si los niveles de SO₂ obtenidos en los ensayos estaban dentro de los límites tolerables para el ser humano.

A continuación se explica con detalle cada uno de los literales anteriores:

a) Para el caso de las centrales Termoeléctricas, se tomó lecturas de consumo diario de combustible, consumo de aire, diámetro y altura de la chimenea, temperatura y velocidad de los gases de combustión a la salida del generador de vapor, Ver Tablas III y IV.

TABLA III

DATOS TECNICOS DE PLANTA TERMOELECTRICA GUAYAQUIL*

Datos Técnicos	Unidad 1 (5 Mw)	Unidad 2 (5 Mw)	Unidad 3 (10 Mw)	Unidad 4 (10 Mw)
Altura de la chimenea (m)	64	64	74	74
Diámetro de chimenea (m)	1.5	1.5	1.9	1.9
Temperatura del Gas a la Salida (°C)	210	210	240	240

Consumo de combustible (Kg/hr)	1904	1a57	3760	3760
Consumo de Aire (Kg/hr)	20860	20537	41115	41115
Velocidad de los gases (m/seg)	2.83	2.78	3.48	3.48

* Ubicada en Gral. Gómez y Eloy Alfaro.

TABLA IV

DATOS TECNICOS DE INECEL Y EMELEC EN EL SALITRAL*

PLANTA DATO	EMELEC	INECEL	
	Unidad 1 (33 Mw)	Unidad 2 (70 Mw)	Unidad 3 (73 Mw)
Altura de la chimenea (m)	60	64	64
Diámetro de la chimenea (m)	2.2	2.4	2.4
Temperatura del Gas a la Salida (°C)	1a2	144	140
Consumo de combustible (Kg/hr)	9249	12083	12363
Consumo de Aire (Kg/hr)	135568	287770	300100

Velocidad de los gases (m/seg)	8.53	14.85	15.5
--------------------------------	------	-------	------

* Ubicado en el Km. 7½, Vía a la Costa.

Se mencionó al principio, que la concentración de SO₂ depende de factores meteorológicos. En el presente trabajo de investigación, se realizó dos pruebas de exposición, de un mes cada una (Junio 10 - Julio 8; Julio 9 - Agosto 8); y para ello, se requirió del valor mensual promedio de la velocidad del viento durante 10 años⁽¹⁴⁾, además de las propiedades del Bunker C, ver Tablas V y VI, respectivamente.

TABLA V

DATOS DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO⁽¹⁴⁾

Velocidad del viento (m/seg)	Junio 10 - Julio 8	Julio 9 - Agosto 8
	1.48	1.73

TABLA VI

PROPIEDADES DEL BUNKER C(12)

PROPIEDADES	Bunker C
Gravedad Específica	0.9519
Contenido de Azufre (%)	1.5

Con los parámetros de funcionamiento de las centrales termoeléctricas y los datos de la velocidad del viento, se procedió a la **determinación** analítica del lugar de máxima concentración de anhídrido sulfuroso, y su ubicación respecto a la chimenea. A continuación se detalla el cálculo para la Unidad # 2 de Inecel, a manera de ejemplo, para el 1^{er} mes.

Usando la ecuación 4, para la obtención de la altura efectiva de la chimenea (H), se tiene que:

$$\Delta h = (2.40) \left[\frac{14.85}{1.48} \right]^{1.4} \left[1 + \frac{114}{417} \right] = 81.67 \text{ m}$$

En la Ecuación 5, tenemos:

$$H = h + A h = 64 + 81.67 = 145.67 \text{ m}$$

La rapidez de emisión de SO_2 , se la determina de

la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Emisión de azufre} &= \text{Consumo de combustible} \times \% \text{ Azufre} \\ &= 1904 \text{ Kg/hr} \times 0.015 = 28.56 \text{ Kg/hr} \end{aligned}$$

Al tener lugar la combustión del hidrocarburo, el azufre contenido en la misma se oxida; por consiguiente tiene lugar la siguiente reacción química:



Como la masa molecular del azufre y del oxígeno es 32; por lo tanto:

$$\begin{aligned} 28.56 \text{ Kg/hr S} + 28.56 \text{ Kg/hr O}_2 &\longrightarrow 57.12 \text{ Kg SO}_2/\text{hr} \\ Q &= 57.12 \text{ Kg SO}_2/\text{hr} \\ Q &= 15.86 \text{ gr SO}_2/\text{seg} \end{aligned}$$

Para obtener el sitio de máxima concentración, según la velocidad del viento y las condiciones atmosféricas de la zona, se escogió la estabilidad de Pasquill tipo **B** (Ver Tabla II).

Puesto que el más elevado nivel de contaminación, tiene lugar cuando: $\sigma_z = 0.707 H$; y, reemplazando el valor respectivo de H , se tiene:

$$\sigma_z = 0.707 (145.67) = 103 \text{ m}$$

Con este dato de σ_z , e ingresando a la Fig. Nº 5, el sitio de **concentración** máxima de SO2 está a 910 metros de la **chimenea**.

En la Fig. Nº 4, $\sigma_y = 170$ m; y reemplazando los valores en la Ecuación 3, se tiene:

$$C_{m\acute{a}x} = 5.00 \times 10^{-4} \text{ g/m}^3 = 0.174 \text{ ppm.}$$

De igual manera, se procede con el resto de las centrales termoeléctricas, para la determinación de los niveles máximos, y la distancia respectiva, Ver Tabla VII.

TABLA VII

CONCENTRACION MENSUAL MAXIMA ESTIMADA

ZONA	distancia medida desde la chimenea (m)		Concentración máxima (ppm)	
	1er mes	2do mes	1er mes	2do mes
(Industrial) EMELEC	590	580	0.341	0-314
(Industrial) INECEL U#2	910	690	0.175	0.237
INECEL U#3	910	810	0.174	0.218
(Urbana) EMELEC U#1	500	480	0-107	0.110
EMELEC U#2	500	480	0.104	0.108
EMELEC U#3	650	600	0.158	0.139
EMELEC U#4	650	600	0.158	0.139

En la Tabla VIII, los niveles de SO₂ varían, por lo tanto **habrá** difusión de los sitios de menor concentración hacia los de mayor concentración.

Por consiguiente, se obtuvo un promedio de los valores mensuales y de las distancias, donde hay un mayor nivel de anhídrido sulfuroso, Ver Tabla VIII-

TABLA VIII

CONCENTRACION PROMEDIO DE LAS ZONAS

ZONAS	distancia a partir de la chimenea, (m)		Concentración máxima, (ppm)	
	1er mes	2do mes	1er mes	2do mes
Industrial (SALITRAL)	803	693	0.230	0.256
Urbana (EMELEC)	575	540	0.132	0.124

Debido a la imposibilidad física de colocar el equipo de prueba a la distancia donde tiene lugar la máxima concentración se procedió a la instalación del mismo, a una distancia de 200 metros de las chimeneas; y haciendo uso de la ecuación 2, se determinó analíticamente el nivel de SO₂ estimado en la zona, Tabla IX.

TABLA IX

NIVEL DE SO₂ A 200 m DE LA FUENTE

ZONAS	1 ^{er} mes	2 ^{do} mes
	Concentración (ppm)	Concentración (ppm)
Industrial EL SALITRAL	0.00004	0.00015
Urbana EMELEC	0.00245	0.00250

Para la zona rural, en Guayaquil, no se cuenta con patrones de comparación de nivel de anhídrido sulfuroso, por lo que se determinará experimentalmente, la concentración de éste contaminante.

- b) En lo que a salud humana se refiere, es interesante conocer los efectos de la concentración de SO₂ del ambiente, y los períodos de exposición de un individuo a éste tipo de atmósfera; los cuales están dados en la Tabla X.

TABLA X

EFECTOS DE LA CONCENTRACION DEL SO₂ EN LA SALUD(6)

Concentración (ppm)	Tiempo de Exposición	Efectos
0 - 0.1	—————	—————
0.15 - 0.25	1 - 4 días	Cardiorespiratorios
1.0 - 2.0	3 - 10 min	Cardiorespiratorios
1.0 - 5.0	—————	Respiratorios
5.0	1 hora	Obstrucción pulmonar
10.0	1 hora	Hemorragia nasal
> 20.0	—————	Irritación en ojos

Los valores anteriores se compararán con los niveles de contaminación obtenidas mediante experimentación en las zonas de prueba pre-establecidas en Guayaquil, para así emitir un criterio respecto a la agresividad del medio.

CAPITULO III

COMPARACION Y EVALUACION DE RESULTADOS

Realizado el **análisis** químico (Sección 1.3.2), de las muestras en las zonas de experimentación, se obtuvieron los resultados que se indican en la Tabla XI.

TABLA XI

PESO DEL SULFATO DE BARIO DE LAS MUESTRAS

ZONAS	TIEMPO DE DURACION					
	1 ^{er} mes (28 días)			2 ^{do} mes (30 días)		
	Crisol Tarado (g)	Crisol Calcinado (g)	W_1^* Peso del Sulfato de Bario (g)	Crisol Tarado (g)	Crisol Calcinado (g)	W_1^* Peso del Sulfato de Bario
El Salitral	23.3683	23.3769	0.0086	23.6022	23.6094	0.0072
Gral. Gómez y E. Alfaro (EMBLEC)	28.8023	28.8082	0.0069	24.8826	24.8900	0.0074
La Prosperina	24.6088	24.6133	0.0045	23.0433	23.0488	0.0055

* W_1 es el contenido en peso de sulfato de bario obtenido, y es la diferencia entre el peso del crisol calcinado (a 800 °C) y el peso del crisol tarado (a 105 °C por 1 hora).

NOTA: El peso del sulfato de bario en el cilindro de referencia (W_2), hallado mediante el análisis químico recomendado por la norma, fue de 1 mg.
Entiéndase por cilindro de referencia, a aquel que no ha sido expuesto a la atmósfera.

Para calcular la rapidez de deposición de anhídrido sulfuroso para el primer mes de prueba, considere a manera de ejemplo, la cantidad de sulfato de bario en la zona de El Salitral; y de acuerdo a la ecuación 1 (Sección 1.3.2), se tiene:

$$W_1 = 0.0086 \text{ g SO}_4\text{Ba} = 8.6 \text{ mg SO}_4\text{Ba}$$

$$W_2 = 1 \text{ mg SO}_4\text{Ba} \text{ (dato referencial)}$$

$$a = 100 \text{ cm}^2 \text{ (área de exposición)}$$

$$b = 28 \text{ días}$$

Reemplazando los datos anteriores en la ecuación antes mencionada, se obtiene:

$$\text{mg SO}_3/\text{m}^2/\text{día} = \frac{3430 (W_1 - W_2)}{a \cdot b} = \frac{3430 (8.6 - 1)}{(100) \cdot (28)} = 9.31$$

La rapidez de deposición de anhídrido sulfuroso, se expresa en $\text{mg SO}_3/\text{m}^2/\text{día}$, y no en $\text{mg SO}_2/\text{m}^2/\text{día}$, debido a que el SO_2 del ambiente se oxida; pero si se quiere relacionar ambas unidades, se hace uso del siguiente factor de conversión⁽³⁾:

$$1 \text{ mg SO}_3/\text{m}^2/\text{día} = 1.25 \text{ mg SO}_2/\text{m}^2/\text{día}$$

Para el ejemplo anterior:

$$9.31 \text{ mg SO}_3/\text{m}^2/\text{día} = 11.6 \text{ mg SO}_2/\text{m}^2/\text{día}$$

También es importante conocer la concentración de SO₂ en partes por millón (**ppm**), por lo que:

$$1 \text{ ppm SO}_2 = 3714 \text{ mg SO}_3/\text{m}^2/\text{día} \text{ (3)}$$

Por lo tanto, para el ejemplo que se analiza:

$$9.31 \text{ mg SO}_3/\text{m}^2/\text{día} = 0.00251 \text{ ppm SO}_2$$

De igual manera se procede con el cálculo para las zonas restantes,

A fin de ilustrar mejor los resultados obtenidos para los períodos de exposición, ver las figuras **Nº18** y **19**.

3.1. ANALISIS DE RESULTADOS.

Si se comparan los resultados de la Fig. **Nº18** y **19**, se deduce lo siguiente:

- Los valores de la concentración y rapidez de deposición de **SO₂**, difieren notablemente, Esto se debe a la inestabilidad ambiental de la zona, en otras palabras, la dirección del viento cambió a lo largo del día.

- Para acelerar el proceso corrosivo del acero, la concentración de SO₂ en el ambiente, debe ser del orden de 0-0376 **ppm**⁽³⁾; y, según los resultados

Concentración
(ppm)

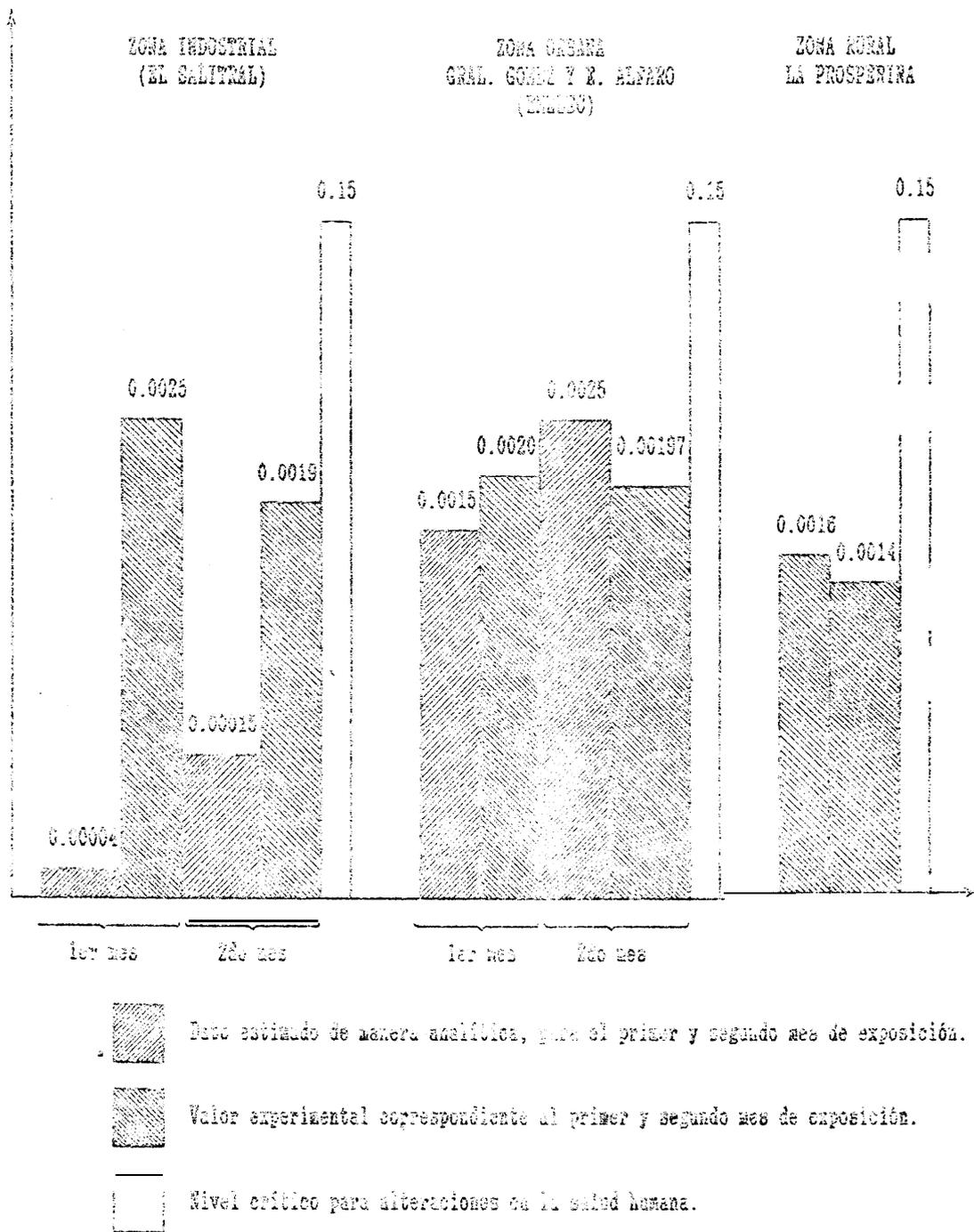


Fig. Nº 19.- Concentración mensual de SO₂ en las zonas.

obtenidos de los meses de experimentación, no se alcanzó tal valor. Esto se debe básicamente, a que Guayaquil no cuenta con muchas centrales termoeléctricas e industrias, **que** incidan grandemente en la contaminación por el contaminante en mención.

Por lo tanto, la corrosión atmosférica del acero no alcanza límites alarmantes,

- En lo que a salud se refiere, los niveles de anhídrido sulfuroso, de la Tabla X, comparado con los valores de la **Fig. N°19**, no afectan en lo absoluto a la actividad humana. En consecuencia, la presencia de SO₂ en el medio, no origina problemas cardiorrespiratorios en los habitantes de la urbe.

- En la zona de El Salitral (ambiente industrial), la rapidez de deposición de Dióxido de azufre, bajó drásticamente en el segundo mes, ver **Fig. N°18**. Esto se debió al mantenimiento correctivo que efectuó INECEL en una de sus unidades,



3.2. CLASIFICACION DE LAS ZONAS SEGUN LA AGRESIVIDAD AMBIENTAL DEL SO₂.

Conforme a lo dicho en el Capítulo 1, el sector industrial es el que más contribuye a la contaminación ambiental.

En el presente trabajo de investigación, se verificó lo anteriormente mencionado, puesto que el sector de El Salitral registró el mayor nivel de anhídrido sulfuroso, respecto a las otras zonas.

De aquí que, la suposición hecha al principio en cuanto a la clasificación de las zonas es correcta.

Por lo tanto:

- * ZONA INDUSTRIAL: El Salitral (Km. 7½, Vía a la Costa).
- * ZONA URBANA: Eloy Alfaro y Gral. Gómez (EMELEC).
- * ZONA RURAL: La Prosperina.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Una vez que se llevó a cabo la fase de **experimentación** y luego de realizar la **discusión correspondiente** de los resultados obtenidos, se concluye lo siguiente:

1. - La técnica de captación de SO_2 por medio del dióxido de plomo es ventajosa, pues permite evaluar 106 compuestos de azufre presentes en el ambiente, mediante la oxidación directa de los mismos con el PbO_2 .
2. Según los experimentos realizados, se deduce que la atmósfera de la ciudad de Guayaquil, no está tan contaminada por SO_2 , por lo que la velocidad de corrosión del acero sería muy ligera en caso de ensayos de exposición al ambiente de probetas metálicas sin recubrimiento protector.
- 3.- Los niveles de SO_2 en atmósferas industriales son variables, esto incidirá en la obtención de una ecuación matemática que indique la rapidez de

deposición de **SO₂** aproximada en cualquier mes del año; pues ésta se ve afectada por varios factores meteorológicos que se mencionaron al inicio del trabajo.

RECOMENDACIONES

- 1.- La ESPOL a través del CECOR (Centro Experimental para el Control de la Corrosión), debe **incentivar** la realización de un mapa que indique la agresividad ambiental en diferentes puntos de la provincia del Guayas o a nivel nacional, mediante ensayos de captación de contaminantes. Esto contribuirá enormemente al desarrollo del proyecto MICAT (Mapa Iberoamericano de Corrosión Atmosférica), en el que Ecuador es uno de los países participantes.
- 2.- Implementar paneles para la exposición a la atmósfera de probetas metálicas desnudas, a fin de evaluar su correspondiente velocidad de corrosión en presencia del **SO₂**.
- 3.- En los períodos de precipitación lluviosa (**Enero-Mayo**), principalmente, tomar muestras de agua de lluvia, para la obtención del PH, cantidad de sulfatos contenidos; y, así poder calcular los tiempos de

humectación (período en el cual la humedad relativa del ambiente supera al 80%) y el grado de contaminación respectivo.

4.- Continuar con las pruebas de captación de SO_2 mensuales, con el propósito de construir la curva (rapidez de deposición de SO_2 vs. mes), y establecer la relación matemática correspondiente, mediante análisis estadístico para 5 años aproximadamente.

5.- Para que los resultados que se obtengan en futuras investigaciones, sean confiables; instalar por lo menos 2 paneles captadores de anhídrido sulfuroso en cada una de las zonas a ser analizadas.

6.- Los períodos de exposición de las muestras, deben ser cada 2 meses, pues la atmósfera Guayaquileña no presenta un nivel elevado de anhídrido sulfuroso.

7.- En vista de que en el presente trabajo, se usó la goma arábica en lugar de la goma de tragacanto, para la preparación de la pasta reactiva de dióxido de plomo (Sección 2.2.1); tener en cuenta que al preparar dicha pasta, ésta tenga una consistencia uniforme, y que el PbO_2 cubra la totalidad de la tela que está arrollada alrededor del cilindro de exposición.

APENDICE

Determinación de la rapidez de deposición de SO₂ en el disco de Petri.-

a. Principio.-

El SO₂ de la atmósfera reacciona con el dióxido de plomo para formar sulfato, La cantidad de anhídrido sulfuroso captado, es expresado en mg SO₂/m²/día.

La posición invertida del disco, es para minimizar la captura de azufre debido a la precipitación de ácido sulfúrico ocasionada por la lluvia, Ver Fig. N^o20

b. Elaboración de los discos de exposición.-

- Recortar **papel** filtro en forma circular, con un diámetro de 50 mm ó 60 mm. El tamaño del mismo debe ser tal, **que** entre dentro del disco. Colocar el papel y con una jeringa, aplicar acetona hasta que éste se encuentre saturado. Esperar hasta que la acetona se evapore.

- Vertir agua destilada o agua desionizada en el papel filtro, y esperar aproximadamente 1 hora. Desechar ésta agua, y añadir nuevamente agua destilada hasta la mitad del volumen,

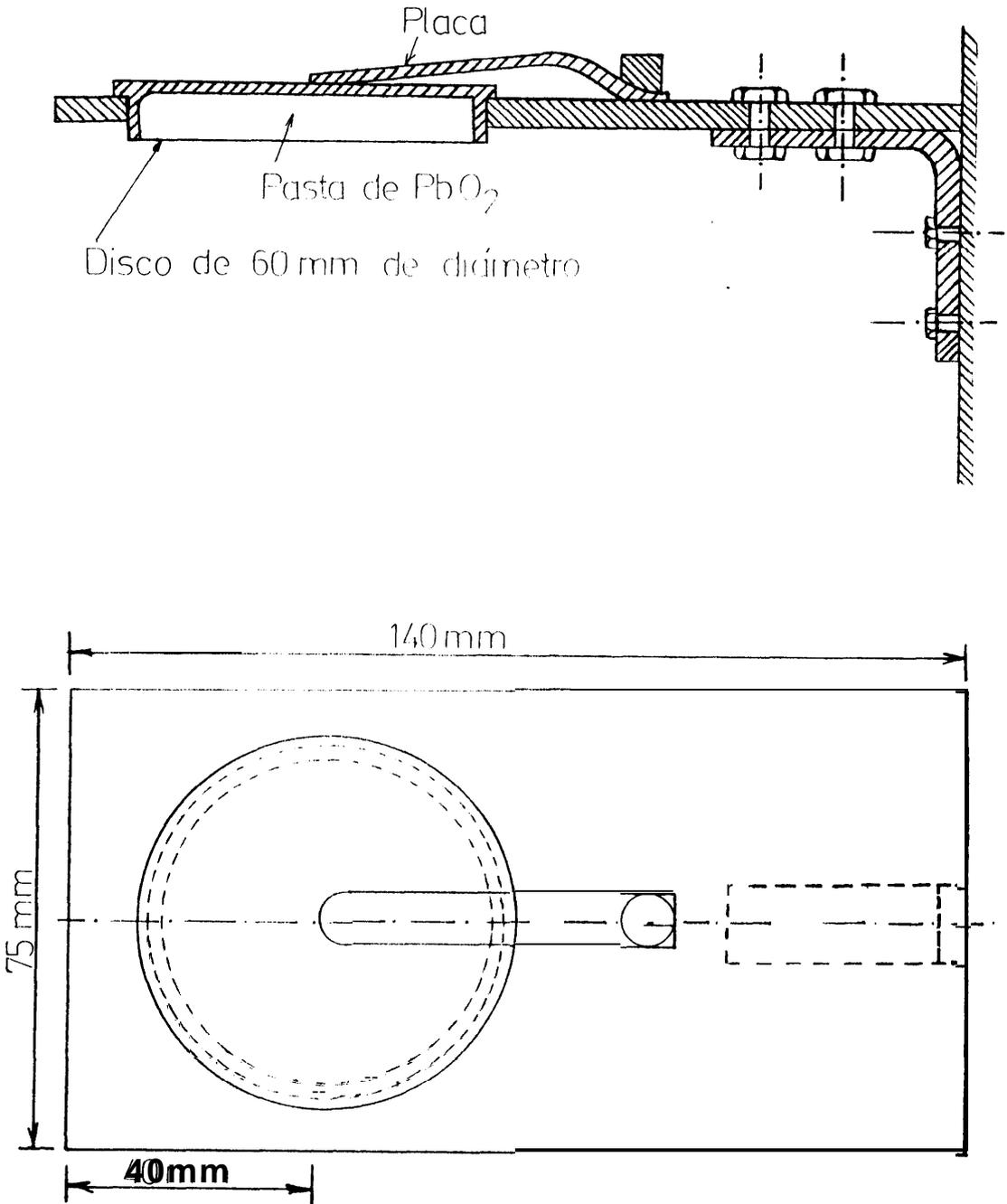


Fig. Nº 20.- Dimensión y Forma del Disco de Petri para la captación del SO₂.

- Pesar 3.5 g de goma de tragacanto y añadir 900 cm³ de agua destilada, en un vaso de precipitación. Mover a velocidad lenta por 2 horas aproximadamente.
- Tomar luego 400 cm³ de la solución anterior; y agregar luego 112 g de dióxido de plomo. Remover por espacio de 2 minutos a velocidad lenta-
- En una pipeta tomar 10 cm³ de la solución y agregar al disco de 50 mm de diámetro; caso contrario escoger 15 cm³ de la mezcla, para agregar al disco de 60 mm de diámetro.
- Dejar secar en un espacio libre de contaminantes por un lapso de 20 horas, a una temperatura de 40 a 50°C, hasta que tengan que ser utilizadas.

c. Tiempo de exposición.-

Deben colocarse 3 muestras en la zona de **experimentación**, por espacio de 1 mes.

Los discos de prueba deben ser enumerados, para llevar un **control**.

d. Análisis químico de sulfatos.-

El contenido de sulfatos de las muestras, es analizado mediante el uso de **carbonato de sodio**. El sulfato es precipitado en **forma de sulfato de bario**, y medido turbidimétricamente.

Reactivos.-

- Carbonato de Sodio (disolver 5 g de carbonato de sodio en 1 dm³ de agua).
- Acido clorhídrico 0.7 M.
- Cloruro de Bario (disolver 5 gramos en 1 dm³ de agua).
- Agua destilada.
- Solución estándar de sulfato de sodio.

Procedimiento de análisis químico.-

Remover el dióxido de plomo en un vaso de precipitación.

Añadir 20 cm³ de la solución de carbonato de sodio.

- Dejar reposando por espacio de **3 horas**, mientras se agita ocasionalmente.

- Posteriormente calentar hasta ebullición por 30 minutos.

- Dejar enfriar, y ajustar el volumen a 50 cm³.

- Pasar la solución a través de papel filtro.

- En una pipeta, escoger 10 cm³ de la solución filtrada y, colocarla en un tubo de ensayo de 25 mm de diámetro y 150 mm de longitud. Agregar 10 cm³ de agua destilada y 5 cm³ de ácido clorhídrico (0.7 M).
Con un papel indicador, determinar el ph de la solución; la cual debe tener un ph de 2.5 a 4.0`. - Caso contrario descartar la muestra y repetir nuevamente el paso.

- Escoger 5 cm³ de la solución anterior con una pipeta, y llevar a un tubo de ensayo de 25 mm de diámetro; y agregar 15 cm³ de agua destilada,

- Añadir 1 cm³ de cloruro de bario al tubo de ensayo; agitar vigorosamente, y dejar reposar por 5 minutos antes de medir la turbiedad.

- Medir la turbiedad de la solución a 500 nm. Convertir la densidad óptica/turbiedad/ leyendo en microgramos de sulfato, a partir de la curva de calibración, cuya forma de elaboración se **indica** a continuación.

e. **Preparación de la curva de calibración.-**

- Diluir 10 cm³ de la solución estándar de sulfato de sodio, a 100 cm³ usando una fiola de 100 cm³.
- En una pipeta escoger los siguientes volúmenes, de la solución de sulfato de sodio **diluída** en tubos de ensayo: 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15 cm³. Diluir cada una a 20 cm³ con agua destilada o desionizada.
- **Graficar** en un papel milimetrado, las lecturas de densidad óptica **vs.** contenido de sulfato, de cada una de las soluciones indicadas anteriormente; por ejemplo: 50, 100, **150**, 200, 250, 500 y 750 **ug.**

f. **Evaluación de los resultados.-**

La rapidez de deposición de sulfato es calculado en **términos** de SO₂ capturado por el disco..

La rapidez de deposición de **SO₂** (expresado en

mg/m²/día), es calculado de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$R = \frac{(S - S_1) \times 16.67}{a \cdot t \cdot 1000}$$

S = Contenido de sulfato en el disco, ug.

S₁ = Contenido de sulfato en el disco testigo, ug.

a = área de exposición, m².

t = tiempo de exposición, días,

NOTA: Disco testigo es aquel, que no ha sido expuesto medio ambiente,

BIBLIOGRAFIA

51

1. A. C. Stern, editor, Air Pollution. Volumen 3 (New York: Academic Press, 1976), pp. 154, 221-222, 395, 403-409.
2. H. E. Hesketh, Air Pollution Control (Ann Arbor, Michigan: Ann Arbor Science, 1979), pp. 24-39.
3. s. Feliú y M. Morcillo, Corrosión v Protección de los Metales en la Atmósfera (Madrid: Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, 1982), pp. 53-62, 232-241, 19.
4. J. O. M. Bockris, Environmental Chemistry (Plenum Press: Plenum Publishing Corporation, 1977), pp. 179 - 321.
5. L. L. Sheir, Corrosion. Volumen 1 (London: Tien Wash Press, 1979), Capítulos 2 y 3.
6. Howard S. Peavy, Donald R. Rowe, George Tchobanoglous, Environmental Engineering (New York: Mc.Graw-Hill

Company, 1979), pp. 442-509.

7. Samuel J. Williamson, Fundamentals of Air Pollution (Reading, Massachusetts: Adison-Wesley, 1973), pp. 187-383.
8. V. Cavasen0 and the Staff of Chemical Engineering, Industrial Air Pollution Engineering (New York: Mc.Graw-Hill Company, 1980), pp. 53-70.
9. R. A. Dobbins, Atmospheric Motion and Air Pollution (New York: John Wiley & Sons, 1979), pp. 144-303.
10. M. Crawford, Air Pollution Control Theory (New York: Mc. Graw-Hill Book Company, 1976), pp. 1-19.
11. Manual ASTM, Volumen 26. 1976
12. A. Vargas, Calderas Industriales y Marinas (Guayaquil, Editorial Series VZ, 1984), pp.165.
13. Programa de Educación para la Naturaleza, Fundación Natura (EDUNAT II, 1984).
14. A. Palacios, "Estudio Estadístico de las Variables Meteorológicas en la Ciudad de Guayaquil", (Proyecto de Grado, Facultad de Ingeniería Mecánica,

CAPITULO II

DESARROLLO DEL PROCESO

2.1. SELECCION DE ZONAS PARA LA REALIZACION DE PRUEBAS.

Con el fin de establecer datos referenciales del nivel de anhídrido sulfuroso existente en el ambiente, y su influencia en la velocidad de corrosión de los metales, se escogieron 3 zonas, que se indican en las Figuras Nº 6 al 10.

* PRIMERA ZONA: Gral. Gómez y Eloy Alfaro (EMELEC).



Fig. Nº 6.- Planta a Vapor "Guayaquil".
(Ambiente Urbano)





Fig. No 7.- Cámara de captación de SO_2 en Gral. Gómez y Eloy Alfaro. (Ambiente urbano)

* SEGUNDA ZONA: La Prosperina.

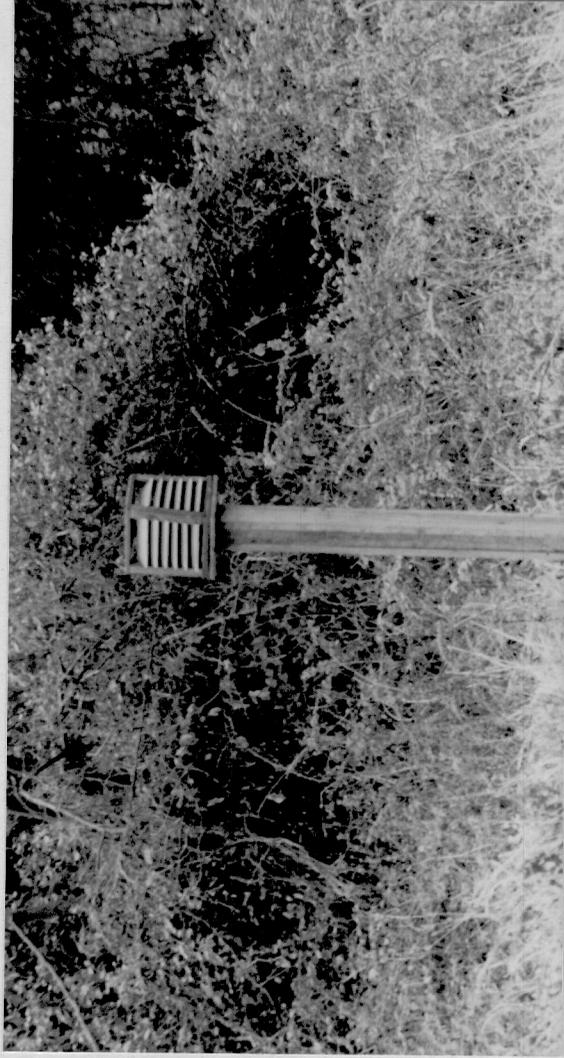


Fig. No 8.- Cámara de captación de SO_2 en La Prosperina. (Ambiente Rural).

* TERCENA ZONA: El Salitral, Km. 7½, Vía a la Costa.

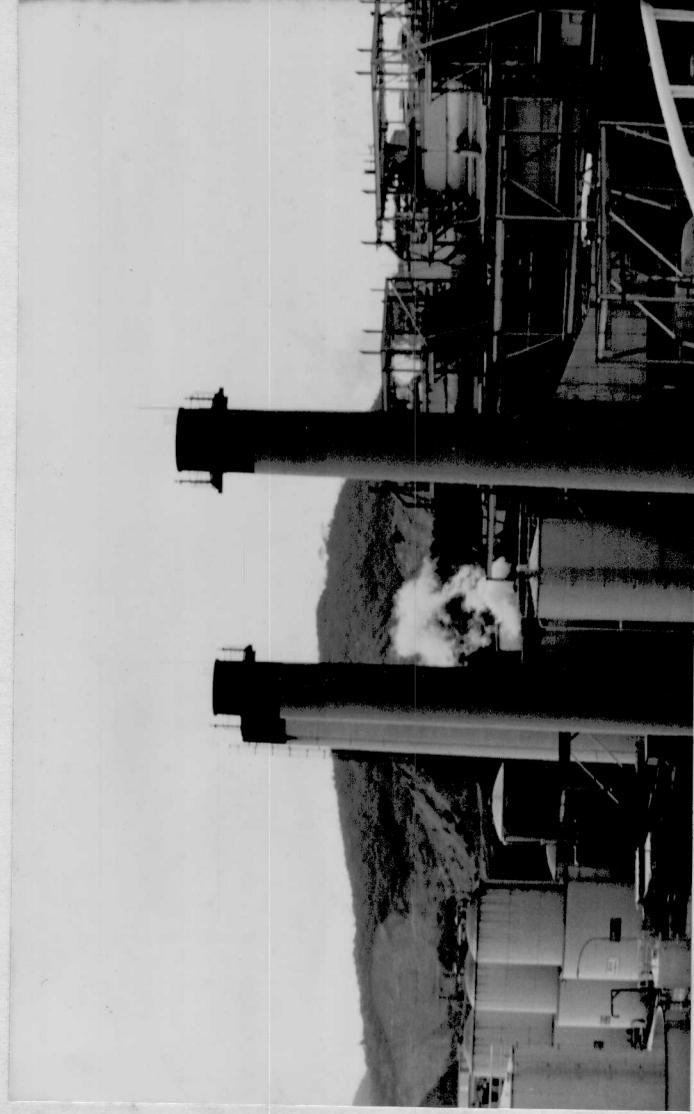
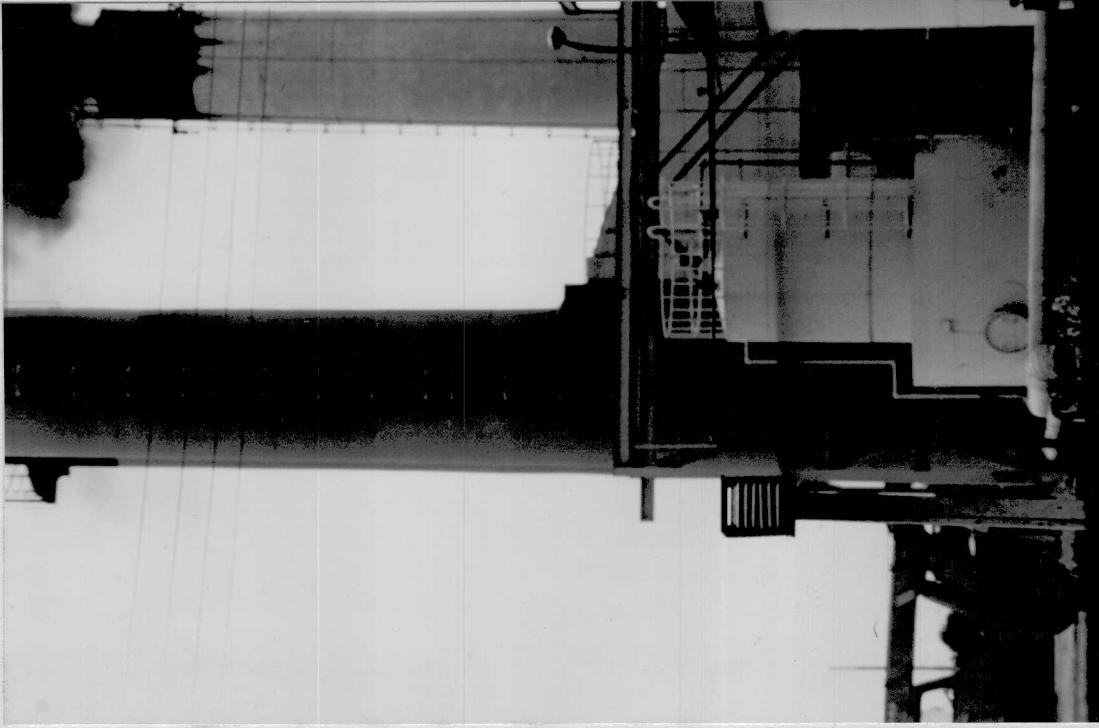


Fig. No 9.- Vista de las chimeneas de EMELEC e INECEL. (Ambiente Industrial).



BIBLIOTECA
MUSEO HISTÓRICO DEL LITORAL
1928

Fig. Nº 10.- Cámara para SO₂ en el Salitral.
(Ambiente Industrial).