



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**Escuela Nacional de Estudios Profesionales
A R A G O N**

**DESARROLLO DE LA TECNICA DE MUES-
Treo POR IMPACTO PARA ANALISIS DE
ATOMIZADORES DE COMBUSTIBLES
LIQUIDOS.**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A
MARIA ESTELA IBARRA HERNANDEZ**

México, D. F.

1984



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

	PAGINA
INTRODUCCION	1
CAPITULO 1	
ATOMIZACION	
1.1 Conceptos Básicos	4
1.2 Atomización	6
1.2.1 Factores que influyen en la atomización	10
1.3 Atomizadores	12
1.3.1 Atomizadores mecánicos	12
1.3.2 Atomizadores de doble fluido	22
1.3.3. Atomizadores de copa rotativa	26
CAPITULO 2	
TECNICAS DE MUESTREO PARA ANALISIS DE ATOMIZADORES	
2.1 Métodos Mecánicos	28
2.1.1 Captura de gotas en placas	28
2.1.2 Sedimentación	39
2.1.3 Método de cera	42
2.1.4 Congelamiento	43
2.2 Métodos Eléctricos	46
2.2.1 Técnica de Wicks-Dukler	46
2.2.2 Técnica del alambre cargado	47
2.2.3 Técnica del anemómetro de alambre caliente	49

	PAGINA
2.3 Métodos Ópticos	49
2.3.1 Fotografía de alta velocidad	50
2.3.2 Holografía	52
2.3.3 Difracción de rayos laser	53
2.3.4 Dispersión de la luz en un patrón de interferencia	54

CAPITULO 3

DISEÑO Y SELECCION DEL EQUIPO EXPERIMENTAL

3.1 Introducción	57
3.2 Selección del Fluido Simulador	59
3.3 Diseño y Selección del Equipo	68
3.3.1 Cámara de atomización	68
3.3.2 Atomizador	71
3.3.3 Tanque de almacenamiento	73
3.3.4 Calentador de resistencia eléctrica	74
3.3.5 Bomba de alimentación	77
3.3.6 Ventilador	83

CAPITULO 4

EXPERIMENTACION Y RESULTADOS

4.1 Experimentación	89
4.2 Resultados	102
CONCLUSIONES	109

INTRODUCCION

La energía eléctrica producida durante el año de 1982 en nuestro país, fue generada en un 54.7% en centrales termoeléctricas, las cuales consumieron para ese período $9'702,800 \text{ m}^3$ de combustible. Según los planes de desarrollo establecidos para el sector eléctrico, en los próximos diez años se generarán 8 993 MW en centrales termoeléctricas adicionales a los ya existentes, incrementando en 108% la potencia instalada a la fecha, con el correspondiente aumento en el consumo de combustible. Lo anterior ha conducido a efectuar estudios que optimicen la combustión del combustible.

Una combustión incompleta origina problemas de contaminación, corrosión y rendimiento.

Cuando se efectúa una combustión deficiente, los gases producto de la combustión están constituidos en gran parte por CO (monóxido de carbono) el cual es un compuesto contaminante, por otra parte, siendo el combustible un producto residual de la destilación del petróleo crudo, en su composición se encuentran impurezas que afectan de una u otra forma su combustión; el contenido de azufre es una de las impurezas más comunes ya que al no efectuarse una combustión completa produce SO_3 el cual al reaccionar con el H_2O contenido en el aire, llevará a la formación de H_2SO_4 (ácido sulfúrico) causante de graves problemas de corrosión que disminuyen la vida útil del equipo.

Con respecto al problema de la disminución del rendimiento del generador de vapor, este se debe a la formación de hollín producto de la combustión incompleta en la gota de combustible atomizado la cual al tener un diámetro grande ($>1000 \mu$) no logra evaporarse antes de llegar al frente de

flama; estas partículas se depositan en las áreas de transferencia de calor con la consecuente disminución de la conductividad térmica. Adicionalmente cuando existe CO en los gases producto de la combustión, no se aprovecha completamente el poder calorífico del combustible originando una disminución en la eficiencia del generador de vapor.

Es necesario entonces que durante su estancia en el horno del generador de vapor el combustible se queme totalmente, para lo cual se requiere:

- 1) Una buena atomización
- 2) Una relación aire/combustible adecuada
- 3) Un tiempo de residencia en el horno suficiente para su total combustión.
- 4) Un alto grado de turbulencia para lograr una mezcla total con el aire.

En el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) se han destinado recursos para la investigación de los puntos mencionados anteriormente, parte de esa investigación es este trabajo que se aboca al estudio del fenómeno de la atomización.

El objetivo básico de la atomización es el aumentar el área superficial del líquido para lograr un fácil acceso del oxígeno a las gotas, lo cual depende del tamaño de esta y se ha encontrado que un incremento promedio de 3% en el diámetro medio de las gotas producidas por un atomizador aumenta en un 20% el total de partículas inquemadas.

Cuando un atomizador es nuevo, proporciona diámetros de gota adecuados para una combustión completa sin embargo con el uso empieza a disminuir la calidad de la atomización ya que las boquillas llegan a corroerse provocando una alteración en sus dimensiones.

El presente trabajo tiene como objetivo desarrollar una técnica de muestreo

para análisis en campo de atomizadores de combustible líquido de tal manera que al someterlos a ese análisis se desechen aquellos cuyo diametro de gota produzca una combustión deficiente.

Para cumplir con este objetivo se desarrolló el estudio de la siguiente manera:

En el primer capítulo se analizan los mecanismos de la atomización, sus modalidades y el equipo encargado de la atomización de combustibles líquidos.

En el segundo capítulo se da un resumen de las técnicas de muestreo para análisis de atomizadores que han sido aplicadas hasta el momento y de las cuales se seleccionó la que se consideró más adecuada técnica y económicamente para analizar atomizadores en campo.

El equipo utilizado para análisis de atomizadores se conoce como banco de atomización, en el capítulo 3 se presenta la descripción de los sistemas que lo constituyen, además del diseño y selección del equipo auxiliar.

En el capítulo 4 se presentan los resultados obtenidos durante la aplicación de la técnica de muestreo seleccionada para caracterización de un atomizador de tipo mecánico utilizado en la cámara de combustión del Instituto de Investigaciones Eléctricas.

CAPITULO 1

ATOMIZACION

En este capítulo se expondrán los conceptos básicos necesarios para el desarrollo de este trabajo así como los mecanismos involucrados en el fenómeno de atomización. Adicionalmente se describirán en forma breve los atomizadores más comunmente usados.

1.1 Conceptos Básicos.

a) Punto de Inflamación (Flash-Point)- Se define como la mas baja temperatura a la cual un aceite se volatilizará hasta tener suficiente vapor para poder formar con el aire una mezcla gaseosa inflamable, esta característica se puede demostrar a través de la producción de una chispa en contacto con una pequeña flama. El punto de inflamación se presenta a una temperatura más baja que el punto de combustión (ignition point), este corresponde a la temperatura más baja a la cual ocurre rápidamente la producción de gas combustible de tal manera que se mantenga una flama estable.

b) Punto de fluidez (Pour point) - Esta propiedad se define como la temperatura más baja a la cual un aceite puede fluir al aplicársele una fuerza de valor pequeño y es función de la composición del combustible.

c) Viscosidad o Rozamiento interno.- Es la resistencia que oponen las capas de un fluido a desplazarse una con respecto a la otra produciendo un gradiente de velocidades apreciable en los líquidos cuando están circulando en un régimen laminar; este rozamiento interno da origen a esfuerzos cortantes dentro del fluido cuando circula dentro de un tubo o alrededor de un obstáculo. El poise igual a $10^7 \frac{Kg}{m^2 s}$ es la unidad en que se expresa la viscosidad absoluta y en el caso de la viscosidad cinemática, que es la relación de la viscosidad a la densidad, se expresa en stokes igual a $10^{-4} \frac{m^2}{s}$.

Es importante hacer notar que al aumentar la temperatura del combus

tóleo su viscosidad disminuye.

- d) Tensión superficial - Es un fenómeno que se presenta en un líquido y que toma lugar bajo condiciones estáticas o dinámicas. La tensión superficial es causada por las fuerzas relativas de cohesión y adhesión.

Una molécula líquida en el interior de un cuerpo líquido tiene otras moléculas alrededor de ella, de tal manera que las fuerzas de atracción están en equilibrio por lo que no hay un movimiento preferente de ésta.

Sin embargo una molécula líquida en la superficie del líquido, no tiene el número suficiente de moléculas arriba de ella para balancear la atracción de las moléculas que se encuentran abajo de ella; por lo tanto sobre la molécula se ejerce una fuerza neta hacia dentro normal a la superficie líquida.

El efecto de tensión superficial se puede ver claramente en el caso de una gota de algún fluido en la cual se ejerce una fuerza neta -- hacia adentro sobre toda la superficie de la gota, cuando la gota -- por cualquier medio se separa del fluido original, la superficie de ésta se contrae debido a la tensión superficial formando una esfera siendo esta la forma que tiene la mínima área superficial y para la cual las fuerzas de atracción hacia su interior están en balance con la presión interna. La tensión superficial disminuye al aumentar la temperatura. Las unidades de la tensión superficial son Newton/m

- e) Gravedad específica- La gravedad específica es una medida relativa de la densidad. La presión tiene un efecto insignificante sobre -- la densidad de los líquidos, no así la temperatura que es la única condición que debe ser considerada como base para la gravedad específica.

La gravedad específica de un líquido es la relación entre su densidad a la temperatura especificada y la densidad del agua a 15.6 °C (60. °F).

$$S_g = \frac{S_l \text{ (a la temperatura de operación)}}{S_{H_2O} \text{ a } 15.6 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (} 60 \text{ } ^\circ\text{F)}}$$

1.2 Atomización.

La atomización consiste fundamentalmente en la ruptura del líquido en gotas del tamaño adecuado para que posteriormente se puedan distribuir a través del espacio de combustión y se logre una mezcla íntima con el aire.

Generalmente la atomización toma lugar en tres pasos:

- a) Disturbio inicial de la superficie del líquido.
- b) Formación de ligamentos, los cuales a su vez se rompen en fragmentos.
- c) Ruptura adicional de estos fragmentos en gotas más pequeñas.

El mecanismo físico que involucra la atomización fue estudiado inicialmente por Rayleigh en base a la inestabilidad del fluido. Posteriormente se hicieron investigaciones concernientes a la desintegración - presentándose las siguientes formas:

- [1] Disturbios superficiales que resultan de imperfecciones en el chorro, vibraciones de la boquilla, partículas de polvo o burbujas de aire.

La figura 1.1 muestra tres tipos de disturbios superficiales.

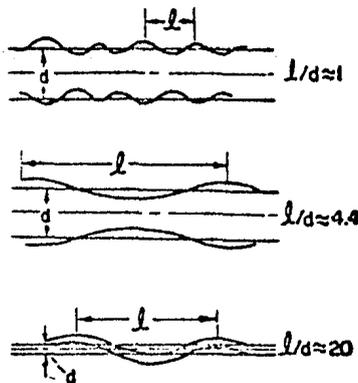


Fig. 1.1 Disturbios superficiales

- (2) A bajas velocidades, la formación de gotas ocurre únicamente por efecto de la tensión superficial; en este caso el aire que rodea al chorro no tiene influencia en los disturbios.
- (3) Las fuerzas aerodinámicas también influyen en el disturbio del fluido, la velocidad del aire se incrementa sobre las crestas de las ondas y disminuye sobre los valles. La figura 1.2 esquematiza lo anterior.

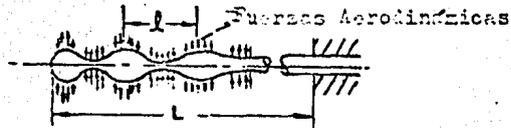


Fig. 1.2 Influencia de las fuerzas aerodinámicas.

- (4) La formación de la onda debido a la acción del aire ocurre cuando la velocidad de este se incrementa presentándose hacia un solo lado una doble presión ejercida por el aire; véase la figura 1.3.
- Los disturbios que se presentan hacia un solo lado parecen tratar de flexionar el chorro y su desarrollo es más rápido que los disturbios simétricos vistos anteriormente.



Fig. 1.3 Fuerzas aerodinámicas ejerciendo una doble presión.

La desintegración completa del chorro ocurre cuando la velocidad se incrementa y éste pierde toda regularidad. El líquido que fluye de la boquilla se rompe de una manera caótica e irregular bajo la influencia del aire.

De las investigaciones realizadas al momento, se han identificado tres modos de desintegración, el primero se presenta debido a que la tensión superficial contrae continuamente cualquier parte del límite del líquido y este fenómeno produce desintegración del tipo de "borde". - Los filamentos son puestos fuera del borde durante una contracción y eso produce gotas más grandes de las que se forman en la parte final del chorro.

Esta modalidad de atomización se presenta bajo condiciones de baja velocidad, alta tensión superficial y alta viscosidad, se observa en la figura 1.4



Fig. 1.4 Desintegración del tipo de "borde".

Otro tipo de desintegración identificado es el denominado de "lámina perforada", en la cual el borde se desintegra en una red de filamentos y dentro de una región delgada de la lámina, se forman orificios que se expanden regularmente debido a la tensión superficial hasta que se unen formando filamentos largos inestables que finalmente se desintegran. Los filamentos que escapan a la reacción fuerte del aire se desintegran uniformemente de acuerdo a la teoría. En la fig. 1.5 se presenta esta modalidad de desintegración.

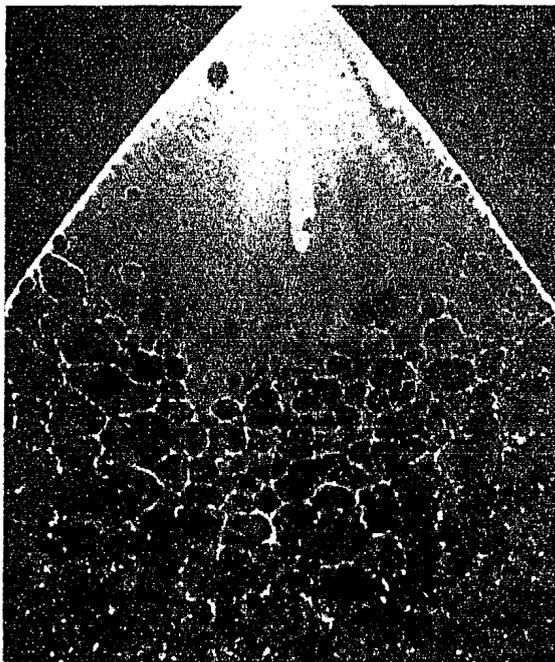


Fig. 1.5 Desintegración del tipo "lámina perforada"

En la fig. 1.6 se puede observar la desintegración del tipo "onda", -- donde la estabilidad es tal que las ondas de disturbio causadas por rozamiento con la atmósfera desintegran la película rompiendo toda la superficie, primero en ligamentos y posteriormente en gotas.

La forma de desintegración de la lámina y la uniformidad de producción y diámetro de filamentos tiene una gran influencia en la distribución del tamaño de gota. Se ha observado que la desintegración de "borde" --

produce gotas largas con numerosas gotas satélite y la del tipo -- "onda" es muy irregular, por consiguiente el tamaño de gota es muy variado.

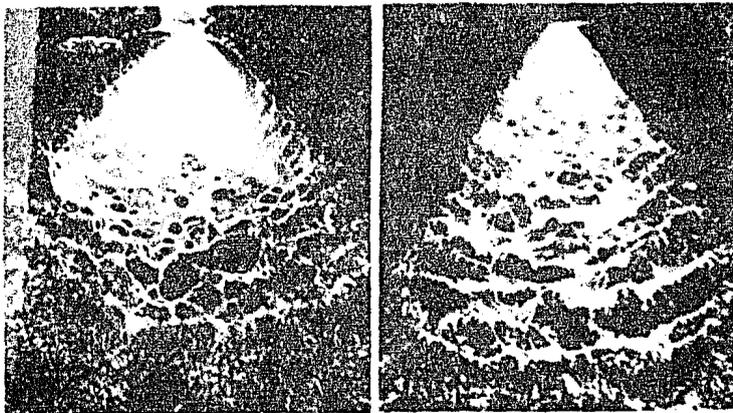


Fig. 1.6 - Desintegración del Tipo "Onda"

1.2.1 Factores que influyen en la atomización.

Los factores que influyen en la atomización se han dividido en mecánicos, operacionales y dependientes de las características del combustible.

Factores Mecánicos.- Los principales factores que influyen en la atomización son: el tipo y tamaño de boquilla utilizado; en experimentos realizados se encontró que para boquillas a presión, el tamaño de gota disminuye cuando el diámetro del orificio disminuye y que la relación óptima longitud/diámetro para el orificio es de 2 a 3.

Un factor importante que define las características a la descarga de la boquilla es el coeficiente de descarga, el cual está influenciado por la rugosidad de la superficie interna del cono anterior a la salida de la boquilla (Véase la fig. 1.7).

El valor del coeficiente de descarga se encuentra en el rango de

1.65-2.25 para los diversos tipos de atomizadores. Al estudiarse el efecto de la forma del orificio se encontró que debido a las pérdidas por fricción y turbulencias se afecta el coeficiente de descarga y consecuentemente la velocidad a la descarga, debe esto tomarse en cuenta para el diseño del atomizador.

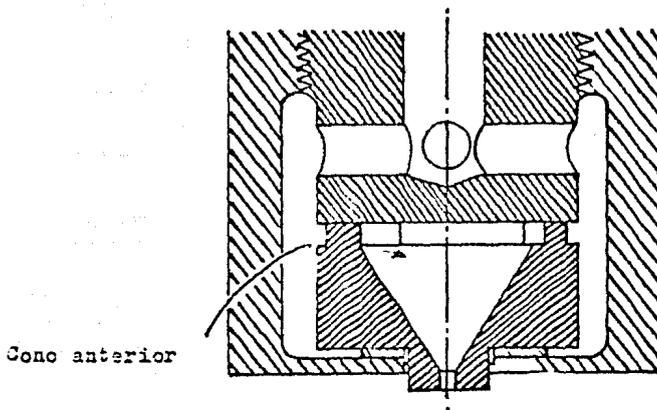


Fig. 1.7 Corte de un atomizador, en él se muestra el cono anterior a la salida de la boquilla.

Factores Operacionales. El factor más importante para atomizadores - mecánicos y de doble fluido es la presión, ya que el proceso que se desarrolla en el orificio del atomizador implica una diferencial de presión que se traduce en un aumento en la velocidad del fluido.

Joyce hizo un estudio cuantitativo del efecto de la presión en atomizadores del tipo torbellino (swirl) y concluyó que el tamaño medio superficial de gota varía inversamente proporcional a la presión aplicada elevada a una potencia de 0.35 .

Factores Dependientes de las Características del Combustible.

Las características del combustible que influyen en el proceso de atomización son: Tensión superficial, densidad y viscosidad. La viscosidad es el factor más importante ya que influye en la intensidad de turbulencia del chorro emitido y por tanto en su ruptura.

Se ha observado que la disminución en la viscosidad del combustible y en su tensión superficial, favorece la desintegración del fluido, además de disminuir la longitud de ruptura.

1.3 Atomizadores.

El dispositivo utilizado para desintegrar un fluido en gotas minúsculas se conoce como atomizador. La atomización se puede obtener por medios mecánicos, es decir, por efecto de la eyección a presión de un fluido a través de una tobera, aprovechando la energía de un fluido atomizador secundario ó por energía centrífuga.

1.3.1 Atomizadores mecánicos.

Dentro de este grupo existen los siguientes diseños:

- a) con presión directa.
- b) con retorno, de amplio campo de regulación.
- c) con presión directa y acanaladuras regulables.
- d) con presión directa a pistón
- e) con presión directa con doble circuito de presión.

Todos estos aprovechan la energía de presión que proporciona una bomba de engranes, tornillo o pistón al fluido.

a) Atomizadores mecánicos con presión directa.

El fluido comprimido sale al exterior por un pequeño orificio, después de recibir un fuerte movimiento rotatorio mediante ranuras, hélices u otros métodos.

El trabajo de atomización se realiza a expensas de la energía ciné

tica del líquido, el aceite al pasar a través del orificio se desintegra en gotas.

En la fig. 1.8 se presentan dos tipos de atomizadores de presión directa.

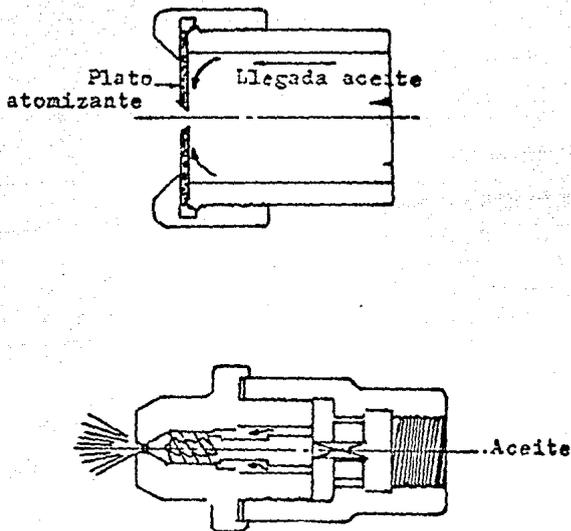


Fig. 1.8 Atomizadores Mecánicos con Presión Directa.

En el primero provisto de un plato con orificio central, el aceite a presión converge hacia el centro donde al proyectarse sobre el ángulo del orificio y expandirse luego en el cono del mismo, se pulveriza. - En el segundo la hélice le proporciona un movimiento de torbellino al aceite, proporcionándole una componente tangencial de velocidad, de esta manera se forma una capa fina en el interior del orificio de la --

tobera y a la salida debido al roce con el aire se descompone en gotas formando un chorro cónico.

Es evidente que al reducir la presión para el mismo atomizador, la calidad de atomización disminuye.

Este tipo de atomizador es apropiado en instalaciones que requieren un flujo constante.

Una mejora en el diseño del atomizador es la introducción de una cámara de torbellino de forma cónica, la cual iría integrada al atomizador al que se le hacen orificios tangenciales, el área total transversal de estos orificios es muy pequeña comparada con el diámetro del tubo de alimentación del aceite por lo que el líquido que penetra desde el exterior con una fuerte presión recibe un gran aumento de la velocidad y un movimiento giratorio. En el recorrido hacia la salida por el interior de la cámara hay una presión estática residual debido a esto el aceite es impulsado hacia la salida por un fuerte movimiento giratorio y por un considerable empuje axial. Del orificio del atomizador, cada partícula de aceite sale impulsada por dos componentes: una axial debido a la presión y otra radial debida al movimiento giratorio, que depende de la caída de presión en las ramuras tangenciales. El aceite lanzado fuera del atomizador se subdivide por rozamiento con el aire exterior en una fina niebla de forma cónica cuyo ángulo de apertura está determinado por la resultante de las dos componentes anteriores.

El caudal mínimo para estos atomizadores, corresponde al límite en el que comienzan a aparecer pulsaciones e inestabilidad, esto implica que las dimensiones y distribución de gotas no conduce a una buena combustión.

El máximo campo de regulación que se puede obtener en los atomizadores de presión directa es de 1: 1.2 hasta 1.5 .

El tipo de atomizador de presión directa se utiliza principalmente en

quemadores de encendido con diesel.

8[Atomizadores con retorno.

Los atomizadores con retorno se han desarrollado precisamente con el fin de aumentar el campo de regulación de los atomizadores de presión directa. El principio fundamental seguido en estos atomizadores es el de hacer circular en la cámara un flujo de aceite constante o aumentar lo cuando disminuye el flujo en la tobera, para lograr esto, la cámara se pone en comunicación con la parte opuesta a donde se encuentra el orificio de salida con un tubo central unido a su vez a una línea en donde se encuentra una válvula de regulación.

La fig. 1.9 muestra un atomizador de este tipo.

El flujo total de aceite "a" se introduce a través de las ranuras "A" en la cámara, desde donde una fracción "b" sale por el orificio "B" y una fracción "c" viene impulsada a través del orificio "C" hacia una tubería de retorno que se dirige a la succión de la bomba o al tanque de almacenamiento.

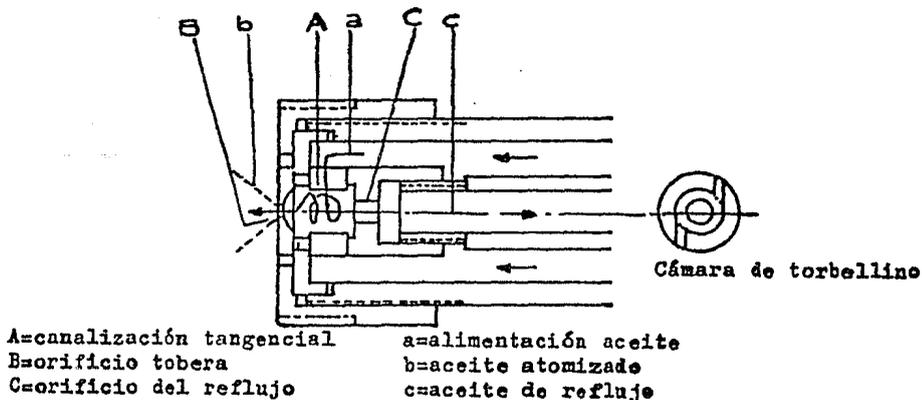


Fig. 1.19 Cabeza de atomizador de retorno.

La diferencia con los atomizadores de presión directa en los que se efectúan las variaciones del flujo, estrangulando la cantidad de aceite que pasa por los orificios "A" consiste en que la válvula de regulación está instalada en el retorno y en que las variaciones del caudal se realizan aumentando o reduciendo la cantidad del aceite recirculado.

En este tipo de atomizador el flujo máximo se logra con la válvula de retorno completamente cerrada y la diferencia en la presión de inyección y la línea de retorno indica la caída de presión a través de las ranuras tangenciales. Cuando la válvula del retorno se abre, aumenta el flujo de aceite y por tanto la velocidad; de esto se deriva un aumento del ángulo del aerosol.

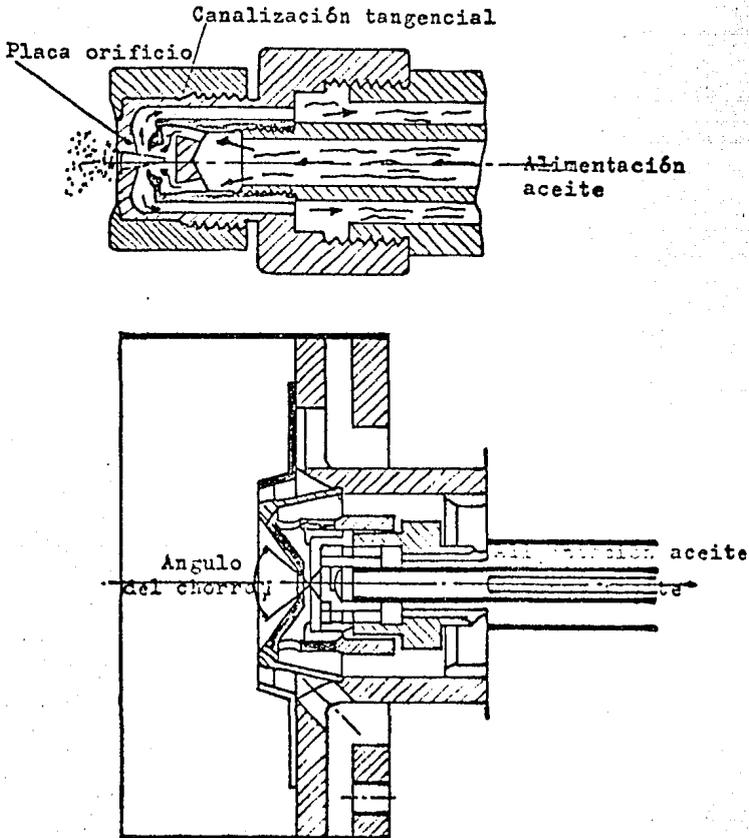


Fig. 1.10 Atomizadores con retorno.

En la figura 1.10 se presentan dos atomizadores de este tipo aunque en el primero la alimentación del aceite se efectúa a través de un tubo central y el retorno por un canal anular concéntrico; el segundo está dotado además de un dispositivo que permite modificar la divergencia del chorro así como estabilizarlo en bajos flujos.

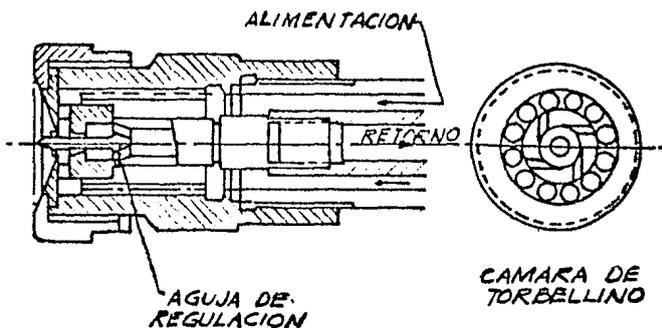


Fig. 1.11 Atomizador con retorno (Borger)

La figura 1.11 representa la tobera Borger que es una combinación entre el atomizador con retorno y atomizador con abertura interna regulable, en el interior de la cámara de torbellino hay una aguja de una sección determinada con desplazamiento axial, de tal manera que la suma de las secciones libres del orificio de la tobera y del retorno -- sea constante al variar el flujo. Las variaciones del flujo de alimentación y de retorno son lineales respecto a la carrera de la aguja de esta manera se pueden obtener campos de regulación hasta de 1:4 - para flujos pequeños y de 1:8 para flujos grandes sin variaciones -- apreciables en las características del chorro.

En instalaciones de combustible a quemadores del tipo presión directa, normalmente se utiliza el arreglo mostrado en la fig. 1.12

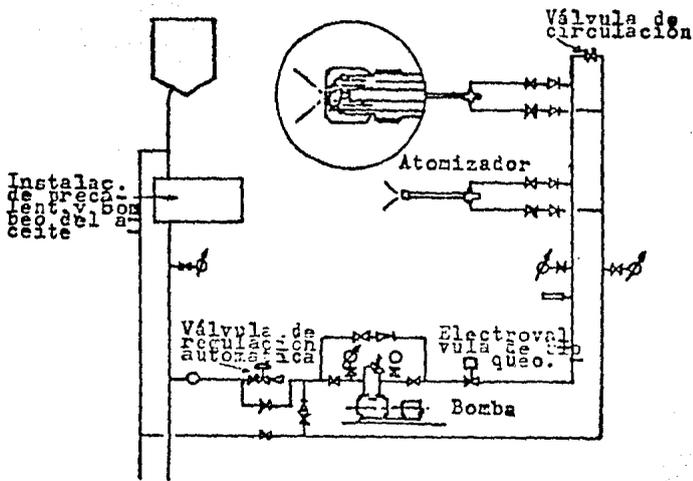


Fig. 1.12 Diagrama de flujo del sistema de combustible a quemadores con retorno.

En éste, las tuberías de alimentación y retorno están conectadas en paralelo. Actualmente las presiones de trabajo se encuentran entre -- 100.0 y 75 Ata para presión de alimentación y de retorno respectivamente.

C) Atomizadores de presión directa con ranuras regulables.

Estos atomizadores requieren un flujo de alimentación constante, al variar el flujo, la cantidad excedente no se recircula en el retorno sino que mediante un dispositivo se introduce aguas arriba de la bomba. Al disminuir el flujo, disminuye simultáneamente la sección de las ranuras tangenciales y de esta forma, la velocidad periférica se mantiene constante correspondiente a su valor máximo en todo el campo de regulación.

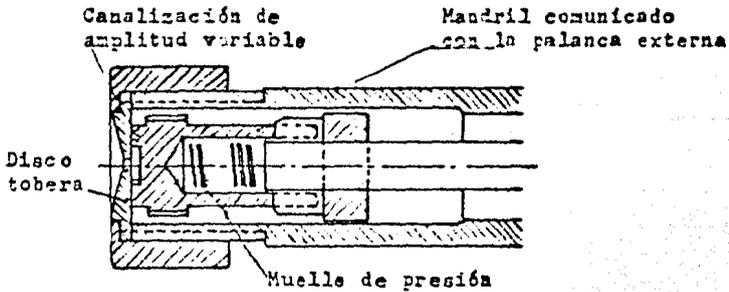


Fig. 1.13 Tobera con acanaladuras regulables.

El atomizador mostrado en la fig. 1.13 consigue el efecto descrito haciendo girar la cámara de torbellino mediante un mandril conectado a una palanca exterior y variando de esta forma la amplitud de las ranuras. Manteniendo constante la presión de alimentación, la pérdida de presión a través de las ranuras, es igual a todos los flujos; la velocidad angular es también constante y por consiguiente el caudal de aceite es proporcional a la longitud de las ranuras.

Teóricamente, con este sistema se podría alcanzar un campo de regulación muy elevado, en la práctica, la disminución del flujo contribuye a un mayor rozamiento en los canales a medida que estos se van reduciendo.

La ventaja de los atomizadores de ranuras variables no consiste tanto en conseguir un mayor campo de regulación (que generalmente es inferior o igual al de los atomizadores con retorno) sino en obtener un menor consumo de potencia en la bomba.

D) Atomizadores de pistón.

El atomizador presentado en la figura 1.14 constituye un paso intermedio entre el de ranuras regulables y el de regulación en el retorno. Un pistón móvil que está en la cámara, regula la apertura de un determinado número de orificios tangenciales. Aumentando la presión de --

alimentación tiende a aumentar también la presión de retorno, lo cual determina el desplazamiento del pistón en el sentido de la apertura de las ranuras. Las secciones de las ranuras están diseñadas para proporcionar una relación lineal entre la presión del aceite y el flujo.

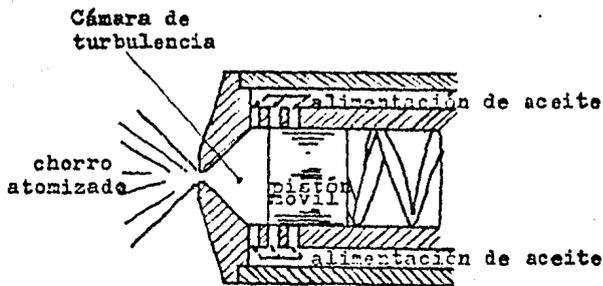


Fig. 1.14 Cabeza de atomizador con pistón.

El Atomizadores con doble circuito de presiones.

Para este sistema la tubería del aceite se divide antes de llegar al atomizador en dos ramales cada uno regulado por una válvula. En la fig. 1.15 se esquematiza uno de estos atomizadores.

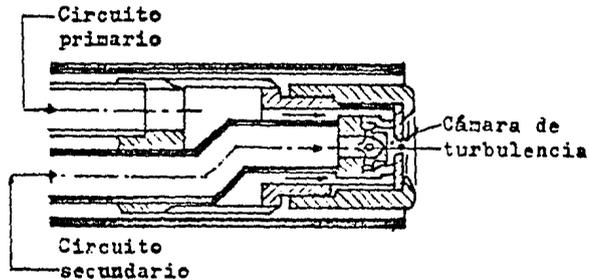


Fig. 1.15 Atomizador de presión directa y doble circuito.

En el interior de la tobera se aprecian dos circuitos diferentes: el primero introduce aceite en las ranuras tangenciales imprimiéndole un fuerte movimiento rotatorio, obteniéndose un chorro de ángulo grande. El segundo circuito introduce el aceite en el centro de la cámara con un movimiento paralelo al eje del atomizador sin efectos de rotación - se reduce así la velocidad de rotación generada en el circuito primario y el ángulo de atomización.

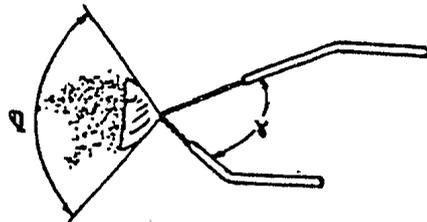
La acción combinada de los dos circuitos permite:

- a) Disminuir o aumentar el ángulo de atomización sin modificar el flujo.
- b) disminuir o aumentar el flujo sin modificar el ángulo de atomización.
- c) Modificar el flujo y el ángulo de atomización.

La diferencia máxima entre la presión primaria y la secundaria oscila entre 0.5 y 2 Ata. La presión primaria varía entre 20 y 40 Ata.

F1. Atomizadores con chorros de choque.

Uno de los atomizadores en estudio es el de los chorros de choque que consiste en dos flujos del mismo combustible que alcanzan grandes velocidades (no inferiores a 25 m/s) y que chocan entre sí. La fig. - 1.16 esquematiza esta modalidad de atomización.



α = ANGULO DE IMPACTO
 β = ANGULO DE CHORRO

Fig. 1.16 Principio de los atomizadores con chorro de choque.

1.3.2 Atomizadores de doble fluido.

En los atomizadores mecánicos la energía contenida en el aceite sometido a fuerte rotación, es la que provoca la atomización del combustible a la salida de la tobera. Utilizando un fluido auxiliar a presión, la impulsión del aceite puede reducirse considerablemente ya que la energía necesaria para la atomización la aporta en parte el mismo fluido auxiliar.

La presión del aceite es más baja que en los atomizadores mecánicos por lo tanto los orificios y ranuras son más grandes.

El fluido auxiliar puede ser vapor, aire comprimido o incluso un gas comprimido.

Existen grupos de atomizadores con características similares según el tipo de fluido; para una determinada calidad de combustible líquido - el criterio de clasificación se basó en los valores de la presión del fluido auxiliar.

Los fluidos utilizados ampliamente son vapor y aire comprimido.

a) Atomizadores con vapor.

Con este sistema la atomización del aceite se logra mediante la inyección de vapor en el interior de la tobera ya que al pasar por los orificios del atomizador sufre una caída de presión, con lo cual se expande.

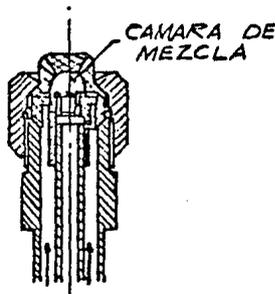


Fig. 1.17 Atomizador a vapor.

En la figura 1.17 se presenta un atomizador de este tipo en el cual - el aceite es introducido por un tubo central, pasa a través de una serie de orificios coaxiales y posteriormente llega al centro de la cámara a través de unas ranuras tangenciales, de esta manera se obtiene un cambio de presión y se inicia el proceso de atomización. Siguiendo hacia la cámara de mezcla el aceite atomizado parcialmente se une al vapor que fluye a gran velocidad y por efecto conjunto del rozamiento y de la presión, se emulsiona, esta mezcla aceite-vapor pasa a través de los orificios del atomizador, donde la expansión del vapor provoca la división del aceite en partículas muy finas. El chorro final tiene la forma de un cono sólido, cuyo ángulo viene establecido por el perfil del orificio de salida.

La atomización con vapor proporciona un diámetro de gota promedio menor que el obtenido mediante atomización mecánica, adicionalmente la necesidad de mantenimiento y limpieza de estos atomizadores es inferior.

También es posible obtener un campo de regulación muy elevado (1:10 aprox.), la longitud y forma de la flama puede regularse fácilmente.

La constancia de las características del chorro dependen de que la presión diferencial permanezca constante, estableciéndose su valor empíricamente en la puesta a punto de cada instalación hasta lograr los mejores resultados de combustión (es común tener un valor de 196 KPa)

Los atomizadores con vapor presentan gran flexibilidad de empleo y son adecuados para aceites de densidad y viscosidad altos. El vapor requerido para atomización debe ser un vapor saturado seco o ligeramente recalentado.

b] Atomizadores de pulverización mecánica con ayuda de vapor.

Una clase de atomizadores la constituyen los atomizadores de pulverización mecánica con ayuda de vapor, estos combinan la acción de la pulverización mecánica con la acción emulsionante producida por el va

por.

Las principales ventajas que ofrecen estos atomizadores son las siguientes:

- 1) Obtención de un amplio campo de regulación empleando presiones de aceite relativamente bajas.
- 2) Obtención de un ángulo del chorro constante, independientemente del caudal.
- 3) Se puede obtener una fuerte penetración del chorro, el quemador es menos sensible a las variaciones de la presión del aire de combustión.

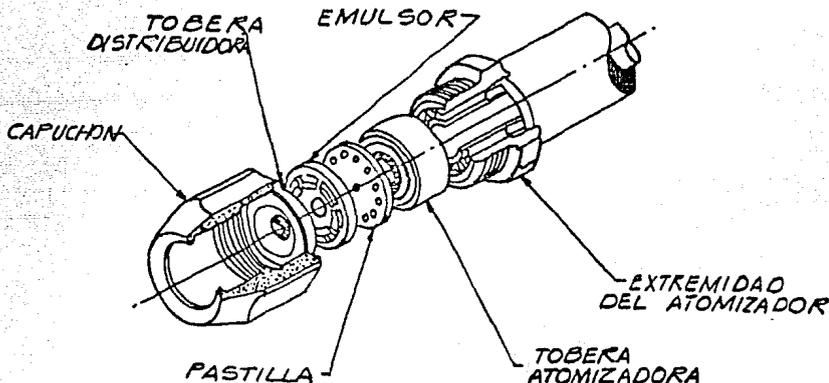


Fig. 1.18 Atomizador de pulverización mecánica con ayuda de vapor.

La fig. 1.18 representa un atomizador de este tipo; el aceite llega a la tobera a través de un tubo central, al pasar por la tobera atomizadora adquiere un movimiento fuertemente giratorio debido a las ranuras tangenciales, que desembocan en una cámara de torbellino. El chorro pulverizado fluye en la pieza llamada emulsor.

El vapor de atomización mediante el tubo externo atraviesa la tobera

atomizante y luego la pastilla llegando finalmente al emulso. El aceite finamente dividido y el vapor se mezclan íntimamente formando una emulsión homogénea que brota de los orificios de la tobera distribuidora.

El caudal varía en función de la presión del aceite y del vapor, las condiciones de llegada del vapor pueden permanecer constantes a todos los flujos, pero con el fin de reducir el consumo en las condiciones de mínimo caudal se prefiere modificar la presión.

c) Atomizadores de aire a presión alta y media.

Este tipo de atomizadores emplean una cantidad de aire de alrededor del 25% del flujo del aceite atomizado, en el caso de alta presión, -- mientras que para los de presión media es de 4% a 50 %.

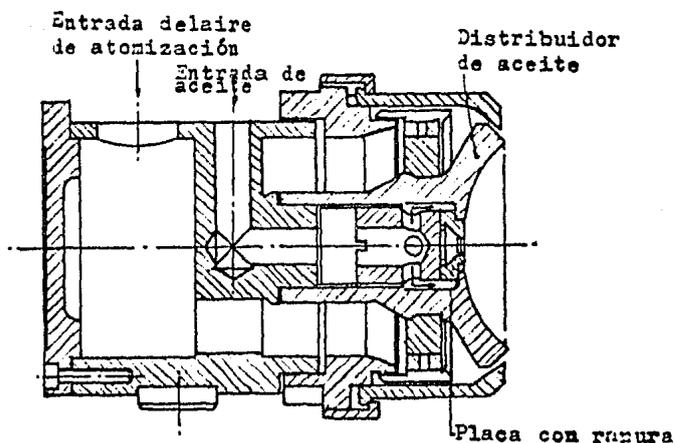


Fig. 1.19 Atomizador de aire a presión media.

En la figura 1.19 se representa un atomizador en el cual el aceite, -- que ha sufrido una primera pulverización en una cámara de turbulencia se proyecta sobre una superficie cóncava y se encuentra con el aire de atomización que proviene de una ranura lateral.

Contrariamente a los atomizadores con vapor, los de aire a presión media y alta representan una excelente solución en los casos en que se necesite variar la forma de una flama para adaptarla a las dimensiones del hogar. Entre los inconvenientes se pueden mencionar el ruido y el costo del aire comprimido.

1.3.3 Atomizadores de copa rotativa.

Normalmente se utiliza el término quemadores de copa rotativa en lugar de atomizadores ya que en estos dispositivos el sistema de atomización y los elementos necesarios para la mezcla y regulación del combustible se encuentran agrupados en un conjunto compacto y normalizado.

En la figura 1.20 A se presenta un tipo de este atomizador y en la 1.20 B la forma de desintegración de un fluido efectuada por un atomizador rotatorio.

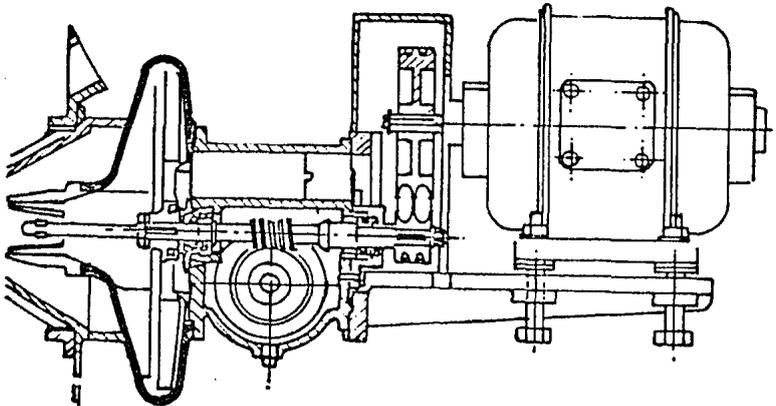


Figura 1.20 A Atomizador de copa rotativa

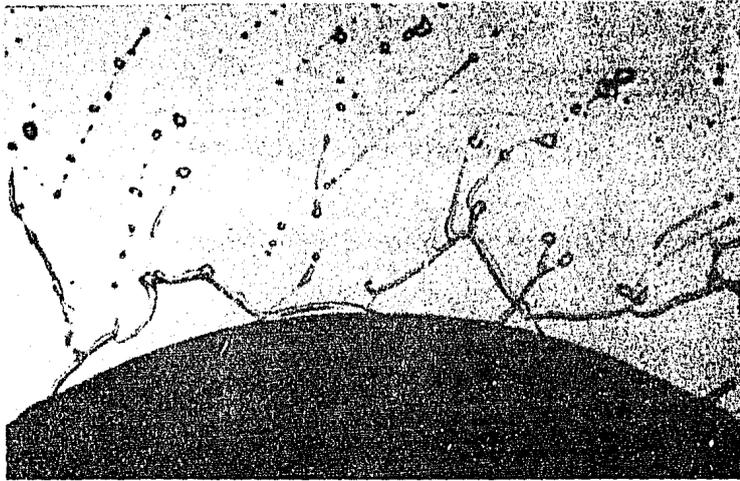


Figura 1.20 B. Desintegración del fluido en un atomizador rotatorio.

CAPITULO 2

TECNICAS DE MUESTREO PARA EL ANALISIS DE ATOMIZADORES.

Con el objeto de desarrollar una tecnología en atomización y debido a que ninguno de los atomizadores utilizados proporcionan un diámetro de gotas único, se han estudiado las técnicas de muestreo que permiten su caracterización y cuyas bases se presentan a continuación:

2.1. Métodos Mecánicos.

Estos se basan en la captura de muestras representativas del aerosol, que serán medidas posteriormente de manera directa o después de calibración.

Entre los métodos incluidos en este grupo se pueden mencionar los siguientes:

2.1.1. Captura de gotas en placas.

Este ha sido uno de los métodos aplicados inicialmente para el estudio de atomizadores, consiste en la captura de una muestra representativa del aerosol, la cual deberá tener una densidad de gotas pequeña, con el fin de evitar eventos de coalescencia que ocasionarían que el diámetro de gota medido no sea representativo del diámetro de gota real.

El principio en el que se basa esta técnica, es la deformación mecánica producida por el impacto de la gota sobre una capa que recubre placas de vidrio para microscopio.

Se pueden considerar recubrimientos sólidos y líquidos, de los cuales se presentan a continuación los utilizados en mayor escala.

Uno de los primeros recubrimientos utilizados fue el hollín, el cual se obtiene producto de la combustión deficiente de una vela, colocando el portaobjetos a recubrir encima de la flama, de esta manera se obtiene un recubrimiento liso y parejo. K.R. HAY

ha investigado ampliamente el óxido de magnesio, para su utilización como recubrimiento, éste se obtiene quemando una tira de -- magnesio y colocando el portaobjetos encima de la flama, con este procedimiento se obtiene un tamaño de grano aproximadamente 0.54.

Es importante mencionar que el espesor del recubrimiento superficial deberá tener como mínimo el diámetro de la gota, esto implica que al realizar el análisis, sean descartadas las gotas de un diámetro mayor al espesor del recubrimiento en esa placa.

Algunos otros recubrimientos son vaselina blanca, polivinil alcohol y mezcla de hollín y óxido de magnesio.

Una vez capturada la muestra del aerosol, el portaobjetos se analiza bajo un microscopio en el cual es posible medir el diámetro de la huella ocasionada por la gota.

Existen también una serie de recubrimientos en estado líquido o gel llamados líquidos de inmersión que pueden utilizarse como medio colector de partículas; en la literatura se reportan los siguientes:

Mezcla glicerina + agua + gelatina, aceite de silicón, solución en agua al 0.05 % de FC120 (una clase de Agente Fluórico activador de superficie) y aceite lubricante shell Carnea Oil (BF3) -- con los siguientes aditivos anilina - 3% en peso, benceno - 2 % en peso, vaselina - 8.0 % en peso.

Estos recubrimientos deben cumplir con las siguientes características:

1. Ser inmiscibles con el fluido atomizado
2. Menos denso que éste, con el objeto de prevenir que las gotas suban a la superficie y se diseminen.
3. Que sea capaz de disminuir la velocidad de coalescencia de las gotas.

Para la implementación del método por impacto se tiene que resolver primero el problema que implica la captura de una mues-

tra representativa del aerosol, ya que las placas recubiertas deberán permanecer expuestas a éste solo un instante, pues de lo contrario habrá un número de gotas tal que se unirán, inundando totalmente la placa.

Para resolver lo anterior, se utiliza un dispositivo obturador - el cual al colocarlo dentro del sistema de atomización en análisis, perturbará el flujo de aire, lo que ocasiona una desviación de las partículas mas pequeñas evitando su captura.

No obstante, si se hace la consideración de que el análisis de las partículas implica una distribución de tamaños, el hecho de que no se tomen en cuenta estas partículas afectará muy poco dicha distribución.

Otra desventaja es la tendencia de las gotas muy grandes a dividirse en cuanto impactan sobre la placa, esto se debe a Números de Weber ($We = \frac{\rho v^2 d}{\sigma}$), mas grandes de un cierto valor - crítico de ruptura; además de que ciertas gotas debido a la velocidad con la que viajan, al caer sobre la placa rebotan dejando una marca que no está bien definida, esto se puede solucionar descartando durante el análisis dichas huellas.

En general, el número de gotas analizadas deberá ser muy grande, - diversos autores proponen lo siguiente.

Bowen y Davies estimaron que dentro de un 95% de confiabilidad, - la exactitud del diámetro medio de volumen superficial para diversos cálculos es:

No. de Gotas	Precisión. (%)
500	+ 17
1400	+ 10
5500	+ 5
35000	+ 2

Nukiyama y Tanasawa midieron un mínimo de 500 gotas en cada muestra y la precisión total deducida es de + 15 %

Tate y Marshall demostraron que la precisión de la distribución de tamaño cumulativa es $\pm 1.75\%$ con un total de 1500 gotas y $\pm 0.5\%$ con 18500 gotas. Con lo anterior se puede ver que la caracterización exacta de un atomizador implica el análisis de un gran número de partículas, lo cual resulta en un consumo de tiempo alto, siendo esto otra desventaja en el análisis de la muestra con microscopio.

Lo anterior se puede solucionar si se cuenta con un aparato analizador que automáticamente obtenga diámetros de las partículas.

Cuando se utiliza un recubrimiento sólido cada uno de los diámetros de las partículas colectadas deberá afectarse por un factor de corrección ya que la gota al chocar con la placa aumenta ligeramente su tamaño, K.R. MAV ha estudiado ampliamente la variación del tamaño medido respecto al tamaño real, encontrando un aumento de 14% para todas las gotas de un mismo líquido.

Los líquidos de inmersión, si son bien seleccionados, es decir, si cumplen con las características descritas anteriormente, no presentan problemas de difusión de las gotas, por lo cual se puede considerar que el diámetro en la muestra es igual al diámetro real.

Los métodos por impacto presentan las siguientes ventajas:

1. El sistema utilizado para colección de muestras no es complicado de tal manera que su mantenimiento es muy simple lo cual resulta en un costo muy bajo de éste.
2. En el caso de recubrimientos sólidos, una vez que se ha realizado la difusión completa de la gota, las muestras pueden ser mantenidas indefinidamente.
3. El dispositivo obturador para captura de gotas es fácil --

de manipular; como no se requiere un mecanismo complicado la captura de gotas es relativamente sencilla.

4. Los recubrimientos mencionados se preparan fácilmente.

Una derivación del método descrito anteriormente, es el de impacto en cascada, su principio es el siguiente:

Las gotas más pequeñas conducidas por el flujo de aire viajan - bajo ciertas velocidades alrededor de una placa.

Si se coloca un dispositivo colector de gotas que tenga una boquilla convergente, ésta originará un aumento de velocidad del flujo de aire ocasionando que las gotas de mayores diámetros impacten sobre una placa recubierta con una mezcla de carbón u óxido de magnesio; como el flujo de aire alrededor de ésta conduce gotas de menor diámetro, se coloca una segunda boquilla la cual incrementará nuevamente la velocidad del aire, logrando que impacten gotas más pequeñas.

Uno de los dispositivos diseñados para el desarrollo de esta técnica se muestra en la fig. 2.1.

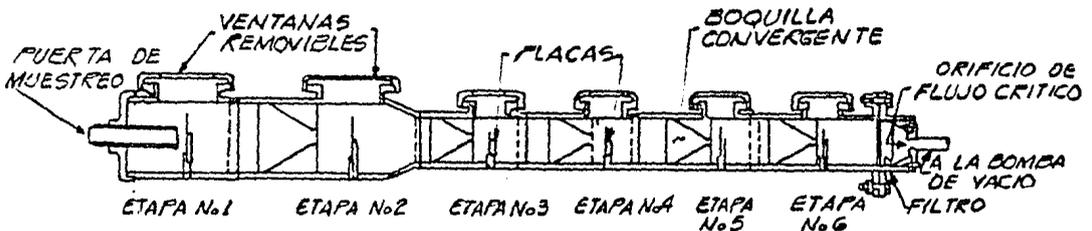


Fig. 2.1 Sistema para aplicación de la técnica de impacto en cascada.

Los reportes en cuanto al uso de esta técnica indican como desventajas las siguientes:

1. Para aerosoles con un límite superior de diámetro de gotas de 100μ , las gotas grandes tienden a impactar sobre las paredes de la boquilla del sistema colector.
2. El hecho de que todas las gotas deberán viajar a una velocidad igual es imposible de obtener en el caso de un aerosol real.

Basándose en lo anterior se puede concluir que el aplicar esta técnica para el estudio de atomizadores que manejan flujos y presiones altos sería poco efectivo.

Las técnicas descritas, con excepción de las que utilizan líquidos de inmersión, proporcionan diámetros de gotas mayores al diámetro real consecuentemente es necesario conocer el valor de la relación diámetro real/diámetro medido, para esto se han desarrollado técnicas "Absolutas" en las cuales el principio de colección de muestras es el mismo.

El primero de estos métodos es el de longitud focal estudiado por Bexon y Ogden. La teoría sobre la cual se basa este método, se describe a continuación:

Se supone que una gota de diámetro $2r$ al depositarse sobre una superficie de vidrio preparada toma la forma de una lente planoconvexa gruesa, la cual fue formada por dos esferas siendo una de ellas de un diámetro infinito r_2 .

La lente tiene un espesor t y un diámetro $2A$ (fig. 2.2) en el punto de contacto entre la superficie del vidrio y la lente elíptica (cuyo índice de refracción es A) se puede trazar una pendiente, el ángulo formado por ésta y la superficie del vidrio es el ángulo de contacto θ , este ángulo depende de la tensión -

interfacial pero es constante para gotas de cualquier tamaño de un mismo líquido.

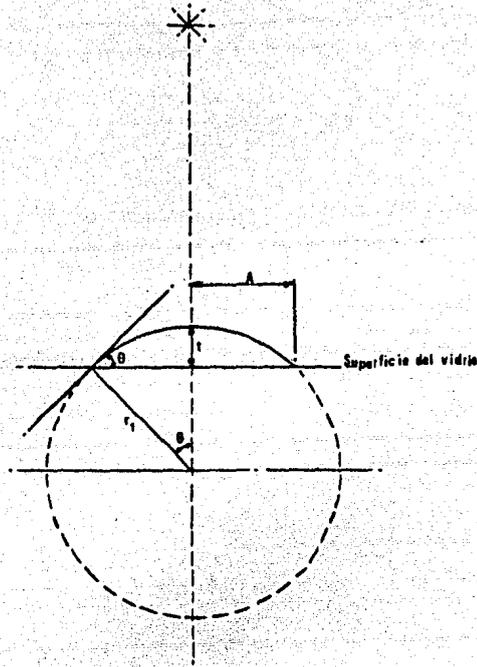


Figura 2.2 Modelo utilizado para desarrollo del método de longitud focal.

De la Fig. 2.2 se obtienen las siguientes relaciones:

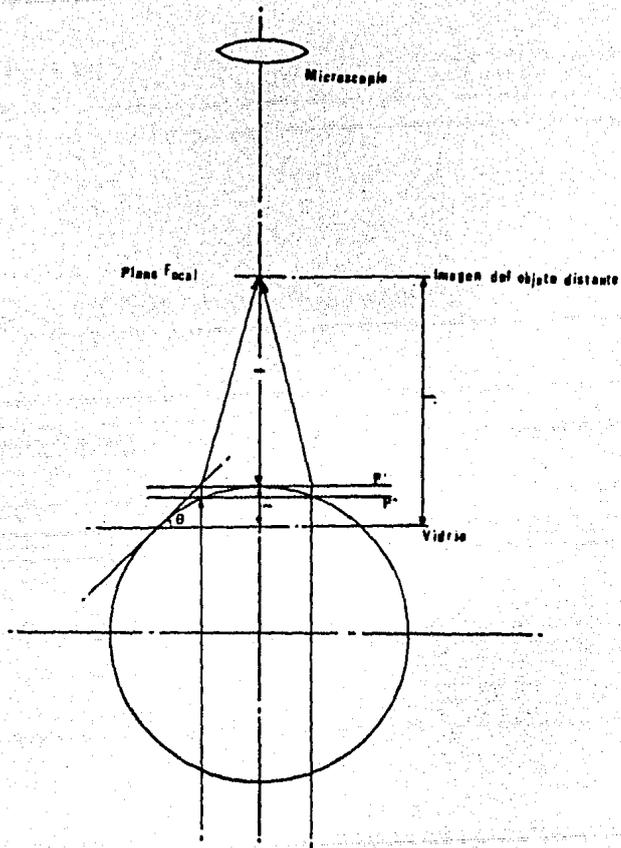
$$\operatorname{cosec} \theta = \frac{r_1}{A}$$

$$r_1 = A \operatorname{cosec} \theta$$

$$\cos \theta = \frac{r_1 - t}{r_1}$$

$$t = r_1 \cos \theta + r_1$$

$$t = r_1 (1 + \cos \theta)$$



Objeto
Fuente de luz en el infinito
Fig. 2.3. Lente vista desde arriba de la superficie del vidrio.

Cuando se analiza una lente líquida, se supone que las fuerzas superficiales son mucho mayores a la fuerza gravitacional.

Se pueden presentar dos casos, el primero supone que la lente es vista desde arriba de la superficie del vidrio, en el segundo la lente es vista a través del vidrio.

1. Lente vista desde arriba de la superficie del vidrio.

Una fuente de luz que se encuentra a una gran distancia, emite un haz que al golpear la superficie curva de la lente será aún paralelo (fig. 2.3) por lo que el espesor e índice de refracción de la capa de vidrio no son importantes.

Este haz de luz formará una imagen en el plano focal de la lente líquida; como se está tratando con una lente gruesa, ya que el espesor t comparado con la distancia A en ningún momento es despreciable, ésta tiene dos planos principales uno de los cuales, es tangente a la superficie curva y el otro se encuentra a una distancia h de la primera.

Cuando la lente está iluminada por la parte plana, la longitud focal f estará localizada a una cierta distancia del plano principal P' , la cual puede calcularse con la siguiente relación:

$$f = \frac{r_1}{(\mu - 1)}$$

Donde f = Longitud focal
 r_1 = Radio de curvatura de la lente
 t = Espesor de la parte central de la lente
 μ = Índice de refracción del aire.

El tubo de extensión del microscopio, cuando se enfoca la parte plana de la lente líquida y posteriormente la imagen del objeto distante, sufre un desplazamiento $f' = f + t$
 Sustituyendo (1) y (2)

$$f' = r_1 \left[\frac{1 + (1 - \cos \theta)(\mu - 1)}{(\mu - 1)} \right]$$

$$F = \frac{f'}{2A} = \frac{r_1 \operatorname{cosec} \theta}{2r_1} \left[\frac{1 + (1 - \cos \theta)(\mu - 1)}{(\mu - 1)} \right]$$

$$F = \frac{\mu - (\mu - 1) \cos \theta}{2(\mu - 1) \operatorname{sen} \theta} \dots (3)$$

De esta ecuación se puede obtener el ángulo de contacto θ : con siderando que el ángulo de contacto θ es $\leq 68^\circ$

$$\cos \theta = \frac{\mu + [\mu^2 - (\mu F^2 + 1)(-4F^2(\mu - 1)^2 + 4t^2)]^{1/2}}{(\mu - 1)(4F^2 + 1)}$$

Igualando el volúmen de la gota antes y después de la deposición.

$$\frac{4}{3} \pi r_1^3 = \frac{1}{6} \pi t (3A^2 + t^2)$$

$$r_1 = \sqrt[3]{\frac{t(3A^2 + t^2)}{8\pi}}$$

2. Lentes vistas a través del vidrio. En este caso la luz paralela encuentra primero la superficie convexa por lo que se deben considerar en el análisis el espesor T y el índice de refracción del vidrio n' .

Se analizará el caso en que la longitud focal de las lentes líquidas es menor a T .

La imagen del objeto distante se forma dentro de la gota a una distancia f de la cara plana de las lentes, donde

$$f = n' \left\{ R n' / (n' - 1) - T \right\} / n'$$

en la cual

n' es el índice de refracción del vidrio

f es la distancia dentro del vidrio y no el movimiento f' del microscopio. Hay un efecto de profundidad aparente y se obtiene $f' = n' f$ por lo que

$f' = \left\{ R n' / (n' - 1) - T \right\} / n'$ y el movimiento del microscopio es independiente del espesor T y del índice de refracción del vidrio. Usando un método similar al caso anterior se obtiene:

$$F = f' / 2A = \frac{1 + (n' - 1) \cos \theta}{2(n' - 1) \sin \theta}$$

$$\cos \theta = \frac{-1 + \sqrt{1 + (1 + 4F^2 n'^2)(1F^2 n'^2 (n' - 1)^2 - 1)}}{(n' - 1)(1 + 4F^2 n'^2)}$$

El segundo método para calibración de técnicas por impacto, en principio requiere una capa de un material altamente viscoso y liso, de la misma densidad de las gotas que van a ser medidas pero con un índice de refracción diferente.

Las gotas son capturadas en este recubrimiento e inmediatamente

te después se coloca encima de esta otra placa que contenga una capa del mismo material, pero caliente, de tal manera que la primera capa se derrite y las gotas se mantienen como una esfera.

Cuando esta matriz se enfría, las gotas se preservan por 24 horas o más y entonces se puede medir su diámetro en el microscopio, siendo éste el diámetro original de la partícula.

2.1.2

Sedimentación.

El desarrollo de esta técnica está basado en la teoría de que -- las partículas componentes de un mismo fluido pero en diversos -- tamaños, tienen velocidades terminales de sedimentación diferentes, es decir, si una gota con una componente de velocidad horizontal se inyecta perpendicularmente a un flujo de aire estable, está viajando en él una cierta distancia hasta caer.

La distancia mencionada depende del tamaño de la gota.

Para la implementación de esta técnica Janerus et. al. diseñaron una cámara de sedimentación que en forma general se describe enseguida.

El piso de una cámara de sedimentación se dividió en cajas perpendiculares al flujo de aire, teóricamente en cada una se deposita una fracción de masa de un tamaño específico.

Con el objeto de obtener un flujo de aire distribuido uniformemente, se colocó una mampara perforada a la entrada de la cámara y un filtro a la salida, así como aletas estabilizadoras de aire.

El sistema de aire es cerrado para evitar cualquier evaporación de las gotas líquidas.

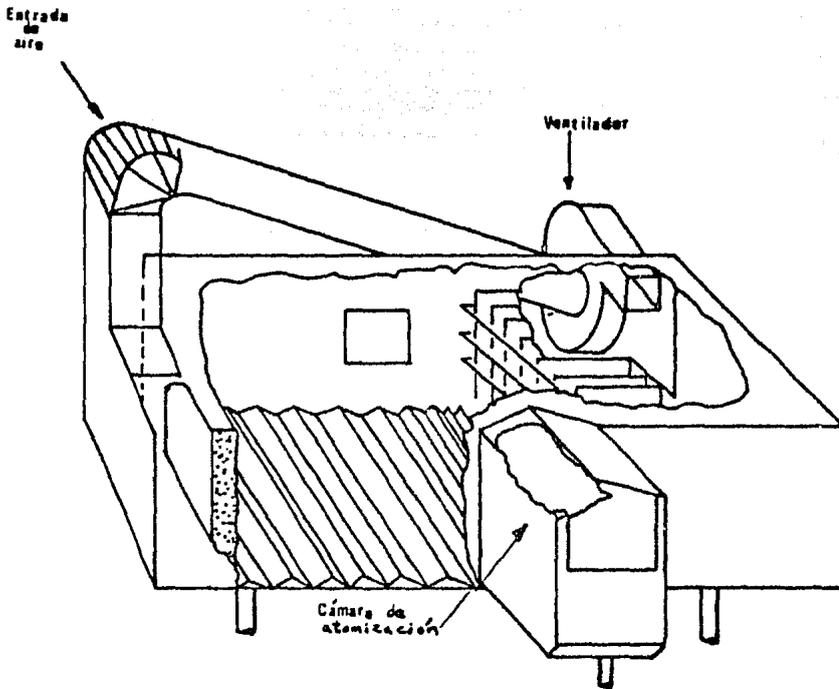


Fig. 2.4 Vista esquemática de Cámara de Sedimentación.

Una parte del aerosol menor a 1 g/s entra a la cámara de sedimentación a través de una abertura rectangular -cuyas dimensiones son tales que ocasionen un mínimo de disturbios en el aerosol; como el atomizador tiene un mecanismo por medio del cual se mueve en cualquier dirección angular, puede muestrearse a lo largo de su sección transversal.

De acuerdo a su tamaño, las gotas sedimentarán a una distancia -corta las mas grandes y las pequeñas recorrerán una distancia mayor.

La fig. 2.4 muestra una vista general de la cámara de sedimentación descrita.

Las ventajas de la técnica para determinar distribuciones de tamaño de gota son las siguientes:

1. El muestreo se realiza para todas las partes del aerosol y cada parte se expone el mismo tiempo para eliminar --- errores de inconsistencia.
2. El trabajo requerido en cada medición es moderado.
3. Se puede utilizar cualquier fluido para atomización.

La desventaja de la técnica es que solamente se pueden cuantificar gotas mayores de 75 μ ya que la longitud de la cámara de sedimentación para gotas de un diámetro menor, sería muy grande.

2.1.3.

Método de cera.

El método de cera para análisis de atomizadores, implica la selección de una cera parafínica que al fundirse tenga propiedades similares a los aceites reales utilizados. Hasta el momento ha sido imposible encontrar esta cera, sin embargo en los experimentos se han utilizado ceras en las cuales las propiedades dominantes, durante el proceso de atomización, como son viscosidad y tensión superficial, se aproximan a una buena representación de los fluidos utilizados en atomización.

Debido a que inmediatamente que la cera sale del atomizador empieza a enfriarse provocando un cambio rápido en las propiedades físicas, el aerosol no tiene el tiempo suficiente para desarrollarse por completo bajo condiciones ambientales. En particular, el evento de coalescencia que ocurre en un aerosol de combustible no se verá reflejado en un sistema de cera debido a que las partículas solidifican. Como consecuencia de este mecanismo se espera que haya un número mayor de gotas pequeñas que las que podrían obtenerse en una situación real; aunque también el enfriamiento prematuro de la cera fundida posiblemente aumentaría el número de gotas de diámetros muy grandes, lo cual no se espera en un aerosol donde la viscosidad se mantiene constante.

De las consideraciones anteriores producidas por diferentes propiedades físicas entre el aerosol real y el producido con cera, se requiere que los procesos de enfriamiento y solidificación se retarden de tal manera que el aerosol se desarrolle completamente. Este requerimiento es difícil de alcanzar en la práctica.

De los sistemas desarrollados recientemente para la aplicación de esta técnica se muestra en la fig. 2.5 el diseñado por Tanasawa e Hiroyasu que a grandes rasgos funciona de la siguiente manera: La cera se mantiene en un recipiente (1) a una cier-

ta temperatura apropiada para atomización, de este una bomba -- (2) la succiona para descargar a una atomizador (3).

El fluido se atomiza en una cámara aislada térmicamente para permitir un desarrollo completo del fluido antes de solidificar. La barra (4) permite obstruir el flujo de cera, las gotas son separadas de acuerdo a su tamaño utilizando el principio de sedimentación, el ventilador (5) produce un flujo de aire que arrastra las gotas ya solidificadas.

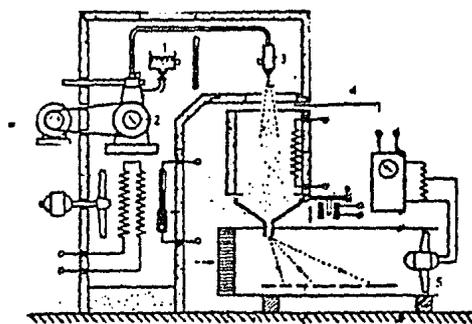


Fig. 2.5 Equipo utilizado para el desarrollo del Método de Cera.

2.1.4. Congelamiento.

Esta técnica se basa en el uso de nitrógeno líquido o algún otro fluido que proporcione un medio congelante para las partículas constituyentes del aerosol.

Durante las primeras etapas del desarrollo de esta técnica, las gotas eran capturadas por un fluido que era una mezcla de alcohol, agua y glicerina en la cual eran inmiscibles, posteriormente

te se transportaban hacia un recipiente con alcohol frío donde se congelaban. La naturaleza transitoria del medio colector --- era para reducir el riesgo de que las gotas que cayeran subsecuentemente, chocaran contra las ya capturadas.

El análisis posterior de las gotas se realiza pasándolas aún congeladas a través de una serie de tamices que se conservan en un sistema aislado térmicamente.

Alternativamente podría usarse la fotografía para análisis de -- las partículas.

Ultimamente se le ha prestado mayor atención a esta técnica y se han diseñado sistemas de congelación para su aplicación ya que presenta las siguientes ventajas:

1. Se puede obtener al mismo tiempo, una distribución del tamaño de gotas que integran todo el aerosol.
2. Se evita la desaparición de gotas muy finas debido a su evaporación.
3. Las gotas no se dividen en cuanto chocan con la superficie de colección.
4. Es aplicable para la mayoría de los líquidos.

Dentro de los problemas que se presentan para la aplicación de esta técnica, se pueden mencionar los siguientes:

1. Si el aerosol tiene una velocidad alta, es probable que las gotas no alcancen a congelarse, ocasionando su ruptura en cuanto impactan sobre una superficie.
2. Cuando se analizan sistemas de atomización de flujos -- grandes, el volumen necesario de nitrógeno líquido es alto, lo cual resulta en un costo excesivo.

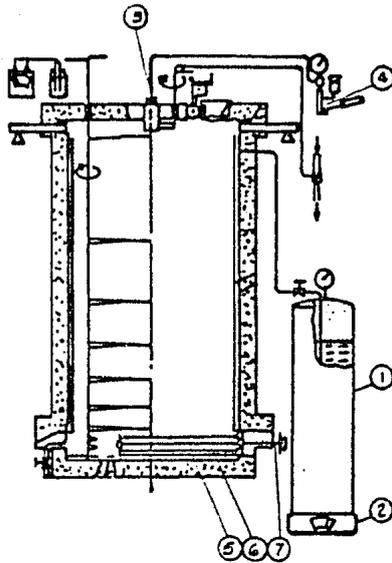


Figura 2.6 Sistema diseñado para la aplicación de la técnica por congelamiento.

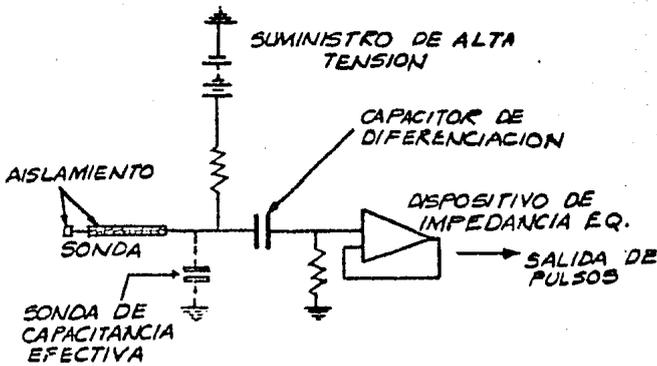


Figura 2.7 Circuito utilizado para el desarrollo de la técnica del alambre cargado.

Dentro de los últimos diseños de sistemas de congelación se encuentra el desarrollado por T. Karasawa mostrado en la fig. 2.6 El nitrógeno líquido se distribuye con una bomba "Dewer" (1) a la cámara de congelamiento para formar una atmósfera fría. El peso desalojado por la bomba se mide con una balanza (2) para controlar la alimentación de nitrógeno; el fluido de atomización se conduce al atomizador (3) con una bomba manual (4), las gotas congeladas caen sobre la película que se encuentra dentro de un cartucho (5) (6) (7).

2.2

Métodos Eléctricos.

A continuación se dará una breve descripción de los métodos para análisis de partículas, que se basan en la detección y análisis de pulsos electrónicos producidos por las gotas, para la construcción posterior de la distribución por tamaño de éstas.

2.2.1

La Técnica de Wicks-Duckler.

Esta técnica se fundamenta en el conteo de las pulsaciones que producen las gotas que llenan momentáneamente el vacío que hay entre dos agujas muy delgadas a través de las cuales existe una diferencia de potencial. Si este espacio entre las agujas de prueba se ajusta, se pueden obtener conteos de frecuencia en términos del tamaño de la gota.

El principal obstáculo de esta técnica, es la interacción aerodinámica entre la sonda y la corriente de aire conductora del fluido atomizado. Sin embargo esto es algo de poca importancia, si se compara con los problemas más esenciales relacionados con la precisión del análisis de datos.

Cuando se va a aplicar este método es necesario utilizar un fluido simulador que posea una conductividad eléctrica alta, esto -

implicará una desviación importante de las propiedades del fluido real.

Se ha encontrado que las propiedades del evento de puenteo en alta velocidad con un aerosol de alta densidad son tales que la sensibilidad que requiere el equipo de detección para un análisis exacto puede ser difícil de obtener.

Es posible que esta técnica se pueda utilizar bajo condiciones restringidas del fluido, pero las limitantes en cuanto a éstas, solamente pueden establecerse comparando los resultados con un método absoluto.

2.2.2 Técnica del Alambre Cargado.

Si una gota cae sobre un alambre cargado eléctricamente, arrastra una cantidad determinada de carga del alambre, la cual depende del tamaño de la gota. De esta forma convirtiendo esta carga transferible a un pulso de voltaje que pueda medirse, es posible desarrollar otro método para dimensionamiento de gotas.

En la literatura se reportan algunos dispositivos implementados a esta técnica; Gardiner y Bailey usaron un arreglo similar al que se muestra en la fig. 2.7 adaptado de tal manera que asegure lo siguiente:

1. La recuperación de la sonda para choques sucesivos.
2. Que no exista degradación de la señal.

En su estudio Gardiner investigó los diversos métodos disponibles para analizar un tren de pulsos de voltaje generados por una sonda de alambre cargado y llegó a la conclusión de que las pulsaciones producidas por el golpeteo de gotas de agua sobre el alambre, eran apropiadas para análisis automático. Las limitaciones del probador de alambre cargado parecen depender de una combinación entre la conductividad eléctrica del líquido y el flujo de gotas.

A medida que la conductividad disminuye al golpear una serie de gotas el alambre, la longitud del pulso se incrementa haciendo posible que exista sobreposición de choques sucesivos y por lo tanto, aumenta la probabilidad de tener errores en el conteo.

Este problema se podría solucionar diluyendo el aerosol, disminuyendo el tamaño de la sonda o utilizando un fluido de simulación de alta conductividad.

La primera solución imposibilita el uso del método para aerosoles de alta densidad, en tanto que la última introduciría cierta incertidumbre tal como desarrollo del aerosol diferente al real.

2.2.3

Técnica del Anemómetro de Alambre Caliente.

La temperatura constante del anemómetro de alambre caliente se basa en el principio de que una gota capturada en un alambre caliente con una resistencia determinada, provocará un enfriamiento local mientras se evapora, por lo tanto la resistencia del alambre disminuirá.

El dispositivo de medición de gotas proporcionará pulsos de voltaje hasta un valor tal que restablecer la resistencia a su valor original. Teóricamente, el análisis de estas pulsaciones debe dar información del tamaño de las gotas.

Moore y Bragg han realizado una serie de experimentos con el ob

jeto de encontrar la relación que hay entre la potencia del alambre caliente y el tamaño de las gotas. En un primer experimento utilizaron un atomizador que proporcionaba un solo diámetro de gota notando que los resultados eran inconsistentes, por lo cual llegaron a la conclusión de que había impactos en los cuerdos el alambre dejaba escapar una parte de la gota.

Esto implicaba que la velocidad de impacto era un parámetro importante. Por lo que controlaron la velocidad en sus experimentos de tal manera que los números de Weber no pasaran de 2.5. Un problema más que surgió bajo tales condiciones se debe al tiempo que tardan las gotas en evaporarse, ya que impactos sucesivos o simultáneos dentro de este lapso darían como resultado una superposición de pulsaciones y como consecuencia harían mucho más difícil la interpretación de la señal.

Otros investigadores dedicados al estudio de esta técnica están de acuerdo con la mayoría de los descubrimientos de Moore y han determinado realmente los límites de operación de la técnica.

La escala de tamaño que sugieren es de 1 a 600 μ , la velocidad máxima de 3 m/s y la máxima concentración es de 500 gotas por cada cm^3

Cabe mencionar que estos valores son mucho menores que los que proporcionan atomizadores industriales.

2.3

Métodos Ópticos.

Este grupo de técnicas tienen como principio la dispersión de la luz al incidir sobre las gotas que integran el aerosol; dentro de esta clasificación se pueden mencionar las siguientes: fotografía de alta velocidad, holografía, difracción laser y anemometría laser dopler.

2.3.1. Fotografía de Alta Velocidad.

La aplicación de la fotografía de alta velocidad para el estudio de aerosoles, se menciona en la literatura como uno de los métodos que proporcionan datos altamente confiables para el análisis de atomizadores, ya que el equipo utilizado para su implementación no requiere su inclusión directa en el aerosol, con lo cual el patrón de flujo de este no se afecta.

Existen diversas alternativas para el sistema óptico necesario para el desarrollo de esta técnica, pero en general todos tienen como base el principio que se indica a continuación; haciéndose notar que en la mayoría de los casos, el sistema óptico se monta con la fuente luminosa de un lado y la cámara en el otro. Una vez que se dispara el sistema, el haz de luz emitido por la descarga de un condensador en una atmósfera de argón ionizada, se concentra mediante una lente condensadora en la lente de la cámara fotográfica; de tal manera que la imagen de la fuente de chispa se forma en ésta.

El haz luminoso sigue una trayectoria entre el condensador y la lente fotográfica pasando a través del aerosol ocasionando que la imagen de la sombra de las partículas quede impresa en la película.

Lo anterior se observa en la fig. 2.8

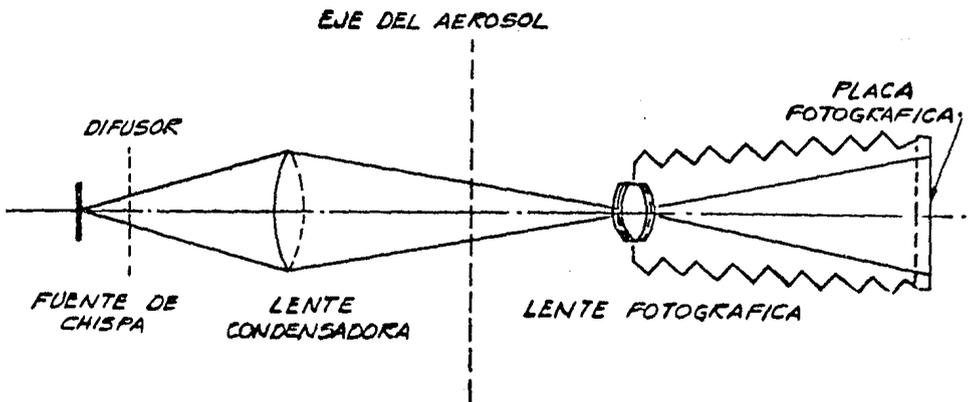


Fig. 2.8 Sistema Óptico para implementación de la técnica Fotográfica de Alta Velocidad.

Como las partículas del aerosol viajan a una velocidad alta, el intervalo de tiempo que se expondrá la película a este haz de luz debe ser muy corto, se mencionan tiempos de exposición de 0.1 hasta 3 microsegundos.

La técnica de fotografía de alta velocidad permite la interpretación directa en términos de tamaño y número de gotas así como la obtención de la velocidad a la que viajan las partículas integrantes del aerosol, ya que pueden utilizarse dos fuentes de chispa actuando una y después la otra en un intervalo de tiempo conocido. De esta manera la imagen de una partícula será captada en la placa fotográfica dos veces y midiendo la distancia recorrida por ésta en ese intervalo, se podrá calcular su velocidad.

Una vez obtenida la fotografía, las partículas se pueden analizar manualmente o con la ayuda de un aparato analizador de imágenes. Cabe mencionar que cuando se utiliza este aparato analizador de imágenes, se requiere una película que proporcione un contraste alto entre la imagen y el fondo, de lo contrario la decisión de tomar una gota como tal, muchas veces no es acertada.

La fig. 2.9 muestra una fotografía tomada por este método, nótese el número de partículas que aparecen fuera de foco.

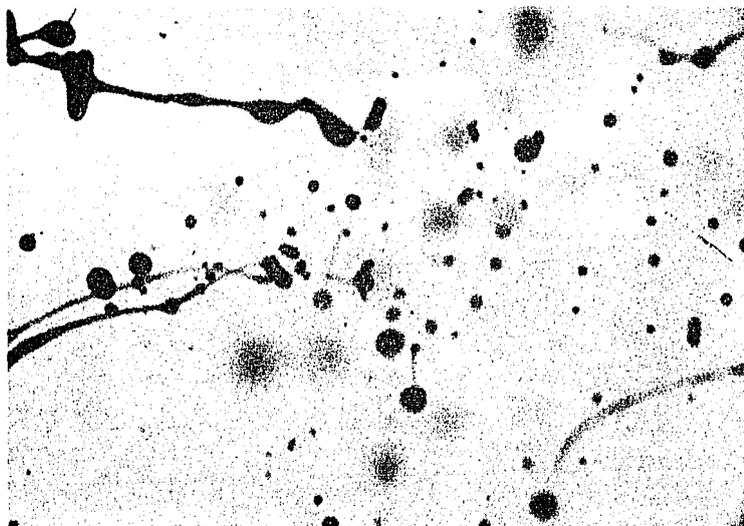


Fig. 2.9 Fotografía tomada con el método de fotografía de alta velocidad.

Las ventajas que presenta la técnica en cuestión son las siguientes:

1. No interfiere directamente con el aerosol, lo que evita una desviación del patrón de flujo del atomizador.
2. Una vez que se ha muestreado no se presentan errores por coalescencia o evaporación de gotas.
3. Puede ser utilizado en aerosoles de alta densidad.
4. Permite obtener velocidad de las partículas.

Entre las desventajas se pueden mencionar:

1. Debido a que la profundidad de campo de los sistemas ópticos utilizados es pequeña, algunas partículas estarán fuera de foco lo que ocasionará dificultad en su análisis.

2.3.2

Holografía.

La holografía es en principio, un medio de crear una imagen fotográfica a través del registro de las ondas de la luz reflejada - por el objeto de interés, en este caso que se analiza, son las gotas del aerosol. Incide sobre éstas un rayo de luz coherente, como es un laser.

Para producir un holograma, el rayo laser es conducido hacia un espejo, el cual desvía una parte de éste hacia el objeto y otra hacia la placa fotográfica; cuando las ondas de luz inciden sobre el objeto, éstas son reflejadas en forma de capas esféricas que son concéntricas alrededor de su punto de origen; éstas -- viajan hacia la placa fotográfica cruzándose con el haz de referencia; esto es, las respectivas longitudes de onda se combinan

creando en la película un patrón complejo de bandas y espirales llamados bordes de interferencia. Estos bordes consisten de -- áreas claras y oscuras alternadas.

Es necesario que los hologramas estén definidos claramente, ya que de lo contrario el análisis automático de estos será poco - confiable. En un experimento reciente en el cual fueron tomados hologramas de diversas partes del aerosol con varios espesores de la muestra, se encontró que un holograma tomado para un espesor de 2 mm era inadecuado para su análisis automático.

Se podría obtener una estimación aceptable de los tamaños de gotas mediante un análisis manual, pero el tiempo que se consumiría para un estudio completo de la distribución del tamaño de - gota, resultaría prohibitivo.

Aparentemente, la técnica holográfica no puede ser usada para - obtener distribuciones de tamaño de gota en atomizadores de gran capacidad.

2.3.3. Difracción de Rayo Laser

Cuando un haz de luz coherente como lo es un rayo laser se hace incidir sobre un aerosol, cada gota constituyente de dicho aerosol le provoca una difracción.

El patrón de difracción que se produce en un aerosol monodisperso es de la forma Fraunhofer, Este consiste de una serie de anillos concéntricos claros y oscuros alternados y cuyo espaciamiento depende del diámetro de la gota.

Sin embargo, si el aerosol consiste de un amplio rango de diámetros de gotas, se produce un gran número de patrones Fraunhofer cada uno de los cuales pertenece a un grupo de gotas de tamaños diferentes.

La ventaja principal de este sistema es la velocidad a la cual -- se acumulan y analizan los datos, permitiendo la caracterización completa del atomizador, en un tiempo corto.

La aplicación de esta técnica está limitada a un rango específico de densidades de aerosol ya que tan pronto como el aerosol es más denso, los eventos de dispersión son múltiples imposibilitando la interpretación exacta de los patrones de difracción.

2.3.4 Dispersión de la Luz en un Patrón de Interferencia.

El arreglo óptico básico para poner en práctica esta técnica, está constituido por un rayo convencional cruzado, un borde real y un anemómetro laser.

Cuando una gota cruza el patrón de borde formado por la interferencia de los rayos laser cruzados, ésta dispersa una señal oscilatoria. Farmer ha mostrado que la relación entre la visibilidad de esta señal, el tamaño de la gota y el espaciamiento del borde, se pueden relacionar en términos de una función Bessel de primer orden.

La velocidad de una gota se puede obtener midiendo la frecuencia de oscilación de la señal, esto es el tiempo que tomó en pasar dos bordes contiguos.

En general, los sistemas para análisis de señales operan a través de una serie de filtros acoplados con lógicas para detección de errores, los cuales seleccionan los pulsos aceptables e incorporan un histograma generador, el cual clasifica y almacena hasta 10,000 lecturas.

Al igual que las anteriores técnicas ópticas la desventaja principal de ésta radica en la dificultad de su aplicación para condiciones de aerosol denso.

El resultado es una serie de patrones de difracción sobrepuestos.

Gran parte del trabajo para desarrollar la técnica de difracción laser ha sido realizado por Swithenbank et. al. usando el sistema óptico que se muestra en la fig. 2.10

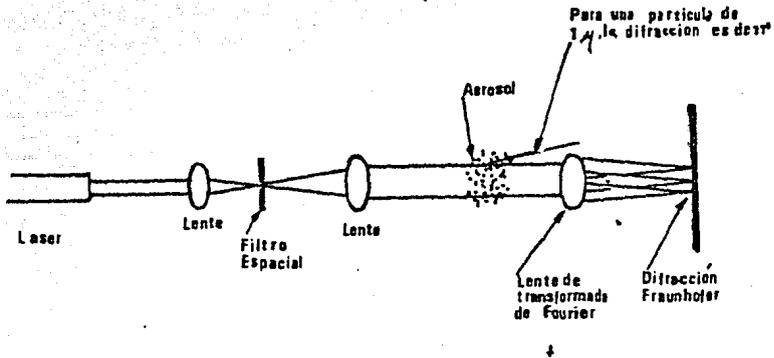


Fig. 2.10 Esquema del sistema óptico utilizado para la Técnica de Difracción Laser.

Para su análisis, la información de la energía de la luz, es extraída del patrón de difracción por un detector fotoeléctrico - que consiste de 31 anillos fotosensibles circulares que rodean - un círculo central. Por lo tanto cada anillo es más sensible - a un grupo determinado de gotas de un cierto tamaño. Una computadora puede interpretar la distribución de la energía de la luz como una medida de la distribución del tamaño de gotas.

Se ha observado que cuando la densidad del aerosol es tal que en el espacio comprendido por los bordes de interferencia, existe más de una gota durante un muestreo, la señal de respuesta no la interpreta el sistema analizador.

Otra limitación de la técnica radica en el requerimiento de una señal de alta calidad para considerar mediciones representativas; ésta es difícil de alcanzar ya que la señal tiene que pasar a través de un volumen significativo de gotas ocasionándose una degradación de ésta. Asimismo, las gotas deberán ser esféricas y esta condición no se presenta cerca del atomizador.

CAPITULO 3

DISEÑO Y SELECCION DEL EQUIPO EXPERIMENTAL

3.1 Introducción

El proceso de atomización es muy importante en la combustión de combustibles líquidos, por lo cual en el T I E se han destinado recursos para la investigación de este fenómeno y su interrelación con la combustión. Actualmente se cuenta con una Cámara de Combustión, equipo en el cual se pueden simular los procesos de combustión que se desarrollan en un Generador de Vapor real.

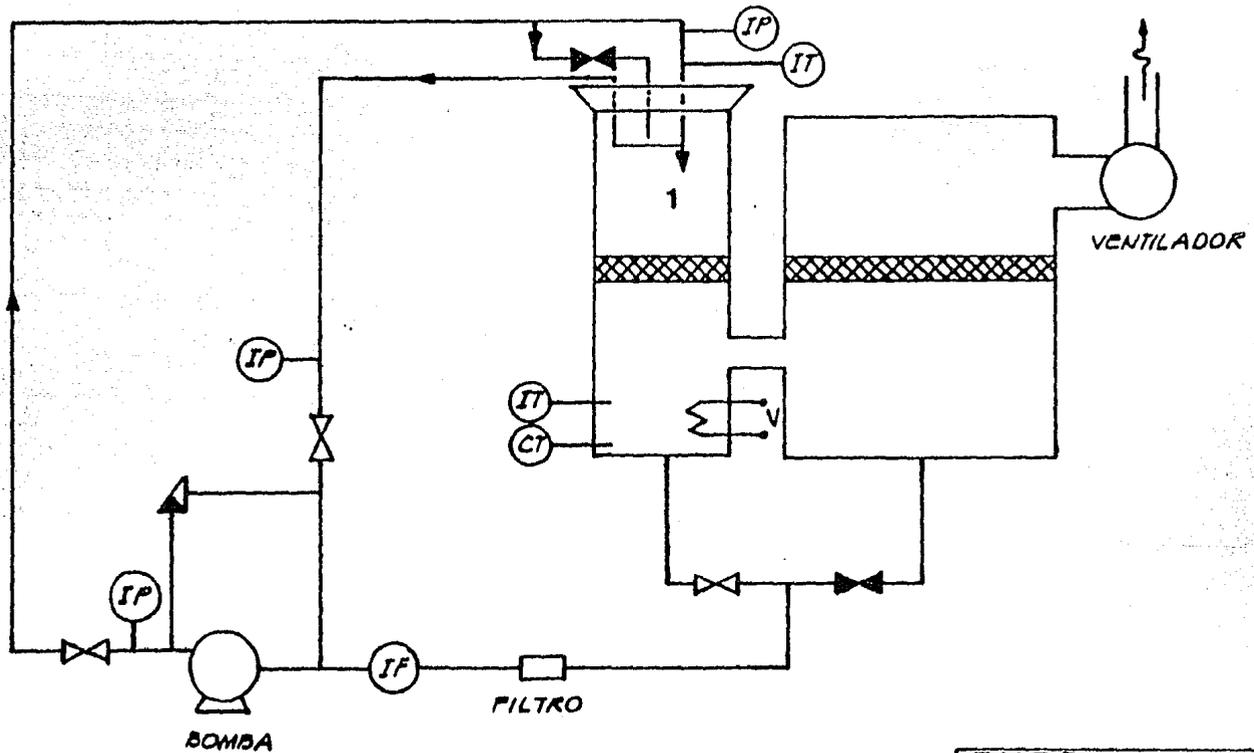
En el quemador de esta Cámara de Combustión se emplean varios atomizadores del tipo mecánico, con diferentes características, por lo tanto es importante conocer el patrón de atomización que generan, para que al utilizarlos en la Cámara de Combustión se determine cual es el mas eficiente.

En base a la información presentada en el capítulo anterior se ha seleccionado la técnica de muestreo por impacto para caracterización de un atomizador de los anteriormente mencionados, ya que se pretende encontrar los problemas que implica la implementación en campo de una técnica sencilla para análisis de atomizadores.

La caracterización de este atomizador se realizará con un Banco de Atomización el cual debe estar formado esencialmente por un sistema de aceite y un sistema de aire, el primero tendrá el equipo necesario para bombeo del aceite hacia el atomizador, colección del aceite atomizado y calentamiento del mismo, para nuevamente ser bombeado.

El sistema de aire tiene por objeto arrastrar las partículas atomizadas para que no se presente un retroceso de éstas y se forme una niebla que interferiría para realizar un muestreo correcto.

La figura 3.1.A muestra el diagrama de flujo del sistema de aceite y en la figura 3.1.B se presenta esquemáticamente el Sistema de Aire.



ENEP-UNAM	
INGENIERIA	
TITULO- DIAGRAMA DE FLUJO	
DEL SISTEMA DE ACEITE	
TEMA	ALUMNA: MA. ESTELA
PROFESIONAL	IBARRA MERMANECZ
ACOT. SIN	FECHA. DIA MES

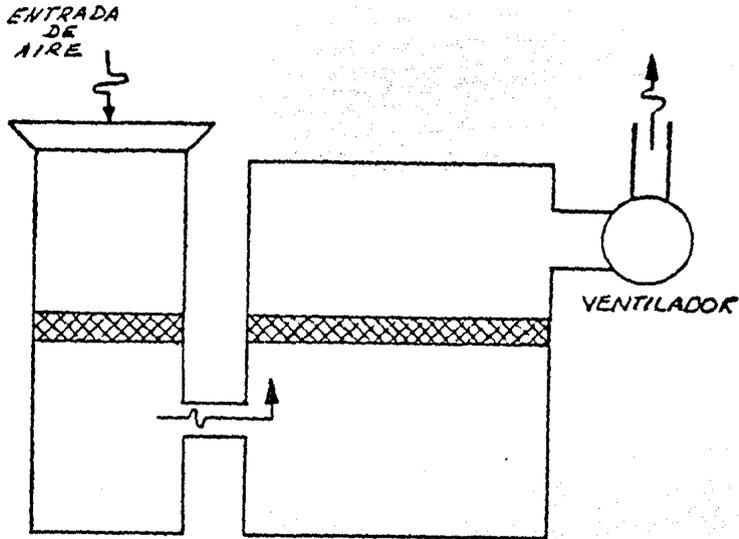


Fig.3.1.B Diagrama esquemático del sistema de aire.

3.2 Selección del Fluido Simulador.

En el Banco de Atomización se utilizará un fluido simulador debido a la imposibilidad de emplear combustibles como fluido de atomización, ya que este tendría que calentarse para obtener una viscosidad adecuada para bombeo y atomización, por esto su manejo sería peligroso ya que al aumentar su temperatura, su punto de inflamación disminuye.

La investigación que realiza el I I E sobre el área de atomización -- contempla la implementación de la técnica fotográfica, además de la -- técnica de muestreo por impacto, por lo tanto el fluido que se va a seleccionar debe cumplir con la característica de transparencia.

Este fluido simulador debe tener propiedades físicas similares al com

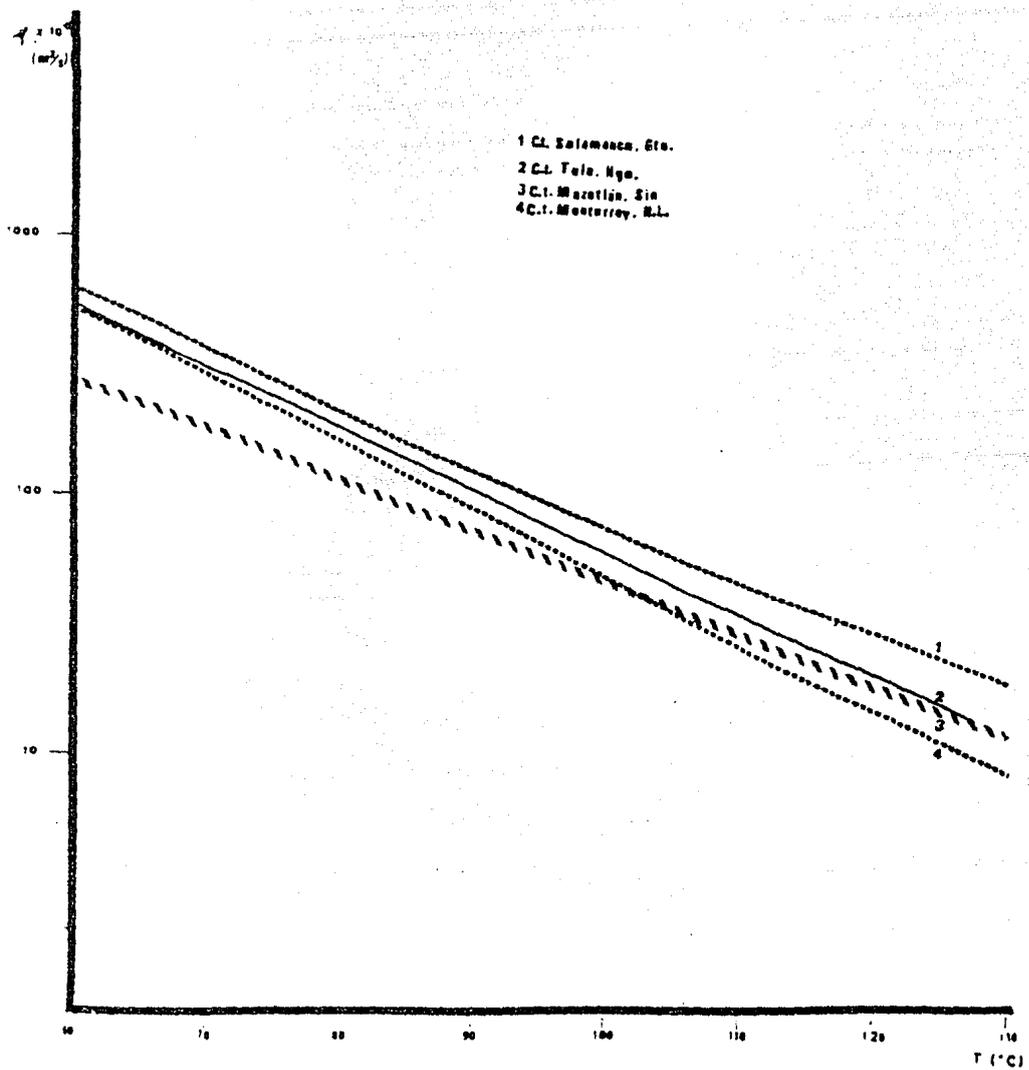


Fig 3.2 Viscosidad vs. Temperatura del combustible empleado en varias Centrales Termoeléctricas.

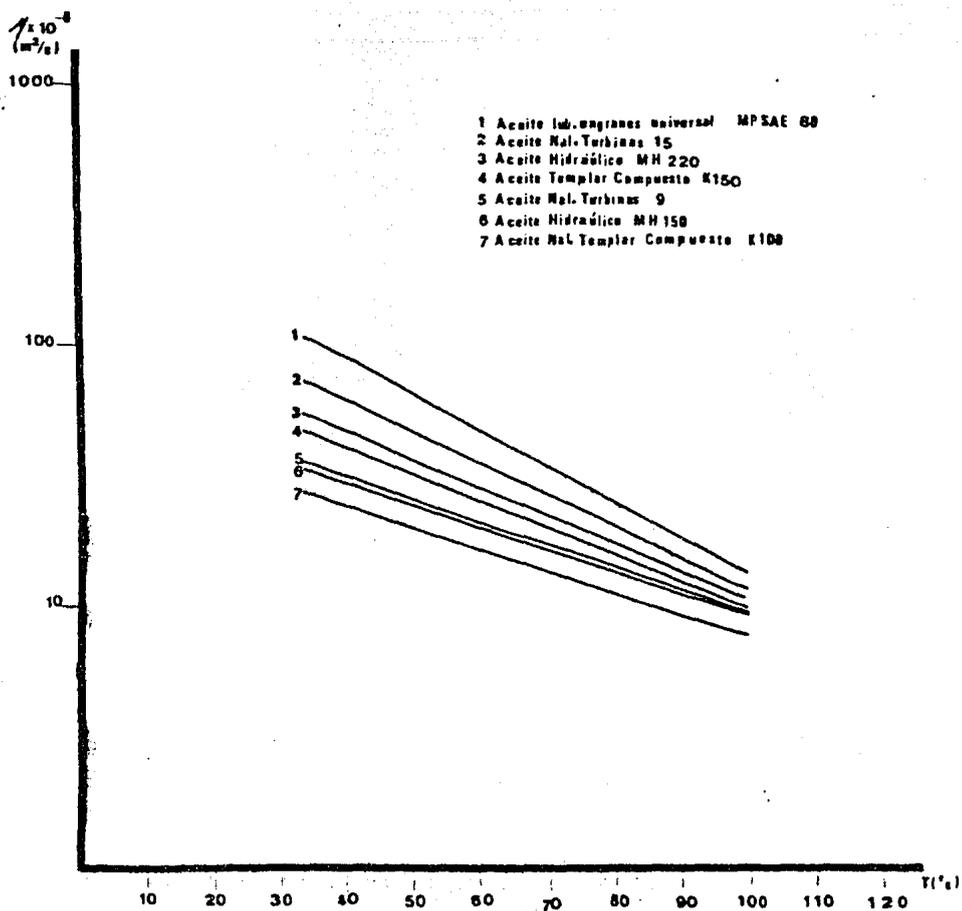


Figura 3.3 .Viscosidad vs. Temperatura para diferentes aceites comerciales.

combustible cuando se encuentra a la temperatura de atomización en los quemadores de un Generador de Vapor real; estas propiedades son: viscosidad, tensión superficial y densidad, siendo las más importantes las dos primeras.

De datos obtenidos en análisis químicos realizados a los combustibles que se queman en los Generadores de Vapor de varias Centrales Termoeléctricas se obtuvo la gráfica Viscosidad- Temperatura mostrada en la Figura 3.2

Se puede observar que para una temperatura de 130°C , que es la temperatura de atomización normal, las viscosidades correspondientes son -- $8.4 \times 10^6 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$, $11 \times 10^6 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$, $12 \times 10^6 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ y $18 \times 10^6 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ las cuales no rebasan el límite máximo de viscosidad para atomización que es de $8.76 \times 10^5 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$. Sin embargo como se observa existe una variación en viscosidad entre un combustible y otro, esto se debe a que no es posible realizar un análisis en el momento que el combustible llega a la Central Termoeléctrica ya que no se puede exigir al proveedor de este, un producto con características específicas debido a que su costo se elevaría.

El aceite simulador deberá caer dentro de este rango de viscosidad -- $(8.4 \times 10^6 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} - 18 \times 10^6 \frac{\text{m}^2}{\text{s}})$ cuando se encuentre a una temperatura lo más cercana a la temperatura ambiente. Para encontrar este aceite se llevó a cabo un análisis de disponibilidad de aceites en el mercado, encontrándose los que se presentan en la tabla 3.1

La figura 3.3 muestra la curva viscosidad vs temperatura de los aceites en estudio, nótese que el aceite que cumple con la característica mencionada es el denominado Nacional Tempstar compuesto K100.

TABLA 3.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DE ACEITES COMERCIALES.

	COLOR ASTM	GRAVEDAD ESPECÍFICA A 20/4 °C	TEMPERATURA DE INFLAMACION °C	VISCOSIDAD x 10 ⁶ m ² /s a 37.8 °C	VISCOSIDAD x 10 ⁶ m ² /s a 98.9 °C	TENSION SUPERFICIAL x10 ³ N/m a 25 °C
ACEITE HIDRAU- LICO HH-150	1.5	0.871	206	31.7	9.7	26.5
ACEITE HIDRAU- LICO HH-220	2	0.874	216	48.2	10.86	29.7
ACEITE LUB. ENGRANES UNIVERSAL MP SAE 80	2.5	0.892	204	99.8	13.9	30
ACEITE NACIO- NAL TURBINAS 9	1.0	0.865	208	32.5	9.8	29.6
ACEITE NACIO- NAL TURBINAS 15	1.5	0.874	220	65.9	12.0	29.6
NACIONAL TEMPLAR COMPUUESTO K100	2.0	0.864	186	25.0	7.4	29.8
NACIONAL TEMPLAR COMPUUESTO K150	3.0	0.875	208	42.4	10.8	29.8

El aceite Nacional Templar Compuesto K100 tiene las siguientes características físicas:

Apariencia		Brillante
Gravedad específica	20/4 °C	1.862
Gravedad específica	°AP1	32.5
Punto de inflamación	°C	186.0
Viscosidad	a 26 °C $\frac{m^2}{s}$	40.77×10^6
Viscosidad	a 35 °C $\frac{m^2}{s}$	26.0×10^6
Punto de escurrimiento	°C	- 10.0
Tensión superficial	a 26 °C $\frac{N}{m}$	28.3×10^3

Las figuras 3.4, 3.5 y 3.6 muestran la variación de la viscosidad, Tensión Superficial y Densidad con respecto a la Temperatura del Aceite Nacional --- Templar Compuesto K100

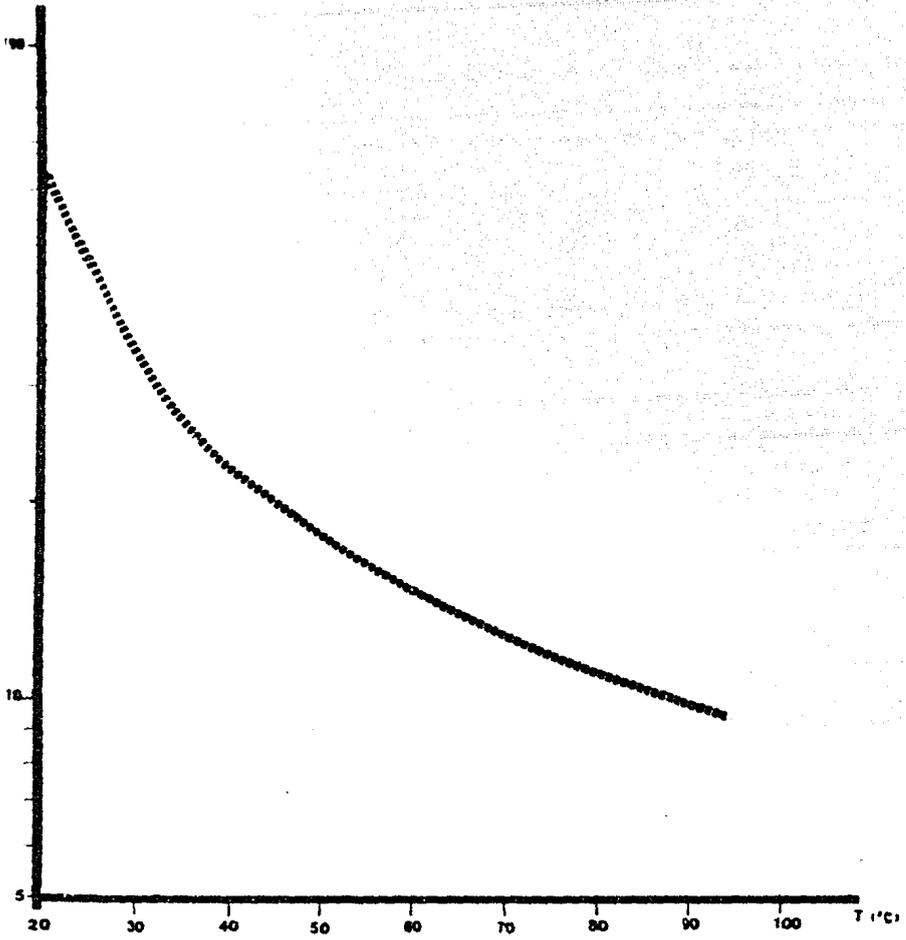


Figura 3.4 Viscosidad vs. Temperatura del Aceite Val. Tempilar compuesto K100.

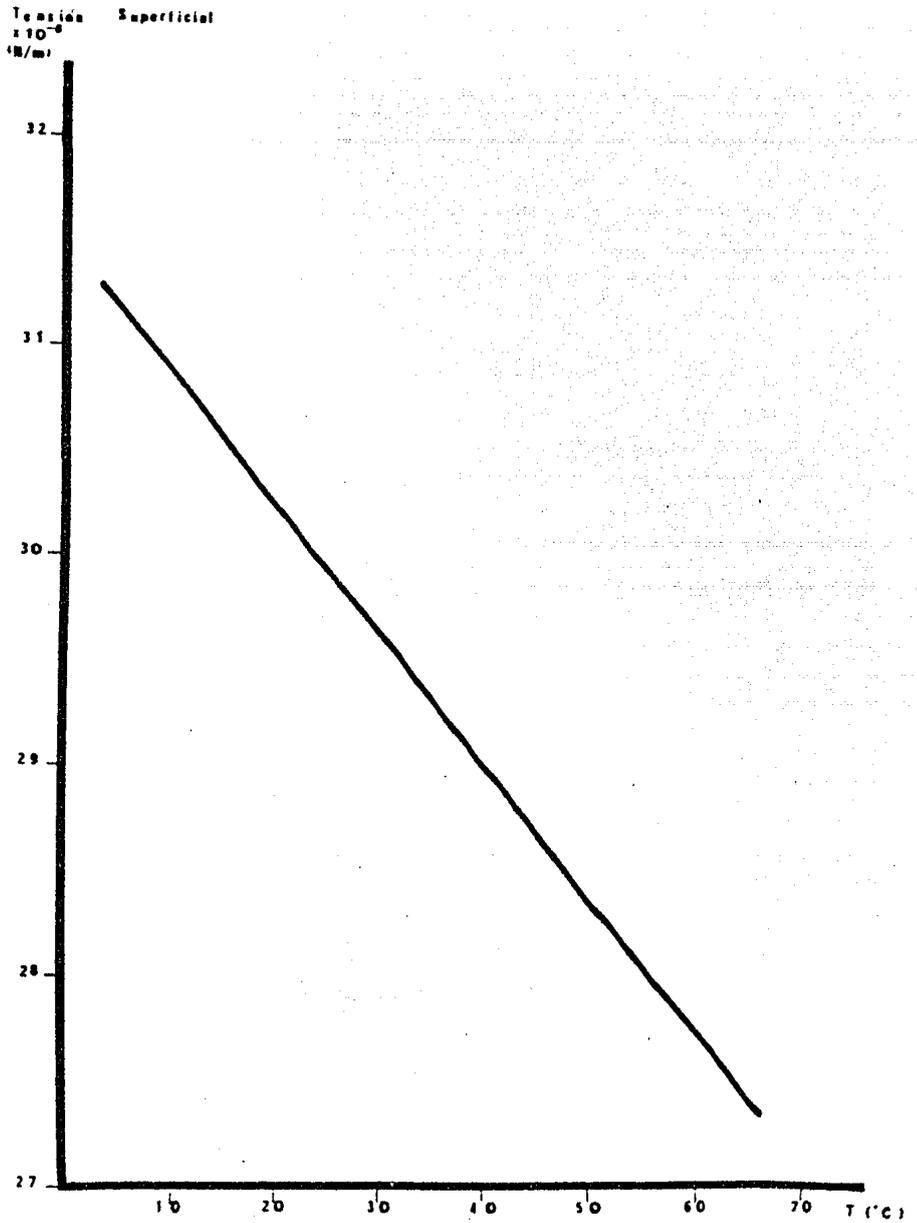


Figura 3.5 Tensión superficial vs. Temperatura del Aceite Val.Templar K100.

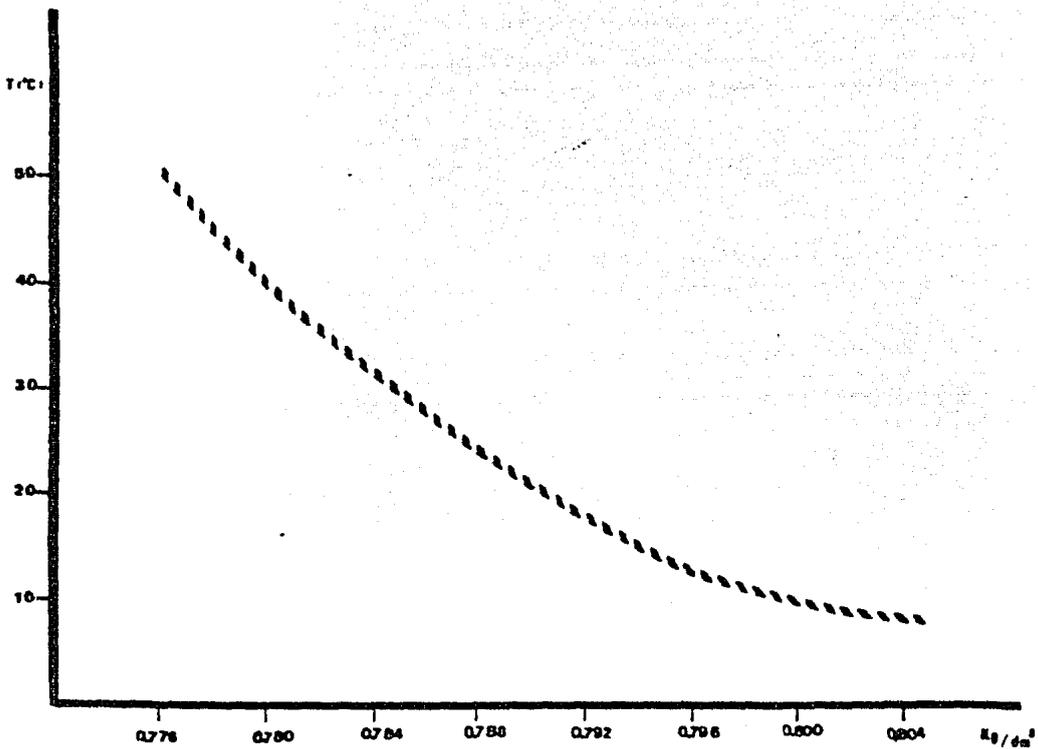


Figura 3.6 Densidad vs. Temperatura del Aceite Nat. Templar K100.

3.3 Diseño y Selección del Equipo.

3.3.1 Cámara de atomización.

La sección del Banco de Atomización en donde se llevan a cabo las pruebas necesarias para la caracterización del atomizador en estudio, se conoce como Cámara de Atomización; en esta sección se encuentra colocado verticalmente un cañón de atomización en el cual se sujetan los atomizadores en análisis.

En el diagrama de flujo del sistema de aceite se presenta con el número 1 la Cámara de atomización.

Con objeto de observar el desarrollo del fluido atomizado y tomar fotografías de éste, las paredes frontal y trasera serán de acrílico y en una de las paredes laterales se abrirá un área de 30 cm² para introducir el sistema obturador y aplicar la técnica de muestreo objeto de este trabajo.

Las dimensiones son estimadas en base a la distancia de formación de las gotas y a la necesidad de tomar muestras a diversas alturas.

Para estimar la distancia a la que empiezan a formarse las gotas se aplicó la ecuación de Benatt que es resultado de una serie de experimentos que correlacionados conducen a la siguiente ecuación:

$$L_B = 18.87 FN^{0.5} \Delta P^{-0.16} + 0.1778 \text{ cm}$$

donde

$$\begin{aligned} L_B &= \text{Longitud de rompimiento inicial de la película} \quad \text{cm} \\ FN &= \text{Número de flujo} = \frac{\text{Gasto de operación}}{\sqrt{\text{Presión de operación}}} \quad \frac{\text{m}^3/\text{h}}{(\text{Kg}/\text{cm}^2)^{1/2}} \\ \Delta P &= \text{Caída de presión a través del atomizador} \quad \text{Kg}/\text{cm}^2 \end{aligned}$$

Aplicando la ecuación anterior teniendo como datos:

$$Q = 0.05678 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$P = 14 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} = 1373 \text{ KPa}$$

$$d_1 = 0.0127 \text{ m}$$

$$d_2 = 0.00069 \text{ m}$$

$$T = 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\rho = 787.8 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

La caída de presión por contracción brusca a la salida del atomizador se calcula con la siguiente fórmula:

$$\Delta P = \frac{1}{2} (\Delta v)^2 e_v \frac{\rho}{g_c}$$

donde

$$\Delta v = (v_2 - v_1)^2$$

$$e_v = \text{factor para pérdidas por contracción brusca} \\ = 0.45 \left[1 - \frac{A_2}{A_1} \right]$$

Las velocidades v_1 y v_2 son de la ecuación de la continuidad:

$$Q = v_1 A_1 = v_2 A_2$$

$$v_1 = \frac{0.05678}{\frac{\pi (0.0127)^2}{4}} = 448.22 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0.1245 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_2 = \frac{0.05678}{\frac{\pi (0.00069)^2}{4}} = 151847.39 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 42.179 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$e_v = 0.45 \left[1 - \frac{0.4 \times 10^{-6}}{0.0001267} \right] = 0.4486$$

$$\Delta P = \frac{1}{2} (42.179 - 0.1245)^2 \cdot 0.4486 \left(-\frac{787.8}{9.81} \right)$$

$$\Delta P = 31856.73 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} = 312.4 \text{ KPa}$$

El número de flujo es igual a:

$$FN = \frac{0.05678}{\sqrt{14.0}} = 0.01517$$

Por lo tanto

$$L_B = 18.87 (0.01517)^{0.5} (3.185)^{-0.16} + 0.1778 \text{ cm}$$

$$L_B = 1.93 \text{ cm} + 0.1778 \text{ cm}$$

$$L_{B1} = 2.1078 \text{ cm}$$

$$L_{B2} = 1.752 \text{ cm}$$

De la revisión bibliográfica se obtuvo que como práctica usual se aumentan 40 cm a la longitud de ruptura del aerosol con el objeto de tomar muestras a diversos sectores de éste, por lo tanto la Cámara de atomización tendrá una longitud de:

$$L = 2.1078 + 40 = 42.1078 \text{ cm} \approx 45 \text{ cm}$$

Una vez establecida la longitud de desarrollo que tendrá el aerosol, se procede a calcular el ancho de la Cámara.

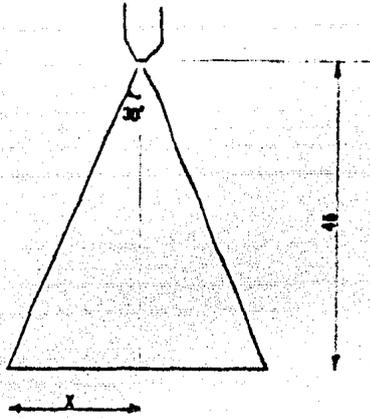


Fig. 3.6 Esquema del atomizador y aerosol para cálculo de las dimensiones de la Cámara de atomización.

De la figura 3.6

$$\tan 30^\circ = \frac{X}{45}$$

$$X = 45 \tan 30^\circ$$

$$X = 25.98 \text{ cm}$$

$$d = 2x = 51.96 \text{ cm} \approx 52 \text{ cm}$$

3.3.2 Atomizador.

El atomizador utilizado para experimentación es del tipo mecánico con retorno del fabricante Delavan con clasificación 6-45^o, el patrón de atomización que proporciona es del tipo sólido, con ángulo de atomización nominal de 45 °y maneja un flujo de $0.0227 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ (6 gal/h) para una presión de 689.5 KPa -- (100 psi).

Este atomizador es empleado comunmente en instalaciones de calefacción en las cuales se quema Diesel; en la Cámara de Combustión del IIE se utilizara para

quemar combustibles.

Se pueden mencionar a grandes rasgos las partes que constituyen el atomizador: entrada de aceite, filtro, distribuidor del aceite con ranuras tangenciales, cámara de torbellino, orificio y retorno. Cada una de estas partes se muestran en las Figuras 3.7 A y 3.7 B

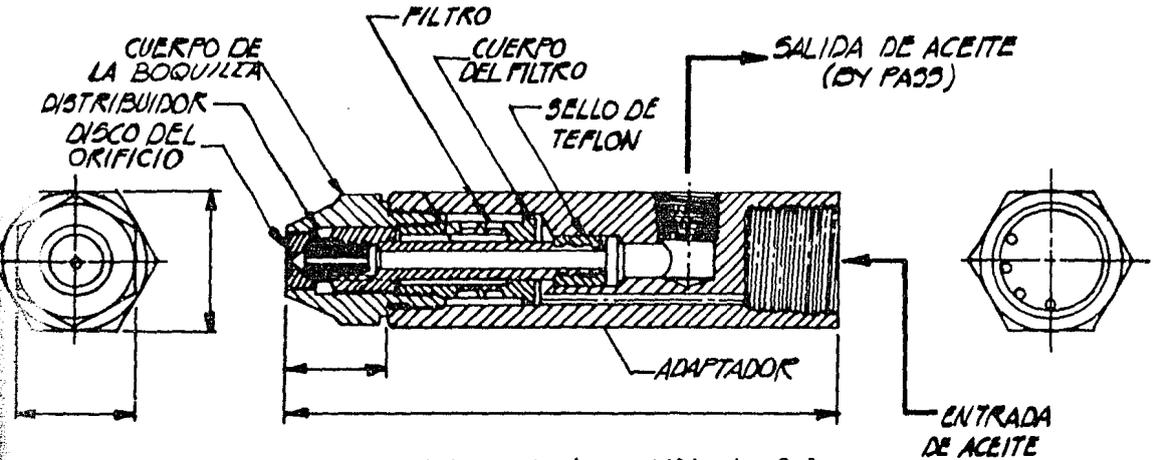


Fig. 3.7.A. Corte esquemático del atomizador utilizado, Delavan 6-45°



Fig. 3.7,B Aspecto físico de las partes integrantes del atomizador.

3.3.3 Tanque de almacenamiento.

El tanque de almacenamiento tiene como funciones; almacenar el fluido de atomización y recolectar las gotas que se aglomeran en una malla de colección. Está colocado en la parte inferior de la Cámara de Atomización y tiene una boquilla que se conecta a la succión de la bomba de alimentación.

El depósito tiene el suficiente volumen para almacenar más de lo que el sistema pudiera requerir a su máxima capacidad; una regla de aproximación dice que un depósito debe tener una capacidad tal que almacene tres veces el volumen máximo manejado por la bomba en diez minutos.

Por lo tanto:

$$V_{\max_b} = Q \times 10$$

donde V_{\max_b} = Volumen máximo m^3
manejado por la bomba de alimentación.

$$Q = \text{Flujo de aceite} \quad \frac{m^3}{\text{min}}$$

$$V_{\max_b} = 0.05678 \times \frac{1}{60} \times 10 = 0.009463 \text{ m}^3$$

el volumen mínimo del tanque es:

$$V_{\min_t} = 3V_{\max_b}$$

$$V_{\min_t} = 3 (0.009463) = 0.02839 \text{ m}^3$$

De los cálculos anteriores el área del tanque de almacenamiento es:

$$A = 52 \times 52 = 2704 \text{ cm}^2$$

por lo tanto la altura de este será

$$\lambda = \frac{\nu}{\alpha}$$

$$h = \frac{0.02839}{0.2706} = 0.1049 \text{ m} = 11 \text{ cm}$$

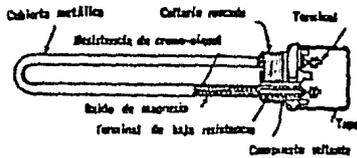
Las dimensiones del tanque son, en cm: 52 x 52 x 11.

En el tanque de almacenamiento se colocará una ventanilla de acrílico con objeto de observar el nivel del líquido. Dentro del tanque de almacenamiento se instalará un calentador de resistencia eléctrica para elevar la temperatura del fluido almacenado.

3.3.4 Calentador de resistencia eléctrica

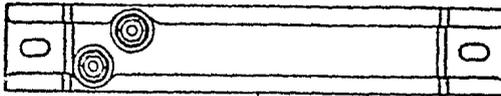
En el tanque de almacenamiento se instalará un calentador eléctrico de resistencia con el objeto de disminuir la viscosidad del fluido simulador hasta $27 \times 10^6 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ para obtener una buena atomización.

Los elementos calentadores por resistencias más comunes son de tres tipos: -- calentador por inmersión, calentador de tira aletado y calentador de tira, la figura 3.8 los muestra



Vista seccional de un calentador de inmersión de dos terminales (calor seco)

(a) CALENTADOR DE INMERSIÓN



(b) CALENTADOR DE TIRA

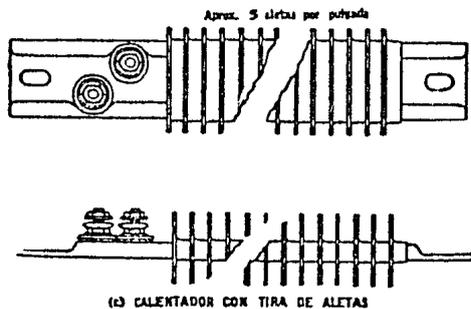


Fig. 3.8 Elementos calefactores de resistencias eléctricas para procesos comunes.

Los calentadores eléctricos consisten de resistencias embebidas en un material refractario protegidas con una cubierta metálica. Los calentadores por inmersión se usan para introducción directa en líquidos y se fabrican con cubierta de acero para aceite, pueden operar a temperaturas máximas de 400 °C. El calentador de tira se usa normalmente para calentamiento de sólidos de combustión y pueden usarse también para el calentamiento de aire y gases.

Las leyes que gobiernan el calentamiento de las resistencias eléctricas son las siguientes: Ley de Ohm, $I = \frac{E}{R}$ y Ley de Joule, $P = EI$

donde:

$I =$ corriente (amp)

$E =$ voltaje (volts)

$R =$ resistencia (ohms)

$P =$ potencia (watts)

El depósito de almacenamiento de dimensiones 52 x 52 x 11 cm. se llenará hasta una altura de 11 cm, es necesario calentar el aceite desde una temperatura de 26°C hasta 40 °C considerando una pérdida de temperatura de 5 °C a través del sistema.

El volumen de aceite es

$$V = 0.52 \times 0.52 \times 0.11 = 0.0297 \text{ m}^3$$

$$\text{por lo tanto } m = \rho V = 787.8 \times 0.0297 = 23.31 \approx 24 \text{ Kg}$$

El aceite tiene un calor específico de $1.6744 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}}$ en un rango de 0°C a 99.9°C

$$\text{De la ecuación } Q = m C_p \Delta t$$

$$Q = 24 \times 1.6744 [40 - 26]$$

$$Q = 562.59 \text{ Kj} = 134.5 \text{ Kcal}$$

se requiere que el aceite llegue a la temperatura de 40°C en un tiempo de --
10 minutos, por lo tanto la cantidad de calor que se debe agregar por minuto
es:

$$P = \frac{Q}{t} = \frac{562.59}{10} = 56.259 \frac{\text{Kj}}{\text{min.}} = 13.43 \frac{\text{Kcal}}{\text{min}}$$

$$P = 13.43 \times \frac{1}{60} \times 4.184 = 0.9385 \text{ KW} = 1000 \text{ Watts}$$

Conociendo la potencia requerida y el voltaje (E) de alimentación, es posible
calcular la intensidad de corriente (I) y el valor de la resistencia eléctrica
(R)

$$P = E I$$

$$I = \frac{P}{E}$$

$$I = \frac{938}{110} = 8.50 \text{ amperes}$$

de la ecuación

$$P = R I^2$$

$$R = \frac{P}{I^2} = \frac{938}{[8.50]^2} = 12.93 \Omega$$

De la tabla 3.2 la longitud de inmersión del calentador seleccionado es 22.86 cm

Tabla 3.2 Calentadores de Inmersión

Calentadores de agua, cubierta de cobre, temp. máx. 350°F						Calentadores de aceite, cubierta de acero, temp. máx. 750°F					
Watts	Watts/plg ² de inmersión	Longitud sumergida, plg	Colla. rin, plg IPS	No. de elementos	No. de tubos	Watts	Watts/plg ² de inmersión	Longitud sumergida, plg	Colla. rin, plg IPS	No. de elementos	No. de tubos
1,000	35	8	1½	1	1	1000	20	9	1½	1	1
2,000	35	10	2	2	2	2000	20	17	2	2	2
3,000	35	15	2	3	2	3000	20	25	2	3	2
4,000	35	20	2	3	2	4000	20	32	2	3	2
5,000	35	24	2	3	2	5000	20	41	2	3	2
7,500	35	30	2	3	4						
10,000	35	35	2	3	4						
Circulación forzada											
						5000*	35	25	2	3	3
						6000*	35	30	2	3	3
						8000*	30	33	2	3	4

* 230 volts solamente. Todos los demás 115 o 230 volts.

3.3.5 Bomba de alimentación.

La bomba de alimentación es el elemento que proporciona la suficiente energía al fluido simulador para llegar a la presión requerida en el atomizador.

Las bombas se dividen en centrífugas y de desplazamiento positivo, las primeras proporcionan al fluido energía cinética ($\Delta v^2/2g$) y las de desplazamiento positivo ceden energía potencial ($\Delta P/\rho$).

El diámetro de tubería adecuado para el tramo de succión se calcula en base a la velocidad recomendada para aceite lubricante que es de $1.8 \frac{m}{s}$ y al flujo máximo requerido por el sistema.

$$Q_{\max} = 0.05678 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

De la ecuación de continuidad:

$$A \cdot \frac{Q}{V} = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$\text{Por lo tanto } D = \left[\frac{4Q}{\pi V} \right]^{1/2} = \left[\frac{4 \times 0.05678}{6480 \times \pi} \right]^{1/2} = 0.00334 \text{ m}$$

$$D = 3.3 \text{ mm}$$

Debido a que comercialmente la tubería de acero al carbón céd. 40 más pequeña es de 3.17 mm (1/8") de diámetro nominal, con un diámetro interior (dint) de 6.8 mm, se utilizará esta tubería para los tramos de succión y descarga.

Por lo tanto la velocidad real es

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.05678}{\pi \left(\frac{0.0068}{4} \right)^2} = 1563.46 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$V = 0.434 \frac{\text{m}}{\text{s}} < 1.8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

El comportamiento del fluido en la tubería se puede conocer calculando el número de Reynolds, esto es:

$Re < 2000$	-	Flujo laminar
$2000 < Re < 20000$	-	Flujo de transición
$Re > 20000$	-	Flujo turbulento

Para el caso que se presenta, a una temperatura $T = 40 \text{ }^\circ\text{C}$

$$Q = 0.05678 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$d_{int} = 0.0068 \text{ m}$$

$$\rho = 787.8 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$v = 23 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} = 18.119 \text{ cP}$$

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{0.434 \times 0.0068}{23 \times 10^{-6}} = 128.3$$

$$128.3 < 2000$$

por lo tanto el flujo es laminar. El flujo de aceite en la tubería tiene un perfil de velocidad parabólico.

- Pérdidas por fricción en tubería recta.

Para régimen laminar, la caída de presión en tubería recta es:

$$\frac{\Delta P_u}{L} = 32000 \cdot \gamma \cdot \frac{v}{d^2}$$

donde ΔP_u = Caída de presión unitaria $\frac{(\text{Pa})}{\text{m}}$

γ = Viscosidad absoluta (cP)

v = Velocidad real (m/s)

d = diámetro interior real (m m)

$$\Delta P_u = 32000 \times 18.119 \times \frac{0.434}{46.24}$$

$$\Delta P_u = 5441.96 \frac{\text{Pa}}{\text{m}} = 5.441 \frac{\text{KPa}}{\text{m}}$$

$$\Delta P \text{ tubería recta} = \Delta P_u \times L_1 = 5.44 \times 8.2$$

$$\Delta P \text{ tubería recta} = 44.608 \text{ KPa}$$

- Pérdidas por fricción en accesorios

Accesorios	Cantidad	L/D	L/D Total
Codo 90°	4	30	120
Tee ramal	1	60	60
Tee recta	1	20	20
Válvula de compuerta	1	8	8
			208

Longitud equivalente por accesorios

$$L_2 = \frac{L/D \times d}{1000} = \frac{208 \times 6.8}{1000} = 1.414$$

$$\Delta P_{\text{accesorios}} = \Delta P_u \times L_2$$

$$\Delta P_{\text{accesorios}} = 5.441 \times 1.414 = 7.6935 \text{ KPa}$$

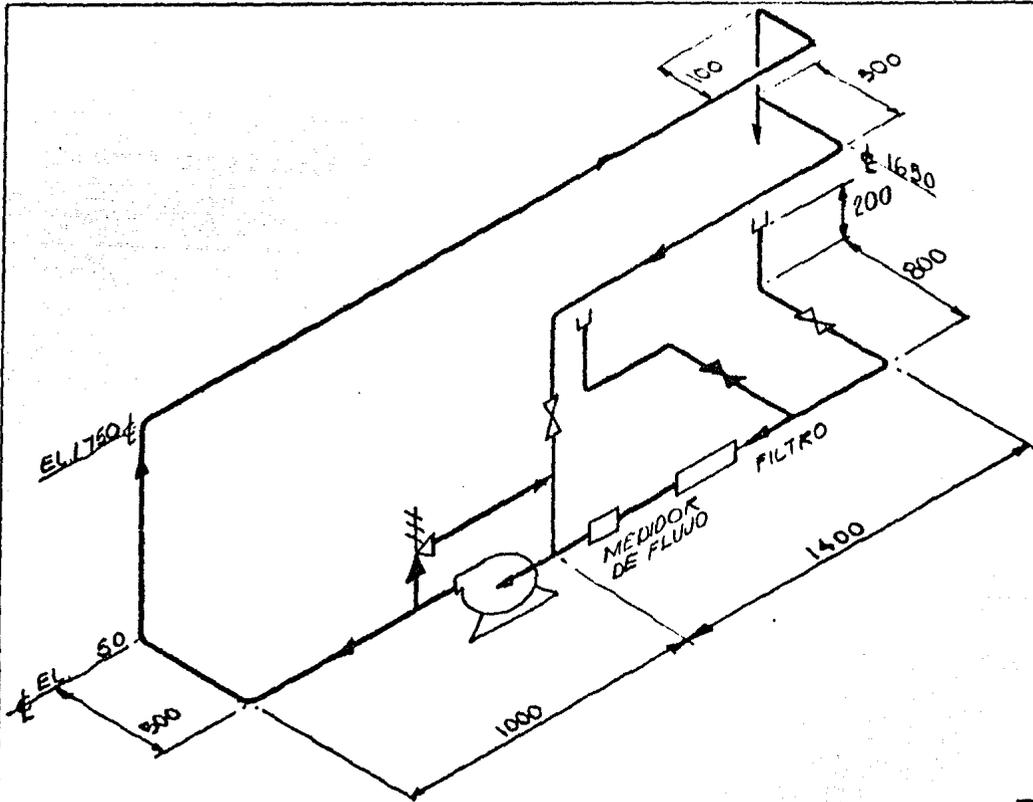
- Pérdidas por contracción en la salida del atomizador.

La pérdida por fricción en el atomizador se calculó en el inciso 3.3.1 de este capítulo dando un valor de

$$\Delta P = 3.18 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} = 312.4 \text{ KPa}$$

Una vez calculadas las caídas de presión individuales, la ΔP total a través del sistema es:

$$\Delta P_{\text{total}} = \Delta P_{\text{tubería recta}} + \Delta P_{\text{accesorios}} + \Delta P_{\text{orificio}}$$



ENEP - UNAM	
INGENIERIA	
TITULO - DIAGRAMA PRELIMINAR DEL SISTEMA	
TESIS PROFESIONAL	ALUMNA - MA ESTELA IBARRA HERNANDEZ
ACOT. mm	FECHA - 08/11/34

$$\Delta P_{total} = 44.608 + 7.693 + 312.4$$

$$\Delta P_{total} = 364.701 \text{ KPa}$$

Para tener una presión de atomización de 1372.9 KPa (14 $\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$), La presión de descarga que debe proporcionar la bomba es la siguiente:

$$P_D = P_{at} + \Delta P_{total} + P_{et}$$

donde

$$P_D = \text{Presión de descarga}$$

$$P_{at} = \text{Presión de atomización}$$

$$P_{et} = \text{Presión estática}$$

de la figura 3.9

$$P_{et} = (1.750 - 0.05) \cdot 787.8 = 1339.26 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} = 13.65 \text{ KPa}$$

$$P_D = 1372.9 + 364.701 + 13.65 = 1751.25 \text{ KPa} = 17.85 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \text{ m}$$

Por lo tanto la carga dinámica de la bomba es:

$$H_{din} = H_{de} - H_{su}$$

donde

$$H_{de} = \text{carga requerida en la descarga}$$

$$H_{su} = \text{carga de succión.}$$

$$H_{din} = (17.85 - 1.033) \frac{1}{787.8 \times 10^{-6}} = 21346.8 \text{ cm} = 213.46 \text{ m}$$

La potencia mínima requerida por la bomba

$$P = \frac{Q \cdot \rho_{\text{din}} \cdot P}{5116 \times 10^3}$$

$$P = \frac{0.9463 \times 213.46 \times 787.8}{5116 \times 10^3}$$

$$\underline{P} = 0.026 \text{ Kilowatts}$$

3.3.6 Ventilador

El ventilador tiene la función de inducir una corriente de aire dentro de la cámara de atomización con objeto de arrastrar las partículas de aerosol y evitar un retroceso de éstas, ya que interferirían para realizar un muestreo correcto.

Si se considera que la velocidad del aire debe ser mayor a 3 m/s para que exista un arrastre completo del aerosol, el flujo de aire que debe manejar el ventilador es el siguiente:

$$Q = V \cdot A$$

donde

V = velocidad del aire en el ducto

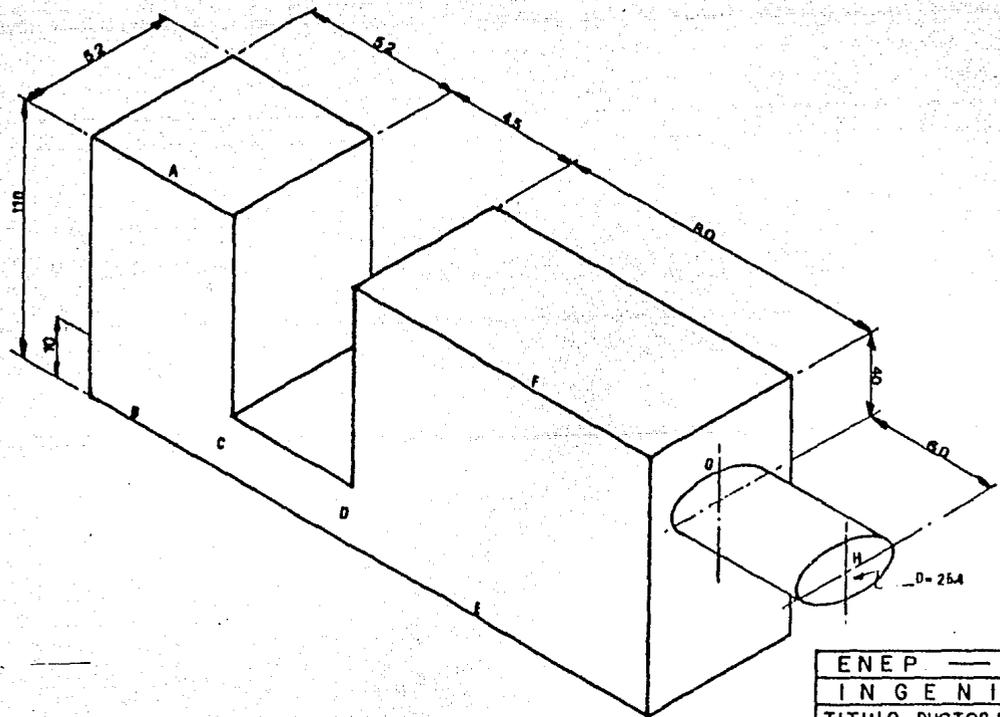
A = área de la cámara de atomización.

En este caso se calculará con una velocidad del aire de 5 m/s

$$A = 0.52 \times 0.52 = 0.2704 \text{ m}^2$$

$$Q = 5 \times 0.2704 = 1.352 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 2865.74 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}}$$

78



ENEP — UNAM		
INGENIERIA		
TITULO- DUCTOS DE AIRE		
TEMA	ALUMNA-MA ESTELA	
PROFESIONAL	IVARRA HERRANDEZ	
ACOT- CM	FECHA	DB No. 2.14

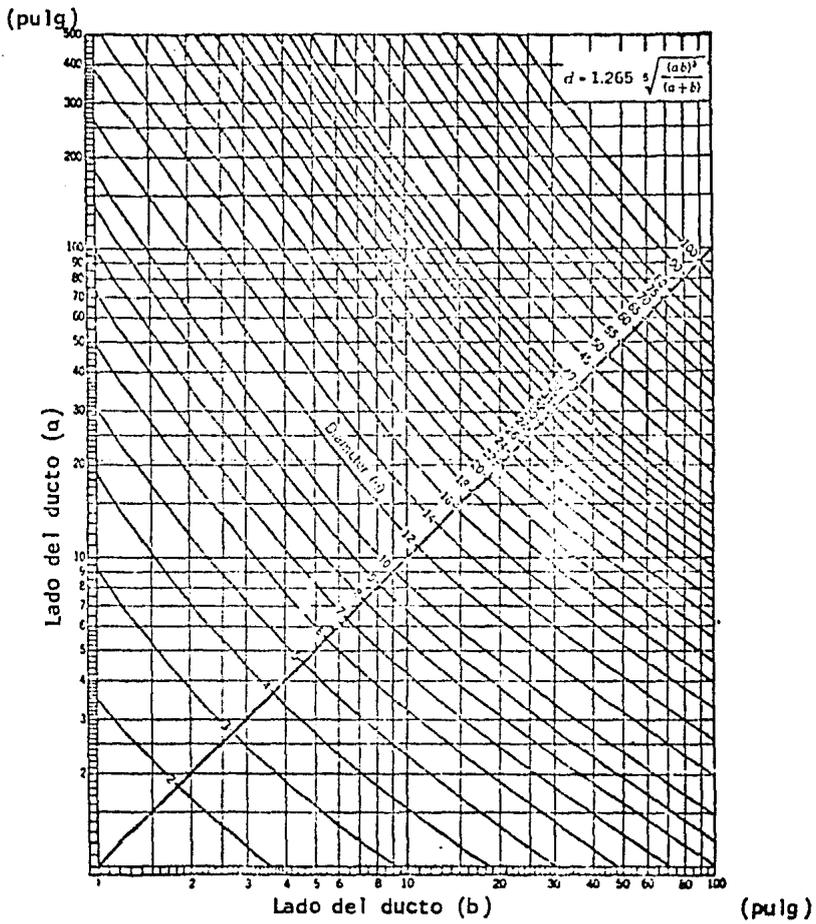


Figura 3.11 Diametros equivalentes de ductos rectangulares.

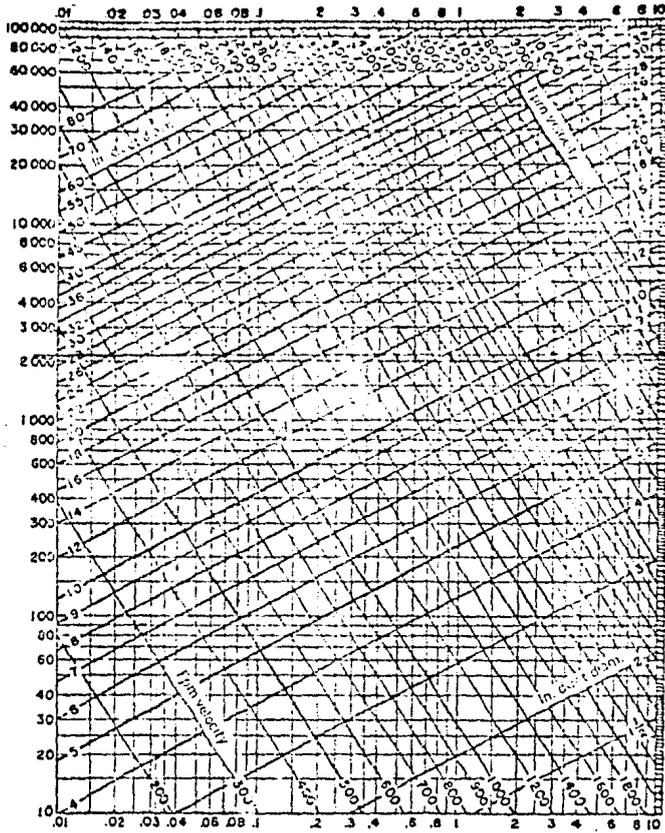


Figura 3.12 Pérdidas por fricción en pulgadas de agua por cada 100 pies.

Para calcular la potencia requerida por el ventilador se determinarán las pérdidas por fricción a través de los ductos.

En la figura 3.10 se tiene el arreglo de ductos.

De la figura 3.11 se obtendrá primero el diámetro equivalente a los ductos rectangulares y después en la figura 3.12 se obtiene el valor de pérdidas por fricción por cada 100 pies

- Ducto A - B

$$\text{Diámetro equivalente ; } D_{A-B} = 22'' = 558.8 \text{ mm}$$

$$\text{Pérdida por fricción/100 ft } \frac{\Delta P_{AB}}{100 \text{ ft}} = 0.076''$$

$$\text{Pérdida por fricción total } \Delta P_{A-B} = 0.0026'' = 0.000064 \text{ m}$$

- Ducto C - D

$$D_c - d = 9.09'' = 228.66 \text{ mm}$$

$$\text{Pérdida por fricción/100 ft} = 6.0''$$

$$\Delta P_{C-d} = 0.088'' = 0.00224 \text{ m}$$

- Ducto E - F

$$D_{ef} = 28'' = 711.2 \text{ mm}$$

$$\frac{\Delta P_{e-f}}{100 \text{ ft}} = 0.0278''$$

$$\Delta P_{e-f} = 0.00078'' = 0.000019 \text{ m}$$

- Ducto G - H

$$\frac{\Delta P_g - h}{100 \text{ ft}} = 2.125''$$

$$\Delta P_g - h = 0.0418'' = 0.00106 \text{ m}$$

- Filtros de aire-aceite

Se estima una ΔP de $0.015 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} = 0.15 \text{ m}$

Las pérdidas por fricción a través del sistema son las siguientes:

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{sistema}} &= (\Delta P_{ab} + \Delta P_{cd} + \Delta P_{ef} + \Delta P_{gh} + \Delta P_{\text{filtros}}) 1.1 \\ &= (64 \times 10^{-6} + 2240 \times 10^{-6} + 19 \times 10^{-6} + 1060 \times 10^{-6} + 0.15) 1.1 \\ &= 0.168 \text{ m} \\ &= 0.168 \text{ m} = 6.61'' \text{ H}_2\text{O} \end{aligned}$$

Por lo tanto la potencia requerida por el ventilador para manejar el flujo de aire necesario y vencer las pérdidas por fricción es:

$$P = Q \times P_t \quad (62.3)$$

$$\frac{33000 \times 12}{33000 \times 12}$$

$$P = \frac{2145.28 \times 6.61}{33000 \times 12} \quad (62.3)$$

$$P = 2.23 \text{ AP} = 2.5 \text{ HP}$$

CAPITULO 4

EXPERIMENTACION Y RESULTADOS.

El objetivo de este capítulo es el de desarrollar la Técnica de muestreo por impacto para conocer por medio de la experimentación con un atomizador de la Cámara de Combustión del Instituto de Investigaciones Eléctricas, la factibilidad de aplicación de esta técnica en Centrales Termoeléctricas.

4.1 Experimentación.

El atomizador utilizado para experimentación es del tipo mecánico con retorno, del fabricante Delavan con clasificación 6 - 45 °, este es empleado comúnmente en instalaciones de calefacción en las cuales se quema diesel.

Es indispensable conocer con precisión el flujo real que manejará el atomizador, por lo anterior se midió el flujo a cada una de las siguientes presiones 518 KPam, 691 KPam y 898 KPam. Un indicador de flujo instalado en la línea de succión de la bomba proporcionó los datos que se muestran en la Fig. 4.1 - Presión de by-pass contra flujo, a la salida del atomizador a diversas presiones de alimentación.

Del catálogo del fabricante, el atomizador proporciona un patrón de aerosol de cono sólido, para confirmar lo anterior y proceder a tomar las muestras -- donde se concentre la mayor cantidad de gotas, se muestreó el aerosol con un elemento consistente en una gradilla que sujeta una serie de tubos de ensaye en cuyo interior se deposita el fluido al exponerse durante un intervalo de tiempo al aerosol.

El muestreo se realizó a las condiciones mostradas en la Tabla 4.1 a una distancia de 20 cm. desde la boquilla a la parte superior del muestreador.

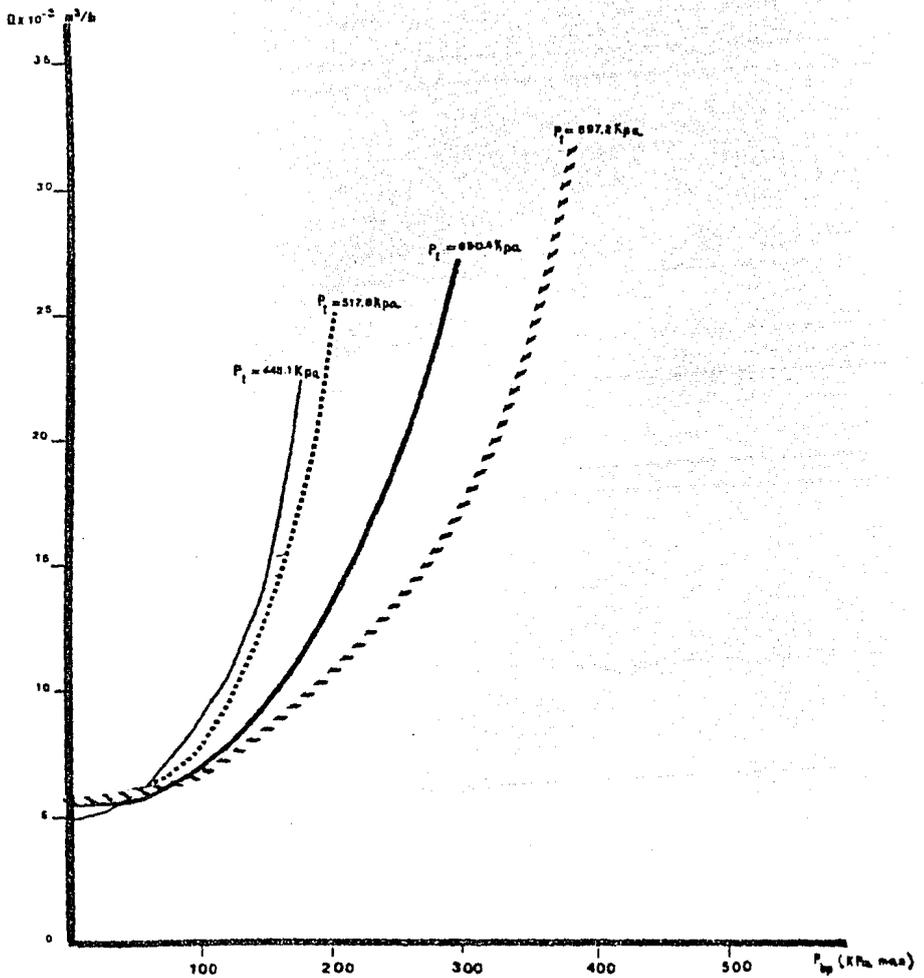


Fig. 4.1 Presión de by-pass contra flujo para el atomizador en estudio.

Tabla 4.1 Condiciones de muestreo

Presión de alimentación (KPa man)	Presión de by-pass (KPa man)
897.3	386.38
897.3	275.56
690.38	296.16
690.38	206.92
517.79	206.92
517.79	137.29

Se observó una concentración de las gotas en el centro, al disminuir el flujo de aceite atomizado; en experimentos realizados a presiones de alimentación mayores, la concentración de gotas tuvo lugar en las orillas al disminuir el flujo de aceite.

En la Figura 4.2 se presenta una de las muestras.

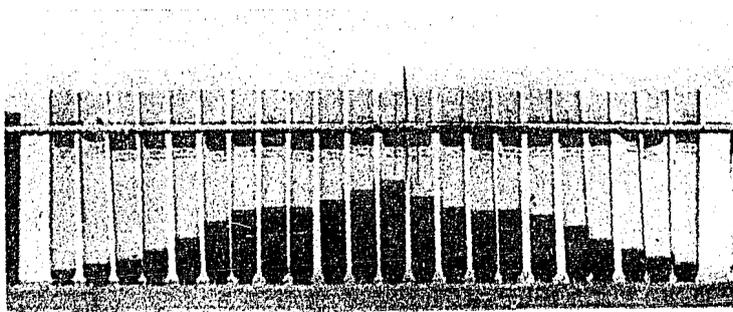


Fig. 4.2 Muestra de la distribución del flujo para el atomizador en estudio.

Para representar gráficamente los datos de distribución del aerosol, Pigford y Pyle han desarrollado dos métodos; en uno, el flujo por área del aerosol f' expresado en litros por minuto por metro cuadrado, fue graficado como una función de la inclinación angular de una línea que conecta el atomizador -- con el elemento de área. En el otro método la distribución del aerosol se -- representó graficando f que es la fracción de la descarga total por ángulo -- sólido unitario a θ grados de la línea de centro contra θ .

Utilizando el modelo que se encuentra en la figura 4.3, Pigford y Pyle efectuaron su análisis.

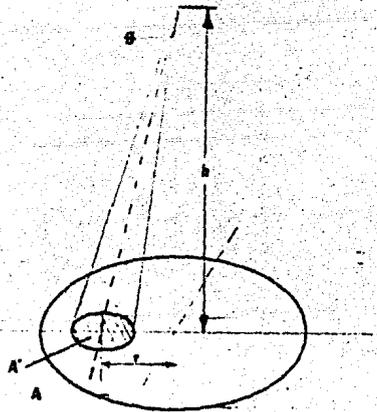


Fig. 4.3 Modelo para la obtención de relaciones geométricas utilizadas en la representación de la distribución del aerosol.

$$w = A / (h^2 + r^2) = A' \cos^3 \theta / h^2$$

ya que

$$A = A' \cos \theta$$

y

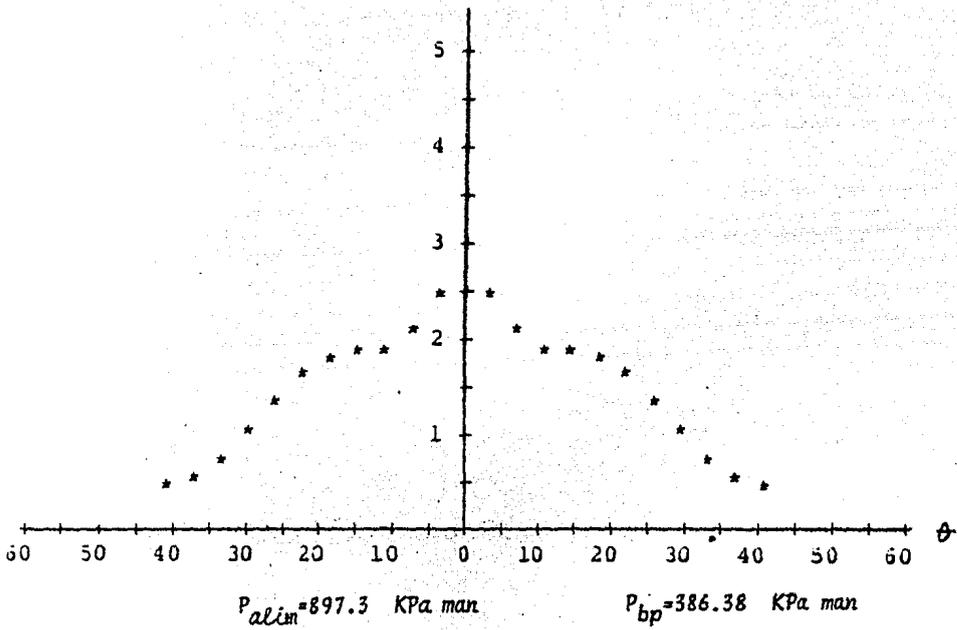
$$\cos^2 \theta = h^2 / (h^2 + r^2)$$

$$\delta' = \frac{q}{A'}$$

$$\delta = \frac{q}{Q \cdot w} = \delta' \cdot (h^2 / Q \cos^2 \theta)$$

A' es horizontal y representa el área de la sección.

Con el modelo matemático anterior se graficó f contra θ para las presiones de trabajo de la Tabla 4.1



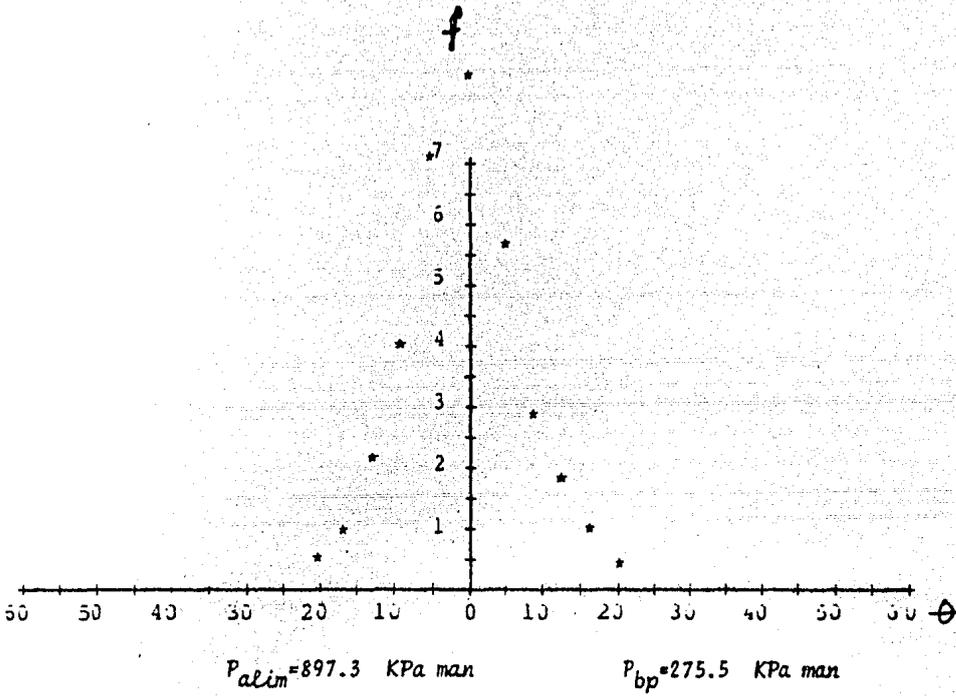
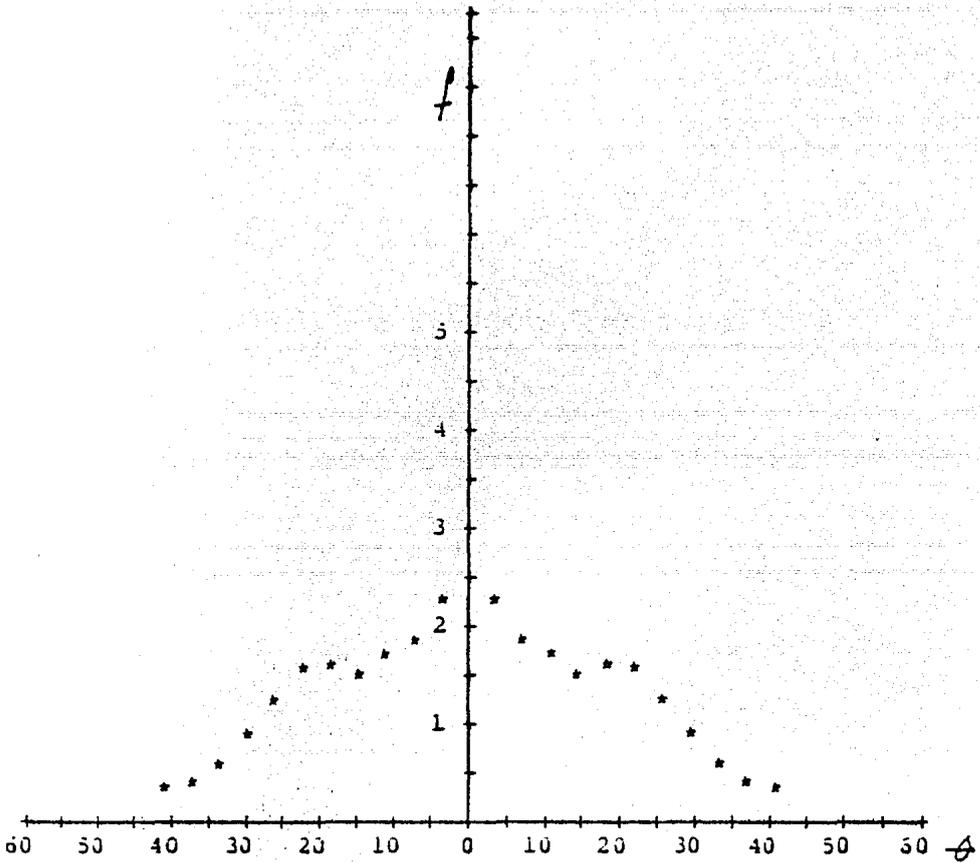


Figura 4.4.A Representación gráfica de la distribución del aerosol para una $P_{alim} = 897.3 \text{ KPa man}$



$P_{alim} = 690.38 \text{ KPa man}$

$P_{bp} = 296.16 \text{ KPa man}$

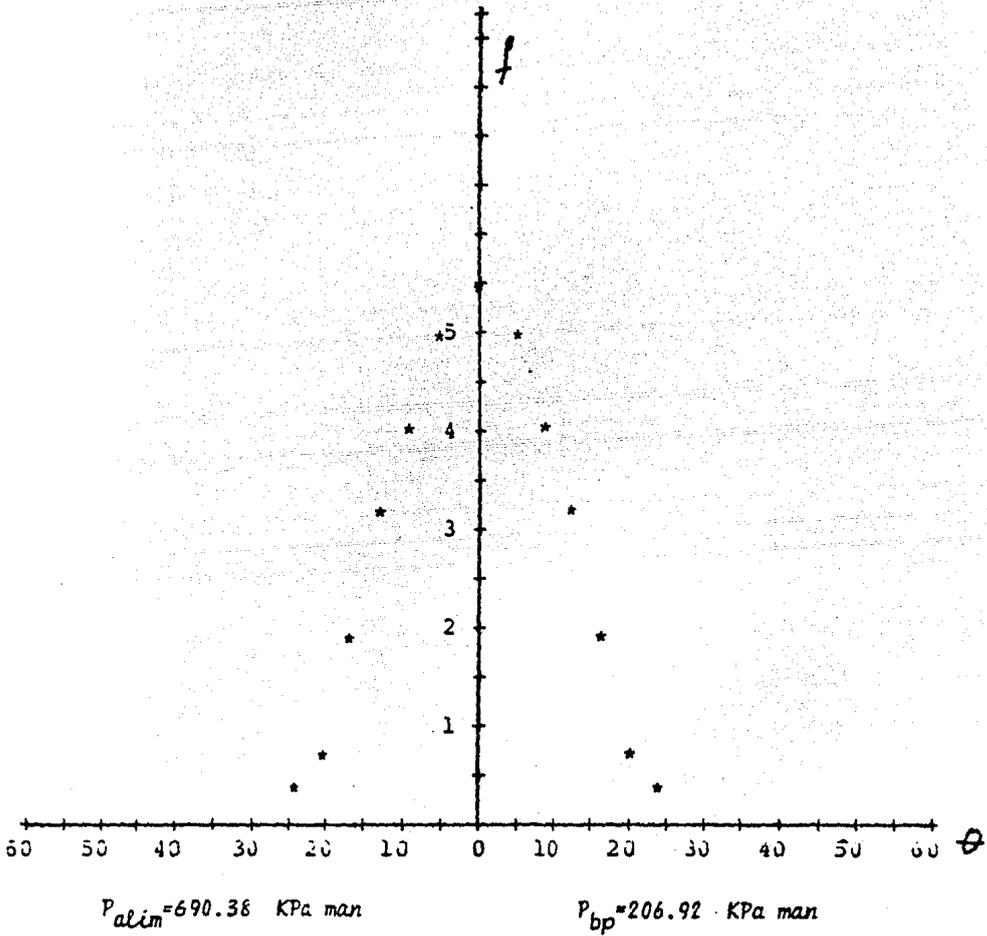
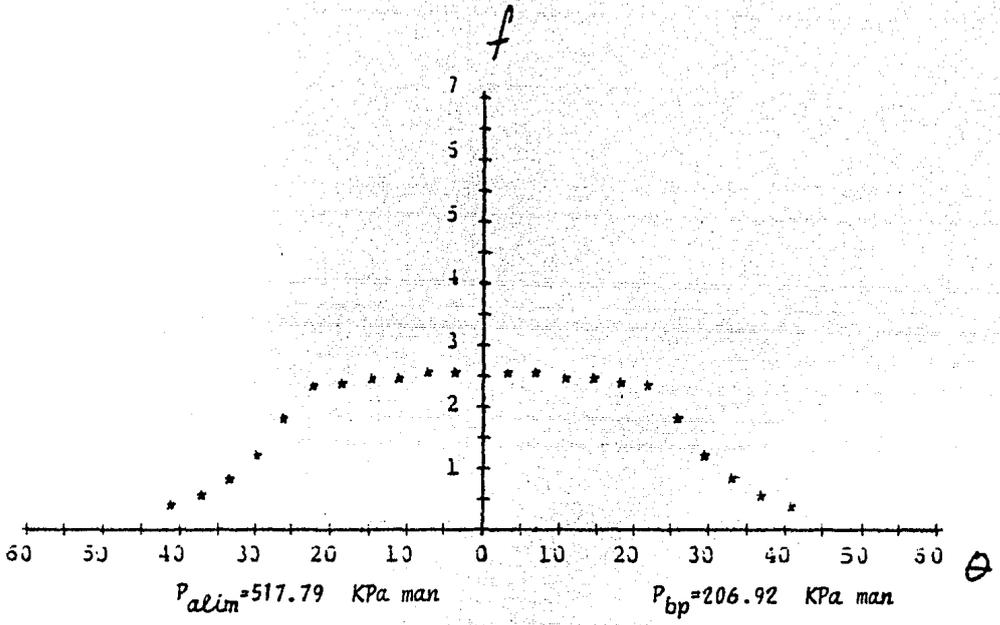


Figura 4.4.B Representación gráfica de la distribución del aerosol para una $P_{alim} = 690.38 \text{ KPa man}$



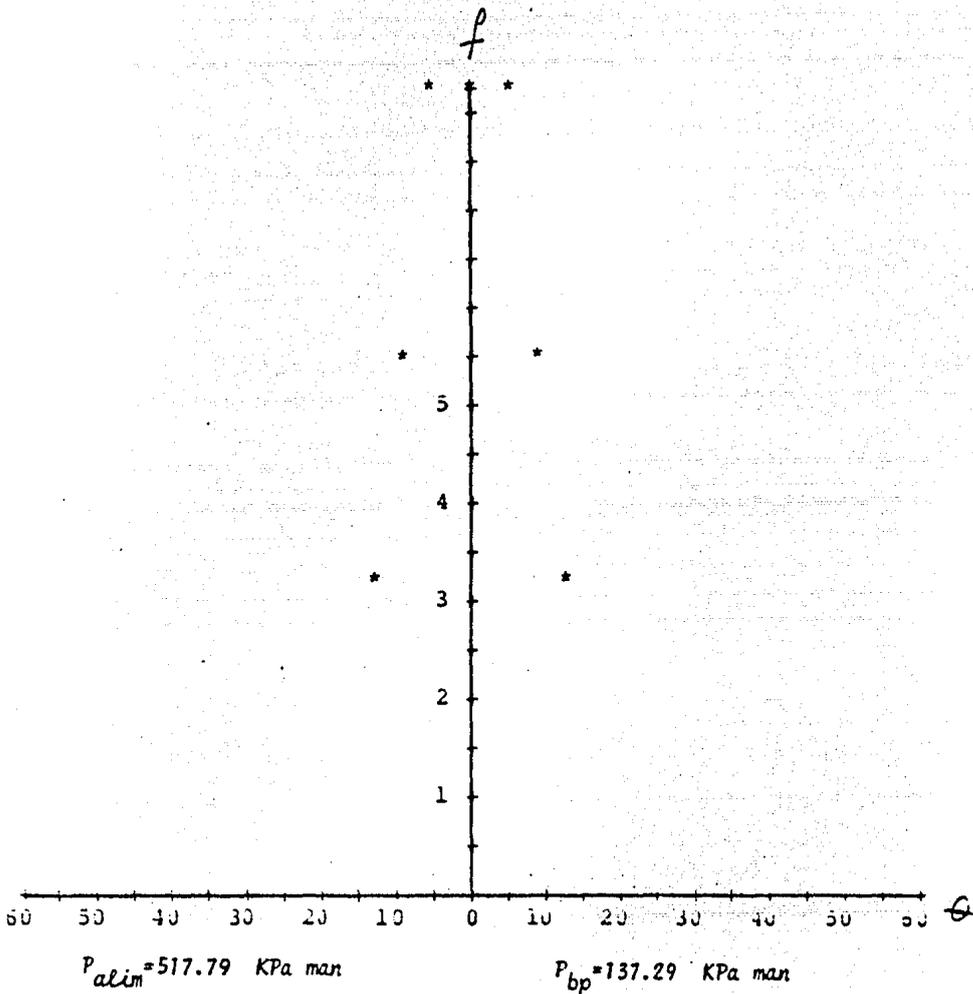


Figura 4.4.C Representación gráfica de la distribución del aerosol para una $P_{alim} = 517.79 \text{ KPa man}$

Las gráficas 4.4.A, B, C y D muestran las curvas obtenidas.

De las gráficas se concluye que el aerosol es de cono sólido ya que la concentración del fluido se encuentra en el centro; sin embargo para bajas presiones de alimentación la distribución de flujo toma la forma de cono hueco, cuando suceda este caso, se tomarán muestras en las orillas del cono para obtener -- muestras representativas.

Un factor característico de los aerosoles es la longitud de ruptura (L_B), que se define como la longitud medida desde la boquilla del atomizador hasta donde el fluido empieza a disgregarse; es decir, cuando desaparece la continuidad de este.

Para conocer la longitud a la cual se tendrán únicamente gotas sin ligamentos que interfieran el muestreo, se tomaron fotografías del fluido atomizado a las presiones indicadas en la Tabla 4.1

La figura 4.5 muestra una de estas fotografías.



Fig. 4.5 Se muestra una de las fotografías utilizadas para medición de longitudes de ruptura.

obturador que permite tomar muestras de gotas.

Este dispositivo reúne las siguientes características:

- 1.- Proporciona muestras representativas con buena repetibilidad.
- 2.- El número de gotas capturadas es conveniente para su análisis estadístico.
- 3.- La posibilidad de que las gotas se unan es mínima.
- 4.- Introduce perturbaciones mínimas al sistema en estudio.

El dispositivo está compuesto de dos barras de aluminio ranuradas, sobre las cuales desliza una placa de aluminio con una ranura central de 1 mm de ancho, entre estas barras se colocó una base de aluminio que contiene el portaobjetos recubierto de tal manera que a través de la ranura central caen -- las gotas.

La exposición del portaobjetos al aerosol debe realizarse en un intervalo de tiempo pequeño ya que de lo contrario se inunda completamente con el aceite.

Para lograr este efecto, a la placa con la ranura central, se le colocaron dos resortes en ambos lados de tal manera que estos resortes se ponen en tensión y la placa que cubre el portaobjetos se sujeta con un electroimán; una vez que se encuentra en el área que se desea muestrear, se suspende la corriente que alimenta el electroimán y la placa con la ranura central regresa a su posición original de esta manera la ranura ha pasado encima del portaobjetos permitiendo que algunas de las gotas que componen el aerosol se introduzcan y choquen contra la superficie recubierta imprimiendo su huella.

Una vez construido el dispositivo anterior se efectuaron pruebas del recubrimiento dando un resultado favorable el Oxido de Magnesio (MgO) ya que permite la observación de la huella dejada por la gota.

K.R. May encontró que la huella medida debía afectarse con un factor de 0.85 debido a la expansión que sufre la gota al chocar contra la superficie.

Los portaobjetos recubiertos con Mg O se analizaron con un microscopio y se observó que al pasar el tiempo la huella no se modificaba pero aparecía un "halo" alrededor de ella; ya que el aceite se había difundido; este hecho se muestra en la figura 4.6 en la cual la zona obscurecida (1) que se ve alrededor de las gotas (2) es el aceite difundido.

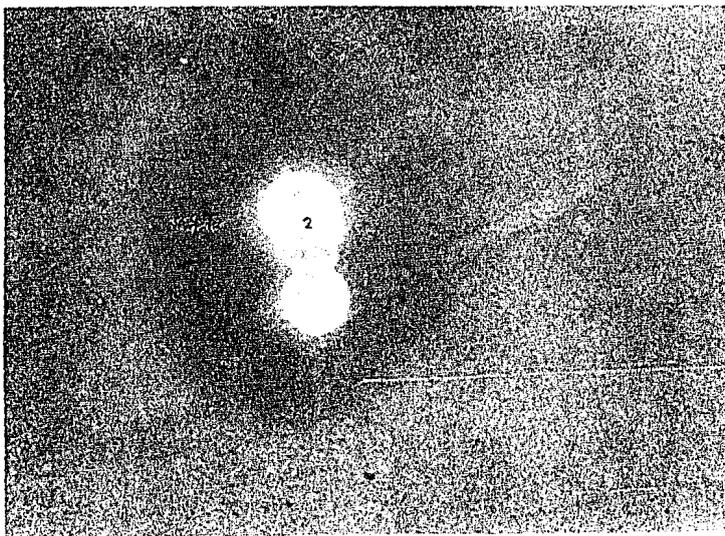


Figura 4.6 Unión de dos gotas en el momento de chocar contra la superficie.

Algunos de los inconvenientes encontrados en la aplicación de esta técnica se mencionan a continuación.

- 1.- Al caer las gotas en la superficie se pueden juntar dos o más haciendo imposible la medición de su diámetro.
- 2.- Formación de una especie de apéndice que aparece junto a la gota lo cual

es debido a que no cae perfectamente perpendicular a la superficie sino que cae con una inclinación ocasionando que una pequeña parte de la masa de la gota se pierda. En la figura 4.6 se observan estas marcas (3)

- 3.- Algunas gotas de tamaños grandes ($> 250 \mu$) chocan contra la superficie a una velocidad alta y se dividen en dos o más que generalmente quedan como gotas satélite alrededor de la original, esta característica se puede observar en la Figura 4.7

Es difícil precisar cuales gotas se separaron de la original por lo que en el momento de analizar cuantitativamente, no se consideran sus diámetros en el análisis ya que estos no serían reales.

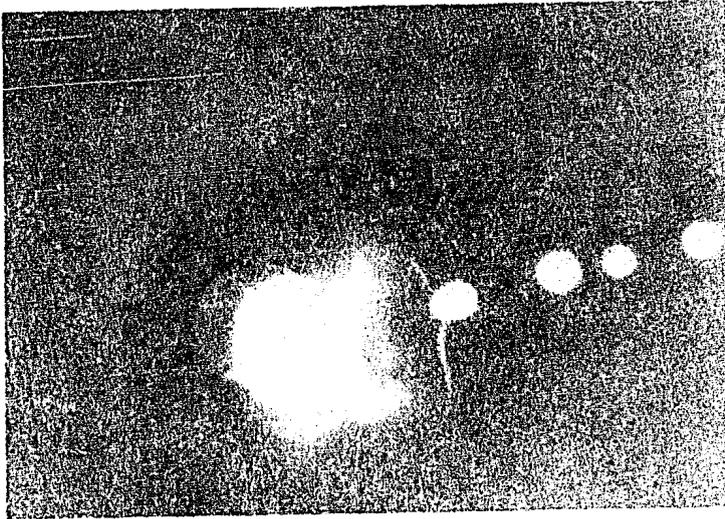


Figura 4.7 Ruptura de una gota en varias pequeñas al chocar contra la superficie.

- 4.- Algunas gotas al chocar contra la superficie rebotan dejando una huella superficial, se dividen y posteriormente las gotas formadas se depositan dejando una huella clara. La figura 4.8 muestra esta característica.

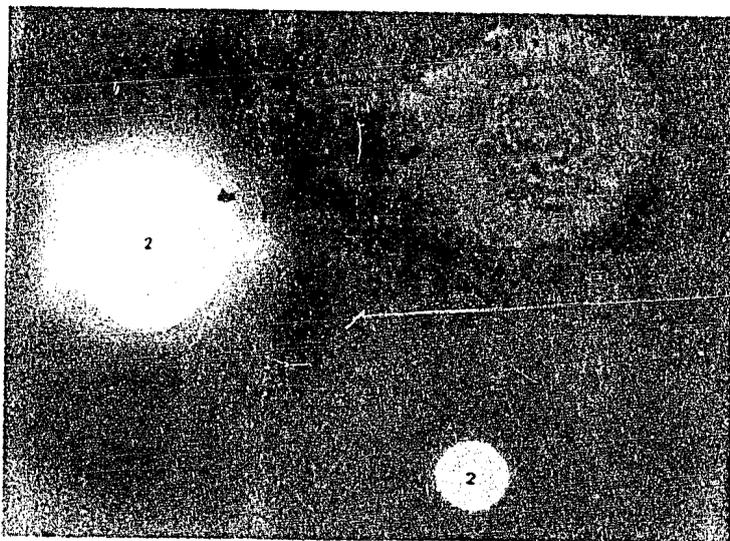


Figura 4.8 Algunas gotas al chocar con la superficie rebotan dejando una huella ligera (1), se fracciona y posteriormente se deposita (2).

Una vez localizados los problemas que se presentan durante el muestreo, se procedió a analizar el aerosol tomando muestras a las condiciones indicadas en la Tabla 4.1

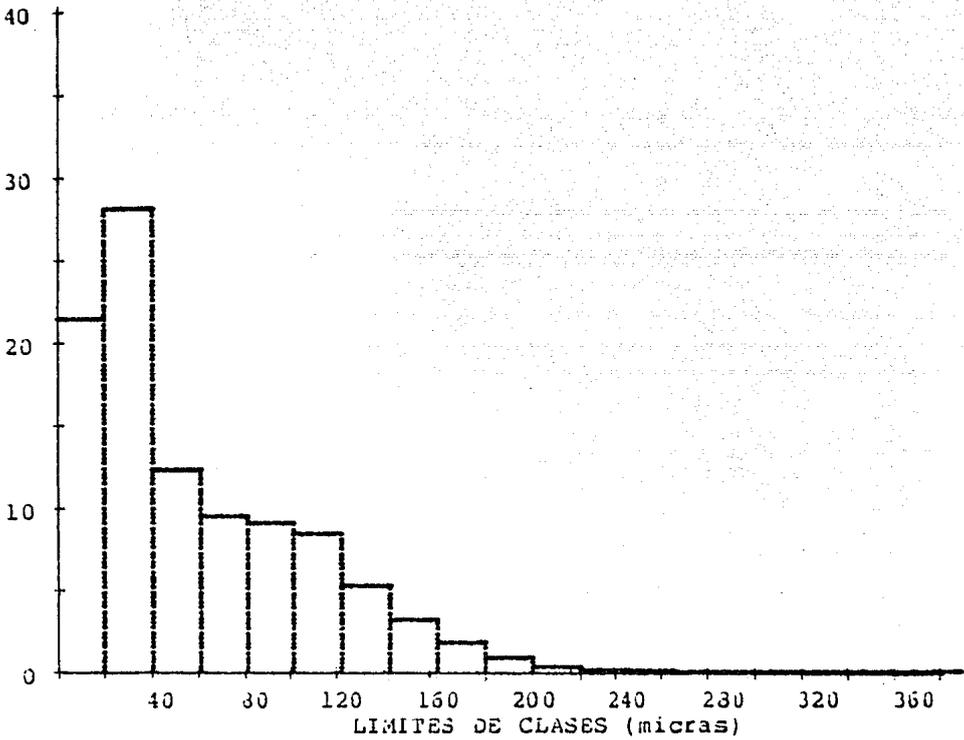
Cada área de 6 cm^2 se muestreó 5 veces para obtener una cantidad representativa de gotas.

Una vez tomadas las muestras se analizaron las gotas depositadas en los portaobjetos midiendo los diámetros de las gotas con un microscopio. Para cada una de las presiones se midieron alrededor de 3000 gotas.

4.2 Resultados.

Las siguientes gráficas muestran la distribución por tamaño de gotas y distribución másica obtenidas.

6 DE PARTICULAS



% DE MASA

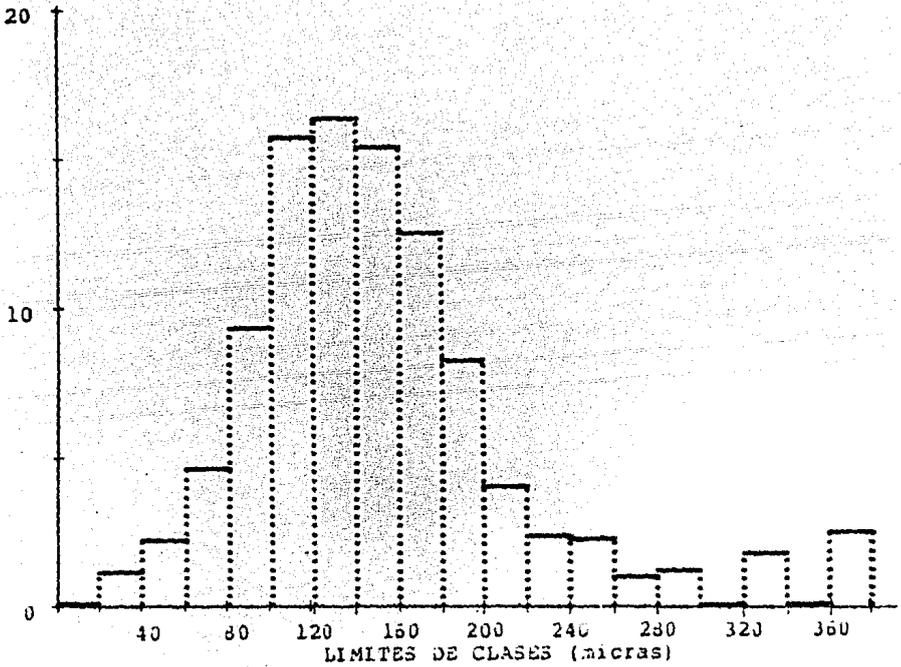
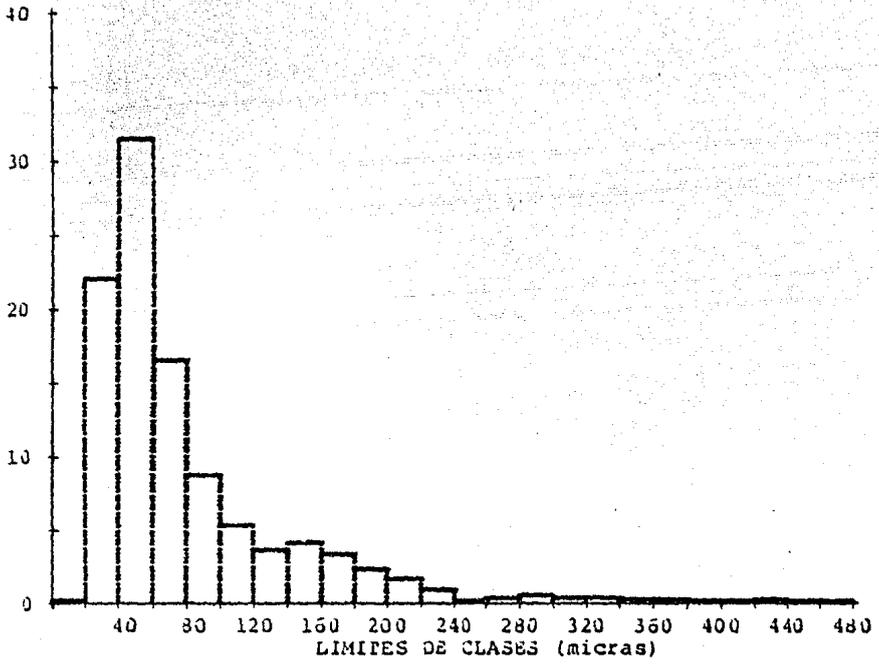


Figura 4.9 Gráficas de distribución por tamaño de gota y distribución
máscica para una $P_{alm}=897.3$ KPa man y $P_{bp}=386.38$ KPa man
***** ANALIZADOR DE IMAGENES, IIE *****

4 DE PARTICULAS



% DE MASA

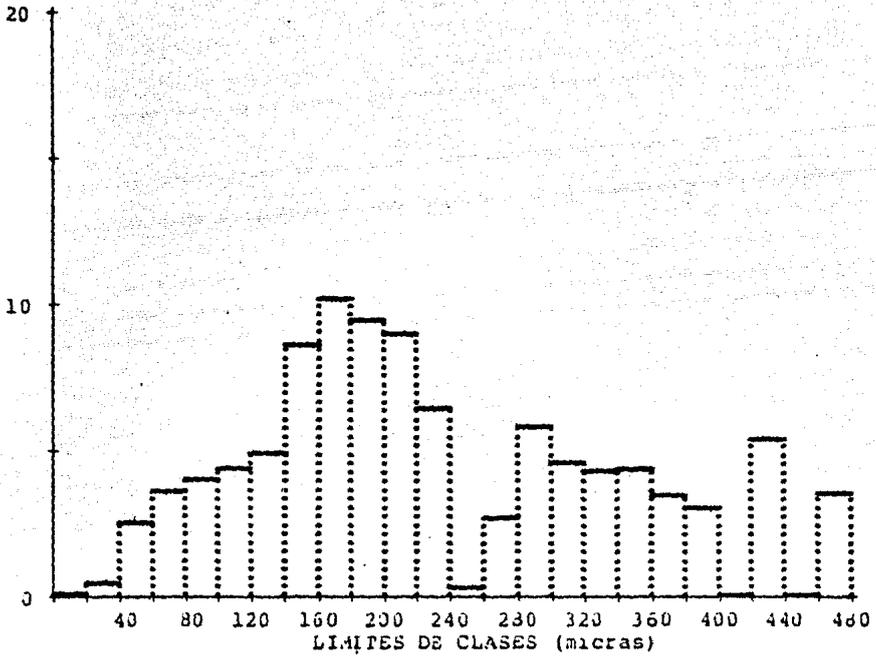
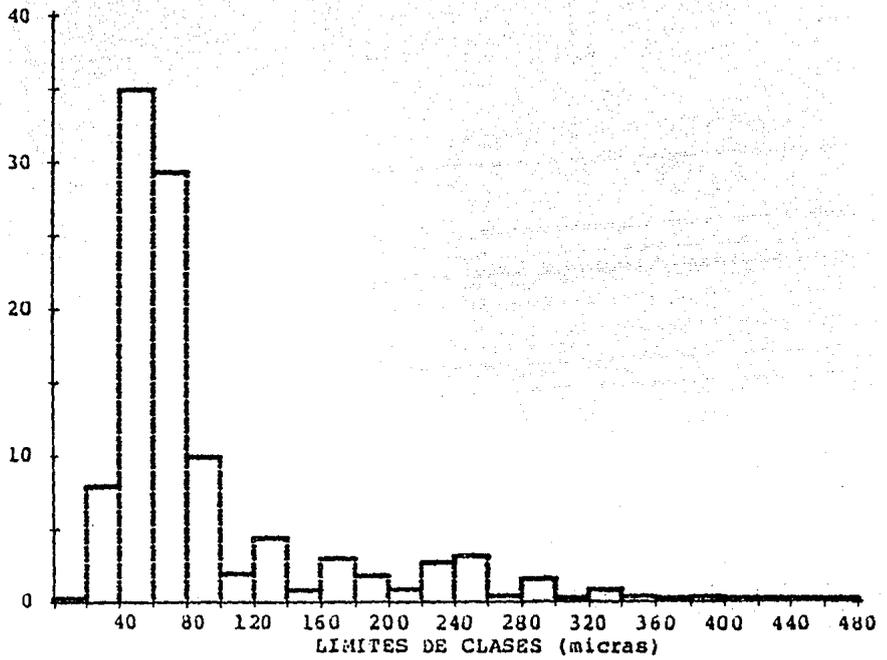


Figura 4.10 Gráficas de distribución por tamaño de gota y distribución másica para una $P_{alim} = 897.3$ KPa man y $P_{bp} = 275.5$ KPa man
***** ANALIZADOR DE IMAGENES, IIE *****

4 DE PARTICULAS



% DE MASA

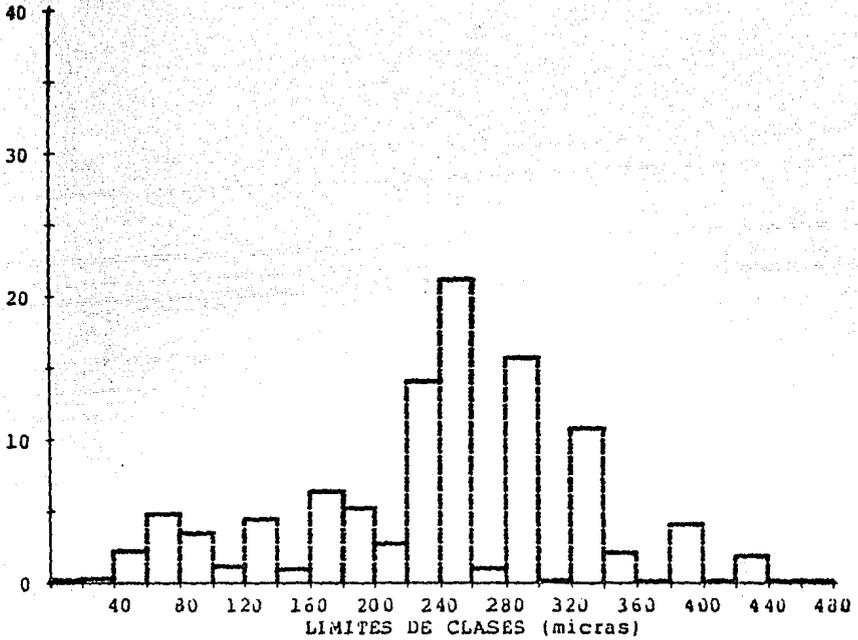
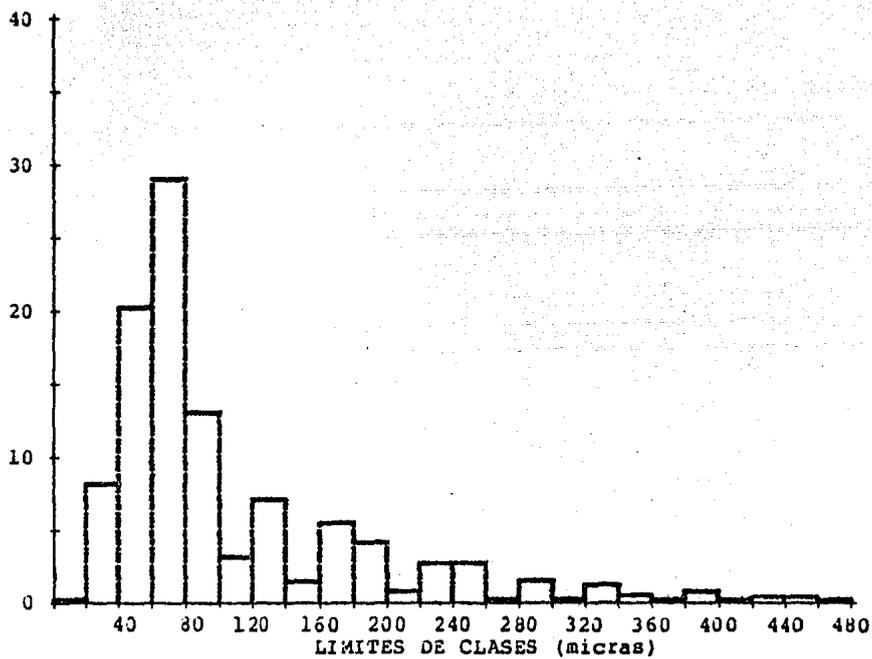


Figura 4.11 Graficas de distribución por tamaño de gota y distribución
máscica para una $P_{alim} = 690.38$ KPa man y $P_{bp} = 296.16$ KPa man

***** ANALIZADOR DE IMAGENES, IIE *****

% DE PARTICULAS



% DE MASA

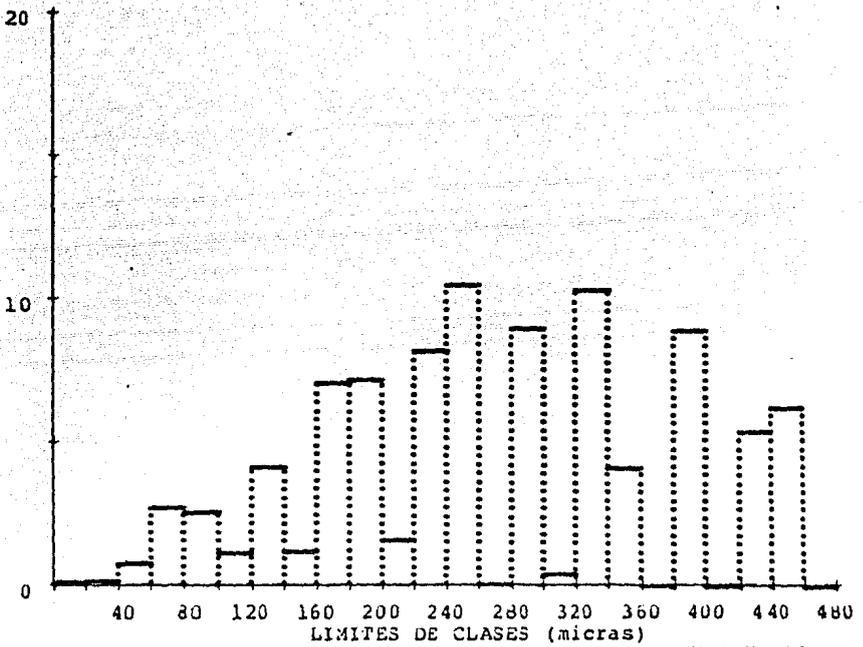
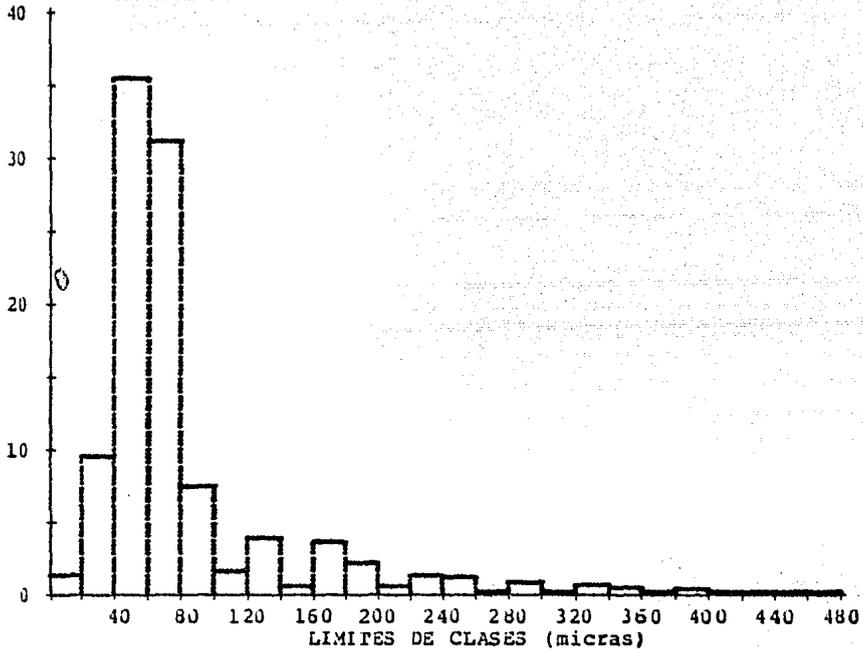


Figura 4.12 Graficas de distribución por tamaño de gota y distribución
máscica para una $P_{alim}=690.38$ y $P_{bp}=206.92$ KPa man

***** ANALIZADOR DE IMAGENES, 11E *****

4 DE PARTICULAS



% DE MASA

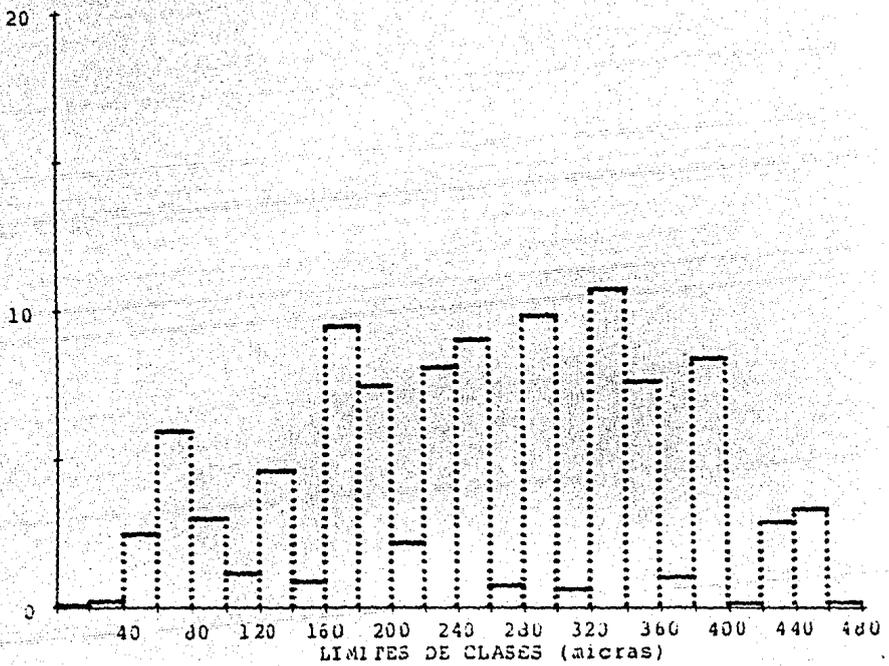
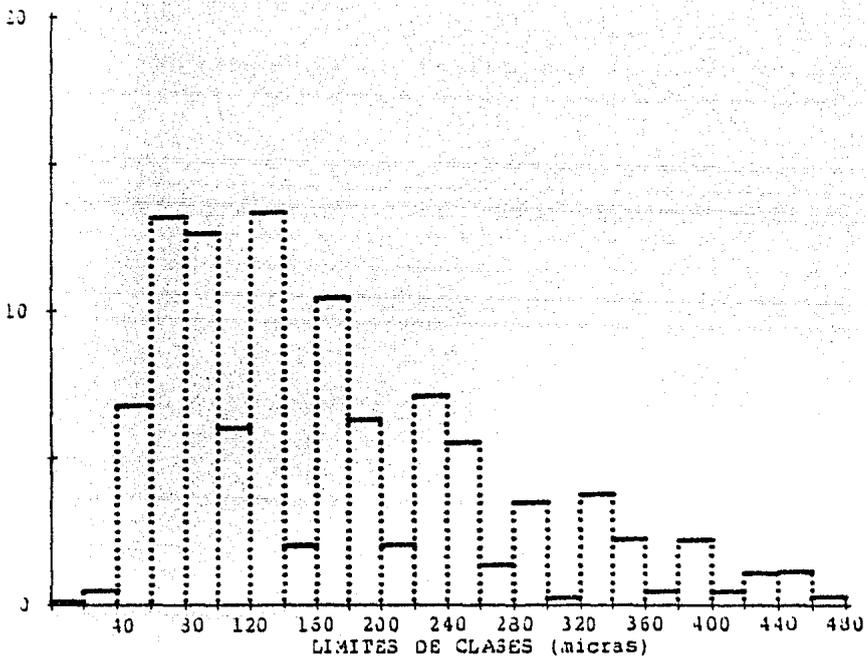


Figura 4.13 Gráficas de distribución por tamaño de gota y distribución
máscica para una $P_{alim} = 517.79$ KPa man y $P_{bp} = 206.92$ KPa man
***** ANALIZADOR DE IMAGENES, IIE *****

DE PARTICULAS



4 DE MASA

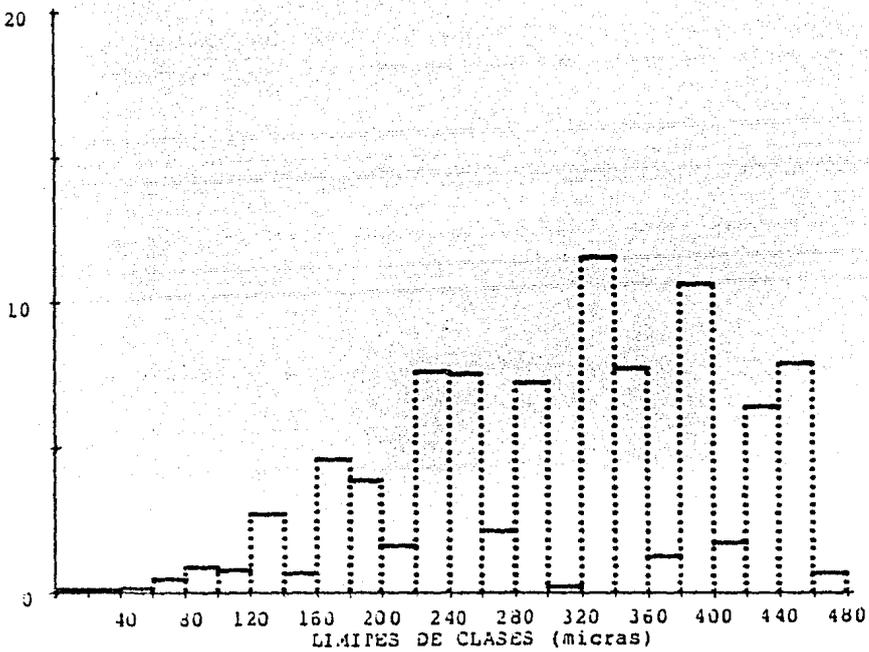


Figura 4.14 Gráficas de distribución por tamaño de gota y distribución
máscica para una $P_{alim}=517.79$ KPa man y $P_{bp}=137.29$ Kpa man
***** ANALIZADOR DE IMAGENES, IIE *****

CONCLUSIONES

Al aplicar la técnica de muestreo por impacto para analizar un atomizador de combustible líquido se observaron algunos de los problemas que se mencionan a continuación:

Unión de gotas y ruptura de gotas en la etapa de muestreo y alto consumo de tiempo para el análisis de muestras obtenidas.

Por lo tanto la aplicación de esta técnica en campo se recomienda siempre y cuando se cumpla con lo siguiente:

- 1.- Que el flujo manejado por el atomizador no sea muy grande.
- 2.- Que el dispositivo de muestreo abarque un área grande para obtener suficientes gotas en un solo muestreo.
- 3.- Que se elimine la medición manual utilizando para análisis de los diámetros de gota un equipo que mida y proporcione las gráficas de distribución por tamaño y distribución -- másica.

B I B L I O G R A F I A

1. Y. Iwafuji, T. Imatake, T. Matubara, Y. Nishizawa. "A direct photographic measurement for diameter of spray particles". Iclas "78.
2. Jones A.R. "A review of oil droplet size measurement". Central Electricity Generating Board.
3. Toshio Kurabayashi, Takao Koerasawa, Kazuhiro Haya no. "Liquid nitrogen freezing method for measuring spray droplet sizes". Iclas "78.
4. K.V.L. Rao. "Liquid nitrogen cooled sampling probe for the measurement of spray droplet size distribution in moving liquid air sprays". Iclas "78.
5. K.R. May. "The measurement of airborne droplets by the Magnesium Oxide Method". Microbiological Research. Department.
6. Giuliano Silva "La Combustión".
7. A.K. Jasuja "Atomization of Crude Oil and Residual Fuel Oils".
8. R. Bexon, T.L. OGDEN. "The focal length method of measuring deposited liquid droplets". Aerosol Science.
9. I. Janárus, Rosenblad y Hansson " A technique for measuring drop size distributions for sprays and - tests with two oil nozzles".
10. National Advisory Committee for Aeronautics, Report 1300. "Basic considerations in the combustion of hydrocarbon fuels with air".
11. Boletín IIE Vol. 4 N°6. Jose Ma. Pérez Molero. "Aspectos fundamentales en la atomización de un combustible líquido".
12. Aeronautical Research Laboratory. A.A. Pritman et. al. "Injection and combustion of liquid fuels".