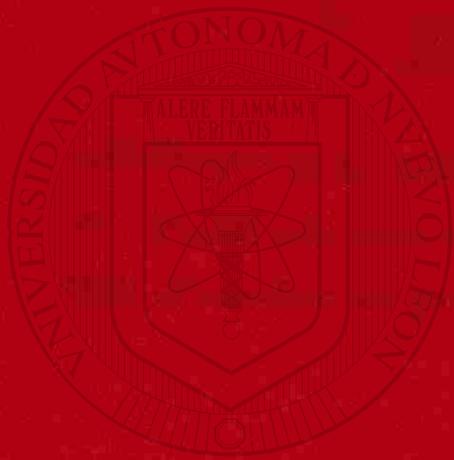


3



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

TM  
Z6834  
.C5  
FIC  
1987  
D5

UJA

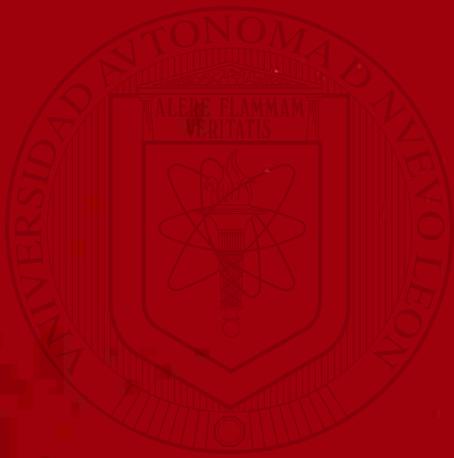
TÓNOMA

NERAL DE

TM  
Z6834  
.C5  
FIC  
1987  
D5



1020072410



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

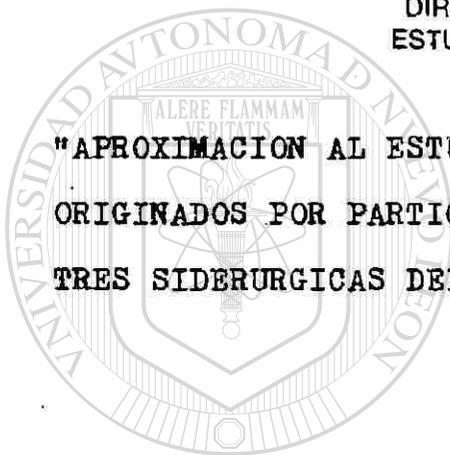
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



DIRECCION GENERAL DE  
ESTUDIOS DE POSTGRADO

"APROXIMACION AL ESTUDIO DE LOS EFECTOS SOBRE LA SALUD,  
ORIGINADOS POR PARTICULAS FERROMAGNETICAS EMITIDAS DE  
TRES SIDERURGICAS DEL NORTE DE MEXICO."



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



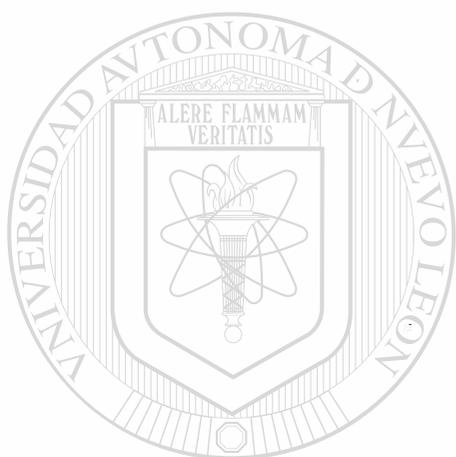
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

TESIS PRESENTADA  
EN OPCION AL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS  
CON ESPECIALIDAD EN  
INGENIERIA EN SALUD PUBLICA  
POR  
BIOL. MARIO ALBERTO DIAZ LOPEZ

MONTERREY, N.L.

NOVIEMBRE DE 1987

M  
6834  
S  
C  
187  
S



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



153304

## DEDICATORIA

A Plutarco Díaz Palos

y

María Guadalupe López Bárcenas

Padres y maestros de cada día.

A mis hermanos:

Raúl, Graciela, Plutarco,  
Patricia y Manuel.

Por su apoyo incondicional e  
irrestringido.

A mis sobrinos:

Juan Antonio, Lizeth, Roberto  
Rubén y Víctor Manuel; y a mi  
ahijado Juan Jesús.

Con cariño.

A mis cuñados:

Cristina, Rubén y  
María Guadalupe.

Con sumo aprecio.

A mis parientes  
maternos.

Con afecto.

A mis amigos de hoy y siempre:

María Luisa, Rosa Lourdes, María  
Elizabeth, Eunice, Juana María,  
Ernestina, y María Guadalupe;  
Juan Jesús, Timoteo, Jesús  
Alejandro, y Roberto Ramírez.

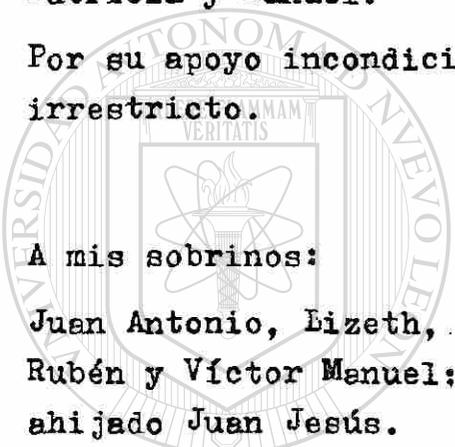
A mis condiscípulos  
de las generaciones  
76-81 de la F.C.B.,  
y 84-85 de la F.I.C.  
(U.A.N.L.)

Al Ph. Dr. Francis Shutts David:

Por sus enseñanzas, brindadas sin  
recelo alguno.

A la familia Fuentes  
Ramírez:

Por sus incontables  
muestras de aprecio.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

A mis compañeros de la Escuela Superior de Ecología (CESUES):

Carlos, Marcelo, Florentino, Mario, Roberto, Jorge, Guadalupe, y Alma Nora.

A los compañeros de la Escuela Superior de Geociencias, especialmente a la I.Q. Brenda Hurtado de la Reé.

Al Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora (CESUES):

Por la oportunidad brindada para el ejercicio profesional.

IN MEMORIAN:

Al Biól. Julio Armando Rodríguez Castro

(a) Cali (q.e.p.d.)

IN MEMORIAN:

A María Cristina Sena Belmares  
(q.e.p.d.)



UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



## A G R A D E C I M I E N T O S

Al I.Q., Ricardo Salgado Gutiérrez, por su inestimable---  
guía en la planeación y elaboración de la presente.

Al Dr. Abraham Velazco Téllez, por su inapreciable orien-  
tación de principio a fin.

Al Dr. Juan de Dios Sánchez Martínez, por su incalculable  
colaboración en los aspectos relativos a su profesión.

Al Q.B.P. José Ruiz Ordóñez, del Departamento de Microscopía  
Electrónica de la Facultad de Ciencias Biológicas de la-  
U.A.N.L., por su oportuna cooperación en la culminación de--  
la fase experimental.

Al Lic. F.M. Roberto Mercado Hernández, Catedrático de la  
Facultad de Ciencias Biológicas; por su inestimable orienta-  
ción en lo que corresponde al tratamiento estadístico de los  
datos.

---

Al I.C., M.C., Benjamín Limón, Maestro de la Facultad de-  
Ingeniería Civil (U.A.N.L.), por las facilidades otorgadas--  
para la obtención de las muestras.

Al I.M.E., Gerardo Martínez Padilla, de la Secretaría de-  
Desarrollo Urbano y Ecología, delegación Saltillo; por su co-  
laboración en la adquisición de muestras.

A la Srita. Rosa Lourdes González Garza, por su participa-  
ción en la etapa de muestreo.

Al Dr. en Farmacología Clínica, Víctor Manuel Sánchez Mar-  
tínez, por su colaboración en la revisión del escrito.

Al Lic. en Física Eduardo Cárdenas Alemán, por su participación durante la etapa experimental.

A las Biólogas María Luisa Cárdenas Avila y Alma Guadalupe Lazalde Saldaña, por su cooperación en la revisión del mecanografiado.

Deseo externar el mayor de mis reconocimientos al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, ya que sin su apoyo no hubiese sido posible la consecución, no sólo del postgrado, sino del presente trabajo.

Al I.C. Anastacio Vázquez Vázquez, Jefe de la División de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería Civil de la U.A.N.L., por las facilidades otorgadas para la realización de la presente.

A todas aquellas personas e instituciones que de una u otra forma colaboraron en la consecución de esta aproximación.

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

¿Es ésta la región más transparente del aire?  
¿Qué habeis hecho, entonces, de mi alto valle metafísico?  
¿Por qué se empaña, por que amarillece?

Alfonso Reyes

"Palinodia del polvo"

Lo que hoy nos amenaza no es la ciencia, sino la tecnología; no la búsqueda de la verdad, sino el ejercicio desenfrenado del dominio sobre el ambiente.

Paul Brooks

"Conciencia social y medio ambiente"

La Tierra tiene mecanismos para limpiarse por sí sola, -- para neutralizar las sustancias tóxicas en su organismo, pero estos trabajan hasta cierto punto; más allá del umbral --- crítico, este mecanismo se deteriora y el daño es irreversible.

Nuestra generación debe elegir; ¿Qué valoramos más?: beneficios a corto plazo, o la hospitalidad a largo plazo de --- nuestro hogar planetario.

El mundo está dividido políticamente, pero ecológicamente está estrechamente unido; no hay hilos inútiles en el tejido del ecosistema; si se corta cualquiera de ellos, se deshacen --- muchos otros.

Carl Sagan

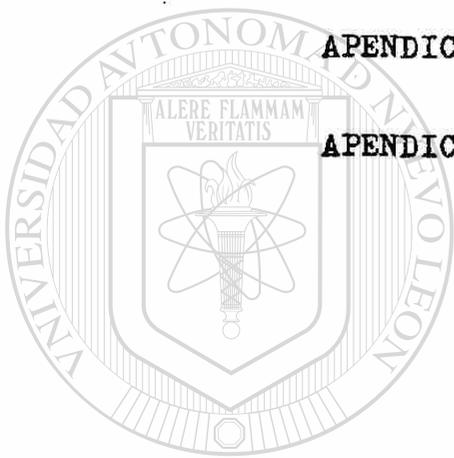
"Cosmos"

# C O N T E N I D O

	Pág.
RESUMEN	i
CAPITULO I INTRODUCCION	1
CAPITULO II ANTECEDENTES	4
2.1 CONTAMINANTES PARTICULADOS	4
2.1.1 Tipos, composición y origen.	4
2.1.2 Mecanismos de deposición.	5
2.1.3 Propiedades deletéreas.	6
2.1.4 Fuentes antropogénicas.	6
2.2 EFECTOS SOBRE LA SALUD	7
2.2.1 Sitios de deposición de los diferentes--- tipos de partículas.	7
2.2.2 Mecanismos integrales de defensa del---- aparato respiratorio.	8
2.2.3 Efectos de las partículas inhalables---- sobre la función pulmonar.	9
2.2.4 Consecuencias sobre la salud humana.	10
2.2.5 Enfermedades respiratorias fundamentales.	11
2.2.6 Factores que deben considerarse en la e- valuación de daño pulmonar por partícu-- las.	16
2.2.7 Sinergismo.	17
2.3 INVESTIGACIONES SUPLEMENTARIAS	17
2.3.1 Estudios epidemiológicos.	17
2.3.2 Estudios toxicológicos.	19
2.3.3 Efectos sobre la conducta.	22

	Pág.
2.4 LA CALIDAD DEL AIRE	22
2.4.1 Estándares y criterios.	22
2.5 MODELADO	24
2.5.1 Generalidades.	24
2.5.2 Aplicación del modelado a la deposición de partículas en el aparato respiratorio.	25
2.6 PROCESOS SIDERURGICOS	26
2.6.1 Generalidades.	26
2.6.2 Tipos de hornos empleados.	29
2.6.3 Contaminación atmosférica por plantas siderúrgicas.	33
2.6.4 Acción sobre las fuentes industriales.	35
2.6.5 Control de la contaminación atmosférica particulada.	36
2.7 MICROSCOPIA ELECTRONICA DE BARRIDO Y ESPECTROMETRIA DE DISPERSION DE ENERGIA.	44
2.7.1 Aspectos generales.	44
2.7.2 Aplicaciones en estudios sobre contaminación ambiental.	47
CAPITULO III DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO	48
CAPITULO IV OBJETIVOS	53
CAPITULO V METODOLOGIA	54
5.1 MUESTREO	54
5.2 PREPARACION Y PROCESAMIENTO	55
5.2.1 Criterio empleado para la identificación de la forma de la partícula.	56
5.3 MATERIAL Y EQUIPO	57
5.3.1 Material.	57
5.3.2 Equipo.	57

	Pág.
CAPITULO VI RESULTADOS	58
CAPITULO VII DISCUSION	59
CAPITULO VIII CONCLUSIONES	61
CAPITULO IX RECOMENDACIONES	63
LITERATURA CITADA	65
APENDICES.	75
APENDICE A ANTECEDENTES	76
APENDICE B RESULTADOS	89



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



## R E S U M E N

Se reporta el análisis preliminar de las partículas ferromagnéticas procedentes de tres siderúrgicas situadas al norte de México, empleando para este propósito tanto microscopía electrónica de barrido como espectrometría de dispersión de energía (rayos X), las que permitieron obtener la siguiente información: Diámetro aproximado ( $\mu\text{m}$ ), forma, aspecto, y composición química cualitativa. Se encontró que: La morfología de las partículas está íntimamente ligada al proceso siderúrgico en cuestión; la apariencia predominante fue la rugosa; existe correspondencia entre la composición química del aerosol colectado y la de las materias primas empleadas en siderurgia; el material burdo se deposita por lo general en la cercanía de la planta, en tanto que el fino lo hace en lugares más distantes, en la dirección del viento; las partículas esféricas, redondeadas y amorfas provienen principalmente del horno eléctrico, el convertidor y el de hogar abierto, las angulares por su parte proceden esencialmente de las operaciones de carga de las materias primas al alto horno; la mayoría de los aerosoles se sitúa en la fracción que puede penetrar a las regiones traqueobronquial y alveolar del pulmón, infiriéndose que la exposición reiterada y crónica en personas sensibles, dará lugar a la manifestación de enfermedades de las vías respiratorias, o al menos, a la exacerbación de las ya existentes.

# C A P I T U L O I

## I N T R O D U C C I O N

Desde tiempos remotos, el desarrollo de la tecnología del hierro, y posteriormente la del acero, trajo consigo beneficios contrastantes a la humanidad; por un lado favoreció (mediante la fabricación de armamento metálico) la dominación de otros pueblos por parte de aquéllos que poseían tal conocimiento, lo que permitió que éste se propagase por diversas regiones del orbe, por conducto de personajes que vivían sin morada fija tales como el forjador, el herrero y el fundidor; por el otro, incrementó la productividad del trabajo mediante el empleo de instrumentos asimismo metálicos, lo cual originó a su vez cambios en las relaciones y medios de producción (léase: Revolución Industrial).

En la actualidad es tal la importancia del acero, que su carencia o escasez alteraría en gran modo nuestra forma de vida (basada en los elementos derivados del mismo), que acaso la tornaría imposible, o por lo menos lo suficientemente complicada entretanto el hombre lograra encontrar un sustituto comparable. Por otra parte, los niveles de producción y consumo de acero fueron hasta hace poco indicadores de mayor o menor poder de una nación (industrialmente hablando), por lo que históricamente se considera que vivimos la Edad del Acero.

La contaminación del aire generada por la industria siderúrgica repercute en forma inmediata sobre la opinión pública debido a la proporción de sus emisiones. Si bien es cierto que hacen falta investigaciones más profundas acerca de la peligrosidad de dichas emisiones, no existe impedimento--

para que se tomen las medidas pertinentes a fin de controlar las; tales medidas no son otras que el establecimiento de estándares de calidad del aire, que en este caso se avoquen al control de las partículas que pudiesen penetrar a las vías--respiratorias humanas, tanto superiores como inferiores, a--las cuales se denomina partículas inhalables.

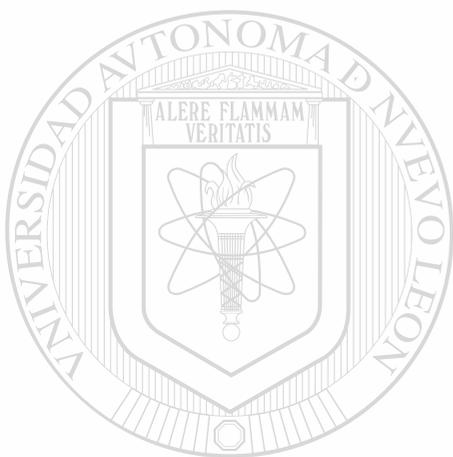
Puede afirmarse a priori que las emisiones de la indus--tria siderúrgica son perjudiciales a la salud, ya que la merman paulatina pero irremisiblemente.

Como se señaló con anterioridad, las partículas inhala--bles que se originan de los procesos asociados con la indus--tria del hierro y acero son las que poseen mayor importancia desde el punto de vista de la salud pública, por las razones descritas líneas arriba.

Es indispensable para nuestro país la realización de estu--dios de esta índole, ya que mediante ellos se podrán sentar--las bases para llevar a cabo un control más riguroso de las--emisiones particuladas industriales (en general) para que,--por una parte, puedan reducirse substancialmente y por consi--guiente los Mexicanos de hoy y del mañana aspiremos a un am--biente más propicio para nuestro desarrollo; y por otra, que el empresariado pueda percatarse de que en dichas emisiones--existe una pérdida significativa de materia prima que puede--recuperarse en ciertas etapas de sus procesos.

Otro aspecto que cabe hacer notar, es el hecho de que no--debemos inculpar a la crisis económica para aplazar por más--tiempo la realización de los estudios relativos al caso, ya--que ésta no es la causante del deterioro de la calidad del--aire; porque si revisamos nuestro pasado histórico (lo que--va del siglo XX), en épocas de prosperidad las consecuencias han sido en esencia las mismas. También debemos considerar--

que el crecimiento industrial de nuestra nación tuvo sus inicios alrededor de los años cincuentas; por lo que los estudios integrales sobre contaminación atmosférica cuentan a la fecha con un atraso de más de treinta años.



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## C A P I T U L O    I I

### A N T E C E D E N T E S

#### 2.1    C O N T A M I N A N T E S    P A R T I C U L A D O S

##### 2.1.1    T i p o s ,    c o m p o s i c i ó n    y    o r í g e n .

Para su estudio, las partículas emitidas por fuentes puntuales o móviles se clasifican en: Finas, burdas, inhalables y suspendidas totales. Las partículas finas son aquellas cuyo diámetro aerodinámico equivalente o DAE (diámetro de una esfera de densidad unitaria que tiene la misma velocidad terminal de sedimentación que la partícula dada) es menor o igual a  $2.5 \mu\text{m}$ . Usualmente se constituyen de agua, ácido sulfúrico, materia carbonosa, sulfato de amonio, plomo, y trazas de ciertos elementos. Generalmente se producen por emisiones industriales, procesos de combustión, o bien la transformación atmosférica de gases a partículas. Las partículas burdas se extienden de  $2.5$  a  $15 \mu\text{m}$  de DAE; su composición varía en mayor grado, ya que son dependientes de la geografía de la zona donde se sitúan las fuentes; dichas partículas están formadas por arcilla, caliza, cuarzo, asbesto, caucho de neumáticos, etc. En cuanto a su origen podemos decir que los procesos de tipo mecánico proporcionan la mayoría de las mismas. Las partículas inhalables son aquellas que son transportadas por el aire y que pueden entonces penetrar a las regiones traqueobronquial y alveolar del pulmón, siendo por ende más difíciles de eliminar; tales aerosoles son menores o iguales a  $15 \mu\text{m}$  de DAE. Finalmente, las partículas suspendidas totales comprenden a aquellas de hasta  $100 \mu\text{m}$  de DAE (Fig. 1). Resulta obvio que la fracción que más nos interesa es la de partículas inhalables por las consecuencias que pudiese acarrear a la salud humana, por lo que en adelante--

nos ocuparemos sólo de esta. (1,2,3,4,5)

Para poder establecer si el aerosol emitido es de origen natural o antropogénico, Gray et al. (6) emplearon la forma del mismo para dividirlo en dos grandes grupos: Angulares y esféricos; en algunos casos las partículas angulares se asociaron con fuentes naturales, en tanto que las esféricas fueron muchas de las veces resultado de procesos relacionados con actividades humanas.

### 2.1.2 Mecanismos de deposición

Los mecanismos más importantes que intervienen en la deposición de partículas inhalables en el aparato respiratorio son básicamente tres (3,7,8,9,10):

1) Impacto inercial.- Cuando una partícula posee suficiente inercia, su trayectoria de ingreso podrá desviarse a una vía aérea ramificada, resultando en el choque de esta sobre la superficie. Es el principal mecanismo de deposición para aerosoles de pocos micrómetros a más de 100  $\mu\text{m}$  de diámetro.

2) Sedimentación.- Las partículas con masa suficiente podrán depositarse bajo la acción de la fuerza de gravedad (de 0.5 a 2  $\mu\text{m}$  de diámetro).

3) Difusión.- Las partículas también pueden estrellarse contra la superficie de las vías aéreas después de movimiento browniano (al azar); este mecanismo es importante para aerosoles menores de 0.5  $\mu\text{m}$  de diámetro.

### 2.1.3 Propiedades deletéreas

El tamaño y composición química de las partículas son considerados como factores de importancia para clasificarlas como tóxicas o no; aunque si bien es cierto, algunas de sus propiedades deletéreas son resultado de su composición química, contrastando con otras que son consecuencia únicamente de su tamaño (Fig. 1).

Las partículas pueden afectar a la salud humana por las razones antes descritas, y además porque acaso interfieren con los mecanismos de defensa del aparato respiratorio, o bien por ser un medio de transporte para gases tóxicos, adsorbidos a la superficie de las mismas. (11,12,13,14,15)

Las partículas higroscópicas (que tienen la propiedad de absorber la humedad atmosférica) pueden ver alterada su forma, tamaño, y densidad con el ingreso de vapor de agua a los pasajes respiratorios; por lo que, el aumento del área superficial ocasiona el incremento de su solubilidad, volatilidad, reactividad química, capacidad de absorción y de sus efectos colaterales sobre el organismo, ya sea en el mismo aparato respiratorio o en otros sistemas, por conducto de la corriente sanguínea, a la cual pasan los contaminantes. (4,8)

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

### 2.1.4 Fuentes antropogénicas

La importancia de la identificación de las fuentes antropogénicas, cualesquiera que sean sus emisiones es evidente si la apreciamos por un lado, desde el punto de vista de la salud pública, ya que dichas emisiones son potencialmente nocivas a la misma; y por otro debemos considerar (ecológicamente hablando) que los componentes de los ecosistemas (léase: aire-agua-suelo) se relacionan íntimamente entre sí, por

tanto, lo que suceda en la atmósfera invariablemente influirá en los demás componentes, por lo que la magnitud del problema se verá incrementada. Si hemos decidido controlar la polución, debemos tener en cuenta la siguiente recomendación : Evitar en la medida de lo posible, el trasladarla de un componente a otro. (4,16,17)

## 2.2 EFECTOS SOBRE LA SALUD

### 2.2.1 Sitios de deposición de los diferentes tipos de partículas.

Se estima que las partículas burdas son retenidas en la región extratorácica, que comprende la cabeza, faringe y laringe (Fig. 2). Niveles elevados de tales aerosoles pueden originar problemas de resequedad de nariz y garganta, pero no afectan la capacidad de remoción de materiales por intermedio de la membrana mucosa (espacio mucociliar); la limpieza de esa región generalmente toma cuestión de minutos. Ambos tipos de partículas (finas y burdas) son retenidas en la región traqueobronquial donde pueden provocar constricción de los bronquios, reduciendo a su vez el espacio mucociliar, y por consiguiente, complicar los padecimientos respiratorios crónicos tales como enfisema, bronquitis, asma, y probablemente cáncer; requiriendo para ser desalojadas un día de dicha región. (1,4,18,19)

Hablando en términos generales, las partículas menores de 10 micrómetros pueden ser absorbidas por la región alveolar del pulmón, requiriendo para su eliminación de semanas a años inclusive. Asimismo pueden afectar las funciones pulmonares en varias formas: Agravando padecimientos crónicos por

trastorno de la ventilación normal, ocasionando con ello un-reflejo de constricción de los vasos sanguíneos que irrigan--parte de los pulmones; pueden además originar inflamación,--fibrosis, etc. (1)

## 2.2.2 Mecanismos integrales de defensa del aparato res--piratorio.

1.- Mecánicos.- Filtración de partículas inhaladas por---las vías respiratorias superiores (rechazo de los conductos--aéreos traqueobronquiales por la acción de cilios vibrátiles y mucus), carraspeo y tos, deglución y expectoración. (4,18, 20,21)

2.- Bioquímicos.- Alfaantitripsina (inhibidor enzimático) en plasma. Interferón (proteína que tiene la capacidad de--proteger al organismo contra ácidos nucleicos diferentes a--los suyos propios; habiéndose sugerido que puede asimismo li--mitar la proliferación de células cancerosas hasta que sobre--venga el desarrollo de una nueva mutante cancerosa que sea--resistente al interferón) y properdina lisozima en secrecio--nes bronquiales y en saliva. (20,21)

3.- Citoimmunológicos.- Componente celular: El macrófago--alveolar, complejo circulante de inmunoglobulinas, sistema--del complemento (actúa como amplificador de la respuesta in--mune a la vez que interactúa con los sistemas que toman par--te en el proceso inflamatorio). Frente a antígenos (sustan--cias extrañas): Síntesis de inmunoglobulinas o anticuerpos--capaces de neutralizarlos. (20,21)

En resumen, puede afirmarse que la fagocitosis es el meca--nismo central que interviene en la defensa del aparato respi--ratorio contra la invasión de una gran diversidad de cuerpos

extraños. (18)

### 2.2.3. Efectos de las partículas inhalables sobre la función pulmonar.

Una vez que las partículas han penetrado a las vías respiratorias se desencadena un proceso de depuración cuya secuencia en términos generales es la siguiente: Las partículas--- que se depositan en la mucosa nasal y vías aéreas superiores son removidas rápidamente por movimiento ciliar que las----- transporta a la faringe, en donde pueden ser deglutidas o expulsadas con la tos; además el estornudo y el sonarse la nariz ayudan a expeler las partículas mezcladas con el mucus-- nasal. Cuando estas logran llegar hasta la región traqueo-- bronquial son desalojadas por medio de la capa de mucus que cubre el epitelio ciliado, a todo esto se le denomina "esca-- lador mucociliar", ya que tiende a llevar el material reteni-- do hacia la faringe donde, como ya se dijo, es deglutido o-- expulsado; se ha calculado que la rapidez de desplazamiento-- del mucus, y por ende el desalojo de las partículas deposita-- das en él, es del orden de 10 a 20 milímetros por minuto, de-- manera que cerca del 90% del material es expulsado en cues-- tión de minutos; cabe aclarar que la rapidez de movimiento-- del escalador disminuye con la edad. El efecto irritante de ciertas partículas y gases incrementa la secreción de mucus. Con exposición insistente y crónica, las células calicifor-- mes se hipertrofian y secretan más mucus en respuesta a los irritantes inhalados. Los bronquios y alveolos pulmonares-- carecen tanto de epitelio ciliado como de células calicifor-- mes (glándulas mucosas), por lo que las partículas que llega-- sen a depositarse en su luz son removidas con más dificultad. Las células fagocíticas alveolares (macrófagos) desempeñan-- el papel principal en la suerte de las partículas que ingre-- san a esta zona, ya que al englobarlas son transformadas por el aparato metabólico y enzimático de los macrófagos. Por--

otra parte, el surfactante secretado por las células alveolares gigantes tipo II, y el líquido procedente de la trasudación capilar, cooperan en el transporte de partículas hacia el escalador mucociliar, o en su defecto, a drenarlas hacia el espacio intersticial para de ahí pasar a las vías linfáticas (Fig. 3). Cuando los mecanismos primarios de defensa son agobiados por una exposición persistente, entran en acción los secundarios (celulares y humorales), provocando una reacción inflamatoria con dilatación y aumento en la permeabilidad de los capilares, exudación de líquido e infiltración de leucocitos; por consiguiente, el sistema inmunológico desempeña un papel importante en el proceso de depuración. Parece ser que los cambios patológicos resultan, por lo menos en parte, de estos mecanismos secundarios. (10,12,18,19, 20,22,23)

Como complemento a lo anterior cabe hacer mención, en forma extractada, las funciones de los ganglios linfáticos (Figura 3): Filtración de partículas extrañas de la linfa; formación de linfocitos (un tipo de glóbulos blancos); eliminación de bacterias invasoras y producción de anticuerpos. (24, 25)

#### 2.2.4 Consecuencias sobre la salud humana.

La mayoría de las veces, los contaminantes del aire entran en contacto con el organismo en forma directa, el cual puede producirse de varias maneras: Sobre la piel, las mucosas, o bien por absorción en diversos órganos. La primera sólo se presenta en casos muy específicos, en contraste, la segunda y tercera se encuentran más extendidas. (26)

Los efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud humana pueden ser de dos tipos: Agudos y crónicos.

-Agudos.- Son causados generalmente por una sola exposición a una concentración de contaminantes elevada, que en casos extremos puede ocasionar la muerte.

-Crónicos.- Se manifiestan cuando se han presentado exposiciones continuas a concentraciones más bajas produciendo síntomas por completo diferentes, por lo que su relación causa-efecto se ve complicada. (26,27,28)

## 2.2.5 Enfermedades respiratorias fundamentales.

### Neumoconiosis

Con este nombre se engloba a cierto número de enfermedades observadas por lo general en el ambiente industrial (minería) y que son consecuencia de la inhalación de diversos materiales, incluidos el carbón mineral (antracosis), asbesto (asbestosis), talco (talcosis) y sílice (silicosis).

Los polvos que ocasionan más a menudo reacciones intensas fibrosas son fundamentalmente cuatro: Sílice, berilio, asbesto y bauxita (mineral de aluminio). Otros polvos que no poseen sílice y que son asimismo nocivos, son el aluminio, tungsteno-carbide, óxido de zinc, estaño, barita (óxido de bario), circon (silicato de circonio), óxido de titanio, fluoruro de calcio, vanadio, etc., de entre los más perjudiciales están el óxido de hierro, que produce siderosis (intoxicación ocasionada por la absorción de polvo de los minerales del metal). (10,20)

Diversos factores establecen el grado de daño producto de la exposición a tales polvos; estos incluyen tamaño de las partículas, composición química, intensidad y duración de la exposición, además de ciertos agentes del huésped; estos últimos están relacionados con la susceptibilidad individual--

que incluye la respuesta inmune y la remoción de polvo por los mecanismos de defensa broncopulmonares. Esto se refleja en el hecho de que dos individuos con el mismo tiempo de exposición a un idéntico contaminante muestran respuestas diferentes; mientras que el uno no sufre trastornos, el otro manifiesta síntomas claros de enfermedad. (10,27)

### Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC)

Es un término empleado para incluir diversos padecimientos que se hacen acompañar de obstrucción crónica al flujo de aire dentro de los pulmones. Estos procesos comprenden: Bronquitis crónica, enfisema y asma, aunque en ocasiones también bronquiectasia y fibrosis quística. (4,10)

Bronquitis crónica.- Se caracteriza por una sobreproducción de mucus (inflamación) por parte del revestimiento bronquial. Clínicamente se manifiesta por tos e incremento del esputo durante tres meses consecutivos, por lo menos cada año, durante dos o más. Al microscopio se aprecia que las células caliciformes secretoras de mucus aumentan su número por lo que se pierde la función ciliar. Las glándulas mucosas crecen en volumen y sus conductos secretores se dilatan. Con el paso del tiempo surge la fibrosis. Dado lo anterior, puede apreciarse el carácter progresivo e irreversible de la enfermedad. (10,12,18,20,29)

Factores que contribuyen al desarrollo de la bronquitis crónica (20,29)

- 1.- Edad.
- 2.- Tabaquismo.
- 3.- Contaminación (ocupacional o no).
- 4.- Clima y sus variaciones.

- 5.- Factores genéticos.
- 6.- Enfermedades crónicas previas: Sinusitis, deformación nasal interior, faringitis, dentición en mal estado.
- 7.- Sexo.
- 8.- Deformaciones torácicas: Escoliosis, por ejemplo.

Importancia de la contaminación atmosférica.- Se considera que la causa principal (mas no la única) de la bronquitis crónica es el tabaquismo; pero diversos estudios (20,29) aclaran que la contaminación del aire es un factor potencial en el desarrollo de la enfermedad; aunque su influencia hasta ahora sólo se le adjudica en el caso de empeoramiento de enfermedad pulmonar ya existente. (10,18,23)

Enfisema pulmonar.- Es una condición patológica del pulmón que se caracteriza por la reducción o pérdida de fibras elásticas, ruptura de los tabiques interalveolares y disminución del lecho capilar, cualquiera que sea su causa. Es acompañada además por brevedad respiratoria; siendo característico de los enfisémicos el tórax dilatado o en "tonel". (4,10,18,20)

Causas posibles (20,29)

- 1.- Edad.
- 2.- Exposición a ambientes contaminados, ya sea confinados o al aire libre.
- 3.- Inhalación de humo del tabaco.
- 4.- Enfermedades que limitan el volumen respiratorio aprovechable, ya en forma temporal o definitiva, por ejemplo: Tuberculosis, tumores benignos y malignos, neumonosis, asbestosis y otras coniosis.

5.- Factor parietal, como rigidez por calcificación prematura de los cartílagos costales y artritis costovertebral, etc.

6.- Insuficiencia congénita de Alfa-1-antitripsina.

Papel que juega la contaminación atmosférica.- De nueva cuenta se aprecia la influencia que ejerce el hábito de fumar en la incidencia de la enfermedad; pero por otro lado, se señala la importancia de la contaminación como causa probable de bronquitis que degenera a enfisema, sobre todo lo que respecta a la exposición ocupacional a ciertos polvos (y gases) tales como talco, asbesto, sílice, plomo, etc. (20,29)

Asma bronquial.- Es una enfermedad que se caracteriza por dificultad espiratoria, ruidos bronquiales, silbantes y roncales, tos y expectoración mucosa. Se considera que este padecimiento puede iniciarse a cualquier edad (como promedio tiene lugar a los 10 años). Un rasgo común que comparten los asmáticos es la hipersensibilidad de las vías aéreas; se sabe bien que dichas vías son muy sensibles a determinadas sustancias (metilcolina e histamina por ejemplo); pero también incrementan dicho estado de reactividad factores no específicos tales como polvos, humos, humedad, frío, esfuerzos y aún algunas infecciones que pueden agravar o desencadenar un ataque del mal. Los cambios fisiopatológicos que ocurren durante una crisis de asma consisten en: Contracción del músculo liso bronquial, incremento en la secreción de las células caliciformes, e inflamación de la mucosa; hechos que coadyuvan al estrechamiento de la vía aérea. El mecanismo que conduce a dichos cambios no es del todo conocido. (10)

Importancia de la polución atmosférica.- Como ya se dijo, en el asma se presenta sensibilización a ciertos alérgenos de orígenes diversos, lo que da al padecimiento de la enfermedad

un rasgo de regionalidad. Por otra parte, no es posible por el momento establecer con certeza la relación causa-efecto-- entre los ataques asmáticos y la exposición a alérgenos exógenos (entre los que podemos incluir a los contaminantes del aire). (10,20)

#### Otras enfermedades respiratorias

Cáncer pulmonar.- Es una condición en la cual el epitelio bronquial sufre un cambio que se caracteriza por división celular o reproducción fuera de control. Se le denomina carcinoma bronquiogénico, debido a que la mayoría de los tumores malignos inician en el epitelio de dichas vías, en contraste con otros que se originan en los alveolos (carcinoma alveolar) o bronquiolos (carcinoma bronquiolar). Los tumores malignos obstruyen la circulación del aire y destruyen la estructura pulmonar reduciendo su capacidad funcional. (10,18, 20,30)

#### Factores responsables (20,30)

1) Intracelulares.- Factores hereditarios y enzimáticos.

2) Extracelulares.- Agentes ambientales: Luz solar, radiación natural o hecha por el hombre;-- virus; sustancias químicas (naturales y antropogénicas) en alimentos, agua, aire, o medicamentos; dichas sustancias son denominadas cancerígenos.

3) Exógenos.- Diferencias en la incidencia del mal, existentes entre inmigrantes y oriundos de una nación (factores sujetos a contrastación).

Entre las sustancias cancerígenas podemos mencionar al-- benceno, aceite mineral, ácido oleico, algunas mantecas y,-- probablemente, el colesterol. De igual modo se reconocen co

mo irritantes crónicos carcinogénicos al alquitrán, el ho-  
llín, humo del tabaco, polvos radioactivos y los rayos X.  
(20,30)

Importancia de la contaminación del aire.- Es indudable que el cáncer pulmonar guarda una estrecha relación con la inhalación prolongada de aire polucionado. El hecho de que la frecuencia de la enfermedad sea superior en la población urbana que en la rural (considerando al humo de cigarrillo como el factor más importante) con la misma proporción de consumo de tabaco, insinúa que otros contaminantes del aire pueden desempeñar cierto papel en la formación de cáncer en el pulmón; culpándose en algunos casos a la exposición industrial a ciertas sustancias inorgánicas y sintéticas. (4,10, 20,23)

#### 2.2.6 Factores que deben considerarse en la evaluación de daño pulmonar por partículas.

Entre los factores que han de tomarse en cuenta podemos citar:

- Dimensión, forma y densidad de las partículas.
- Volumen.
- Solubilidad.
- Higroscopicidad.
- Tiempo de exposición.
- Toxicidad propia o adquirida por sinergismo, de dos o más clases de partículas.
- Presencia o ausencia de procesos patológicos simultáneos en el pulmón.
- Patrón respiratorio.
- Debilitamiento general de las defensas por tabaquismo.

-Características de flujo de las vías aéreas de conducción--  
las cuales dependen de la longitud, diámetro y ángulos de--  
ramificación de las mismas. (8,22,31,32,33)

### 2.2.7 Sinergismo

Es el fenómeno en el cual la reactividad de una sustancia química se ve afectada por la presencia de otra. Ciertas--  
combinaciones de contaminantes son mucho más deletéreas cuan--  
do se unen, que actuando por separado. El trabajo reportado  
por Amdur, citado por Stern et al. (23) mostró que las partí--  
culas que son capaces de oxidar dióxido de azufre a ácido--  
sulfúrico (hierro, manganeso, vanadio) ocasionan una respues--  
ta irritante incrementada a la tercera o cuarta potencia (ad  
litteram); empleando en tales experiencias concentraciones--  
del orden de los  $420 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (0.16 ppm) de  $\text{SO}_2$ . (18,27)

## 2.3 INVESTIGACIONES SUPLEMENTARIAS

### 2.3.1 Estudios epidemiológicos

Los estudios epidemiológicos son análisis estadísticos de  
los efectos de la contaminación del aire sobre las poblaci--  
ones humanas bajo condiciones naturales. Cabe señalar que el  
objetivo primordial de tales experiencias, es el establecer--  
la existencia de una relación entre la polución atmosférica--  
y la incidencia de salud o enfermedad respiratoria. (12,18,-  
34,35)

Los estudios epidemiológicos que se consideran de mayor--  
importancia son aquellos que se efectúan con niños (de 6 a--  
12 años) ya que éstos junto con los ancianos, son los grupos

más susceptibles a sufrir trastornos respiratorios a causa-- de una deficiente calidad del aire. Por otra parte, se esta-- blece en forma usual que los niños no fuman, no laboran en á-- reas riesgosas, y no son inquietados por tensiones de super-- vivencia mentales o físicas. En lo que a los adultos respec-- ta, se requiere la recopilación total de las historias de ta-- baquismo, exposición ocupacional, y de las áreas de residen-- cia, además de otros factores ambientales difíciles de obte-- ner, los cuales constituyen la base para la evaluación de la exposición a contaminantes. Aunado a esto está el hecho de-- que los datos de calidad del aire generalmente se tienen só-- lo para las últimas dos o tres décadas. (18,23,34,36,37,38,- 39)

Dentro de los inconvenientes que enfrentan los estudios-- en cuestión se citan: La imposibilidad de seleccionar pobla-- ciones control; las dificultades en la elección de muestras-- verdaderamente representativas, debido esto al carácter hete-- rogéneo de las poblaciones humanas; y la inhabilidad para-- controlar numerosas variables, entre las que destacan facto-- res que conduzcan a un error en el examen de la relación an-- tes mencionada. Pese a todos los problemas y objeciones a-- los que se enfrentan, los estudios epidemiológicos son la me-- jor evidencia disponible para tratar de demostrar la rela-- ción contaminación atmosférica-salud humana, tanto en espa-- cios abiertos como en el interior de las industrias. (18,34, 35,36,37)

La evidencia epidemiológica revela el hecho de que la con-- taminación del aire a concentraciones "normales" ocasiona e-- efectos adversos a la salud humana. Por otra parte, se expo-- ne que la polución episódica a altas concentraciones puede-- matar. Pese a que las investigaciones con animales (estu-- dios toxicológicos) confirman e incrementan esta postura, la comunidad científica no se ve satisfecha y reclama el esta-- blecimiento de niveles seguros; en tanto esto sucede, es po--

sible definir a priori concentraciones "seguras" de contaminantes, tomando como objetivo primordial el bienestar público. (23)

Por último, cabe hacer un resumen de las conclusiones que pueden inferirse de los estudios epidemiológicos sobre contaminación atmosférica y salud (23,38):

- 1.- Existe una amplia variación en la susceptibilidad de las personas a los contaminantes del aire.
- 2.- Las condiciones de enfermedad preexistente o subyacente aumentaron con las tensiones añadidas por la contaminación atmosférica.
- 3.- La polución del aire es un factor aditivo que agrava los efectos de otras sustancias (humo de tabaco, asbesto, etc.) en el inicio de la enfermedad.
- 4.- Bajo ciertas condiciones, algunos tipos de contaminación pueden realmente iniciar enfermedad persistente y estructural en personas sanas.
- 5.- Diversos tipos de polución pueden inducir respuestas fisiológicas completamente diferentes.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

### 2.3.2 Estudios toxicológicos.

Son estudios experimentales que se realizan bajo condiciones controladas, a partir de los cuales pueden emitirse conclusiones en cuanto a su causalidad, aunque su relevancia ambiental sea en ocasiones discutible; por lo que su mayor reto es la extrapolación de los resultados obtenidos, de unas especies a otras, y de los animales al hombre. (12,40)

Las reglas que establecen las concentraciones permisibles para la exposición humana a sustancias tóxicas se basan en los datos provenientes de dos clases de fuentes: Estudios---

que observan a un reducido número de personas, ya sea voluntarios o trabajadores; y experimentos de laboratorio con especies animales diversas. Con los primeros se ha podido recabar la información más útil acerca de los efectos de las substancias en cuestión, principalmente de las experiencias con voluntarios; y de las pruebas con trabajadores se han obtenido cerca del 40% de las normas de calidad del aire fabriles (Valores Umbrales Límite). Los segundos pueden ayudarnos a confeccionar una relación dosis-respuesta completa de un contaminante (idealmente). Asimismo debemos mencionar que las experiencias toxicológicas se complementan con las de índole epidemiológica. (27,38)

Ventajas (12,18,23,26,38):

- 1.- Permiten prescindir de dos elementos que tornan difícil la evaluación de efectos: El subjetivismo del afectado en la respuesta y la influencia de otras causas diferentes a la cuestión.
- 2.- Autorizan la selección de una población homogénea o por lo menos de constitución física conocida con antelación.
- 3.- Los factores ambientales pueden ser dirigidos por el investigador.
- 4.- Podemos aprender mucho acerca de los efectos de contaminantes específicos (o combinaciones) sobre los mecanismos integrales de defensa del aparato respiratorio
- 5.- En cuanto a los animales de experimentación, estos pueden emplearse en mucho mayor número que los humanos, lo cual estadísticamente representa una ventaja.
- 6.- Los animales pueden sacrificarse durante o al término de una experiencia para el examen patológico o analítico de órganos específicos.

Limitaciones (12,18,23,26,27,36,38):

- 1.- No es posible eliminar el subjetivismo de los investigadores.
- 2.- Los estudios de toxicología animal tienen una breve duración, de pocos años a lo sumo, concordando con el período de vida de la especie sujeta a prueba; esto por consecuencia limita el estudio de las enfermedades crónicas (las cuales se originan por exposiciones a bajos niveles de contaminantes por períodos considerables de tiempo).
- 3.- Los animales deben someterse a concentraciones que normalmente no se encuentran en el aire comunitario, lo que dificulta y hace riesgosa la generalización y deducción (extrapolación) de los cambios fisiopatológicos a los seres humanos.
- 4.- En condiciones reales la población humana se ve expuesta a polución múltiple (de origen químico, físico y biológico).
- 5.- La insensibilidad estadística que impone el reducido número de animales de experimentación.
- 6.- La amplia diferencia en susceptibilidad de las diferentes especies animales a compuestos idénticos.
- 7.- Generalmente, en vez de examinar todos los efectos posibles (por ejemplo: Cambios en el crecimiento, reproducción, química del cuerpo, estructura de los tejidos, comportamiento, etc.), sólo se experimenta con una respuesta decisiva, frecuentemente la muerte del animal.

Finalmente, podemos concluir que pese a sus evidentes ventajas, los estudios toxicológicos no pueden descartarse como fuente de información básica, relativa a los efectos de los contaminantes sobre la salud humana. (12,36)

### 2.3.3 Efectos sobre la conducta

Los estudios epidemiológicos y toxicológicos sólo toman en consideración índices claros de salud, tales como mortalidad y morbilidad, por lo que se considera conveniente que los investigadores examinen además los efectos de los llamados "tensionadores ambientales" (entre los que podemos citar incomodidad, irritabilidad y otros potencialmente más serios como depresión y ansiedad) sobre la salud y comportamiento humanos. Se establece que dichos tensionadores reducen la resistencia del hospedero a los patógenos biológicos, afectando de paso su reactividad a los contaminantes del ambiente. (41,42)

## 2.4 LA CALIDAD DEL AIRE

### 2.4.1 Estándares y criterios.

Los estándares representan el grado al cual se debe reducir la concentración de contaminantes a fin de evitar ciertos efectos indeseables sobre la salud; en otras palabras, prescriben los niveles que no deben excederse legalmente, durante un período de tiempo y área geográfica específicos. En contraste, los criterios son datos referentes a la relación existente entre concentración de contaminantes y daños. Se estima que los criterios no tienen validez legal o administrativa, ya que solamente indican la concentración y dosis de un polucionante o combinación de los mismos por arriba de la cual se considera que tiene un efecto desfavorable; pudiendo de esta manera estipularse condiciones de exposición para los grupos sensibles de la población, o bien, de los efectos asociados a ciertos contaminantes con otros factores. (18,23,27)

Efectos posibles y mensurables de la contaminación atmosférica. (43)

- 1.- Enfermedad aguda o muerte.
- 2.- Enfermedad crónica o insidiosa.
- 3.- Trastorno de funciones fisiológicas importantes (ventilación pulmonar, transporte de oxígeno por la hemoglobina, y ajuste ocular para visión escotópica o nocturna por ejemplo).
- 4.- Síntomas desfavorables (los que en ausencia de una causa obvia, tal como la polución del aire, pueden llevar a una persona a procurar atención médica).
- 5.- Suficiente incomodidad como para conducir a los individuos a cambiar de residencia o lugar de empleo.
- 6.- Daño a la vegetación.
- 7.- Pérdida de visibilidad.

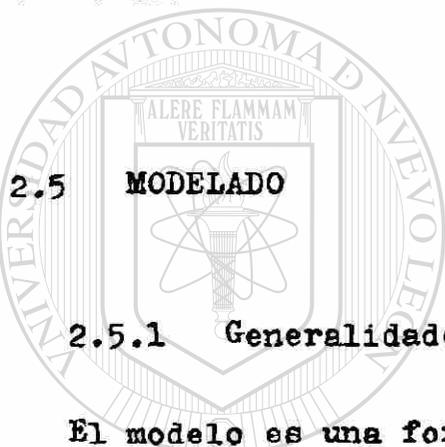
Tomando en cuenta el hecho de que la contaminación del aire produce efectos múltiples sobre la salud, los estándares deben asimismo establecerse para diversas categorías; por lo que, en seguida enunciaremos los tres niveles propuestos para este fin por Goldsmith (43):

(a) Nivel "Adverso".- Los primeros efectos de los contaminantes son aquellos que probablemente conducen a síntomas desfavorables e incomodidad. Si bien se desconoce su asociación con el desarrollo de enfermedad, aún en grupos sensibles, dichos efectos son capaces de perturbar la estabilidad de la población residente o de las comunidades laborales. En el nivel "adverso" ocurre irritación de los ojos. Comprende asimismo niveles de contaminantes que conducen a otros efectos costosos e indeseables, estos incluyen daño a la vegetación, reducción de la visibilidad, y avería a bienes inmuebles de suficiente magnitud para constituir un gra-

vamen económico o socialmente significativo.

(b) Nivel "Severo".- Es el grado de contaminantes, o posible combinación de los mismos, que conducen posiblemente a enfermedad crónica e insidiosa, o bien a la alteración significativa de funciones fisiológicas vitales en grupos sensibles. Dicho empeoramiento implica un riesgo a tales agrupaciones, pero no necesariamente para las personas sanas.

(c) Nivel de "Emergencia".- Nivel de polucionantes o combinaciones de los ídem y factores meteorológicos, que presumiblemente llevan a enfermedad aguda o muerte, a un grupo sensible.



2.5

MODELADO

### 2.5.1 Generalidades

El modelo es una formulación que imita un fenómeno del mundo real, por medio del cual podemos realizar predicciones. En su forma más simple, puede ser expresado verbal o gráficamente, es decir, libremente. Sin embargo, si aspiramos a que las predicciones cuantitativas sean razonablemente útiles, los modelos deberán ser de índole estadística y matemática (formales). (17)

Modelos matemáticos.- Se desarrollan por lo general para predecir un cambio dinámico con respecto al tiempo. El fracaso de un modelo en cuanto a su capacidad de predecir tal cambio es útil en sí mismo, ya que de esta manera se pondrán en evidencia posibles fallas en el marco de juicios o conceptos a partir de los cuales el modelo se desarrolló. Los modelos pueden evaluarse en términos de tres cualidades u objetivos: Realismo, precisión y generalidad. El realismo hace-

referencia al grado en el que los enunciados corresponden,-- al traducirse en palabras, a los conceptos a los que hipotéticamente representan. La precisión es la capacidad que tiene el modelo para predecir cambio numérico y, asimismo, imitar los datos en que se fundamenta. La generalidad se refiere a la extensión en la aplicabilidad del modelo, es decir,-- al número de situaciones en las cuales se le podrá aplicar.-- Las herramientas básicas para el desarrollo de modelos son:-- Teoría y transformación de conjuntos, álgebra matricial, y-- las ecuaciones de diferencia y diferenciales. En síntesis,-- no es el propósito de los modelos el reflejar exactamente al mundo real, más bien, es el que revelen los procesos clave-- necesarios para la predicción. (17,44)

### 2.5.2 Aplicación del modelado a la deposición de partículas en el aparato respiratorio.

Los cálculos de la deposición de aerosoles dependen de:-- (a) Un modelo anatómico que refleje adecuadamente el patrón asimétrico de ramificación observado en el árbol traqueobronquial (el cual a su vez incluya los diámetros de sección de vía aérea, longitudes, ángulos de ramificación e inclinación a la gravedad); (b) caracterización física de las partículas inhaladas (tamaño, densidad y solubilidad); y (c) estimación efectiva del patrón de respiración, incluyendo capacidad pulmonar total, capacidad funcional residual, tasa de respiración y volumen ventilatorio. (45,46)

Asimismo, para poder efectuar el cálculo de tal disposición se hace necesario precisar lo siguiente (7,8):

- La geometría del tracto respiratorio.
- La dinámica del flujo (de aire) traqueobronquial (incluyendo la influencia de la cámara laríngea).

- Los perfiles de temperatura y humedad relativa in situ.---
- Para materiales higroscópicos, los datos que describan la variación en tamaño y densidad con la temperatura y humedad relativa ambientales.

Por otra parte, debe tenerse en cuenta que existen diferencias inter e intraespecíficas en la morfometría pulmonar; aún dentro de un mismo individuo, las dimensiones del aparato respiratorio varían con el cambio en el volumen pulmonar, con el envejecimiento, y con los procesos patológicos. (47)

## 2.6. PROCESOS SIDERURGICOS.

### 2.6.1 Generalidades

La metalurgia es la ciencia que versa sobre la constitución, estructura y propiedades de los metales y aleaciones, y de los procedimientos por medio de los cuales se obtienen y adaptan los minerales para su uso práctico. En la actualidad se considera que también pertenecen a esta disciplina otros procesos, llamados de transformación, que se efectúan después de los de obtención para dar forma y características adecuadas a los materiales de índole metálica. (48,49)

La pirometalurgia es el procedimiento metalúrgico por el que se obtienen metales por fusión de los minerales en forma de óxidos con sustancias reductoras en presencia de fundentes apropiados. La fusión se lleva a cabo en hornos, ya sea por aplicación de un combustible o bien de corriente eléctrica. Los fundentes son sustancias de naturaleza química contraria a la ganga (porción de constituyentes no aprovechables que acompañan al mineral; formada generalmente por compuestos de metales alcalinos, alcalino-térreos (carbonatos---

de calcio y magnesio) o térreos (arcillas o arenas), llamándose a las primeras, gangas alcalinas y a las segundas, gangas ácidas), que se combinan con ella eliminándola, con la posterior formación de la escoria o grasa. De entre los fundentes alcalinos más empleados se citan: La cal, el carbonato de calcio (roca caliza), minerales alcalinos de bajo grado, etc., y entre los de índole ácida: La arcilla, el cuarzo, la arena sílica, etc. La escoria está constituida principalmente por silicato de calcio, el cual constituye un material fácilmente fusible, con una densidad mucho menor que la del material, la cual le permite flotar por encima del metal fundido y ser eliminada con facilidad. Como reductor se emplea fundamentalmente el carbón en sus diversas variedades, sobre todo en forma de coque, el cual asimismo actúa como combustible; también se usan como agentes reductores el monóxido de carbono y algunos metales. Los metales obtenidos mediante este procedimiento no son puros y se les denomina metales en bruto. (48,49)

El mineral de hierro de mayor importancia es la hematita-roja u oligisto  $Fe_2O_3$ , óxido férrico anhidro de color café o rojo, siguiéndole en importancia las hematitas pardas o limonitas, óxidos hidratados de color amarillo, con diferentes grados de la misma. La magnetita  $Fe_3O_4$ , de color gris-negro fuertemente magnética, por lo que se le denomina piedra imán; de alto punto de fusión por contener óxido de titanio. La siderita o carbonato y las piritas o sulfuros, éstas últimas son de menor estima. Otro mineral importante en Norteamérica lo es la taconita, una cuarcita con 20 a 30% del mineral. (48,49)

El hierro bruto se obtiene de la fusión del mineral, proveniente del alto horno. Se emplea como materia prima para la obtención de los demás tipos de hierro, y en ocasiones para el vaciado directo de piezas, sobre todo lingoteras para la evacuación del acero. El hierro bruto de fundición es co

nocido también como arrabio o lingote de la fusión al estado sólido. (48)

1.- Hierros vaciados.- Se logran mediante la refusión del hierro bruto de fundición con el fin de reducir la cantidad de impurezas, y obtener así un producto más uniforme, controlando el contenido de las ídem dentro de ciertos límites pre establecidos, según el producto deseado. Para abaratar los costes, al hierro se le adicionan diversos porcentajes de desperdicios de fundición y chatarra, agregando de ser necesario los elementos convenientes para formar ferro-aleaciones (Si, P, Mn, Cr, Ni, etc.). (48)

2.- Hierros maleables.- Son aquellos que provienen de la refinación del hierro bruto de fundición. Disminuyendo su contenido de carbono hasta un porcentaje menor a 1.7, se obtienen los aceros, y si dicha merma es casi total, de este modo se logran los hierros dulces con menos de 0.06% de carbono. Si el porcentaje de C es de 1.7 a 2.2 se obtienen los semiaceros. La cualidad de los hierros forjables es la maleabilidad directa bajo ciertos límites de temperatura. (48, 50)

(a) Hierros dulces.- Se denominan de esta forma los hierros cuyo contenido de carbón va de 0.04 a 0.06%, siendo casi nula su proporción de impurezas, por lo que manifiestan un punto de fusión muy alto y son muy suaves o "dulces", no endureciéndose ni por rápido enfriamiento y presentando una resistencia a la tensión menor de  $45 \text{ Kg/mm}^2$ . Entre otros comprenden al hierro esponja. (48)

(a') Hierro esponja.- Se produce directamente del mineral de hierro, empleando un horno de soplo de tamaño reducido o un horno eléctrico. La carga consiste de mineral de alto grado, óxido de hierro y algún material carbonáceo, abasteciendo la cantidad apropiada de aire para oxidar el carbón-

sin oxidar el fierro. Asimismo puede hacerse por reducción directa del mineral con hidrógeno y monóxido de carbono en reactores especiales. Se le denomina fierro esponja porque el mineral no alcanza a fundirse, quedando más bien en forma esponjosa; empleándose como materia prima para la producción de aceros de alto grado. (48,49)

(b) Aceros.- Son aleaciones de hierro-carbono que contienen de 0.08 a 1.8% del segundo. Poseen propiedades intermedias entre los hierros de tipo "dulce" y de fundición. Son maleables por lo menos dentro de ciertos límites de temperatura; además pueden obtenerse mediante vaciado a partir de una masa en principio maleable, o de endurecerse por enfriamiento súbito, o por ambas. (48,49)

#### 2.6.2 Tipos de hornos empleados

Industrialmente hablando, el horno puede definirse como una construcción de material refractario recubierto o no de lámina de acero, que se destina para el tratamiento de materiales a altas temperaturas. (48)

Los hornos se clasifican por su forma en (48):

- De reverbero o de calentamiento indirecto.
- De mufla (para cocer productos cerámicos).
- De crisol: Vaso de material refractario en forma de barril.
- De cuba.
- Eléctricos.

De entre los hornos más empleados podemos citar: El alto-horno, el convertidor, el horno de hogar abierto, y el horno eléctrico; todos a excepción del primero se utilizan para la refinación o eliminación de impurezas del hierro bruto de---

fundición (el cual se obtiene del alto horno).

Alto horno (Fig. 4).- Es un horno de cuba de 20 a 30 metros de altura, formado por dos conos truncados unidos por su base mayor, construido de lámina de palastro (hierro) revestido en su interior de ladrillo refractario; tiene una capacidad promedio de 700 a 1600 toneladas diarias. Se compone de cuatro secciones: El crisol, el cual es un cilindro de palastro o acero vaciado revestido por cerca de 90 centímetros de material refractario, provisto de dos orificios para la salida de la escoria y el fierro fundido. En la obra o zona donde se lleva a cabo la fusión, se insertan una serie de toberas de cobre de pared doble enfriadas por agua y compuestas por varias secciones cónicas, cuyo diámetro se va incrementando hasta llegar y conectarse a un tubo mayor que rodea al horno a manera de anillo y por el cual se conduce el aire requerido para la operación. En el vientre o zona de mayor diámetro, los materiales logran su máxima dilatación antes de comenzar a fundirse, y por último, el etalaje o cuba situada en la parte superior del horno, está sostenido por 8 a 12 columnas con 20 a 22 metros de altura rematando en el tragante, boca o cargadero, el cual está provisto de dos campanas cónicas que funcionan en forma alterna, para impedir que los gases escapen en tanto se carga. Los gases salen por dos orificios colocados a los lados del horno, hacia tubos que se unen en un conducto común para, de esa manera ser transportados a un sistema de tratamiento a fin de separar los materiales en suspensión y emplearlos posteriormente como combustible en las estufas o calderas por su gran contenido de monóxido de carbono (20%). (48,51,52,53)

Para comenzar a operar, se llena el horno con leña y carbón de coque, los cuales se queman para secar el horno, al empezar a bajar se van agregando capas alternas de mineral (60%), coque (25%) y caliza o fundente (15%) mediante el uso de unos carros de carga o cubos que se mueven alternadamente

por carriles situados en un plano inclinado operado mecánicamente. El horno se conserva lleno y la operación es continua; se introduce cerca del fondo aire precalentado a 500-600 °C en estufas adecuadas, comprimiéndolo a una presión de 1 Kg/cm<sup>2</sup>. La carga desciende lentamente, ocurriendo primero un secado y precalentamiento con los gases de salida y al continuar su descenso reaccionan los óxidos con el monóxido de carbono de los gases y parte con el carbón, produciendo hierro libre. El metal obtenido queda en forma esponjosa, licuándose al llegar a la zona de fusión, y pasando al crisol, disolviendo a su paso diversas impurezas tales como S, Mn, P, Si, y C. Entre tanto, la ganga se combina con la cal para formar la escoria y después de 10-15 horas de iniciado el soplo (introducción de aire por las toberas) puede hacerse la primera supresión de esta, continuando luego cada dos horas. La escoria se conduce por canales a tinajas o góndolas de fondo cónico, para posteriormente llevarla a un patio donde se vacía para obtener así una masa oscura que se tritura y emplea como material de relleno. Ocasionalmente se deposita en pilas o recipientes donde se le pone en contacto con agua a presión para enfriarla rápidamente, resultando un producto granulado de color blanquecino a grisáceo, que se emplea para la fabricación del cemento, o bien de ladrillos de escoria. A las 20 ó 30 horas de iniciado el soplo, se hace la primera colada del hierro, y después cada 4 ó 5 horas, para lo cual se separa el tapón de arcilla y tierra que obstruye el orificio y luego se funde el tapón interior de hierro por medio de tubos con oxígeno. El líquido sobrante se vacía en carros para su transporte, ya sea a los hornos de acreación o bien para ser vaciados en lingoteras o moldes instalados en una cadena sin fin y recubiertos con lechada de cal para formar lingotes sólidos de 35 a 50 Kilogramos. (48,51,-52,53)

Convertidor (Fig. 4).- El convertidor más popular es el inventado por el Inglés Henry Bessemer en 1855. Es empleado

para el proceso ácido (este va a depender de la naturaleza ácida o básica de la carga); para su contraparte se emplea el convertidor Thomas, de mayores dimensiones que el primero para la misma capacidad. El convertidor Bessemer es un recipiente en forma de pera situado sobre unos muñones o espigas que le permiten girar, siendo hueco uno de ellos para dar paso a una corriente de aire que se inyecta al convertidor a través de una serie de orificios en unos cilindros de arcilla refractaria o toberas, las cuales se sitúan sobre un fondo removible, estando empacadas con mortero resistente a altas temperaturas. Las dimensiones promedio del convertidor son: 2.5 metros de diámetro por 4.5 de altura, con una capacidad de 15 toneladas. Para poder operarlo se coloca en posición horizontal, recibiendo el fierro fundido por una curvatura que tiene en la parte superior; entonces se levanta lentamente en tanto se inyecta aire por las toberas (soplo), hasta llegar a un máximo cuando está en posición vertical. (48,51,52,54)

Horno de hogar abierto (Fig. 4).- Conocido también como horno Siemens-Martin, en memoria de sus descubridores, los cuales adaptaron el principio de generación de calor a un horno de reverbero (en el que la carga se calienta indirectamente por medio de una bóveda o techo a altas temperaturas) e introduciendo el cambio de diluir el hierro bruto de fundición con chatarra o desperdicios de acero y refinarlo con mineral de hierro. La capacidad del horno va de las 50 a las 250 toneladas. A manera de descripción podemos decir que es un horno de reverbero de tipo rectangular, construido con la drillo refractario, rodeado de ángulos y tirantes de acero, con un crisol en el centro y dos cabezales en los lados que se comunican hacia abajo con una cámara de escoria, y con dos cámaras regenerativas o cambiadores reticulares que pueden comunicarse con una chimenea, o bien a la fuente de aire por medio de un sistema de compuertas; tiene además varias puertas de carga al frente y dos orificios de salida para el

acero y escoria en la parte posterior. (48,51,52)

Horno eléctrico (Fig. 4).- Es un horno en el cual el calor se origina, como su nombre lo indica, por medio de corriente eléctrica a causa de la resistencia que oponen al paso de la misma los materiales que en ellos se sitúan; el calor generado puede aprovecharse en forma directa o indirecta ya sea en el interior del horno o desde la superficie del ídem. Por su costo elevado no es utilizado para producir acero directamente del hierro bruto, sino que se emplea más bien como materia prima acero Bessemer, de hogar abierto, líquido o sólido, chatarra (de acero), etc., para preparar aceros vaciados al carbón y especiales (inoxidables y aleaciones elevadamente tensiles), obteniéndose coladas reducidas de 5 a 100 toneladas. El horno eléctrico posee algunas ventajas que cabe la pena mencionar: La rápida obtención de altas temperaturas que además pueden variarse fácilmente, mantenerse por el tiempo indispensable o bien controlarse en forma automática; la carga no se contamina, ya que no existen combustibles o productos de combustión; si se manipulan cargas que vayan o que estén fundidas, se puede trabajar con cualquier clase de escoria (ácida, básica o neutra), la cual puede asimismo renovarse o cambiarse fácilmente cuando fuese necesario; pueden del mismo modo añadirse o eliminarse constituyentes a la carga con comodidad. (48,51,52,53,54)

## DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

### 2.6.3 Contaminación atmosférica por plantas siderúrgicas.

Los niveles de contaminantes emitidos por la industria del hierro y acero dependen de muchos factores tales como el grado de actualización de la instalación y su localización, las condiciones atmosféricas (propias de la región), técnicas y económicas de funcionamiento, etc. (26)

Altos hornos.- Los polvos emitidos durante el proceso de producción de arrabio (hierro bruto de primera fusión) están constituidos en términos generales por partículas diminutas, las cuales varían en tamaño, de muy burdas (mayores de 100-- micrómetros) a tallas menores de 10  $\mu\text{m}$ . Las partículas se-- producen entre otros en los siguientes puntos o fuentes pri-- marias (Fig. 5): Carga del mineral en las tolvas o silos;--- cribado o almacenamiento en los dosificadores y preparacón-- de los lechos de fusión; transporte y almacenamiento del co-- que em las tolvas dosificadoras; carga de las materias pri-- mas en el carro; vertido de los cubos en el horno; polvos e-- mitidos por los separadores de depuración de los gases del-- alto horno. (26,51,54)

Convertidores.- Las emisiones particuladas procedentes--- del convertidor son principalmente finas (vapor de óxido de-- hierro) con cierta cantidad de arena o polvo proveniente de-- los materiales de la carga o de la escoria. En cuanto al--- diámetro, se considera que cerca del 85% de los aerosoles es-- tán por abajo de 1  $\mu\text{m}$ , y que el promedio se encuentra en un-- rango de 0.05 a 0.2  $\mu\text{m}$ . (51)

Hornos de hogar abierto.- En la práctica normal (sin in-- yección de oxígeno), el 50% de las partículas emitidas son--- mayores de 5  $\mu\text{m}$ ; con el proceso inverso, esto es, con inyec-- ción de oxígeno las partículas son de naturaleza fina (vapor de óxido de hierro) cuyo tamaño promedio de 0.1 a 1  $\mu\text{m}$ , con-- una media de 0.2 a 0.3  $\mu\text{m}$  (51); sin embargo, otros investiga-- dores (13) han encontrado que las partículas obtenidas de--- filtros de mangas (por ejemplo), consisten de tres tipos mor-- fológicos básicos: Grandes e irregulares, mayores de 60  $\mu\text{m}$ -- (escoria); esferas gris-negro de talla variable; y pequeñas-- (de menos de 2  $\mu\text{m}$ ), granos de óxido de hierro rojo adheridos a la superficie de las partículas mayores.

Hornos eléctricos.- La proporción y clase de partículas e

mitidas por los hornos eléctricos están sujetas a diversas variables, entre las que se cuentan la composición de la carga, el empleo de materiales oxidantes, la velocidad de fusión, el estado físico de los fundentes, la temperatura del horno y fundamentalmente de la aplicación de oxígeno. Dichos humos y polvos varían grandemente en tamaño y composición. En lo que atañe al tamaño, se establece que su gran mayoría esta comprendida entre 1 y 10  $\mu\text{m}$ . (16) Sin embargo, la distribución que sigue puede estimarse tentativamente como característica. (26)

<u>Diámetro de partícula (<math>\mu\text{m}</math>)</u>	<u>%</u>
44 y mayores	7-16
10-44	7-71
10 y menores	18-80

#### 2.6.4 Acción sobre las fuentes industriales.

Se establece que las disposiciones relativas a estas fuentes pueden tomarse en varios sitios del ciclo productivo y no precisamente al final del mismo, es decir, el lugar de emisión (chimenea por ejemplo). Por lo tanto, es más práctico tratar de impedir la formación de algún producto que pueda contaminar, aunque esto no sea posible en todos los casos. (26)

Las materias primas son la causa directa de la contaminación, sobre todo en el proceso de almacenamiento y transporte (Fig. 6) las cuales a su vez son manipuladas y transformadas para la elaboración de algún producto en particular. Por lo que, en primera instancia, deberá estudiarse la probabilidad de cambiar esas materias por otras que por sus cualidades contrastantes no produzcan polución. Estas disposiciones deben revisarse cuidadosamente para cada caso en espa---

cial, por lo que es obligado tener en cuenta factores implicados tales como viabilidad técnica, consecuencias económicas, ausencia de otros inconvenientes, etc. (26)

Algunas veces, una modificación en el proceso de fabricación da pie al surgimiento de ciertos subproductos, cuyo valor se refleja directamente en el rendimiento económico de la operación. En ocasiones, la viabilidad práctica de tales modificaciones y la absorción de los nuevos costes aparecidos por parte de los industriales, dependen necesariamente de la trascendencia de susodichos productos. (26)

Si los cambios que pudiesen considerarse básicos, no fuesen factibles o no diesen el resultado esperado, entonces se tendría que pasar al estudio de otras etapas en las cuales poder aplicar a su vez otras medidas a fin de prevenir el problema; de no lograrse el cometido, se llega finalmente a la última disposición, que no es otra que la retención de los contaminantes originados, mediante el empleo de equipo específico que va de acuerdo a las características de las emisiones (Tabla 1). (26)

Las alternativas fundamentales que se emplean para obtener una disminución de la concentración de los contaminantes del aire son (4,23,55): Buena operación de la planta o proceso; cambio de proceso; sustitución del combustible; dispersión o dilución mediante chimeneas; lavado o depuración del efluente gaseoso (Tabla 2); reubicación de la fuente; clausura.

#### 2.6.5 Control de la contaminación atmosférica particulada.

La separación de los polucionantes de la corriente gaseo-

sa que los acarrea puede llevarse a cabo por mecanismos di-  
versos que se pueden utilizar ya en forma separada o conjun-  
ta. Tales mecanismos se clasifican en dos grupos, que van-  
de acuerdo al tipo de contaminante; sólidos y líquidos (par-  
tículas) por un lado, y gaseosos por el otro. Para los aerog-  
soles, el proceso de depuración es de tipo físico, en el-  
cual no se registra variación alguna en la naturaleza quími-  
ca del contaminante. Para los segundos, el proceso puede-  
llevar en sí a alteraciones en su composición. (26)

Los principales mecanismos empleados para la separación-  
de partículas son (26,55):

(a) Por gravedad.- Las partículas sólidas y líquidas cuyos-  
diámetros rebasen los 50  $\mu\text{m}$  pueden sedimentar en forma real,  
si se disminuye la velocidad de la corriente que las envuel-  
ve.

(b) Por inercia.- El fenómeno se emplea para alterar la lí-  
nea de avance de la corriente gaseosa de modo que la desvia-  
ción experimentada por el aerosol difiera notablemente de é-  
sta, y de esa forma se obtenga una separación total de ambos-  
componentes.

(c) Mediante la fuerza centrífuga.- Si la corrección de la-  
línea de avance de la corriente gaseosa es de forma circular  
las partículas se separan de la misma a causa de la acción-  
de la fuerza centrífuga.

(d) Por intercepción.- Es la colisión de la partícula con un  
obstáculo colocado de tal manera que este impida el paso, y-  
la retenga.

(e) Por difusión Browniana.- Se le puede considerar como un-  
caso especial de la anterior, donde la colisión de los aerog-  
soles se debe a la energía que las moléculas gaseosas le-  
-

transmiten como consecuencia de los estrellamientos producidos por influencia del movimiento browniano.

(f) Precipitación electrostática.- La división se lleva a efecto mediante la carga eléctrica del contaminante y su paso ulterior a través de un campo eléctrico que le desvía y obliga a sedimentarse.

(g) Aglomeración sónica y ultrasónica.- Es un proceso auxiliar de separación por medio de ondas de relativamente baja-frecuencia en los rangos sónico y ultrasónico, las cuales favorecen la colisión y posterior aglomeración de las partículas con el natural incremento de tamaño y, por lo tanto, con una mejora en la eficiencia de separación.

#### Métodos de control (23)

##### I.- Aplicables a todas las emisiones

###### (A) Disminución o eliminación

1.- Cambio en la especificación del producto.

2.- Cambio en el diseño del mismo.

3.- Cambio en la temperatura, presión o ciclo del proceso.

4.- Cambio en la especificación de los materiales.

5.- Cambio de producto.

###### (B) Confinamiento

1.- Encerrar la fuente.

2.- Captura de las emisiones en un sistema de escape

3.- Prevenir las corrientes de aire.

###### (C) Separación del contaminante del efluente gaseoso

1.- Lavarlo con un líquido.

## II.- Aplicables específicamente a emisiones particuladas

(A) Disminución o eliminación de la producción de las mismas.

- 1.- Cambio en el proceso para que no requiera: Barrer, mezclar, pulir, calcinar, desmenuzar, triturar, secar, pulverizar, moler, abrillantar enarenar, aserrar, rociar, etc.
- 2.- Cambio de material (de sólido a líquido o gaseoso).
- 3.- Cambio de material sólido seco a húmedo.
- 4.- Cambio en el tamaño de partículas del material sólido.
- 5.- Cambio en el proceso para que este no requiera de material particulado.

(B) Separar al contaminante del gas efluente

- 1.- Separación por gravedad.
- 2.- Separación por fuerza centrífuga.
- 3.- Separación mediante filtros.
- 4.- Separación por precipitación electrostática.

Equipo para la separación de partículas.- El clasificar los equipos de depuración no es un trabajo sencillo si consideramos que existen dispositivos que emplean más de un mecanismo, por lo que tomaremos como punto de partida la siguiente clasificación (23,26,54,55,56,57): Equipos de separación por gravedad; por inercia; por fuerza centrífuga; mediante filtración; mediante lavado; separación electrostática.

Separación por gravedad.- Los equipos constan de una cámara de grandes dimensiones, en la cual al penetrar la corriente gaseosa, esta pierde velocidad lo que posibilita la sedimentación de las partículas mayores. Con la finalidad de a-

breviar el recorrido de dichos aerosoles, suele adaptarse una serie de superficies a manera de estantes que consiguen aumentar la eficiencia de separación, aunque dificulten el paso de la misma. Las cámaras de sedimentación no se emplean con extensión a causa de su baja eficiencia y necesidad de espacio, no obstante pueden emplearse como equipos de depuración preliminar, montados en serie con otros de mayor eficiencia, por su costo reducido y sencillo funcionamiento.

Separación por inercia.- El equipo de esta índole funciona transmitiendo un cambio repentino a la dirección del flujo gaseoso, hecho que determina la separación del material particulado, aunque intervienen otros fenómenos auxiliares.- Estos separadores tienen una forma geométrica que se asemeja a la de la cámara de sedimentación, pero con varias modificaciones que acrecientan o mejoran su rendimiento. Las cámaras de desviación obligan al flujo a cambiar de dirección para, de este modo, darle vuelta a un obstáculo colocado para tal fin. Como las partículas mayores tienden a preservar su dirección, se estrellan contra él, perdiendo velocidad y depositándose en una tolva, eliminándose así del flujo gaseoso. Las cámaras de "persianas" tienen interiormente un sistema de placas a la manera de las mismas, con pequeños espacios o intersticios entre ellas. Al estrellarse contra las placas, las partículas pierden velocidad y terminan sedimentando, entre tanto el gas escapa por los espacios.

Separación por fuerza centrífuga.- El equipo que se fundamenta en este fenómeno recibe genéricamente el nombre de ciclones, los cuales poseen muchas variantes. El ciclón es en sí un dispositivo mecánico que fuerza al flujo gaseoso a trazar una trayectoria helicoidal. La fuerza centrífuga resultante impulsa a las partículas hacia la pared del aparato, deslizándose a lo largo del mismo, para luego caer en una tolva situada en la parte inferior, donde son captadas y separadas de la corriente gaseosa. Estos dispositivos pueden-

emplearse en paralelo mediante el uso de modelos muy reducidos, todos en un solo grupo, que recibe el nombre de ciclón múltiple. Cuando el número de ciclones en paralelo es muy alto, tanto la cámara de entrada de aire, la tolva y la salida de aire son comunes. Asimismo puede emplearse a la vez la disposición, ya en serie, ya en paralelo, con lo cual se logra una adecuada combinación de efectos.

Separación por filtración.- La filtración se basa, de igual manera, en un mecanismo de impactación directa en el cual el medio de separación está formado por una trama de muy diversa natura. El flujo gaseoso pasa a través del tejido, en donde las partículas de mayor tamaño, con respecto a los intersticios, quedan retenidas. El proceso puede emplearse también para aerosoles de tamaño reducido, con altos rendimientos. Ya que el producto recuperado está libre de agua, puede fácilmente ser reaprovechado. El medio filtrante puede ordenarse en forma cilíndrica como en el caso de los filtros de mangas o bolsas. La separación del polvo retenido por el filtro puede llevarse a cabo por: Sacudida mecánica, en donde el medio se limpia por agitación de las mangas, lo cual provoca que el polvo se deposite en las tolvas; flujo inverso, en el cual la limpieza se efectúa haciendo circular aire limpio a contracorriente; ondas sonoras, donde se producen sonidos de baja frecuencia lo cual origina una vibración suficiente para desprender el polvo de la trama filtrante.

Separación mediante lavado.- El equipo se basa en el mecanismo de impactación directa, en el cual el medio de división está constituido por gotas de líquido cuya función es solamente mecánica. La colisión de las partículas con el medio puede llevarse a efecto de diversos modos. Uno de los más extendidos es el de tipo Venturi. La corriente gaseosa atraviesa una garganta de sección mínima donde se le somete a una lluvia finamente pulverizada y de progresión horizonta-

tal. Los rasgos característicos de la depuración por vía húmeda son los siguientes: El efluente gaseoso final se encuentra a baja temperatura a causa del repentino enfriamiento experimentado; el sólido separado está mezclado con gotas formando algo parecido a una papilla; el volumen ocupado por el equipo no suele ser muy grande; los requerimientos de líquido y las pérdidas de carga suelen ser considerables.

Separación por fuerzas electrostáticas.- El equipo basado en las fuerzas electrostáticas es muy útil, sobre todo en el caso en que el tamaño de las partículas sea muy reducido y se requieran eficiencias de depuración elevadas. Tomando en consideración el sistema de eliminación de los aerosoles colectados, los precipitadores pueden dividirse en: Secos o húmedos. En los primeros, las partículas se separan de los electrodos al golpearlos con martillos o vibradores; en los segundos, las placas colectoras se esparcen de tal manera que el líquido arrastra el polvo depositado. Como ventaja podemos decir que la pérdida de carga en los precipitadores es menor a la manifestada por otros semejantes, para el mismo rendimiento de operación. En contraste, cabe señalar que la inversión que requieren es muy alta y el mantenimiento, complejo.

Finalmente, debemos tener en mente las siguientes observaciones tocantes al equipo de control de la polución del aire (27):

- 1<sup>a</sup> Que el porcentaje de contaminantes que no pueden ser retenidos podrá acaso representar aún una cantidad excesiva.
- 2<sup>a</sup> Que una leve modificación en la eficiencia del equipo puede tener un efecto muy severo sobre la cantidad de emisiones.

Factores que determinan el diseño y selección del equipo de depuración (26,54,56,58):

1) Propios del contaminante: Composición físico-química; distribución de tamaño de partículas (Fig. 7); densidad; viscosidad; contenido de humedad; solubilidad; propiedades acústicas y eléctricas; límites de inflamabilidad, explosión y toxicidad; características diversas (acción corrosiva, adhesiva abrasiva, etc.).

2) Propios del flujo gaseoso: Naturaleza del gas portador; --gasto (del gas) y sus fluctuaciones; concentración del contaminante; temperaturas de entrada y salida; reactividad; contenido de humedad; densidad; viscosidad; presión; propiedades acústicas y eléctricas; límites de inflamabilidad, explosión y toxicidad; características diversas (poder abrasivo, --corrosivo, adhesivo, etc.).

3) Exclusivos del producto recuperado: Valor económico, mercado potencial; aplicaciones internas posibles; consideraciones singulares (valor estratégico, interés público, etc.).

4) Característicos de la planta industrial: Situación tanto geográfica como topográfica; espacio disponible; posibilidades energéticas y de otros servicios; altura del punto de emisión.

5) Propios de la atmósfera circundante: Temperatura media; --presión barométrica; velocidad y dirección de los vientos; --alturas de inversión y mezcla.

6) Relativos a los dispositivos: Costes económicos (equipo e instalación); material de construcción; peso y volumen; necesidades de aislamiento; facilidad de instalación; necesidades energéticas y de otros servicios.

7) Característicos de la operación: Presión de trabajo y pérdida de carga admisible; frecuencia de inactividad (paradas); posibles sobrecargas ocasionales; requerimientos de perso--

nal; costes económicos (energía y otros servicios).

8) Propios de la situación social y administrativa: Emisión-máxima autorizada del contaminante; proximidad de núcleos urbanos.

Como complemento a lo anterior, remítase a la Fig. 8.

## 2.7 MICROSCOPIA ELECTRONICA DE BARRIDO Y ESPECTROMETRIA DE DISPERSION DE ENERGIA.

### 2.7.1 Aspectos generales. (13,59,60)

El microscopio electrónico de barrido (MEB) (Fig. 9) puede caracterizarse, en términos claros, como un sistema de televisión de circuito cerrado en el que el objeto en observación es iluminado por una mancha de electrones en continuo movimiento, emitidos al calentarse un filamento de tungsteno (cátodo) sito dentro del cañón electrónico (fuente) en la parte superior de la columna del microscopio. Bajo dicho cañón existen tres lentes condensadoras electromagnéticas, alineadas con antelación y que se emplean para acelerar los electrones y enfocarlos para formar un punto diminuto. Asimismo sirven para reducir progresivamente el haz hasta constituir un ídem explorador que se enfoca sobre la superficie del objeto en una trama cuadrada, en forma equiparable a lo que ocurre en una pantalla de televisión. Este haz exploratorio está sincronizado a su vez con el de un tubo de rayos catódicos. El conjunto de bobinas de barrido se localiza en el espacio de la última lente condensadora, que recibe el nombre de objetivo. La cámara donde se coloca la muestra está situada en la base de la columna del microscopio, en línea con el haz de electrones. La apertura final limita la

divergencia del haz en la superficie del objeto.

Existen bombas difusoras de diferente índole para la columna y cámara de la muestra, que son apuntaladas por una bomba rotativa. Puede mantenerse el vacío de la columna en tanto se permutan las muestras y se reemplaza el filamento o fuente de electrones. Es de gran importancia que se mantenga un grado de vacío adecuado, sobre todo cuando se trabaja con un gran poder de resolución (el cual permite que puedan diferenciarse separadamente dos objetos), lo que reducirá al mínimo la contaminación de la muestra. Algunos MEB emplean sistemas de vacío con colectores enfriados con nitrógeno líquido, para de esta forma evitar que el aceite pueda retornar a la cámara, procedente de las bombas difusoras.

Son posibles los movimientos del objeto en los tres ejes del espacio (x,y,z) lo mismo que las inclinaciones y giros por medio de perillas de mando colocadas fuera de la cámara de muestra.

Cuando el haz pasa sobre la superficie de la muestra (barrido) la interacción de los electrones para con la materia (objeto) da como resultado la producción, entre otras cosas, de rayos X, a partir de los cuales es posible reproducir una imagen en el MEB.

#### DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

El análisis de rayos X se fundamenta en el hecho de que los átomos, cuando son excitados por un haz de electrones de alta energía, emiten rayos X de una longitud de onda y energía que son típicos de cada elemento. El sistema de dispersión analiza las diversas energías de los rayos en cuestión, captados con un rango determinado con anticipación, siendo capaz de localizar o detectar todos los elementos comprendidos entre el Na (número atómico = 11) y el U (n.a. = 92). La forma de operación empleada es en esencia un análisis espectral, es decir, de todos los elementos químicos presentes-

en un lugar dado de la muestra. En este tipo de análisis, se mantiene el haz sobre la estructura seleccionada y los rayos X emitidos se analizan. Otro método utilizado es la obtención de "mapas" de distribución de algún elemento en particular; dicho "mapeo" puede compararse con la micrografía convencional de electrones secundarios a fin de igualar áreas de concentración del elemento en cuestión, con estructuras morfológicas.

Comparación del MEB con respecto a otros microscopios (59)

Carácter	MO	MET	MEB
Aumentos.	1 200 diámetros	$1 \times 10^6$	15 a 50 000
Medio de desplazamiento.	atmósfera	vacío	vacío
Resolución máxima.†	200 a 300 nm	0.2 a 0.5 nm	10 a 20 nm
Profundidad de campo.	imagen bidimensional	ídem	imagen tridimensional
Monitor.	observación directa	pantalla fluorescente	tubo de rayos catódicos

MO = Microscopio óptico.

MET = Microscopio electrónico de transmisión.

† = Distancia mínima a la que pueden estar separados dos objetos y ser diferenciados.

nm =  $10^{-9}$  metros.

Ventajas (59,60):

- Gran profundidad de campo, y la consiguiente imagen tri-

dimensional.

- Resolución.
- Gran escala de aumento.
- Facilidad de variar el aumento sin necesidad de alterar la distancia focal, por lo que la profundidad de campo permanece constante.
- Posibilidad de obtener diversa información de la muestra.
- Probabilidad de visualizar muestras de talla considerable.

### 2.7.2 Aplicaciones en estudios sobre contaminación ambiental. (6,13,60,61,62)

El hecho de tener a mano la tecnología apropiada para recabar la información necesaria acerca de las características tanto morfológicas como químicas de los contaminantes particulados (Fig. 10) representa una ventaja que resulta evidente, si nuestro propósito es inferir, por un lado, el origen o fuente de semejantes aerosoles; y por otro, conjeturar acerca de su destino; por lo que el empleo tanto de microscopía electrónica de barrido como del análisis de dispersión de energía de los rayos X, son fundamentales para la obtención de tales logros. Finalmente, cabe hacer mención que estas técnicas tienen una aplicación potencial infinita, con respecto al estudio de la amplia gama de sustancias que contaminan el ambiente.

## C A P I T U L O    I I I

### DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

La expresión "Norte de México" empleada en el título, se refiere a los estados de Nuevo León y Coahuila; del primero, a las ciudades de Monterrey y San Nicolás de los Garza, del segundo, a la cabecera municipal de Monclova; por lo que la reseña se apegará a ese orden. (63,64)

#### MONTERREY

Situación geográfica.- El municipio se encuentra limitado al Norte con el de San Nicolás de los Garza, al Sur con la Villa de Santiago, al Suroeste con San Pedro Garza García, al Oeste con las cabeceras de Santa Catarina y Villa de García, al Noreste con la Villa de Juárez y Guadalupe. La capital del estado ocupa una superficie de 781.438 Km<sup>2</sup> y se localiza entre los 25° 40' 11" (Latitud Norte) y los 100° 20.8' (Longitud Oeste), a una altura de 538 metros sobre el nivel del mar.

Fisiografía.- Se sitúa en la Provincia de la Llanura Costera del Golfo Norte, Subprovincia de Llanuras y Lomeríos (región conocida como Llanura Costera o Plano Inclinado), Topografía de Lomerío Suave.

Suelos.- En general predominan los vertisoles (profundos y de color oscuro), sin embargo se presentan otras asociaciones tales como: rendzinas con litosol, suelos someros limitados por caliche.

Geología (estratigrafía).- El cretácico inferior está representado por rocas calcáreas localizadas al norte de la ciudad. La mayor parte de los afloramientos rocosos de la pro-

vincia pertenece al cretácico superior y está constituida--- por lutitas. Los conglomerados que subyacen en forma discor- dante a los sedimentos del cretácico superior son del terci- rio (pleistoceno). Los depósitos más recientes corresponden al cuaternario y están constituidos por rellenos aluviales. Las estructuras características de las rocas del cretácico-- en esta provincia están formadas por numerosos pliegues de-- reducidas dimensiones y por abundantes fracturas y fallas de corriente horizontal.

Clima.- BS<sub>1</sub> (h') hw : Cálido, con lluvias en verano, % de--- precipitación invernal entre 5 y 10.2

Temperatura media anual: 20-24 °C

Precipitación media anual: 500-700 mm.

Frecuencia de heladas: 0-20 días.

Frecuencia de granizadas: 0-2 días.

Hidrología.- La principal y única corriente la constituye-- el río de Santa Catarina, que cruza la ciudad de poniente a-- oriente. En la zona citadina se efectúa la explotación de a ~~gua subterránea más importante; siendo los campos de Mina,--~~ Monterrey, Buenos Aires y Topo Chico los que aportan mayor-- caudal. La permeabilidad de las calizas se debe a la presen- cia de una franja arrecifal que se desarrolló en las forma-- ciones del cretácico inferior y que se ha cortado en los po- zos de los campos situados en la porción oeste del área.

Vegetación.- Matorral submontano.

#### SAN NICOLAS DE LOS GARZA

Situación geográfica.- Limita al Norte con el municipio de-- General Escobedo, al Sur con el de Monterrey y San Pedro---

Garza García, al Este con Apodaca y Guadalupe, al Oeste con Santa Catarina y Villa de García. La cabecera municipal ocupa una superficie en kilómetros cuadrados de 57.186 y se localiza entre los 25° 45.8' (Latitud Norte) y los 100° 17.1' (Longitud Oeste), a una altura sobre el nivel del mar de 500 metros.

En lo que respecta a la descripción tanto de fisiografía, suelos, geología y vegetación; coincide con la correspondiente a la Cd. de Monterrey.

Clima.- BS<sub>1</sub> (h') hw : Cálido, con lluvias en verano, % de precipitación invernal entre 5 y 10.2

Temperatura media anual: 22-24 °C

Precipitación media anual: 500-700 mm.

Frecuencia de heladas: 0-20 días.

Frecuencia de granizadas: 0-2 días.

Hidrología.- La principal corriente la compone el arroyo del Topo Chico, la que atraviesa el municipio de poniente a oriente; siendo canalizada en su mayor parte, para la eliminación tanto del agua pluvial como de la residual.

## DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

### MONCLOVA

Situación geográfica.- Limita al Norte con Abasolo, al Sur con el municipio de Castaños, al Este con el de Candela, al Oeste con la cabecera de Frontera y al Noroeste con San Buenaventura. El municipio de Monclova ocupa una superficie de 1461.07 Km<sup>2</sup> y se sitúa entre los 26° 54.5' (Latitud Norte) y los 101° 25.3' (Longitud Oeste), a una altura de 900 metros sobre el nivel del mar.

Fisiografía.- Se localiza en la Provincia de la Sierra Madre Oriental, Subprovincia de las Sierras y Llanuras Coahuilenses, Topoforma de Llanura de Piso Rocoso.

Suelos.- Predomina el xerosol háplico y cálcico limitado por fases líticas y petrocálcicas que ocasionalmente cuentan con una superficie gravosa o pedregosa. En zonas donde se acumula la agua se encuentran xerosoles lúvicos (con un horizonte ar cilloso), y gypsicos (con un horizonte de acumulación de yeso) que presentan problemas de salinidad y sodicidad. Además se encuentran suelos aluviales o lacustres muy alcalinos con una fase sódica y textura fina, de tipo solonchak órtico. Estos suelos tienen índices de capacidad de retención y de contenido de nutrientes moderado, y contienen poca materia orgánica. En ocasiones llegan a encontrarse rendzinas, feqzem calcárico y vertisol crómico.

Geología.- En el área de la ciudad se localizan principalmente rocas ígneas intrusivas ácidas (granito y diorita) del terciario, y rocas sedimentarias cretácicas (caliza-lutita).

Clima.- BSo hw : Seco semicálido, con lluvias en verano,  $\frac{1}{2}$  de precipitación invernal entre 5 y 10.2, invierno fresco.

Temperatura media anual: 20-22 °C

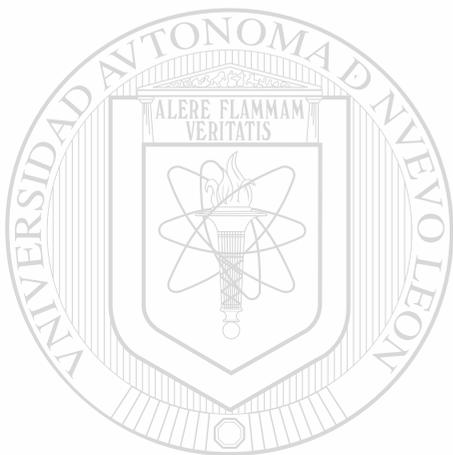
Precipitación media anual: 300-400 mm.

Frecuencia de heladas: 0-20 días.

Frecuencia de granizadas: 0-1 día.

Hidrología.- La única corriente presente la conforma el río Monclova. En lo que al agua subterránea respecta, se considera que la zona citadina está en equilibrio en relación a su explotación, recomendándose que ésta no se incremente.

Vegetación.- Matorral desértico micrófilo y plantas halófi--  
las.



UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

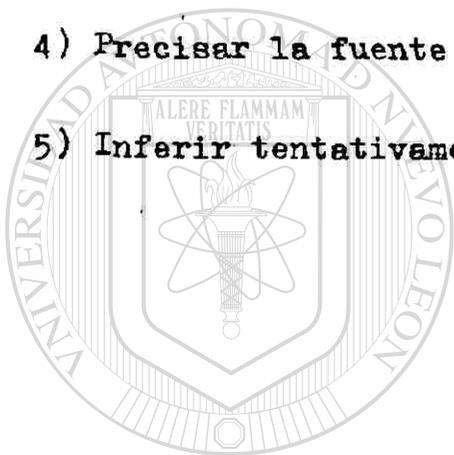
®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## C A P I T U L O    I V

### O B J E T I V O S

- 1) Establecer el tamaño aproximado, forma y aspecto de las partículas emitidas.
- 2) Determinar su composición química (cualitativa).
- 3) Relacionarlas con procesos siderúrgicos específicos.
- 4) Precisar la fuente de emisión.
- 5) Inferir tentativamente su toxicidad a la salud.



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

# C A P I T U L O V

## M E T O D O L O G I A

### 5.1 MUESTREO

Para este propósito se empleó tanto equipo de alto volumen como colectores de polvo sedimentable (Fig. 11). De los primeros, las muestras se recabaron por un período de 24 horas; de los segundos el tiempo se extendió en un rango de entre 2 y 10 días.

La tabla siguiente expresa datos relacionados con esta etapa:

Clave y número de muestra.	Sistema colector	Altura sobre el nivel del suelo (mts.)	Distancia aproximada de la fuente (kms.)
HYLP <sub>1</sub>	CPS	1.8	0.5
HYLPB <sub>2</sub>	CPS	1.6	0.4
HYLFIC <sub>3</sub>	AV	8.5	1.0
HYLFIC <sub>4</sub>	AV	8.5	1.0
FUMOSA <sub>1</sub>	CPS	2.5	1.0
AHMJN <sub>1</sub>	AV	4.0	1.5-2.0
AHMPM <sub>2</sub>	AV	6.0	2.0
AHMSSA <sub>3</sub>	AV	6.0	3.5-4.0

## 5.2 PREPARACION Y PROCESAMIENTO

Como primer paso se aisló la fracción ferromagnética de la muestra, acción que se cimentó en los siguientes criterios: Se buscó por un lado evitar, al menos en parte, la presencia de aerosol procedente de fuentes no antropogénicas; y por otro, agilizar su separación sin pérdida de material. Empleando para esto un imán en forma de herradura al cual se le colocaron dos capuchones de polietileno, a fin de que la materia imantada fuese fácilmente desprendible de los polos. Una vez hecho lo anterior, se realizó la siguiente operación: En el caso de los filtros de alto volumen, el imán se hizo pasar repetidas ocasiones sobre su superficie, teniendo cuidado de no rasparla, posteriormente el polvo adherido se separó del imán con tan solo retirar el capuchón respectivo, cayendo aquél sobre una hoja de papel "cebolla" la cual se dobló, sirviendo a su vez como contenedor de la muestra, depositándose después en una bolsa de polietileno con su respectiva etiqueta y luego sellarse con cinta adhesiva para, de este modo, evitar que la misma se contaminase; las procedentes de colectores de polvo sedimentable primero fueron filtradas (ya que estos emplean agua destilada como medio de captación) y desecadas para distribuirse uniformemente sobre el papel filtro, efectuándose la misma operación que con las precedentes. Hecho lo anterior, la muestra se montó sobre una base de bronce de una pulgada de diámetro, empleando como medio de soporte del aerosol una porción de cinta adhesiva de doble lado, luego se recubrió con una capa de oro-paladio (por 1-3 minutos) para acto seguido ser introducida en el microscopio electrónico de barrido. Como paso siguiente, se procedió a hacer el análisis elemental, la obtención aleatoria de los diámetros y la toma de micrografías. Para recopilar los datos bastó anteponer a la partícula en cuestión la escala de la pantalla, determinando así su dimensión aproximada en micrómetros en forma directa, repitiendo dicha operación para cada partícula elegida al azar.

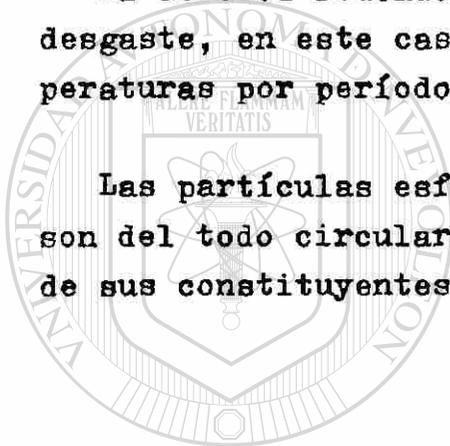
### 5.2.1 Criterio empleado para la identificación de la forma de la partícula.

Se juzgó como aerosol amorfo (AM) aquel que no tuviese una configuración bien definida, como para incluirlo en alguna de las otras categorías.

Las partículas angulares (ANG) son aquellas que presentan aristas afiladas.

El aerosol redondeado (RED) posee aristas que han sufrido desgaste, en este caso, a causa de la exposición a altas temperaturas por períodos breves de tiempo.

Las partículas esféricas (ESF), como su nombre lo indica, son del todo circulares a consecuencia de la fusión completa de sus constituyentes.



UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



## 5.3 MATERIAL Y EQUIPO

### 5.3.1 Material

- Papel cebolla.
- Papel filtro.
- Bolsas de polietileno.
- Cinta adhesiva.
- Cinta adhesiva de doble lado.
- Bases de bronce de una pulgada de diámetro.
- Película Kodak VP-120  
ASA 125. FLAMMAM  
VERITATIS
- Agua destilada.
- Botellas de polietileno de 200 ml.
- Embudo de filtración.
- Filtros de fibra de vidrio (para muestreador de alto volumen).
- Papel secante.

### 5.3.2 Equipo

- Muestreador de alto volumen General Metal Works Inc.,  
GMWL-2000.
- Muestreadores de alto volumen General Metal Works Inc.,  
GMWL-2000.
- Colectores de polvo sedimentable (caseros) con una área de  
0.005 m<sup>2</sup>.
- Recubridor oro-paladio Film-Vac Inc., EMS-76.
- Recubridor de capa fina Jeol JFC-1100.
- Imán JAP No. 7.
- Cámara Mamiya 120.
- Microscopio electrónico de barrido Jeol JSM-350 equipado con  
espectrómetro de dispersión de energía de rayos X Kevex  
Sistema 7000.

## C A P I T U L O VI

### R E S U L T A D O S

Los tamaños de partícula se propagaron en un rango que va de 1 a 300  $\mu\text{m}$  de diámetro (Figs. 12-20).

La media muestral se extendió desde los 6.6 a los 73.35-- micrómetros de diámetro; la homogeneidad, de 0.527 a 0.916-- (Tabla 3).

La abundancia de formas de aerosoles —en orden decreciente— en HYLISA fue: Amorfas (AM), esféricas (ESF), angulares- (ANG), redondeadas (RED); en PUMOSA: ANG., AM., ESF., RED.;— y en AHMSA: ANG., ESF., AM., RED. (Figs. 21-29).

En lo referente a la apariencia de las partículas —en--- las muestras analizadas— se encontró que predominan las rugosas por sobre las lisas (Figs. 21-29).

La composición química cualitativa se presenta en la Ta-- bla 6; los elementos detectados —considerando a las empre-- sas en su conjunto— fueron: Fe, Si, Ca, Al, K, Zn, Mn, Mg,-- Ti, S, y P; de los cuales se presume se encuentran en su for-- ma libre como óxidos.

En el análisis de varianza, la F calculada = 61.76542; la F teórica al 0.05 = 2.29, al 0.01 = 2.90. En tanto que la-- ji-cuadrada = 48.29329, al 0.05 = 12.592, al 0.01 = 16.812-- (Tablas 4 y 5).

## C A P I T U L O   V I I

### D I S C U S I O N

La distribución de tamaños de partículas se localiza en su mayoría en los aerosoles menores o iguales a 15  $\mu\text{m}$ . La media muestral está comprendida en un rango que va de los 6.6 a los 73.35 micrómetros de diámetro. Por otra parte, el 90% de los aerosoles colectados con el sistema de polvo sedimentable, se extiende de los 48 a los 153  $\mu\text{m}$ , en tanto que los recabados con el de alto volumen se encuentran por abajo de los 40  $\mu\text{m}$  de diámetro. La abundancia de formas de los aerosoles se apegó al siguiente orden decreciente: Angulares, amorfas, esféricas, y redondeadas. La apariencia dominante fue la rugosa. Los elementos detectados —considerando las muestras en su totalidad— en HYLISA fueron: Fe, Si, Ca, Al, K, Zn, Mn, Mg; en FUMOSA: Fe, Ca, Si, Al, K, Mg, Mn, Ti, P, S; en AHMSA: Fe, Ca, Si, Al, K, Ti, S, P.

El rango de diámetro de partículas está contenido en aquel esperado, de menores de 10 a 100  $\mu\text{m}$  (13,16,26,51,54). Los tamaños de aerosoles más frecuentes se sitúan en la fracción de partículas inhalables (1,2,3,4,5). La diferencia en la eficiencia de captación del sistema de muestreo, se refleja en los tamaños de aerosol recabados por cada procedimiento (51,65). La abundancia de formas presentes corresponde solo en parte con lo expresado por la literatura (13,66). Los elementos detectados están de conformidad con aquellos que constituyen a las materias primas, propias de cada proceso (48,49,51,52,53,54,68,69); del mismo modo, se observó que ciertos elementos tales como: Fe, Si, Ca, Al, Zn, S, y Ti, han sido reportados como nocivos para la salud (10,20,31,67).

Considerando las características de los procesos de acercación de las siderúrgicas en cuestión, se preveía hallar como aerosoles dominantes los esféricos y redondeados; como esto no fue así, pasaremos ahora a explicar las causas probables de la falta de concordancia de los logros obtenidos:

- (a) El sistema de muestreo, el tiempo, la distancia de la fuente, y las condiciones meteorológicas imperantes durante esa fase, han influido en los resultados.
  
- (b) Las operaciones de carga de las materias primas —al alto horno— contribuyen en mayor proporción a la emisión de partículas angulares; esto se comprueba con el hecho de que la gran mayoría no sufrieron alteraciones en su morfología, lo cual es consecuencia de su escasa exposición a las altas temperaturas, propias de los hornos empleados. Por su parte, los aerosoles amorfos, redondeados y esféricos, proceden de la maniobra de introducción de la lanza —para inyectar oxígeno a alta presión— al horno, sea este eléctrico, convertidor o de hogar abierto.

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## C A P I T U L O    V I I I

### C O N C L U S I O N E S

Una vez que se han establecido con antelación las restricciones propias del trabajo, el siguiente paso es la obtención de inferencias.

- (1) Los aerosoles implicados están comprendidos en su mayor parte en la fracción que puede penetrar a las regiones traqueobronquial y alveolar del pulmón; con las consecuencias que estos pudiesen ocasionar a la salud humana.
- (2) Las partículas esféricas, redondeadas y amorfas, provienen principalmente de: El horno eléctrico, el convertidor (B.O.F.), y el de hogar abierto; a diferencia de las angulares que proceden de las operaciones de carga de las materias primas al alto horno.
- (3) Existe una relación muy estrecha entre la composición química del aerosol y la fuente de emisión; esto se fundamenta no sólo en la proporción de los elementos que lo conforman, sino en la distribución de formas y tamaños, la cual a su vez es consecuencia de la desigualdad de los procesos empleados en HYLISA, con respecto a FUMOSA y AHMSA; por lo que podemos deducir que dichos aerosoles provienen de éstas y no de otras.
- (4) El material amorfo y angular se deposita preferentemente en la vecindad de la planta; entre tanto que el esférico y redondeado, sedimenta a una distancia —en la dirección del viento— más apartada de la fuente.

- (5) La metodología aplicada puede emplearse además para precisar no sólo el origen, sino el área de influencia de las emisiones particuladas, liberadas tanto por fuentes fijas como móviles.
- (6) El análisis de varianza indica que las muestras son diferentes, lo que a su vez señala las desemejanzas entre los procesos en cuestión. El análisis de frecuencias — ji-cuadrada— revela que existe una interacción muy estrecha entre la morfología de las partículas y la fuente de procedencia, lo que corrobora lo expresado líneas arriba.
- (7) Resulta evidente conjeturar, que la exposición insistente y crónica a tales contaminantes, desencadene en el largo plazo la manifestación de padecimientos respiratorios en personas sensibles, ya se trate de trabajadores del ramo o de la población que habita en las inmediaciones de dichas fuentes; o por lo menos, en el corto plazo, la exacerbación de los ya existentes.

## C A P I T U L O    I X

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

Una vez finiquitado el trabajo, consideraremos las reco--mendaciones que se desprenden del mismo.

(a) Deberá continuarse con el estudio, para corroborar sobre bases más firmes lo aquí logrado.

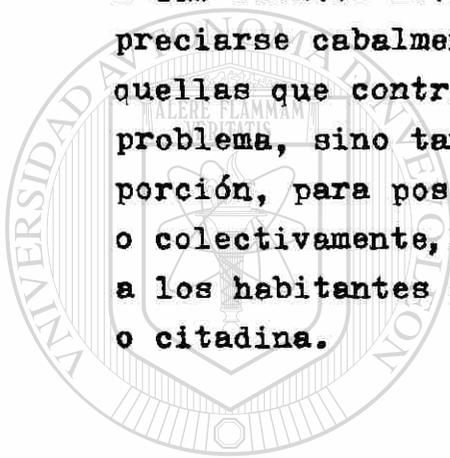
(b) Se recomienda el empleo del equipo de muestreo caracte--rístico para partículas inhalables, buscando con esto--- que el sistema influya lo menos posible en la confiabili--dad de los resultados.

(c) Resulta por demás conveniente que se lleven a cabo las--investigaciones tanto epidemiológicas como toxicológicas, para de esa forma --aunadas a la información básica-- po--der apreciar en toda su magnitud, los efectos que las e--misiones particuladas ocasionan a la salud humana.

(d) Se estima oportuno que se realicen los estudios sobre--- las medidas para prevenir la emisión de aerosoles conta--minantes, en todas y cada una de las fases del ciclo pro--ductivo; de no lograrse este cometido, se llega a la dig--posición de retenerlos, requiriéndose para ello el emple--o del equipo respectivo --que para el caso de la indus--tria que nos compete, y considerando el rango de tamaño--de partículas implicado, se recomienda el uso de filtros, precipitadores electrostáticos, y sistemas lavadores, en orden de importancia--; si bien es cierto que el coste--de tal equipo es oneroso, es aquí donde nuestras autori--dades podrán tomar cartas en el asunto, apoyando al em--presariado mediante el establecimiento de estímulos fig--

cales para promover su adquisición; procurando con estas acciones la protección tanto de la salud pública como de las actividades productivas.

- (e) Resulta apropiada la extensión de la metodología —con— las modificaciones respectivas— a otras fuentes antropogénicas de contaminación tales como: La industria del cemento, la metalúrgica extractiva no ferrosa, la de fertilizantes, petrolera, alimenticia, del vidrio, etc., dentro de las fijas; del mismo modo puede hacerse extensiva a las fuentes móviles. Una vez efectuado esto, podrá apreciarse cabalmente la influencia que ejercen no sólo a aquellas que contribuyen en mayor cuantía a agudizar el problema, sino también a las que lo hacen en menor proporción, para posteriormente evaluar, ya sea individual o colectivamente, las consecuencias que pudiesen acarrear a los habitantes de una área determinada, sea esta rural o citadina.



U A N L

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## L I T E R A T U R A   C I T A D A

- 1.- Hileman, B. -1981- Particulate matter: A inhalable variety, Environ. Sci. Tech., 15(9): 983-986.
- 2.- Suggs, J.C., R.M. Burton -1983- Spatial characteristics of inhalable particles in the Philadelphia-metropolitan area, JAPCA, 33(7): 688-691.
- 3.- Miller, F.J., D.E. Gardner, J.A. Graham, R.E. Lee Jr.,-- W.E. Wilson, J.D. Bachmann -1979- Size considerations-- for establishing a standard for inhalable-- particles, JAPCA, 29(6): 610-615.
- 4.- Chanlett, E.T. -1975- La protección del medio ambiente,- Instituto de Estudios de Administración Local, Madrid, pp. 38-41, 226-230, 261-263,-- 280.

---

- 5.- Strahler, A.N., A.H. Strahler -1977- Geography and man's environment, John Wiley & Sons, Inc., N.Y., p. 55.
- 6.- Gray, R.W., H.G. Applegate, W.R. Roser -1980- Analysis-- of particles by scanning electron microscopy and ion probe, The Texas Journal of Science, 32(3): 259-264.
- 7.- Martonen, T.B. -1983- Deposition of inhaled particulate-matter in the upper respiratory tract, larynx, and bronchial airways: A mathematical description, J. Toxicol. Environ. Health,-- 12: 787-800.

- 8.- Martonen, T.B., A.E. Barnett, F.J. Miller -1985- Ambient sulfate aerosol deposition in man: Modeling the influence of hygroscopicity, Environ.-- Health Perspect., 63: 11-24.
- 9.- Desaeleer, G.G., J.W. Winchester -1975- Trace metal--- analysis of atmospheric aerosol particle si ze fractions in exhaled human breath, Envi- ron. Sci. Tech., 9(10): 971-972.
- 10.- Farzan, S., D.L. Hunsinger, M.L. Phillips -1982- Neumo- logía clínica, Nueva Editorial Interamerica na, S.A. de C.V., México, pp. 28, 79-80, 82 -83, 100-101, 124, 126, 133-134, 153-154.
- 11.- Spengler, J.D., G.D. Thurston -1983- Mass and elemental composition of fine and coarse particles in six U.S. cities, JAPCA, 33(12): 1162-1171.
- 12.- Masters, G.M. -1974- Introduction to environmental sci- ence and technology, John Wiley & Sons, Inc , N.Y., pp. 174, 178-180.
- 
- 13.- Keyser, T.R., D.F.S. Natusch, C.A. Evans Jr., R.W. Lin- ton -1978- Characterizing the surfaces of environmental particles, Environ. Sci. Tech., 12(7): 768- 773.
- 14.- Matamoros Mayorga, J.O., J.J. Herevia García -1978- Con- taminación atmosférica: Determinación de--- concentraciones de partículas suspendidas-- de nitratos, sulfatos y materia orgánica en el área metropolitana de Monterrey, Tesis-- Div. de Ing. y C. Exactas, Universidad Re-- giomontana, pp. 32-33.

- 15.- Gladney, E.S., W.H. Zoller, A.G. Jones, G.E. Gordon----  
1974- Composition and size distributions of  
atmospheric particulate matter in Boston g-  
rea, Environ. Sci. Tech., 8(6): 551-557.
- 16.- Lee Jr., R.E., H.L. Crist, A.E. Riley, K.E. MacLeod---  
1975- Concentration and size of trace metal  
emissions from a power plant, a steel plant  
and a cotton gin, Environ. Sci. Tech., 9(7)  
: 643-647.
- 17.- Odum, E.P. -1972- Ecología, Nueva Editorial Interameri-  
cana, S.A. de C.V., México, pp. 3, 5-6, 307  
,308, 311.
- 18.- Williamson, S.J. -1973- Fundamentals of air pollution,-  
Addison-Wesley Publishing Co., Inc., Read--  
ing, pp. 36-51, 371-382, 384-385, 389-401.
- 19.- Comroe Jr., J.H. -1966- The lung, Sci. Amer., 214(2):--  
57-68.
- 
- 20.- Alarcón, D.G. -1980- Enfermedades respiratorias, Salvat  
Mexicana de Ediciones, S.A. de C.V., México  
,pp. 2, 68, 71-72, 206-209, 236-238, 327---  
329, 423, 428.
- 21.- Erlich, R. -1980- Interaction between environmental po-  
llutants and respiratory infections, Envi--  
ron. Health Perspect., 35: 89-99.
- 22.- Zolliker Spamer, A. -1983- Contaminación ambiental y---  
biología pulmonar, CyD, 52 (Sept.-Oct.): 87  
-94.

23.- Stern, A.C., H.C. Wohlers, R.W. Boubel, W.P. Lowry-----  
1973- Fundamentals of air pollution, Academic Press, Inc., N.Y., pp. 127-137, 150,---  
401-416.

24.- Tuttle, W.W., B.A. Schottelius -1971- Fisiología, Nueva  
Editorial Interamericana, S.A. de C.V., Mé-  
xico, pp. 283-284.

25.- Villee, C.A. -1974- Biología, Nueva Editorial Interame-  
ricana, S.A. de C.V., México, p. 323.

26.- De Lora Soria, F., J.M. Chavarría (Editores) -1978- Téc-  
nicas de defensa del medio ambiente, Edito-  
rial Labor, S.A., Madrid, 2 Volúmenes, pp.-  
365-372, 887-890, 893-894, 896-902, 1132-11  
33, 1137-1138.

27.- Frankel, M. -1982- Manual de anticontaminación (cómo e-  
valuar la contaminación del ambiente y de--  
los lugares de trabajo), Ed. Fondo de Cultu-  
ra Económica, México, pp. 20-22, 25, 27-31,  
37-38, 151, 176.

28.- Ministère de l'environnement -1984- L'état de l'enviro-  
nement, La Documentation Francaise, Paris,  
p. 46.

29.- Royal College of Physicians of London -1984- Fumar o sa-  
lud, Ed. C.E.G.S.A., México, p. 14.

30.- U.S. Department of Health, Education, and Welfare -1977  
- Working with carcinogens - A guide to----  
good health practices, National Institute--  
for Occupational Safety and Health (NIOSH),  
Ohio, pp. 4-6.

- 31.- Castranova, V., L. Bowman, J.R. Wright, H. Colby, P.R. Miles -1984- Toxicity of metallic ions in the lung: Effects on alveolar macrophages and alveolar-type II cells, J. Toxicol. Environ. Health, 13: 845-856.
- 32.- Lehnert, B.E., P.E. Morrow -1985- Characteristics of alveolar macrophages following the deposition of a low burden of iron oxide in the lung, J. Toxicol. Environ. Health, 16: 855-868.
- 33.- Garrard, C.S., T.R. Gerrity, J.F. Schreiner, D.B. Yeates -1982- Analysis of aerosol deposition in the healthy human lung, Arch. Environ. Health, 36(4): 184-193.
- 34.- Pengelly, L.D., A.T. Kerigan, C.H. Goldsmith, E.M. Inman -1984- The Hamilton study: Distribution of factors confounding the relationship between air quality and respiratory health, JAPCA, 34(10): 1039-1043.
- 
- 35.- Tsukatani, T., K. Shigemitsu -1984- Theory of air pollution damage on human populations, Science-Tot. Environ., 34: 1-18.
- 36.- Vega Gleason, S., C. Cortinas de Nava -1985- Enfermedades respiratorias y contaminación ambiental, Biosfera, 5(2): 10-13.
- 37.- Morris Brown, L., L.M. Potters, W.J. Blot -1984- Lung-cancer in relation to environmental pollutants emitted from industrial sources, Environ. Res., 34(2): 250-261.

38.- Higgins, I.T.T., J.R. Mc Carroll -1970- Types, ranges, and methods for classifying human pathophysiologic changes and responses to air pollution. In: Development of air quality standards, edited by A. Atkisson and R.S. Gaines; Charles E. Merrill Publishing, Co., Ohio, pp. 73-75, 86, 91-92.

39.- Hatch, G.E., E. Boykin, J.A. Graham, J. Lewtas, F. Pott, K. Loud, J.L. Mumford -1985- Inhalable particles and pulmonary host defense: In vivo and in vitro effects of ambient air and combustion particles, Environ. Res., 36: 67-80.

40.- Brain, J.D., G.A. Mensah -1983- Comparative toxicology of the respiratory tract, Am. Rev. Respir. Dis., 128: S87-S90.

41.- Evans, G.W., S.V. Jacobs -1981- Air pollution and human behavior, J. Social Issues, 37(1): 95-125.

42.- Boulding, K.E., E.J. Stahr, S. Fabricant, M.R. Gainbrugh -1973- Costos de la descontaminación, Editorial Pax-México, Librería Carlos Césarman, S.A., México, p. 113.

43.- Goldsmith, J.R. -1970- Evolution of air quality criteria and standards. In: Development of air quality standards, edited by A. Atkisson and R.S. Gaines; Charles E. Merrill Publishing Co., Ohio, p. 7.

44.- Moreira, R.H., G.A. Martin S. -1974- Introducción a el balance de materia, Div. de Ing. y Arq., I. T.E.S.M., Monterrey, p. 1.1-1

- 45.- Schum, M., H.C. Yeh -1980- Theoretical evaluation of aerosol deposition in anatomical models of mammalian lung airways, Bull. Math. Biol., 42: 1-15.
- 46.- Yeh, H.C., G.M. Schum -1980- Models of human lung airways and their application to inhaled particle deposition, Bull. Math. Biol., 42: 461-480.
- 47.- Brain, J.D., P.A. Valberg -1974- Models of lung retention based on ICRP task group report, Arch. Environ. Health, 28 (Jan): 1-11.
- 48.- Lozano, O.V. -1963- Apuntes de conocimiento y fabricación de materiales, F.I.C., U.A.N.L., Monterrey, pp. 13, 21-22, 58, 63-70.
- 49.- Leyva, J.A. -1986- Tecnología tercermundista de primera -fierro esponja, ICyT, 8(120): 20-21.
- 
- 50.- Abril, E.R. -1974- Introducción a la metalurgia (conceptos fundamentales, prácticas metalográficas y aplicaciones prácticas), Ediciones Marymar, Buenos Aires, pp. 5, 93-94, 99-110.
- 51.- Parker, A. -1978- Industrial air pollution handbook, McGraw-Hill Book Co. (UK) Ltd., London, pp. 99-106, 389-418.
- 52.- Choppin, G.R., B. Jaffe, L. Summerlin, L. Jackson -1973 - Química, Publicaciones Cultural, S.A., México, pp. 439-447.

53.- Waser, J., K.N. Trueblood, C.H. Knobler -1980- Chem one  
, Mc. Graw-Hill Book Co., Inc., N.Y., pp.---  
597-599.

54.- Kemmer, F.N. -1971- Pollution control in the steel in--  
dustry. In: Industrial pollution control---  
handbook, edited by H.F. Lund, Mc. Graw---  
Hill Book Co. Inc., N.Y., pp. 3-20.

55.- Wark, K., C.F. Worner -1981- Air pollution- It's origin  
and control, Harper & Row Publisher, N.Y.,-  
pp. 179-236.

56.- Darby, K. -1978- Removal of grit and dust. In: Indus---  
trial air pollution handbook, edited by A.-  
Parker, Mc. Graw-Hill Book Co. (UK) Ltd.,--  
London, pp. 210-274.

57.- Moore, W.W., N.M. Frisch -1971- Air pollution control--  
programs and systems. In: Industrial pollu--  
tion control handbook, edited by H.F. Lund,  
Mc. Graw-Hill Book Co. Inc., N.Y., p. 6.

58.- Martínez Merino, M. -1973- Equipo para la depuración de ®  
gases (documento privado), Madrid, p. 28.

59.- Kessel, R.G., C.Y. Shih -1976- La microscopía electróni-  
ca de barrido en biología (atlas de organi-  
zación biológica para estudiantes), Editio--  
rial Dossat, S.A., Madrid, pp. 1-4.

60.- Brown, M.F., J.A. White -1982- Applications of scanning  
electron microscopy to research in plant---  
protection, Plant Dis., 66(4): 282-290.

61.- Adie, G., R. Hamilton -1982- The analysis of airborne-- particles by SEM/EDS: A simplified collec-- tion and preparation procedure, JAPCA, 32-- (8): 839.

62.- Stenhouse, J.I.T. -1983- Pollution control. In: Chemi-- cal engineering and the environment, edited by A.S. Teja, Blackwell Scientific Publica-- tions Ltd., Oxford, pp. 31-32.

63.- Secretaría de Programación y Presupuesto -1981- Sínte-- sis geográfica de Nuevo León; Coordinación-- General de los Servicios de Estadística,--- Geografía e Informática, México, pp. 5, 13- 17, 19, 21-23, 27-32, 33-36.

64.----- -1983- Sínte-- sis geográfica de Coahuila; Instituto Nacio-- nal de Estadística, Geografía e Informática, México, pp. 5, 11-13, 18-21, 25-30, 62, 97- 103.

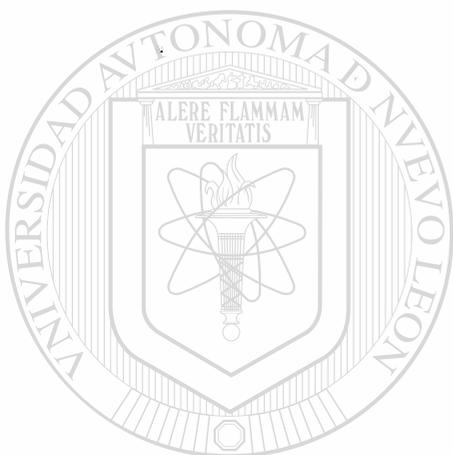
65.- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología -1985- Curso sobre evaluación de la calidad del aire---- (técnicas-manuales), México, pp. 4.1-4.23.

66.- Fisher, G.L., B.A. Prentice, D. Silberman, J.M. Ondov,-- A.H. Biermann, R.C. Ragaini, A.R. Mc Farland -1978- Phy-- sical and morphological studies of size---- classified coal fly ash, Environ. Sci. Tech 12(4): 447-451.

67.- Galle, Pierre -1986- La toxicité de l'aluminium, La Re-- cherche, 17(178): 766-775.

68.- Brady, G.S. -1975- Materials handbook, Mc Graw-Hill-----  
Book Co. Inc., N.Y., p. 693.

69.- Hansen, Jörn, Friedhelm Beiner -1974- Heterogene-----  
gleichgewichte, Walter De Gruyter, Berlin,-  
p. 218.



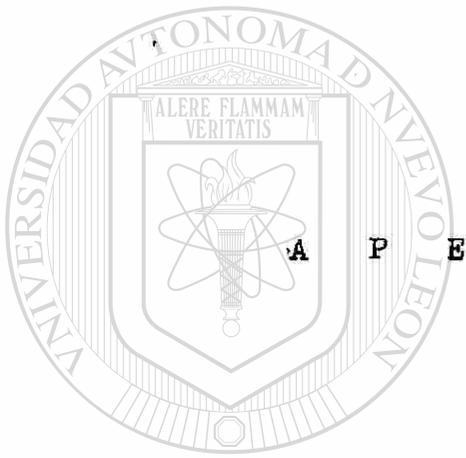
# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



N D I C E S  
UANL

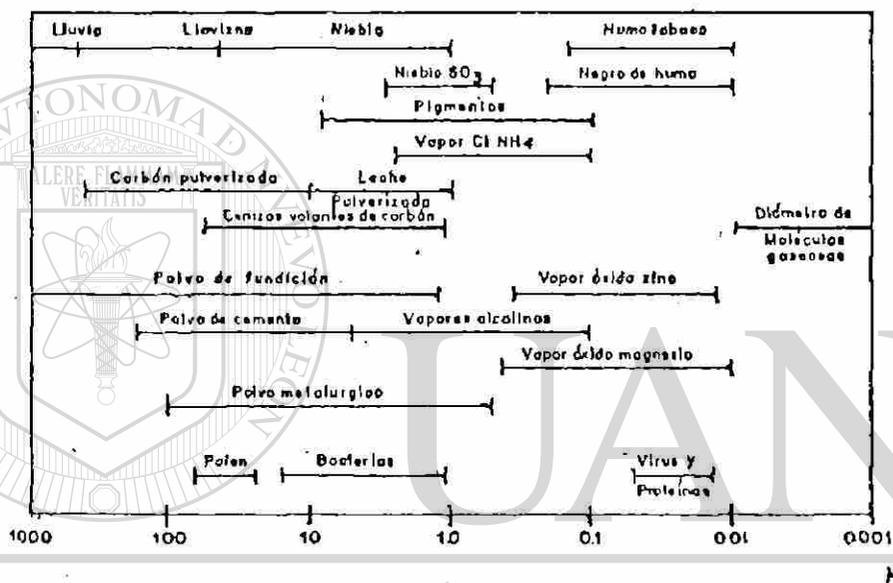
---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

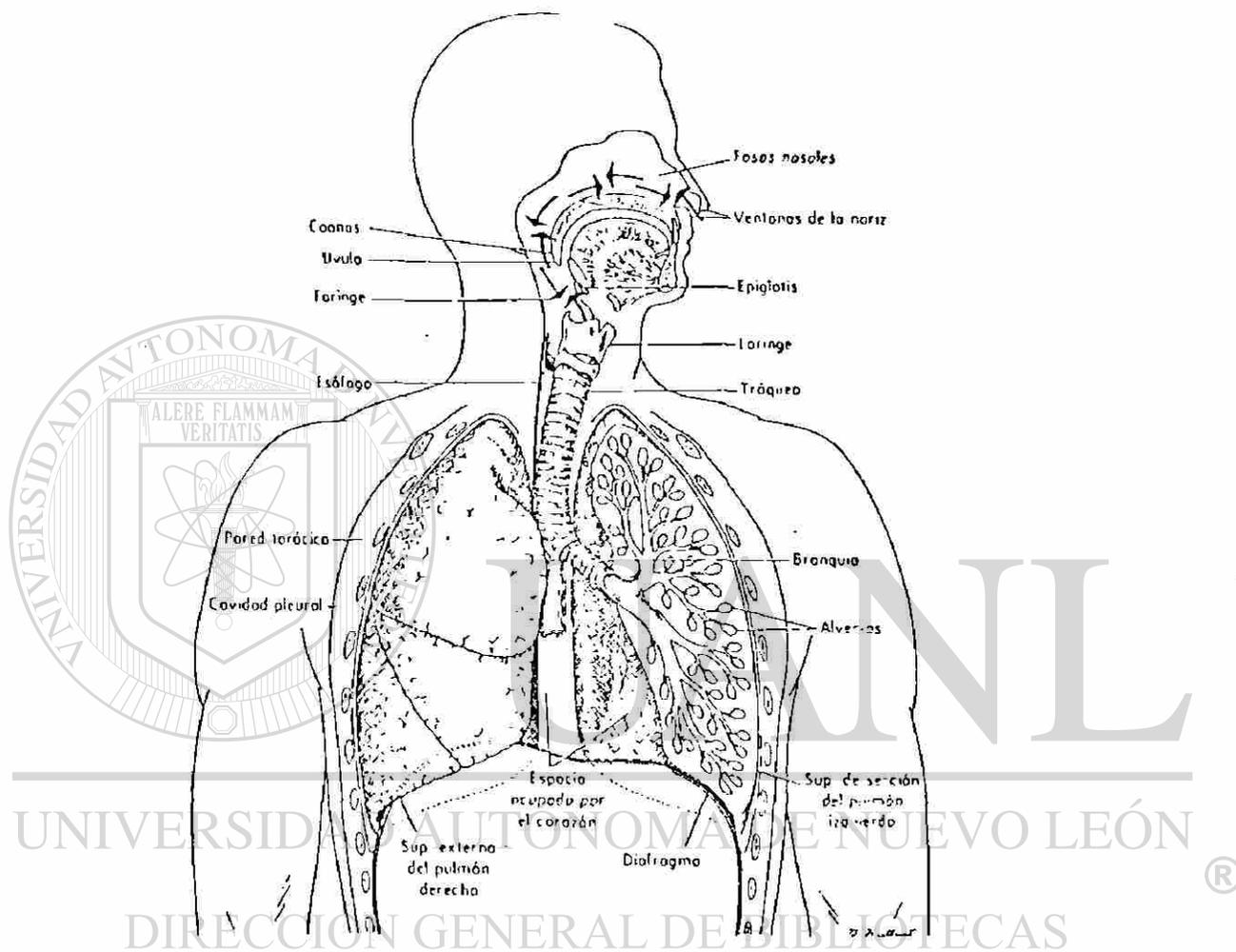


DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

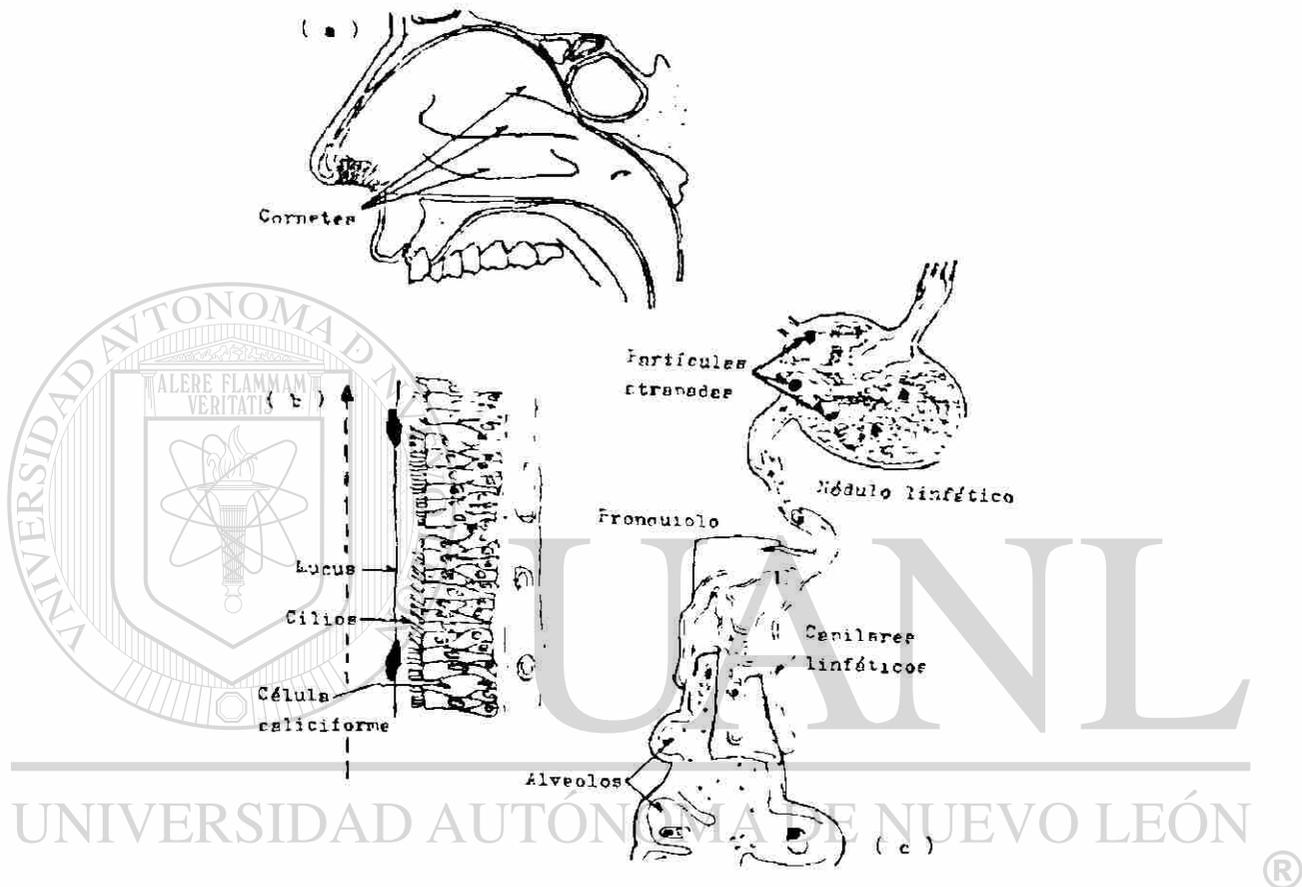
## APENDICE A ANTECEDENTES



**Fig. I** Clasificación de las principales partículas de acuerdo a su tamaño.(26)



**Fig. 2 Aparato respiratorio humano.**



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Fig. 3 Vías de remoción para el material particulado que penetra el sistema respiratorio humano: (a) retención de aerosol mayor de  $10 \mu\text{m}$  de diámetro; (b) detención de partículas de 2 a  $10 \mu\text{m}$ ; (c) remoción de material menor de  $2 \mu\text{m}$ . (19)



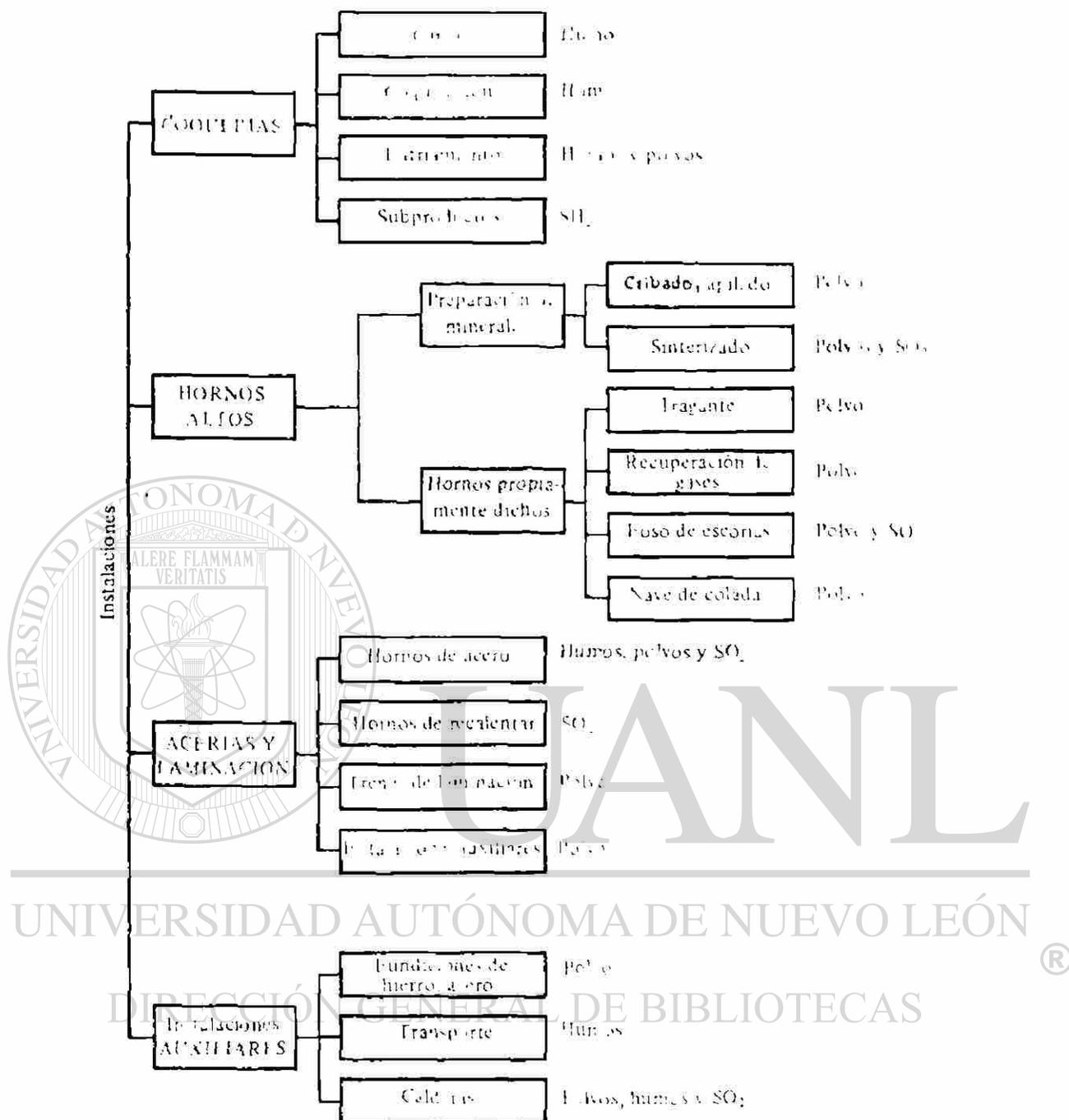


Fig. 5 Sitios probables de origen de contaminantes de una planta integral. (26)

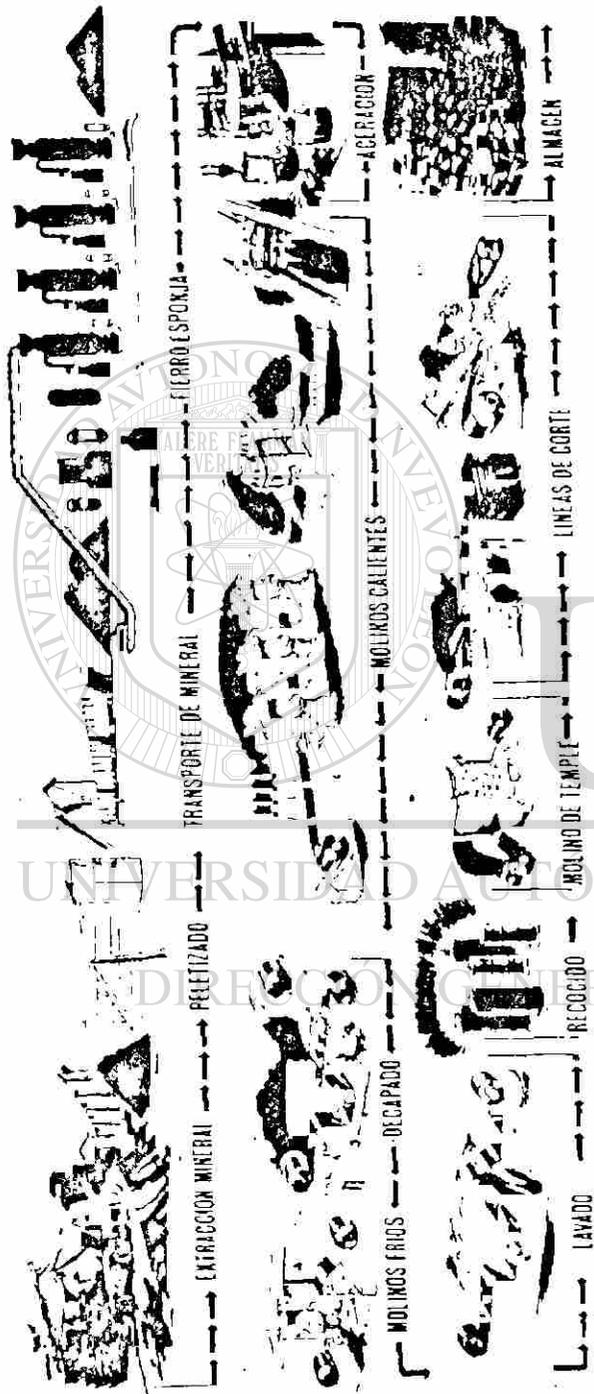


Fig. 6 Proceso siderúrgico en el cual se denotan algunos lugares que son causa directa de contaminación.

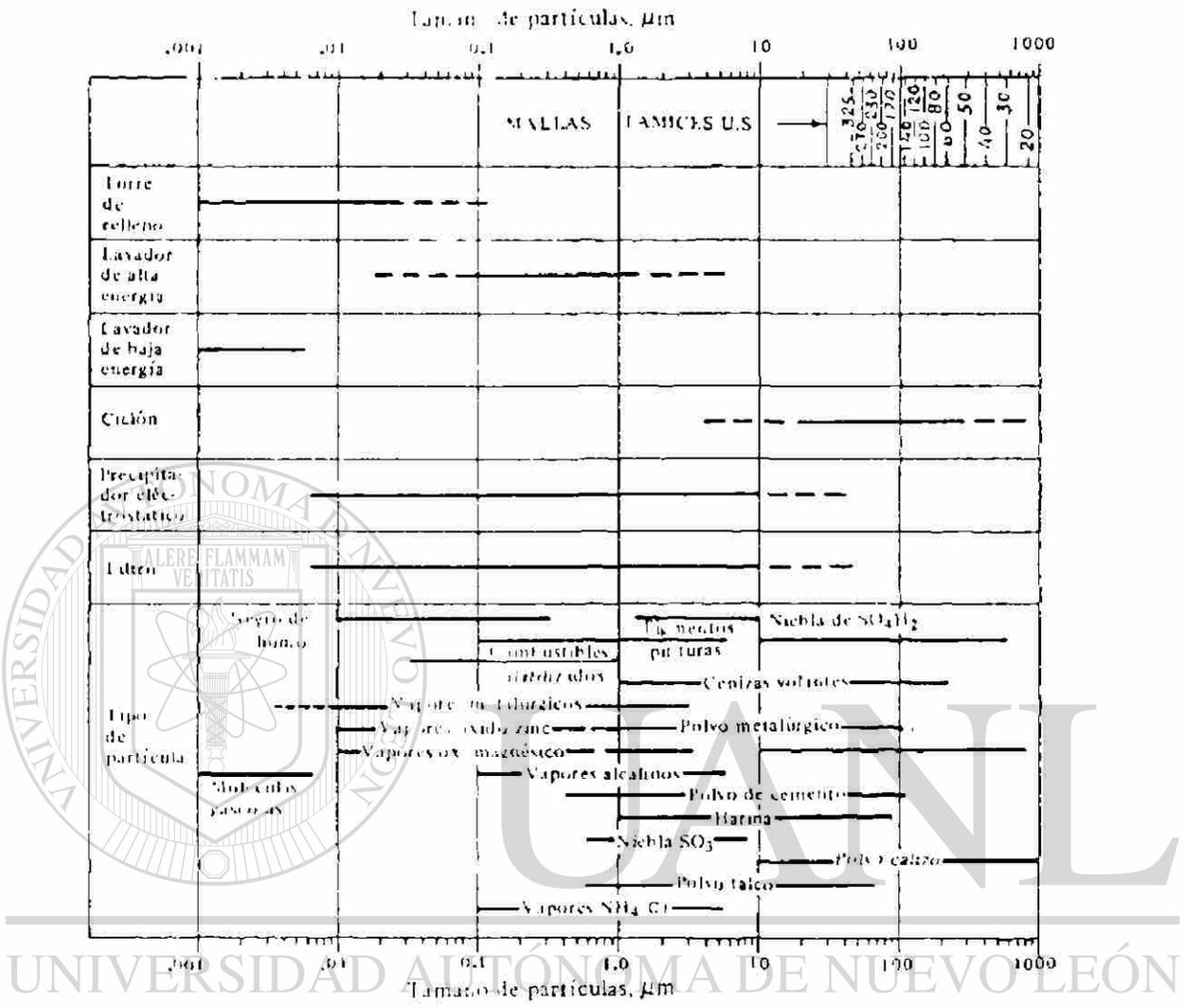


Fig. 7 Tamaño de partículas y límites de aplicación de colectores. (26)

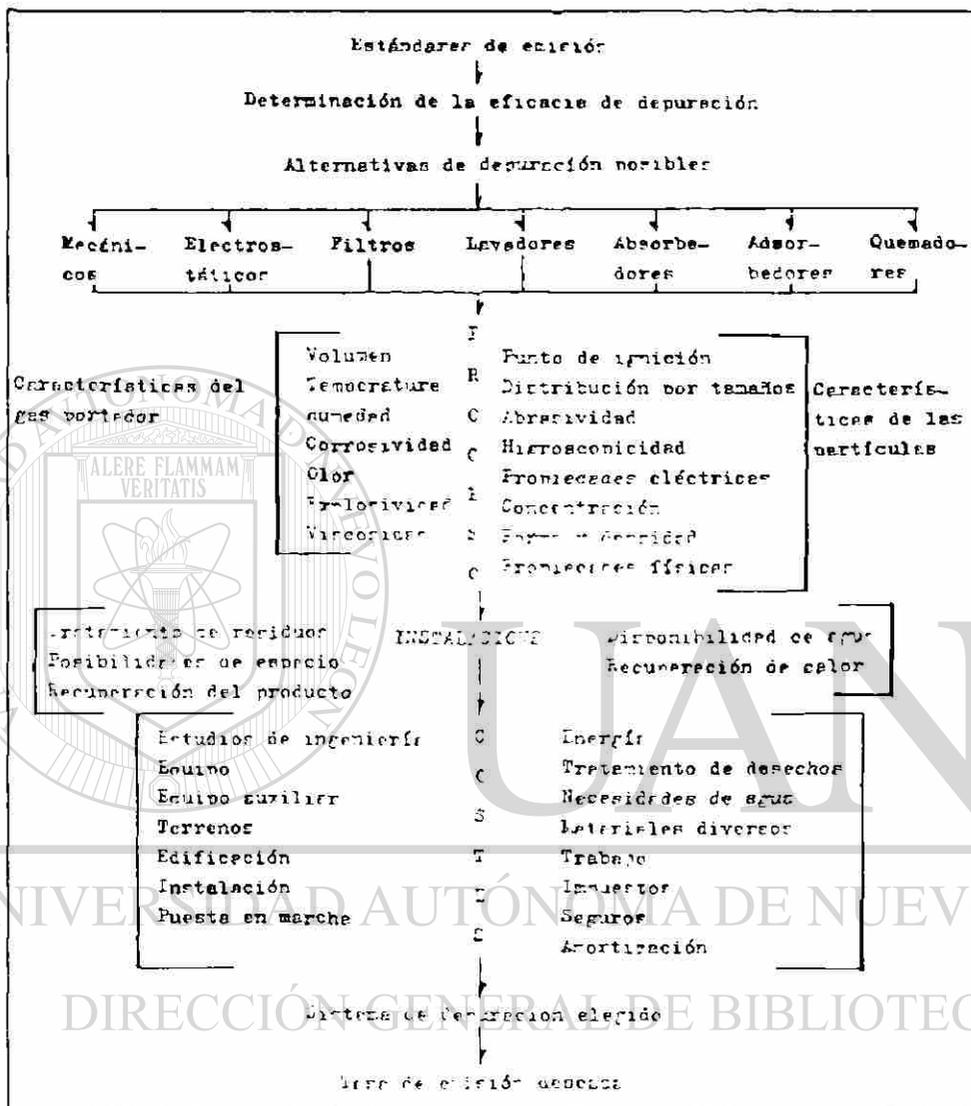


Fig. 8 Criterios para la selección del equipo de depuración. (26)

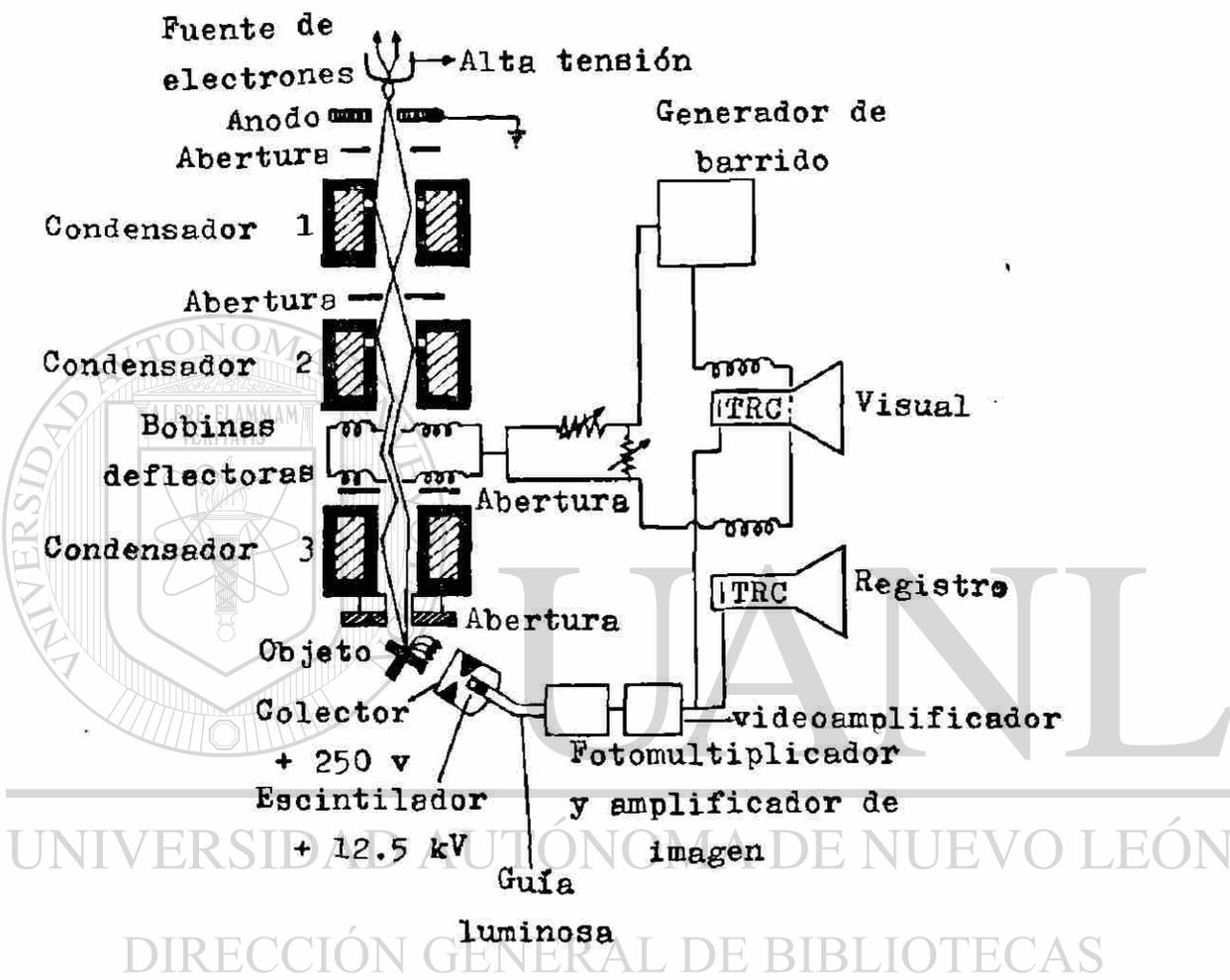


Fig. 9 Diagrama que muestra la estructura del microscopio electrónico de barrido. (59)

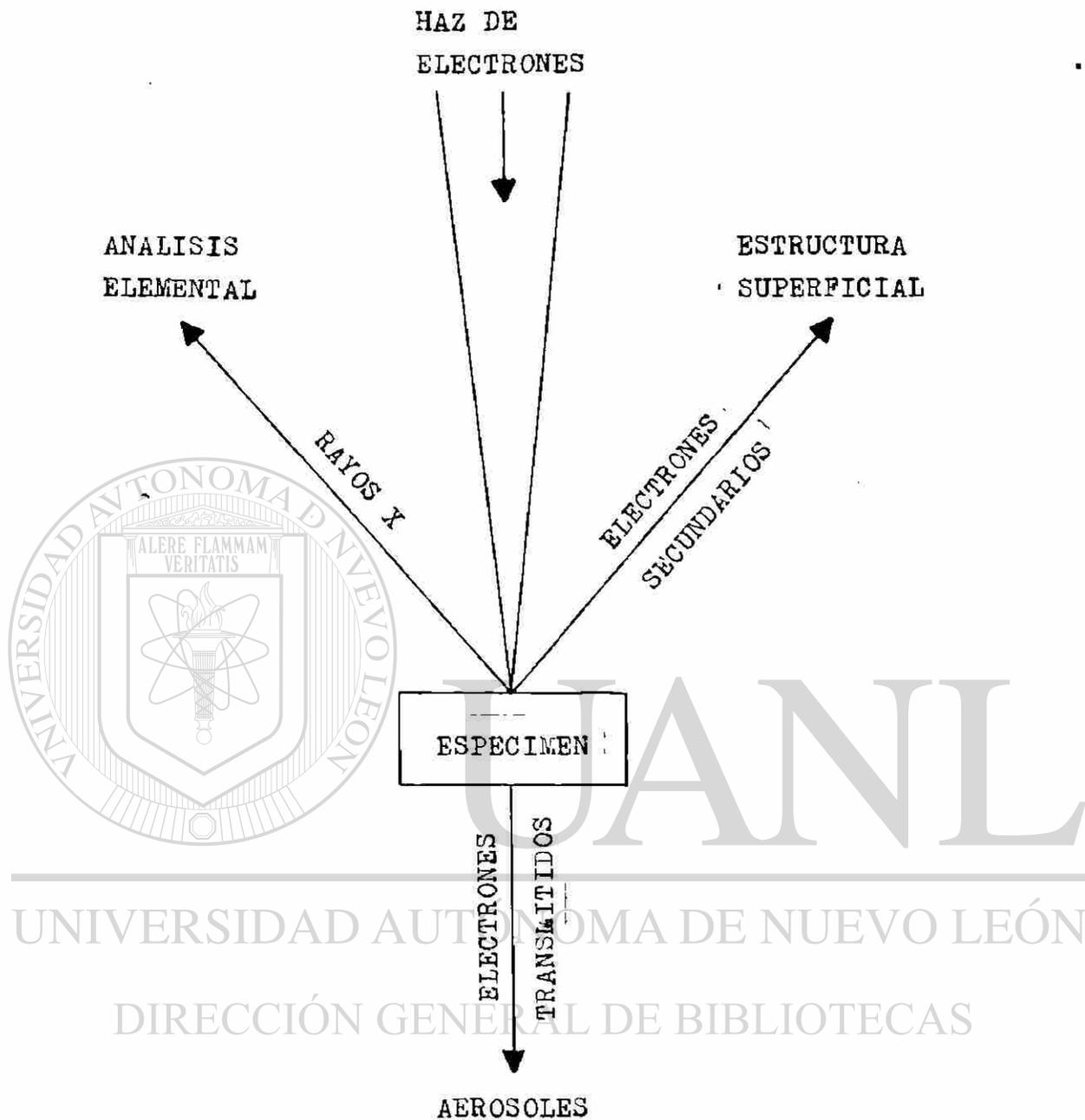


Fig. 10 Diagrama que revela la aplicabilidad en estudios sobre contaminación del aire, de la radiación generada por el haz de electrones del MEB. (60)

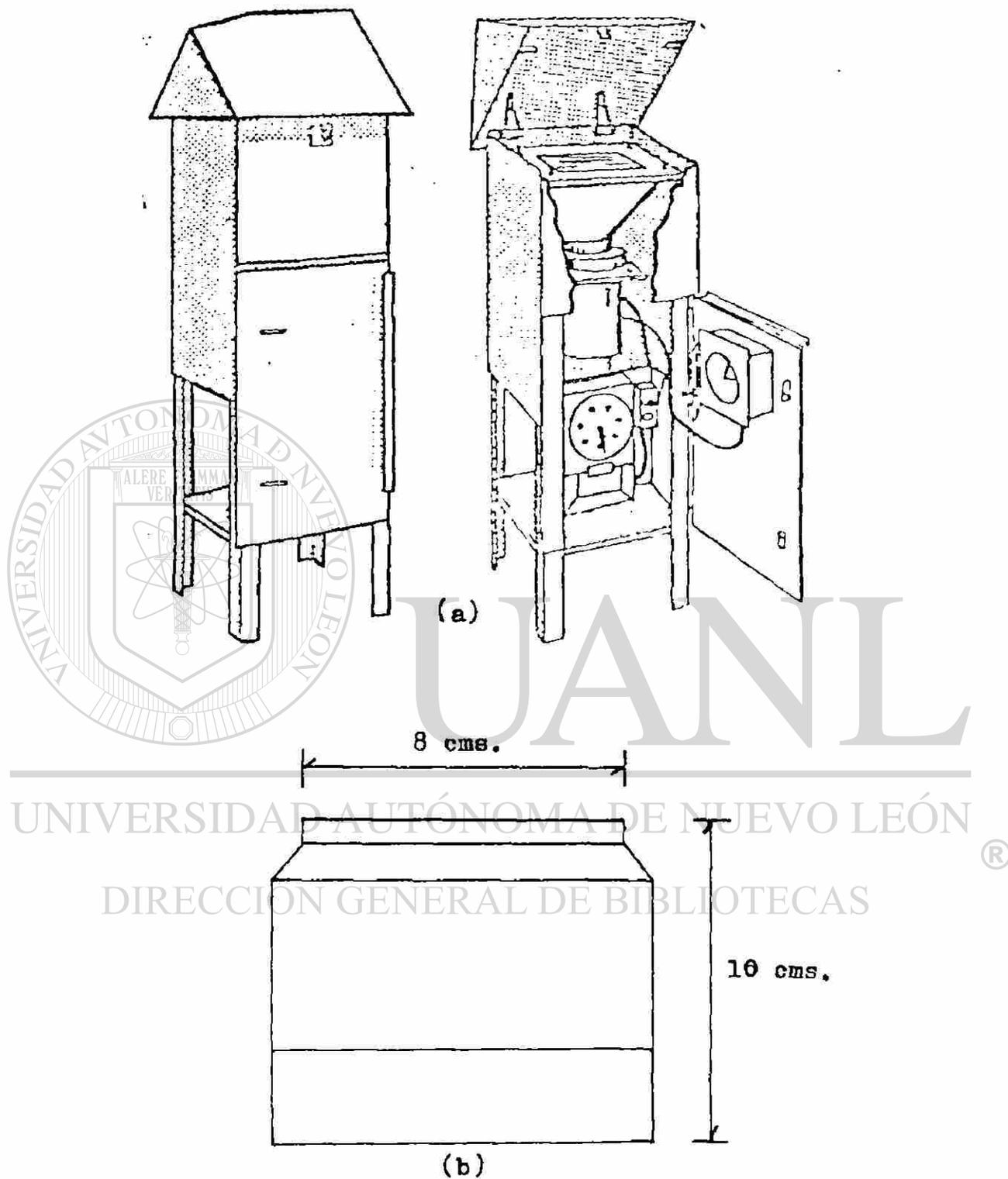


Fig. 11 Muestreador de alto volumen (a) y colector de polvo sedimentable (b).

Tabla 1. Depuradores empleados industrialmente (26,57)

Industria	Proceso	Depuradores							
		M	E	F	H	AB	AD	C	R
	Alto horno		x			x			
	Horno eléctrico			x	x				
Siderurgia	Hornos de coque		x						
	Sinterizado	x	x						
	Tostadores	x	x						

M = Mecánicos (se han incluido: cámaras de sedimentación, separadores por inercia y por fuerza centrífuga).

E = Electrostáticos

F = Filtros

H = Húmedos

AB = Absorción

AD = Adsorción

C = Combustión

R = Reducción catalítica.

U A N L

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

®

Tabla 2 Situación hasta 1974 de la tecnología de depuración de efluentes gaseosos en la industria metalúrgica (26,55..)

Puente	Parti- cular	SO <sub>x</sub>	CO	Otros	Observaciones
Hierro:					
Acero:					
Coque	&	&	-	Olores <sup>+</sup>	Emissiones en el cargdo de los hornos
Altos Hornos	X	L	X	NO <sub>x</sub> <sup>+</sup>	&
Hornos Eléctricos	X	&	L	NO <sub>x</sub> <sup>+</sup>	Emissiones en ocasiones incontroladas
Oxígeno Básico	X	&	X	NO <sub>x</sub> <sup>+</sup>	&
Sinterizado	X	&	&	Fluoruros, NO <sub>x</sub> <sup>+</sup>	Problemas en plantas antiguas
Ferroaleaciones:					
Reducción (Al)	X	&	&	Fluoruros	Control de fluoruros, difícil
Otras operaciones	X	&	&	Cloro	&

X = indica que existe la tecnología apropiada.

+ = carencia de tecnología adecuada.

& = no existe control.

APENDICE B RESULTADOS

DIAMETROS APROXIMADOS DE PARTICULAS OBSERVADOS (  $\mu\text{m}$  )

MUESTRA: HYP<sub>1</sub>

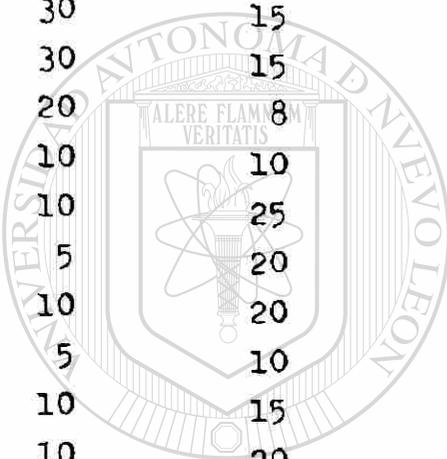
50	50	20	20
150	40	60	10
30	50	30	10
120	40	20	8
50	80	10	8
160	50	30	10
30	20	20	10
70	30	10	15
50	20	10	30
70	20	15	40
50	30	20	30
60	30	10	40
120	50	20	10
130	40	20	30
80	40	80	10
70	30	20	10
50	50	30	30
20	20	30	10
30	20	30	10
30	60	10	10
30	40	10	10
30	100	10	10
40	80	15	
20	40	30	
20	20	30	
20	30	20	
30	80	50	
20	20	15	
50	15	15	
50	15	25	

$$\frac{4026}{112} = \bar{X} = 35.94 = 36$$

MUESTRA: HYL<sub>2</sub> PB<sub>2</sub>

30	15	33
10	20	40
15	20	40
18	10	36
15	20	20
20	10	13
30	15	13
30	15	33
20	8	53
10	10	50
10	25	80
5	20	76
10	20	63
5	10	23
10	15	23
10	20	50
22	20	86
10	10	56
20	30	100
15	25	23
10	30	46
20	10	30
25	18	46
20	10	26
10	12	63
15	25	43
10	30	13
20	12	20
20	46	36
15	46	30

$$\frac{13}{2334/91} = \bar{X} = 25.6$$



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

®

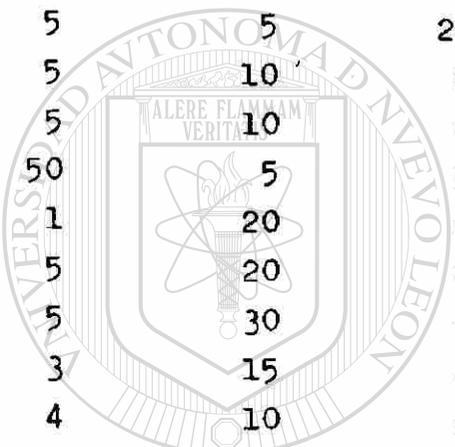
MUESTRA: HYLFIG<sub>3</sub>

5	30	4	6
5	6	3	6
5	10	4	15
40	5	20	6
5	5	18	15
5	3	18	20
5	5	20	40
5	10	8	10
5	10	6	10
50	5	6	6
1	20	6	6
5	20	6	14
5	30	8	55
3	15	8	10
4	10	4	6
5	15	4	8
30	3	4	24
5	20	4	30
15	3	4	20
20	10	4	20
15	10	4	15
55	10	10	10
3	6	30	8
3	4	20	20
3	4	5	20
30	4	10	15
10	10	10	10
10	12	6	10
15	8	10	20
10	4	12	10

$$\frac{30}{20}$$

$$1475/122 = \bar{X} = 12.1$$

$$= 12$$



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

MUESTRA: HYLFC<sub>4</sub>

30	5	10	3
23	5	11	6
13	3	5	3
16	3	3	3
33	5	1.6	3
23	6	2.6	3
13	3	2.6	10
15	5	6	6
10	5	2.6	
10	6	2.6	
6	10	6	
16	5	6	
3	3	3	
3	3	13	
3	1.6	3	
3	1.6	9	
<hr/>			
10	5	3	
6	21	3	
6	26	3	
6	3	3	
6	1	3	
6	3	8	
6	5	6	
6	4	6	
6	3	3	
8	3	6	
3	5	6	
3	3	6	
5	6	5	
6	5	3	

$$\frac{654.2}{98} = \bar{x} = 6.6$$

UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

®

MUESTRA: FUMOSA<sub>1</sub>

100	20	20	130
80	20	100	130
80	20	60	110
40	50	100	120
20	200	90	100
50	200	120	190
50	200	100	40
20	200	20	20
20	40	20	10
30	300	60	20
20	300	20	30
30	80	40	6
40	80	130	6
70	80	120	6
40	40	100	6
20	100	80	6
60	300	100	6
60	300	50	6
40	200	200	6
50	50	80	6
60	20	25	6
80	20	130	6
100	10	100	6
90	50	60	6
100	130	100	6
20	40	40	6
40	40	60	6
30	50	50	6
70	50	35	6
90	50	200	6

$$\frac{8216}{112} = \bar{X} = 73.35$$

MUESTRA: AHMJN<sub>1</sub>

20	8	8	10
24	8	8	15
20	15	10	20
25	16	20	10
6	30	5	30
40	48	8	20
30	30	8	10
17	20	10	12
16	32	28	10
14	5	10	10
20	10	40	6
20	15	40	6
40	8	10	6
15	20	10	6
30	18	10	6
25	5	15	6
15	8	20	6
20	30	10	6
30	10	10	10
30	10	10	10
15	8	10	10
15	8	10	30
10	10	10	10
16	8	20	40
8	8	10	20
8	8	12	18
8	8	20	10
20	7	10	20
15	10	20	20
14	20	10	10

$$\frac{1882}{122} = \bar{X} = 15.42$$

UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

MUESTRA: AHMPM<sub>2</sub>

10	10	12	8
5	10	3	20
10	10	3	30
20	5	3	15
10	3	2	18
15	12	3	20
10	12	3	20
10	20	12	10
10	3	10	20
20	5	15	20
10	5	15	
18	6	10	
7	3	10	
8	3	1	
8	20	1	
8	5	40	
15	20	40	
20	30	50	
28	20	20	
20	12	8	
5	15	80	
3	40	70	
3	15	20	
3	15	3	
2	8	30	
4	15	5	
12	15	40	
12	15	40	
20	30	20	
15	20	20	

$$\frac{1513}{100} = \bar{x} = 15.13$$

UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

MUESTRA: AHMSSA<sub>3</sub>

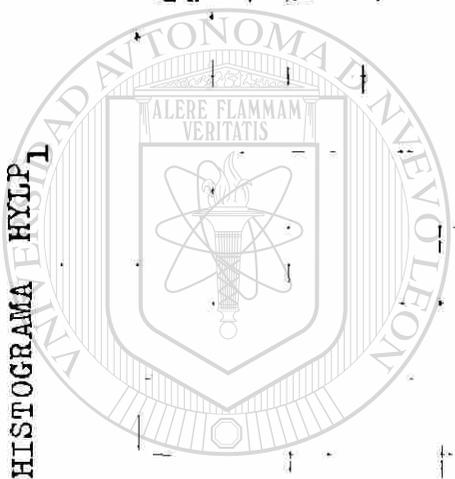
20	70	15	5
15	12	10	25
25	30	12	25
20	40	5	10
15	20	5	10
12	12	5	50
12	60	45	40
30	5	10	30
15	12	25	10
20	8	20	10
40	6	10	10
100	10	10	
30	5	20	
35	5	20	
40	7	25	
15	10	10	
20	10	12	
25	10	15	
20	10	10	
20	10	10	
15	10	10	
12	5	20	
18	5	20	
14	10	15	
15	5	10	
10	5	20	
5	5	10	
45	5	10	
20	15	15	
12	15	10	

$$\frac{1786}{101} = \bar{X} = 17.68$$

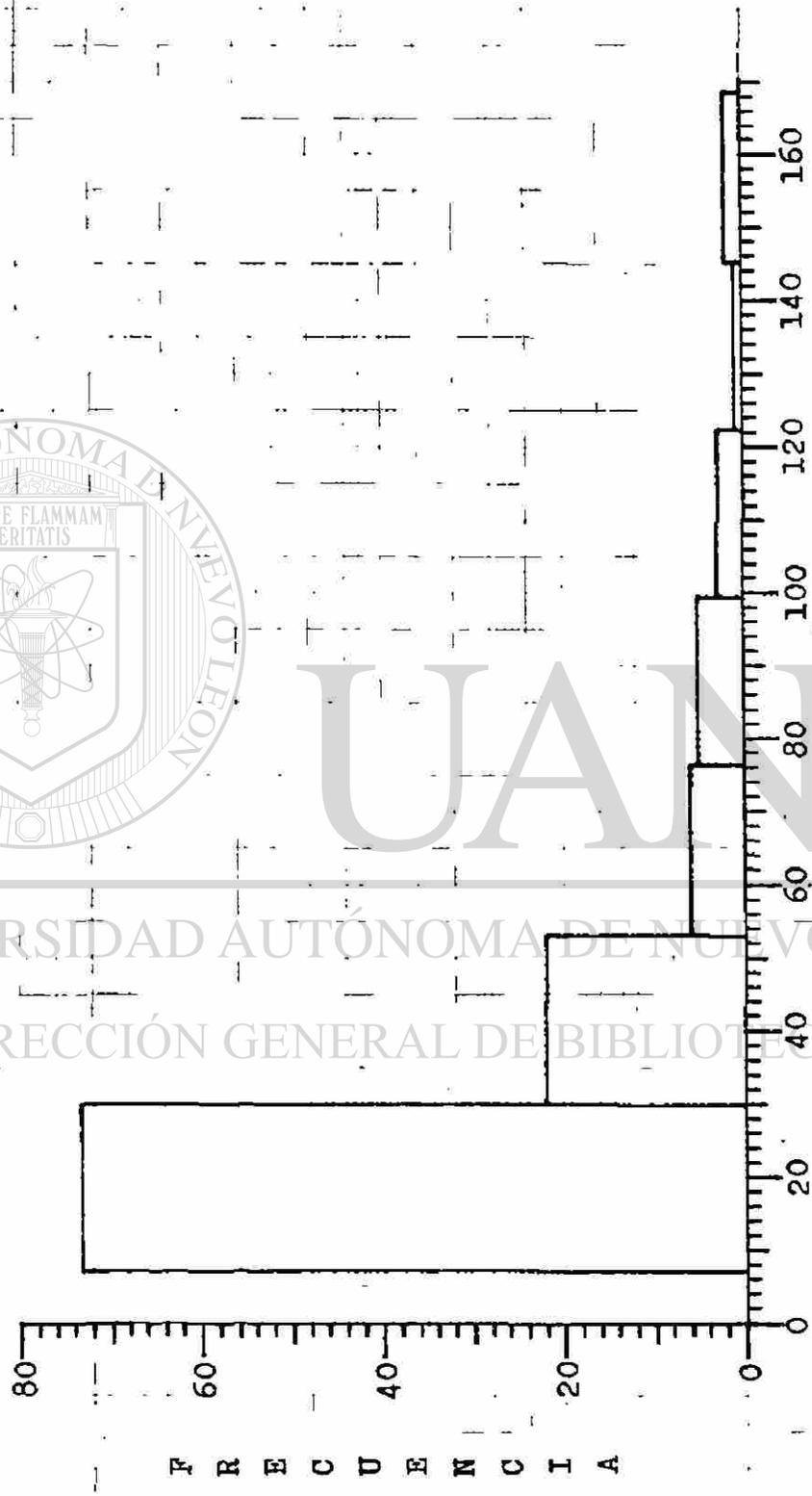
UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

®

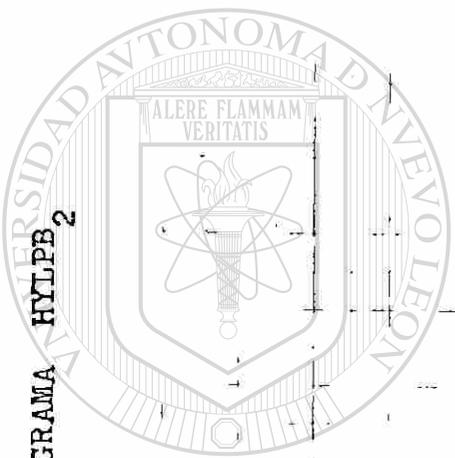


HISTOGRAMA

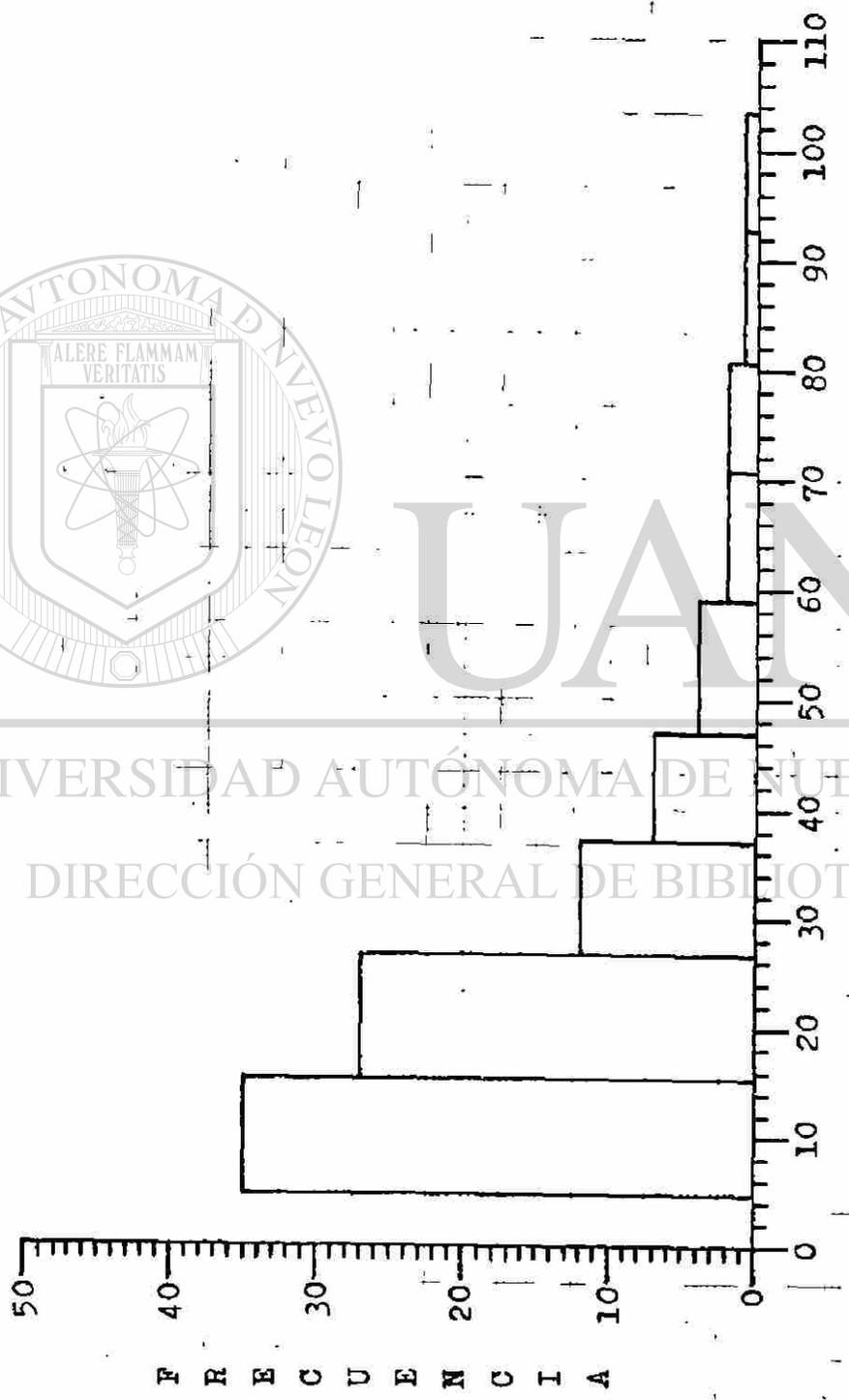


DIAMETRO DE PARTICULAS (MICROMETROS)

Fig. 12

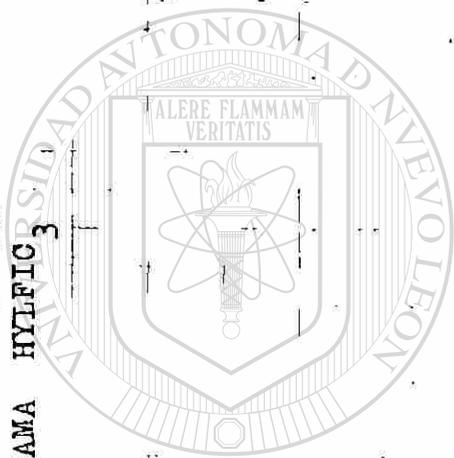


HISTOGRAMA HYLPPB 2

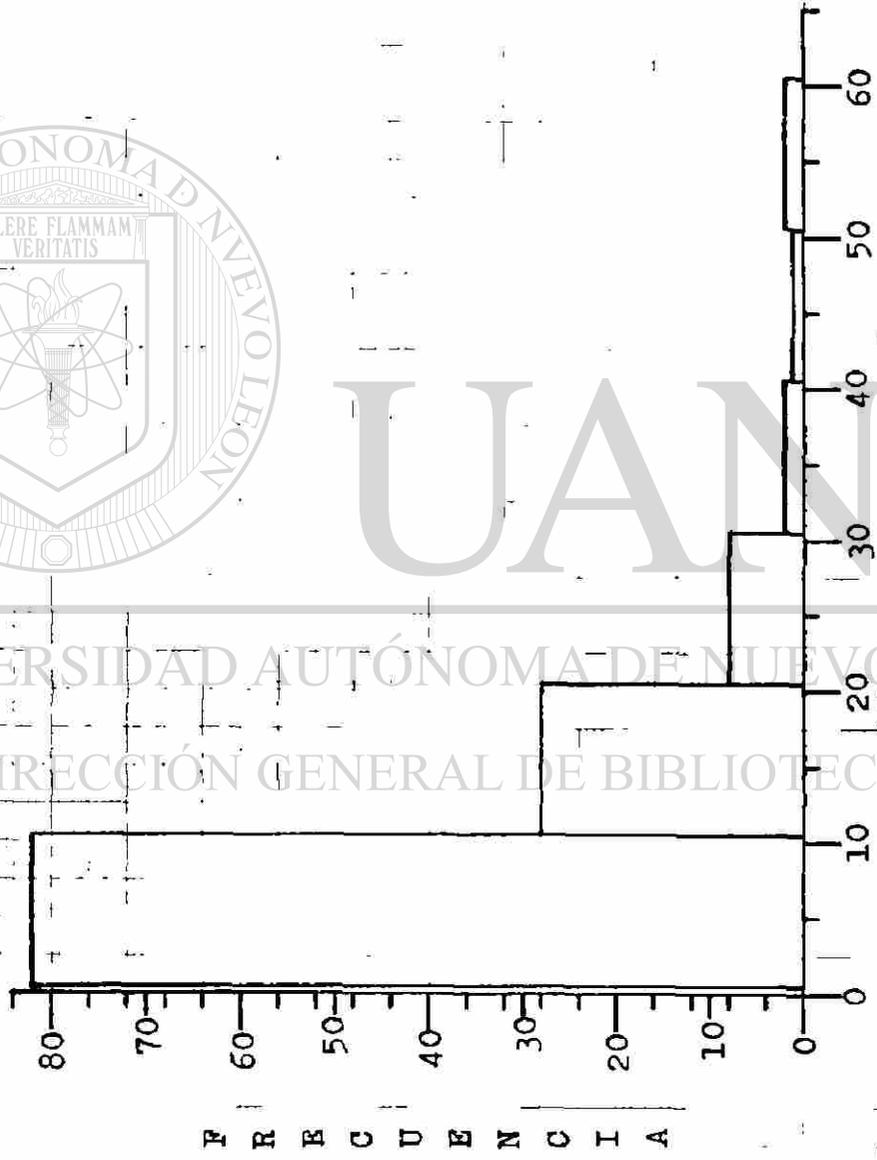


DIAMETRO DE PARTICULAS (MICROMETROS)

Fig. 13



HISTOGRAMA  $\text{HYFLIC}_3$



DIAMETRO DE PARTICULAS (MICROMETROS)

Fig. 14

HISTOGRAMA HYLFIG 4



Fig. 15 DIAMETRO DE PARTICULAS (MICROMETROS)

Fig. 15

HISTOGRAMA FUMOSA

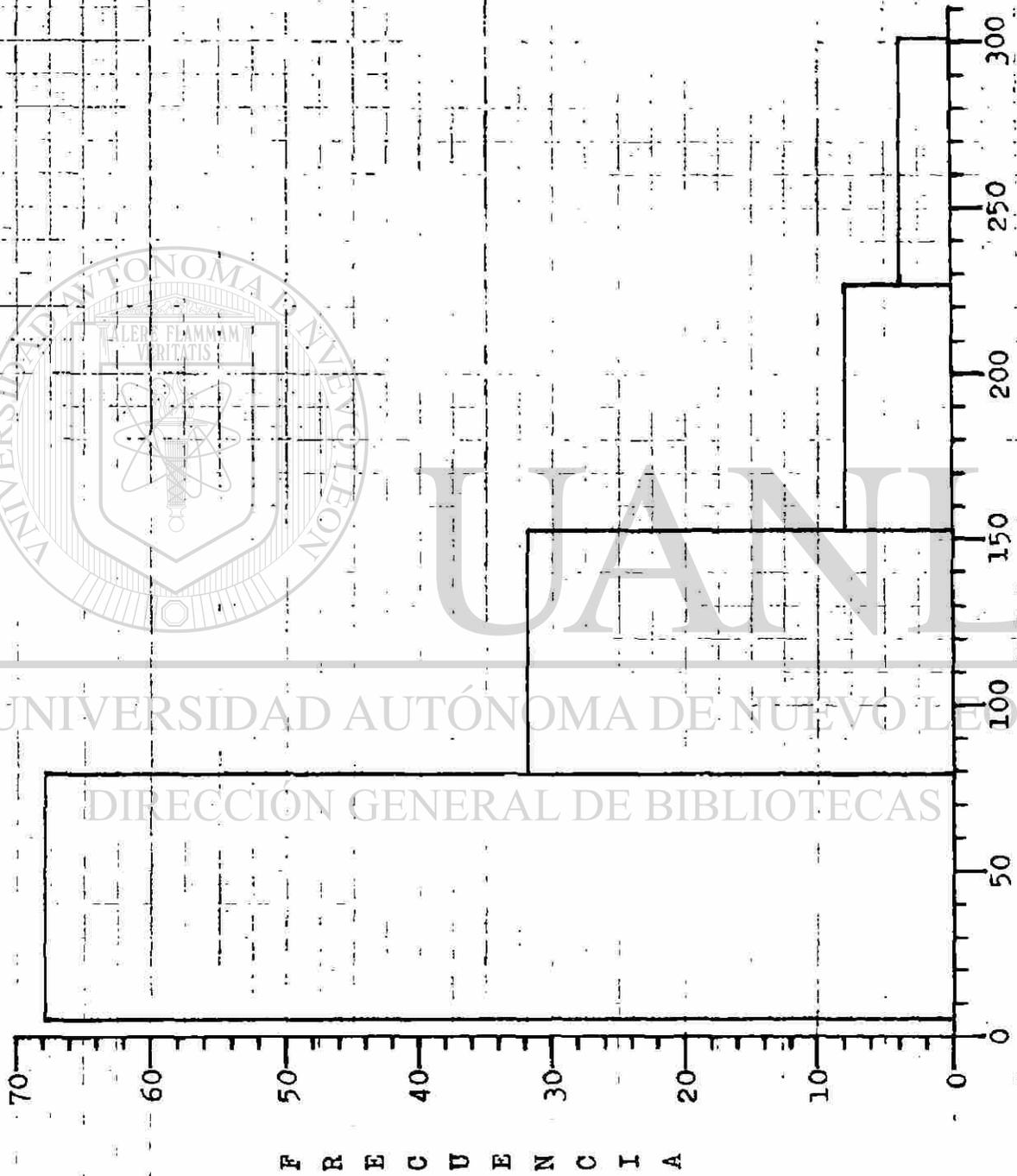
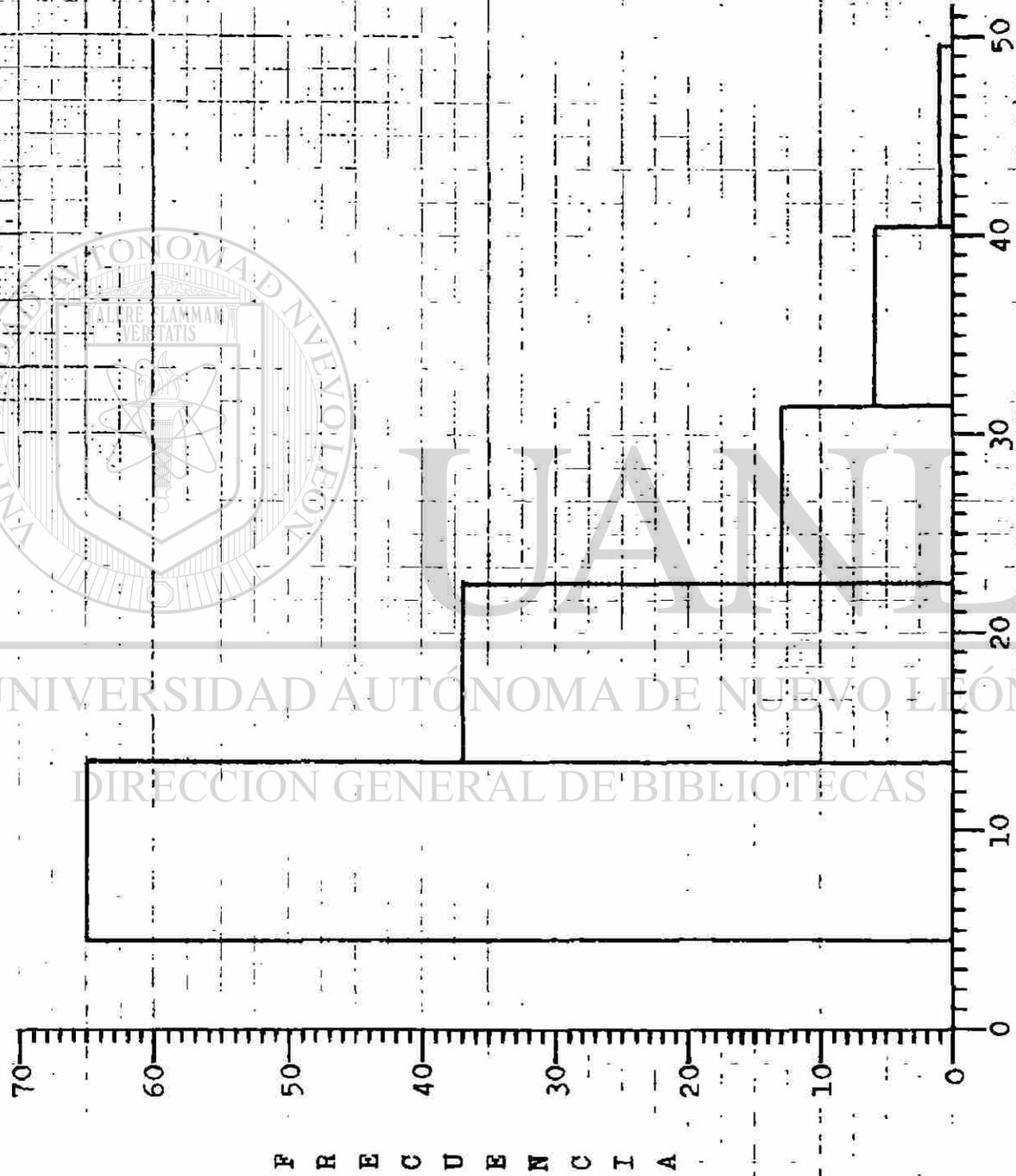


Fig. 16 DIAMETRO DE PARTICULAS (MICROMETROS)

Fig. 16

HISTOGRAMA AHMJN<sub>1</sub>



DIAMETRO DE PARTICULAS (MICROMETROS)

FIG. 17

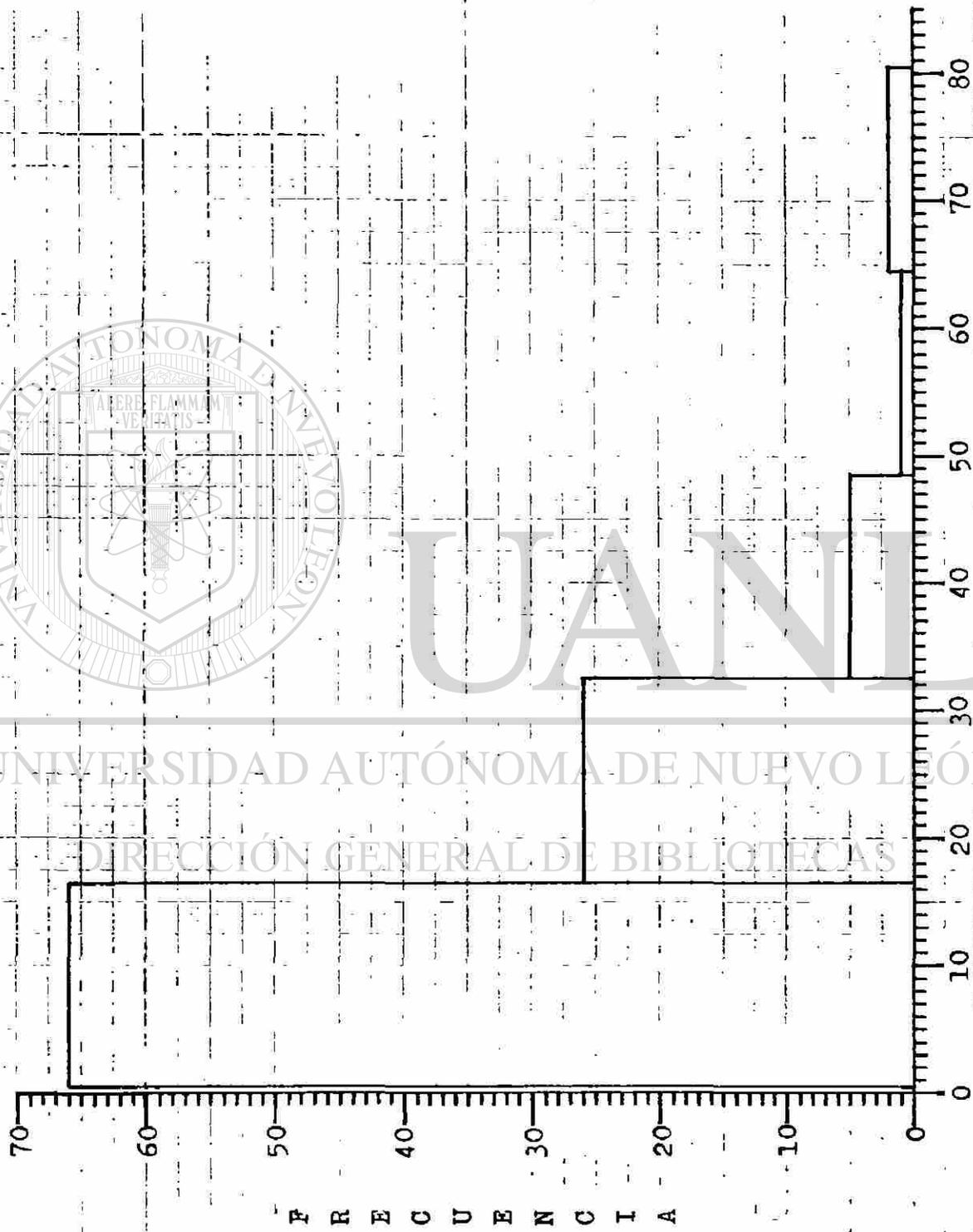
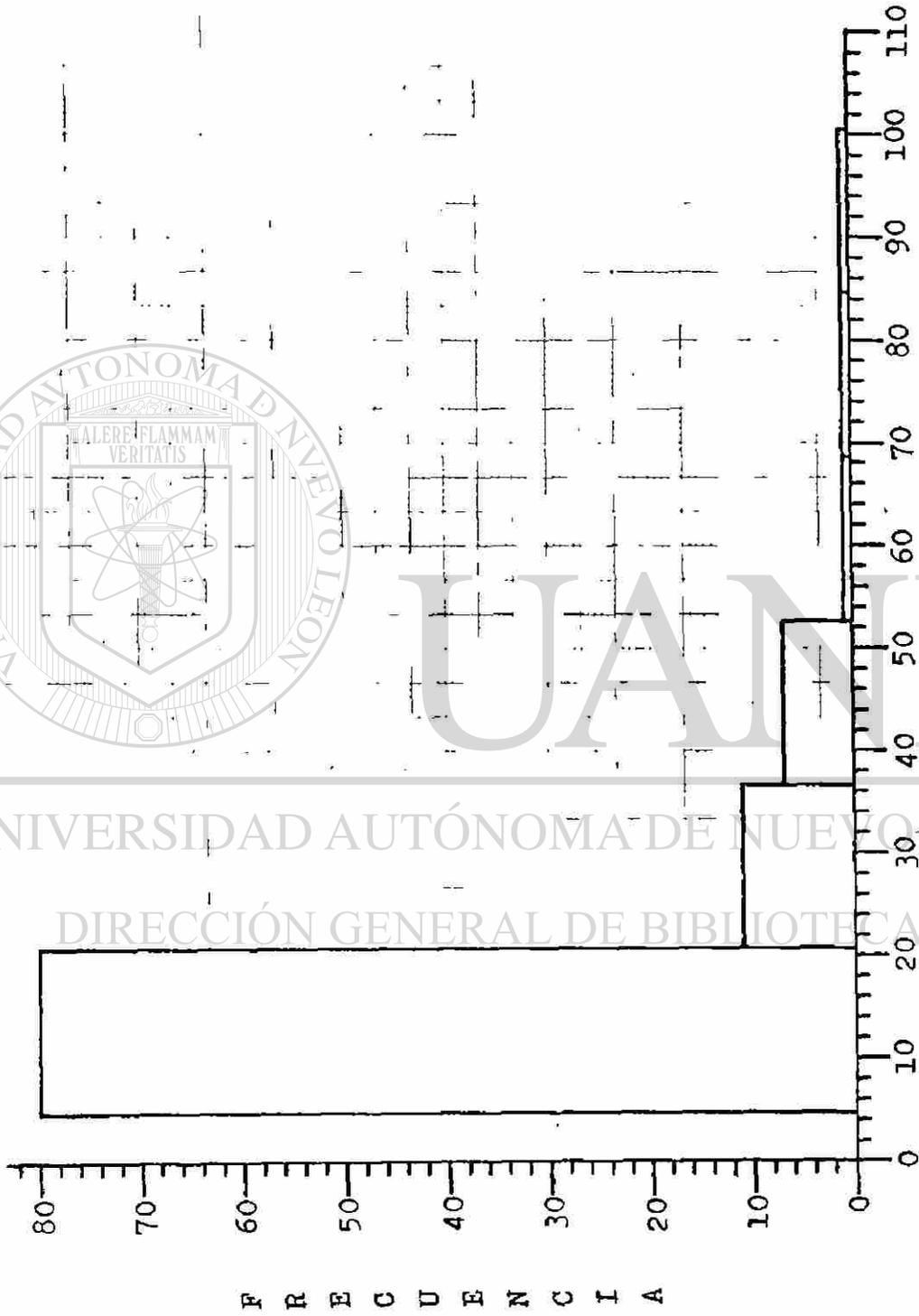


Fig. 18 DIAMETRO DE PARTICULAS (MICROMETROS)

Fig. 18

HISTOGRAMA 3



DIAMETRO DE PARTICULAS (MICROMETROS)

Fig. 19

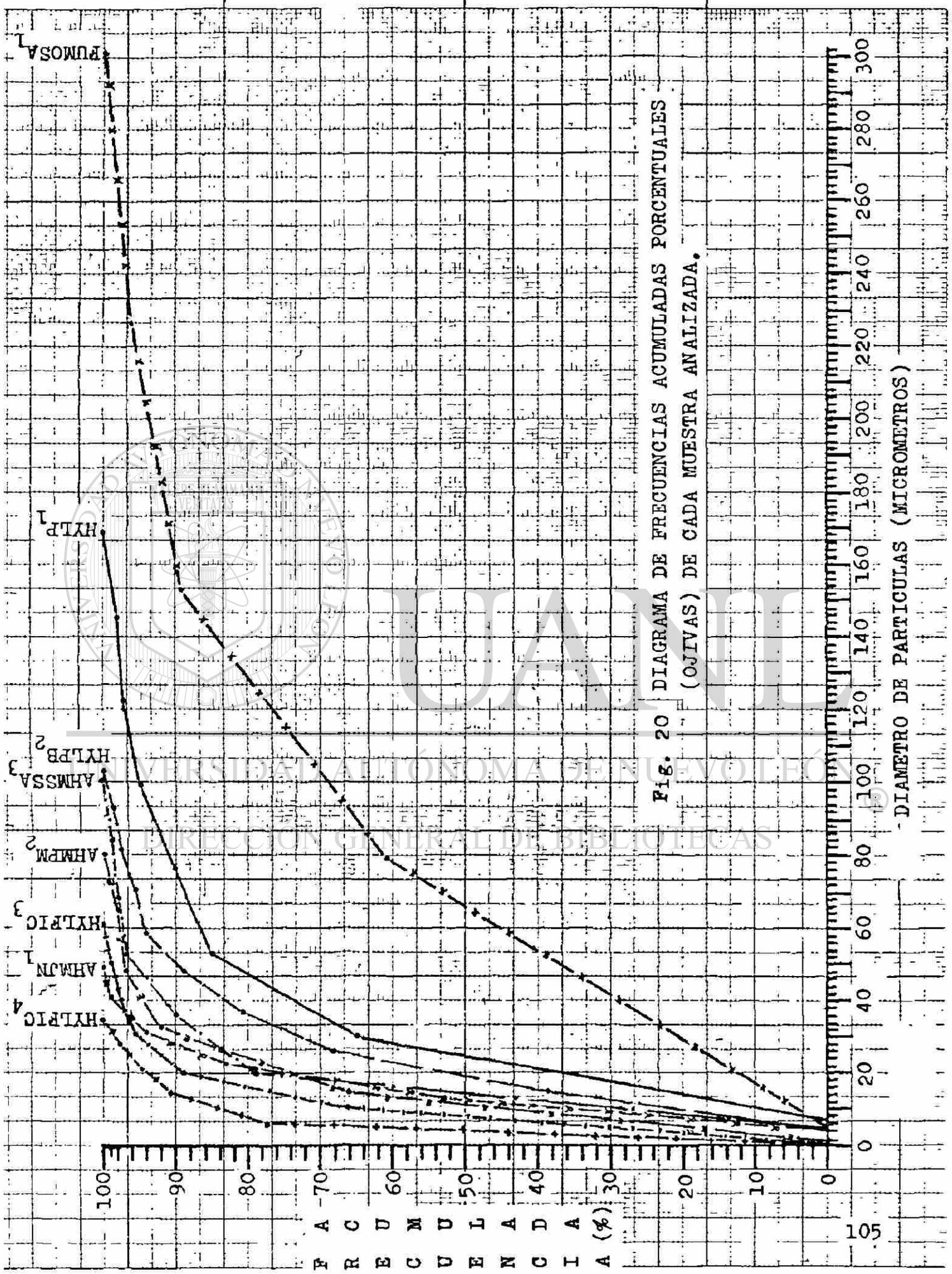


FIG. 20 DIAGRAMA DE FRECUENCIAS ACUMULADAS PORCENTUALES (OJIVAS) DE CADA MUESTRA ANALIZADA.

DIAMETRO DE PARTICULAS (MICROMETROS)

FRECUENCIA ACUMULADA (%)

Tabla 3.- PARAMETROS QUE DESCRIBEN A CADA MUESTRA.

	$\bar{X}$	S	C.V.	N	
M	HYLP <sub>1</sub>	36	29.3	0.813	112
U	HYLPB <sub>2</sub>	25.6	18.78	0.733	91
E	HYLFIC <sub>3</sub>	12	9.59	0.799	122
S	HYLFIC <sub>4</sub>	6.6	6.05	0.916	98
T	FUMOSA <sub>1</sub>	73.35	58.26	0.794	112
R	AHMJN <sub>1</sub>	15.42	8.14	0.527	122
A	AHMPM <sub>2</sub>	15.13	9.25	0.611	100
	AHMSSA <sub>3</sub>	17.68	13.84	0.782	101

$\bar{X}$  = Media (micrómetros).

S = Desviación estándar.

C.V. = Coeficiente de variación.

N = Número de observaciones.

Tabla 4. ANALISIS DE VARIANZA (COMPLETAMENTE ALEATORIO: NUMERO DESIGUAL DE OBSERVACIONES) DE LOS DIAMETROS MEDIOS DE LAS PARTICULAS DE CADA MUESTRA.

FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADOS MEDIOS	F. CALC.
MUESTRA	354710.4	7	50672.91	61.76542
ERROR	697347.8	850	820.409	
TOTAL	1610340	857	1879.043	

(  $F_{7/850,0.05} = 2.29$  ;  $F_{7/850,0.01} = 2.90$  )

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Tabla 5. ANALISIS DE FRECUENCIAS (JI-CUADRADA: TABLA DE CONTINGENCIA) DE FORMA Y FUENTE DE PARTICULAS.

FORMAS (FILAS)	EMPRESA (COLUMNAS)	FRECUENCIA OBSERVADA	FRECUENCIA ESPERADA
AM	HYLSA	64	48.99607
AM	FUMOSA	18	21.77603
AM	AHMSA	81	92.22789
ANG	HYLSA	25	48.39489
ANG	FUMOSA	40	21.50884
ANG	AHMSA	96	91.09626
RED	HYLSA	9	12.02357
RED	FUMOSA	4	5.34381
RED	AHMSA	27	22.63261
ESF	HYLSA	55	43.58546
ESF	FUMOSA	6	19.37131
ESF	AHMSA	84	82.04322

$$(X^2 = 48.29329 ; X^2_{6,0.05} = 12.592 ; X^2_{6,0.01} = 16.812)$$

Tabla 6.- COMPOSICION QUIMICA CUALITATIVA

MUESTRA	COMPOSICION <sup>+</sup> i	OBSERVACIONES <sup>+</sup>
HYLP <sub>1</sub>	Fe, Si, Ca, Al	
HYLPB <sub>2</sub>	Fe, Ca, Si	Las partículas menores de 10 µm generalmente constaban de los siguientes elementos: Ca
HYLFIC <sub>3</sub>	Fe, Ca, Si	, Si, Fe.
HYLFIC <sub>4</sub>	Fe, Ca, Si, K, Zn, Al, Mn, Mg	
FUMOSA <sub>1</sub>	Fe, Ca, Si, Al, K, Mg, Mn, Ti, P, S	Los aerosoles mayores de 100 µm se constituían principalmente de Ca.
AHMJN <sub>1</sub>	Ca, Fe, K, Si, Al, Ti, S	Las partículas esféricas contienen principalmente Fe y Si; las
AHMFM <sub>2</sub>	Fe, Ca, Si, Al, P	amorfos: Ca, Si, Al y Fe. Las angulares son ricas en Si y Al.
AHMSSA <sub>3</sub>	Fe, Ca, Si, Al, P	

+ = En orden decreciente de abundancia.

i = Debido a las limitaciones propias del análisis de rayos-X, se presupone que los elementos detectados se encuentran en su forma libre como óxidos.



Fig. 21

Material amorfo (4-72 $\mu\text{m}$  de diámetro), angular (5-100 $\mu\text{m}$ )  
y esférico (25-30 $\mu\text{m}$ ): compuestos de: Fe, Si, Ca, Al.

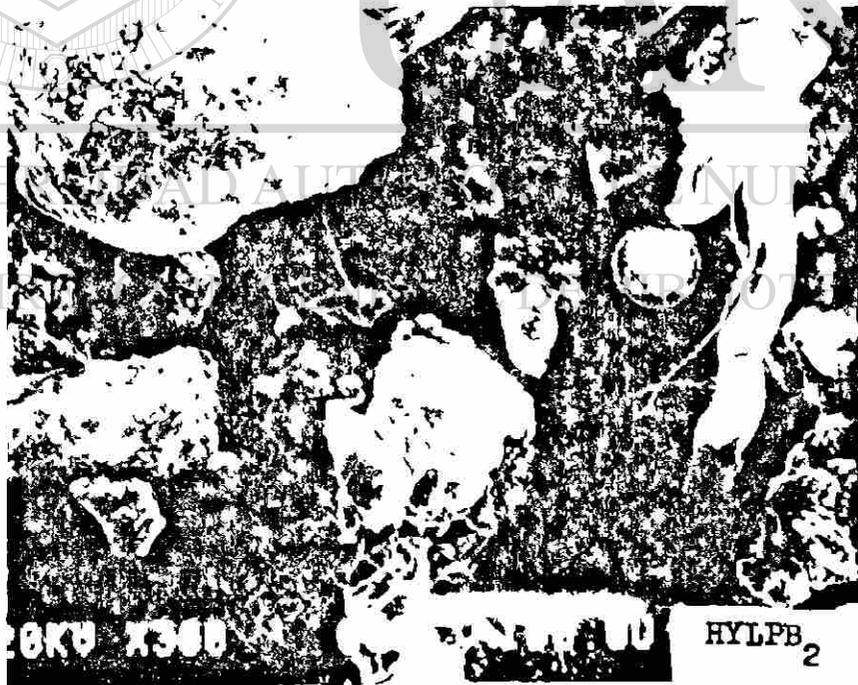


Fig. 22

Partículas amorfas (13-177 $\mu\text{m}$ ), angulares (19-45 $\mu\text{m}$ ) y  
esféricas (38 $\mu\text{m}$ ).

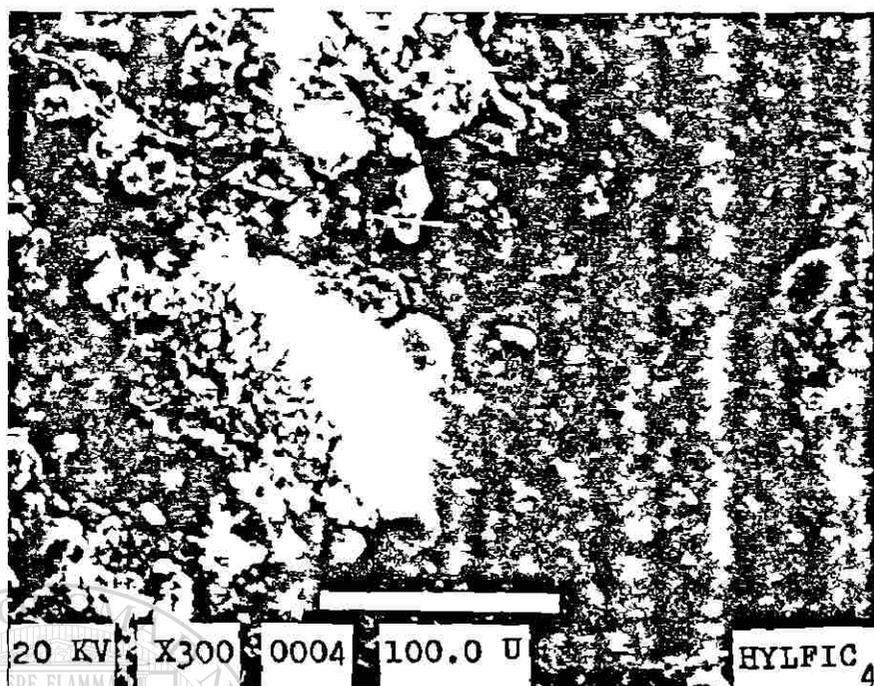


Fig. 23

Aerosol amorfo (menor de 10 a menor de 100 $\mu$ m), y algo de esférico (9-30 $\mu$ m).

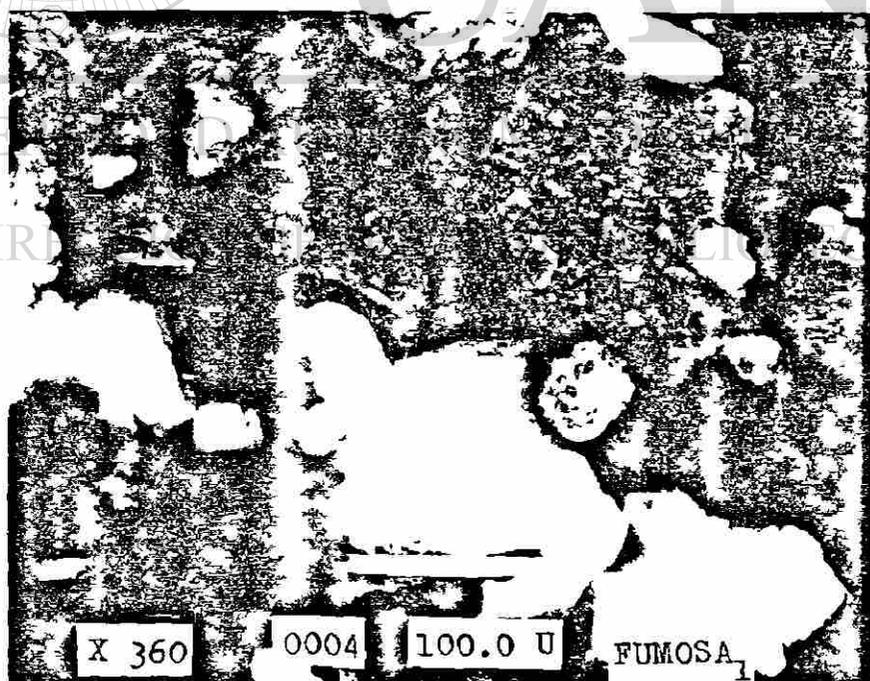


Fig. 24

Partículas amorfas y angulares de grandes dimensiones; las más oscuras se componen de Fe, Ca, Si; las claras de Fe, Ca, Si, Al, Mg; las más brillantes de Fe, Ca, Si, Ti.

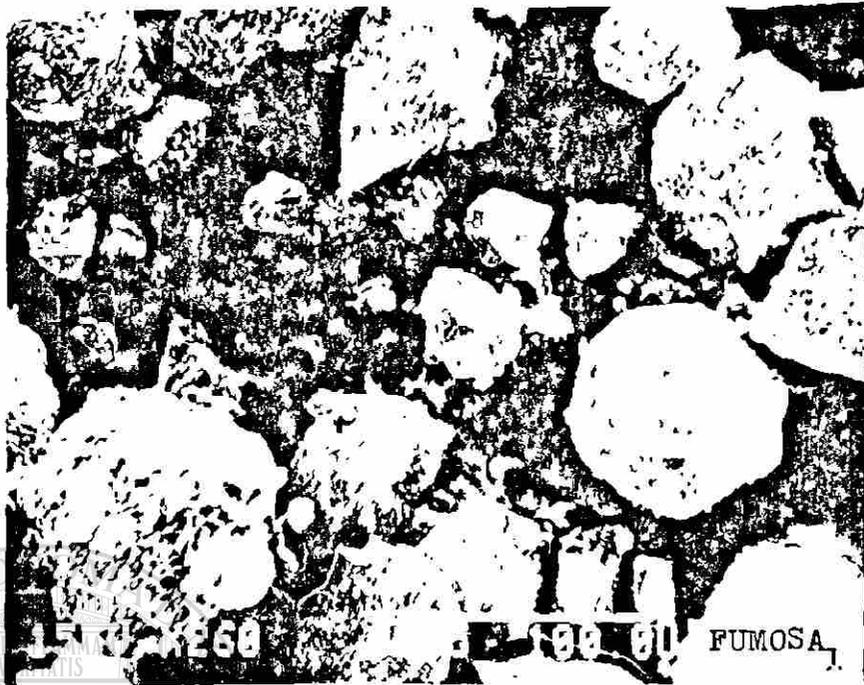


Fig. 25

Materia de índole angular en su mayor parte (3-100 $\mu$ m), con algo de amorfa (120 $\mu$ m) y redondeada (105 $\mu$ m).



Fig. 26

Predominancia de aerosol angular (40-83 $\mu$ m), seguido del amorfo (60-122 $\mu$ m), esférico (44-60 $\mu$ m) y redondeado (16-238 $\mu$ m).



Fig. 27

Partículas amorfas (20-30 $\mu$ m), angulares (8-40 $\mu$ m),  
redondeadas (10-26 $\mu$ m) y esféricas (6-26 $\mu$ m).

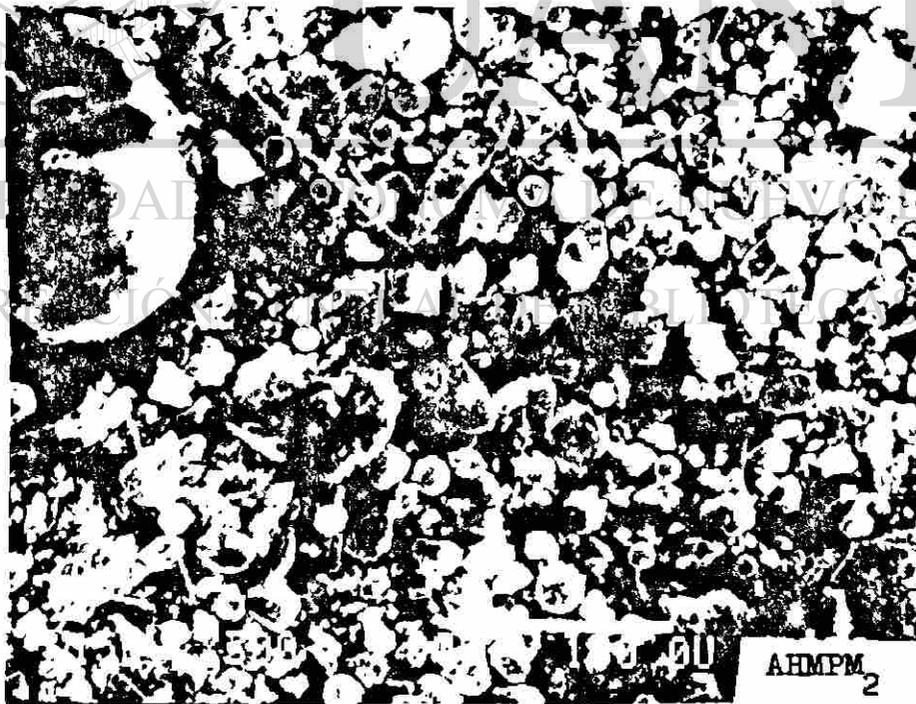


Fig. 28

Aerosol amorfo (19-53 $\mu$ m), angular (12-38 $\mu$ m), redondo  
deado (8-35 $\mu$ m) y esférico (3-106 $\mu$ m).

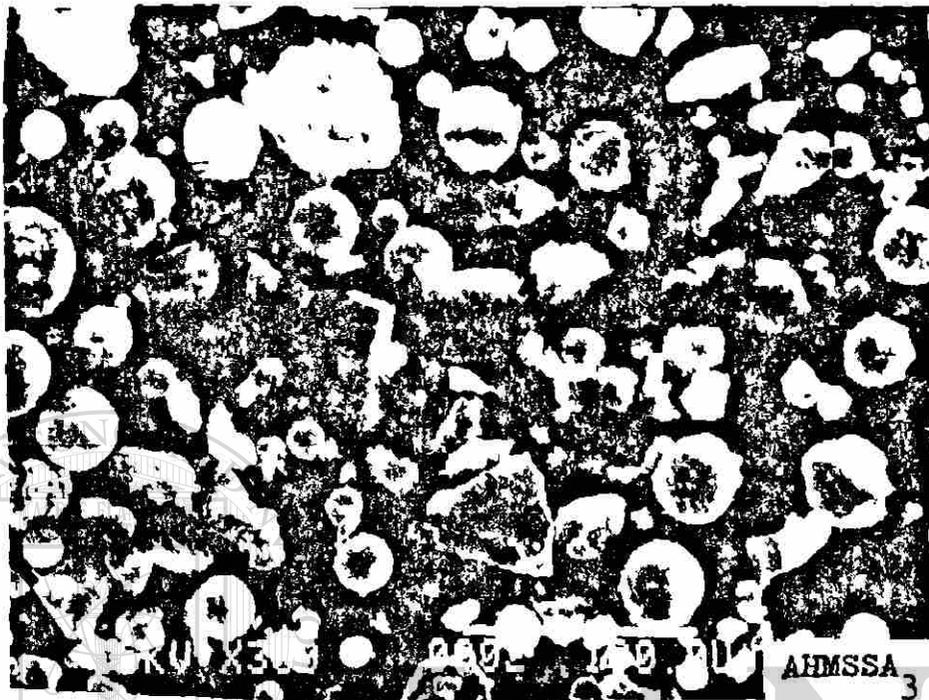


Fig. 29

Partículas amorfas (12-32 $\mu\text{m}$ ), angulares (12-61 $\mu\text{m}$ )  
y esféricas (4-36 $\mu\text{m}$ ).

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

