



T
620.11223
V297



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL BIBLIOTECA
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

**LA CORROSIVIDAD ATMOSFERICA SOBRE ESTRUCTURAS METALICAS
GENERADA POR FUENTES ESTACIONARIAS EN GUAYAQUIL**

(PROYECTO MICAT)

PROYECTO DE GRADO

Previo a la Obtención del Título de

INGENIERO MECANICO

PRESENTADO POR:

MANUEL VARGAS CERDAN

GUAYAQUIL - ECUADOR

1990

AGRADECIMIENTO

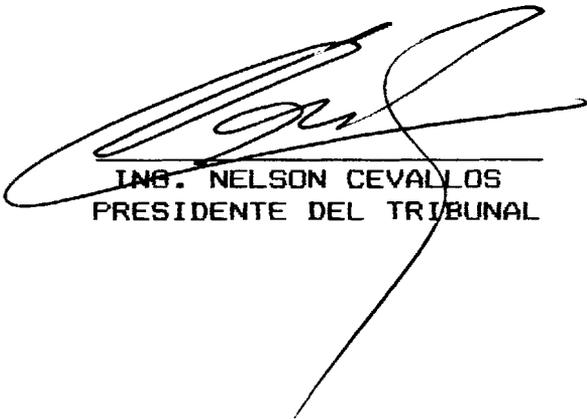
Al Ing. JULIAN PEÑA, Director de
Tópico de Graduación por el apoyo
brindado en el desarrollo de este
Proyecto.

DEDICATORIA



BIBLIOTECA

A mis padres, que me han guiado y
brindado su apoyo durante una larga y
dura jornada, en la cual, su felicidad
ha sido y será siempre mi único
horizonte.



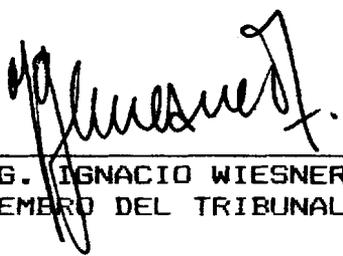
ING. NELSON CEVALLOS
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



ING. JULIAN PERA
DIRECTOR
PROYECTO DE GRADO



31



ING. IGNACIO WIESNER
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



ING. JAIME BARRERA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACION EXPRESA

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

(Reglamento de Tópico de Graduación)

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'Manuel Vargas Cerdan', is written over a horizontal line. The signature is cursive and somewhat stylized.

MANUEL VARGAS CERDAN

RESUMEN

Para discutir la posible vida en servicio de una estructura expuesta a la atmósfera es necesario tener formado antes una idea sobre la magnitud del fenómeno corrosivo en ella.

El papel de los contaminantes atmosféricos especialmente el dióxido de azufre es examinado en este trabajo, ratificando que el carácter de las industrias, fuentes de energía, época del año, hace que la presencia de SO_2 en la atmósfera varíe entre amplios límites.

Este trabajo evalúa el nivel de emisiones de los contaminantes que son descargados a la atmósfera por las fuentes estacionarias y analiza la influencia del SO_2 sobre el fenómeno corrosivo.

Para realizar dicha evaluación se escoge el procedimiento conocido como inventario de emisiones, que es un método muy utilizado desde que se comenzó a estudiar el problema de la contaminación del aire.

En el capítulo I, se analiza aspectos que dan una información general del tema como son: definiciones de los contaminantes atmosféricos, ubicación de las zonas

industriales, la polución de SO_2 , daños por corrosión debido a la atmósfera, además se explica el origen y validez de los datos obtenidos para los cálculos a realizar.

En el capítulo II, se realizan cálculos de inventario de emisión para fuentes estacionarias, se determinan las zonas de mayor concentración de SO_2 , se relacionan los parámetros meteorológicos con la contaminación de la atmósfera que provoca la corrosión y se analizan los resultados.

Finalmente, con el propósito de que estos datos de corrosión atmosférica sean útiles para conocer la magnitud del deterioro que pueden sufrir los elementos estructurales del acero almacenado al aire libre o bajo abrigo ventilado, se dan conclusiones y recomendaciones.



BIBLIOTECA

INDICE GENERAL

	PAG.
RESUMEN	I
INDICE GENERAL	III
INDICE DE FIGURAS	IV
INDICE DE TABLAS	VI
SIMBOLOGIA	IX
INTRODUCCION	X
CAPITULO I	
ASPECTOS GENERALES	
1.1 CONTAMINANTES ATMOSFERICOS	II
1.2 UBICACION DE LAS ZONAS INDUSTRIALES	14
1.3 LA POLUCION DE SO ₂	19
1.4 DAÑOS POR CORROSION	22
CAPITULO II	
INCIDENCIA DE LA CORROSION PRODUCIDA POR SO ₂	
2.1 CALCULO DE INVENTARIO DE EMISIONES	29
2.2 ZONAS DE MAYOR CONCENTRACION DE SO ₂	59
2.3 EL SO ₂ Y SU RELACION CON LAS VARIABLES METEOROLOGICAS	63
2.4 ANALISIS DE RESULTADOS	66
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
APENDICES	72
BIBLIOGRAFIA	77

INDICE DE FIGURAS

No.		PAGS.
1.	Zonas de análisis industrial en el área metropolitana de Guayaquil.	15
2.	Corrosión atmosférica del acero en función del tiempo.	24
3.	Emisión de contaminantes, zona A, 1990.	35
4.	Emisión de contaminantes, zona D, 1990.	36
5.	Emisión de contaminantes, zona F, 1990.	42
6.	Emisión de contaminantes, zona G, 1990.	46
7.	Emisión de contaminantes, zona H, 1990.	50
8.	Emisión de contaminantes, zona I, 1990.	54
9.	Estimación de la emisión de contaminantes en Guayaquil, 1990.	56

10. Zonas estudiadas en el área metropolitana de Guayaquil. 60

11. Nivel de SO_2 en las zonas industriales de Guayaquil, 1990. 62

INDICE DE TABLAS

	PAGS	
I	Tamaño promedio de planta por rama industrial y por área.	18
II	Emisiones Antropogénicas de SO ₂ en el mundo (1965)	20
		22
III	Fuentes y cantidades de SO ₂	
IV	Plantas representativas por zona industrial	28
V	Consumo de combustibles de las industrias representativas, zona A.	32
VI	Emisión de contaminantes, zona A, 1990.	34
VII	Consumo de combustible de empresas representativas, zona D.	36
		37
VIII	Emisión de contaminantes, zona D, 1990.	
IX	Consumo de combustibles de las industrias representativas, zona F.	39

X	Emisión de polucionantes, zona F, 1990.	41
XI	Consumo de combustibles de las industrias representativas, zona G.	43
XII	Emisión de contaminantes, zona G, 1990	45
XIII	Consumo de combustible de las industrias representativas, zona H.	47
XIV	Emisión de polucionantes, zona H, 1990	49
XV	Consumo de combustible, zona I.	51
XVI	Emisión de contaminantes, zona I, 1990.	52
XVII	Consumo de combustibles debido a fuentes estacionarias en Guayaquil.	55
XVIII	Estimación de la emisión de contaminantes en Guayaquil, 1990.	57
XIX	Nivel de SO ₂ en las zonas industriales de Guayaquil, 1990.	61
XX	Valor promedio de concentración de SO ₂ en las zonas industriales de Guayaquil.	68

A1	Factores de Emisión para combustibles.	73
A2	Rapidez de Deposición y Concentración de SO ₂ .	74
A3	Tabla de resultados de temperatura media del aire (°C).	75
A4	Tabla de resultados de humedad relativa (%).	76

SIMBOLOGIA

Avda.	Avenida
CO	Monóxido de Carbono
°C	Grados Centígrados
Cu.	Cobre
DPU.	Departamento de Planeamiento Urbano
dm.	Decímetro
EPA	Agencia Americana de Protección del Medio Ambiente.
gal	Galones
gr	Gramos
HR	Humedad Relativa
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censo
Km	Kilómetro
Lbs	Libras
m	Metros
mg	Miligramos
NO ₂	Dióxido de Nitrógeno
PPM	Partes por millón
P	Fósforo
PbO ₂	Dióxido de plomo
S*	Porcentaje de Azufre por peso
SO ₂	Dióxido de Azufre
Ton	Toneladas

INTRODUCCION

La contaminación del aire que se produce en el mundo se debe principalmente a los gases descargados por las industrias y los escapes de los automotores. Guayaquil es una ciudad de un notable crecimiento industrial por lo cual se hace posible e imprescindible zonificar los asentamientos industriales de acuerdo al grado de contaminación atmosférica.

En este trabajo, se realiza una zonificación de las industrias existentes en Guayaquil, para luego evaluar las emisiones de los contaminantes producidos por estas fuentes estacionarias.

El contaminante que se analiza con mayor profundidad es el dióxido de azufre, por ser el que incide en la corrosión de las estructuras metálicas.

Se analiza también la relación del SO_2 y la humedad relativa en la velocidad de corrosión de las estructuras metálicas y finalmente se hacen recomendaciones con el fin de evitar pérdidas debido a daños por corrosión.

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 CONTAMINANTES ATMOSFERICOS

La influencia de la contaminación atmosférica sobre los metales origina el fenómeno de la corrosión. El mecanismo de contaminación del aire puede ser analizado como un sistema constituido de tres componentes básicos:

FUENTE DE EMISION → ATMOSFERA → RECEPTORES

Una de las causas fundamentales de la contaminación del aire lo constituyen los combustibles. La generación de poder, calentamiento de proceso y calentamiento de espacios, son algunos de los grandes consumidores de combustibles que originan emisiones de óxido de azufre, óxido de nitrógeno y partículas.

Se pueden clasificar los contaminantes del aire como: primarios y secundarios. Si los contaminantes son emitidos directamente a la atmósfera, estos se denominan contaminantes primarios, tales como, el monóxido de carbono, el dióxido de azufre ó los óxidos

de nitrógeno. Estos contaminantes interaccionan al ser emitidos a la atmósfera y forman los contaminantes secundarios, por ejemplo, el dióxido de azufre (SO_2) puede combinarse con agua y formar el ácido sulfúrico ($\text{SO}_4 \text{H}_2$)

Ocurre con frecuencia, que no solamente los contaminantes emitidos directamente a la atmósfera son los más irritantes y perjudiciales, sino los formados en la atmósfera por reacciones químicas.

Entre los principales contaminantes tenemos:

Compuesto de Azufre. - La mayor fuente antropogénica de SO_2 en la mayoría de las industrias nacionales son incineradores de combustibles fósiles.

El SO_2 se encuentra normalmente en la atmósfera en concentraciones que varían entre 0.001 y 0.1 ppm, tiene una vida promedio de aproximadamente de cuatro días. (1)

Compuestos de Nitrógeno. - Entre los más importantes contaminantes del aire que poseen nitrógeno en sus moléculas son: el óxido de nitrógeno (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO_2), siendo el primero el más abundante.



Tanto el NO como el NO₂ son emitidos a la atmósfera como contaminantes primarios y se encuentran en concentraciones bajas.

Se forman de la combustión a altas temperaturas, tanto industrial como de vehículos, en la fabricación de ácido nítrico y diversos procesos de nitración industrial.

Compuesto del Carbono.- Los gases inorgánico del carbono son el monóxido y bióxido de carbono, ambos son gases producto de la combustión del carbón y de los hidrocarburos. El CO es de carácter fuertemente reductor y no reacciona con el agua, éste es un gas algo más ligero que el aire y tóxico, al contrario que el CO₂ que es más denso que el aire y no presenta toxicidad.

Partículas Sólidas y Líquidas.- Son partículas, todas las sustancias atmosféricas que no son gases, como: iones, polvos, partículas de humo, polen, gotas de lluvias. Estas pueden ser sólidas como líquidas que permanecen en la atmósfera por un determinado periodo de tiempo.

Las partículas dispersas en el aire, que son menores de 1.0 micras conforman un aerosol especial conocido

como humo que es generado por la incineración de combustible fósiles. Otra fuente de emisión de partículas son las fábricas de cemento; fábrica de artículos de acero o de madera; etc.

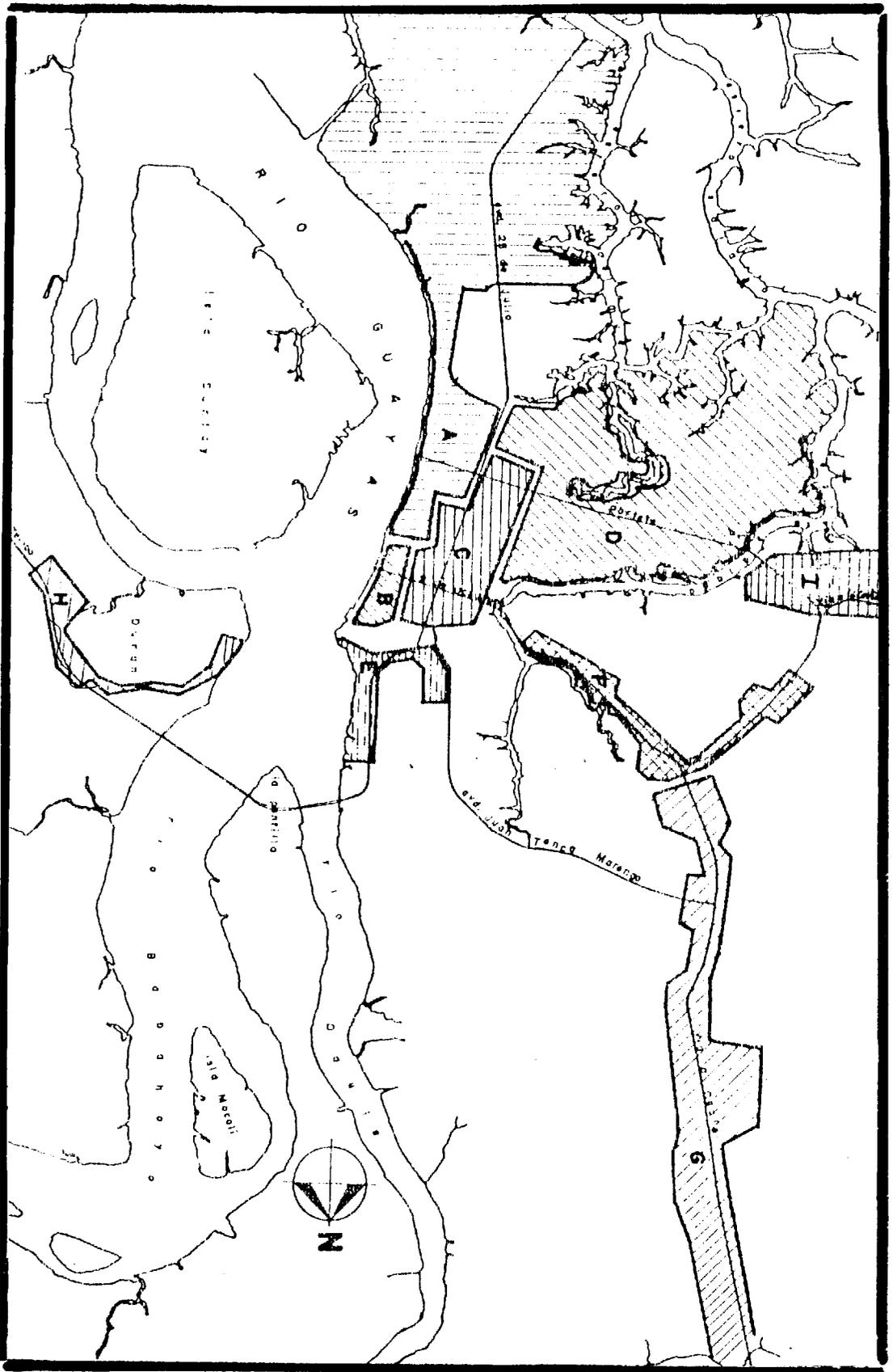
1.2 UBICACION DE LAS ZONAS INDUSTRIALES

Para poder cuantificar las fuentes de emisiones y estimar la cantidad de contaminates atmosféricos, se realiza un estudio estadístico conocido como un inventario de emisiones (2). Para realizar éste proceso es fundamental determinar el área de estudio, si ésta es muy grande puede ser dividido en zonas.

Para objeto de este estudio, se realiza un inventario de inspección rápida, porque es un método puntual, para el cual se dividió la ciudad en zonas industriales en base al análisis industrial del área metropolitana de Guayaquil, elaborado por el Departamento de Planeamiento Urbano del Municipio (3) (DPU) en colaboración con EE.UU. en 1976, el cual formuló un detenido estudio sobre la localización interna de la industria local.

Las zonas industriales de Guayaquil definidas por el DPU-EE.UU. y graficadas en la figura 1, son las siguientes:





Area A: La zona industrial comprendida al sur de la avenida Olmedo, entre la ribera del río Guayas y las avenidas Eloy Alfaro; Domingo Comín y Cuba. Al sur se extiende hasta el Puerto Marítimo.

Area B: La zona industrial situada en el centro de la ciudad entre las calles Boyacá; Avda. Olmedo; Cerro Santa Ana y la ribera del Río Guayas.

Area C: Es la zona que corresponde a la periferia del área central. En un área intermedia de la ciudad situada entre el suburbio y el centro; su límite oeste es la calle Lizardo García; al sur hasta El Oro y al norte hasta la Avda. Julian Coronel.

Area D: Esta zona corresponde al suburbio. Su límite está determinado como se observa en el gráfico, por la Avda. Quito; El Oro; Lizardo García; y el Estero Salado.

Area E: Corresponde a las zonas industriales situadas al norte de los cerros Santa Ana y El Carmen. Comprende las industrias localizadas al inicio de la Avda. de las Américas y a las localizaciones a orillas de la ribera del Río Guayas.

Area F: Comprende a las industrias localizadas en la Avda. Carlos Julio Arosemena (desde el puente 5 de Junio hasta el km 4 1/2 y el comienzo del carretero a la costa).

Area G: Es la zona industrial situada a ambos lados de la carretera a Daule desde el km 4 1/2 hasta la penitenciaria.

Area H: Corresponde a las industrias situadas en Durán.

Area I: Corresponde a la zona en la que se encuentra instalada la Cemento Nacional.

Una clasificación de las áreas según el tamaño promedio, permiten observar algunos patrones de localización de las industrias en la ciudad (ver Tabla I).



BIBLIOTECA

TABLA I
TAMAÑO PROMEDIO DE PLANTA POR RAMA INDUSTRIAL
Y POR AREA⁽¹⁴⁾

TAMAÑO	AREA INDUSTRIAL
Artesanal	B
Pequeña	B, C
Pequeña-Mediana	A, F, G, E
Mediana	A, G, E, H
Grande	A, D, G, I

La industria artesanal y pequeña, está localizada preferentemente en la zona central de la ciudad, zonas intermedias del casco urbano y en el área del suburbio. En las áreas centrales están localizadas industrias pequeñas de vestidos y textiles, imprentas, talleres de metalmecánica, mientras que en las áreas del suburbio existen talleres artesanales de alimentos y bebidas, carpintería y de metalmecánica (zona B, C).

Las industrias medianas-pequeñas y mediana, se localizan preferentemente en la periferia de la ciudad, ya sea a lo largo de la ribera del Río Guayas tanto al sur como al norte del centro de la ciudad; a lo largo del carretero a Daule y de la Avda. Carlos

Julio Arosemena (zona A, E, F, G, H).

Las industrias grandes tienden a situarse fuera del área urbana o en zonas que hasta hace pocos años eran la periferia de la ciudad (zonas A, D, G, I).

② 1.3 LA POLUCION DE SO₂

Existen dos importantes fuentes de polucionantes primarios:

1. El combustible o materia prima empleada en conversión de energía o procesos de fabricación.
2. Reacciones químicas involucradas en el combustible o material procesado.

En general, todos los petróleos brutos contienen una cierta cantidad de azufre, pero la refinación que separa el petróleo bruto en las diversas fracciones del petróleo tienden a concentrar el azufre en los productos con altas temperaturas de ebullición, tales como el fuel oil residual (bunker). Las plantas de poder queman residuos de fuel oil, que es el combustible de menor calidad y el sobrante después que el más ligero hidrocarburo es destilado, esto es, gasolina, kerosene, destilado de fuel oil.

De la incineración de combustible fósiles se generan las emisiones de SO_2 dependiendo del contenido de azufre del combustible. El carbón mineral y el fuel oil residual (bunker) son los combustibles que contienen mayor cantidad de azufre (0.5 a 4 %) y por lo tanto su uso representa mayor riesgo ambiental.

La tabla II muestra como Robinson y Robbina⁽¹²⁾ han llegado a detectar que la mayor fuente de emisión de SO_2 es la combustión de carbón, seguida de la combustión de petróleo y la fundición.

TABLA II
EMISIONES ANTROPOGENICAS DE SO_2 EN EL MUNDO⁽¹²⁾
(1965)

FUENTE DE EMISION	EMISIONES DE SO_2 (t)
Carbón	92,6
Combustión del petróleo	
Gasolina	0,3
Kerosene	0,2
Petróleo refinado	1,8
Petróleo residual	18,4
Fundición	
Cobre	11,7
Plomo	1,4
Cinc	1,2
Refinado de petróleo	5,1
TOTAL	133,0

t = 1.12×10^6 Ton.

El SO_2 existe en la atmósfera en diferentes concentraciones dependiendo del tipo de industria, fuente de energía de la región, etc. El contenido de SO_2 en París fue de 0.14 mg/m^3 en 1967⁽¹⁾. Cuando la concentración de SO_2 supera los 0.1 mg/m^3 , el ataque al acero se acelera considerablemente.

El SO_2 puede ser absorbido por el agua lluvia, dando lugar a la precipitación ácida y el PH del agua lluvia adquiere un valor ácido.

La concentración media de SO_2 en la atmósfera se suele medir por medio de métodos como "Peróxido de plomo", "Inventario de emisiones", siendo éste el método desarrollado en éste trabajo.

Según experimentos⁽¹⁾, mientras que el nivel de contaminación por SO_2 en la atmósfera se conserve inferior a $0.275 \text{ mg/SO}_2/\text{dm}^2.\text{día.}$, este gas no influye prácticamente en la corrosión del acero.

La quema de combustible sólidos y fósiles, contribuye en más del 80% de las emisiones antropogénicas de SO_2 en EE.UU. (ver tabla III), la combustión de combustible fósiles en fuentes estacionarias (principalmente plantas termoeléctricas), procesos industriales son los principales contribuyentes de



óxido de azufre. La transportación contribuye poco en la contaminación de la atmósfera por SO_2 , por que el contenido de azufre en la gasolina es bajo (alrededor de 0.03 por peso).

TABLA III
FUENTES Y CANTIDADES DE SO_2 (17)

FUENTE	EMISIONES (10^6 TON/AÑO)				
	1968	1970	1975	1977	1980
TRANSPORTACION	0.7	0.9	1.1	0.8	0.9
FUENTES ESTACIONARIAS	20.6	23.5	22.0	22.4	19.0
PROCESOS INDUSTRIALES	6.1	5.3	2.9	4.2	3.8
MISCELANEOS	0.6	0.3			
TOTAL	28.0	30.0	26.0	27.4	23.7

③ 1.4 DAÑOS POR CORROSION

La corrosividad de la atmósfera es una función de la humedad relativa del aire (HR); el número de días que ocurre la precipitación acuosa (lluvia, rocío, niebla, etc); de la contaminación atmosférica, temperatura, etc. En consecuencia se puede decir que en la

corrosión atmosférica participan factores meteorológicos, como los factores de contaminación.

La atmósfera varía considerablemente con respecto a la humedad, temperatura y contaminantes, de aquí, los valores de corrosión atmosférica varían considerablemente en todo el mundo, para esto, se divide la atmósfera en tipos. Los mejores tipos son: marino, industrial, ártico, urbano y rural. En este trabajo nosotros solo se analizaran las atmósferas industriales.

Se ha demostrado que la humedad relativa es un factor decisivo en la corrosividad de la atmósfera. Por debajo de un determinado nivel de HR no es probable corrosión, pues no existe película apreciable de electrólito sobre el metal, pero aún cuando la HR está por encima del valor que corroe los metales (60-80%) la atmósfera debe estar contaminada.

En superficies húmedas se produce la corrosión, que es un proceso electroquímico. El electrólito está constituido por una película húmeda extremadamente delgada o una película acuosa que es cuando el metal aparece perceptiblemente mojado. Cada vez que se forma la capa de electrólitos sobre el metal se produce corrosión, ésta es la suma de los procesos

parciales. Como consecuencia se producen capas de herrumbre que tienden a ser protectivas, por éste motivo la corrosión decrece con el tiempo (ver figura 2)

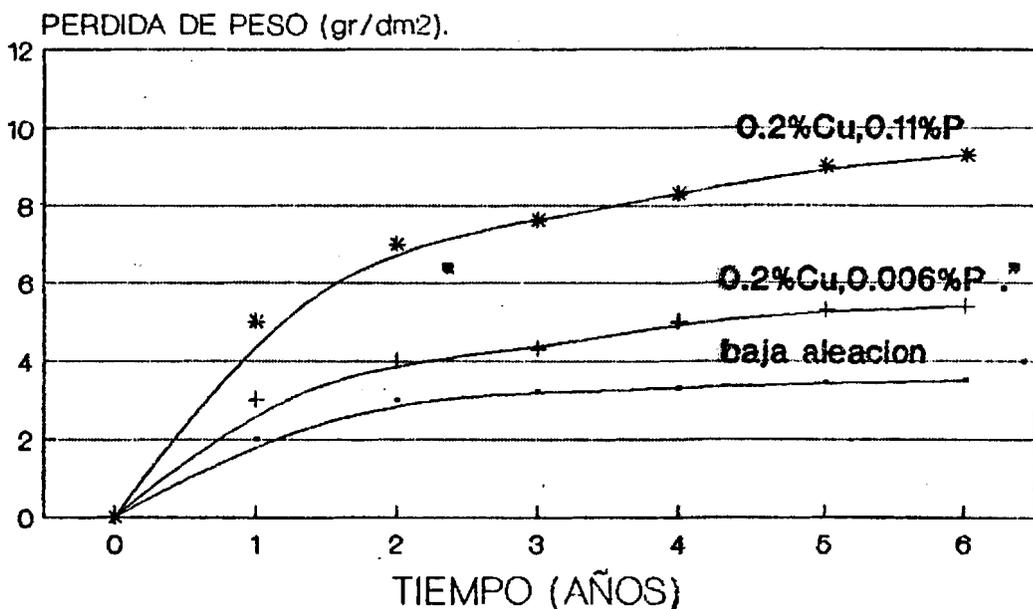


Fig.2 CORROSION ATMOSFERICA DEL ACERO
COMO FUNCION DEL TIEMPO (ATMOSFERA
INDUSTRIAL).

Origen y Validez de los Datos.- Para calcular los niveles de emisión, se utilizan los factores de emisiones de la EPA (Agencia Americana de Protección del Medio Ambiente) que se encuentran tabulados en "Compilation of Air Pollutant Emission Factors".

Se eligió ésta publicación porque ofrece una lista muy detallada de los diferentes tipos de fuentes

estacionarias y móviles, además especifica el tipo de fuente y de combustible consumido lo que dá una versatilidad tal, que permite adaptarlo a las condiciones del medio.

Como los factores de emisiones no pueden ser iguales en todos los lugares, existirá cierto grado de variación, sin embargo permite una buena aproximación a los niveles de emisiones verdaderos.

Para realizar los cálculos se han dividido las fuentes de emisiones en dos formas:

- a) Por zonas industriales
- b) Considerando la totalidad de las industrias de esta ciudad

Para el primer caso, los datos que pide la EPA para realizar el inventario de emisiones fueron obtenidos de:

- Encuesta personal a cada industria seleccionada.
- Control de cupos de la Subdirección de Hidrocarburos.

Para el segundo caso, la EPA pide datos que son obtenidos de:

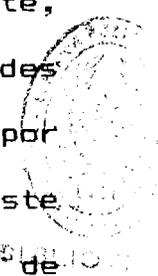
- Encuesta anual de "Manufactura y Minería" INEC.
- Control de cupos de la Subdirección de Hidrocarburos.

Las industrias en las cuales se hizo el inventario de emisiones fueron previamente seleccionadas en base a los siguientes parámetros:

1. Capacidad de producción.
2. Cantidad de combustible consumido
3. Ubicación

Para que sean representativos los cálculos, se eligió un grupo de industrias con mayor productividad y actividad (grandes y medianas industrias), información que se la tomó de un directorio publicado por la Cámara de Industrias (1988).

La cantidad de contaminantes generados por las industrias están en dependencia, en su mayor parte, del consumo de combustibles y no todas las grandes industrias consumen gran cantidad de combustibles, por tal motivo se hace una nueva selección en base a este parámetro, información que se la tomó del control de cupo de la Sub-Dirección de Hidrocarburos.



Por ser el método de inventario de emisión un muestreo puntual, resulta muy laborioso evaluar una gran cantidad de industrias, por lo tanto dependiendo de las zonas en que se encuentran ubicadas se seleccionaron las industrias que constan en la tabla IV, siendo éstas las más representativas de cada zona, se las tomó para evaluar las emisiones de la área a que pertenecen.

Como en las zonas B y C sólo se encuentran pequeñas industrias, talleres artesanales, estas no son tomadas en cuenta para objeto de los cálculos.

TABLA IV

PLANTAS REPRESENTATIVAS POR ZONA INDUSTRIAL

ZONA	A	D	F	G	H	I
P L A N T A I N D U S T R I A L	EMELEC (P. GQUIL.)	EMELEC (P. A.SANTO)	CALCARROS HUAYCOS	OLEICA	FLEISHMAN	LA CEMENTO NACIONAL
	LA FAVORITA	INECEL	SI CAFE	OLITRASA	CANGEL	
	PROCARSA		CANTERA SAN LUIS	ETERNIT	CENTRAL A DISIEL	
	JABONERIA NACIONAL		NESTLE	AGROINSA		
	LA UNIVERSAL			KURETEX		
	LA CAROTNERA NACIONAL			DUREX		
	FUNASA			CRIDESA		
				BALANC. VIGOR		
				CERV. NACIONAL		
				LA FAVORITA		

CAPITULO II

INCIDENCIA DE LA CORROSION PRODUCIDA POR SO₂

2.1 CALCULO DE INVENTARIO DE EMISIONES

El método del inventario de emisiones es desarrollado mediante una variedad de técnicas, con la diferencia en la forma de evaluar los factores de emisión para una determinada fuente, pero básicamente se pueden resumir en factores de emisión para fuentes móviles y estacionarias (2).

Se realizará un cálculo estimativo de los contaminantes emitidos a la atmósfera por fuentes estacionarias.

La EPA presenta una tabla (ver Apendice A.1) en la cual constan factores de emisiones tanto para plantas de poder como para industrias. Estos factores vienen dados en libras por 1000 galones de combustible, los mismos que se multiplican por el consumo de combustible y dá el total de las emisiones.

Total de emisión = Factor emisión x Consumo Comb.

En esta tabla existe un factor S^* que es el porcentaje por peso de azufre en el combustible, esto es multiplicado en la fórmula anterior, así:

$$\text{Total emisión} = \text{Factor emisión} \times S^* \times \text{Consumo Comb.}$$

En este medio, la mayor parte de las industrias consumen en gran cantidad Bunker y Diesel, estos combustibles al ser quemados generan gran cantidad de SO_2 , que es el polucionante de mayor interés por ser el que incide en la corrosión de los metales, por lo tanto, se calcularán las emisiones producidas al quemar Bunker y Diesel.

Se sumará el consumo de combustible (bunker y diesel) de las industrias seleccionadas, por zona, y en base a esta cantidad se calculan las emisiones para cada uno de los contaminantes analizados (SO_2 ; NO_2 ; CO ; Partículas), luego se suman y se obtiene el total de las emisiones.

De la tabla de factores de emisión dada por la "EPA" se obtienen los siguientes datos en Libras por 1000 galones.

Dióxido de Azufre: Bunker = 157S*
 Diesel = 157S*



Dióxido de Nitrógeno:	Bunker = 72
	Diesel = 72
Oxido de Carbono:	Bunker = 2
	Diesel = 2
	Bunker = 0.04 (Planta de poder)
Partículas:	Bunker = 23
	Diesel = 15
	Bunker = 10 (Planta de poder)

De Petroecuador se obtuvo el siguiente dato:

Contenido de azufre	
por peso (S*):	Bunker = 1.5
	Diesel = 0.5



Emisión en la Zona A

Esta zona tiene la particularidad de tener una planta termoeléctrica, por lo tanto, los factores de emisiones son diferentes a los de las plantas industriales. En este caso, se suma aparte el consumo de combustible.

En la tabla V, se presenta las industrias más representativas de esta zona y su consumo anual de Bunker y Diesel, tomado de la encuesta personal realizada a cada industria.



TABLA V
 CONSUMO DE COMBUSTIBLES DE LAS INDUSTRIAS
 REPRESENTATIVAS, ZONA A

EMPRESAS	TIPO DE COMBUSTIBLE	
	BUNKER (gal/año)	DIESEL (gal/año)
EMELEC (P. GUIL)	27702000	_____
LA FAVORITA	1800000	_____
PROCARSA	660000	_____
JABONERIA NAC	432000	_____
LA UNIVERSAL	396000	_____
LA CARTONERA NAC.	_____	854784
FUNASA	_____	60000

Así, el consumo de combustible en estas industrias es:

Bunker: 3288000 gal/año

Diesel: 914784 gal/año

En base a estos datos se calculan las emisiones:

Debido al Bunker:

$$SO_2 = 1575 \text{ lbs/1000 gal} \times 1.5 \times 3288000 \text{ gal/año}$$

$$SO_2 = 774324 \text{ lbs/año.}$$

$$\text{NO}_2 = 72 \text{ lbs/1000 gal} \times 3288000 \text{ gal/año}$$

$$\text{NO}_2 = 236736 \text{ lbs/año.}$$

$$\text{CO} = 2 \text{ lbs/1000 gal} \times 3288000 \text{ gal/año} = 6576 \text{ lbs/año.}$$

$$\text{Part.} = 23 \text{ lbs/1000 gal} \times 3288000 \text{ gal/año}$$

$$\text{Part.} = 75624 \text{ lbs/año.}$$

Debido al Diesel:

$$\text{SO}_2 = 1575^* \text{ lbs/1000 gal} \times 0.5 \times 914784 \text{ gal/año}$$

$$\text{SO}_2 = 71811 \text{ lbs/año.}$$

$$\text{NO}_2 = 72 \text{ lbs/1000 gal} \times 914784 \text{ gal/año}$$

$$\text{NO}_2 = 65864 \text{ lbs/año.}$$

$$\text{CO} = 2 \text{ lbs/1000 gal} \times 914784 \text{ gal/año} = 1830 \text{ lbs/año.}$$

$$\text{Part.} = 15 \text{ lbs/1000 gal} \times 914784 \text{ gal/año}$$

$$\text{Part.} = 13722 \text{ lbs/año.}$$

Debido al bunker de la planta termoeléctrica:

$$\text{SO}_2 = 1575^* \text{ lbs/1000 gal} \times 1.5 \times 27702000 \text{ gal/año} =$$

$$\text{SO}_2 = 6523821 \text{ lbs/año.}$$

$$\text{NO}_2 = 72 \text{ lbs/1000 gal} \times 27702000 \text{ gal/año}$$

$$\text{NO}_2 = 1994544 \text{ lbs/año.}$$

$$\text{CO} = 0.04 \text{ lbs/1000 gal} \times 27702000 \text{ gal/año}$$

$$\text{CO} = 1108 \text{ lbs/año.}$$

$$\text{Part.} = 10 \text{ lbs/1000 gal} \times 27702000 \text{ gal/año}$$

$$\text{Part.} = 277020 \text{ lbs/año.}$$

El total de las emisiones (debido al bunker, diesel, planta termoeléctrica), están dados en la tabla VI, tomando en cuenta que $1 \text{ lb/año} = 4.54 \times 10^{-4}$ toneladas/año.

TABLA VI
EMISION DE CONTAMINANTES, ZONA A, 1990
(TON/AÑO)

CONTAMINANTE CANTIDAD	SO ₂	NO ₂	CO	PARTICULAS
TON/AÑO	3346	1043	4.3	166

Se nota que las emisiones de SO₂ son mayores comparadas con los otros contaminantes. Le sigue en importancia las emisiones de NO₂, mientras que las emisiones de partículas y CO son mucho menores, esto es observado más claramente en la figura 3.

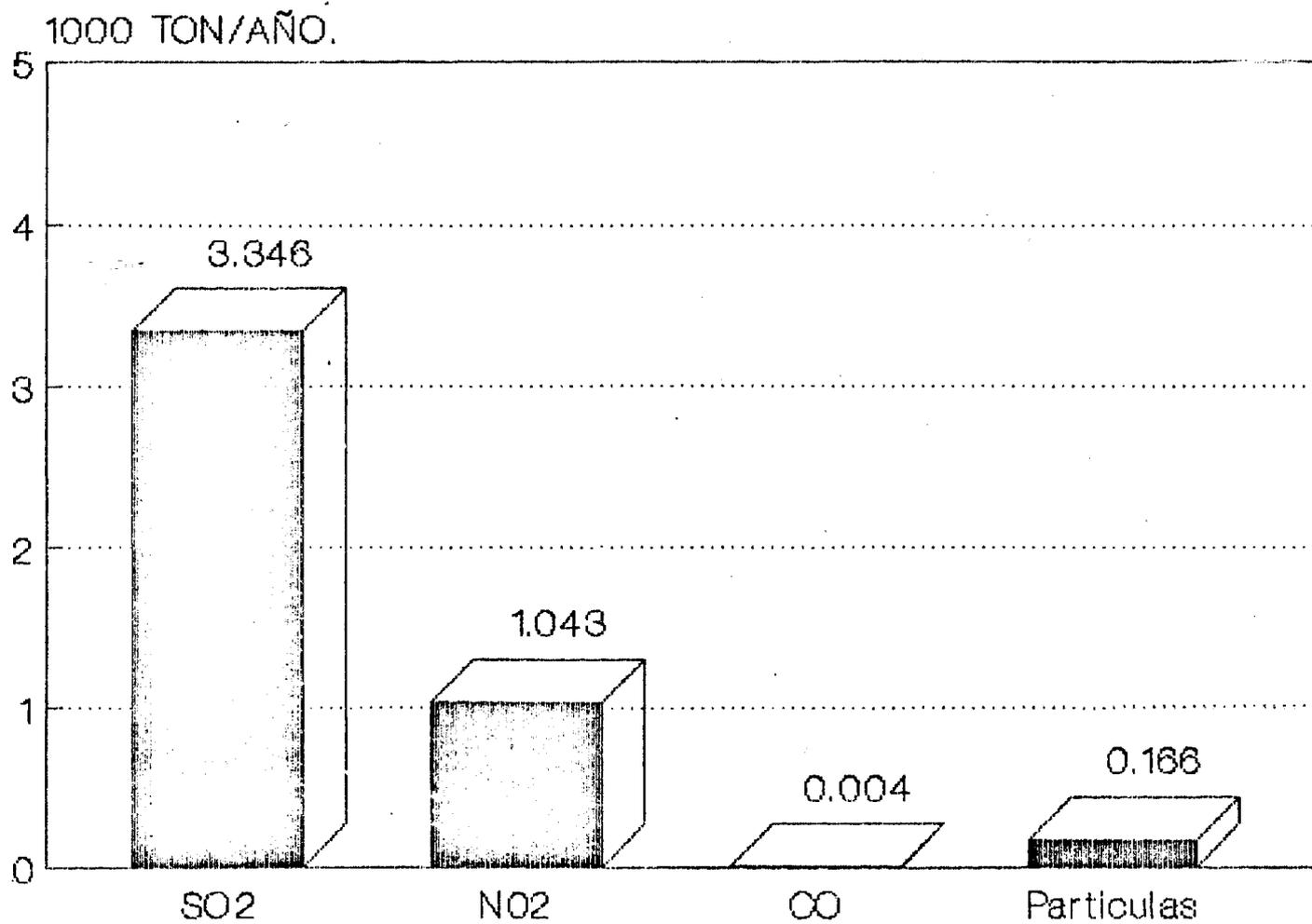


Fig.3 Emisión de contaminantes,
zona A, 1990.

Emisión de la Zona D.- En esta zona se encuentran dos plantas de poder que consumen el bunker como combustible. En la tabla VII se presentan las empresas que han sido seleccionadas y el consumo de bunker.

TABLA No. VII
CONSUMO DE COMBUSTIBLES DE EMPRESAS REPRESENTATIVAS,
ZONA D

EMPRESA	BUNKER (gal/año)
EMELEC (PLANTA ANIBAL SANTOS)	22208376
INECEL	29013444

Así, el total de combustible consumido por estas empresas es: Bunker: 4'268485 gal/mes (51'221820 gal/año) con estos datos ya se pueden calcular las emisiones.

$$SO_2 = 1579 * \text{lbs}/1000 \text{ gal} \times 1.5 \times 51221820 \text{ gal/año}$$

$$SO_2 = 12062738 \text{ lbs/año.}$$

$$NO_2 = 104 \text{ lbs}/1000 \text{ gal} \times 51221820 \text{ gal/año}$$

$\text{NO}_2 = 5327069 \text{ lbs/año.}$

$\text{CO} = 0.04 \text{ lbs/1000 gal} \times 51221820 \text{ gal/año}$

$\text{CO} = 2049 \text{ lbs/año.}$

$\text{Part.} = 101 \text{ lbs/1000 gal} \times 51221820 \text{ gal/año}$

$\text{Part.} = 512218 \text{ lbs/año.}$

El total de las emisiones que se generan en esta zona, se encuentran tabuladas en la tabla VIII están dadas en ton/año.

TABLA VIII
EMISION DE CONTAMINANTES, ZONA D, 1990
(TON/AÑO)

CONTAMINANTE CANTIDAD	SO_2	NO_2	CO	PARTICULAS
TON/AÑO	5476	2418	0.93	232

En esta tabla se puede observar que existe gran cantidad de SO_2 de modo, que dobla al valor de NO los otros contaminantes, el CO y las Partículas existen en una pequeña proporción que es insignificante con relación al SO_2 emitido (ver figura 4).



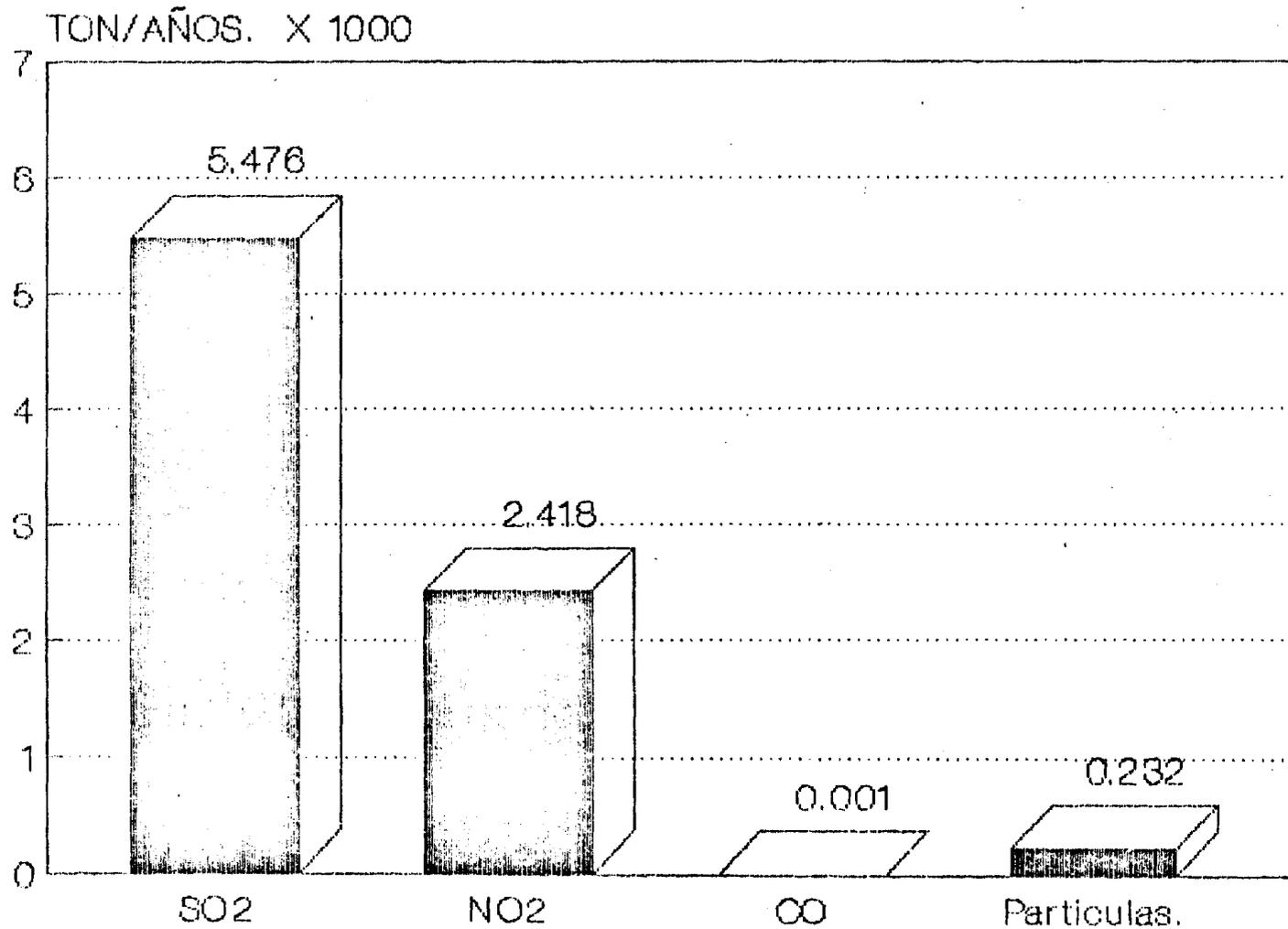


Fig.4 Emisión de contaminantes,
zona D, 1990.

Emisión en la Zona F

En esta zona no existen plantas termoeléctricas, por lo cual se suma el consumo de combustible de todas las industrias tanto para el bunker como para el diesel. Las industrias seleccionadas en esta zona aunque estén consideradas como medianas industrias, sin embargo tienen un gran consumo de combustible respecto a las industrias restantes de la zona.

En la tabla IX, constan las industrias seleccionadas y su consumo de combustible en galones por año; datos tomados en base a la encuesta personal realizada a cada industria.

TABLA IX

**CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE LAS INDUSTRIAS REPRESENTATIVAS,
ZONA F**

EMPRESAS	TIPO DE COMBUSTIBLE	
	BUNKER (gal/año)	DIESEL (gal/año)
CALCAREOS HUAYCO	720000	840000
SI CAFE	426000	129000
CANTERA SAN LUIS	600000	240000
NESTLE		159996



BIBLIOTECA

Así el total de combustible consumido por esta zona es:

Bunker: 1'746000 gal/año

Diesel: 1'368996 gal/año

Con esta información, calculamos las emisiones:

Debido al Bunker:

$SO_2 = 1575 \text{ lbs/1000 gal} \times 1.5 \times 1'746000 \text{ gal/año}$

$SO_2 = 411183 \text{ lbs/año.}$

$NO_2 = 72 \text{ lbs/1000 gal} \times 1'746000 \text{ gal/año}$

$NO_2 = 125712 \text{ lbs/año.}$

$CO = 2 \text{ lbs/1000 gal} \times 1'746000 \text{ gal/año}$

$CO = 3492 \text{ lbs/año.}$

$\text{Part.} = 23 \text{ lbs/1000 gal} \times 1'746000 \text{ gal/año}$

$\text{Part.} = 40158 \text{ lbs/año.}$

Debido a Diesel:

$SO_2 = 1575 \text{ lbs/1000 gal} \times 0.5 \times 1'368996 \text{ gal/año}$

$SO_2 = 107466 \text{ lbs/año.}$

$NO_2 = 72 \text{ lbs/1000 gal} \times 1'368996 \text{ gal/año}$

$NO_2 = 98568 \text{ lbs/año.}$

$CO = 2 \text{ lbs/1000 gal} \times 1'368996 \text{ gal/año} = 2738 \text{ lbs/año.}$

$\text{Part.} = 15 \text{ lbs/1000 gal} \times 1'368996 \text{ gal/año}$

Part. = 20535 lbs/año.

Este cálculo resume el total de las emisiones de esta área.

En la tabla X constan las emisiones en toneladas por año.

TABLA X
EMISION DE POLUCIONANTES, ZONA F, 1990
(TON/AÑO)

CONTAMINANTE CANTIDAD	SO ₂	NO ₂	CO	PARTICULAS
TON/AÑO	235	102	3	28

Como era de esperar; el contaminante que más se genera es el SO₂, seguido por el NO₂, en menor cantidad las partículas y el CO. Todo esto puede ser observado con mayor claridad en el figura 5.

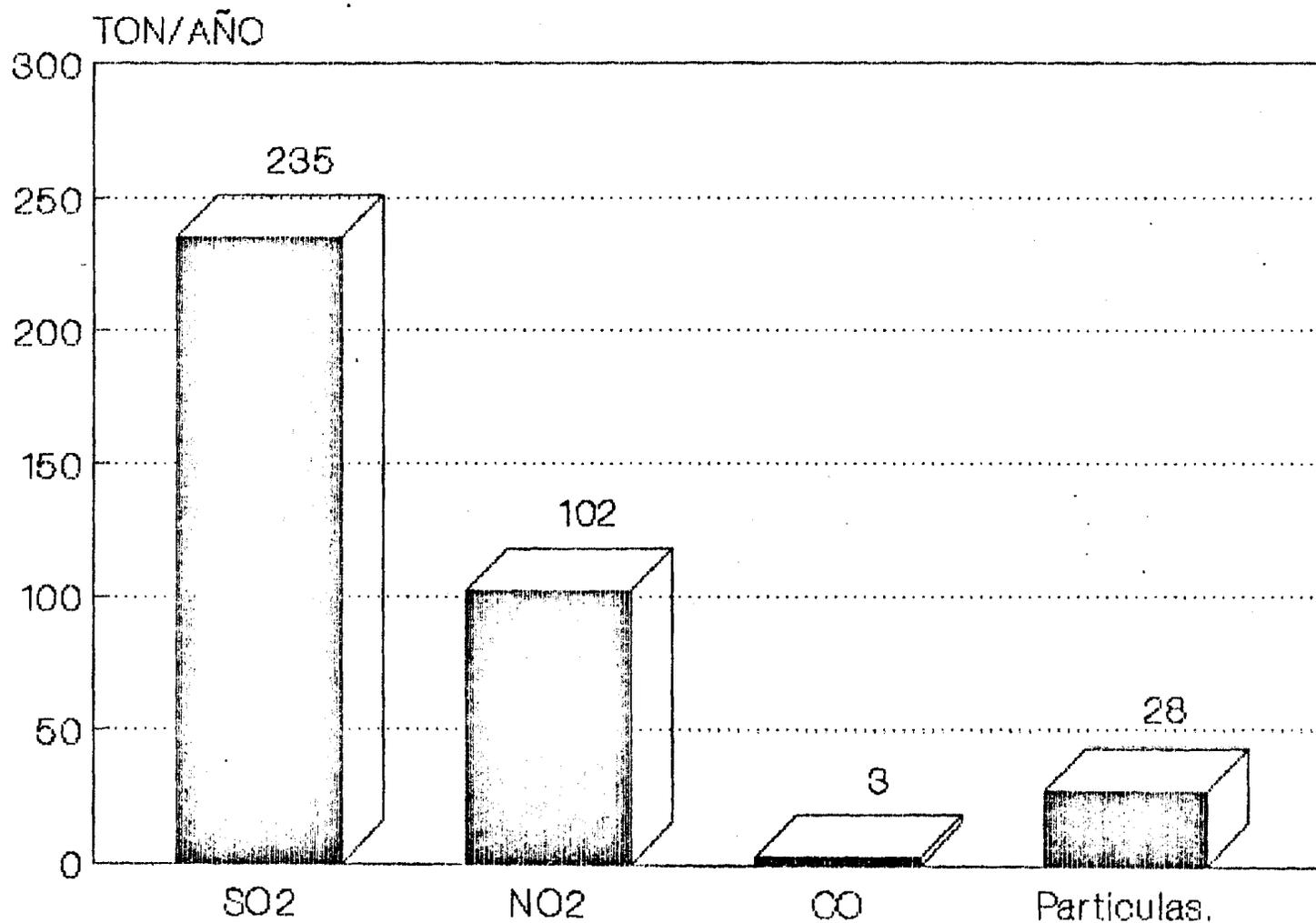


Fig.5 Emisión de contaminantes,
zona F, 1990

Emisión en la Zona G

En esta zona se encuentran asentadas la mayoría de las industrias existentes en Guayaquil. De ahí que de esta zona se tomó la mayor cantidad de industrias, las mismas que fueron encuestadas para obtener la información acerca del consumo de combustible. En la Tabla XI, se detallan las industrias seleccionadas con su correspondiente consumo de combustible en galones por año.

TABLA XI
CONSUMO DE COMBUSTIBLES DE LA INDUSTRIAS REPRESENTATIVAS,
ZONA G

EMPRESAS	TIPO DE COMBUSTIBLE	
	BUNKER (gal/año)	DIESEL (gal/año)
OLEICA	2453836	482220
OLYTRASA	1216000	124000
ETERNIT	_____	3000000
AGROINSA	1123000	_____
KURITEX	4240000	_____
DUREX	_____	336000
CRIDESA	2842000	_____
BALANCEADOS VIGOR	_____	184000
CERVECERIA NAC.	2500000	_____
LA FAVORITA	2872000	_____

El total de consumo de combustible es:

Bunker: 13'447836 gal/año

Diesel: 4'126220 gal/año

En base a estos datos se calculan las emisiones:

Debido al Bunker:

$SO_2 = 1575 \text{ lbs/1000 gal} \times 1.5 \times 13'447836 \text{ gal/año}$

$SO_2 = 3'166965 \text{ lbs/año.}$

$NO_2 = 72 \text{ lbs/1000 gal} \times 13'447836 \text{ gal/año}$

$NO_2 = 968244 \text{ lbs/año.}$

$CO = 2 \text{ lbs/1000 gal} \times 13'447836 \text{ gal/año}$

$CO = 26896 \text{ lbs/año.}$

$\text{Part.} = 23 \text{ lbs/1000 gal} \times 13'447836 \text{ gal/año}$

$\text{Part.} = 309300 \text{ lbs/año.}$

Debido al Diesel:

$SO_2 = 1575 \text{ lbs/1000 gal} \times 0.5 \times 4'126220 \text{ gal/año}$

$SO_2 = 323908 \text{ lbs/año.}$

$NO_2 = 72 \text{ lbs/1000 gal} \times 4'126220 \text{ gal/año}$

$NO_2 = 297088 \text{ lbs/año.}$

$CO = 2 \text{ lbs/1000 gal} \times 4'126220 \text{ gal/año}$

$CO = 8252 \text{ lbs/año.}$

$\text{Part.} = 15 \text{ lbs/1000 gal} \times 4'126220 \text{ gal/año}$

Part. = 61893 lbs/año.

El total de las emisiones están resumidas en la tabla XII donde constan en toneladas por año.

TABLA XII
EMISION DE CONTAMINANTES, ZONA G, 1990
(TON/AÑO)

CONTAMINANTE CANTIDAD	SO ₂	NO ₂	CO	PARTICULAS
TON/AÑO	1585	474	16	168

En esta tabla se observa, que existe una gran diferencia entre las concentraciones de SO₂ y CO, estas concentraciones de CO son casi despreciables; las emisiones de partículas son aún muy superiores. En la figura 6, se detallan las concentraciones de emisiones mediante barras.

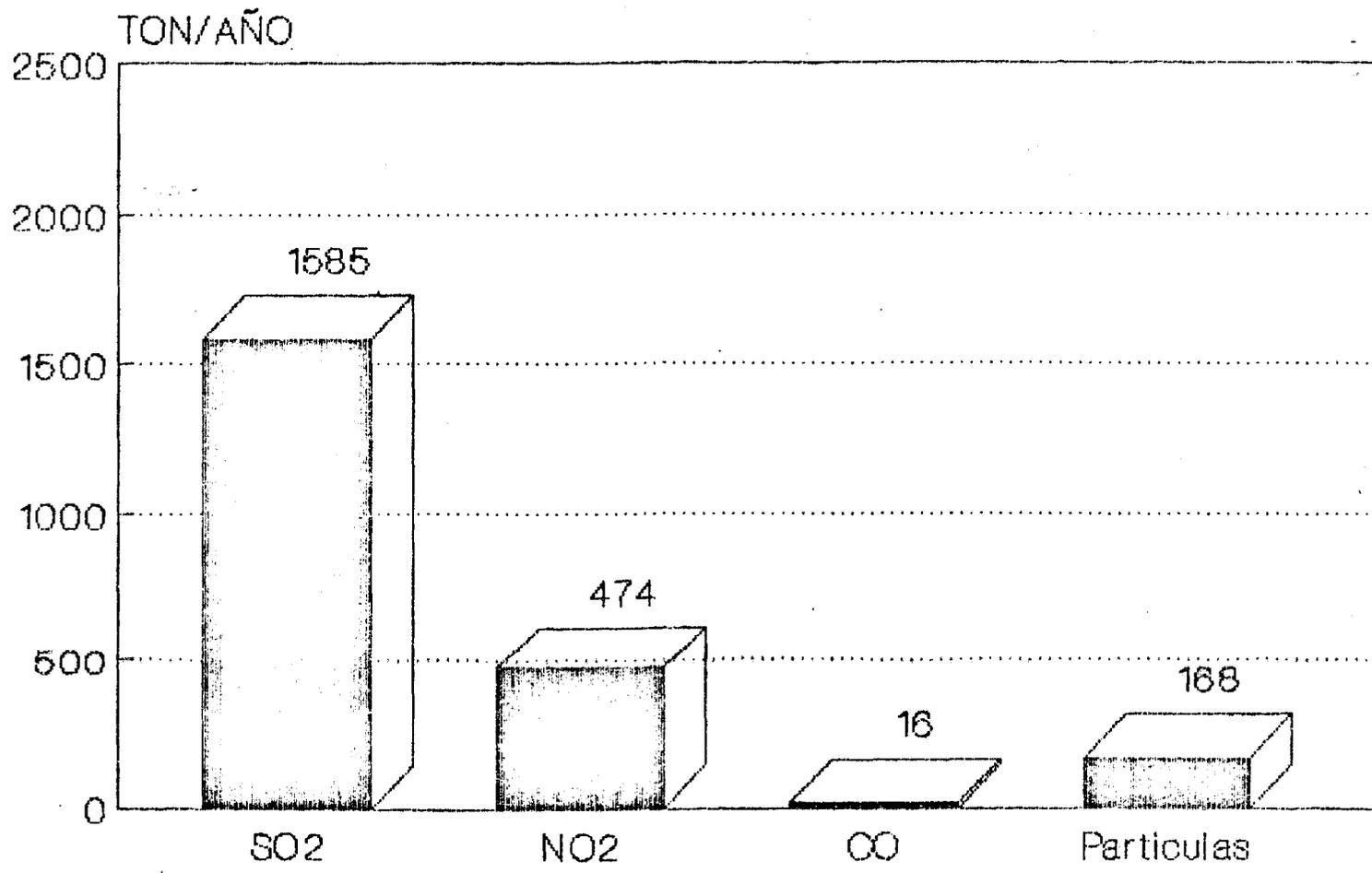


Fig.6 Emisión de contaminantes,
zona G, 1990.

Emisión en la Zona H

Esta zona se encuentra ubicada en Durán y está dentro del área metropolitana de Guayaquil. Las industrias que abarca esta zona son pocas y se han seleccionado las de mayor consumo de combustible, estas constan en la tabla XIII.

TABLA XIII
CONSUMO DE COMBUSTIBLES DE LAS INDUSTRIAS
REPRESENTATIVAS, ZONA H

EMPRESAS	TIPO DE COMBUSTIBLE	
	BUNKER (gal/año)	DIESEL (gal/año)
FLEISHMAN	660000	_____
CANGEL	25600	_____
CENTRAL A DIESEL	_____	11000000

El total de combustible consumido es:

Bunker: 685600 gal/año

Diesel: 11000000 gal/año

Con estos datos se puede calcular las emisiones:

Debido al Bunker:

$$SO_2 = 1575 \text{ lbs/1000 gal} \times 1.5 \times 685600 \text{ gal/año}$$

$$SO_2 = 161459 \text{ lbs/año.}$$

$$NO_2 = 72 \text{ lbs/1000 gal} \times 685600 \text{ gal/año}$$

$$NO_2 = 49363 \text{ lbs/año.}$$

$$CO = 2 \text{ lbs/1000 gal} \times 685600 \text{ gal/año}$$

$$CO = 1371 \text{ lbs/año.}$$

$$\text{Part.} = 23 \text{ lbs/1000 gal} \times 685600 \text{ gal/año}$$

$$\text{Part.} = 15769 \text{ lbs/año.}$$

Debido al Diesel:

$$SO_2 = 1575 \text{ lbs/1000 gal} \times 0.5 \times 11000000 \text{ gal/año}$$

$$SO_2 = 863500 \text{ lbs/año.}$$

$$NO_2 = 104 \text{ lbs/1000 gal} \times 11000000 \text{ gal/año}$$

$$NO_2 = 1144000 \text{ lbs/año.}$$

$$CO = 0.04 \text{ lbs/1000 gal} \times 11000000 \text{ gal/año}$$

$$CO = 440 \text{ lbs/año.}$$

$$\text{Part.} = 10 \text{ lbs/1000 gal} \times 11000000 \text{ gal/año}$$

$$\text{Part.} = 110000 \text{ lbs/año.}$$



BIBLIOTECA

Con estos cálculos se tiene el nivel de emisión de esta área (ver tabla XIV).

TABLA XIV
 EMISION DE POLUCIONANTES, ZONA H, 1990
 (TON/AÑO)

CONTAMINANTE CANTIDAD	SO ₂	NO ₂	CO	PARTICULAS
TON/AÑO	465	542	0.8	57

La emisión de NO₂ es superior al de SO₂, debido al gran consumo de Diesel, además en esta zona existe una central a Diesel, esto hace que el factor de emisión del NO₂ sea alto, siguiendo en un nivel muy bajo las partículas y luego el CO en una concentración despreciable. En la figura 7, se representa mediante diagrama de barras la concentración de contaminantes de esta área.

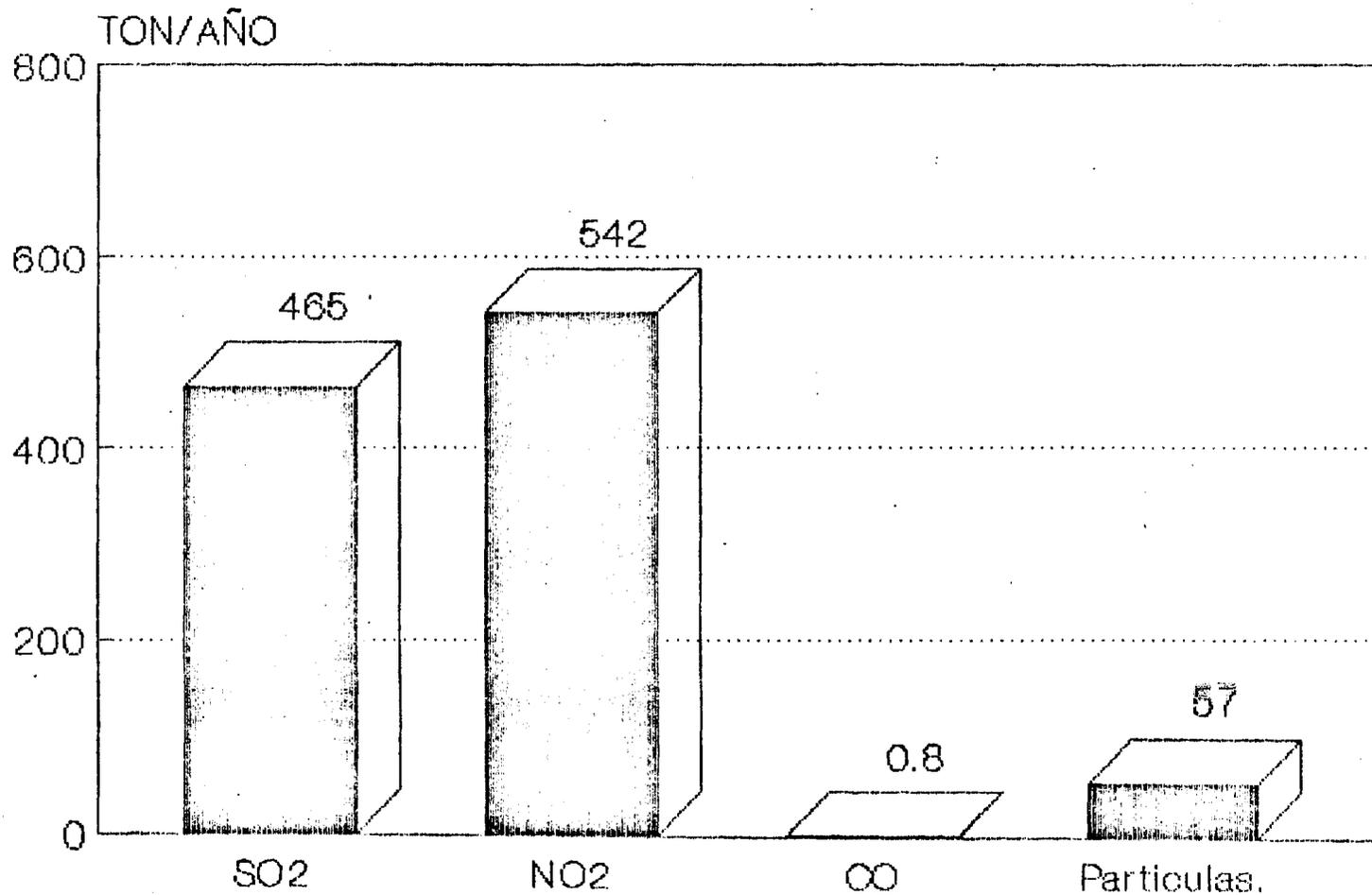


Fig.7 Emisión de contaminantes,
zona H, 1990.

Emisión de la Zona I

En esta zona se encontró una sólo planta instalada, lo que motivo ser considerada como una zona aparte, por tener una planta de gran tamaño y generar gran cantidad de polucionante, su consumo de combustible se observa en la tabla XV, en galones por año.

TABLA XV
CONSUMO DE COMBUSTIBLES, ZONA I

EMPRESAS	TIPO DE COMBUSTIBLE	
	BUNKER (gal/año)	DIESEL (gal/año)
LA CEMENTO NACIONAL	9720000	_____

Con los datos, los factores de la EPA, el valor de S*, el consumo de combustible, se puede calcular las emisiones.

Debido al Bunker:

$$SO_2 = 1575^* \text{ lbs/1000 gal} \times 1.5 \times 9'720000 \text{ gal/año}$$

$$SO_2 = 2'2890601 \text{ lbs/año.}$$

$$NO_2 = 72 \text{ lbs/1000 gal} \times 9'720000 \text{ gal/año}$$

$$NO_2 = 699840 \text{ lbs/año.}$$

$$CO = 2 \text{ lbs/1000 gal} \times 9'720000 \text{ gal/año}$$

$$CO = 19440 \text{ lbs/año.}$$

$$\text{Part.} = 23 \text{ lbs/1000 gal} \times 9'720000 \text{ gal/año}$$

$$\text{Part.} = 223560 \text{ lbs/año.}$$

El total de las emisiones en toneladas por año están dadas en la tabla XVI.

TABLA XVI
EMISION DE CONTAMINANTES, ZONA I, 1990
(TON/AÑO)

CONTAMINANTE CANTIDAD	SO ₂	NO ₂	CO	PARTICULAS
TON/AÑO	1039	318	8.8	102

Se observa claramente, que la concentración de SO_2 es muy superior a las de NO_2 , CO, PART, y como ya es característico las emisiones de CO son mínimas. En la figura 8, se representan los resultados de ésta zona.

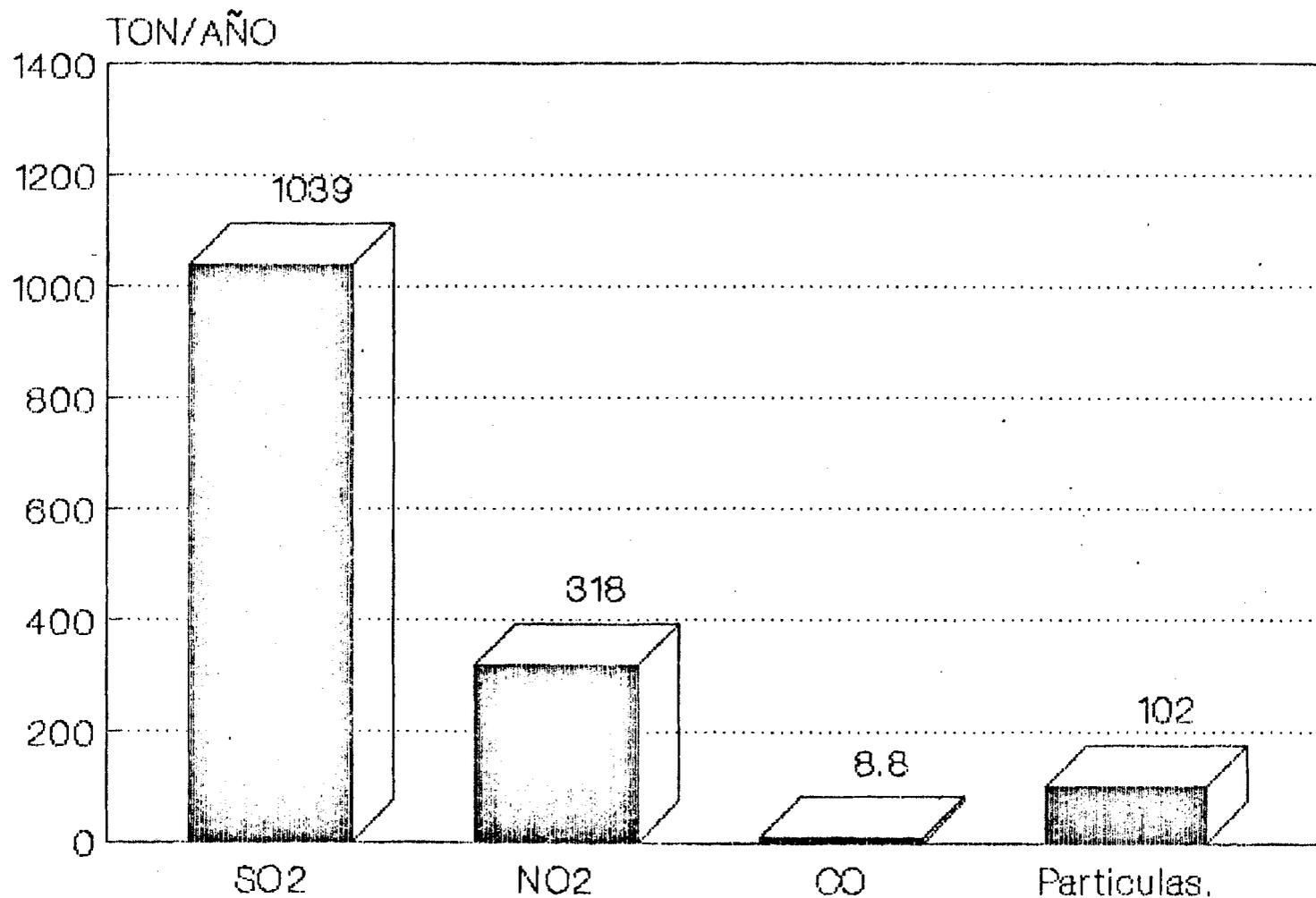


Fig.8 Emisión de contaminantes,
zona I, 1990.



Emisión en Guayaquil

En este caso se trata de estimar el nivel de polución que existe en la zona metropolitana de Guayaquil. Los datos que constan en la tabla XVII se los obtuvo en el INEC de las encuestas anuales de manufactura y minería.

TABLA XVII
CONSUMO DE COMBUSTIBLES DEBIDO A FUENTES
ESTACIONARIAS EN GUAYAQUIL (°)

TIPO DE PLANTA	TIPO DE COMBUSTIBLE	
	BUNKER (gal/año)	DIESEL (gal/año)
INDUSTRIAL	33'000000	19'000000
TERMOELECTRICA	78'923820	_____

Con este dato y los factores de emisión tomados de la EPA, se procede hacer los cálculos:

Debido al Bunker:

$$SO_2 = 1575^* \text{ lbs/1000 gal} \times 1.5 \times 33'000000 \text{ gal/año}$$

$$SO_2 = 7'771500 \text{ lbs/año.}$$

$$NO_2 = 72 \text{ lbs/1000 gal} \times 33'000000 \text{ gal/año}$$

$$NO_2 = 2376000 \text{ lbs/año.}$$

$$CO = 2 \text{ lbs/1000 gal} \times 33'000000 \text{ gal/año}$$

$$CO = 66000 \text{ lbs/año.}$$

$$\text{Part.} = 23 \text{ lbs/1000 gal} \times 33'000000 \text{ gal/año}$$

$$\text{Part.} = 759000 \text{ lbs/año.}$$

Debido al Diesel:

$$SO_2 = 1575^* \text{ lbs/1000 gal} \times 0.5 \times 19'000000 \text{ gal/año}$$

$$SO_2 = 1'491500 \text{ lbs/año.}$$

$$NO_2 = 72 \text{ lbs/1000 gal} \times 19'000000 \text{ gal/año}$$

$$NO_2 = 1'368000 \text{ lbs/año.}$$

$$CO = 2 \text{ lbs/1000 gal} \times 19'000000 \text{ gal/año}$$

$$CO = 38000 \text{ lbs/año.}$$

$$\text{Part.} = 1.5 \text{ lbs/1000 gal} \times 19'000000 \text{ gal/año}$$

$$\text{Part.} = 28500 \text{ lbs/año.}$$

En la Planta Termoeléctrica

$$SO_2 = 1575^* \text{ lbs/1000 gal} \times 1.5 \times 78'923820 \text{ gal/año}$$

$$SO_2 = 18'586560 \text{ lbs/año.}$$

$$NO_2 = 104 \text{ lbs/1000 gal} \times 78'923820 \text{ gal/año}$$

$\text{NO}_2 = 8208077 \text{ lbs/año.}$

$\text{CO} = 0.04 \text{ lbs/1000 gal} \times 78'923820 \text{ gal/año}$

$\text{CO} = 3157 \text{ lbs/año.}$

$\text{Part.} = 10 \text{ lbs/1000 gal} \times 78'923820 \text{ gal/año}$

$\text{Part.} = 789238 \text{ lbs/año.}$

Estas emisiones en toneladas por año están resumidas en la tabla XVIII para cada uno de los contaminantes analizados.

TABLA XVIII
ESTIMACION DE LA EMISION DE CONTAMINANTES EN
GUAYAQUIL, 1990 (TON/AÑO)

CONTAMINANTE CANTIDAD	SO_2	NO_2	CO	PARTICULAS
TON/AÑO	12643	4918	35	705

El SO_2 se emite en concentraciones que superan tres veces al NO_2 , siendo estos los contaminantes que se emiten en mayores concentraciones; las partículas y el CO existen en niveles muy bajos. Esto se aprecia con mejor claridad en el diagrama de barras (figura 9).

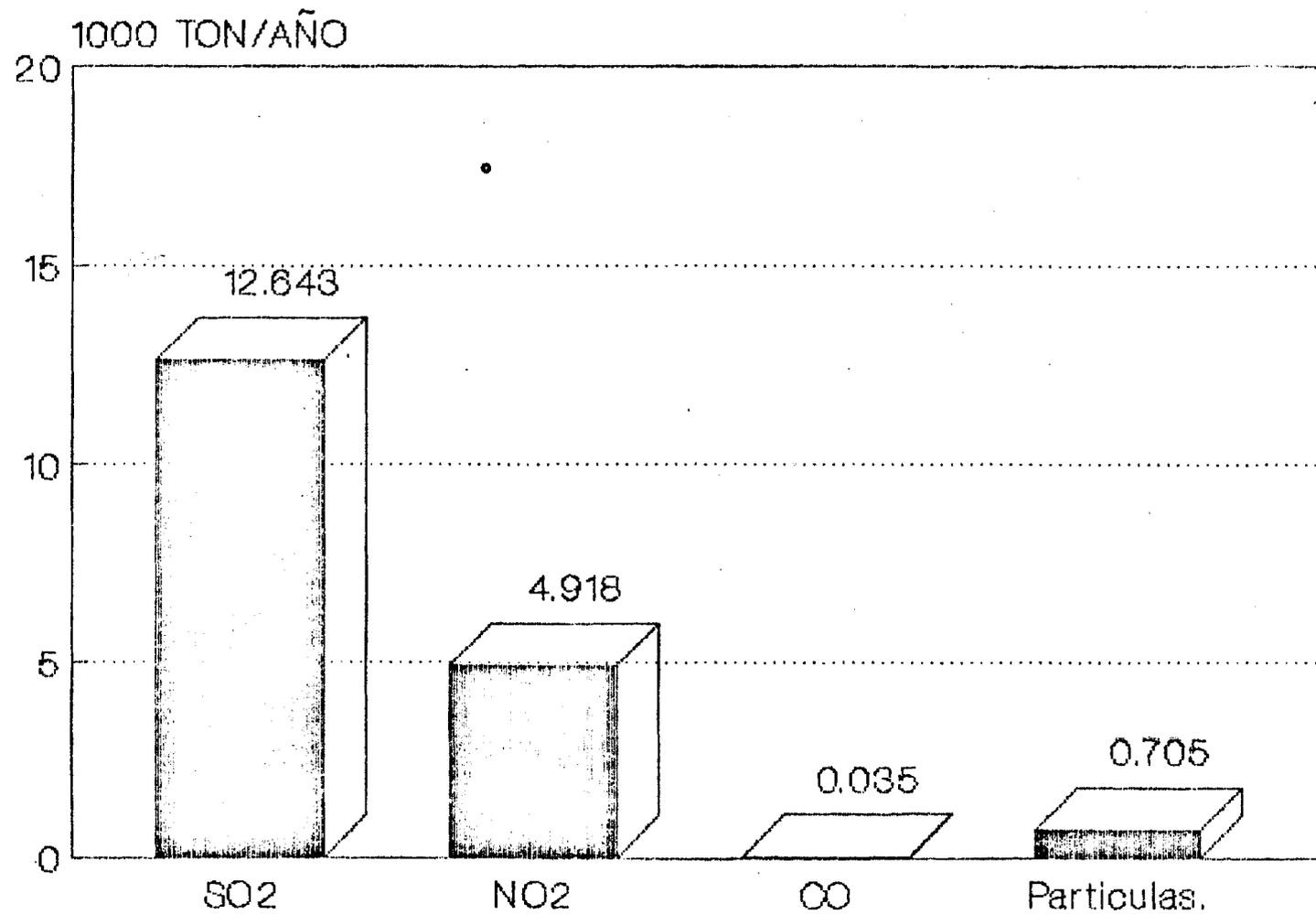


Fig.9 Estimacion de la emision de contaminantes en Guayaquil, 1990.

2.2 ZONAS DE MAYOR CONCENTRACION DE SO_2

Por ser el SO_2 el contaminante de nuestro interés, se analizarán las zonas estudiadas en base a este contaminante. Estas zonas son observadas en el plano en la figura 10, en ésta se nota que las zonas industriales de mayor extensión son las G y A, sin embargo, ésta no es una condición necesaria para generar mayor cantidad de polucionantes.

La principal forma de contaminar la atmósfera por nuestras industrias se debe a la quema de combustibles fósiles (Bunker, Diesel), éstos son los derivados del petróleo que más contienen azufre por peso, este es el motivo por el cual el dióxido de azufre es el contaminante que más se genera en todas las zonas.

En la tabla XIX, se hace una comparación del SO_2 de todas las zonas estudiadas, este nivel viene dado en toneladas por año.



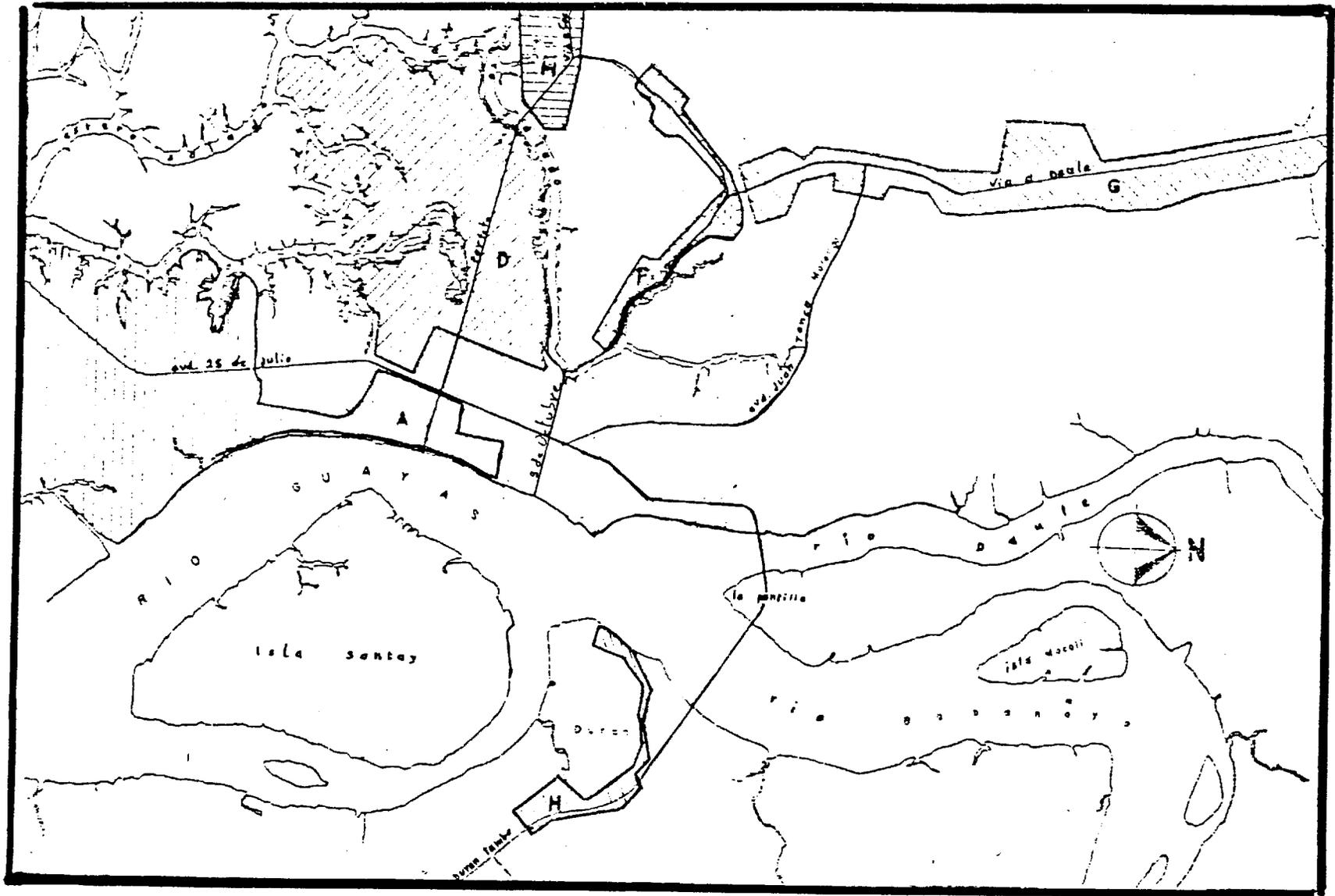


Fig. # 10 Zonas de estudiadas en el área Metropolitana de Guayaquil

TABLA XIX
 NIVEL DE SO₂ EN LAS ZONAS INDUSTRIALES DE
 GUAYAQUIL, 1990 (TON/AÑO)

ZONAS CANTIDAD	A	D	F	G	H	I
TON/AÑO	3346	5476	235	1585	465	1039

Las zonas que poseen plantas termoeléctricas son las más contaminadas por el SO₂, esto es la zona D y A. La concentración de estas zonas es muy superior a la concentración de las zonas restantes.

La zona G e I son muy diferentes, en la primera existe una gran cantidad de industrias pero generan poco SO₂, y en la segunda existe una gran planta industrial pero genera similar cantidad de SO₂.

Las zonas H y F contienen un nivel muy bajo de SO₂ con respecto a las otras zonas, esto se debe a que en estas zonas existen pocas y medianas industrias.

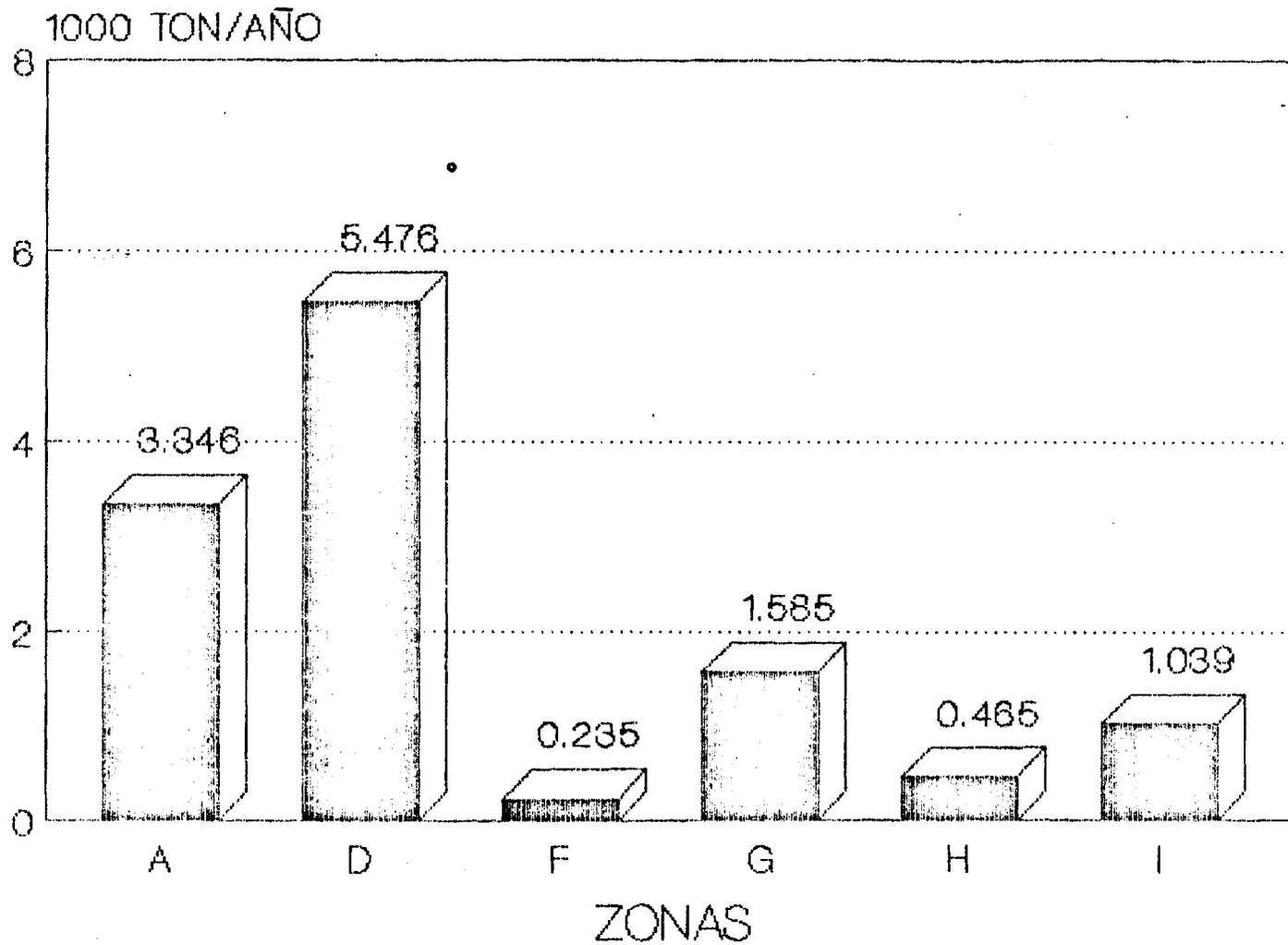


Fig.11 Nivel de SO₂ en las zonas industriales de Guayaquil, 1990.

En la figura 11, se representan los resultados mediante diagrama de barras.

2.3 EL SO_2 Y SU RELACION CON LAS VARIABLES METEOROLOGICAS

La concentración de SO_2 y las variables meteorológicas participan en la corrosión de los metales, estos determinan la presencia y duración de las capas de humedad sobre la superficie metálica acelerando considerablemente el proceso corrosivo.

Al referirse a factores meteorológicos (4) se entiende como humedad relativa (HR), número de días en que ocurre precipitación acuosa (lluvia, rocío, niebla, etc) y su duración, temperatura y presión.

Por debajo de un determinado nivel de humedad relativa no es posible corrosión. Generalmente la corrosión en las estructuras metálicas es insignificante a humedades relativas por debajo del 60%, aún cuando ésta exceda este nivel, para que la HR. sea realmente importante, la atmósfera debe estar además contaminada.

Se ha demostrado que la corrosión atmosférica es mucho más grave cuando la superficie está visiblemente mojada que cuando se expone a una atmósfera sin

precipitación, es por eso que las precipitaciones acuosas y condensación de la humedad por cambios de temperatura son, sin duda, los principales promotores de la corrosión en la atmósfera.

La corrosión del metal en la atmósfera es afectado por el cambio de temperatura. Al subir la temperatura aumenta la velocidad de las reacciones electroquímicas pero, al mismo tiempo, acelera la evaporación de la humedad depositada sobre el metal, desciende la concentración de oxígeno y de otros gases corrosivos disueltos en ella e incluso puede producir cambios en las propiedades protectoras de las capas de producto de la corrosión.

En un estudio sobre la agresividad atmosférica en Checoslovaquia⁽¹⁵⁾ admiten que el nivel crítico del SO_2 para el acero es $0,17 - 0,27 \text{ mg SO}_2/\text{dm}^2.\text{día}$, mientras que el nivel de contaminación de SO_2 en la atmósfera se conserve inferior a $0.275 \text{ mg SO}_2/\text{dm}^2.\text{día}$ este gas no influye prácticamente en la corrosión del acero⁽¹⁾.

En Guayaquil la altura promedio al nivel del mar se estima en 6 metros. Cuenta con dos estaciones: verano comprendido entre mayo y octubre e invierno comprendido entre noviembre y abril. Los meses de

lluvia son: enero, febrero, marzo y abril. La temperatura ambiente durante los meses de verano tiene un promedio de 24°C y una máxima de 26°C, siendo agosto el mes en que se presentan las temperaturas más bajas. En cambio en invierno se tiene por temperatura promedio un valor de 26°C.

Tiene una humedad relativa mensual promedio de 70% a 80% ésto indica que su atmósfera posee una gran cantidad de agua. En los meses de lluvia se presenta una humedad relativa muy alta especialmente en la mañana al salir el sol. La dirección predominante de los vientos es de Sur-Oeste aunque varían mucho durante el día.

Según los cálculos de este trabajo y ensayos realizados (3), se tiene que la zona industrial más contaminada es la del Salitral (zona D). De las tablas A2, A3, A4, se tiene, durante el mes de Junio una deposición de 0,0931 mg de SO₂/dm².día (0,0025 PPM), con una humedad relativa del 76,7% y una temperatura media del 24,57°C, ésto comparado con lo anteriormente demostrado se observa fácilmente que la corrosión se mantiene relativamente baja, debido a que el nivel de SO₂ es bajo.

ANALISIS DE RESULTADOS

Este trabajo evalúa las emisiones de los contaminantes descargados a la atmósfera por fuentes estacionarias mediante el método de inventario de emisiones que no es de gran precisión en sus resultados; sin embargo, es el más utilizado en el mundo entero y por ser económico es el más conveniente en nuestro medio.

Las fuentes estacionarias contaminan la atmósfera de acuerdo al tipo de combustible consumido. El mayor consumo de combustible (bunker) está en las plantas termoeléctricas y éstas se encuentran ubicadas en las zonas D y A; siendo el bunker el combustible que mayor contenido de azufre tiene (1,5% de azufre por peso) por ende son éstas las zonas que mayor SO_2 tienen; sin embargo, esto ocurre en todos los sectores industriales de Guayaquil, pero en menor nivel, seguido del NO_2 y a niveles muy bajos el CO y las partículas.

Si se compara el nivel de SO_2 emitido por la zona-D (5476 TON/AÑO) y el total de emisiones de SO_2 en Guayaquil (12643 TON/AÑO), se puede estimar que el 40.4% de la emisión de SO_2 son generadas en esta zona, y si a esto se agrega la emisión en la zona-A (24.6%), entonces se llega al 65% de la emisión de SO_2 en Guayaquil.

El nivel de SO_2 obtenido en Guayaquil para el año 1990 es de 12643 TON/año. Si es en esta ciudad donde se encuentran asentadas la mayor parte de las industrias de nuestro país, su contaminación es leve si comparamos con los niveles obtenidos en EEUU, en el año 1980 esto fue de 19×10^6 TON/año. Sin embargo, esto no debe despreocupar a los industriales de prevenir y analizar siempre las consecuencias que puede crear este problema.

Como el método del Dióxido de plomo (PbO_2) no facilita una medida directa de la concentración de SO_2 , sino que dá un índice de la actividad de este contaminante en la atmósfera, es importante relacionar los datos obtenidos por el método del inventario de emisiones. Así; la zona del salitral (D) es la más contaminada de todas las zonas industriales de Guayaquil, con un nivel de SO_2 de 5476 TON/año y si esto lo comparamos con $0.0931 \text{ mg SO}_3/\text{dm}^2.\text{día}$. (0.0025 PPM), valor obtenido por el método del dióxido de plomo en el mismo lugar y año, de aquí se puede estimar que 1 TON/año equivale a $1.61 \times 10^{-5} \text{ mg SO}_3/\text{dm}^2.\text{día}$ ($4 \times 10^{-7} \text{ PPM}$ de SO_2).

Al pasar de TON/Año a PPM, se convierte de nivel a concentración de contaminante (ver tabla XIX), entonces se puede analizar la corrosión de los metales.

TABLA XIX
VALOR PROMEDIO DE CONCENTRACION DE SO_2 EN LAS ZONAS
INDUSTRIALES DE GUAYAQUIL

ZONAS CONCENTRACION	A	D	F	G	H	I
PPM	0.0013	0.0022	0.00009	0.00063	0.00018	0.00041

Los valores que se muestran en la tabla son aproximados, que sirven únicamente para tener una idea del nivel de concentración de SO_2 en la ciudad, ya que es muy probable que existan zonas que aumente su nivel debido a la quema de basura.

Por lo expuesto, a concentraciones superiores a 0.038 PPM la corrosión en las estructuras metálicas se acelera considerablemente, notando que existe mucha diferencia con las concentraciones de la tabla superior. La corrosión aumenta con la humedad relativa para un mismo nivel de SO_2 , entonces es posible que en los meses de invierno sean los más propicios para que se acelere la corrosión, por ser estos los meses más lluviosos y tener una alta humedad relativa.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. En Guayaquil, debido a que aumentan las instalaciones industriales dentro y fuera de ella, con el incremento de los automotores, es posible que dentro de poco se llegue a concentraciones que causan corrosión en las estructuras metálicas (0.030 PPM), porque actualmente se tiene una concentración de 0.0022 PPM.
2. La zona D, es la que mayor SO_2 genera, por lo tanto, se considera ésta la de mayor riesgo.
3. En la zona F, la cantidad de SO_2 es insignificante con respecto a las otras áreas, al igual que la zona H.
4. La zona A, sigue a la zona D, por lo tanto, también se considera una zona de alto riesgo.
5. Las zonas G e I, tienen un nivel intermedio de SO_2 , por lo tanto no son consideradas de alto riesgo.
6. Por tener un bajo nivel de SO_2 , la velocidad de corrosión es lenta, pero con el tiempo se forman los productos de corrosión sobre la superficie metálica (herrumbre), favoreciendo a la captación de agua y de contaminantes acelerando el proceso corrosivo, por lo

tanto el mantenimiento de las estructuras metálicas debe ser continuo.

7. Con una humedad relativa alta, con la concentración de SO_2 , todavía no es posible estimar en que zona la velocidad de corrosión es mayor, porque la dirección y velocidad del viento en esta ciudad es muy variable, produciendo una dispersión de los contaminantes.
8. El nivel de SO_2 en Guayaquil es 12643 TON/año, que comparado con 2711,3 TON/año de la península de Santa Elena, se puede concluir, que en Guayaquil la atmósfera es 4,5 veces más contaminada por SO_2 .

RECOMENDACIONES

1. Exigir a las industrias que se encuentran dentro del área metropolitana de Guayaquil y especialmente a las plantas termoeléctricas la pronta instalación de equipos de control de la polución.
2. Para tener una idea global de emisiones de SO_2 en Guayaquil se debe realizar además, un inventario de emisión en el botadero de basura.

3. Se recomienda, para hallar la velocidad de corrosión en las estructuras metálicas el método del dióxido de plomo; como el más adecuado, porque se tiene una fórmula empírica, comprobada experimentalmente durante mucho tiempo⁽¹¹⁾.

$$Y = 0.131x + 0.018z + 0.187$$

donde:

Y = logaritmo de la corrosión (mg/dm²/día)

X = cantidad de SO₂ evaluada mediante el método del PbO₂ (mgSO₃/dm²/día)

Z = temperatura promedio durante el tiempo de exposición (°F)

4. La ventaja del método de PbO₂ es que este método capta la emisión de SO₂ de un determinado lugar, mientras el método de inventario de emisiones hace una estimación de la emisión en base de la cantidad de combustible consumido sin considerar la dirección del viento, siendo éste muy variable en Guayaquil.
5. Por ser las zonas: A (calle Domingo Comín), D (El Salitral), G (vía a Daule), los que mayor nivel de SO₂ poseen, se recomienda al MICAT colocar paneles de captación de SO₂ (método PbO₂) en estas zonas.

A P E N D I C E S

TABLA A1
FACTORES DE EMISIONES PARA COMBUSTIBLES

POLUCIONANTES	TIPO DE UNIDAD (Lbs x 1000 gal de Comb.)			
	PLANTA DE PODER	INDUSTRIAL Y COMERCIAL		DOMESTICO
		RESIDUAL	DESTILADO	
ALDEHIDOS	0.6	2	2	2
CO	0.04	2	2	2
HIDROCARBUROS	3.2	2	2	3
NO ₂	104	72	72	72
SO ₂	157 S*	157 S*	157 S*	157 S*
SO ₃	2.4 S*	2 S*	2 S*	2 S*
PARTICULAS	10	23	15	8

TABLA A2

RAPIDEZ DE DEPOSICION Y CONCENTRACION DE SO₂

MUESTRA	LUGAR	PRIMER MES		SEGUNDO MES	
		RAPIDEZ DE DEPOSICION ($\mu\text{gSO}_2/\text{dm}^2 \cdot \text{día}$)	CONCENTRACION DE SO ₂ (PPM)	RAPIDEZ DE DEPOSICION ($\mu\text{gSO}_2/\text{dm}^2 \cdot \text{día}$)	CONCENTRACION DE SO ₂ (PPM)
1	EL SALITRAL	0.0931	0.0025	0.0708	0.00190
2	GRAL. GOMEZ Y ELOY ALFARO	0.0722	0.0020	0.0732	0.00197
3	LA PROSPERINA	0.0431	0.00116	0.0515	0.00132

TABLA A3
 TABLA DE RESULTADOS DE TEMP. MEDIA DEL AIRE [°C]
 1960 - 1989

MES	MEDIA	S ²	S	V[%]	INTER.	DE CONFIANZA DE u	
ENE	26.08	0.25	0.50	1.93	25.89	< u <	26.26
FEB	26.18	0.40	0.64	2.43	25.94	< u <	26.41
MAR	26.49	0.29	0.54	2.02	26.29	< u <	26.69
ABR	26.55	0.18	0.42	1.59	26.39	< u <	26.71
MAY	25.78	0.46	0.68	2.64	25.53	< u <	26.04
JUN	24.57	0.79	0.89	3.63	24.36	< u <	24.90
JUL	23.89	0.81	0.90	3.80	23.55	< u <	24.02
AGO	23.89	0.50	0.71	3.00	23.38	< u <	23.86
SEP	24.03	0.26	0.51	2.12	23.94	< u <	24.22
OCT	24.29	0.27	0.52	2.15	24.10	< u <	24.48
NOV	24.62	0.48	0.69	2.80	24.42	< u <	24.94
DIC	25.73	0.35	0.60	2.31	25.51	< u <	25.95

TABLA A4.

TABLA DE RESULTADOS DE HUMEDAD RELATIVA [%]

1960 - 1989

MES	MEDIA	S ²	S	V[%]	INVER.	DE CONFIANZA DE u
ENE	75.30	28.08	5.30	7.04	73.32	< u < 77.28
FEB	78.82	21.47	4.63	5.88	77.10	< u < 80.56
MAR	78.47	24.72	4.97	6.34	76.61	< u < 80.32
ABR	76.70	20.54	4.53	5.91	75.01	< u < 78.39
MAY	75.20	14.56	3.82	5.07	73.78	< u < 76.62
JUN	72.77	5.91	2.43	3.17	75.86	< u < 77.67
JUL	75.57	5.23	2.29	3.01	75.11	< u < 76.82
AGO	74.82	3.94	1.98	2.67	73.50	< u < 75.04
SEP	72.94	5.29	2.30	3.16	72.04	< u < 73.76
OCT	72.02	4.57	2.14	2.93	73.34	< u < 73.83
NOV	71.53	4.77	2.18	3.05	70.78	< u < 72.42
DIC	70.12	9.09	3.01	4.30	68.97	< u < 71.23

BIBLIOGRAFIA

1. S. FELIU. M. MORCILLO, Corrosión y Protección de los Metales en la Atmósfera. (Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, Madrid, 1982), PP 49-60, 77-90.
2. J. RAMIREZ., La Corrosividad Atmosférica Generada por Fuentes Estacionarias en la Península de Santa Elena. (Proyecto MICAT).
3. I. JIMENEZ., Determinación de la Razón de deposición de SO_2 presente en la Atmósfera por el método del Dióxido de plomo (Proyecto MICAT).
4. A. PALACIOS., Estudio Estadístico de la Variables Climatológicas en la ciudad de Guayaquil. (Proyecto MICAT).
5. C. MONGE., Determinación de la Rapidez de Deposición de Cloruros por el método del Mechero. (Proyecto MICAT).
6. R. SAUCEDO., Análisis Estadístico de los Factores Climatológicos de la Península de Santa Elena. (Proyecto MICAT).

7. E.P.A., Compilation of Air pollutant emission Factors. AP-42. (Enviroments Proteccion Agency, USA. 1977). PP 77-101.
8. IMEC., Encuenta Anual de Manufactura y Minería, 1989, PP 341-342.
9. Directorio de Industrias. (Cámara de Industrias, Guayaquil, 1988, PP 1-35.
10. HENRY C. PERKINS. Air Pollution. (McGraw-Hill Book Company, USA 1974) PP 318-327, 361-370.
11. ARTHUR C. STERN., Air Pollution. (Third Edition, II volumen, Academic Press, New York, 1977), PP 31-76.
12. JOHN H. SEINFELD., Contaminación Atmosférica: Fundamentos Físicos y Químicos. (Madrid, Instituto de Estudios de Administración Laboral, 1978). PP 72-79; 17; 60-63.
13. H. UHLIG., Corrosion and Corrosion Control (EE.UU. J. Wiley. INC. 1971) Cap-8.
14. Plan de Desarrollo Urbano de Guayaquil; Diagnóstico. (Municipio de Guayaquil, Fase I, 1988) PP 53-55; 61-62.

15. D. KNOTVA - CERMAKOVA, B - BOSEK., Corrosion in Natural Enviroments. 1974, PP 558.
16. R. CASSIS Y F. ROMAY., Contaminación Ambiental (FIM-ESPOL, Ecuador, 1988).
17. PEAVY, ROWE, TCHOBANOGLOUS., Enviroments Engineering (New York, McGraw-Hill, 1985), PP. 449-454.