

225

2010

"CLASIFICACION DE PARTICULAS DE CAOLINES  
EN SEPARADORES EXPERIMENTALES  
DE TIPO CICLONICO."

TESIS PROFESIONAL  
EFRAIN VALLADARES TRUJILLO

1957

---

INSTITUTO MEXICANO DE INVESTIGACIONES TECNOLOGICAS



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.

*4. Separación  
y clasificación  
de partículas.*

66(04)

**"CLASIFICACION DE PARTICULAS DE CAOLINES  
EN SEPARADORES EXPERIMENTALES  
DE TIPO CICLONICO."**

**T E S I S**

QUE PRESENTA PARA SU EXAMEN PROFESIONAL  
DE INGENIERO QUIMICO

**EFRAIN VALLADARES TRUJILLO**

ANTE LA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS QUIMICAS

INSTITUTO MEXICANO DE INVESTIGACIONES TECNOLOGICAS  
SECCION DE INGENIERIA DE DESARROLLO  
MEXICO, D F 1957.

A mis padres con cariño y gratitud.

A la memoria de mi hermano Carlos

A mi hermano Humberto.

A mis maestros y amigos.

## RECONOCIMIENTO

DESEO MANIFESTAR AL DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES INDUSTRIALES DEL BANCO DE MÉXICO, S. A. MI SINCERRO AGRADECIMIENTO POR EL APOYO QUE ME FUE OTORGADO A TRAVES DE SU SECCIÓN DE EDUCACIÓN Y BECAS.

ASIMISMO A LA DIRECCIÓN Y TÉCNICOS DEL INSTITUTO MEXICANO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS, POR LA ORIENTACIÓN Y FACILIDADES QUE ME CONCEDIERON DURANTE EL DESARROLLO DE ESTE TRABAJO.

## INDICE

- I.- INTRODUCCION.
- II.- TEORIA APLICADA A LA CLASIFICACION DE MATERIALES FINA  
MENTE DIVIDIDOS EN COLECTORES CICLONICOS.
  - A) GENERALIDADES.
  - B) TEORÍA SOBRE SEDIMENTACIÓN DE PARTÍCULAS SÓLIDAS EN  
EL SENO DE FLÚIDOS.
  - C) TEORÍA APLICADA A LOS COLECTORES CICLÓNICOS.
- III.- TRABAJO EXPERIMENTAL EN EL CLASIFICADOR DE COLECTORES  
CICLONICOS.
  - A) DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO EMPLEADO.
  - B) PROCEDIMIENTO SEGUIDO.
  - C) RESULTADOS.
- IV.- DISCUSION DE RESULTADOS.
- V.- CONCLUSIONES.
- VI.- APENDICES.
  - A) PRUEBAS EXPERIMENTALES PARA CONOCER LA DISTRIBUCIÓN  
DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DEL MATERIAL POR CLASI  
FICAR.
    - 1) PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.
    - 2) DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LA PARTÍCULA.
    - 3) DESARROLLO DEL MÉTODO.
    - 4) ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.
  - B) DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EQUIPO INDUSTRIAL PARA CLASI  
FICACIÓN DE PARTÍCULAS SÓLIDAS.
    - 1) CLASIFICACIÓN.

2) PRINCIPALES CLASIFICADORES CENTRÍFUGOS USADOS EN LA INDUSTRIA.

c) FACTORES QUE DEBEN CONSIDERARSE PARA SELECCIONAR UN EQUIPO INDUSTRIAL DE CLASIFICACIÓN POR MEDIO DE COLECTORES CICLÓNICOS.

1) CLASIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE CADA FACTOR.

VII.- BIBLIOGRAFIA.

## INTRODUCCION

Los caolines que se emplean como aditivos en las industrias de hule y papel, deben llenar ciertos requisitos de comportamiento. Una de las principales características es el tamaño de sus partículas, que no deben exceder de aproximadamente 10 micras (0.01 mm), de diámetro promedio.

Al rededor del 50% del consumo en México de este tipo de caolines es en la actualidad de importación.

En el país existen determinados tipos que bien pudieran ser utilizados en las industrias antes mencionadas. Algunos son susceptibles de modificación mediante tratamientos de purificación, ya que se trata de tipos de origen residual que suelen contener impurezas indeseables tales como: cuarzo, feldspato y óxido de fierro, etc. Para eliminarlas, se pueden seguir dos métodos:

- a) Por vía húmeda.
- b) Por vía seca.

El primero, presenta varias desventajas con respecto al segundo, debido al elevado costo de las operaciones necesarias para su realización. Los principales inconvenientes son: empleo de grandes volúmenes de agua, espacios muy grandes para operación, problemas de manejo de materiales, y tiempo de operación; además, se debe mencionar que la mayoría de las localidades productoras carecen de agua en cantidades suficientes, lo cual implica problemas de difícil resolución.

Con el fin de eliminar los inconvenientes de este método, se han desarrollado técnicas de separación de caolines

EN SECO. LOS PRODUCTOS OBTENIDOS POR ESTE PROCESO, SE PUEDEN COMPARAR CON LOS OBTENIDOS MEDIANTE EL USO DEL PRIMERO.

EN EL INSTITUTO MEXICANO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS, SE HA ADQUIRIDO UN EQUIPO DE CLASIFICACIÓN DE POLVOS, - COMPUESTO DE DOS CICLONES; UNO LLAMADO CLASIFICADOR Y EL OTRO COLECTOR. SE PENSÓ QUE PODÍA UTILIZARSE PARA EFECTUAR UN ESTUDIO EXPERIMENTAL DE SEPARACIÓN EN SECO DE CAOLINES, TEMA QUE - DIÓ LUGAR A LA PRESENTE TESIS.

LA META A ALCANZAR ES LA OBTENCIÓN DE DATOS DE CORRELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA CALIDAD DE LA SEPARACIÓN QUE SE OBTIENE EN EL EQUIPO EXPERIMENTAL DE REFERENCIA.

ESTIMAMOS QUE SI POR MEDIO DEL PRESENTE TRABAJO, SE LOGRA ESTIMULAR Y ORIENTAR EN ALGUNA FORMA A LA INDUSTRIA BENEFICIAORA DE CAOLINES, LAS METAS MAS IMPORTANTES DE LA INVESTIGACIÓN HABRAN SIDO ALCANZADAS.

II

TEORIA APLICADA A LA CLASIFICACION DE  
MATERIALES FINAMENTE DIVIDIDOS EN CO-  
LECTORES CICLONICOS.

TEORÍA APLICADA A LA CLASIFICACION DE MATERIALES FINAMENTE DIVIDIDOS, EN COLECTORES CICLONICOS.

- a) GENERALIDADES.
- b) TEORÍA SOBRE SEDIMENTACIÓN DE PARTÍCULAS SÓLIDAS EN EL SENO DE FLÚIDOS.
- c) TEORÍA APLICADA A COLECTORES CICLÓNICOS.

a) GENERALIDADES.- LA SEPARACIÓN DE SÓLIDOS EN FRACCIONES DE DIFERENTES TAMAÑOS DE PARTÍCULAS, ES UNA OPERACIÓN UNITARIA QUE SE DESIGNA CON EL NOMBRE DE CLASIFICACIÓN.

ESTA SE REALIZA EN MUCHOS CASOS MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DE DIFERENCIAS EN COMPORTAMIENTO DE LAS PARTÍCULAS EN EL SENO DE UN FLÚIDO COMO RESULTADO DE SU DIFERENTE TAMAÑO O DENSIDAD.

EL FENÓMENO DE SEDIMENTACIÓN DE PARTÍCULAS HA SIDO AMPLIAMENTE ESTUDIADO POR VARIOS INVESTIGADORES (1) (2) Y (3), LOS CUALES HAN DESARROLLADO FÓRMULAS QUE RELACIONAN LA RAPIDEZ DE ASENTAMIENTO DE UNA PARTÍCULA EN UN FLÚIDO, CON LOS DIVERSOS FACTORES DE QUE DEPENDE. ESTA CORRELACIÓN SE BASA EN UN ANÁLISIS DE LAS FUERZAS A QUE ESTA SUJETA LA PARTÍCULA EN EL SENO DEL FLÚIDO. LAS FUERZAS QUE ACTÚAN SOBRE ELLA SON: a) LA FUERZA GRAVITACIONAL QUE DEPENDE DE LA DENSIDAD DEL SÓLIDO Y DE LA ACELERACIÓN DE LA GRAVEDAD; b) UNA FUERZA O EMPUJE EN SENTIDO CONTRARIO A LA GRAVEDAD, CUYO VALOR DEPENDE DE LA DENSIDAD DEL FLÚIDO Y DEL VOLÚMEN DESPLAZADO POR LA PARTÍCULA; c) UNA TERCERA FUERZA PARA EL CASO EN QUE ÉSTA SE ENCUENTRE EN MOVIMIENTO CON RESPECTO AL FLÚIDO, LA CUAL SE DEBE A LA FRICCIÓN -

QUE ENTRE AMBOS SE ORIGINA, LA MAGNITUD DE ESTA FRICCIÓN ES --  
 UNA FUNCIÓN QUE DEPENDE DE LA VISCOSIDAD DEL FLÚIDO, DE SU DEN-  
 SIDAD Y DE LA DENSIDAD DEL SÓLIDO, DEL ÁREA SUPERFICIAL Y DE --  
 LA VELOCIDAD RELATIVA DE LA PARTÍCULA; D) PARA EL CASO DE SEDI-  
 MENTACIÓN POR MEDIO DE COLECTORES CICLÓNICOS SE DEBE CONSIDE--  
 RAR OTRA FUERZA MÁS, QUE CORRESPONDE A LA FUERZA CENTRÍFUGA --  
 PROVOCADA EN SU INTERIOR, LA CUAL DEPENDE DEL RADIO DEL CICLÓN,  
 DE LA DENSIDAD DEL FLÚIDO DEL SÓLIDO Y DE LA INTENSIDAD DEL --  
 CAMPO.

B) TEORÍA SOBRE SEDIMENTACIÓN DE PARTÍCULAS SÓLIDAS  
EN EL SENO DE FLÚIDOS.

EXISTEN VARIAS ECUACIONES DESARROLLADAS POR DIFEREN-  
 TES INVESTIGADORES PARA EL CASO DE ASENTAMIENTO LIBRE DE PARTÍ-  
 CULAS, SIENDO TODAS ELLAS CASOS PARTICULARES DE LA ECUACIÓN GE-  
 NERAL DE ALLEN (1), QUE RELACIONA LA RESISTENCIA QUE OPONE EL  
 FLÚIDO AL ASENTAMIENTO, CON LA VELOCIDAD RELATIVA DE LA PARTÍ-  
 CULA Y LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SISTEMA. ÉSTA ECUACIÓN GENE-  
 RAL PUEDE EXPRESARSE EN LA SIGUIENTE FORMA:

$$R = K \frac{D_p^N \rho}{\mu} \left( \frac{\mu}{\rho} \right)^{2-N} \times V_0^N \quad (1)$$

DONDE: K = RESISTENCIA QUE EL FLÚIDO OPONE AL MOVIMIENTO DEL -  
 SÓLIDO.

K = ES UNA CONSTANTE QUE DEPENDE DE LAS DIFERENTES FOR-  
 MAS DE PARTÍCULA, DENSIDAD, VELOCIDAD RELATIVA EN--  
 TRE EL FLÚIDO Y LA PARTÍCULA.

D<sub>p</sub> = ES EL DIÁMETRO DE LA PARTÍCULA ESFÉRICA.

N = ES UNA CONSTANTE QUE DEPENDE DE LA VELOCIDAD DEL SÓ-  
 LIDO.

$\rho$  = DENSIDAD DEL GAS.

$\mu$  = ES LA VISCOSIDAD ABSOLUTA DEL GAS.

$V_0$  = VELOCIDAD RELATIVA DE LA PARTÍCULA CON RESPECTO AL GAS.

COMO SE DIJO ANTERIORMENTE, EL EXPONENTE  $N$  DE LA ECUACIÓN ANTERIOR DEPENDE DEL VALOR DE LA VELOCIDAD DEL SÓLIDO Y SE HA ENCONTRADO QUE CUANDO EL FLUJO ES LAMINAR,  $N=1$ , Y LA ECUACIÓN TOMA LA FORMA PROPUESTA POR STOKES:

$$R = K D_p \mu V_0 \quad (2)$$

SIN EMBARGO CUANDO LA VELOCIDAD ES MUY ALTA, EL FLÚIDO ADQUIERE UN MOVIMIENTO TURBULENTO EN LAS CERCANÍAS DE LA PARTÍCULA, Y EN ÉSTE CASO  $N$  VALE 2, LA ECUACIÓN (1) TOMA ENTONCES LA SIGUIENTE FORMA:

$$R = K D_p^2 \rho V_0^2 \quad (3)$$

LAS ECUACIONES ANTERIORES SE REFIEREN A VALORES EXTREMOS DE VELOCIDAD, PARA LA ZONA DE TRANSICIÓN ALLEN (1), SUGIERE LA EXPRESIÓN SIGUIENTE:

$$R = K \left( \frac{\mu}{\rho} \right)^{1/2} D_p^{3/2} \rho V_0^{3/2} \quad (4)$$

CONSIDERANDO EL CASO DEL ASENTAMIENTO LIBRE DE UNA PARTÍCULA INICIALMENTE EN REPOSO, EN EL SENO DE UN FLÚIDO DE MENOR DENSIDAD, ESTA ADQUIERE UNA VELOCIDAD ORIGINADA POR LA FUERZA DE GRAVEDAD QUE ACTÚA SOBRE ELLA; A MEDIDA QUE LA VELOCIDAD AUMENTA, LA RESISTENCIA QUE EL FLÚIDO PRESENTA AL DESPLAZAMIENTO DE LA PARTÍCULA TAMBIÉN AUMENTA DE ACUERDO CON LAS FÓRMULAS 2, 3 Y 4, EN ESTA FORMA LLEGA UN MOMENTO EN QUE LA RE

BISTENCIA ES IGUAL A LA FUERZA DE GRAVEDAD. A PARTIR DE ÉSTE INSTANTE, LA PARTÍCULA ALCANZA UNA VELOCIDAD CONSTANTE DE ASENTAMIENTO.

LA FUERZA F QUE ACTÚA SOBRE LA PARTÍCULA DE VOLUMEN DENSIDAD  $\rho_s$ , EN EL BENO DE UN FLÚIDO CUYA DENSIDAD ES  $\rho$ , SE EXPRESA POR LA SIGUIENTE ECUACIÓN:

$$F = v (\rho_s - \rho) g \quad (5)$$

EN LA QUE G ES LA ACELERACIÓN DEBIDA A LA GRAVEDAD.

CUANDO F ES IGUAL A R, O SEÁ CUANDO LA PARTÍCULA HA ALCANZADO SU VELOCIDAD TERMINAL, LAS ECUACIONES 2, 3 Y 4 SE COMBINAN CON LA ECUACIÓN 5 PARA OBTENER:

$$v_s = K \left[ (\rho_s - \rho) \frac{D_p^2}{\mu} \right] \quad (6)$$

$$v_T = K \left[ (\rho_s - \rho) \frac{D_p}{\rho} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

$$v_I = K (\rho_s - \rho)^{\frac{2}{3}} \frac{D_p}{(\mu \rho)^{\frac{1}{3}}} \quad (8)$$

EN LAS QUE  $v_s$ ,  $v_T$  Y  $v_I$  SON LAS VELOCIDADES DE CAIDA LIBRE PARA LOS FLUJOS LAMINAR, TURBULENTO Y CONDICIONES INTERMEDIAS RESPECTIVAMENTE. DESDE LUEGO, CADA UNA DE ESTAS FÓRMULAS TIENE SU LÍMITE DE APLICACIÓN.

SE RECOMIENDA (3), USAR LA ECUACIÓN 7 QUE CORRESPONDE A LA DE NEWTON, PARA PARTÍCULAS COMPRENDIDAS ENTRE 1000 Y 100000 MICRFS, Y USAR LA ECUACIÓN DE STOKES (6), PARA PARTÍCULAS

LAS ENTRE 2 Y 100 MICRAS. EN CAMBIO PARA PARTÍCULAS MENORES - DE 0.1 MICRAS, GIBBS (1) RECOMIENDA HACER LA CORRECCIÓN DE CUNNINGHAM SOBRE LA LEY DE STOKES, DE ACUERDO CON LA SIGUIENTE -- FÓRMULA:

$$V_c = V_s \left( 1 + K' \frac{2\lambda}{D_p} \right) \quad (9)$$

DONDE  $V_c$  = VELOCIDAD CORREGIDA,  $K' = 0.86$ ,  $\lambda$  = LONGITUD DE LA - TRAYECTORIA MEDIA LIBRE DE LAS MOLÉCULAS DEL GAS.

EN EL TRABAJO QUE NOS OCUPA NO ES NECESARIO HACER LA CORRECCIÓN ANTERIOR, YA QUE LAS PARTÍCULAS POR SEPARAR, QUEDAN COMPRENDIDAS ENTRE LOS LÍMITES DE APLICACIÓN DE LA LEY DE - - STOKES (2 A 100 MICRAS) Y SOLO SE NECESITARÁ HACER LA QUE CO-- RRESPONDE AL EFECTO DE LA FUERZA CENTRÍFUGA QUE SE ORIGINA EN EL CLASIFICADOR CICLÓNICO YA QUE LA ECUACIÓN DE STOKES VISTA - ANTERIORMENTE SE REFIERE A LA VELOCIDAD DE ASENTAMIENTO LIBRE. ESTA CORRECCIÓN SE VERÁ EN EL SIGUIENTE INCISO, QUE TRATARÁ DE LA TEORÍA APLICADA A COLECTORES CICLÓNICOS.

### c) TEORÍA APLICADA A LOS COLECTORES CICLÓNICOS.

LAS ECUACIONES VISTAS ANTERIORMENTE SE APLICAN COMO SE DIJO, AL CASO DE ASENTAMIENTO LIBRE EN FLUIDOS, ES DECIR, SIN COLISIÓN ENTRE PARTÍCULAS Y PARA FLÚIDOS ESTACIONARIOS, - DE MANERA QUE CUANDO SE TRATAN DE APLICAR AL CASO DE COLECTO-- RES CICLÓNICOS, SE DEBEN HACER CIERTAS CORRECCIONES DEBIDAS - PRINCIPALMENTE A LA FUERZA CENTRÍFUGA QUE SE ORIGINA EN ÉSTE TI-- PO DE CLASIFICADORES, LA CUAL DEPENDE DE LOS SIGUIENTES FACTO-- RES: POSICIÓN DEL SÓLIDO EN EL CLASIFICADOR, VELOCIDAD TANGEN-- CIAL DEL FLÚIDO, DENSIDAD DEL SÓLIDO, Y VISCOSIDAD ABSOLUTA DEL FLÚIDO.

SE HA ENCONTRADO EXPERIMENTALMENTE QUE K EN LA ECUACIÓN DE STOKES (2) PARA PARTÍCULAS ESFÉRICAS ES IGUAL A  $6\pi$ , RESULTANDO POR LO TANTO QUE:

$$R = 3\pi D_p \mu V_0 \quad (10)$$

EN ÉSTA FORMA SE TIENE:

$$F = R = V (\rho_s - \rho) g = 3\pi D_p \mu V_0 = \frac{\pi D_p^3}{6} (\rho_s - \rho) g$$

PUESTO QUE V, VOLUMEN DE LA PARTÍCULA ESFÉRICA =  $\frac{\pi D_p^3}{6}$   
POR TANTO

$$V_0 = \frac{D_p^2 (\rho_s - \rho) g}{18 \mu} \quad (11)$$

LA ECUACIÓN ANTERIOR CORRESPONDE A LA ECUACIÓN DE STOKES PARA LA VELOCIDAD FINAL DE ASENTAMIENTO LIBRE, Y ES LA QUE SERVIRÁ DE BASE PARA LA DEDUCCIÓN DE LAS FÓRMULAS EN COLECTORES CICLÓNICOS.

CONSIDERÁNDOSE EL CASO DE UNA PARTÍCULA SÓLIDA QUE ARRABTRADA POR UNA CORRIENTE DE GAS, PENETRA A UN CLASIFICADOR CICLÓNICO A UNA VELOCIDAD DETERMINADA. ÉSTA Y TODAS LAS DEMAS ADMITIDAS CON LA MASA DE GAS, DURANTE SU RECORRIDO EN ESPIRAL ALREDEDOR DEL CICLÓN, ESTÁN SUJETAS A UN SISTEMA DE FUERZAS QUE SON: FUERZA CENTRÍFUGA, FUERZA CENTRÍPETA O RADIAL Y FUERZA DE BIDA A LA ACCIÓN DE LA GRAVEDAD. COMO CONSECUENCIA DE LA ACCIÓN DEL SISTEMA DE FUERZAS, LA VELOCIDAD SE DESCOMPONE EN CUATRO VECTORES QUE SON: VELOCIDAD TANGENCIAL, DOS COMPONENTES EN DIRECCIÓN RADIAL Y DE SENTIDO CONTRARIO Y UNA COMPONENTE EN DIRECCIÓN VERTICAL.

SE HA ENCONTRADO QUE LA COMPONENTE TANGENCIAL DE LA VELOCIDAD DEL GAS, ES MAYOR (4), EN EL ESPACIO ANULAR, Y MENOR EN LAS REGIONES CENTRALES DE ALTA TURBULENCIA EN DONDE EL DIÁMETRO ES ALREDEDOR DE 0.4 VECES EL DIÁMETRO DEL DUCTO DE SALIDA. LA COMPONENTE VERTICAL TIENE SENTIDO HACIA ABAJO EN LAS CERCANÍAS DE LA PARED DEL CICLÓN, PERO EN LA ZONA CENTRAL TIENE SENTIDO CONTRARIO, YA QUE EL VACÍO QUE SE ORIGINA EN ÉSTA ZONA DE ALTA TURBULENCIA, TIENDE A ARRASTRAR LAS PARTÍCULAS HACIA LA PARTE SUPERIOR DEL DUCTO DE SALIDA. EN LA DIRECCIÓN RADIAL, UNA PARTÍCULA ESTÁ SUJETA A DOS FUERZAS OPUESTAS, ORIGINANDO UN PAR, LA FUERZA CENTRÍFUGA QUE TIENDE A ARROJARLA HACIA LAS PAREDES DEL CICLÓN, Y LA RESISTENCIA QUE OPONE EL FLÚIDO AL MOVIMIENTO, QUE TIENDE A LLEVAR LA PARTÍCULA HACIA EL DUCTO DE SALIDA. ÉSTAS DOS FUERZAS SON FUNCIÓN DEL RADIO DE ROTACIÓN Y DEL TAMAÑO DE LA PARTÍCULA, DANDO POR RESULTADO QUE PARTÍCULAS DE DIFERENTE TAMAÑO TIENDEN A GIRAR A DIFERENTES RADIOS. COMO LAS FUERZAS QUE TIENDEN A ARRASTRAR LAS PARTÍCULAS HACIA AFUERA AUMENTA CON LA VELOCIDAD TANGENCIAL, Y LA FUERZA QUE SE OPONE A ESTE ARRASTRE AUMENTA CON LA VELOCIDAD RADIAL CON QUE SE MUEVE LA PARTÍCULA; EL SEPARADOR DEBE DISEÑARSE DE TAL MANERA QUE LA VELOCIDAD TANGENCIAL SÉA ALTA Y LA VELOCIDAD RADIAL SÉA BAJA. ESTA CONDICIÓN SE CONSIGUE INTRODUCIENDO LA CORRIENTE DE GAS A UNA VELOCIDAD ELEVADA EN LA ENTRADA DEL SEPARADOR Y AUMENTANDO LA ALTURA DE ÉSTE (4).

PARA EL CASO DE UNA PARTÍCULA ESFÉRICA QUE PENETRA A UN CLASIFICADOR CICLÓNICO, LA FUERZA CENTRÍFUGA QUE ACTÚA SOBRE ELLA ESTA DADA POR:

$$F = \frac{M V_T^2}{G_C R} = \frac{\pi D_P^3 (\rho_s - \rho) g V_T^2}{6 G_C R G} \quad (12)$$

SIENDO  $V_T$  VELOCIDAD TANGENCIAL DE LA PARTÍCULA Y QUE SE CONSIDERA PRÁCTICAMENTE IGUAL A LA COMPONENTE TANGENCIAL DEL GAS.

$G_C$  - FACTOR DE CONVERSIÓN

$M$  - MASA DE LA PARTÍCULA SÓLIDA.

$R$  - RADIO AL CUAL GIRA LA PARTÍCULA.

LA FUERZA DE RESISTENCIA QUE PRESENTA EL FLÚIDO AL MOVIMIENTO DE LA PARTÍCULA, Y QUE TIENDE A ARRASTRARLA HACIA LA PARTE CENTRAL DEL CICLÓN, ES PROPORCIONAL A LA VELOCIDAD RADIAL, SUPONIENDO QUE SE SIGUE LA LEY DE STOKES, ESTA RESISTENCIA ESTA DADA POR LA EXPRESIÓN SIGUIENTE:

$$R = \frac{3 \pi D_P \mu V_R}{G_C} \quad (13)$$

DONDE  $V_R$  ES LA COMPONENTE RADIAL DE LA VELOCIDAD Y  $R$  ESTA DADA EN UNIDADES DE FUERZA.

AHORA SI SE RELACIONA POR MEDIO DE UNA ECUACIÓN LA FUERZA CENTRÍFUGA QUE ACTÚA SOBRE UNA PARTÍCULA, CON LA RESISTENCIA QUE OPONE EL FLÚIDO AL MOVIMIENTO DE LA MISMA, ES POSIBLE CALCULAR LA VELOCIDAD CENTRÍFUGA DE ASENTAMIENTO QUE SE DESIGNA COMO  $V_R$ .

ASI COMBINANDO LA ECUACIÓN 12 CON LA 13, SE TIENE:

$$R = F = \frac{3 \pi D_P \mu V_R}{G_C} = \frac{\pi D_P^3 (\rho_s - \rho) g}{6 G_C} \frac{V_T^2}{R G}$$

DESPEJANDO:

$$V_R = \frac{D_P^2 (\rho_s - \rho) g}{18 \mu} \frac{V_T}{R G}$$

Y COMBINANDO CON LA ECUACIÓN 11, SE TIENE QUE  $V_R = V_0 \frac{V_T^2}{Rg}$  (14)  
 ESTA ECUACIÓN SE APLICA CUANDO EL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS POR  
 SEPARAR SE TIENE COMO DATO Y ADEMÁS CUANDO CONOCÉN LAS DIMEN--  
 SIONES DEL SEPARADOR. CUANDO EL TAMAÑO DE PARTÍCULA SE DESCO--  
 NOCE, LA VELOCIDAD DE ASENTAMIENTO LIBRE ES UNA INCÓGNITA, Y -  
 PARA ENCONTRARLA ES NECESARIO EXPRESAR LA ECUACIÓN 14 EN LA SI-  
 GUIENTE FORMA:

$$V_0 = \frac{V_R}{V_T^2} Rg \quad (15)$$

LA ECUACIÓN ANTERIOR DICE QUE, MIENTRAS MAYOR ES LA  
 VELOCIDAD DE ASENTAMIENTO LIBRE DE UNA PARTÍCULA, MAYOR ES EL  
 RADIO AL CUAL TIENDE A GIRAR Y SU SEPARACIÓN ES MÁS SENCILLA.

SUPONIENDO QUE LAS PARTÍCULAS POR SEPARAR, SE ENCUEN-  
 TRAN PRECISAMENTE EN LA ZONA CENTRAL CRÍTICA, CUYO DIÁMETRO CO-  
 RRESPONDE COMO YA SE DIJO A  $0.4 D_0$  ( $D_0$  ES EL DIÁMETRO DEL DUC-  
 TO DE SALIDA), LA VELOCIDAD FINAL DE SEPARACIÓN DE LA PARTÍCUL-  
 A MÁS PEQUEÑA QUE PUEDE SER RETENIDA EN EL SEPARADOR, SE EN-  
 CUENTRA SUSTITUYENDO  $h = 0.2 D_0$  EN LA ECUACIÓN 15:

$$V_0 = \frac{V_R}{V_T^2} 0.2 D_0 g \quad (15A)$$

SE HA ENCONTRADO QUE LA VELOCIDAD RADIAL  $V_R$  ES APROXIMADAMENTE  
 CONSTANTE (4) Y ESTÁ DADA POR LA EXPRESIÓN SIGUIENTE:

$$V_R = \frac{G'}{2\pi R \rho z} \quad (16)$$

DONDE  $G'$  = ES EL GASTO EN MASA DEL AIRE QUE ENTRA AL SEPARADOR.

$z$  = ES LA ALTURA DEL SEPARADOR.

EXPERIMENTALMENTE SE HA ENCONTRADO (4) QUE LA VELOCI-  
 DAD TANGENCIAL, ES INVERSAMENTE PROPORCIONAL A LA RAÍZ CUADRADA

DEL RADIO Y A TODOS LOS NIVELES DEL CICLÓN. ENTONCES SI SE DESIGNA POR  $V_T$  LA COMPONENTE TANGENCIAL DE LA VELOCIDAD A UN RADIO  $r$ , Y  $V_{T0}$  ES EL VALOR CORRESPONDIENTE EN LA PARED DEL SEPARADOR, SE TIENE:

$$V_T = V_{T0} \sqrt{\frac{D}{2r}} \quad (17)$$

SIENDO  $D$  DIÁMETRO DEL SEPARADOR.

EN LA PRÁCTICA SE HA OBSERVADO QUE  $V_{T0}$  ES APROXIMADAMENTE IGUAL A LA VELOCIDAD DE ENTRADA DEL GAS AL SEPARADOR. - REEMPLAZANDO LOS VALORES DE  $V_r$  Y  $V_T$  EN LA ECUACIÓN 15A, LA VELOCIDAD TERMINAL DE LAS PARTÍCULAS MÁS PEQUEÑAS, QUE RETIENE EL SEPARADOR ESTA DADA POR:

$$V_0 = \frac{0.2 G' D_0 g}{\pi \rho Z D V_{T0}^2} \quad (18)$$

SI EL ÁREA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA ENTRADA -- DEL CICLÓN SE DESIGNA POR  $A_C$ , EL GASTO EN MASA DEL AIRE ESTÁ DADO POR:  $G' = A_C V_{T0} \rho$  Y SUSTITUYENDO ÉSTE VALOR EN LA ECUACIÓN 18 SE TIENE:

$$V_0 = \frac{0.2 A_C D_0 g}{\pi Z D V_{T0}}$$

O SEA QUE:

$$\frac{D_p^2 \rho_b}{18 \mu} = \frac{0.2 A_C D_0}{\pi Z D V_{T0}} \quad (19)$$

DE LA ECUACIÓN ANTERIOR SE DEDUCE, QUE MIENTRAS MÁS PEQUEÑOS SEAN EL ÁREA DE ENTRADA AL SEPARADOR, Y EL DIÁMETRO - DEL DUCTO DE SALIDA DEL MISMO, MÁS PEQUEÑA SERÁ TAMBIÉN LA PARTÍCULA QUE SE SEPARA, PERO LA CÁIDA DE PRESIÓN DENTRO DE ÉSTE VARÍA PROPORCIONALMENTE CON LOS CUADRADOS DE LA VELOCIDAD A LA

ENTRADA Y SALIDA DEL MISMO, Y EN ÉSTAS CONDICIONES EL LÍMITE - PRÁCTICO SE FIJA DE ACUERDO CON LA MÁXIMA CAÍDA DE PRESIÓN PERMISIBLE. LA ALTURA Y EL DIÁMETRO DEL SEPARADOR DEBEN SER TAN GRANDES COMO SÉA POSIBLE, YA QUE EL PRIMERO DETERMINA LA COMPONENTE RADIAL DE LA VELOCIDAD, MIENTRAS QUE EL SEGUNDO CONTROLA LA VELOCIDAD TANGENCIAL A CUALQUIER RADIO. AHORA PUESTO QUE - LAS PARTÍCULAS GRANDES REQUIEREN UN RADIO DE ROTACIÓN MAYOR, - MIENTRAS MÁS GRANDE SÉA EL TAMAÑO DE PARTÍCULA MAYOR SERÁ EL - DIÁMETRO DEL SEPARADOR, Y MÁS ALTA SERÁ LA VELOCIDAD QUE PUEDA USARSE A LA ENTRADA SIN CAUSAR TURBULENCIA DENTRO DE ESTE. EL FACTOR QUE DETERMINA EL TAMAÑO MÁXIMO ES DE ÍNDOLE ECONÓMICO.

TRABAJO EXPERIMENTAL EN EL CLASIFICA-  
DOR DE COLECTORES CICLONICOS.

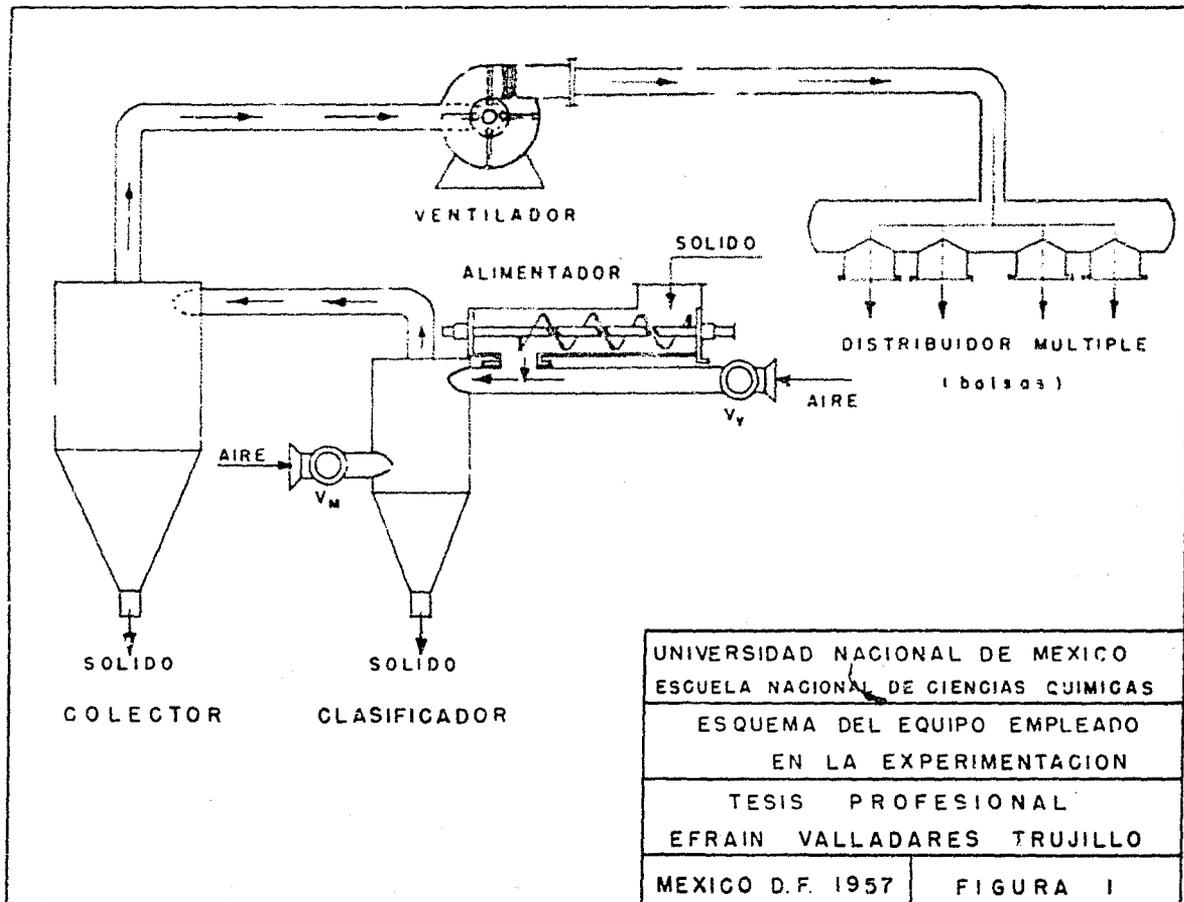
- A) DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO EMPLEADO
- B) PROCEDIMIENTO SEGUIDO.
- C) RESULTADOS.

## TRABAJO EXPERIMENTAL EN EL CLASIFICADOR DE COLECTORES CICLONICOS.

A) DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO EMPLEADO.— EL APARATO EXPERIMENTAL - "LABORATORY SYSTEMS" (4) ESTÁ FORMADO (FIG. 1) POR DOS CICLONES EN SERIE, SIENDO EL MÁS PEQUEÑO EL CLASIFICADOR PROPIAMENTE DICHO (A). ESTE TIENE 8 PULGADAS DE DIÁMETRO Y 21.25 PULGADAS DE ALTURA. EN ESTAS DIMENSIONES QUEDAN COMPRENDIDAS LAS CÁMARA - CILÍNDRICAS DE 8x9.25", UNIDA A UNA SECCIÓN CÓNICA DE 10" DE -- PROFUNDIDAD, TENIENDO EL DIÁMETRO DE LA PARTE MENOR UN VALOR DE 1.5". EN LA CÁMARA CILÍNDRICA EXISTEN DOS VÁLVULAS QUE SIRVEN PARA REGULAR LA ENTRADA DEL AIRE, ÉSTAS SON: LA DENOMINADA DE - PRESIÓN (V), Y LA DE MALLAS (M), CONSTRUÍDAS EN FORMA ANÁLOGA - (FIG. 1) Y QUE PRODUCEN VÓRTICES EN SENTIDOS CONTRARIOS.

EL CICLÓN GRANDE LLAMADO COLECTOR (B), TIENE UN DIÁME - TRO DE 12" Y 28.5" DE ALTURA; EN ÉSTE CASO LA CÁMARA CILÍNDRICA ES DE 12 x 12.75", LA SECCIÓN CÓNICA TIENE 15.75" DE PROFUNDI-- DAD TENIENDO SU DIÁMETRO MENOR UN VALOR DE 2". EL COLECTOR NO POSEE VÁLVULAS AUNQUE TIENE MANERA DE ADAPTÁRSELE EN EL CASO DE QUE EXISTA UN TERCER CICLÓN. TANTO EN EL CLASIFICADOR COMO EN EL COLECTOR, LOS DUCTOS DE ENTRADA TIENEN SECCIÓN CIRCULAR, Y - EN AMBOS CASOS LA ENTRADA ES EN FORMA TANGENCIAL A LA PARED DEL CICLÓN.

EL CONDUCTO MÚLTIPLE DE DISTRIBUCIÓN (FIG. 3), ES DE 4" DE DIÁMETRO. LA TUBERÍA ESTA PERFECTAMENTE PULIDA Y FORMADA POR CODOS QUE PUEDEN DESCONECTARSE CON LA MAYOR FACILIDAD. EL - ALIMENTADOR (T) ES DE GUSANO DE 3/4" DE DIÁMETRO Y CON DEPÓSITO DE MEDIO GALÓN, ESTE ALIMENTADOR ES MOVIDO POR UN MOTOREDUCTOR



DE 1/20 HP, CON VELOCIDAD DE SALIDA EN LA FLECHA DE 173 REVOLUCIONES POR MINUTO. EL VENTILADOR ES CENTRÍFUGO DE ASPAS RECTAS, CON CAPACIDAD DE 130 A 150 PIES CÚBICOS POR MINUTOS TRABAJANDO A 11.000 REVOLUCIONES POR MINUTO, Y ESTÁ IMPULSADO POR UN MOTOR TIPO UNIVERSAL DE 3/4 HP VOLTIOS; TODO MONTADO SOBRE UN TABLERO DE 31 x 48". COMPLETAN EL EQUIPO 6 BOLSAS DE PAÑO Y 2 MATRACES DE BOCA ANCHA Y FONDO PLANO DE 1,000 ML DE CAPACIDAD.

B) PROCEDIMIENTO SEGUIDO EN LA EXPERIMENTACIÓN.

TOMANDO EN CUENTA LA POSIBLE NECESIDAD DE UTILIZAR EN LA EXPERIMENTACIÓN DIVERSOS VOLÚMENES DE AIRE, LO QUE SE CONSIGUE HACIENDO VARIAR LA VELOCIDAD DEL VENTILADOR POR MEDIO DE UN REÓSTATO, SE PROCEDIÓ EN PRIMER LUGAR A DETERMINAR LAS VELOCIDADES DEL VENTILADOR CORRESPONDIENTES A LAS DIVERSAS GRADUACIONES DE LA ESCALA DEL REÓSTATO. LA CORRELACIÓN DE ÉSTOS DATOS ESTA REPRESENTADA POR LA GRÁFICA DE LA FIG. 10, ADJUNTA EN EL APÉNDICE I.

PARA SELECCIONAR EL MÉTODO A SEGUIR EN LA EXPERIMENTACIÓN CON EL SEPARADOR TIPO CICLÓNICO, SE HIZO UN ANALISIS DE -- LOS FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA SEPARACIÓN DE PARTÍCULAS.

OBSERVANDO CUIDADOSAMENTE LAS ECUACIONES 15 Y 20 DEL PRIMER CAPÍTULO, SE DEDUCE QUE PARA UN MATERIAL DADO Y UN SEPARADOR DE DIMENSIONES ESPECÍFICAS, EL DIÁMETRO MÍNIMO DE PARTÍCULA COLECTADA ES INVERSAMENTE PROPORCIONAL A LA RAÍZ CUADRADA DE LA VELOCIDAD DE ENTRADA DEL AIRE AL CICLÓN. ENTONCES LAS VARIABLES INDEPENDIENTES EN EL CASO PARTICULAR DE ÉSTE APARATO SON: EL GASTO  $Q$  QUE MANEJA EL VENTILADOR, LA VELOCIDAD DEL AIRE EN CADA UNA DE LAS VÁLVULAS, Y EL DIÁMETRO  $D_p$  DE LAS PARTÍCULAS. EL

GASTO DE AIRE PUEDE MANTENERSE PRÁCTICAMENTE CONSTANTE OPERANDO EL VENTILADOR A UN NÚMERO DE REVOLUCIONES POR UNIDAD DE -- TIEMPO CORRESPONDIENTE A ESE GASTO.

COMO SE DIJO AL HACER LA DESCRIPCIÓN DEL APARATO, -- LAS CORRIENTES DEL AIRE QUE PENETRAN POR CADA UNA DE LAS VÁLVULAS ORIGINAN VÓRTICES EN SENTIDOS CONTRARIOS, PRESENTANDO UNO DE ELLOS LA TENDENCIA A ARROJAR EL MATERIAL HACIA AFUERA, MIENTRAS QUE EL OTRO LO ARRASTRA EN SENTIDO CONTRARIO. EN ESTAS -- CONDICIONES, PARA UNA VELOCIDAD DETERMINADA EN CADA UNA DE LAS VÁLVULAS, LA VELOCIDAD DE SEPARACIÓN DE LAS PARTÍCULAS ES FUNCIÓN DE SU PROPIO DIÁMETRO. SI LA VELOCIDAD EN LA VÁLVULA DE PRESIÓN SE AUMENTA A EXPENSAS DE LA VELOCIDAD DE LA OTRA, EL -- FACTOR DE SEPARACIÓN CENTRÍFUGA EN EL VÓRTICE CORRESPONDIENTE TAMBIÉN AUMENTA, Y ENTONCES EL DIÁMETRO MÍNIMO DE PARTÍCULAS -- QUE SE ASIENTA SERÁ MENOR, O SEA QUE SE ASIENTAN PARTÍCULAS MÁS PEQUEÑAS.

SE PENSÓ QUE EN ESTA FORMA, SERÍA POSIBLE ELIMINAR -- PROGRESIVAMENTE LAS PARTÍCULAS GRUESAS, CONCENTRANDO AL MISMO TIEMPO LAS MÁS PEQUEÑAS EN EL SEGUNDO CICLÓN.

CON EL OBJETO DE VER HASTA QUE GRADO LAS SUPOSICIONES ANTERIORES ERAN CORRECTAS, SE PROCEDIÓ A ESTUDIAR EL EFECTO QUE TENÍA SOBRE LA SEPARACIÓN LA RELACIÓN DE LOS FLUJOS ADMITIDOS POR CADA UNA DE LAS VÁLVULAS PARA DIFERENTES GASTOS.

SE EFECTUARON PRUEBAS PRELIMINARES CARGANDO AL ALIMENTADOR UNA MUESTRA DEL CAOLÍN PROBLEMA, FIJANDO LAS VÁLVULAS EN UNA POSICIÓN DETERMINADA, MANTENIENDO UNA DE ELLAS INMÓVIL Y CERRANDO EN FORMA PROGRESIVA LA OTRA CON EL FIN DE TENER UNA

IDEA APROXIMADA DEL GRADO DE SEPARACIÓN EN CADA CASO. LAS FRACCIONES EN EL CLASIFICADOR EN CADA PRUEBA, SE ANALIZARON EN CUANTO A TAMAÑO Y PORCENTAJE DE PARTÍCULA. POR EL ANÁLISIS SE PUDO COMPROBAR, QUE EFECTIVAMENTE EL TAMAÑO DE LA PARTÍCULA SEPARADA EN EL CLASIFICADOR ERA CADA VEZ MENOR, A MEDIDA QUE AUMENTABA LA VELOCIDAD DEL AIRE EN LA VÁLVULA DE PRESIÓN, ENCONTRÁNDOSE PARA LA PORCIÓN RECUPERADA EN EL COLECTOR PARTÍCULAS HASTA DE MENOS DE 8 MICRAS. SE OBSERVÓ ADEMÁS, QUE CUANDO LA VÁLVULA DE PRESIÓN SE ABRÍA HASTA LAS POSICIONES DE LA ESCALA DE 30 O 15 Y DE MALLAS EN 20 Y 10 RESPECTIVAMENTE, TRABAJANDO EN LA FORMA -- DESCRITA ANTES, LOS RESULTADOS ERAN LOS MISMOS, PONIÉNDOSE DE MANIFIESTO QUE LA ABERTURA DE LAS VÁLVULAS NO AFECTABA LA SEPARACIÓN, SIEMPRE Y CUANDO LOS FLUJOS DE AIRE POR CADA UNA DE -- -- ELLAS GUARDEN CIERTA RELACIÓN ENTRE SÍ.

TOMANDO COMO BASE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS PRELIMINARES, SE OPTÓ POR LLEVAR A CABO LA EXPERIMENTACIÓN EN CONDICIONES SEMEJANTES, HACIENDO PEQUEÑAS MODIFICACIONES CON EL FIN DE MEJORAR LOS RESULTADOS. PARA ELLO SE EMPEZÓ A TRABAJAR CON UNA MUESTRA DE 0.500 KG DE CAOLÍN QUE SE ALIMENTARON A UN GASTO CONSTANTE DE 54 KG/HR (118.8 LB/HR). EL GASTO VOLUMÉTRICO DE AIRE SE MANTUVO CONSTANTE. SE FIJÓ ARBITRARIAMENTE LA POSICIÓN DE LA VÁLVULA DE PRESIÓN EN 15 Y LA DE LA VÁLVULA DE MALLAS EN 10. LA FRACCIÓN COLECTADA EN EL CLASIFICADOR SE RECIRCULÓ POR ÉSTE Y UNA VEZ COMPROBADO QUE SU PESO ERA CONSTANTE SE RETIRÓ PARA SU ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO. EL MATERIAL RECUPERADO EN EL COLECTOR DESPUÉS DE PESARBE SE PASÓ NUEVAMENTE AL ALIMENTADOR PARA EFECTUAR UNA SEGUNDA PRUEBA, COLOCANDO AHORA LA VÁLVULA

DE MALLAS EN B Y PERMANECIENDO LA OTRA INMÓVIL. EN ESTA FORMA SE SEDIMENTÓ EN EL CLASIFICADOR UNA FRACCIÓN DE POLVOS CUYAS PARTÍCULAS ERAN DE MENOR TAMAÑO QUE EN EL CASO ANTERIOR.

SE REPITIÓ ESTA OPERACIÓN COLOCANDO LA VÁLVULA DE MALLAS SECESIVAMENTE EN 7, 5 Y 4 OBSERVÁNDOSE QUE SI ÉSTA SE CIERRA MÁS, NO HAY CLASIFICACIÓN.

EN CADA UNA DE LAS FRACCIONES OBTENIDAS TANTO EN EL CLASIFICADOR COMO EN EL COLECTOR, SE DETERMINÓ EL TAMAÑO Y PORCENTAJE DE LAS PARTÍCULAS CON AYUDA DEL MICROSCOPIO, EMPLEANDO COMO MEDIO DE INMERSIÓN UN LÍQUIDO DE ÍNDICE DE REFRACCIÓN DE 1.68, Y SIGUIENDO EL MÉTODO COMÚN DE MICROSCOPÍA (5 Y 6) DE ARCILLAS, CEMENTOS ETC.

SE EFECTUARON EXPERIENCIAS PARA LOS GASTOS CORRESPONDIENTES A 5150, 7000, 10000 Y 13000 REVOLUCIONES POR MINUTO EN EL VENTILADOR. LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA EXPERIMENTACIÓN, SE PRESENTAN EN LAS TABLAS I, II, III Y IV RESPECTIVAMENTE.

EN VISTA DE QUE LAS ESCALAS QUE POSEEN LAS VÁLVULAS ESTAN GRADUADAS EN UNIDADES ARBITRARIAS, Y TOMANDO EN CUENTA LA IMPOSIBILIDAD DE PRECISAR LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN UTILIZANDO ÉSTE TIPO DE UNIDADES, SE JUZGÓ CONVENIENTE DETERMINAR LAS VELOCIDADES DEL AIRE EN CADA UNA DE ÉSTAS PARA LAS DIVERSAS COMBINACIONES DE LAS MISMAS DURANTE LA EXPERIMENTACIÓN. SE EMPLEÓ PARA ESTE OBJETO UN ANEMÓMETRO (ANEMOSTAT CORPORATION - OF AMERICA ). LOS VALORES ENCONTRADOS EN ESTA FORMA APARECEN EN LAS TABLAS DE RESULTADOS I, II, III Y IV.

LAS PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN CADA UNO DE LOS CICLONES, PARA LAS DIFERENTES CONDICIONES DE OPERACIÓN SE DETERMINARON -

POR MEDIO DE UN MANÓMETRO INCLINADO, RELACIONÁNDOSE CON LAS VELOCIDADES ANTERIORES. LOS DATOS OBTENIDOS SE MUESTRAN EN LA TABLA XII DEL APÉNDICE I, EN DONDE:

$\Delta P_1$  - PÉRDIDA DE PRESIÓN EN EL CLASIFICADOR.

$\Delta P_2$  - PÉRDIDA DE PRESIÓN EN EL COLECTOR.

$\Delta P_T$  - PÉRDIDA DE PRESIÓN TOTAL.

c) RESULTADOS. - LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA EXPERIMENTACIÓN SE PRESENTAN EN LAS TABLAS I, II, III Y IV, LOS CUALES ESTAN CONSTRUÍDOS PARA DIFERENTES VELOCIDADES DE AIRE - EN LA SIGUIENTE FORMA: EN LA SEGUNDA COLUMNA LAS CANTIDADES REPRESENTAN LA MUESTRA EN GRAMOS DEL CAOLÍN QUE SE ALIMENTA AL CLASIFICADOR, Y CON EXCEPCIÓN DEL PRIMER RENGLÓN, TODOS LOS DEMÁS CORRESPONDEN A LA FRACCIÓN SEPARADA EN EL CICLÓN COLECTOR EN LA PRUEBA QUE LE PRECEDE. PARA OBTENER EL GASTO EN MASA DEL CAOLÍN  $G$ , SE DIVIDE LA CANTIDAD ALIMENTADA ENTRE EL TIEMPO EN SEGUNDOS. LA COLUMNA  $V_M$  Y  $V_V$  REPRESENTAN VELOCIDADES EN LAS VÁLVULAS DE MALLAS Y DE PRESIÓN RESPECTIVAMENTE Y SON DATOS DETERMINADOS DIRECTAMENTE CON EL ANEMÓTERMO. LAS COLUMNAS  $Q_V$  Y  $Q_M$  REPRESENTAN EL GASTO VOLUMÉTRICO DE AIRE EN LAS VÁLVULAS DE MALLAS Y DE PRESIÓN RESPECTIVAMENTE, Y SE OBTIENEN MULTIPLICANDO LA VELOCIDAD POR EL ÁREA DE LA SECCIÓN Y HACIENDO LA TRANSFORMACIÓN CORRESPONDIENTE PARA EXPRESARLO EN LITROS POR SEGUNDO. LA COLUMNA QUE REPRESENTA LA CONCENTRACIÓN A LA ENTRADA DEL CLASIFICADOR SE OBTIENE DIVIDIENDO EL GASTO EN MASA DEL CAOLÍN  $G$ , ENTRE EL VOLUMEN DE AIRE  $Q_V$  QUE ENTRA POR LA VÁLVULA DE PRESIÓN AL CLASIFICADOR. EL CAOLÍN COLECTADO EN EL CLASIFI

CADOR Y COLECTOR SE DETERMINA PESANDO DIRECTAMENTE, MIENTRAS --  
QUE EL MATERIAL COLECTADO EN LAS BOLSAS SE OBTIENE POR DIFEREN  
CIA. LA COLUMNA QUE REPRESENTA EL DIÁMETRO DE PARTÍCULA, SE -  
REFIERE AL MÍNIMO DE PARTÍCULA COLECTADA EN EL CLASIFICADOR BA  
JO LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA PRUEBA. LA COLUMNA DE -  
PORCENTAJE EN PESO SE REFIERE AL PORCENTAJE COLECTADO EN EL --  
CLASIFICADOR CON RESPECTO A LA MUESTRA ORIGINAL DE 500 G.

SE PUEDE OBSERVAR TAMBIEN DE LOS RESULTADOS, QUE DES  
PUÉS DE LA CUARTA PRUEBA EN TODOS LOS CASOS, EL CAOLÍN SEPARA  
DO EN EL CLASIFICADOR, REVELA TENER EN SU TOTALIDAD PARTÍCULAS  
MENORES DE 10 MICRAS, LO CUAL HACE SUPONER QUE LA FRACCIÓN RE  
CUPERADA EN EL CICLÓN COLECTOR DESPUÉS DE LA TERCERA PRUEBA --  
CONTIENE UN GRAN PORCENTAJE DE PARTÍCULAS INFERIORES A ESE TA  
MAÑO. CON EL OBJETO DE CONOCER CON MAYOR APROXIMACIÓN LA DIS  
TRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA EN LA FRACCIÓN DEL COLECTOR  
DESPUÉS DE LA TERCERA PRUEBA EN CADA UNA DE LAS TABLAS ANTERIO  
RES, SE PROCEDIÓ EN TODOS LOS CASOS A HACER UN ANÁLISIS GRANU  
LOMÉTRICO EMPLEANDO EL MÉTODO DE BOUYOUCUS EN LA FORMA DESCR  
TA EN EL APÉNDICE I, OBTENIÉNDOSE LOS RESULTADOS QUE SE PRESEN  
TAN EN LOS CUADROS V, VI, VII Y VIII. EN LAS COLUMNAS ÚLTIMAS  
DE ÉSTOS CUADROS, SE DAN LOS RESULTADOS DEL DIÁMETRO MÍNIMO DE  
PARTÍCULA COLECTADA Y EL CORRESPONDIENTE PORCENTAJE DISMINUTI  
VO EN PESO DE MATERIAL COLECTADO. ÉSTOS RESULTADOS SE PRESEN  
TAN A MANERA DE GRÁFICAS EN LAS FIGURAS 2, 3, 4 Y 5, PARA DIFE  
RENTES VELOCIDADES DEL AIRE A LA ENTRADA DEL COLECTOR.

TABLA I

RELACION DE VELOCIDAD DE ENTRADA DEL AIRE AL CLASIFICADOR Y TAMAÑO DE PARTÍCULA COLECTADA EN UNA MUESTRA DE CAOLÍN PLÁSTICO, EMPLEANDO UN GASTO VOLUMÉTRICO TOTAL DE AIRE  $Q = 15,55$  LT/SEG. ( $0,55$  PIES<sup>3</sup>/SEG)

| Nº DE PRUEBA | CAOLÍN QUE ENTRA AL CLASIFICADOR | TIEMPO DE ALIMENTACIÓN | GASTO DE ALIMENTACIÓN | VELOCIDAD DE ENTRADA DEL AIRE AL CLASIFICADOR |       | GASTO VOLUMÉTRICO DE AIRE |       | CONCENTRACIÓN DEL CAOLÍN EN EL AIRE | PESO DE LAS DIVERSAS FRACCIONES SEPARADAS |     |    | ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN DEL CLASIFICADOR       |                    |
|--------------|----------------------------------|------------------------|-----------------------|---|-------|---------------------------|-------|-------------------------------------|---|-----|----|--|--------------------|
|              |                                  |                        |                       | $V_M$   | $V_V$ | $Q_M$                     | $Q_V$ |                                     | GR  | GR  | GR | DIÁMETRO MÍNIMO DE PARTÍCULA SEPARADA (MICRAS) | PORCENTAJE EN PESO |
| 1            | 500                              | 105                    | 4.75                  | 3.30  | 8.0   | 6.45                      | 9.10  | 0.52                                | 39.0                                      | 384 | 77 | 30   | 7.9                |
| 2            | 384                              | 55                     | 6.97                  | 2.54  | 8.6   | 5.90                      | 9.65  | 9.72                                | 32.0                                      | 310 | 42 | 25   | 6.4                |
| 3            | 310                              | 40                     | 7.75                  | 2.14  | 9.0   | 5.40                      | 10.15 | 0.77                                | 15.0                                      | 275 | 20 | 17   | 3.0                |
| 4            | 275                              | 25                     | 11.00                 | 1.10  | 9.2   | 5.15                      | 10.40 | 1.06                                | 185.0                                     | 80  | 10 | 10   | 37.0               |
| 5            | 80                               | 7                      | 11.50                 | 0.00  | 13.8  | 0.00                      | 15.55 | 0.74                                | 80.0                                      | 00  | 00 | 8  | 16.0               |
| SUMA:        |                                  |                        |                       |   |       |                           |       |                                     |   |     |    | 70.3   |                    |

NOTA: EL CAOLÍN QUE PASA A LAS BOLSAS ES 100-70.3 = 29.7%

TABLA II

RELACION DE VELOCIDAD DE ENTRADA DEL AIRE Y TAMAÑO DE PARTICULA COLECTADA EN UNA MUESTRA DE CAG LÍN PLÁSTICO, EMPLEANDO UN GASTO VOLUMÉTRICO DE AIRE TOTAL  $Q = 21.3$  L/SEG. ( $0.75$  PIES<sup>3</sup>/SEG).

| Nº DE PRUEBA | CAOLÍN QUE ENTRA AL CLASIFICADOR | TIEMPO DE ALIMENTACION | GASTO DE ALIMENTACION | VELOCIDAD DE ENTRADA DEL AIRE AL CLASIFICADOR |       | GASTO VOLUMÉTRICO DE AIRE |       | CONCENTRACION DEL CAG LÍN EN EL AIRE | PESO DE LAS DIVERSAS FRACCIONES SEPARADAS |     |      | ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN DEL CLASIFICADOR |  |
|--------------|----------------------------------|------------------------|-----------------------|---|-------|---------------------------|-------|--------------------------------------|---|-----|------|--|--|
|              |                                  |                        |                       | $V_M$   | $Q_V$ | $Q_M$                     | $Q_V$ |                                      | GR/L                                      | GR  | GR   | GR                                       | DIÁMETRO MÍNIMO DE PARTICULA SEPARADA (MICRAS) |
| 1            | 500                              | 75                     | 6.65                  | 4.15  | 11.25 | 8.8                       | 12.5  | 0.53                                 | 26.5                                      | 410 | 63.5 | 28                                       | 5.3  |
| 2            | 410                              | 40                     | 10.30                 | 3.44  | 11.75 | 2.2                       | 13.1  | 0.79                                 | 66.5                                      | 321 | 22.5 | 21                                       | 13.3   |
| 3            | 321                              | 30                     | 10.70                 | 3.20  | 12.60 | 7.3                       | 14.0  | 0.77                                 | 32.0                                      | 277 | 12.0 | 13                                       | 6.4  |
| 4            | 277                              | 20                     | 13.80                 | 1.90  | 13.15 | 6.8                       | 14.5  | 0.95                                 | 30.0                                      | 242 | 5.0  | 9  | 5.0  |
| 5            | 242                              | 15                     | 16.10                 | 1.22  | 13.50 | 6.3                       | 15.0  | 1.07                                 | 150.0                                     | 90  | 2.0  | 6  | 30.0   |
| 6            | 90                               | 5                      | 18.00                 | 0.00  | 18.70 | 0.0                       | 21.3  | 0.85                                 | 90.0                                      | 00  | 0.0  | 6  | 18.0   |
| SUMA:        |                                  |                        |                       |   |       |                           |       |                                      |   |     |      | 78.0                                     |  |

TABLA III

RELACION DE VELOCIDAD DE ENTRADA DEL AIRE AL CLASIFICADOR Y TAMAÑO DE PARTICULA COLECTADA EN UNA MUESTRA DE CAOLÍN PLÁSTICO, EMPLEADO UN GASTO VOLUMÉTRICO DE AIRE  $Q = 32$  L/SEG (1,13 PIES<sup>3</sup>/SEG)

| Nº DE PRUEBA | CAOLÍN QUE ENTRA AL CLASIFICADOR | TIEMPO DE ALIMENTACIÓN | GASTO DE ALIMENTACIÓN | VELOCIDAD DE ENTRADA DEL AIRE AL CLASIFICADOR |       | GASTO VOLUMÉTRICO DE AIRE |       | CONCENTRACIÓN DEL CAOLÍN EN EL AIRE | PESO DE LAS DIVERSAS FRACCIONES SEPARADAS |        |       | ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN DEL CLASIFICADOR |  |
|--------------|----------------------------------|------------------------|-----------------------|---|-------|---------------------------|-------|-------------------------------------|---|--------|-------|--|--|
|              |                                  |                        |                       | $V_M$   | $Q_V$ | $Q_M$                     | $Q_V$ |                                     | GR/L                                      | CLASIF | COLEC | BOLSAS                                   | DIÁMETRO MÍNIMO DE PARTICULA SEPARADA (MICRAS) |
| 1            | 500                              | 30                     | 15.7                  | 6.24  | 17.2  | 12.8                      | 19.2  | 0.82                                | 9.5                                       | 448    | 42.5  | 28                                       | 1.9  |
| 2            | 448                              | 20                     | 22.4                  | 4.78  | 18.3  | 11.6                      | 20.4  | 1.10                                | 52.0                                      | 372    | 24.0  | 19                                       | 10.4   |
| 3            | 372                              | 14                     | 26.6                  | 4.10  | 19.6  | 10.0                      | 22.0  | 1.21                                | 57.5                                      | 296    | 19.5  | 14                                       | 11.5   |
| 4            | 296                              | 10                     | 29.6                  | 2.40  | 20.8  | 9.0                       | 23.0  | 1.29                                | 68.0                                      | 212    | 16.0  | 8  | 13.6   |
| 5            | 212                              | 7                      | 30.2                  | 1.92  | 21.5  | 8.7                       | 23.3  | 1.30                                | 35.0                                      | 65     | 12.0  | 5  | 28.1   |
| 6            | 65                               | 2                      | 32.5                  | 0.00  | 28.1  | 0.0                       | 32.0  | 1.02                                | 65.0                                      | 00     | 0.0   | 5  | 13.2   |
| SUMA:        |                                  |                        |                       |   |       |                           |       |                                     |   |        |       | 78.7                                     |  |

ESTADÍSTICA DE VELOCIDAD DE ENTRADA DEL AIRE EN CLASIFICACIONES Y TIEMPO DE PARTIDA COLECTADA EN UNA PLANTA DE CALOR POTENCIAL, EMPLEANDO UN SISTEMA DE MEDICIONES TOTAL DE AIRE SENSITIVIZADO (I.A.P./SEG)

| Nº DE PROBAR | SEG | D/SEG | V/SEG |      | LT/SEG |      | GR/L | COLEG |       | DIFERENCIA DE PARTIDA (MICRAS) | PORCENTAJE DE TA DE |
|--------------|-----|-------|-------|------|--------|------|------|-------|-------|--------------------------------|---------------------|
|              |     |       | VM    | VV   | LV     | LVV  |      | GR    | GR    |                                |                     |
| 500          | 20  | 25.0  | 8.33  | 20.0 | 17.4   | 22.3 | 1.12 | 3.0   | 474   | 23.0                           | 0.6                 |
| 3474         | 15  | 31.5  | 6.08  | 21.7 | 15.5   | 24.2 | 1.30 | 15.5  | 437   | 21.5                           | 1.1                 |
| 3437         | 12  | 36.5  | 5.14  | 22.3 | 14.9   | 24.8 | 1.46 | 60.0  | 331   | 26.0                           | 16.0                |
| 4331         | 8   | 41.4  | 3.37  | 25.2 | 11.7   | 28.0 | 1.48 | 120.0 | 194.5 | 16.5                           | 24.0                |
| 5194.5       | 4   | 50.0  | 2.68  | 28.6 | 7.9    | 31.8 | 1.56 | 140.0 | 31.5  | 23.0                           | 28.0                |
| 631.5        | 0.5 | 63.0  | 0.00  | 35.0 | 0.0    | 39.7 | 1.60 | 31.5  | --    | --                             | 6.3                 |
| SUMA:        |     |       |       |      |        |      |      |       |       |                                | 78.0                |

TABLA V

GRANULOMETRÍA DEL CAOLÍN RECUPERADO EN EL CICLÓN COLECTOR, DESPUÉS DE TRATAR LA MUESTRA BAJO LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA TERCERA PRUEBA DE LA TABLA # 4 CON VELOCIDAD DEL AIRE A LA ENTRADA DEL COLECTOR DE:  $V_c = 7.7 \text{ m/seg. (25.3 m/seg.)}$ .

| TIEMPO EN MINUTOS<br>T | TEMPERATURA °C | LECTURA DEL HIDRÓMETRO<br>H | CORRECCIÓN POR MENISCO + 0.5 | CORRECCIÓN POR TEMPERATURA °C | ALTURA REAL DE CAÍDA<br>H <sub>MC</sub> | DIÁMETRO PARTICULA<br>D <sub>p</sub> (MICRAS) | PORCENTO PARCIAL DISMINUT |      |
|------------------------|----------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|---|---|---------------------------|------|
| 0                      | 25.0           | 48.0                        | 48.5                         | 50.50                         | 9.50                                    | ---   |                           |      |
| 1                      | 25.0           | 47.0                        | 47.5                         | 49.50                         | 9.55                                    | 30.0  | 1.0                       | 99.0 |
| 2                      | 25.0           | 44.0                        | 44.5                         | 46.50                         | 10.20                                   | 26.0  | 6.0                       | 93.0 |
| 6                      | 25.0           | 40.0                        | 40.5                         | 42.50                         | 10.90                                   | 17.4  | 8.0                       | 85.0 |
| 12                     | 25.0           | 35.0                        | 35.5                         | 36.00                         | 12.00                                   | 12.4  | 13.0                      | 72.0 |
| 40                     | 24.5           | 29.0                        | 29.5                         | 31.25                         | 12.80                                   | 7.3   | 9.5                       | 52.5 |
| 60                     | 24.0           | 27.0                        | 27.5                         | 29.25                         | 13.15                                   | 6.1   | 4.0                       | 58.5 |
| 120                    | 24.0           | 24.0                        | 24.5                         | 26.25                         | 13.70                                   | 4.6   | 6.0                       | 52.5 |
| 180                    | 24.0           | 23.0                        | 23.5                         | 25.25                         | 13.90                                   | 3.6   | 2.0                       | 50.5 |
| 360                    | 28.0           | 18.5                        | 19.0                         | 22.50                         | 14.35                                   | 2.4   | 5.5                       | 45.0 |
| 480                    | 27.5           | 17.5                        | 18.0                         | 21.25                         | 14.57                                   | 2.2   | 2.5                       |      |

TABLA VI

GRANULOMETRÍA DEL CAOLÍN RECUPERADO EN EL CICLÓN COLECTOR, DESPUES DE TRATAR LA MUESTRA BAJO LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA TERCERA PRUEBA DE LA TABLA # 5 CON VELOCIDAD DEL AIRE A LA ENTRADA DEL COLECTOR DE:  $V_c = 10.5 \text{ M/SEG. (34.5 P/SEG.)}$ .

| TIEMPO EN MINUTOS<br>T | TEMPERATURA. °C | LECTURA DEL HIDRÓMETRO<br>H | CORRECCIÓN POR MENISCO + 0.5 | CORRECCIÓN POR TEMPERATURA Hc | ALTURA REAL DE CAÍDA<br>Rhc | DIÁMETRO PARTICULA<br>Dp (MICRAS) | PORCIENTO PARCIAL %/MINUT |      |
|------------------------|-----------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|---------------------------|------|
| 0                      | 28.0            | 46.5                        | 47.0                         | 50.5                          | 8.90                        | ---                               |                           |      |
| 1                      | 28.0            | 46.0                        | 46.5                         | 50.0                          | 9.50                        | ---                               |                           |      |
| 2                      | 28.0            | 44.0                        | 44.5                         | 48.0                          | 9.90                        | 28.5                              | 4.0                       | 96.0 |
| 6                      | 28.0            | 39.0                        | 39.5                         | 43.0                          | 10.80                       | 17.2                              | 10.0                      | 86.0 |
| 12                     | 28.0            | 35.0                        | 35.5                         | 39.0                          | 11.15                       | 11.7                              | 8.0                       | 78.0 |
| 40                     | 28.0            | 30.0                        | 30.5                         | 34.0                          | 12.35                       | 6.9                               | 10.0                      | 68.0 |
| 60                     | 28.0            | 28.0                        | 28.5                         | 32.0                          | 12.70                       | 5.8                               | 4.0                       | 64.0 |
| 120                    | 28.0            | 26.5                        | 27.0                         | 30.5                          | 12.95                       | 4.4                               | 3.0                       | 61.0 |
| 180                    | 26.0            | 25.0                        | 25.0                         | 27.5                          | 13.50                       | 3.5                               | 6.0                       | 55.0 |
| 300                    | 27.0            | 23.0                        | 23.5                         | 26.5                          | 13.65                       | 2.7                               | 2.0                       | 53.0 |
| 480                    | 27.5            | 22.0                        | 22.5                         | 25.75                         | 13.80                       | 2.2                               | 1.5                       | 51.5 |

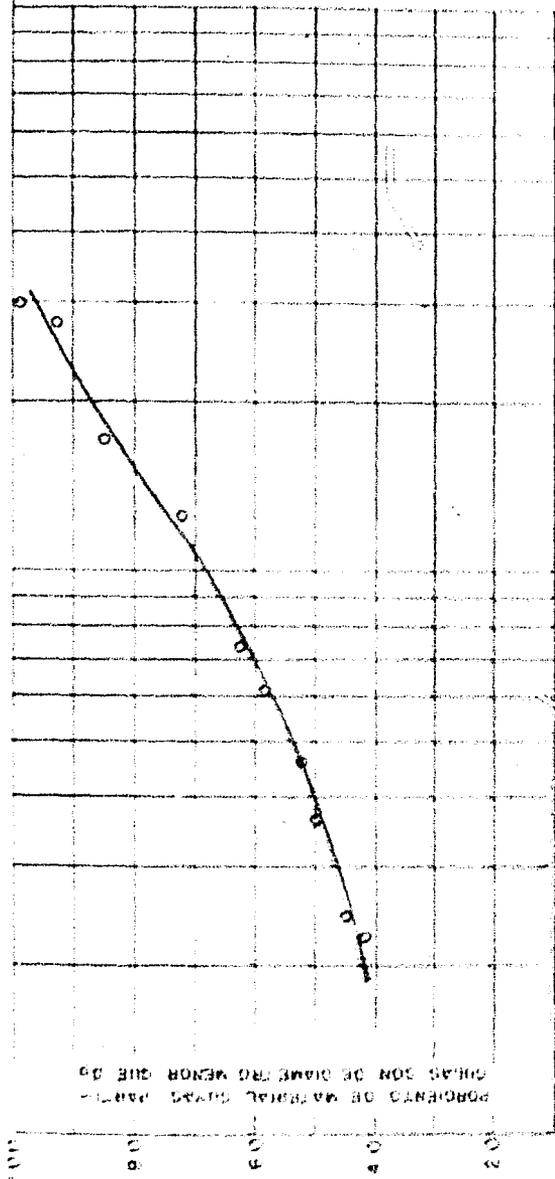
TABLA VII

GRANULOMETRÍA DEL CAOLÍN RECUPERADO EN EL CICLÓN COLECTOR, DESPUÉS DE TRATAR LA MUESTRA BAJO LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA TERCERA PRUEBA DE LA TABLA # 6 CON VELOCIDAD DEL AIRE A LA ENTRADA DEL COLECTOR DE:  $V_c = 15.8$  M/SEG. (52.P/SEG).

| TIEMPO EN MINUTOS<br>T | TEMPERATURA. °C | LECTURA DEL HIDRÓMETRO<br>H | CORRECCIÓN POR MENISCO + 0.5 | CORRECCIÓN POR TEMPERATURA Hc | ALTURA REAL DE CAÍDA<br>Rhc | DIÁMETRO PARTÍCULA<br>Dp (MICRAS) | PORCIENTO |          |
|------------------------|-----------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------|----------|
|                        |                 |                             |                              |                               |                             |                                   | PARCIAL   | DISMINUT |
| 0                      | 28.0            | 46.0                        | 46.5                         | 50.0                          | 9.50                        | --                                |           |          |
| 1                      | 26.0            | 46.0                        | 46.5                         | 50.0                          | 9.50                        | --                                |           |          |
| 2                      | 28.0            | 45.0                        | 45.5                         | 49.0                          | 9.75                        | 28.3                              | 2.0       | 98.0     |
| 6                      | 28.0            | 42.0                        | 42.5                         | 46.0                          | 10.30                       | 16.8                              | 6.0       | 92.0     |
| 12                     | 28.0            | 37.0                        | 37.5                         | 41.0                          | 11.15                       | 11.6                              | 10.0      | 82.0     |
| 40                     | 28.0            | 35.0                        | 35.5                         | 39.0                          | 11.50                       | 6.9                               | 4.0       | 78.0     |
| 60                     | 28.0            | 32.5                        | 33.0                         | 36.5                          | 11.90                       | 5.7                               | 5.0       | 73.0     |
| 120                    | 28.0            | 31.0                        | 31.5                         | 35.0                          | 12.20                       | 4.1                               | 3.0       | 70.0     |
| 180                    | 27.0            | 30.0                        | 30.5                         | 33.5                          | 12.45                       | 3.4                               | 3.0       | 67.0     |
| 300                    | 27.0            | 29.0                        | 29.5                         | 32.5                          | 12.60                       | 2.6                               | 2.0       | 65.0     |
| 480                    | 27.5            | 26.0                        | 27.0                         | 30.25                         | 13.00                       | 2.00                              | 4.5       | 60.5     |

TRANSFORMACIÓN DEL CAUDAL PERFORADO EN EL CICLÓN COLECTIVO, DESPUÉS DE INICIAR LA MUESTRA BAJO CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA TERREIRA CRUEBA DE LA TABLA N.º 1 CON UNA VELOCIDAD A LA ENTRADA DEL AIRE EN EL COLECTOR DEL V.º 12.15 M/SEG. (64.3 F/SEG).

| TIEMPO EN MINUTOS | TEMPERATURA DEL CAUDAL PERFORADO | VELOCIDAD DEL CAUDAL PERFORADO (M/SEG.) | CONSECCIÓN POR METERA (0.5 & 0.5) | CONSECCIÓN POR TUBO (NATURAS DE) | ALTURA DEL CAUDAL PERFORADO (M) | DIÁMETRO DE LA TUBERÍA DE (M/SEG.) | PORCIENTO |           |
|-------------------|----------------------------------|---|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|-----------|-----------|
|                   |                                  |   |                                   |                                  |                                 |                                    | PARCIAL   | OTIMIZADO |
| 5                 | 23.5                             | 40.0                                    | 40.5                              | 50.0                             | 9.60                            | —                                  | —         | —         |
| 1                 | 23.5                             | 47.5                                    | 40.0                              | 42.5                             | 9.70                            | 30.5                               | 1.0       | 99.0      |
| 2                 | 23.5                             | 46.0                                    | 46.5                              | 40.0                             | 9.95                            | 27.0                               | 3.0       | 96.0      |
| 6                 | 23.5                             | 43.0                                    | 43.5                              | 45.0                             | 10.40                           | 17.2                               | 6.0       | 90.0      |
| 12                | 23.5                             | 39.0                                    | 39.5                              | 41.0                             | 11.15                           | 12.7                               | 8.0       | 82.0      |
| 40                | 23.5                             | 36.0                                    | 36.5                              | 40.0                             | 11.65                           | 7.0                                | 6.0       | 76.0      |
| 60                | 24.0                             | 34.0                                    | 34.5                              | 36.5                             | 11.95                           | 5.0                                | 3.5       | 72.5      |
| 120               | 25.5                             | 31.0                                    | 31.5                              | 33.5                             | 12.40                           | 4.2                                | 5.0       | 67.5      |
| 180               | 27.0                             | 26.5                                    | 27.0                              | 30.0                             | 13.10                           | 3.4                                | 7.5       | 60.0      |
| 300               | 28.0                             | 22.5                                    | 23.0                              | 26.5                             | 13.65                           | 2.7                                | 7.0       | 53.0      |
| 480               | 27.0                             | 19.5                                    | 20.0                              | 23.0                             | 14.25                           | 2.2                                | 7.0       | 46.0      |

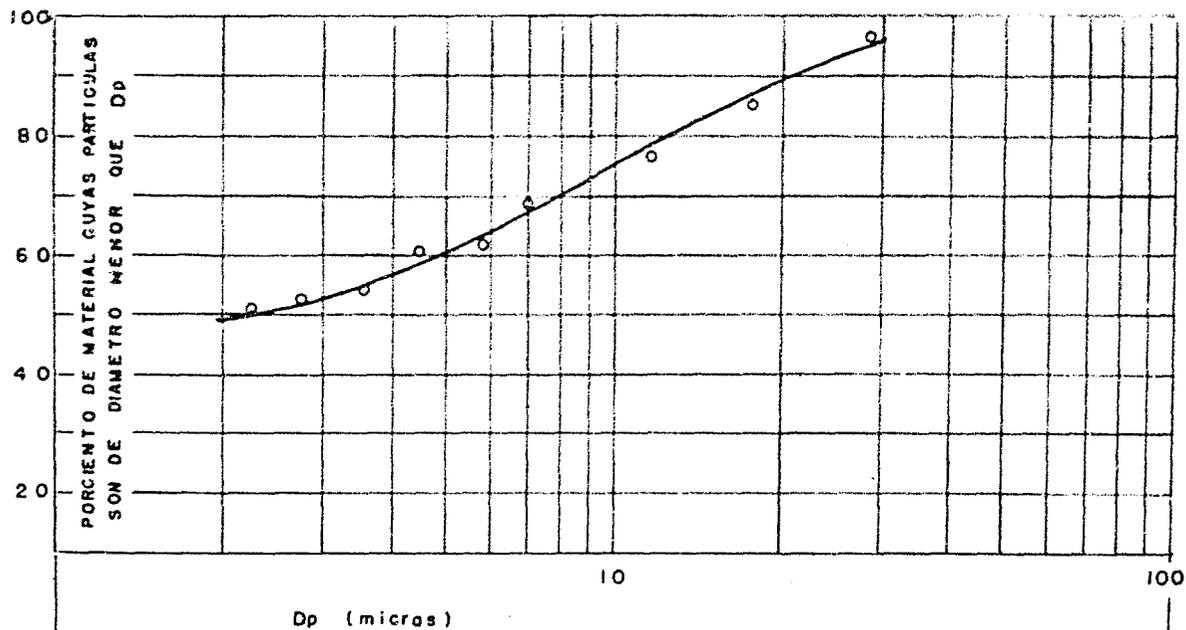


PORCENTO DE MATERIAL QUE PASA POR EL CIBRADO MENOR QUE Ø

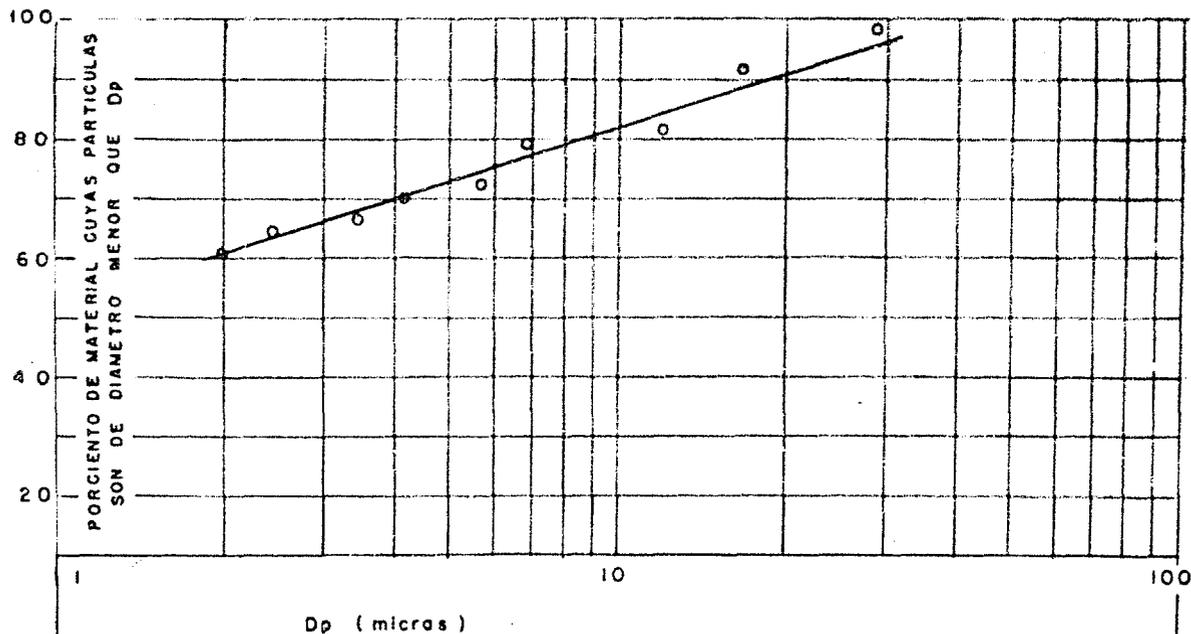
Ø (MICRONS)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MEXICO  
 ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS QUIMICAS  
 GRANULOMETRIA DEL CADEN SEPARADO  
 EN EL COLECTOR CON VELOCIDAD DEL AIRE  
 DE 7.7 M/SER A LA ENTRADA DEL CICLON

TESIS PROFESIONAL  
 EFRAIN VALZADARES TRUJILLO  
 MEXICO, 1957 FIGURA 2



|  |          |
|--|----------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE MEXICO   |          |
| ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS QUIMICAS  |          |
| GRANULOMETRIA DEL CAOLIN SEPARADO<br>EN EL COLECTOR CON VELOCIDAD DEL AIRE<br>DE 10.5 m/s*g. A LA ENTRADA DEL CICLON |          |
| TESIS PROFESIONAL  |          |
| EFRAIN VALLADARES TRUJILLO   |          |
| MEXICO 1957  | FIGURA 3 |



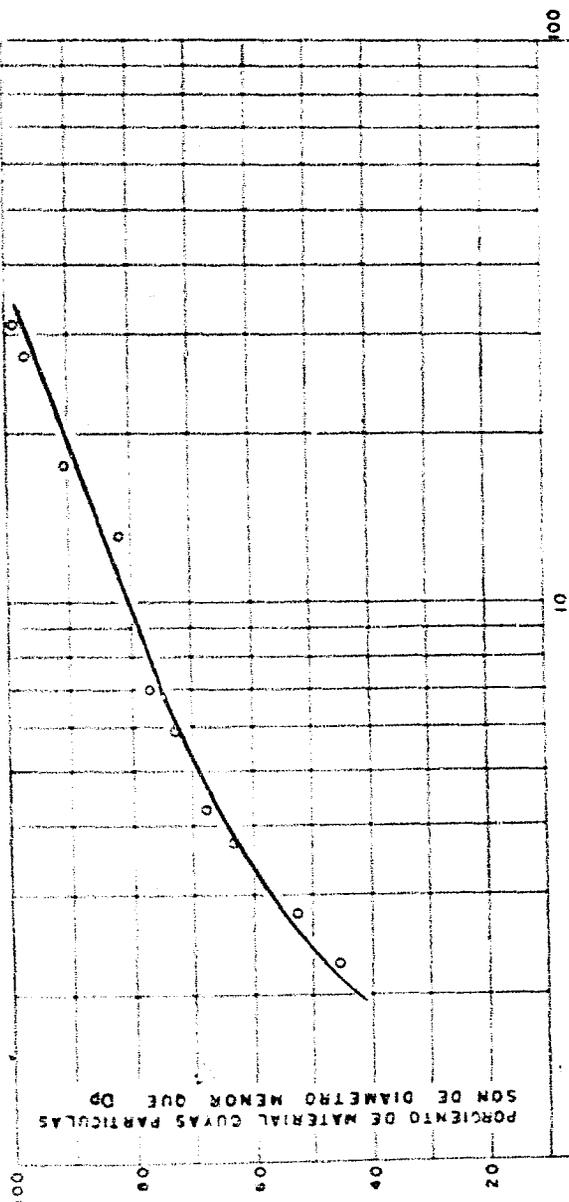
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MEXICO  
 ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS QUIMICAS  
 GRANULOMETRIA DEL CAOLIN SEPARADO  
 EN EL COLECTOR CON VELOCIDAD DEL AIRE  
 DE 15.8 m/seg. A LA ENTRADA DEL CICLON.

TESIS PROFESIONAL

EFRAIN VALLADARES TRUJILLO

MEXICO 1957

FIGURA 4



Dp ( micras )

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MEXICO  
 ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS QUIMICAS  
 GRANULOMETRIA DEL CAOLIN SEPARADO EN  
 EL COLECTOR CON VELOCIDAD DEL AIRE  
 DE 19.6 m/seg A LA ENTRADA DEL CICLON

TESIS PROFESIONAL  
 EFRAIN VALLADARES TRUJILLO

MEXICO D.F. 1957 FIGURA 5

IV

DISCUSION DE LOS RESULTADOS

## DISCUSION DE LOS RESULTADOS

ANTES DE PROCEDER A ENCONTRAR LA RELACIÓN QUE EXISTE ENTRE LAS VARIABLES QUE RIGEN LA OPERACIÓN DE SEDIMENTACIÓN DE PARTÍCULAS EN EL CICLÓN CLASIFICADOR DE ACUERDO CON LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES, SE CREYÓ QUE PODRÍA APLICARSE LA ECUACIÓN 19, GENERAL PARA CICLONES COMUNES, CON SÓLO REEMPLAZAR LA VELOCIDAD DEL AIRE DE ENTRADA  $V_{T0}$ , POR LA RESULTANTE DE LAS VELOCIDADES  $(V_V - V_M)$ . SI ASÍ FUERA TENDRÍAMOS QUE PARA UN MISMO SISTEMA, EL DIÁMETRO MÍNIMO DE PARTÍCULA COLECTADA SERÍA INVERSAMENTE PROPORCIONAL A LA RAÍZ CUADRADA DE  $(V_V - V_M)$ .

PARA VERIFICAR LO ANTERIOR SE TRAZARON LAS GRÁFICAS A PARTIR DE LOS RESULTADOS DE LAS TABLAS I, II, III, IV Y V EN LA FIGURA 6, EN LA QUE APARECEN COMO ORDENADAS EL LOGARITMO DEL DIÁMETRO MÍNIMO DE PARTÍCULA SEDIMENTADA, Y EN LAS ABSCISAS EL LOGARITMO DE LA DIFERENCIA DE VELOCIDADES. LAS CUATRO CURVAS SON PARA DIFERENTES VOLUMENES DE AIRE QUE MANEJA EL CLASIFICADOR.

EL PARALELISMO DE ÉSTAS CURVAS PONE DE MANIFIESTO LA CONFIANZA DE LOS RESULTADOS.

LA ECUACIÓN QUE DESCRIBE O DEFINE ESTAS CURVAS ES DE LA FORMA:

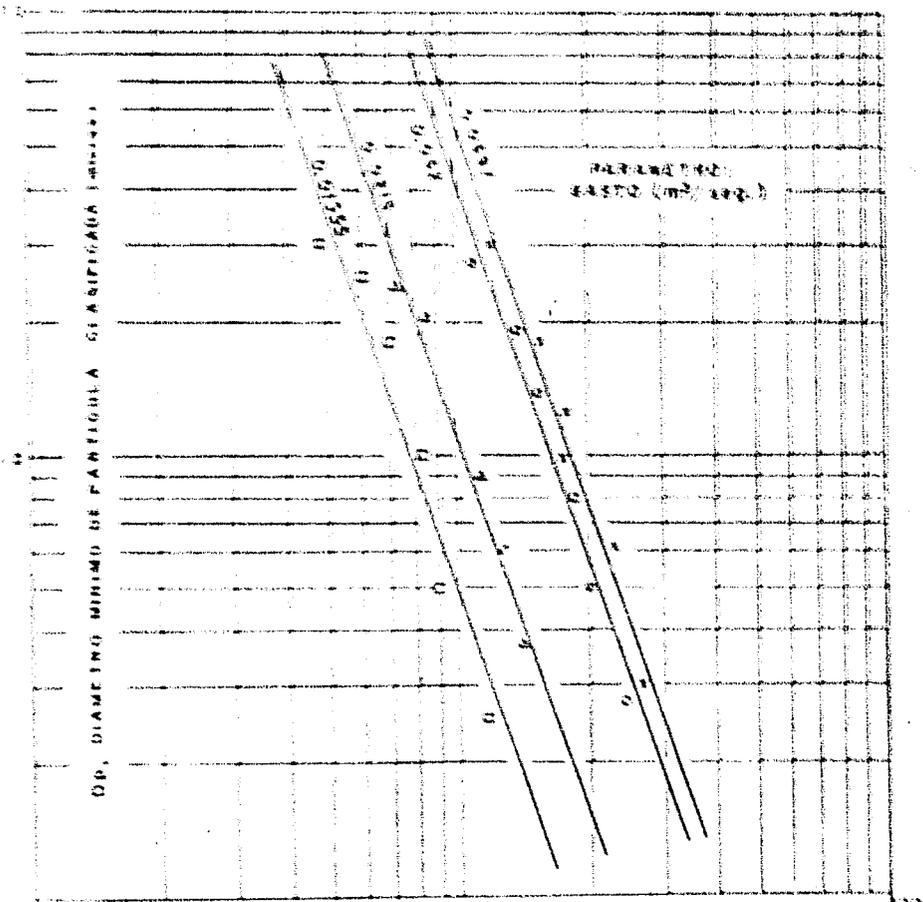
$$D_p = A (V_V - V_M)^B$$

DONDE:

$D_p$  = DIÁMETRO MÍNIMO DE PARTÍCULA SEPARADA EN EL CLASIFICADOR.

$V_V$  = VELOCIDAD DEL AIRE EN LA VÁLVULA DE PRESIÓN.

$V_M$  = VELOCIDAD DEL AIRE EN LA VÁLVULA DE MALLAS.



$(V_1 - V_2)$  m/seg

|  |          |
|--|----------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE MEXICO   |          |
| ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS QUIMICAS  |          |
| RELACION DE DIAMETRO MINIMO DE PARTICULA CLASIFICADA, CON GASTO Y DIFERENCIA DE VELOCIDAD DEL AIRE EN LAS VALVULAS DEL CLASIF. |          |
| TESIS PROFESIONAL  |          |
| EFRAIN VALLADARES TRUJILLO   |          |
| MEXICO D.F. 1957   | FIGURA 6 |

SE ENCONTRÓ QUE LA CONSTANTE "B" O SÉA LA PENDIENTE DE LAS CURVAS ES IGUAL A -3.12 LA CONSTANTE "A", ORDENADA AL ORIGEN PARA LAS CUATRO CURVAS TIENE LOS VALORES SIGUIENTES:

$$A_1 = 5620 \times 10^{-6}$$

$$A_2 = 10000 \times 10^{-6}$$

$$A_3 = 58200 \times 10^{-6}$$

$$A_4 = 91100 \times 10^{-6}$$

POR MEDIO DE LA GRÁFICA DE LA FIGURA 7, SE ENCONTRÓ LA RELACIÓN QUE EXISTE ENTRE "A" Y Q GASTO TOTAL QUE MANEJA EL CICLÓN. ESTA RELACIÓN SE PUEDE EXPRESAR POR UNA ECUACIÓN DEL MISMO TIPO QUE LA ANTERIOR, RESULTANDO QUE:

$$Q = 0.076 A^{0.295}$$

O SEA 
$$A = \frac{Q^{3.39}}{16 \times 10^{-5}}$$

SUBSTITUYENDO ÉSTE VALOR EN LA ECUACIÓN ANTES ANOTADA RESULTA QUE:

$$DP = \frac{Q^{3.39} \times 10^5}{16(V_V - V_M)^{3.12}}$$

PARA COMPROBAR LA FÓRMULA DEDUCIDA, SE REEMPLAZARON EN ELLA LOS VALORES DE Q Y V DE LA TERCERA PRUEBA DE LA TABLA 4, OBTENIENDOSE LOS SIGUIENTES RESULTADOS:

$$Q = 0.01555 \text{ m}^3/\text{SEG.}$$

$$V_V - V_M = 6.86 \text{ M/SEG.}$$

$$DP = \frac{(0.01555)^{3.39} \times 10^{-5}}{16 \times (6.86)^{3.12}}$$

$$DP \text{ CALCULADO} = 0.0000184 \text{ M} = 18.4 \text{ MICRAS}$$

$$DP \text{ EXPERIMENTAL} = 0.0000170 \text{ M} = 17.0 \text{ MICRAS}$$

$$\text{DESVIACIÓN \%} = 7.60 = 7.60$$

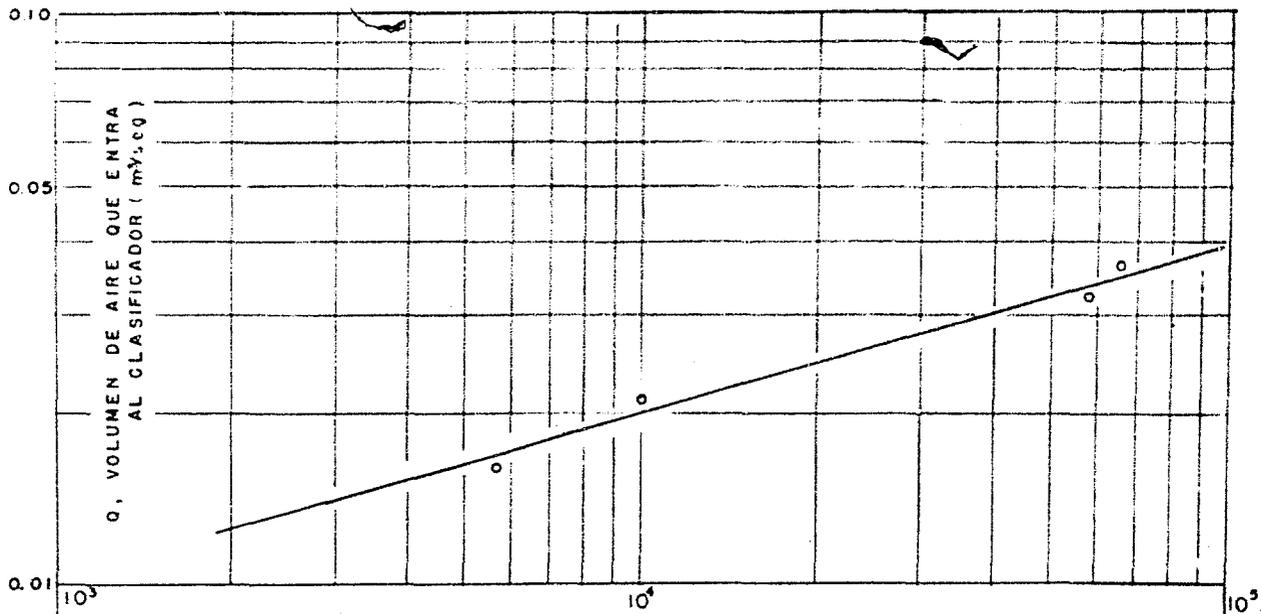
COMO PUEDE OBSERVARSE, AL SUBSTITUIR LOS VALORES DE Q Y V DE LAS TABLAS DE RESULTADOS EXPERIMENTALES, EN LA ECUACION QUE SE DEDUJO PARA EL CLASIFICADOR, EL ERROR QUE SE COMETE ES DE 8.5% MÁXIMO, LO CUAL COMPRUEBA QUE LA ECUACION DEDUCIDA ES CORRECTA.

DE LO ANTERIOR SE NOTA QUE LA RELACION SUPUESTA NO ES SEGUIDA POR LA OPERACION DEL CLASIFICADOR EXPERIMENTAL, SI NO QUE EL DIAMETRO MÍNIMO DE PARTÍCULA SEDIMENTADA EN ÉL ES INVERSAMENTE PROPORCIONAL A LA DIFERENCIA ( $V_V - V_M$ ) A LA POTENCIA 3.12.

LA DESVIACION ANTERIOR EN LA ECUACION, PROBABLEMENTE SE DEBE A LA DIFERENCIA DE NIVELES EN QUE SE ENCUENTRAN COLOCADAS LAS 2 VÁLVULAS, YA QUE CUANDO LA CORRIENTE DE AIRE QUE PENETRA POR LA VÁLVULA DE MALLAS (INFERIOR), ENCUENTRA A LA CORRIENTE QUE PENETRA POR LA OTRA, MUCHAS PARTÍCULAS YA SE HAN SEPARADO. POR OTRA PARTE, NO ES DIFÍCIL SUPONER QUE CUANDO ESTAS DOS CORRIENTES SE ENCUENTRAN, FORMAN DOS VÓRTICES MOMENTANEOS CONTRARIOS DESARROLLANDO CIERTA TURBULENCIA.

PROBABLEMENTE LA ECUACION DEDUCIDA PARA ÉSTE CLASIFICADOR PARTICULAR, SE PUEDA APLICAR A CLASIFICADORES GEOMÉTRICAMENTE SEMEJANTES, TOMANDO EN CUENTA QUE EL COEFICIENTE NUMÉRICO Y LOS EXPONENTES PUEDEN VARIAR CON LAS CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL POR CLASIFICAR Y DEL EQUIPO. ESTA SUPOSICION AMERITA ESTUDIARSE EXPERIMENTALMENTE.

PARA EL CICLÓN COLECTOR COMO ERA DE ESPERARSE, LAS GRÁFICAS 2 A 5 INDICAN QUE EL TAMAÑO MÍNIMO DE PARTÍCULA COLECTADA, DISMINUYE CON EL AUMENTO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE A LA EN



CONSTANTE "a"

|  |          |
|--|----------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE MEXICO                                       |          |
| ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS QUIMICAS                                |          |
| RELACION DE LA CONSTANTE "a" CON EL GASTO DE AIRE EN EL CLASIFICADOR |          |
| TESIS PROFESIONAL  |          |
| EFRAIN VALLADARES TRUJILLO   |          |
| MEXICO D.F. 1957   | FIGURA 7 |

1949 DEL MISMO.

AL COMPARAR LAS PENDIENTES DE LAS CURVAS DE LAS FIGURAS 2, 3, 4 Y 5 SE PONE DE MANIFIESTO QUE AL AUMENTAR LA VELOCIDAD DEL AIRE, Y LA CONCENTRACIÓN DEL POLVO EN ÉSTE, A LA ENTRADA DEL COLECTOR, EL PORCENTAJE DE FINOS AUMENTA HASTA ALCANZAR UN MÁXIMO DE (94%) QUE CORRESPONDE A LA FIG. 4, PARA UNA VELOCIDAD DEL AIRE DE 15.8 M/SEG (52 P/SEG) EN LA ENTRADA DEL COLECTOR Y PARA LA CUAL SE OBTIENE UN 84% DE PARTICULAS MENORES DE 10 MICRAS. DESPUÉS DE ÉSTE PUNTO LA VELOCIDAD SE AUMENTA A 19.6 M/SEG (64.5 P/SEG EL PORCENTAJE PARA LA MISMA FRACCIÓN - DISMINUYE A 80% COMO PUEDE VERSE EN LA FIG. 5). ESTE COMPORTAMIENTO PUEDE DEBERSE A 2 CAUSAS:

- 1) QUE A VELOCIDADES MUY ALTAS LAS PARTICULAS MUY FINAS (MENORES DE 2 MICRAS) QUE HAN SIDO SEPARADAS, VUELVEN A ENTRAR EN LA CORRIENTE DE AIRE DEDIDO A UNA POSIBLE GRAN TURBULENCIA, -- SIENDO EXPULSADOS CON ÉSTO AL EXTERIOR DEL CICLÓN.
- 2) A LA CONCENTRACIÓN DEL CAOLÍN EN EL AIRE.

DE LA OBSERVACIÓN DE LAS TABLAS DE RESULTADOS EXPERIMENTALES, SE CONCLUYE QUE LAS CONDICIONES ÓPTIMAS PARA LA COLECCIÓN DE PARTICULAS MENORES DE 10 MICRAS EN EL COLECTOR, SON LAS SIGUIENTES:

| VELOCIDAD DEL AIRE (M/SEG) |                |                | CONCENTRACIÓN DEL CAOLÍN (G/LT AIRE) |      | EFICIENCIA DE COLECCIÓN PORCENTAJE, EN EL COLECT. | PORCENTAJE DE PARTICULAS MENORES DE 10 MICRAS EN EL COLECTOR. |
|----------------------------|----------------|----------------|--------------------------------------|------|---|---|
| CLASIF. COLECTOR           |                |                | CLASIF. COLECTOR                     |      |   |   |
| V <sub>M</sub>             | V <sub>V</sub> | V <sub>C</sub> | C1                                   | C2   |   |   |
| 4.10                       | 19.6           | 15.8           | 1.21                                 | 0.82 | 94  | 84  |

v

CONCLUSIONES

## CONCLUSIONES

DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA EXPERIMENTACIÓN SE CONCLUYE QUE:

- 1) LA ECUACIÓN GENERAL PARA CICLONES COMUNES, NO ES APLICABLE AL CLASIFICADOR EXPERIMENTAL EMPLEADO. PARA ÉSTE CASO PARTICULAR, LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES SUGIEREN EL USO DE LA ECUACIÓN SIGUIENTE:

$$D_p = \frac{3.39 \times 10^5}{15 (V_v - V_M)^{3.12}}$$

EN LA CUAL:

- $D_p$  - DIÁMETRO DE LA MÍNIMA PARTÍCULA CLASIFICADA.
- $Q$  - GASTO TOTAL DE AIRE QUE ENTRA AL CLASIFICADOR.
- $(V_v - V_M)$  - DIFERENCIA DE LAS VELOCIDADES DEL AIRE EN LAS DOS VÁLVULAS.

LA APLICACIÓN DE ÉSTA ECUACIÓN DA LUGAR A ERRORES DE 8% MÁXIMO.

- 2) EN EL CICLÓN COLECTOR, EL DIÁMETRO MÍNIMO DE PARTÍCULA COLECTADA DISMINUYE AL AUMENTAR LA VELOCIDAD DE ENTRADA DEL AIRE AL COLECTOR, PERO CUANDO ÉSTA VARIABLE AUMENTA DEMASIADO, SE OBSERVA UN EFECTO CONTRARIO. SE ENCONTRÓ UNA VELOCIDAD ÓPTIMA DE 15.8 M/SEG, Y UNA CONCENTRACIÓN DE 0.82 GR DE CAOLÍN POR LITRO DE AIRE, QUE CORRESPONDE A LA MÁXIMA (94%) EFICIENCIA DE COLECCIÓN.

VI

APENDICES

- I.- PRUEBAS EXPERIMENTALES PARA CONOCER LA DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DEL MATERIAL POR CLASIFICAR.
- II.- DESCRIPCIÓN GENERAL DE EQUIPO INDUSTRIAL PARA CLASIFICACIÓN DE PARTÍCULAS SÓLIDAS.
- III.- FACTORES QUE DEBEN CONSIDERARSE PARA SELECCIONAR UN EQUIPO INDUSTRIAL DE CLASIFICACIÓN POR MEDIO DE COLECTORES CICLÓNICOS.

PRUEBAS EXPERIMENTALES PARA CONOCER LA DISTRIBUCION DE TAMAÑO DE PARTICULA DEL MATERIAL POR CLASIFICAR.

1) PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

Tomando en cuenta que, el material de trabajo se encontraba en forma de trozos demasiado gruesos, hubo necesidad de someterlo a molienda, con el fin de reducir su tamaño en forma gradual.

La primera fase de ésta, se llevó a cabo en un molino de quijudas, pasando después el material a un molino de discos, donde se obtiene con un alto grado de pulverización.

ANÁLISIS DE MALLAS.

Con objeto de conocer el grado de fineza del material obtenido en el molino de discos, se procedió a hacer el análisis de mallas por vía húmeda, en la forma siguiente:

Se pesaron 100 g colocándolos en un vaso de precipitados, y se agregaron aproximadamente 1,000 ml de agua, para formar una suspensión. Previamente se pesaron cuatro vasos de precipitados de 100 ml, hasta obtener peso constante.

La suspensión anterior, se hizo pasar a través de las mallas de 100, 150, 200, y 325 de la serie de Tyler. Las partículas retenidas por cada una de ellas, se colocaron respectivamente dentro de los vasos que se habían pesado. En estas condiciones, se pusieron a la estufa a una temperatura de 110 a 120°C, con el objeto de secar las muestras contenidas en ellos, y una vez a peso constante, se determinaron sus cantidades por diferencia, obteniéndose los siguientes resultados:

|  |               |
|--|---------------|
| VASO N° 1 PARTÍCULAS MAYORES DE 100 MALLAS | 14.43 %       |
| VASO N° 2 PARTÍCULAS MAYORES DE 150 MALLAS | 3.79 %        |
| VASO N° 3 PARTÍCULAS MAYORES DE 200 MALLAS | 2.85 %        |
| VASO N° 4 PARTÍCULAS MAYORES DE 325 MALLAS | <u>1.28 %</u> |
| SUMA..                                     | 22.35 %       |
| PARTÍCULAS MENORES DE 325 MALLAS           | 77.65 %       |

COMO SE PUEDE JUZGAR POR LOS RESULTADOS, SE TIENE UN BUEN PORCENTAJE DE FINOS, PERO TAMBIÉN SE OBSERVA, QUE APROXIMADAMENTE UN 15% DEL MATERIAL NO PASA LA MALLA N° 100, LO CUAL NO ES CONVENIENTE DEBIDO A QUE, SU EFECTO DE ABRASIÓN SOBRE LAS PAREDES DEL COLECTOR CICLÓNICO, SON LO SUFICIENTEMENTE GRANDES Y DEBE TOMARSE EN CUENTA.

DE ACUERDO CON LAS CONSIDERACIONES ANTERIORES, SE OPTÓ POR SOMETER EL MATERIAL A UNA TERCERA MOLIENDA, EN UN MOLINO DE BOLAS, PARA REDUCIR EN ESTA FORMA AL MÍNIMO EL MATERIAL GRUESO.

NO DEBE OLVIDARSE QUE, LOS CAOLINES EN ESTADO CRUDO, CONTIENEN UNA HUMEDAD QUE PUEDE VARIAR ENTRE 5 Y 15% Y EN ALGUNOS CASOS UN POCO MAYOR, DE ACUERDO CON LA ÉPOCA EN QUE SON EXTRAÍDOS DE LOS YACIMIENTOS EN QUE SE ENCUENTRAN. SI ÉSTA HUMEDAD NO SE ELIMINA ANTES DE CARGAR LOS MOLINOS, EL MATERIAL SE AGLOMERA FORMANDO UNA PASTA EN LAS PAREDES DEL MISMO, Y ALREDEDOR DE LAS BOLAS, CON LA CONSECUENTE DISMINUCIÓN DE EFICIENCIA DE MOLIENDA.

PREVIENDO LO ANTERIOR, SE PROCEDIÓ A HACER EL ANÁLISIS DE HUMEDAD, PARA VER SI ERA NECESARIO SECAR PREVIAMENTE EL

MATERIAL, YA QUE ESTA OPERACIÓN PUEDE EVITARSE CUANDO EL CONTENIDO DE ÉSTA (3) NO EXCEDA EN UN 3 O 4% EN PESO COMO MÁXIMO. - CON ESTE OBJETO SE TOMÓ UNA MUESTRA DEL CAOLÍN DE 50.0661 g, - SE PUSO DENTRO DE UN VASO DE PRECIPITADOS Y SE METIÓ A LA ESTUFA A 110°C DURANTE TRES HORAS APROXIMADAMENTE, HASTA OBTENER PESO CONSTANTE. LA QUE SE OBTUVO FUÉ DE 6.2%. COMO PUEDE VERSE, EL VALOR ES ALTO, DECIENDÓSE POR TANTO SECAR EL MATERIAL CON EL FIN DE EVITAR LOS PROBLEMAS ANTES MENCIONADOS.

EL SECADO SE LLEVÓ A CABO EN UNA CHAROLA DE TAMAÑO CONVENIENTE, EFECTUANDO EL CALENTAMIENTO EN FORMA DIRECTA POR MEDIO DE UNA SERIE DE LÁMPARAS DE RAYOS INFRARROJOS A UNA TEMPERATURA APROXIMADA DE 125°C, DURANTE 2-1/2 HORAS. DESPUÉS DE COMPROBAR QUE LA HUMEDAD BAJO ÉSTAS CONDICIONES ES PRÁCTICAMENTE NULA, SE PASÓ EL MATERIAL A LOS MOLINOS, LOS CUALES SE CARGARON PONIENDO CUATRO KILOGRAMOS DE BOLAS POR CADA KILOGRAMO DE CAOLÍN, PROLONGANDO LA OPERACIÓN DURANTE UN TIEMPO DE 3-1/2 HORAS. DE LA MOLIENDA ANTERIOR SE TOMÓ UNA MUESTRA REPRESENTATIVA DE 48.9957 g PARA EFECTUAR EL ANÁLISIS AS PARTÍCULAS POR TAMIZADO. LA MUESTRA SE PUSO EN UN VASO DE PRECIPITADOS DE 2 LT AGREGANDO AGUA EN CANTIDAD SUFICIENTE, Y UNAS GOTAS DE AMONÍACO COMO AGENTE DISPERSANTE. LA SUSPENSIÓN ASÍ FORMADA, SE HIZO PASAR A TRAVÉS DE LAS MALLAS DE 100, 150, 200 Y 325 DE LA SERIE DE TYLER. LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS SON LOS SIGUIENTES:

|  |        |
|--|--------|
| VASO Nº 1 PARTÍCULAS MAYORES DE 100 MALLAS | 1.14 % |
| VASO Nº 2 PARTÍCULAS MAYORES DE 150 MALLAS | 2.61 % |
| VASO Nº 3 PARTÍCULAS MAYORES DE 200 MALLAS | 2.15 % |
| VASO Nº 4 PARTÍCULAS MAYORES DE 325 MALLAS | 3.25 % |
| PARTÍCULAS MENORES DE 325 MALLAS           | 90.85% |

DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS SE PUEDE DEDUCIR QUE LA MOLIENDA EN ÉSTAS CONDICIONES ES ACEPTABLE, YA QUE SE TIENE UN 90.85% DEL MATERIAL QUE PASA LA MALLA # 325 DE LA SERIE DE TYLER (MENORES DE 44 MICRAS); DECIDIENDO POR TANTO MOLER LA TOTALIDAD DEL MATERIAL BAJO LAS MISMAS CONDICIONES DE ÉSTA ÚLTIMA MOLIENDA.

## 2) DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA.

EL CÁLCULO DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA, Y POR CONSIGUIENTE EL CONTROL DE SU DISTRIBUCIÓN, SE BASA PRECISAMENTE EN LA FÓRMULA DE STOKES (ECUACIÓN II DEL CAPÍTULO ANTERIOR).

PUESTO QUE EN EL PRESENTE CAPÍTULO, EL DIÁMETRO DE PARTÍCULA SE VA A CALCULAR EN MICRAS, ES CONVENIENTE HACER UNA TRANSFORMACIÓN DE UNIDADES EN LA ECUACIÓN DE STOKES CON EL FIN DE OBTENER DIÁMETRO EN MILÍMETROS (1MM = 1000 MICRAS), VALOR QUE MULTIPLICADO POR 1000 NOS DÁ DIRECTAMENTE EN MICRAS. ENTONCES LA ECUACIÓN II PUEDE EXPRESARSE EN LA SIGUIENTE FORMA:

$$DMM = \sqrt{\frac{1.835 \times \mu}{(\rho_s - \rho)} \frac{RHC}{T}} \quad (IIA)$$

DONDE: DMM = DIÁMETRO EN MILÍMETROS.

$U = \frac{RHC}{T}$  = VELOCIDAD DE ASENTAMIENTO EN AGUA (CM./SEG)

RHC = ALTURA REAL DE CAÍDA DE LAS PARTÍCULAS (CM)

$\mu$  = VISCOSIDAD DEL AGUA (GR/CM. SEG.)

$\rho$  = DENSIDAD DEL AGUA (GR/CM<sup>3</sup>)

$\rho_s$  = DENSIDAD DEL SÓLIDO (GR/CM<sup>3</sup>)

T = TIEMPO EN SEGUNDOS.

LA FÓRMULA ANTERIOR ES LA QUE SERVIRÁ PARA CALCULAR EL DIÁMETRO DE LAS PARTÍCULAS, YA QUE EN ELLA EL ÚNICO FACTOR DESCONOCIDO ES RHC (ALTURA REAL DE CAÍDA), QUE SE DETERMINA --

GRANULOMÉTRICAMENTE POR EL MÉTODO DE BOUYGUCOS QUE A CONTINUACIÓN SE DESCRIBE:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR EL MÉTODO DE BOUYGUCOS.

EL MÉTODO DE BOUYGUCOS SE BASA EN LA ECUACIÓN DE STOKES. ESTE MÉTODO PERMITE LLEVAR A CABO EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE CIERTOS MATERIALES POLVERULENTOS QUE, SIENDO INSOLUBLES EN AGUA, NO TENGAN UNA DENSIDAD MAYOR DE 2.5 YA QUE LA VELOCIDAD DE ASENTAMIENTO SERÍA MUY GRANDE Y NO PODRÍA CONTROLARSE POR ESTE MÉTODO. EN EL PRESENTE CASO EL MATERIAL REUNE LAS CONDICIONES NECESARIAS, YA QUE LOS CACILINES TIENEN UNA DENSIDAD MEDIA DE 2.65.

EL ANÁLISIS SE INICIA EN PARTICULAS MENORES DE 200 MALLAS (0.074 MM), PUDIENDO EFECTUARLO EN 8 HORAS DE TRABAJO CONTROLANDO EN ESTE TIEMPO PARTICULAS HASTA DE 2 MICRAS. MENORES TAMAÑOS DE PARTICULAS REQUIEREN MAYOR TIEMPO, LO CUAL NO ES ABSOLUTAMENTE NECESARIO YA QUE LA GRANULOMETRÍA DE LOS CACILINES INDUSTRIALES SÍ COMO TAMAÑO LÍMITE DE 5 A 2 MICRAS.

EL MÉTODO REQUIERE COMO EQUIPO DE TRABAJO UN NÚMERO DE PROBETAS DE 1000 ML IGUAL AL NÚMERO DE MUESTRAS POR ANALIZAR. SI LOS PROBLEMAS SON MÁS DE CUATRO, SE REQUIEREN DOS HIJÓMETROS DE BOUYGUCOS, Y EN CASO QUE SEÁN MÁS DE 8, SE NECESITAN TRES.

EL HIJÓMETRO DE BOUYGUCOS ES UN AERÓMETRO ESPECIAL PARA ARCILLAS, EL BULBO ESTA FORMADO POR UNA PORCIÓN CILÍNDRICA MUECA, QUE EN SU EXTREMO INFERIOR SE UNE A UN PEQUEÑO DEPÓSITO CÓNICO LLENO EN TODO SU INTERIOR CON PEQUEÑAS ESFERITAS DE PLOMO QUE SIRVEN DE LASTRE. EL VASTAGO ESTA GRADUADO EN G DE BÉLICO POR LITRO. ESTE DISPOSITIVO SE EMPLEA PARA DETERMI-

HAR LA VARIACIÓN DE LA DENSIDAD DE LA SUSPENSIÓN CON EL TRANS-  
CURSO DEL TIEMPO, MIDIENDO LA LECTURA DE LA CAÍDA DE LAS PARTÍ-  
CULAS MÁS GRANDES, CORRESPONDIENTES A LA DENSIDAD MEDIDA.

EL DIÁMETRO EQUIVALENTE DE LAS PARTÍCULAS PARA UNA -  
LECTURA DADA, SE OBTIENE DE ACUERDO CON LA LEY DE STOKES, CON-  
SIDERANDO COMO ALTURA DE CAÍDA, LA DISTANCIA ENTRE LA SUPERFI-  
CIE DEL LÍQUIDO Y EL CENTRO DE FLOTACIÓN DEL BULBO.

EL CENTRO DE FLOTACIÓN ES VARIABLE, Y NO SE COMETE -  
UN ERROR GRAVE, SI EN LUGAR DE LA DISTANCIA AL CENTRO DE FLOTA-  
CIÓN, SE USA LA DISTANCIA AL CENTRO DE VOLUMEN DEL BULBO.

PUESTO QUE EL HIDRÓMETRO SE CONSERVA SUMERGIDO ÚNICA-  
MENTE DURANTE EL TIEMPO QUE SE REQUIERE PARA HACER UNA LECTURA  
LA PROFUNDIDAD DEL CENTRO DEL VOLUMEN DEL BULBO, REQUIERE UNA  
CORRECCIÓN DEBIDO A QUE, CUANDO EL HIDRÓMETRO SE SUMERGE CAUSA  
UN MOVIMIENTO EN EL NIVEL DEL AGUA, AL DESALOJAR UN VOLUMEN --  
IGUAL A ESTE. ESTE MOVIMIENTO ES PROPORCIONAL AL VOLUMEN DEL  
BULBO, E INVERSAMENTE PROPORCIONAL AL ÁREA DE LA PROBETA DE SE-  
DIMENTACIÓN EMPLEADA. LA SUSPENSIÓN QUE ESTA AL NIVEL DEL CEN-  
TRO DEL VOLUMEN Y QUE ES LA QUE DETERMINA LA LECTURA DEL HIDRÓ-  
METRO ESTABA MÁS PRÓXIMA A LA SUPERFICIE DURANTE EL PROCESO DE  
SEDIMENTACIÓN.

EL CÁLCULO DEL TAMAÑO DE LA PARTÍCULA, DEBE BASARSE  
EN LA PROFUNDIDAD DURANTE EL PROCESO DE SEDIMENTACIÓN, QUE ES  
IGUAL A LA DISTANCIA QUE HAY DESDE LA SUPERFICIE DE LA SUSPEN-  
SIÓN HASTA EL CENTRO DE VOLUMEN DEL BULBO, INDICADA POR LA LEC-  
TURA DEL MISMO HIDRÓMETRO, MENOS LA CORRECCIÓN DEBIDA AL MOVI-  
MIENTO RELATIVO CAUSADO POR ESTE.

LA CALIBRACIÓN DEL HIDRÓMETRO CONSISTE EN:

- 1°) DETERMINAR LA DISTANCIA EFECTIVA DE CAÍDA EN FUNCIÓN DE LA LECTURA TOMADA EN ESTE.
- 2°) CORRECCIÓN DE LA LECTURA DEL HIDRÓMETRO DEBIDAS AL MENISCO Y AL DEFLOCULANTE.
- 3°) COMO LOS HIDRÓMETROS SON GRADUADOS A LAS TEMPERATURAS NORMALES DE 20°C, TAMBIEN ES NECESARIO CORREGIR LAS LECTURAS CUANDO LA TEMPERATURA ES DIFERENTE.
- 4°) EL HIDRÓMETRO DE BOUYOUCOS ESTÁ GRADUADO PARA SUSPENSIONES QUE TIENEN UNA DENSIDAD DE 2.65, QUE CORRESPONDE A LA DENSIDAD MEDIA DE LOS CAOLINES EN CRUDO E INDUSTRIALES, SIENDO NECESARIO HACER OTRA CORRECCIÓN CUANDO LA DENSIDAD DE LA SUSPENSIÓN ES DIFERENTE.

1°) DETERMINACIÓN DE LA DISTANCIA O ALTURA EFECTIVA DE CAÍDA.

EL VOLUMEN DEL HIDRÓMETRO (V), PUEDE DETERMINARSE --  
POR DOS PROCEDIMIENTOS:

A) MIDIENDO EL VOLUMEN DEL AGUA DESALOJADA, PARA LO --  
CUAL SE SUMERGE EL HIDRÓMETRO EN EL AGUA QUE CONTIENE UNA PRO--  
BETA GRADUADA DE MÁXIMA APROXIMACIÓN, DETERMINÁNDOSE EL VOLU--  
MEN ANTES Y DESPUÉS DE SUMERGIRLO. EL VOLUMEN DESALOJADO CO--  
RRESPONDE AL VOLUMEN DEL BULBO.

B) PESANDO EL HIDRÓMETRO CON APROXIMACIÓN MÍNIMA --  
0.01 g PUESTO QUE SU DENSIDAD ES APROXIMADAMENTE IGUAL A LA --  
UNIDAD, EL PESO EN GRAMOS PUEDE CONSIDERARSE COMO EL VOLUMEN --  
EN ML. ESTE VOLUMEN INCLUYE EL VOLUMEN DEL CUELLO DEL HIDRÓME--  
TRO, PERO ES MUY PEQUEÑO COMPARADO CON EL DEL BULBO Y PUEDE --  
DEPRECIARSE.

### DETERMINACIÓN DEL ÁREA DE LA PROBETA.

EL ÁREA DE LA PROBETA (A), ES LA RELACIÓN QUE EXISTE ENTRE EL VOLUMEN DETERMINADO Y LA ALTURA COMPRENDIDA ENTRE ÉSTE

$$\text{VOLUMEN } A = \frac{V}{H}$$

PARA DETERMINAR EL CENTRO DEL BULBO, SE HACE UNA OBSERVACIÓN INICIAL EN UN VOLUMEN CUALQUIERA EN LA PROBETA, SE SUMERGE EL HIDRÓMETRO HASTA QUE EL VOLUMEN DESALOJADO SEA IGUAL A LA MITAD DEL VOLUMEN DEL BULBO. CON LA MAYOR APROXIMACIÓN SE TOMA LA DISTANCIA ENTRE ÉSTE PUNTO Y LAS GRADUACIONES 0 Y 60 DE LA ESCALA DEL HIDRÓMETRO, DETERMINANDO POR SUMA O RESTA LA DISTANCIA EXISTENTE ENTRE CADA GRADUACIÓN Y EL CENTRO DEL BULBO - DEL MISMO.

A LAS LECTURAS ANTERIORES DEBE HACERSE LAS CORRECCIONES DEBIDAS AL DESALOJAMIENTO DEL AGUA PRODUCIDO POR LA INMERSIÓN DEL HIDRÓMETRO.

LA LECTURA CORRECTA H, PARA UN VALOR R<sub>H</sub> EN LA ESCALA SERÁ:

$$H = R_H - \frac{V_H}{2A}$$

DONDE: H = ALTURA REAL DE CAÍDA DE LAS PARTÍCULAS.

H<sub>1</sub> = DISTANCIA MEDIDA PARA CADA LECTURA.

V<sub>H</sub> = VOLUMEN DEL HIDRÓMETRO

A = ÁREA TRANSVERSAL DE LA PROBETA.

ES NECESARIO CALCULAR LA ALTURA EFECTIVA DE CAÍDA PARA CADA UNA DE LAS LECTURAS H DEL HIDRÓMETRO, PUDIÉNDOSE TRAZAR GRÁFICAS PARA MAYOR COMODIDAD. ESTAS CORRECCIONES DEBERÁN HACERSE PARA CADA HIDRÓMETRO Y PARA CADA PROBETA.

2°) CORRECCIONES POR MENISCO (CM) Y POR DEFLOCULANTE.

(Cd).- LOS HIDRÓMETROS ESTÁN CALIBRADOS EN EL MENISCO ALDERREDOR DEL VÁSTAGO, LA LECTURA CORRECTA NO PUEDE HACERSE DEBIDO A QUE LAS SUSPENSIONES NO SON TRANSPARENTES, POR LO QUE ES NECESARIO LEER DONDE TERMINA EL MENISCO, Y CORREGIR LA LECTURA SUMANDO LA ALTURA DE ESTE. ÉSTA ALTURA SE DETERMINA SUMERGIENDO EL HIDRÓMETRO EN AGUA DESTILADA Y HACIENDO LAS DOS LECTURAS EN LA ESCALA, UNA EN LA PARTE SUPERIOR DEL MENISCO Y LA OTRA SIGUIENDO LA SUPERFICIE HORIZONTAL DEL AGUA. LA DIFERENCIA ENTRE AMBAS DA LA CORRECCIÓN, QUE DEBE SUMARSE A LOS VALORES OBTENIDOS AL ESTAR OPERANDO. LA CORRECCIÓN POR DEFLOCULANTE DEPENDE DEL TIPO EMPLEADO YA QUE AUMENTA EN FORMA DIFERENTE LA DENSIDAD DE LA SUSPENSIÓN. PARA DETERMINAR ÉSTA CORRECCIÓN, SE SUMERGE EL HIDRÓMETRO EN AGUA DESTILADA Y SE HACE UNA LECTURA, SE AGREGA LA CANTIDAD DE DEFLOCULANTE QUE SE VA A EMPLEAR Y SE VUELVE HACER UNA NUEVA DETERMINACIÓN; LA DIFERENCIA NOS DA LA CORRECCIÓN POR DEFLOCULANTE QUE DEBERÁ RESTARSE A LAS LECTURAS RH.

$$RHC = RH + CM - Cd.$$

DONDE: RHC = LECTURA DEL HIDRÓMETRO CORREGIDA POR MENISCO Y DEFLOCULANTE.

RH = LECTURA DEL HIDRÓMETRO.

CM = CORRECCIÓN POR MENISCO.

Cd = CORRECCIÓN POR DEFLOCULANTE.

### 3°) CORRECCIÓN POR TEMPERATURA.

LA CORRECCIÓN POR TEMPERATURA (M), SE CALCULA CON -  
LA SIGUIENTE EXPRESIÓN (10):

$$M = 1000 \left[ \rho_{20^{\circ}\text{C}} - \rho_T \times T - 1.37 \times 10^5 (T-20) \right]$$

DONDE:  $\rho_{20^{\circ}\text{C}}$  = DENSIDAD DEL AGUA A 20°C

$\rho_T$  = DENSIDAD DEL AGUA A T°C

T = TEMPERATURA DE PRUEBA °C

### 4°) CORRECCIÓN DEBIDA A LA DENSIDAD DE LA ARCILLA.

COMO SE DIJO, DEBE HACERSE CUANDO LA DENSIDAD ES DIFERENTE DE 2.65, QUE ES EL VALOR PROMEDIO DE LAS ARCILLAS Y - QUE ES TOMADO COMO ESTANDARD EN LA CALIBRACIÓN DEL HIDRÓMETRO. SU VALOR DEPENDE DE M Y SE CALCULA (8) POR LA SIGUIENTE EXPRESIÓN:

$$CPE = M \frac{S_s}{S_s - 1}$$

DONDE SE TIENE: CPE = CORRECCIÓN POR QUE LA DENSIDAD DEL SÓLIDO SEA DIFERENTE DE 2.65.

$S_s$  = DENSIDAD DIFERENTE DE 2.65.

CON CADA UNA DE LAS CORRECCIONES ANTERIORES, PUEDEN TRAZARSE GRÁFICAS Y CONSTITUIR NOMOGRAMAS COMO LOS OBTENIDOS POR CASAGRANDE Y CROWTHERS QUE TOMANDO COMO BASE LAS LECTURAS DEL HIDRÓMETRO Y LA TEMPERATURA, DAN DIRECTAMENTE EL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS EN MICRAS.

DESPUÉS DE HABER HECHO LAS CORRECCIONES NECESARIAS, SE SUSTITUYE EL VALOR ENCONTRADO PARA LA ALTURA REAL DE CAÍDA (RHC) EN LA EXPRESIÓN:  $V = \frac{RHC}{T}$  Y ÉSTE VALOR A SU VEZ SE REEMPLAZA EN LA ECUACIÓN 11A OBTENIÉNDOSE ASÍ EL DIÁMETRO DE LAS -

PARTÍCULAS EN MM.

DESARROLLO DEL MÉTODO.

DE UNA MUESTRA REPRESENTATIVA DEL MATERIAL MOLIDO SE TOMARON DOS MUESTRAS DE 50 G CADA UNA, CON OBJETO DE HACER EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR DUPLICADO. CADA MUESTRA SE PUSO - EN UN MATRAZ DE 1000 ML AGREGANDO 500 ML DE AGUA PARA FORMAR - LA SUSPENSIÓN Y AÑADIENDO 1 ML DE SOLUCIÓN DE AMONÍACO CONCENTRADO QUE SE UTILIZA COMO DEFLOCULANTE. EN ESTAS CONDICIONES, LAS MUESTRAS SE PUSIERON A REFLUJO DURANTE 2 HORAS CON EL FIN DE OBTENER UNA MEJOR DISPERSIÓN DE LAS PARTÍCULAS. EN SEGUIDA SE PASARON LAS MUESTRAS A PROBETAS QUE PREVIAMENTE FUERON CALIBRADAS EN LA FORMA QUE CON ANTERIORIDAD SE INDICÓ. A CONTINUACIÓN SE EJEMPLIFICA UN CÁLCULO NUMÉRICO PARA EL CASO DE UNA -- PROBETA:

$$\text{ÁREA MEDIA} = 26.04 \text{ CM}^2$$

$$2A = 52.08 \text{ CM}^2$$

$$\text{VOLUMEN DEL HIDRÓMETRO}$$

$$V_H = 58.345 \text{ CM}^3$$

H = DISTANCIA DEL CENTRO DE VOLUMEN A LA GRADUACIÓN X

RHC = ALTURA REAL DE CAÍDA DE LAS PARTÍCULAS

$$RHC = \frac{V_H}{2A} = H - \frac{58.345}{52.08} = H - 1.07$$

LOS VALORES DE H SE ENCUENTRAN EN LA TERCERA COLUMNA DE LA TABLA IX. SI SE TRAZAN GRÁFICAS DE LAS LECTURAS DEL HIDRÓMETRO (PRIMERA COLUMNA) CONTRA ALTURA REAL DE CAÍDA RHC - - (CUARTA COLUMNA), SE OBTIENEN RECTAS COMO LAS TRAZADAS EN LA FIGURA 9. ESTAS GRÁFICAS SIRVEN PARA QUE, UNA VEZ QUE SE HALLAN HECHO LAS CORRECCIONES DEBIDAS A LAS LECTURAS DEL HIDRÓMETRO, - SE PUEDA DETERMINAR DIRECTAMENTE LA ALTURA REAL DE CAÍDA DE LAS PARTÍCULAS.

TABLA IX

ALTURA REAL DE CAÍDA PARA LAS DIVERSAS GRADUACIONES DE LA ESCA  
LA DEL HIDRÓMETRO.

| LECTURA DEL<br>HIDRÓMETRO | DISTANCIA EN-<br>TRE 0 Y X | DISTANCIA AL CEN-<br>TRO DE VOLÚMEN H<br>(CM) | ALTURA REAL<br>DE CAÍDA<br>RHC (CM) |
|---------------------------|----------------------------|---|-------------------------------------|
| 0                         | ---                        | 19.20   | 18.13                               |
| 5                         | 0.85                       | 18.35   | 17.28                               |
| 10                        | 1.70                       | 17.50   | 16.43                               |
| 15                        | 2.57                       | 16.55   | 15.48                               |
| 20                        | 3.40                       | 15.76   | 14.69                               |
| 25                        | 4.30                       | 14.90   | 13.83                               |
| 30                        | 5.15                       | 14.05   | 12.98                               |
| 35                        | 6.05                       | 13.15   | 12.08                               |
| 40                        | 6.90                       | 12.30   | 11.23                               |
| 45                        | 7.77                       | 11.40   | <del>10.33</del>                    |
| 50                        | 8.65                       | 10.55   | 9.48                                |
| 55                        | 9.54                       | 9.66  | 8.59                                |
| 60                        | 10.42                      | 8.76  | 7.69                                |

UNA VEZ PUESTAS LAS MUESTRAS EN LAS PROBETAS, LA SUS-  
PENSION SE AGITA FUERTEMENTE EN FORMA VERTICAL, RÁPIDAMENTE SE  
BACA EL AGITADOR Y SE INTRODUCE EL HIDRÓMETRO HACIENDO UNA LEC-  
TURA H QUE CORRESPONDE AL TIEMPO 0; SIN VOLVER A AGITAR SE HA-  
CEN LECTURAS A 1, 2, 5, 15 MINUTOS ETC. TOMANDO EN CADA LECTU-  
RA LA TEMPERATURA CORRESPONDIENTE CON AYUDA DE UN TERMÓMETRO.

EN ESTA FORMA SE OBTIENEN DIRECTAMENTE LAS TRES PRIMERAS COLUMNAS DE LAS TABLAS X Y XI, LA CUARTA COLUMNA SE OBTIENE SUMANDO 0.5 UNIDADES DE LA ESCALA DEL HIDRÓMETRO; LA SIGUIENTE COLUMNA SE OBTIENE HACIENDO A LA ANTERIOR LA CORRECCIÓN POR TEMPERATURA DE ACUERDO CON LA FÓRMULA VISTA. CON ESTOS VALORES DE LAS LECTURAS TOMADOS COMO ABCISAS EN LA FIGURA 9, AL ENCONTRAR LA RECTA CORRESPONDIENTE SE LEE SOBRE EL EJE DE LAS ORDENADAS LA ALTURA REAL DE CADA DE LAS PARTÍCULAS RHC (SEXTA COLUMNA), VALORES QUE AL SER REEMPLAZADAS EN LA FÓRMULA DE STOKES, DAN DIRECTAMENTE EL DIÁMETRO DE ESTAS EN MILÍMETROS.

TABLA X

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL CAULÍN PLÁSTICO MORENO N° 166. PROBETA # 1

| TIEMPO EN MINUTOS<br>T | TEMPERATURA °C | LECTURA DEL HIDRÓMETRO<br>H | CORRECCIÓN POR MENISCO + 0.5 | CORRECCIÓN POR TEMPERATURA Hc | ALTURA REAL DE CAÍDA<br>Rhc | DIÁMETRO (MICRAS) | PORCIENTO PARCIAL DISMINUT |       |
|------------------------|----------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------|----------------------------|-------|
|                        |                |                             |                              |                               |                             |                   |                            |       |
| 0                      | 23.0           | 47.0                        | 47.50                        | 48.75                         | ---                         | ---               | 2.50                       | 97.50 |
| 1                      | 23.0           | 44.0                        | 44.50                        | 45.75                         | 10.10                       | 42.40             | 6.00                       | 91.50 |
| 2                      | 23.5           | 43.0                        | 43.50                        | 44.75                         | 10.40                       | 29.80             | 2.00                       | 89.50 |
| 7                      | 23.5           | 38.5                        | 39.00                        | 40.50                         | 11.00                       | 15.58             | 8.50                       | 81.00 |
| 25                     | 23.5           | 36.0                        | 36.50                        | 38.00                         | 11.50                       | 8.75              | 5.00                       | 76.00 |
| 40                     | 23.5           | 35.0                        | 35.50                        | 37.00                         | 11.70                       | 7.05              | 2.00                       | 74.00 |
| 60                     | 23.5           | 33.5                        | 34.00                        | 35.50                         | 11.95                       | 5.84              | 3.00                       | 71.00 |
| 90                     | 23.5           | 31.5                        | 32.00                        | 33.50                         | 12.30                       | 4.80              | 4.00                       | 67.00 |
| 120                    | 24.5           | 30.5                        | 31.00                        | 33.00                         | 12.40                       | 4.13              | 1.00                       | 66.00 |
| 240                    | 25.0           | 26.5                        | 27.00                        | 29.25                         | 13.00                       | 3.00              | 7.50                       | 58.50 |
| 360                    | 26.0           | 22.5                        | 23.00                        | 25.75                         | 13.65                       | 2.50              | 7.00                       | 51.50 |
| 420                    | 27.0           | 21.0                        | 21.50                        | 24.75                         | 13.80                       | 2.58              | 2.00                       | 49.50 |
| 750                    | 24.0           | 19.0                        | 19.50                        | 21.25                         | 14.40                       | 1.80              | 7.00                       | 42.40 |
| 1380                   | 22.5           | 16.5                        | 17.00                        | 18.00                         | 15.00                       | 1.38              | 6.50                       | 36.00 |
| 1740                   | 24.0           | 15.5                        | 16.00                        | 17.75                         | 15.05                       | 1.22              | 0.50                       | 35.50 |
| 1980                   | 22.0           | 16.0                        | 16.50                        | 17.50                         | 15.10                       | 1.16              | 0.50                       | 35.00 |
| 2820                   | 21.5           | 15.0                        | 15.50                        | 16.25                         | 15.30                       | 0.98              | 2.50                       | 32.50 |
| 4320                   | 25.0           | 12.5                        | 13.00                        | 15.25                         | 15.50                       | 0.77              | 2.00                       | 30.50 |

TABLA XI

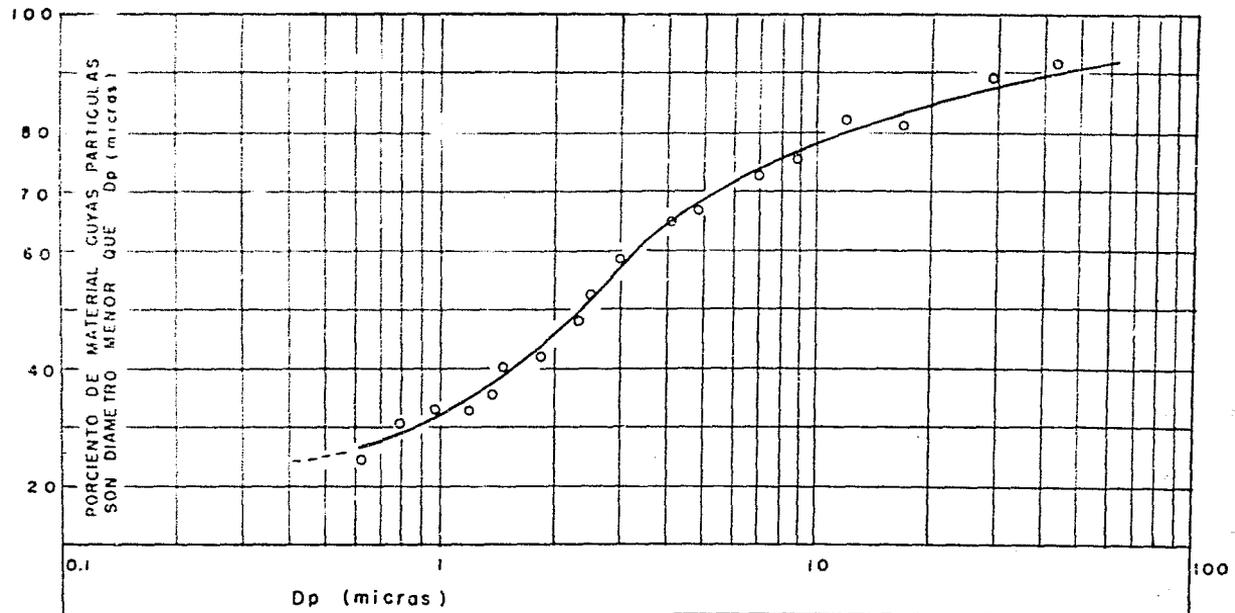
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL CAOLÍN PLÁSTICO MORENO N° 166

| TIEMPO EN MINUTOS<br>T | TEMPERATURA °C | LECTURA DEL HIJÓMETRO<br>H | CORRECCIÓN POR MENISCO + 0.5 | CORRECCIÓN POR TEMPERATURA Tc | ALTURA REAL DE CAÍDA<br>Rhc | DIÁMETRO (MICRAS) | PORCIENTO PARCIAL DISMINUT |      |
|------------------------|----------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------|----------------------------|------|
|                        |                |                            |                              |                               |                             |                   |                            |      |
| 0                      | 22.0           | 48.0                       | 48.50                        | 49.50                         | ---                         | ---               | 1.00                       | 99.0 |
| 1                      | 22.0           | 45.0                       | 45.50                        | 46.50                         | 10.05                       | 40.60             | 6.00                       | 93.0 |
| 8                      | 22.0           | 40.0                       | 40.50                        | 41.50                         | 10.93                       | 15.58             | 10.00                      | 83.0 |
| 15                     | 22.0           | 39.0                       | 39.50                        | 40.50                         | 11.10                       | 11.35             | 2.00                       | 81.0 |
| 30                     | 23.5           | 35.0                       | 35.50                        | 37.00                         | 11.70                       | 8.16              | 7.00                       | 74.0 |
| 40                     | 23.5           | 34.5                       | 35.00                        | 36.50                         | 11.80                       | 7.05              | 1.00                       | 73.0 |
| 60                     | 23.5           | 33.0                       | 33.50                        | 35.00                         | 12.05                       | 5.87              | 3.00                       | 70.0 |
| 90                     | 24.5           | 31.5                       | 32.00                        | 34.00                         | 12.23                       | 4.78              | 2.00                       | 68.0 |
| 120                    | 25.0           | 30.0                       | 30.50                        | 32.75                         | 12.45                       | 4.14              | 2.50                       | 65.5 |
| 240                    | 26.0           | 26.0                       | 26.50                        | 29.25                         | 13.05                       | 2.97              | 7.00                       | 58.5 |
| 420                    | 27.5           | 21.0                       | 21.50                        | 25.00                         | 13.80                       | 2.27              | 8.50                       | 50.0 |
| 720                    | 24.0           | 19.0                       | 19.50                        | 21.25                         | 14.45                       | 1.87              | 7.50                       | 42.5 |
| 1380                   | 22.5           | 17.5                       | 18.00                        | 19.00                         | 14.85                       | 1.44              | 4.50                       | 38.0 |
| 1740                   | 24.0           | 16.0                       | 16.50                        | 18.25                         | 14.98                       | 1.21              | 1.50                       | 36.5 |
| 1980                   | 22.0           | 16.5                       | 17.00                        | 18.00                         | 15.01                       | 1.17              | 0.50                       | 36.0 |
| 2820                   | 21.5           | 15.5                       | 16.00                        | 16.75                         | 15.24                       | 0.98              | 2.50                       | 33.5 |
| 4320                   | 26.0           | 13.0                       | 13.50                        | 16.25                         | 15.33                       | 0.76              | 1.00                       | 32.5 |

Tabla XI

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL CASIJA PLÁSTICO MORENO N° 166

| TIEMPO EN MINUTOS T. | TEMPERATURA °C | LECTURA DEL HIDRÓMETRO H | CORRECCIÓN POR MENISCO + 0,5 | CORRECCIÓN POR TEMPERATURA Mc | ALTURA REAL DE CAJDA RHC | DIÁMETRO (MICRAS) | PORCIENTO PARCIAL DISMINUT |      |
|----------------------|----------------|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------|-------------------|----------------------------|------|
|                      |                |                          |                              |                               |                          |                   |                            |      |
| 0                    | 22.0           | 42.0                     | 42.50                        | 42.50                         | ---                      | ---               | 1.00                       | 99.0 |
| 1                    | 22.0           | 45.0                     | 45.50                        | 46.50                         | 10.05                    | 48.60             | 6.00                       | 93.0 |
| 8                    | 22.0           | 40.0                     | 40.50                        | 41.50                         | 10.93                    | 15.59             | 10.00                      | 83.0 |
| 15                   | 22.0           | 39.0                     | 39.50                        | 40.50                         | 11.10                    | 11.35             | 2.00                       | 81.0 |
| 30                   | 23.5           | 35.0                     | 35.50                        | 37.00                         | 11.70                    | 8.16              | 7.00                       | 74.0 |
| 40                   | 23.5           | 34.5                     | 35.00                        | 36.50                         | 11.80                    | 7.05              | 1.00                       | 73.0 |
| 60                   | 23.5           | 33.0                     | 33.50                        | 35.00                         | 12.05                    | 5.87              | 3.00                       | 70.0 |
| 90                   | 24.5           | 31.5                     | 32.00                        | 34.00                         | 12.23                    | 4.76              | 2.00                       | 68.0 |
| 120                  | 25.0           | 30.0                     | 30.50                        | 32.75                         | 12.45                    | 4.14              | 2.50                       | 65.5 |
| 240                  | 26.0           | 26.0                     | 26.50                        | 29.25                         | 13.05                    | 2.97              | 7.00                       | 58.5 |
| 420                  | 27.5           | 21.0                     | 21.50                        | 25.00                         | 13.80                    | 2.27              | 8.50                       | 50.0 |
| 720                  | 24.0           | 19.0                     | 19.50                        | 21.25                         | 14.45                    | 1.87              | 7.50                       | 42.5 |
| 1380                 | 22.5           | 17.5                     | 18.00                        | 19.00                         | 14.85                    | 1.44              | 4.50                       | 36.0 |
| 1740                 | 24.0           | 16.0                     | 16.50                        | 18.25                         | 14.98                    | 1.21              | 1.50                       | 36.5 |
| 1980                 | 22.0           | 16.5                     | 17.00                        | 18.00                         | 15.01                    | 1.17              | 0.50                       | 36.0 |
| 2820                 | 21.5           | 15.5                     | 16.00                        | 16.75                         | 15.24                    | 0.98              | 2.50                       | 33.5 |
| 4320                 | 26.0           | 13.0                     | 13.50                        | 16.25                         | 15.33                    | 0.76              | 1.00                       | 32.5 |



|                                       |          |
|---------------------------------------|----------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE MEXICO        |          |
| ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS QUIMICAS |          |
| ANALISIS GRANULOMETRICO DEL CAO-      |          |
| LIN UTILIZADO EN LA EXPERIMENTACION   |          |
| TESIS PROFESIONAL                     |          |
| EFRAIN VALLADARES TRUJILLO            |          |
| MEXICO 1957                           | FIGURA 8 |

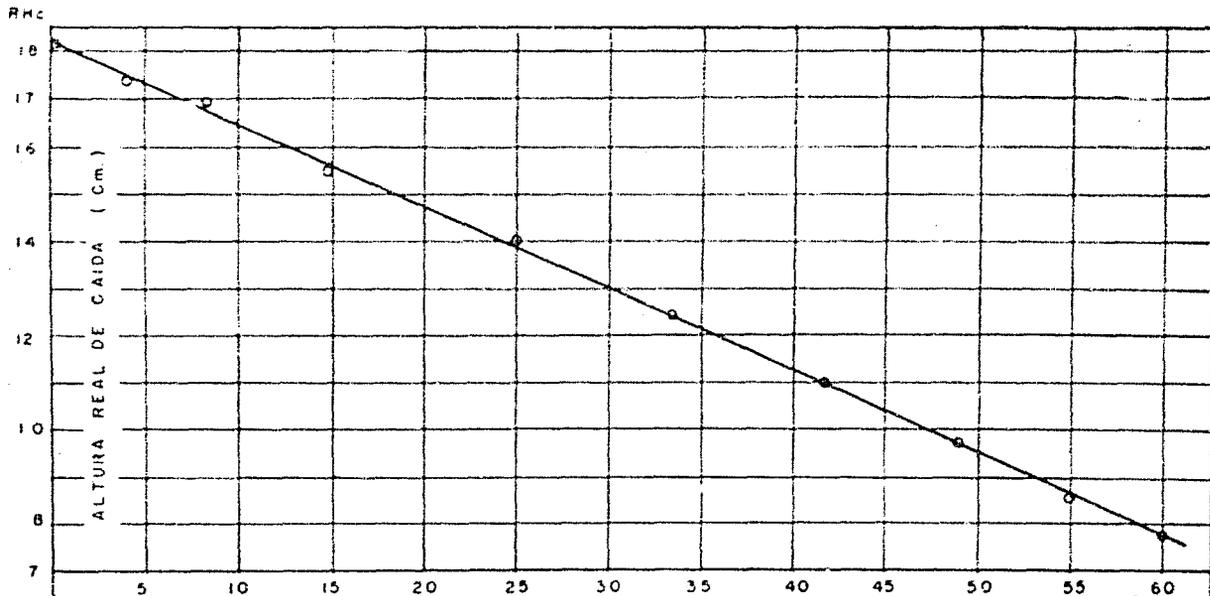
TABLA XII

PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN LOS DOS CICLONES, CORRESPONDIENTES A LAS VELOCIDADES DEL AIRE EMPLEADAS EN LA EXPERIMENTACIÓN.

| PRUEBA N.º | VELOCIDAD EN EL VENTILADOR. (R.P.M.) | VELOCIDAD DE ENTRADA DEL AIRE (M/SEG) |       |       | PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN LOS CICLONES (CENTÍMETROS DE AGUA). |              |              |
|------------|--------------------------------------|---------------------------------------|-------|-------|--|--------------|--------------|
|            |                                      | CLASIFICADOR COLECTOR                 |       |       | $\Delta P_1$   | $\Delta P_2$ | $\Delta P_T$ |
|            |                                      | $V_M$                                 | $V_V$ | $V_C$ |  |              |              |
| 1          | 5,150                                | 3.30                                  | 8.0   | 7.70  | 1.40   | 1.40         | 2.80         |
| 2          | 5,150                                | 2.54                                  | 8.6   | 7.70  | 1.50   | 1.40         | 2.90         |
| 3          | 5,150                                | 2.14                                  | 9.0   | 7.70  | 1.55   | 1.40         | 2.95         |
| 4          | 5,150                                | 1.10                                  | 9.2   | 7.70  | 1.65   | 1.25         | 2.90         |
| 5          | 5,150                                | 0.00                                  | 13.8  | 7.70  | 1.70   | 1.30         | 3.00         |
| 6          | 7,000                                | 4.15                                  | 11.3  | 10.50 | 2.54   | 2.92         | 5.46         |
| 7          | 7,000                                | 3.40                                  | 11.8  | 10.50 | 2.65   | 2.85         | 5.50         |
| 8          | 7,000                                | 3.20                                  | 12.6  | 10.50 | 2.80   | 2.80         | 5.60         |
| 9          | 7,000                                | 1.90                                  | 13.2  | 10.50 | 3.05   | 2.65         | 5.70         |
| 10         | 7,000                                | 1.20                                  | 13.5  | 10.50 | 3.30   | 2.65         | 5.95         |
| 11         | 7,000                                | 0.00                                  | 18.7  | 10.50 | 3.35   | 2.60         | 5.95         |
| 12         | 10,000                               | 6.30                                  | 17.2  | 15.80 | 5.72   | 7.00         | 12.72        |
| 13         | 10,000                               | 4.80                                  | 18.3  | 15.80 | 6.35   | 6.72         | 13.07        |
| 14         | 10,000                               | 4.10                                  | 19.6  | 15.80 | 6.60   | 6.35         | 12.95        |
| 15         | 10,000                               | 2.40                                  | 20.8  | 15.80 | 7.25   | 5.80         | 13.05        |
| 16         | 10,000                               | 1.30                                  | 21.5  | 15.80 | 7.30   | 5.75         | 13.05        |
| 17         | 10,000                               | 0.00                                  | 28.1  | 15.80 | 7.40   | 5.65         | 13.05        |
| 18         | 10,000                               | 8.10                                  | 20.0  | 19.60 | 8.10   | 12.90        | 21.00        |
| 19         | 10,000                               | 6.10                                  | 21.7  | 19.60 | 9.70   | 12.40        | 22.10        |
| 20         | 10,000                               | 5.10                                  | 22.3  | 19.60 | 10.70  | 11.70        | 22.40        |
| 21         | 10,000                               | 3.40                                  | 25.2  | 19.60 | 11.90  | 10.70        | 22.60        |
| 22         | 10,000                               | 2.70                                  | 28.6  | 19.60 | 12.40  | 10.10        | 22.50        |
| 23         | 10,000                               | 0.00                                  | 35.0  | 19.60 | 12.50  | 10.00        | 22.50        |

CON LA FÓRMULA IIA SE CALCULARON LOS VALORES DE LA SÉPTIMA COLUMNA, QUE SE ENCUENTRAN EXPRESADOS EN MICRAS (EL DÍAMETRO EN MM SE MULTIPLICA POR 1000).

PUESTO QUE LAS LECTURAS DEL HIDRÓMETRO CORREGIDAS - (HC), REPRESENTAN GRAMOS DE SÓLIDOS EN 1000 ML DE SUSPENSIÓN, LA DIFERENCIA A 50 REPRESENTARÁ GRAMOS DEL TAMAÑO QUE SE CONTROLA, Y COMO LA MUESTRA ES DE 50 G, MULTIPLICANDO POR 2 SE OBTIENE EL PORCENTAJE PARCIAL.



LECTURAS EN EL HIDROMETRO ( corregidos ) H

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MEXICO  
ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS QUIMICAS

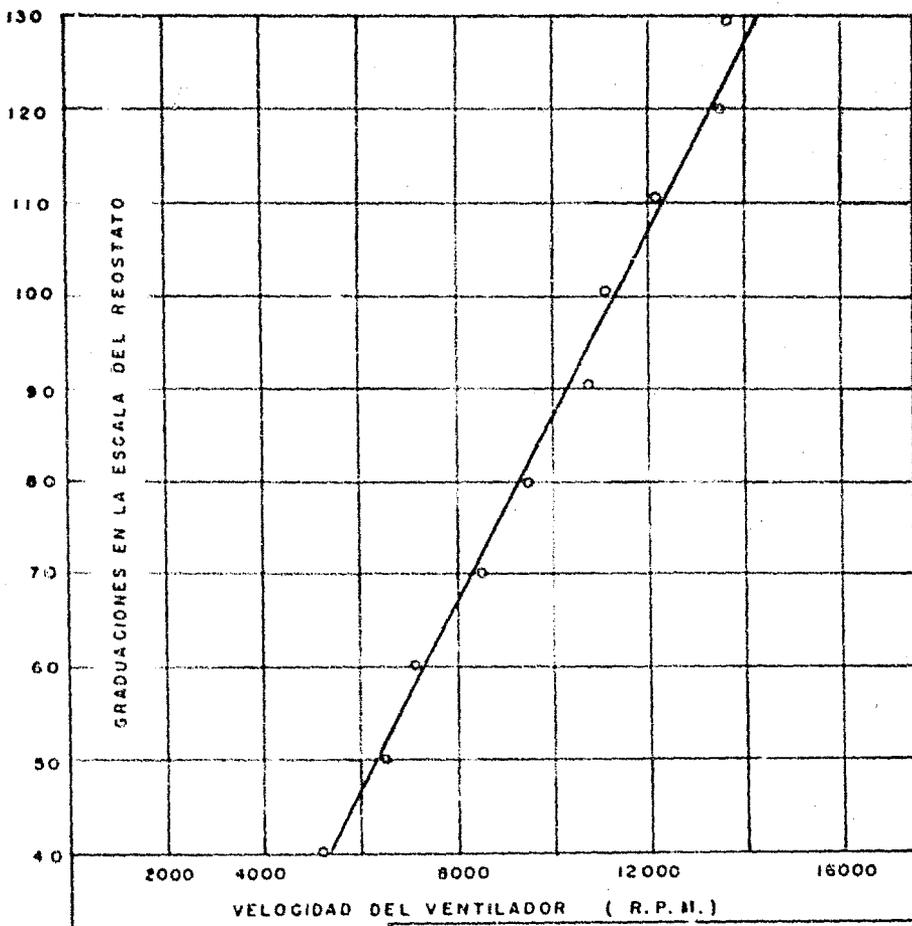
RELACION DE LECTURAS DEL HIDROMETRO CON LA ALTURA REAL DE CAIDA

TESIS PROFESIONAL

EFRAIN VALLADARES TRUJILLO

MEXICO D.F. 1957

FIGURA 9



|   |           |
|---|-----------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE MEXICO                        |           |
| ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS QUIMICAS                 |           |
| GRAFICA DE CALIBRACION DEL REOSTATO CON EL VENTILADOR |           |
| TESIS PROFESIONAL                                     |           |
| EFRAIN VALLADARES TRUJILLO                            |           |
| MEXICO D.F. 1957                                      | FIGURA 10 |

EL PORCENTAJE ACUMULATIVO (QUE NO APARECE EN LA TABLA) ESTÁ REPRESENTADO POR LA SUMA PROGRESIVA DE LOS PARCIALES. LOS PORCENTAJES DISMINUTIVOS SE OBTIENEN RESTANDO DE 100 LOS CORRESPONDIENTES ACUMULATIVOS.

SI SE TRAZA UNA GRÁFICA UTILIZANDO LOS PORCENTAJES DISMINUTIVOS CONTRA DIÁMETRO DE PARTÍCULA EN MICRAS, SE OBTIENE UNA CURVA COMO LA REPRESENTADA EN LA FIG. 8, LA CUAL DA A CONOCER LA DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA, EN EL MATERIAL QUE, POSTERIORMENTE SE UTILIZARÁ EN EL CLASIFICADOR CICLÓNICO.

### 3) ANÁLISIS DE RESULTADOS.

LOS RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDEN A LOS DATOS DE LAS ÚLTIMAS COLUMNAS DE LAS TABLAS X Y XI DONDE SE ENCUENTRAN LOS TAMAÑOS DE PARTÍCULA Y SU DISTRIBUCIÓN.

HACIENDO UN ESTUDIO DE ESTOS, SE PUEDE CONCLUIR QUE EN EL CASO DE UNA SEPARACIÓN IDEAL (EFICIENCIA 100%) EN EL CICLÓN, SE TENDRÁ QUE ELIMINAR SOLO UN 23% DEL CAOLÍN YA QUE DE ACUERDO CON ELLOS, SE TIENE UN 77% APROXIMADAMENTE, DE PARTÍCULAS -- MENORES DE 10 MICRAS.

LA APLICACIÓN DEL MÉTODO IDEADO POR BOUYOUCOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA, PROBABLEMENTE PUEDA SER APLICADABLE AL CONTROL DE POLVOS DISTINTOS DE LAS ARCILLAS, SIGUIENDO LA MISMA TÉCNICA Y EFECTUANDO LAS CORRECCIONES NECESARIAS EN LA FÓRMULA BASE.

CON MATERIALES MUY DENSOS COMO LAS BARITAS, CUYA DENSIDAD ES DE 4.5 O MAYOR, Y PARA SÓLIDOS CON DENSIDADES MAYORES DE 4.0 EL MÉTODO NO SE APLICA (9).

B) DESCRIPCIÓN GENERAL DE EQUIPO INDUSTRIAL PARA CLASIFICACIÓN DE PARTICULAS SÓLIDAS.

1) CLASIFICACIÓN.

EL EQUIPO INDUSTRIAL PARA COLECCIÓN DE POLVOS, COMPRENDE CINCO GRUPOS DISTINTOS SEGÚN EL PRINCIPIO FÍSICO QUE SE UTILICE EN LA SEPARACIÓN, DICHO GRUPOS SON LOS SIGUIENTES:

1° GRAVEDAD.

2° INERCIA.

3° FILTRACIÓN

4° LAVADO.

5° PRECIPITACIÓN ELÉCTRICA.

1°.- SEPARADORES POR GRAVEDAD. EN ÉSTOS, LA SEPARACIÓN SE LLEVA A CABO POR LA FUERZA GRAVITACIONAL ÚNICAMENTE. COMO REPRESENTANTES TÍPICOS SE ENCUENTRAN LAS CÁMARA DE ASENTAMIENTO, LAS CUALES CONSISTEN COMO SU NOMBRE LO INDICA, EN UNO O MÁS RECIPIENTES COLOCADOS EN SERIE. LA FORMA EN QUE OPERAN ES LA SIGUIENTE: LA ALIMENTACIÓN DE LA SUSPENSIÓN, SE HACE CON UNA VELOCIDAD DE ENTRADA A LA CÁMARA NO MAYOR DE 3.1 METROS POR SEGUNDO. (2) APROXIMADAMENTE, DE TAL MANERA QUE LAS PARTICULAS GRUESAS SE ASIENTEN DESPUÉS DE RECORRER UNA LONGITUD DETERMINADA DE LA CÁMARA, MIENTRAS QUE LAS FINAS SON ARRASTRADAS CON LA CORRIENTE DEL FLÚIDO.

EL USO PRINCIPAL DE LAS CÁMARA DE ASENTAMIENTO, ES ELIMINAR LAS PARTICULAS GRUESAS, REDUCIENDO EN ESTA FORMA LA CONCENTRACIÓN DE LAS MISMAS, EN LOS EQUIPOS SUBSECUENTES DE MAYOR EFICIENCIA. LA APLICACIÓN DE ÉSTE TIPO DE SEPARADORES QUE DA RESTRINGIDA A PARTICULAS DE 50 MICRAS O MAYORES (3), YA QUE PARA TAMAÑOS MENORES LAS CÁMARA TENDRÍAN QUE SER DE ENORMES -

DIMENSIONES, LO CUAL NO ES CONVENIENTE DESDE EL PUNTO DE VISTA ECONÓMICO.

2°.- SEPARADORES QUE USAN EL PRINCIPIO DE INERCIA.- SE FUNDAN EN EL PRINCIPIO SIGUIENTE: LA INERCIA QUE POSEE UN CUERPO EN MOVIMIENTO, TIENDE A MANTENERLO EN DIRECCIÓN DE LA FUERZA QUE ORIGINA EL MOVIMIENTO. POR LO TANTO, SI SE CONSIDERA EL CASO DE PARTICULAS SÓLIDAS ARRASTRADAS POR UN FLÚIDO, Y SE CAMBIA REPENTINAMENTE LA DIRECCIÓN DEL FLUJO DEL FLÚIDO, ÉSTAS TIENDEN A CONTINUAR SU MOVIMIENTO EN LA DIRECCIÓN ORIGINAL, SEPARÁNDOSE ASÍ DE LA CORRIENTE EN QUE SE ENCUENTRAN. A ÉSTE GRUPO PERTENECEN: CICLONES Y SEPARADORES MECÁNICOS DE AIRE PRINCIPALMENTE.

ÉSTOS SEPARADORES PUEDEN CONSIDERARSE COMO UN TIPO ESPECIAL DE LAS CÁMARAS DE ASENTAMIENTO, EN LOS CUALES LA FUERZA GRAVITACIONAL ES SUSTITUIDA O INCREMENTADA POR UNA FUERZA CENTRÍFUGA, QUE SE ORIGINA CUANDO SE OBLIGA AL FLÚIDO A FORMAR REMOLINOS, LO QUE SE CONSIGUE COLOCANDO PAMPARAS Y DEFLECTORES EN LUGARES ADECUADOS DEL SEPARADOR.

ÉSTOS SEPARADORES SE USAN PARA ELIMINAR SÓLIDOS Y LÍQUIDOS DE GASES O SÓLIDOS DE LÍQUIDOS; QUEDANDO LIMITADA SU APLICACIÓN A PARTICULAS COMPRENDIDAS (3) ENTRE 2 Y 1000 MICRAS.

3°.- SEPARADORES DE FILTRO.- SE BASAN EN LA CARACTERÍSTICA QUE PRESENTAN ALGUNOS MATERIALES POROSOS, QUE PERMITEN EL PASO DE UN FLÚIDO A TRAVÉS DE ELLOS, RETENIENDO EN CAMBIO, LAS PARTICULAS SÓLIDAS QUE EN ÉL SE ENCUENTRAN SUSPENDIDAS.

LOS MATERIALES FILTRANTES QUE SE USAN CON MAYOR FRECUENCIA SON: PAÑO, LANA DE ACERO, LANA DE VIDRIO, PAPEL Y CIERTAS ARCILLAS. ALGUNAS VECES EL MEDIO FILTRANTE SE IMPREGNA CON

UN MATERIAL VISCOSO, CON EL FIN DE AUMENTAR EL PODER DE RETENCIÓN. ESTE TIPO DE SEPARADORES SE USA PARA ELIMINAR PARTICULAS COMPRENDIDAS ENTRE 0.05 Y 4 MICRAS (3).

4°.- SEPARADORES DE LAVADO POR PULVERIZACIÓN.-- EL PRINCIPIO DE ÉSTOS SEPARADORES, CONSISTE EN LA ADSORCIÓN DE LAS PARTICULAS SÓLIDAS SOBRE LA SUPERFICIE DE LAS GOTAS DEL LÍQUIDO PULVERIZADO, Y DE ACUERDO CON EL TAMAÑO DE LA GOTA, EL PROCESO PUEDE EFECTUARSE POR: DIFUSIÓN BRANMANA, HUMIDIFICACIÓN, CONDENSACIÓN, ETC.

LOS PRINCIPALES REPRESENTANTES DE ÉSTE GRUPO SON: -- LAS CÁMARAS Y CICLONES DE LAVADO; AMBOS SE USAN CUANDO EL POLVO POR SEPARAR CONTIENE UN GRAN PORCENTAJE DE PARTICULAS MENORES DE 2 MICRAS, LIMITÁNDOSE SU USO A TAMAÑOS COMPRENDIDOS ENTRE 0.1 Y 100 (3).

5°.- SEPARADORES ELÉCTRICOS.-- EN ÉSTOS LA OPERACIÓN SE LLEVA A CABO HACIENDO PASAR EL GAS CARGADO DE POLVO A TRAVÉS DE UN CAMPO ELÉCTRICO; LA SEPARACIÓN SE EFECTÚA EN EL MOMENTO EN QUE LAS PARTICULAS CARGADAS ELÉCTRICAMENTE, SON ATRAÍDAS POR EL ELECTRODO DE SIGNO CONTRARIO. EL SEPARADOR DE ÉSTE TIPO QUE SE USA CON MÁS FRECUENCIA ES EL COTRELL.

LOS SEPARADORES ELÉCTRICOS SE APLICAN A SUSPENSIONES QUE CONTIENEN UN GRAN PORCENTAJE DE PARTICULAS MENORES DE 0.1 MICRAS, LAS CUALES NO SERÍA POSIBLE SEPARAR POR OTROS MEDIOS. SU APLICACIÓN SE LIMITA A PARTICULAS CUYOS TAMAÑOS VARIAN ENTRE 0.001 Y 10 MICRAS.

YA QUE EL DESARROLLO DEL PRESENTE TRABAJO, ESTA ENCAUSADO A LA SEPARACIÓN POR MEDIO DE COLECTORES CICLÓNICOS, SE

PRESTARÁ ESPECIAL ATENCIÓN A ÉSTE GRUPO, DESCRIBIÉNDOSE A CONTINUACIÓN LOS TIPOS MÁS COMUNES DE ÉSTOS COLECTORES QUE SE EMPLEAN EN LA INDUSTRIA.

PRINCIPALES CLASIFICADORES CENTRÍFUGOS USADOS EN LA INDUSTRIA. - SE PUEDEN SUBDIVIDIR EN LA FORMA SIGUIENTE: (3) --  
LOS CICLONES PROPIAMENTE DICHO, EN LOS CUALES LA FUERZA CENTRÍFUGA SE ORIGINA SÓLAMENTE POR LA ENTRADA TANGENCIAL QUE SE DA A LA CORRIENTE DE GAS; (2). - LOS LLAMADOS MECÁNICOS DE AIRE, EN LOS QUE LA FUERZA CENTRÍFUGA SE PRODUCE POR MOVIMIENTO DE DISCOS Y ASAS, QUE SE ENCUENTRAN MONTADOS SOBRE LA FLECHA DEL SEPARADOR.

1). - CICLONES. - ENTRE LOS SEPARADORES COMPRENDIDOS EN ÉSTA SUBDIVISIÓN, PUEDEN MENCIONARSE LOS SIGUIENTES:

CICLÓN DE VAN TONDERAN. - (BUELL ENGINEERING Co.) (3). LAS PARTES FUNDAMENTALES DE QUE CONSTA, SON LAS QUE POSEEN LA MAYORÍA DE LOS CICLONES: PORCIONES CILÍNDRICAS Y CÓNICAS ALTERNADAS; - SIN EMBARGO, EN ÉSTE SEPARADOR EL CILINDRO DE LA SECCIÓN MEDIA ES ALARGADO, LO CUAL LE IMPARTE CIERTAS CARACTERÍSTICAS. EL AIRE ENTRA POR LA PARTE LATERAL DEL SEPARADOR, Y DEBIDO A LA -- CONSTRUCCIÓN ESPECIAL DE ÉSTE, LA CORRIENTE FORMA REMOLINOS -- TANTO ARRIBA COMO ABAJO DE LA ENTRADA. LAS PARTÍCULAS DEMASIADO TUECAS, CAEN AL FONDO Y ALLI SE COLECTAN; LAS MENOS GRUESAS SON ARRASTRADAS POR EL REMOLINO INFERIOR, QUE LAS ARROJA HACIA UNA ZONA DE DERIVACIÓN A TRAVÉS DE UNA VENTANILLA. LA DERIVACIÓN TIENE UN FALSO FONDO, POR DONDE PENETRAN NUEVAMENTE AL SEPARADOR, Y DEBIDO A LA ACELERACIÓN DE LA GRAVEDAD RESSBALAN - DEPOSITÁNDOSE EN EL COLECTOR. EL POLVO FINO SUBE HASTA E

MOLINO SUPERIOR, DONDE LAS PARTÍCULAS RELATIVAMENTE GRUESAS -- QUE AÚN LO ACOMPANAN, PASAN A TRAVÉS DE UNA VENTANILLA A LA DERIVACIÓN, CONTINUANDO EN LA FORMA DESCRITA.

EL POLVO NO SEPARADO, JUNTO CON EL AIRE FORMA UN VÓRTICE ASCENDENTE, Y SE DESCARGAN POR EL DUCTO DE SALIDA.

CICLÓN SIROCO TIPO D. - (AMERICAN BLOWER CORP.) (3).  
LA CARACTERÍSTICA PRINCIPAL DE ÉSTE SEPARADOR, ES QUE TIENE UN DUCTO DE SALIDA DENOMINADO DE COLLAR, EL CUAL PUEDE CAMBIARSE PARA AUMENTAR O DISMINUIR LA EFICIENCIA DE COLECCIÓN, CON LA CORRESPONDIENTE VARIACIÓN DE LA CAÍDA DE PRESIÓN.

COLECTOR TUBULAR THERMIX. - (PRAT-DANIEL CORP.) (1).  
ES UN COLECTOR CILÍNDRICO EN TODA SU LONGITUD; CONSISTE DE DOS TUBOS CONCÉNTRICOS, ENTRE LOS CUALES SE EFECTÚA LA SEPARACIÓN. EL TUBO EXTERIOR ES GENERALMENTE DE 6 O 9 PULGADAS DE DIÁMETRO, PROVISTO DE DOS GRANDES HILERAS DE RANURAS ESTRECHAS QUE CONDUCE A SU INTERIOR Y ESTANDO RODEADO POR UNA CÁMARA CILÍNDRICA. EL GAS CARGADO DE POLVO ENTRA POR LA CÁMARA, Y AL PASAR POR LAS RANURAS, ÉSTAS LE IMPARTEN UN FLUJO TANGENCIAL; LAS PARTÍCULAS SÓLIDAS SE DEPOSITAN SOBRE LA PARED INTERIOR DEL TUBO EXTERIOR, Y BAJO EL IMPULSO DEL VÓRTICE Y LA FUERZA DE LA GRAVEDAD, CAEN AL FONDO Y SE COLECTAN, MIENTRAS QUE LAS PARTÍCULAS NO COLECTABLES FORMAN CON EL GAS UNA CORRIENTE HACIA LA PARTE SUPERIOR DEL TUBO INTERIOR Y POR AHÍ SE DESCARGAN.

MULTICICLONES. - DEBIDO A QUE MUCHAS VECES EL EMPLEO DE UN CICLÓN, NO RESUELVE SATISFACTORIAMENTE EL PROBLEMA DE SEPARACIÓN PARA UNA CAPACIDAD DETERMINADA, SE ACOSTUMBRA EN ÉSTOS CASOS COMBINAR CIERTO NÚMERO DE UNIDADES, QUE PUEDEN DISPONERSE EN PARALELO O EN SERIE, DESIGNÁNDOSE ENTONCES CON EL -

NOMBRE DE MULTICICLONES.

EL ARREGLO EN PARALELO ES EL MÁS USADO, QUEDANDO EL OTRO LIMITADO AL CASO EN QUE, EL MATERIAL POR SEPARAR ES MUY FINO Y DE TAMAÑO RELATIVAMENTE UNIFORME.

EN LA DISPOSICIÓN EN PARALELO, LOS CICLONES SE ALIMENTAN POR UN DUCTO COMÚN QUE POSEE DERIVACIONES A LA ENTRADA DE CADA UNO, SIENDO COLECTADO EL MATERIAL EN UN RECEPTOR ÚNICO.

EN LAS INSTALACIONES EN SERIE, LA ALIMENTACIÓN SE HACE EN UN CICLÓN, EL CUAL DESCARGA EL MATERIAL FINO A LA ENTRADA DEL SEGUNDO Y ABÍ SUCESIVAMENTE, TENIENDO CADA UNO SU COLECTOR INDIVIDUAL.

UN EJEMPLO DE ÉSTOS MULTICICLONES, ES EL CONSTRUIDO POR LA WESTERN PRECIPITATION CORP. (1), EL CUAL ESTÁ FORMADO POR UN CONJUNTO DE CICLONES DE 6 A 9 PULGADAS DE DIÁMETRO, MONTADOS EN PARALELO DENTRO DE UNA CÁMARA.

2).- CLASIFICADORES MECÁNICOS DE AIRE.- SON DE USO COMÚN EN LA INDUSTRIA DEBIDO A LA FACILIDAD CON QUE SE ADAPTAN A CUALQUIER SISTEMA, LOS REPRESENTANTES TÍPICOS DE ÉSTOS SEPARADORES SON: CENTRÍFUGO GAYCO, RAYMOND WHIZZER Y STURTEVANT WHIRLWIND.

LAS PARTES ESENCIALES DE QUE CONSTAN SON: A).- UN ADITAMENTO PARA ORIGINAR EL CAMBIO DE INERCIA; B).- UN VENTILADOR Y MEDIOS PARA SEPARAR POR GRAVEDAD, LAS FRACCIONES QUE HAN SIDO ARROJADAS DENTRO DE LA CORRIENTE DEL VENTILADOR; C).- SEPARADOR AUXILIAR POR INERCIA, PARA LA FRACCIÓN FINA; D).- REGULADOR DE TIRO Y DEFLECTORES PARA CONTROLAR LA FUERZA Y DIRECCIÓN DE LA CORRIENTE DE AIRE. DE LOS TRES TIPOS MENCIONADOS,

SOLAMENTE SE DESCRIBIRÁN LOS DOS PRIMEROS, YA QUE EN GENERAL SON SEMEJANTES.

CLASIFICADOR CENTRÍFUGO GAYCO (1). - CONSTA DE DOS CONOS DE DIÁMETRO DIFERENTE, COLOCADOS UNO DENTRO DEL OTRO, AMBOS PROVISOS EN SU PARTE INFERIOR DE UNA VÁLVULA PARA DESCARGAR EL MATERIAL COLECTADO; SOBRE EL EJE CENTRAL Y EN LA PARTE SUPERIOR -- LLEVA UNA FLECHA O TUBO HUECO QUE GIRA, Y SIRVE DE SOPORTE A UN DISCO EN SU EXTREMO INFERIOR Y UN VENTILADOR EN SU PARTE MEDIA.

LA ALIMENTACIÓN SE HACE A TRAVÉS DE LA FLECHA HUECA, QUE DESCARGA EL MATERIAL SOBRE EL DISCO GIRATORIO, QUE A SU VEZ, LO ARROJA POR FUERZA CENTRÍFUGA DENTRO DEL ESPACIO COMPREDIDO ENTRE EL BORDE DEL DISCO Y LA PARED DEL CONO INTERIOR; EN ESTE MISMO LUGAR SE ENCUENTRA CON LA CORRIENTE DE AIRE QUE ORIGINA EL VENTILADOR. EL MATERIAL GRUESO Y PESADO QUE POR TANTO POSEE MAYOR INECIA, AL CHOCAR CONTRA LA PARED SE SEPARA DE LA CORRIENTE DE AIRE, Y REBBALA HACIA EL FONDO POR ACCIÓN DE LA GRAVEDAD. EL MATERIAL PEQUEÑO Y LIGERO, ES ARRASTRADO HACIA LA PARTE SUPERIOR, DONDE LAS PARTÍCULAS MÁS GRANDES SIGUIENDO UN PROCESO ANÁLOGO AL DESCRITO, CAEN DENTRO DEL CONO INTERIOR, -- MIENTRAS QUE EL POLVO FINO, IMPULSADO POR LA CORRIENTE DE LA ZONA CENTRAL, PASA A TRAVÉS DE UNA ABERTURA HASTA EL DIAFRAGMA HORIZONTAL QUE SE ENCUENTRA CERCA DE LA ALIMENTACIÓN, Y DESCENDE EN ESPIRAL POR EL ESPACIO ANULAR, COLECTÁNDOSE EN EL FONDO DEL CONO EXTERIOR; POR MEDIO DE LAS VALVULAS SE DESCARGA EL MATERIAL COLECTADO EN CADA UNO DE LOS CONOS.

LOS MEDIOS DE CONTROL EN LA OPERACIÓN DE ÉSTE CLASIFICADOR SON: LA VELOCIDAD DE LA FLECHA, Y LA ABERTURA DEL DIA-

FRAGMA DEL REGULADOR DE TIRO; EL PRIMERO REGULA LA FUERZA CENTRIFUGA Y EL SEGUNDO LA GRAVITACIONAL.

CLASIFICADOR RAYMOND WHIZZER (11). - EN GENERAL ES SEMEJANTE AL GAYCO, EN CUANTO A CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN, DIFERENCIÁNDOSE - SÓLAMENTE EN DETALLES Y MEDIOS DE CONTROL. EL TIPO DENOMINADO "DE VENTILADOR DOBLE", ESTÁ PROVISTO COMO SU NOMBRE LO INDICA, DE DOS VENTILADORES CON OBJETO DE INTENSIFICAR LA INERCIA EN - EL TRATAMIENTO SECUNDARIO DEL MATERIAL FINO; LOS BORDES CÓNICOS QUE RODEAN LAS PUNTAS DE LAS ASPAS, SIRVEN PARA IMPULSAR LA - CAÍDA DEL MATERIAL GRUESO. EL REMOLINO SE CONTROLA DESDE FUE- RA, POR MEDIO DE REGULADORES DE TIRO CORREDIZOS, ESTANDO ALCU- NOR DISTRIBUIDOS EN LA PERIFERIA DEL CONO INTERIOR, E INMEDIA- TAMENTE ARRIBA DE LOS VENTILADORES.

EN EL TIPO "DE VENTILADOR SIMPLE", LA ABERTURA SE -- CONTROLA POR MEDIO DE DISCOS SUJETOS CON TORNILLOS QUE PROYEC- TAN DENTRO DE LA CAJA.

EN LA LITERATURA (1), SE ENCUENTRAN DATOS SOBRE CLA- SIFICADORES RAYMOND, DONDE APARECEN: DIÁMETROS DE LOS DIFEREN- TES TAMAÑOS, VELOCIDAD DE LA FLECHA, POTENCIA DEL MOTOR ETC.

### C) FACTORES QUE DEBEN CONSIDERARSE PARA SELECCIONAR UN EQUIPO INDUSTRIAL DE CLASIFICACIÓN POR MEDIO DE COLECTORES CICLÓNICOS.

#### 1) CLASIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE CADA FACTOR.

EN VISTA DE QUE EL PRESENTE TRABAJO SE LIMITA AL ES- TUDIO DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DE UN CLASIFICADOR YA EXIS- TENTE, Y DESEANDO PODER UTILIZAR LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS, EN LA SELECCIÓN DE UN EQUIPO INDUSTRIAL DE CLASIFICA- CIÓN POR MEDIO DE COLECTORES CICLÓNICOS, SE PROCEDERÁ A ENUME-- RAR LOS PRINCIPALES FACTORES QUE DEBEN CONSIDERARSE PARA SU SE-

LECCIÓN Y DISEÑO. EN TÉRMINOS GENERALES ESTOS FACTORES PUEDEN RESUMIRSE EN LA FORMA SIGUIENTES:

- 1°.- CAPACIDAD.
- 2°.- CONCENTRACIÓN DEL SÓLIDO EN EL AIRE.
- 3°.- VOLUMEN DEL AIRE QUE ENTRA AL CICLÓN.
- 4°.- VELOCIDAD DE ENTRADA DEL AIRE AL CLASIFICADOR.
- 5°.- DIÁMETROS DEL CICLÓN Y DEL DUCTO DE SALIDA.
- 6°.- ALTURA DEL CLASIFICADOR.
- 7°.- DENSIDAD Y DIÁMETRO DE LA PARTÍCULA SÓLIDA.

1°.- CAPACIDAD.-- ÉSTE ES EL PRIMER FACTOR QUE DEBE TOMARSE EN CUENTA PARA LA SELECCIÓN DEL EQUIPO, YA QUE ES LA BASE PARA -- LOS CÁLCULOS Y DETERMINACIÓN DE LAS DEMÁS CONDICIONES DE OPERACIÓN. LA CAPACIDAD ESTÁ FIJADA DE ACUERDO CON LOS REQUERIMIENTOS PARA CADA CASO PARTICULAR.

2°.- CONCENTRACIÓN DEL SÓLIDO EN EL AIRE.-- NO OBSTANTE QUE -- LAS PRUEBAS DEL EFECTO DE LA VARIACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DEL SÓLIDO EN EL AIRE, SE LLEVARON A CABO VARIANDO SIMULTÁNEAMENTE LA VELOCIDAD DE ENTRADA DEL AIRE AL SEPARADOR, FACTOR AL QUE -- SE ASIGNA LA CAUSA PREPONDERANTE DE LAS EFICIENCIAS DE SEPARACIÓN OBTENIDAS, SE LE PUEDE ATRIBUIR A LA CONCENTRACIÓN ANTES MENCIONADA UN EFECTO PARALELO AUNQUE DE MENOR MAGNITUD QUE EL DE LA VELOCIDAD. TENIENDO EN CUENTA ÉSTA CIRCUNSTANCIA, SE -- PUEDEN JUSGAR LOS RESULTADOS DE LAS TABLAS I, II, III Y IV COMO UNA CONSECUENCIA PARCIAL DE LA CONCENTRACIÓN. ESTA INFORMACIÓN NOS DICE QUE LA EFICIENCIA DE SEPARACIÓN EN EL COLECTOR -- CICLÓNICO, AUMENTA A MEDIDA QUE LA CONCENTRACIÓN DE LOS SÓLIDOS EN EL AIRE AUMENTA HASTA UN MÁXIMO, DESPUÉS DEL CUAL LA -- EFICIENCIA EMPIEZA A DISMINUIR PAULATINAMENTE. ESTE VALOR ÓP-

TIPO ENCONTRADO PARA EL CASO PARTICULAR DEL CAOLÍN BAJO LAS --  
CONDICIONES ESPECIFICADAS, ES DE 0.82 GRAMOS POR LITRO (0.0505  
LB/PIE<sup>3</sup>) QUE CORRESPONDE A LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA  
TABLA III.

LA SITUACIÓN ANTERIOR SE EXPLICA POR LA TENDENCIA QUE  
PRESENTAN LAS PARTÍCULAS PEQUEÑAS A FORMAR CONGLOMERADOS LOS -  
CUALES SE COLECTAN JUNTO CON LAS DE MAYOR DIÁMETRO.

LA UTILIDAD QUE TIENE EL DATO DE LA CONCENTRACIÓN ÓP-  
TIMA ES LA DE PODER DETERMINAR CON ÉSTE EL VOLUMEN DE AIRE NE-  
CESARIO PARA TRANSPORTAR LOS SÓLIDOS, UNA VEZ QUE LA CAPACIDAD  
SE HA SELECCIONADO.

3°.- VOLUMEN DE AIRE QUE ENTRA AL CICLÓN.- UNA VEZ QUE LA CAPA-  
CIDAD SE HA FIJADO Y TENIENDO EN CUENTA LA CONCENTRACIÓN ADE--  
CUADA PARA EL SÓLIDO, SE PROCEDE A ENCONTRAR CON ÉSTOS DATOS -  
EL VOLUMEN DE AIRE Q, QUE SE DEBE INTRODUCIR AL CICLÓN O SISTE-  
MA DE CICLONES DIVIDIENDO EL GASTO EN MASA G GR/SEG, ENTRE CON-  
CENTRACIÓN C GR/LT O SÉA:  $Q = G/C$  LT/SEG. EL VOLUMEN DE AIRE -  
QUE SE DEBE INTRODUCIR A UN CICLÓN, ES UN FACTOR QUE INFLUYE -  
CONSIDERABLEMENTE EN LA CLASIFICACIÓN DE PARTÍCULAS, YA QUE CO-  
MO SE DIJO EN EL CAPÍTULO PRIMERO, LA COMPONENTE RADIAL DE LA  
VELOCIDAD QUE SE DIRIGE AL CENTRO DEL CICLÓN, ES DIRECTAMENTE  
PROPORCIONAL AL VOLUMEN DE AIRE E INVERSAMENTE PROPORCIONAL A  
LA ALTURA DE ESTE (ECUACIÓN 16), Y COMO QUEDÓ ESTABLECIDO ESA  
VELOCIDAD DEBE REDUCIRSE LO MÁX POSIBLE PARA AUMENTAR LA EFI--  
CIENCIA DE SEPARACIÓN (4). DESDE LUEGO QUE NO PUEDE LLEGAR A  
VALER CERO, POR QUE PARA QUE ÉSTO SUCEDA, SE NECESITA QUE LA -  
CANTIDAD DE AIRE QUE ENTRA SÉA NULA ( O CUAL NO TIENE SENTIDO )  
O QUE LA ALTURA DEL CICLÓN SÉA INFINITA, LO CUAL NO ES CONVE--

NIENTE ECONÓMICAMENTE. ESTA SITUACIÓN FUE COMPROBADA EXPERIMENTALMENTE EN LAS PRUEBAS REALIZADAS, YA QUE COMO PUEDE VERSE EN LOS RESULTADOS DE LA TABLA IV AL AUMENTAR EL VOLUMEN DE AIRE ALIMENTADO, LA EFICIENCIA DE SEPARACIÓN PARA PARTÍCULAS MUY FINAS DISMINUYE. DE LAS CONSIDERACIONES ANTERIORES SE DEDUCE QUE, PARA EL DISEÑO DE CLASIFICADORES CICLÓNICOS, SE DEBE CALCULAR EL VOLUMEN DE AIRE QUE DEBE ALIMENTARSE AL SEPARADOR DE TAL MANERA QUE SE LOGRE LA VELOCIDAD DESEADA.

4º.- VELOCIDAD DE ENTRADA DEL AIRE AL CICLÓN.- DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS EFECTUADAS CON EL CLASIFICADOR EXPERIMENTAL, SE PUEDE DEDUCIR QUE, A MEDIDA QUE AUMENTA LA VELOCIDAD A LA ENTRADA DEL CICLÓN, EL TAMAÑO DE PARTÍCULA COLECTADA ES MENOR, Y LA EFICIENCIA DE SEPARACIÓN AUMENTA HASTA UN PUNTO CRÍTICO QUE EN ESTAS PRUEBAS ES DE 15.8 M/SEG. (52 PIES/SEG.), QUE CORRESPONDE A LA VELOCIDAD DE ENTRADA DEL AIRE AL CICLÓN COLECTOR PARA LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA TERCERA PRUEBA DE LA TABLA III (VER FIGURA 4). DESPUÉS DE ÉSTE PUNTO, SI SE AUMENTA LA VELOCIDAD A LA ENTRADA DEL CICLÓN LA EFICIENCIA DISMINUYE (VER FIGURA 5) CORRESPONDIENTE A LA TABLA IV). ESTE FENÓMENO PUEDE EXPLICARSE EN LA FORMA SIGUIENTE: CUANDO SE AUMENTA LA VELOCIDAD DEL AIRE A LA ENTRADA DEL SEPARADOR, AUMENTA TAMBIÉN LA VELOCIDAD TANGENCIAL QUE ES LA QUE FAVORECE LA SEPARACIÓN. EN ESTAS CONDICIONES LA EFICIENCIA DE COLECCIÓN AUMENTA CON LA VELOCIDAD DE ENTRADA DEL AIRE HASTA LLEGAR A UN VALOR ÓPTIMO, Y DESPUÉS DECRECE DEBIDO A QUE LAS PARTÍCULAS QUE HAN SIDO SEPARADAS, ENTRAN NUEVAMENTE A LA CORRIENTE DE GAS COMO CONSECUENCIA DE UNA TURBULENCIA EXCESIVA. POR TANTO EN EL DISEÑO DE CICLONES, LA VELOCIDAD DEL AIRE A LA

ENTRADA DEBE SER LA QUE CORRESPONDA A LA MÁXIMA SEPARACIÓN Y NO DEBE SER MENOR DE 16 M/SEG (3).

5°.- DIÁMETRO DEL CICLÓN Y DIÁMETRO DEL DUCTO DE SALIDA.- HACIENDO UN ANÁLISIS DE LA ECUACIÓN 19 DEL PRIMER CAPÍTULO, QUE DA EL DIÁMETRO DE LAS PARTÍCULAS SEPARADAS EN UN CICLÓN, SE OBSERVA QUE ÉSTE ES DIRECTAMENTE PROPORCIONAL AL DIÁMETRO DEL DUCTO DE SALIDA, E INVERSAMENTE PROPORCIONAL AL DIÁMETRO DEL CICLÓN; PARA DETERMINAR CUAL DEBE SER LA RELACIÓN DE DIÁMETROS MÁS CONVENIENTE, SE TIENE QUE RECURRIR A EFECTUAR UN ANÁLISIS ECONÓMICO YA QUE A MEDIDA QUE EL DIÁMETRO DEL SEPARADOR AUMENTA, SU COSTO INICIAL DE CONSTRUCCIÓN ES MAYOR, AFECTANDO PROPORCIONALMENTE LOS GASTOS FIJOS EN EL COSTO DE OPERACIÓN DEL EQUIPO; POR OTRA PARTE, AL AUMENTAR EL DIÁMETRO DEL CICLÓN LA VELOCIDAD DEL AIRE EN SU INTERIOR DISMINUYE, Y POR CONSIGUIENTE LA PÉRDIDA DE PRESIÓN POR FRICCIÓN ES MENOR. EN ÉSTAS CIRCUNSTANCIAS, UN AUMENTO EN EL DIÁMETRO DEL CICLÓN DA ORIGEN A UNA DISMINUCIÓN EN LOS COSTOS DE OPERACIÓN OCASIONADOS POR LA PÉRDIDA DE PRESIÓN DURANTE EL MANEJO DEL AIRE.

EL COSTO TOTAL DE OPERACIÓN EN UN SEPARADOR CICLÓNICO, QUEDARÁ DETERMINADO POR LA SUMA DE LOS DOS COSTOS ANTES MENCIONADOS, CUYOS EFECTOS ECONÓMICOS TIENEN SENTIDOS OPUESTOS A MEDIDA QUE AUMENTA EL DIÁMETRO. EN ÉSTAS CONDICIONES, EL DIÁMETRO DEL CICLÓN SERÁ EL QUE CORRESPONDA AL COSTO TOTAL DE OPERACIÓN MÍNIMO.

6°.- ALTURA DEL SEPARADOR CICLÓNICO.- LA ALTURA MÁS CONVENIENTE PARA UN SEPARADOR CICLÓNICO DE CAPACIDAD DADA, SE DETERMINA SIMULTÁNEAMENTE CON EL DIÁMETRO DEL CICLÓN Y DEL DUCTO DE SALIDA DEL AIRE, DESPEJANDO SU VALOR DE LA ECUACIÓN 19 (SEGUNDO CA

PÍTULO), YA QUE ES EL ÚNICO FACTOR DESCONOCIDO EN LA FÓRMULA. LA FORMA DE PROCEDER A DETERMINAR LAS DIMENSIONES DEL SEPARADOR, ES MEDIANTE UN ANÁLISIS ECONÓMICO TAL COMO SE DESCRIBE EN PÁRRAFOS ANTERIORES.

7°.- DENSIDAD Y DIÁMETRO DE LA PARTÍCULA SÓLIDA.- DE ACUERDO CON LA ECUACIÓN 19, LAS DIMENSIONES EN EL DISEÑO DE UN CICLÓN ESTAN EN FUNCIÓN DEL TAMAÑO Y DENSIDAD DE LA PARTÍCULA SÓLIDA, PERO POR LO GENERAL ÉSTOS SON DATOS CONOCIDOS YA QUE SIEMPRE SE ESPECIFICA EL MATERIAL Y EL TAMAÑO DE PARTÍCULA QUE SE DESEA SEPARAR. PARA EL CASO PARTICULAR DE LA SEPARACIÓN DE CAOLINES SU DENSIDAD MEDIA SE PUEDE CONSIDERAR CONSTANTE E IGUAL A 2.65 GRAMOS POR CENTÍMETRO CÚBICO, Y EN ESTAS CONDICIONES EL PRIMER TÉRMINO DE LA IZQUIERDA ( $V_0$ ) EN LA ECUACIÓN MENCIONADA ES UN FACTOR CONOCIDO.

VII

BIBLIOGRAFIA

## REFERENCIAS.

- 1.- TAGGART, A. F.:  
HANDBOOK OF MINERAL DRESSING: ORES AND INDUSTRIAL MINERALS, 4TH. PRINTING, 902-907, (1950), NEW YORK, JOHN WILEY AND SONS, INC.
- 2.- CROFT, H.O.:  
THERMODYNAMICS FLUID FLOW AND HEAT TRANSMISSION, 1ST. EDITION, 244-45, 261-65, (1938) NEW YORK, Mc GRAW-HILL BOOK COMPANY INC.
- 3.- PERRY, J.H.:  
CHEMICAL ENGINEER'S HANDBOOK, 3 TH. EDITION, 1018-28, 1111-13, (1950), NEW YORK. Mc GRAW-HILL BOOK COMPANY INC.
- 4.- COULSON, J.M. Y RICHARDSON, J.F.:  
CHEMICAL ENGINEERING, VOL. 2, 550, 551, 552, (1955), NEW YORK, Mc GRAW-HILL BOOK COMPANY INC.
- 5.- INSLEY, H. Y FRÉCHETTE, V.D.:  
MICROSCOPY OF CERAMICS AND CEMENTS, ACADEMIC PRESS INC. PUBLISHERS, 47-51, (1955), NEW YORK.
- 6.- CHAMOT, M. E. Y MASON, C. W.:  
HANDBOOK OF CHEMICAL MICROSCOPY 2TH. EDITION, VOL. 1, 408-26, (1954), NEW YORK. JOHN WILEY AND SONS, INC.
- 7.- DENVER EQUIPMENT COMPANY  
FEDERAL CLASSIFIER SYSTEMS, INC.  
BULLETIN Nº 30, 1 Y 2, CHICAGO 2, ILL.
- 8.- CASAGRANDE, A.:  
HYDROMETER METHOD FOR DETERMINATION OF FINENESS DISTRIBUTION OF SOILS, BY JULIUS SPINGER SPRECHALCOBURG. NR. 27, 422-427, BERLIN ALEMANIA (1934).
- 9.- BOUYOUCOS, G. B.:  
HYDROMETER METHOD IN THE STUDY OF SOILS, SOIL SCI. 25, 365, (1928).
- 10.- KRUMBEIN, W. C. Y PETTIJOHN, F. J.:  
MANUAL OF SEDIMENTARY PETROGRAPHY. THE CENTURY EARTH SCIENCE SERIES. D. APPLETON CENTURY CROFT INC. NEW YORK (1938).

- 11.- RAYMOND  
MECHANICAL AIR SEPARATORS.  
CATALOG 58, COPYRIGHT 1946, 3-15, CHICAGO ILL.
- 12.- KIRK, R. E. Y OTHMER, D. F.:  
ENCYCLOPEDIA OF CHEMICAL TECHNOLOGY  
VOL. 4, 33-86, COPYRIGHT (1949)  
THE INTERSCIENCE ENCYCLOPEDIA INC.

## BIBLIOGRAPHY.

SHAW, G. B., AND ASSOCIATES.:  
UNIT OPERATIONS. 1ST. EDITION, (1950),  
JOHN WILEY AND SONS.

SHAW, G. B. & Mc CASE, R. L.  
TEXTBOOK OF CHEMICAL ENGINEERING,  
2ND. EDITION, (1950), Mc GRAW-HILL BOOK COMPANY INC.

SHAW, T. M.:  
FACTORY DESIGN AND EQUIPMENT, AND MANUFACTURE OF CLAY WARES.  
2ND. EDITION, (1950), HILLSVILLE N. Y.  
RASCAL PUBLISHING CO.

SHAW, T. M.:  
CHEMICAL TESTS AND CALCULATIONS  
2ND. EDITION, (1950), NEW YORK.  
JOHN WILEY AND SONS INC.

SHAW, T. M. & ROBERTSON, J. S.:  
MODERN ASPECTS OF INORGANIC CHEMISTRY.  
12TH. EDITION, (1954), NEW YORK,  
D. VAN NOSTRAND COMPANY, INC.

SHAW, T. M.:  
RECIPIES INDUSTRIAL CHEMISTRY  
VOL. 1, 2ND. EDITION (1948), NEW YORK.  
D. VAN NOSTRAND COMPANY, INC.

SHAW, T. M.:  
INSTRUMENTS FOR MEASUREMENT AND CONTROL.  
CORRECTION 1950, NEW YORK  
RASCAL PUBLISHING CORPORATION.

SHAW, T. M.:  
PRINCIPLES OF MINERAL DRESSING  
Mc GRAW-HILL BOOK COMPANY INC., NEW YORK, 1939.

SHAW, T. M. & ROBERTSON, J. S.:  
IND. ENG. CHEM., 32, 605, (1940).

SMITH, C. J.:  
CHEM. ENG. 59, (4), 140, (1952).  
IND. ENG. CHEM. (1939) 31, p. 972.

POWER PLANT ENG. 47, 92 (DECEMBER 1943).  
IND. ENG. CHEM. 32, 1246 (1940).

RIES, H.:  
CLAYS, THEIR OCCURRENCE, PROPERTIES AND USES.  
JOHN WILEY AND SONS, INC. N. Y. (1927).

KAOLIN CLAYS AND THEIR INDUSTRIAL USES.  
J. M. HUBER CORP., N. Y. (1949).