

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES



ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO
HIDRODINAMICO DE UNA COLUMNA DE
EXTRACCION LIQUIDO-LIQUIDO DE
DISCOS ROTATORIOS

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OPTAR AL GRADO ACADEMICO DE
MAESTRIA EN: CIENCIAS

ESPECIALIDAD: INGENIERIA QUIMICA

POR

JUAN MANUEL BARREDA FRAGA

MONTERREY, N. L.

OCTUBRE DE 1983

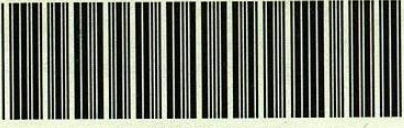
TM

Z5521

FCQ

1983

B3



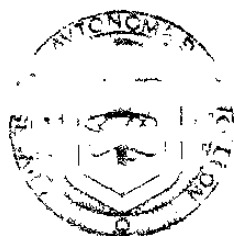
1020066873

**INVENTARIADO
AUDITORIA
U. A. N. L.**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES



ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO
HIDRODINÁMICO DE UNA COLUMNA DE
EXTRACCIÓN LÍQUIDO-LÍQUIDO DE
DISCOS ROTATORIOS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRIA EN: CIENCIAS
ESPECIALIDAD: INGENIERIA QUÍMICA
POR,
JUAN MANUEL BARREDA FRAGA

MONTERREY, N. L.

OCTUBRE DE 1983

TH
25521
FC @
1983
B3



153130

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES

SR. COORDINADOR DE LA MAESTRIA EN INGENIERIA QUIMICA
LA TESIS ELABORADA POR EL

ING. QUIMICO JUAN MANUEL BARREDA FRAGA

INTITULADA


ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDRODINAMICO DE UNA COLUMNA DE EX-
TRACCION LIQUIDO - LIQUIDO DE DISCOS ROTATORIOS


HA SIDO ACEPTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL GRADO
ACADEMICO DE

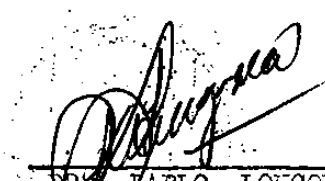
MAESTRO EN CIENCIAS
ESPECIALIDAD INGENIERIA QUIMICA

EN VIRTUD DE HABER CUMPLIDO INTEGRAMENTE CON EL RECLAMAMIENTO DE
TESIS VIGENTE Y A LA VEZ SOLICITAMOS A UD. LA APROBACION FINAL

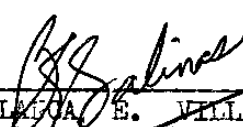
COMITE DICTAMINADOR DE LA TESIS


DR. HECTOR GUTIERREZ D.
ASESOR


DR. RODOLFO SALINAS H.
SINODAL


DR. PABLO LONGORIA.
SINODAL

Vo. Bo.


N. C. BLANCA E. VILLARREAL DE SALINAS
Coordinadora del Area de las
Maestrias en Ciencias

AGRADECIMIENTOS :

I .

El Autor aprovecha la oportunidad para hacer patente su más profundo reconocimiento a las personas e Instituciones que hicieron posible llevar a cabo este Proyecto de Investigación :

- A la U. A. N. L. por el patrocinio económico a través del Proyecto Modelamiento y Simulación de un Sistema de Extracción Líquido - Líquido , aprobado por la Dirección General de la Investigación Científica.
- A la Admon. de la Fac. de C. Químicas y a la Admon del Centro de Investigaciones en Química , ambos de la U. A. N. L. por las facilidades obtenidas en el desarrollo de este proyecto de investigación.
- Al CONACYT , por el apoyo económico recibido en el transcurso de esta investigación.
- Al Depto. de Ingeniería Química de la Facultad de C. Químicas de la U. A. N. L. , especialmente al Dr. Héctor Gutiérrez Durán , por la oportunidad de poder participar en el desarrollo de este proyecto de investigación.
- A todas las personas involucradas en el desarrollo de las diversas etapas de esta investigación , sin cuyos consejos útiles , y palabras de aliento , hubiera sido difícil llevar a feliz término nuestros objetivos.

Quien insiste en ver con perfecta claridad antes de tomar
una decisión , nunca decide.

Henri Frédéric Amiel.

A Consuelo
y nuestros hijos Patricia Isabel y Jorge Luis.

CONTENIDO.

CAPITULO 1.- Resumen.

CAPITULO 2.- Revisión de la literatura.

2.1.- Introducción.

2.2.- Velocidad Terminal.

2.3.- Velocidad Característica

2.4.- Retromezclado y Coalescencia

2.5.- Tamaño de Gotas.

2.5.1.- Formación de Gotas.

2.5.2.- Gotas en Columnas de Extracción
Líquido - Líquido de Discos Ro-
tatorios.

2.5.2.1.- Factores que influyen
el tamaño de las gotas
dentro de las condicioo
nes de operación.

1.- Rotación.

2.- Efecto de los flujos

CAPITULO 3.- Equipo.

3.1.- Selección de la Columna de Extracción.

3.2.- Diseño Químico de la Columna.

3.3.- Descripción de la instalación y equipo
periférico.

CAPITULO 4.- Experimentación.

4.1.- Objetivos Experimentales.

4.2.- Calibración de los medidores de Flujo.

4.3.- Procedimiento Experimental.

4.3.1.- Preparación de la Columna.

4.3.2.- Operación de la Columna.

4.3.3.- Medición del Tamaño de Gotas.

4.3.4.- Medición de la Fracción Retenida
de la Fase Dispersa.

4.4.- Resultados Experimentales.

4.4.1.- Tamaño de Gotas.

4.4.2.- Fracción Retenida de Fase Dispersa.

CAPITULO 5.- Análisis de Datos Experimentales.

5.1.- Tamaño de Gotas.

5.2.- Fracción Retenida de la Fase Dispersa.

5.2.1.- Comparación de Datos Experimentales
contra valores esperados.

5.2.1.1.- Modelo de Logsdail, et al

5.2.1.2.- Modelo de Kung y Beckmann

5.2.1.3.- Modelo de Kannappan.

a).- Influencia de la velocidad de
la rotación.

b).- Influencia de la velocidad de
la Fase Dispersa.

c).- Influencia de la velocidad de
la Fase Continua.

VI

5.2.1.4.- Modelo de Misesk.

a).- Influencia de la velocidad de la rotación.

b).- Influencia de la velocidad de la Fase Dispersa.

c).- Influencia de la velocidad de la Fase Continua.

5.3.- Análisis de la Información Experimental.

5.4.- Modelo propuesto sobre la Fracción Retenida de la Fase Dispersa.

5.5.- Proceso recomendado para el uso del Modelo propuesto.

5.6.- Verificación del Modelo propuesto contra valores experimentales.

CAPITULO 6.- Conclusiones, recomendaciones y trabajos experimentales sugeridos.

6.1.- Conclusiones.

6.1.1.- Tamaño de C. as.

a).- Efecto de la Rotación.

b).- Efecto del flujo de la Fase Dispersa.

c).- Efecto del flujo de la Fase Continua.

6.1.2.- Fracción Retenida de la Fase Dispersa.

a).- Influencia de la rotación.

VII

b).-Influencia del flujo de la Fase Dispersa.

c).-Influencia del flujo de la Fase Continua.

d).-Modelo de Misek.

a).- Influencia de la rotación.

b).- Influencia del Flujo de la Fase Dispersa.

c).- Influencia del flujo de la Fase Continua.

6.2.- Trabajos Experimentales sugeridos.

6.3.- Recomendaciones adicionales.

Nomenclatura.

Bibliografía.

Apéndice.

LISTA DE FIGURAS.

- Fig. 2.1.- Correlación para obtener la Velocidad Terminal ,
de acuerdo con Hu - Kintner y Misek.
- Fig. 2.2.- Correlación para evaluar α , definida según
Ecuación (2.11)
- Fig. 3.1.- Clasificación de Equipo de Extracción Líquido-Lí-
quido.
- Fig. 3.2.- Vista general de la instalación.
- Fig. 3.3.- Diagrama de Flujo de la instalación.
- Fig. 3.4.- Diagrama esquemático de la Columna.
- Fig. 3.5.- Diagrama esquemático del fondo de la Columna.
- Fig. 3.6.- Diagrama esquemático de la parte central de la
Columna.
- Fig. 3.7.- Diagrama esquemático de la parte superior de la
Columna.
- Fig. 4.1.- Curva de Calibración. Medición del flujo de Tolueno.
- Fig. 4.2.- Curva de Calibración. Medición del flujo de Agua.
- Fig. 4.3.- Fotografía típica donde se muestra la Fase Dispersa.
- Fig. 5.1.- Efecto de la Velocidad de la Rotación sobre el Tama-
ño de las Gotas.
- Fig. 5.2.- Igual que Fig. 5.1.
- Fig. 5.3.- Efecto de la Velocidad de la Fase Continua sobre
el tamaño de las Gotas.

Fig. 5.4.- Igual que Fig. 5.3.

Fig. 5.5.- Efecto de la Velocidad de la Fase Dispersa sobre el Tamaño de las Gotas.

Fig. 5.6.- Igual que Fig. 5.5.

Fig. 5.7.- Influencia experimental y teórica de la Velocidad de la Rotación sobre la Fracción Retenida de la Fase Dispersa.

Fig. 5.8.- Igual que Fig. 5.7.

Fig. 5.9.- Igual que Fig. 5.7.

Fig. 5.10.- Igual que Fig. 5.7.

Fig. 5.11.- Influencia de la Velocidad de la Fase Continua sobre la Fracción Retenida de la Fase Dispersa.

Fig. 5.12.- Igual que Fig. 5.11.

Fig. 5.13.- Igual que Fig. 5.11.

Fig. 5.14.- Igual que Fig. 5.11.

Fig. 5.15.- Influencia de la Velocidad de la Fase Dispersa sobre la Fracción Retenida de la Fase Dispersa.

Fig. 5.16.- Igual que Fig. 5.15.

Fig. 5.17.- Igual que Fig. 5.15.

Fig. 5.18.- Igual que Fig. 5.15.

Fig. 5.19.- Influencia Experimental de la Velocidad de la Rotación , sobre la Fracción Retenida de la Fase Disp. para diferentes valores constantes de la Velocidad de la Fase Continua.

Fig. 5.20.- Igual que Fig. 5.19.

- Fig. 5.21.- Influencia Experimental de la Velocidad de la Fase Continua sobre la Fracción Retenida de la Fase Dispersa , para diferentes Valores constantes de la Velocidad de la Fase Dispersa.
- Fig. 5.22.- Igual que Fig. 5.21.
- Fig. 5.23.- Influencia Experimental de la Velocidad de la Fase Dispersa , sobre la Fracción Retenida de la Fase Dispersa , para diferentes valores constantes de la Velocidad de la Fase Continua.
- Fig. 5.24.- Igual que Fig. 5.23.
- Fig. 5.25.- Evaluación de la Constante a/b , definida según Ecuación (5.22)
- Fig. 5.26.- Evaluación de la Constante c/d , definida según Ecuación (5.22)
- Fig. 5.27.- Evaluación de la Constante e/f , definida según Ecuación (5.22)
- Fig. 5.28.- Evaluación de la Constante bdf , def. sg. Ecuación (5.22).
- Fig. 5.29.- Igual que Fig. 5.28.
- Fig. 5.30.- Igual que Fig. 5.28.

LISTA DE TABLAS.

Tabla 4.1.- Tamaños de Gotas.

Tabla 4.2.- Datos Experimentales sobre la Fracción Retenida
de Fase Dispersa.

Tabla 5.1.- Comparación de valores de la Fracción Retenida
de la Fase Dispersa Experimentales y según Mode-
lo propuesto en la Sección 5.4.

CAPITULO 1. RESUMEN

Observaciones experimentales fuerón hechas sobre el comportamiento Hidrodinámico , en ausencia de Transferencia de Masa , de una Columna de Extracción Líquido - Líquido de discos rotatorios de 8.9 cm de diámetro y 2.02 mts. de largo. Para tal efecto se diseño y construyó dicha columna. También se procedió a comparar los valores experimentales contra valores esperados , establecidos por Modelos que toman en cuenta el Tamaño de Gotas , como contra Modelos que no lo requieren.

Así mismo se procedió a generar información experimental sobre tamaño de gotas con el objeto de utilizarla en el Modelo de -
Misek sobre el comportamiento Hidrodinámico.

Desgraciadamente en las corridas experimentales sobre la determinación de la Fracción Retenida de la Fase Dispersa no fué fotografiada la columna con el propósito de conocer el tamaño de las Gotas , sino que la obtención de información sobre tamaño de gotas surgió como una necesidad en el análisis de -
la información disponible sobre la Fracción Retenida de la --
Fase Dispersa.

El distribuidor de la Fase Dispersa fué un dispositivo , rodeado por la Fase Continua , construido de bronce , el cual -
consta de 2 hileras de 5 agujeros , cada uno de 1.5 mm de Dia.

En el Análisis de los Datos Experimentales se observa que - estos presentan las mismas tendencias que los valores esperados , con la excepción de que los valores experimentales son mayores que los establecidos por los Modelos usados.

Como resultado del análisis de la información experimental - se presenta una correlación que representa satisfactoriamente los valores observados de la Fracción Retenida de la Fase Dispersa (Hold - up) , en función de los Flujos de la Fase Dispersa y Fase Continua , así como de la Velocidad de Rotación de los Discos.

El volumen Activo de la Columna es de 9.140 Lts.

El sistema químico usado fué Agua como Fase Continua y Tolueno como Fase Dispersa.

El valor máximo de la Rotación fué 500 R.P.M. . Las velocidades minimas fuerón 0.14 cm/seg para la Fase Continua y 0.010 cm/seg para la Fase Dispersa y las velocidades máximas de 0.0845 cm/seg para la Fase Continua y para la Fase Dispersa la máxima velocidad que se pudo determinar es de 0.0477 cm / seg (90 % de la lectura del Rotámetro).

CAPITULO 2. REVISION DE LA LITERATURA.

2.1.- INTRODUCCION.

(1)

Reman fué quien concibió la Columna de Extracción - Líquido - Líquido de Discos Rotatorios. Posteriormente se han realizado investigaciones sobre su comportamiento Hidrodinámico (2 - 12) con el propósito de correlacionar la Geometría de la Columna , propiedades físicas de los líquidos involucrados y condiciones de operación. La caracterización Hidrodinámica de un equipo de proceso es de importancia fundamental , ya que se determina su capacidad , a la vez que su Eficiencia , y la forma cómo es afectada. La capacidad de una Columna de Extracción - Líquido - Líquido esta determinada por su volumen , además de la rapidez con que las fases pueden desplazarse a contracorriente a través de ella. La Velocidad con la que gotas de la Fase Líquida Dispersa fluye a contracorriente a través de la Fase Continua es necesario determinarla para estimar la capacidad de una columna existente , ó para especificar dimensiones de una Columna requerida para lograr una separación deseada.

La Fracción Retenida de la Fase Dispersa ha sido estudiada por varios autores. (4,5,6,8,10,11,15,23,24)

2.2.- Velocidad Terminal.

La Velocidad con la cual gotas de un líquido pasan a través de un segundo líquido insoluble con el primero, esto es su Velocidad Terminal, ha sido analizada por varios autores. Una gráfica generalizada ha sido obtenida (13) por Hu y Kintner, la cual aplicada a gotas de Tolueno en Agua se obtiene la siguiente gráfica :

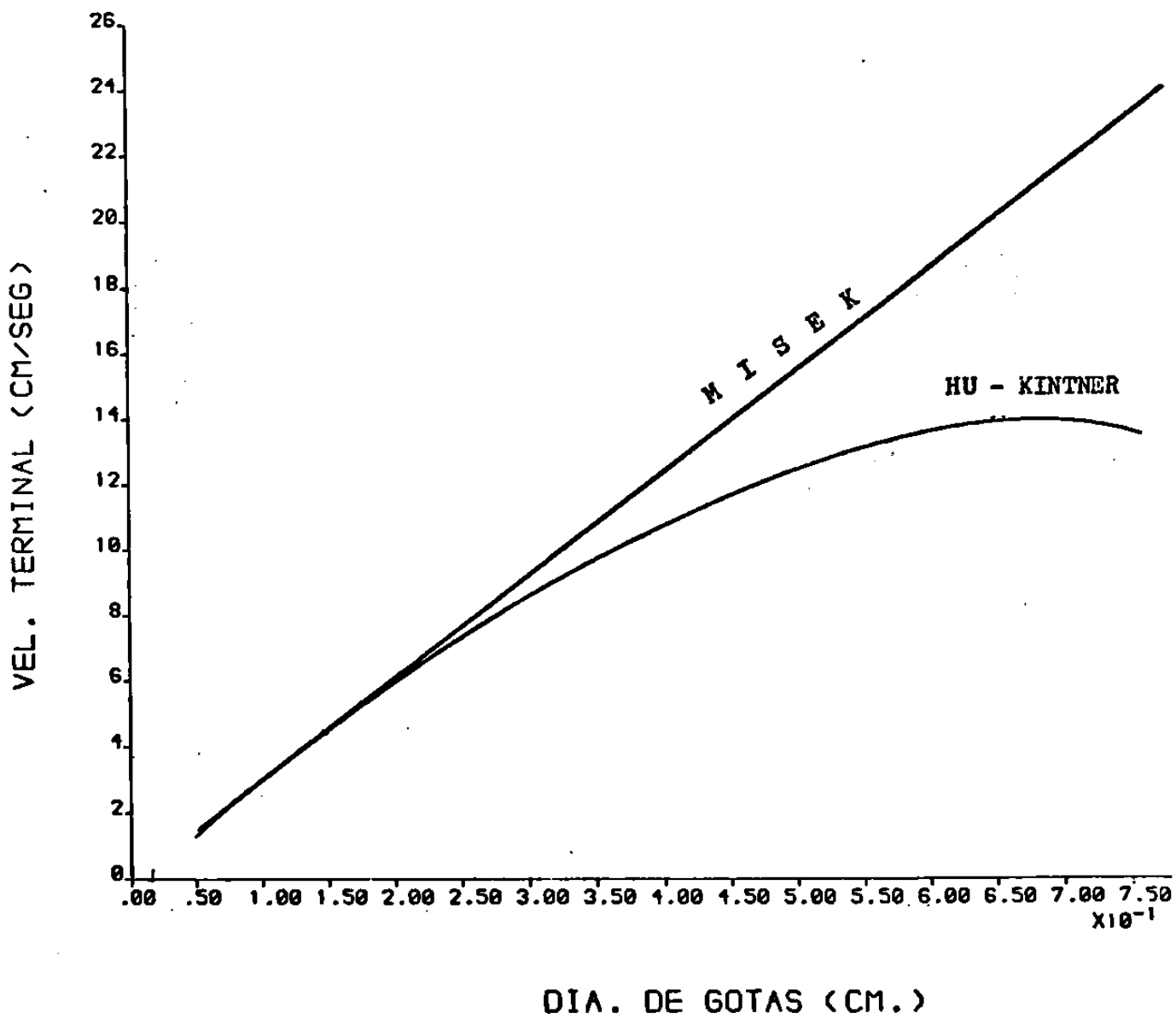


FIGURA 2.1

Cuando un conjunto de Gotas , cada una de diferente tamaño , fluye a contracorriente a través de un camino sinuoso , formado por las partes internas de la columna, no puede predecirse de que manera se comporta ésta y la forma cómo influye en su comportamiento Hidrodinámico. La situación se complica más aún debido a la influencia de la Distribución del tamaño de las Gotas , el rompimiento de gotas con formación de otras , así como la coalescencia de la Fase Dispersa.

2.3.- Velocidad Característica.

Considerando que el volumen activo , esto es el volumen de la Columna en el cual las fases líquidas están en contacto , es ocupado por una fracción de la Fase Dispersa , X , y por una fracción de Fase Continua , $1 - X$ entonces la velocidad de Deslizamiento de las 2 fases esta dado por :

$$\frac{v_d}{X} + \frac{v_c}{1 - X} = v_R \quad \text{--- (2.1)}$$

Donde :

X = Fracción ocupada por la Fase Dispersa.

v = Velocidad Superficial.

c : de la fase continua

d : de la fase dispersa.

v_R = Velocidad media de las 2 fases.

La velocidad de deslizamiento, v_R , a bajos flujos puede aproximarse a la velocidad terminal de gotas individuales (14)

Logsdail, et al (5) propone que la Velocidad Característica, definida por

$$\frac{v_D}{X} + \frac{v_C}{1-X} = v_K (1-X) \quad (2.2)$$

puede correlacionarse con las propiedades físicas de los líquidos involucrados, geometría de Columna y condiciones de operación de la siguiente manera :

$$\frac{v_K}{\sqrt{\mu_c}} = 0.012 \left(\frac{\Delta \rho}{\rho_c} \right)^{0.9} \left(\frac{g}{d_R N^2} \right) \dots$$

$$\dots \left(\frac{d_S}{d_R} \right)^{2.3} \left(\frac{z_c}{d_R} \right)^{0.9} \left(\frac{d_R}{d_T} \right)^{2.7}$$

----- (2.3)

(4) Kung y Beckmann establecen que la Ecuación de Logsdail, et al, debe ser modificada, proponiendo las siguientes ecuaciones :

$$\frac{v_d}{X} + k \frac{v_c}{1-X} = \frac{v}{K} (1-X) \quad \text{--- (2.4)}$$

Donde :

$$k = \begin{cases} 2.1 & \text{cuando } \frac{d_S - d_R}{d_T} < \frac{1}{24} \\ 1.0 & \text{cuando } \frac{d_S - d_R}{d_T} > \frac{1}{24} \end{cases}$$

----- (2.5)

$$\frac{v_k \mu_c}{\gamma} = c \left(\frac{\Delta p}{\rho_c} \right)^{0.9} \left(\frac{g}{d_R N^2} \right) \left(\frac{d_S}{d_R} \right)^{2.3}$$

$$\text{---} \left(\frac{z_c}{d_R} \right)^{0.9} \left(\frac{d_R}{d_T} \right)^{2.6} \text{---} \quad \text{--- (2.6)}$$

Donde :

$$C = \begin{cases} 0.0225 & \text{cuando } \frac{d_S - d_R}{d_T} \leq \frac{1}{24} \\ 0.012 & \text{cuando } \frac{d_S - d_R}{d_T} > \frac{1}{24} \end{cases}$$

----- (2.7)

(15)

Kannappan del análisis del comportamiento Hidrodinámico de columnas de discos rotatorios usadas por Logsdail , et al (5) , Kung y Beckmann (4) , así como datos experimentales propios propone la siguiente ecuación para la estimación de la Velocidad Característica :

$$v_k$$

$$\left(\frac{\gamma \Delta \rho g}{\rho_c^2} \right)^{1/4} \left[\left(\frac{Z}{d_R} \right)^{0.9} \left(\frac{d_S}{d_R} \right)^{2.1} \left(\frac{d_R}{d_T} \right)^{2.4} \right]$$

$$= c \left[\left(\frac{g}{d_R N^2} \right) \left(\frac{\gamma^3 \rho_c}{\mu_c^4 g} \right)^{1/4} \left(\frac{\Delta \rho}{\rho_c} \right)^{3/5} \right]^n$$

----- (2.8)

donde :

$$c = \begin{cases} 1.08, n = 0.08 & \text{cuando } N < N_{cr} \\ 0.01, n = 1 & \text{cuando } N > N_{cr} \end{cases}$$

donde :

N_{cr} = Velocidad Crítica del rotor definida por

Kannappan por medio de la siguiente Ec'n :

$$\left(\frac{g}{d N_{cr}^2} \right) \left(\frac{\gamma^3 \rho_c}{\mu_c^4 g} \right)^{1/4} \left(\frac{\Delta p}{\rho_c} \right)^{3/5} = 180 \quad (2.10)$$

2.4.- Retromezclado y Coalescencia.

Los Modelos establecidos por Logsdail , et al , Kung y Beckmann , así como por Kannappan no toman en cuenta el tamaño de las gotas , ni las consecuencias que de -
(6)
ello se deriva. Probablemente Misek es el primero en tomar en cuenta éste hecho , introduciendo un factor de corrección a la velocidad característica debido a la dinámica de las gotas en su paso a través de la columna proponiendo la siguiente ecuación :

$$\frac{v_d}{x} + \frac{v_c}{1-x} = v_k (1-x) e^{\left(\frac{z}{\alpha} - 4.1\right) x}$$

----- (2.11)

donde :

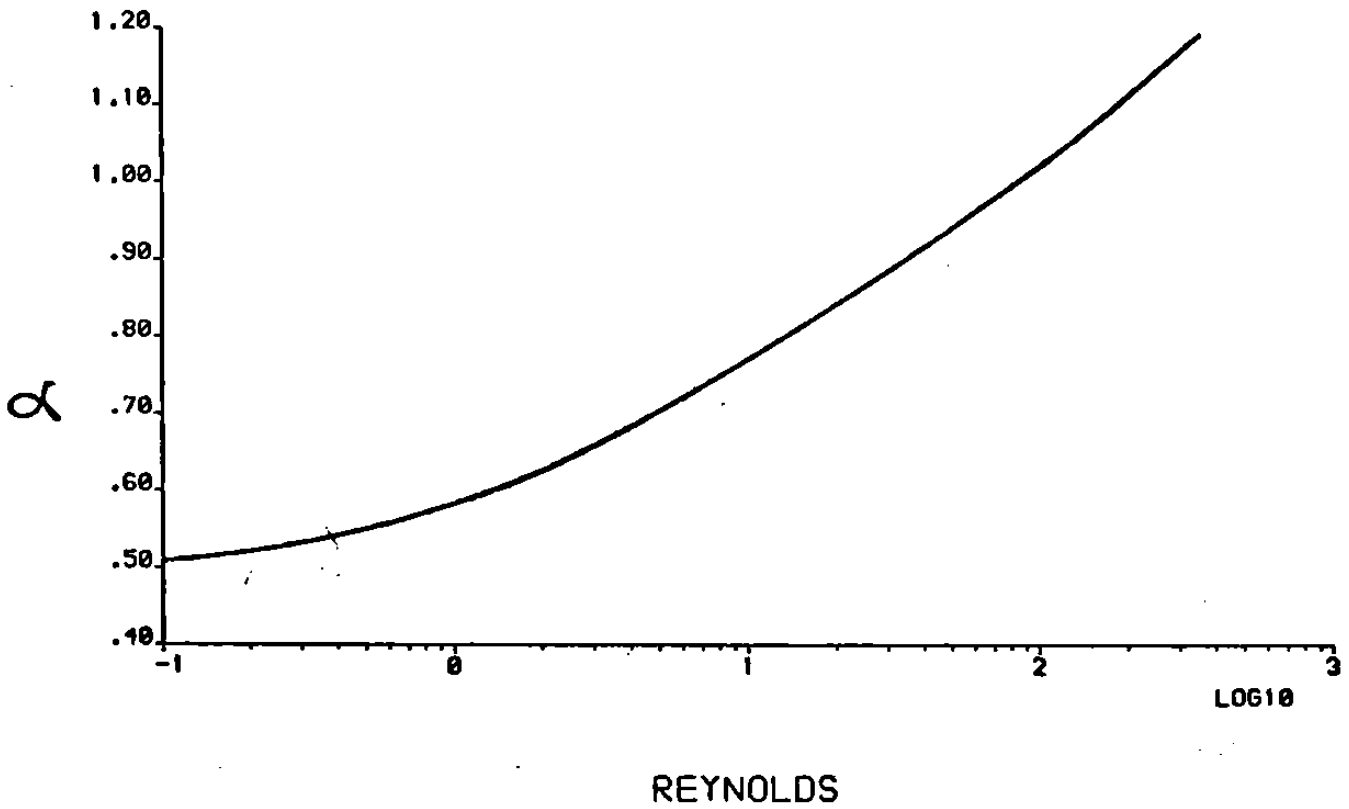
Z = Factor de corrección por coalescencia.

$$= 1.59 \times 10^{-2} \left(\left(\frac{d_T \rho_c}{\mu_c} \right) \left(\frac{\gamma}{d \rho_c} \right)^{1/2} \right)^{1/2}$$

----- (2.12)

α = Factor de corrección debido al retromezclado

En la siguiente grafica , figura 2.2 , se reproduce la correlación propuesta por Misek para la evaluación de α

GRAFICA DE MISEKFIGURA 2.2

2.5.- Tamaño de gotas.

El estudio del mecanismo de formación de gotas , así como su comportamiento dentro de otro es de importancia fundamental en el proceso de Extracción Líquido-Líquido ya que generalmente una fase es dispersada en gotas a través de otra. El conocimiento de su comportamiento - deberá proveer información básica necesaria en el diseño de equipo , ya que el tamaño de gotas influye por un lado sobre la velocidad de Transferencia de Masa , que se traduce en Eficiencia de Separación y , por otro lado, sobre la Velocidad Terminal de la Fase Dispersa a través de la Fase Continua , que se traduce en capacidad de la Columna. El aspecto Hidrodinámico de las gotas es complejo.

Varios autores han investigado los factores que influyen sobre las gotas , desde su formación hasta su comportamiento dentro del equipo. Los factores se pueden clasificar en 3 grupos generales :

- i).- Propiedades físicas de las Fases líquidas.
- ii).- Geometría del Equipo , y
- iii).- Condiciones de operación.

2.5.1.- Formación de gotas.

En la literatura se encuentran investigaciones sobre formación de gotas que ocurre cuando se hace pasar un líquido a través de una espuma que se encuentra sumergida dentro de otro parcial, ~~no~~ totalmente, inmiscible con el primero.

(20)

Treybal reporta que un líquido es dispersado en gotas dentro de otro al pasar por una tobera. Si la Fase Dispersa moja preferentemente el material de que esta hecho la tobera se forman gotas incontrolablemente grandes. Por el contrario, cuando la Fase Continua rodea preferentemente a la tobera el tamaño de las gotas es bastante bien definido. A altas velocidades (0.3 ft/seg) del chorro que emerge del orificio de las toberas se forman gotas grandes de tamaño no uniforme.

(21)

Así encontramos que Garner usando los sistemas Isobutil Cetona - Ac. Adípico - Agua e Isobutil Cetona - Ac. Adípico en una columna de 4 Pulgadas de diámetro de platos perforados observó que cuando los platos fuerón de metal era mejor la eficiencia de contacto que cuando fuerón de teflón.

(22)

Fleming y Jhonson observó que es más deseable extraer de la Fase Continua a la Fase Dispersa que en sentido contrario. Reportan que la Fase Continua debe mojar preferentemente el Distribuidor de la Fase Dispersa.

2.5.2.- Gotas en Columnas de Extracción Líquido - Líquido de Discos Rotatorios.

El Comportamiento Hidrodinámico de Columnas de Extracción de Discos Rotatorios ha sido estudiado por varios autores , dentro de los cuales destacan Logsdail (5) , Misek (6) , Strand , et al (8) , Kung y Beckmann (4) , Kannappan (15) y más recientemente Chartres (11) y Cruz Pinto (10) .

Logsdail encontró que el tamaño medio de las gotas es función exclusiva de la geometría de la columna y de la velocidad del rotor e independientemente de los flujos. Observaron , además , que el tamaño de las gotas permanece constante a flujos mayores que los correspondientes a cuando se alcanza el inundamiento para cualquier Geometría de columna y velocidad del rotor.

2.5.2.1.- Factores que influyen el tamaño de las gotas dentro de las condiciones de operación.

1.- Rotación.

Logsdail observó que al aumentar la rotación obtenía mayor eficiencia, la cual es desfavorecida una vez sobrepasado cierto valor de la rotación.

Strand y Kannappan atribuyen el efecto de la disminución de la Eficiencia a que a mayor agitación menor tamaño de gotas, incrementándose el area interfacial, llegando a un tamaño tal que, sobrepasado tiene influencia el Mezclado Axial y la Coalescencia de las Gotas.

(17)

Hinze sugiere que el mecanismo por el cual una Fase se dispersa en otra en un campo hidrodinámico dado puede entenderse en base a una disipación de energía.

(8)

Strand, en base a esta sugerencia, propone una expresión para estimar el tamaño máximo de la gotas tomando en cuenta las propiedades físicas de ambas fases, geometría de la columna, así como la energía disipada por unidad de volu-

men. Así mismo recomienda que el tamaño medio de las gotas es 70 % del tamaño máximo estimado.

2.- Efecto de los Flujos.

(6) (23)
 Misek y Olney reportaron -
 que el tamaño de las gotas varia con -
 los flujos. Olney asocia el incremento
 en el flujo de la Fase Dispersa a la re
ducción de la distancia entre gotas con
 lo que se favorece la interacción entre
 ellas.

Cruz Pinto observó que al formarse las gotas en un chorro , que emerge de una esprea , pequeñas disminuciones se obtienen al aumentar el flujo . Con otros mecanismos de formación de gotas obser
vó que a mayores flujos , mayores tamaños de gotas. Conforme disminuye el tamaño de las gotas una evidencia experimental es que aumenta la Fracción Rete
nida de la Fase Dispersa dentro de la -
 Columna. Cruz Pinto no hace referencia del efecto de las Coalescencia de las -
 gotas formadas en la esprea.

(24)

Al - Husseini estudió el efecto de la velocidad de la Fase Dispersa , usando 2 distribuidores en una columna de 12 Pulgadas de diámetro , sobre el tamaño de las gotas. El efecto de la velocidad de flujo de la Fase Dispersa no fué significativo. Al incrementarse el Flujo de la Fase Continua no apreció cambios significativos en el tamaño medio de las gotas , ni en la Distribución de sus tamaños.

Logsdail , et al y Cruz Pinto mostraron que cuando se incrementa el Flujo de la Fase Continua aumenta la Fracción Retenida de la Fase Dispersa.

Kung y Beckmann observaron que la Fracción Retenida de la Fase Dispersa aumenta linealmente con incrementos de flujos de la Fase Dispersa hasta que se alcanza el punto de inundamiento.

CAPITULO 3. EQUIPO.**3.1.- Selección de la Columna de Extracción.**

Como un resultado de la expansión de los procesos de extracción con solventes , el número y variedad de los equipos usados para tal propósito es considerable , yendo desde lo más simple , recipiente agitado , a lo más moderno , como son los extractores centrífugos de alta eficiencia. Sin embargo la mayoría del equipo usado en extracción líquido - líquido puede dividirse en 2 categorías : Equipo de contacto continuo y equipo de contacto directo. En la página siguiente , Figura 3.1 , se muestra una clasificación típica de equipo de extracción líquido - líquido

(25)

EQUIPO DE EXTRACCION LIQUIDO - LIQUIDO.

a).- Por contacto continuo.

1.- Accionados por la gravedad.

Columnas de Espreado y Colmunas Empacadas.

2.- Agitadas por pulsos.

Columna empacada pulsante.

3.- Agitadas mecánicamente.

Columnas de discos rotatorios y Oldshue-Rushton.

4.- Centrífugas.

b).- Por Contacto discreto.

1.- Accionadas por la gravedad.

Columna de Platos.

2.- Agitadas por pulsos.

Columnas de Platos perforados.

3.- Agitadas mecánicamente.

Columnas de Scheibel , Columna de Treybal.

FIGURA 3.1 CLASIFICACION DE EQUIPO DE
EXTRACCION LIQUIDO - LIQUIDO.

En el equipo de contacto continuo el flujo a contracorriente es debido a la diferencia de densidades entre los líquidos en contacto. El líquido más denso es introducido a la columna por la parte superior, mientras que el líquido más ligero por la parte inferior, induciéndose de esta manera, el flujo a contracorriente. La energía necesaria para dispersar un líquido dentro de otro, con lo que logra crear, y mantener, una turbulencia que favorezca el proceso de extracción se logra mediante alguna forma de agitación mecánica.

El equipo de Extracción líquido - Líquido agitado más ampliamente usado es la Columna de Extracción de Discos Rotatorios, patentada por Reman (1). Este tipo de equipo fué seleccionado en virtud de (26 , 27) :

- i).- Ser lo más usado.
- ii).- Es el más versátil, ya que su capacidad es posible variarla.
- iii).- Sus características pueden ser escaladas a otras dimensiones más adecuadamente que otros tipos de equipo de Extracción líquido - Líquido, debido a que los vórtices generados son eliminados entre los estatores (27)

iv).- Usar modelos publicados para este tipo de Equipo de Extracción con el propósito de comparar contra información Experimental propia , sobre el comportamiento Hidrodinámico.

3.2.- Diseño químico de la Columna.

El procedimiento de diseño empleado para el dimensionamiento de la Columna de Extracción Líquido - Líquido sigue los lineamientos establecidos por Laddha y Degaleesan (26) con adaptaciones adicionales propuestas por diversos autores (4 , 5 , 8 , 15 , 29)

En el apéndice 1 se encuentra las Especificaciones de diseño de la columna.

3.3.- Descripción de la instalación y equipo periféricos.

En la Figura 3.2 se muestra una vista global de la instalación. En la Figura 3.3 se muestra un diagrama de flujo de dicha instalación.

El diámetro interior de la columna es de 8.9 cm y 2.03 mts de largo. El material es de vidrio - Pyrex , templado para eliminar esfuerzos que eviten su rotura. La columna esta dividida en 3 secciones : Una central , que es donde existe contacto entre las fases líquidas. Una inferior

FIGURA 3.2
VISTA GENERAL DE LA INSTALACION.

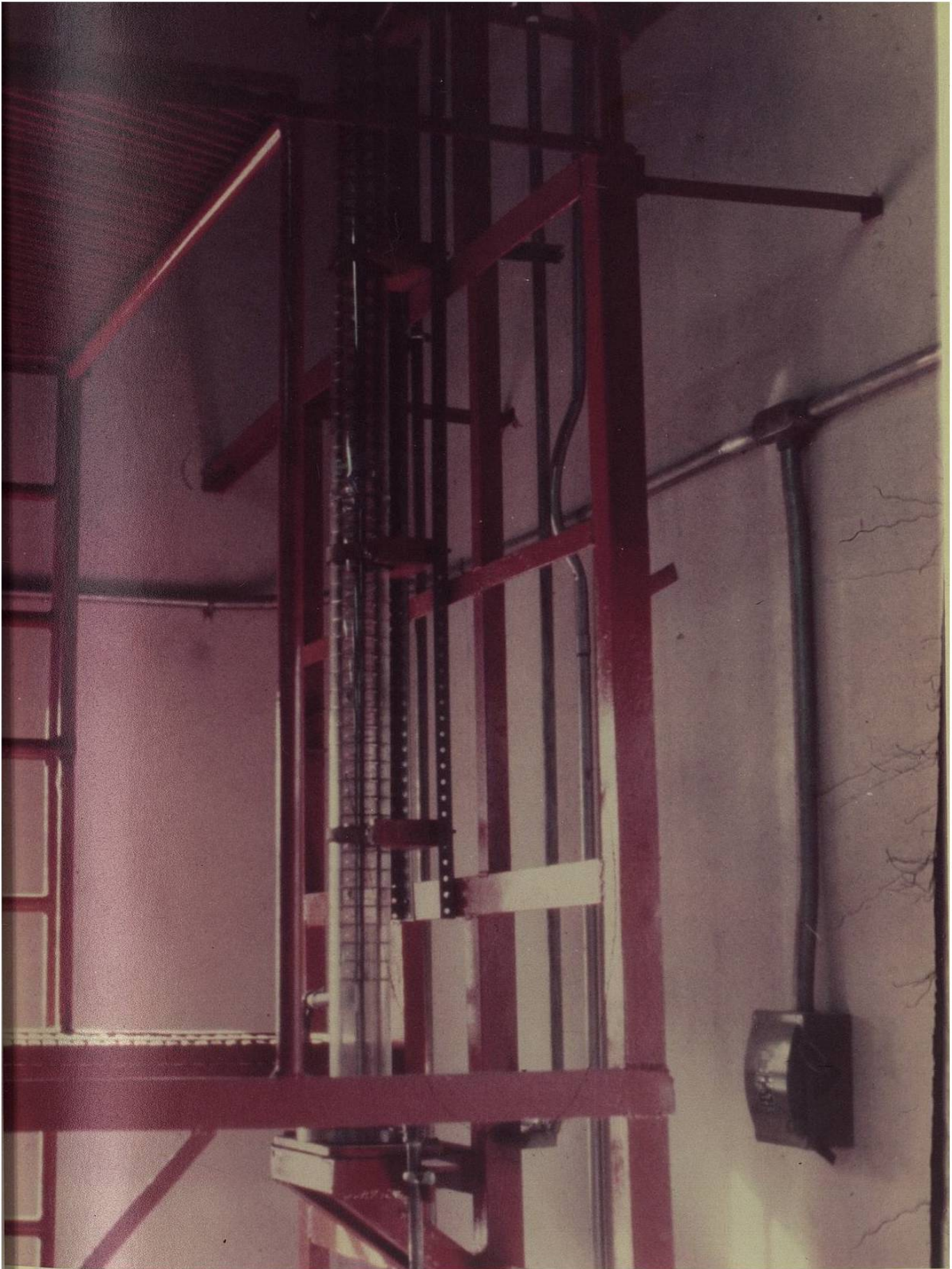
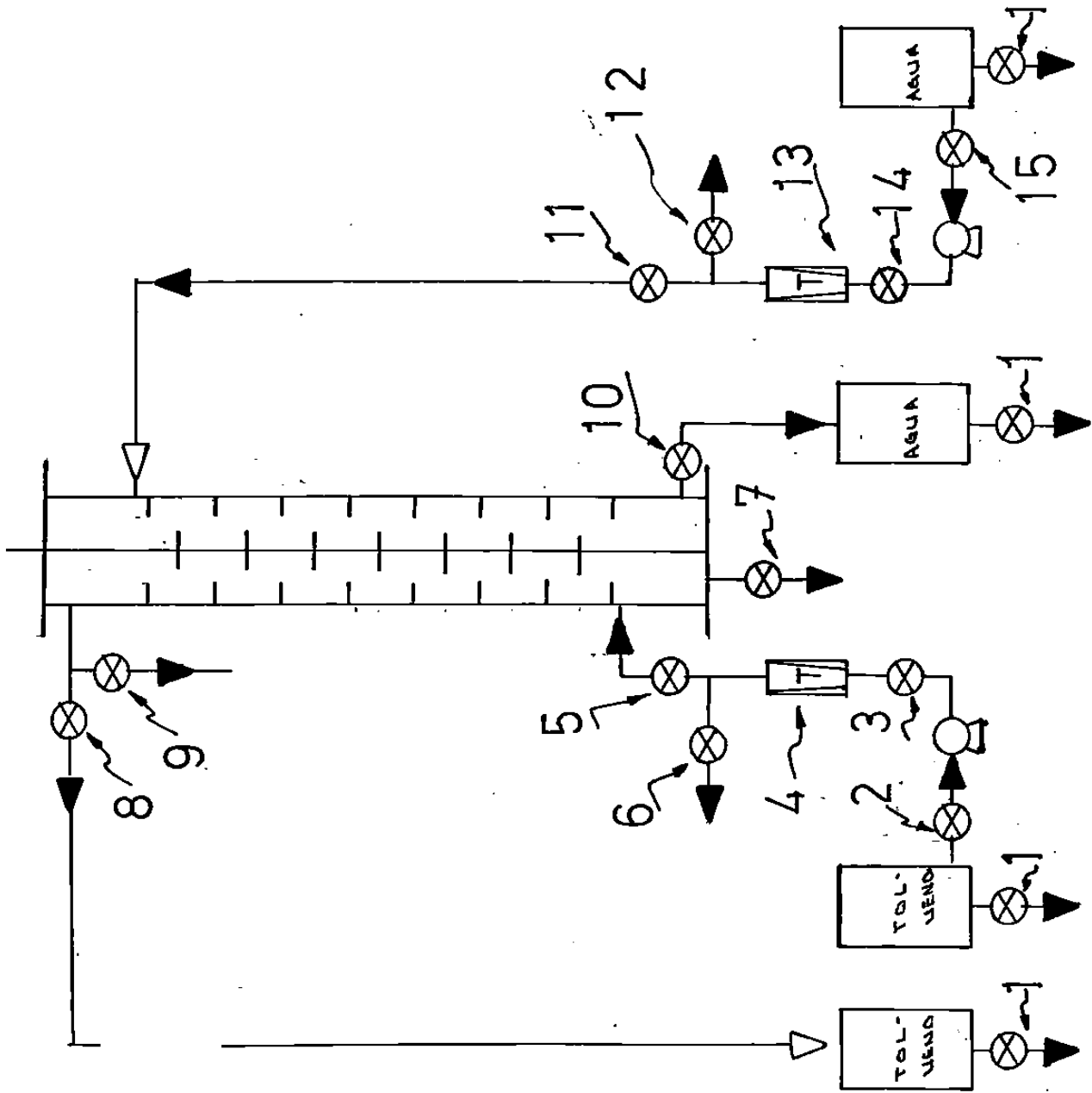


FIGURA 3.3

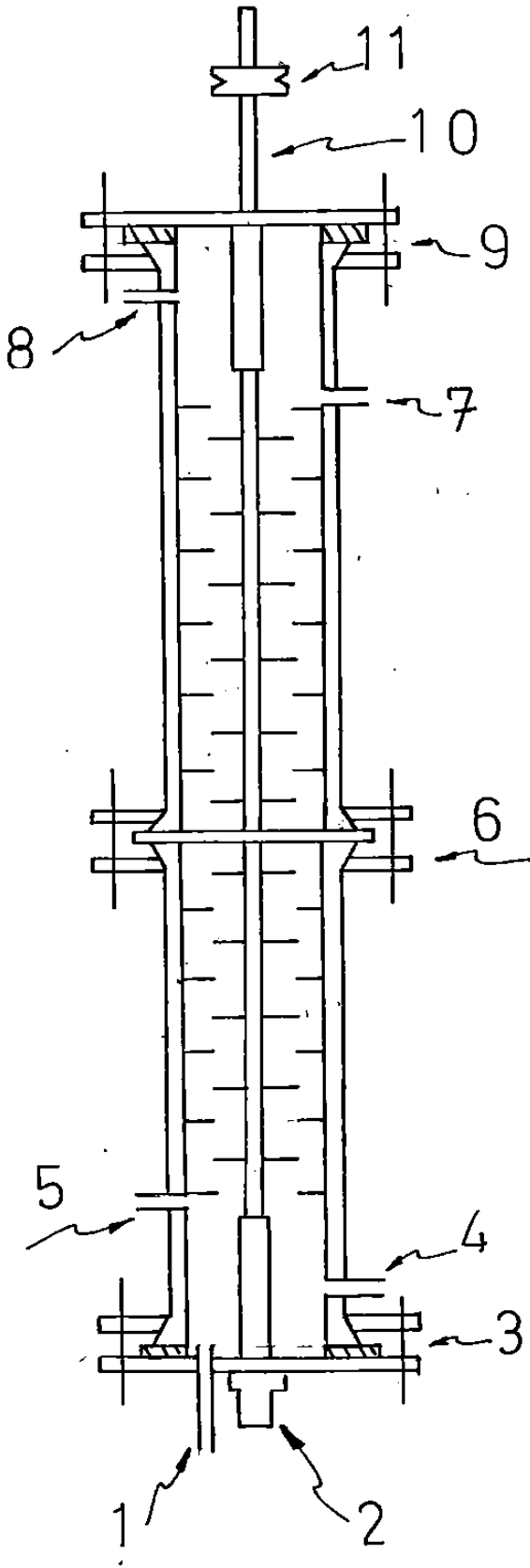
DIAGRAMA DE FLUJO DE LA INSTALACION.



- 1 DRENAJE. VALV. T/BOLA
- 2 VALVULA T/BOLA
- 3 VALVULA T/AGUJA
- 4 MEDIDOR DE FLUJO
- 5 VALVULA T/BOLA
- 6 PUNTO DE CALIBRACION
- 7 VALVULA T/BOLA
- 8 DRENAJE. VALV. T/BOLA
- 9 VALVULA T/BOLA
- 10 PUNTO DE MEDICION DE FRACC. RETENIDA DE FASE DISPERSA. VALV. T/BOLA
- 11 POSICION INTERFASE VALVULA T/AGUJA
- 12 VALV. T/BOLA
- 13 PUNTO DE CALIBRACION.
- 14 VALVULA T/BOLA
- 15 MEDIDOR DE FLUJO VALVULA T/AGUJA
- 16 VALVULA T/BOLA

FIGURA 3.4

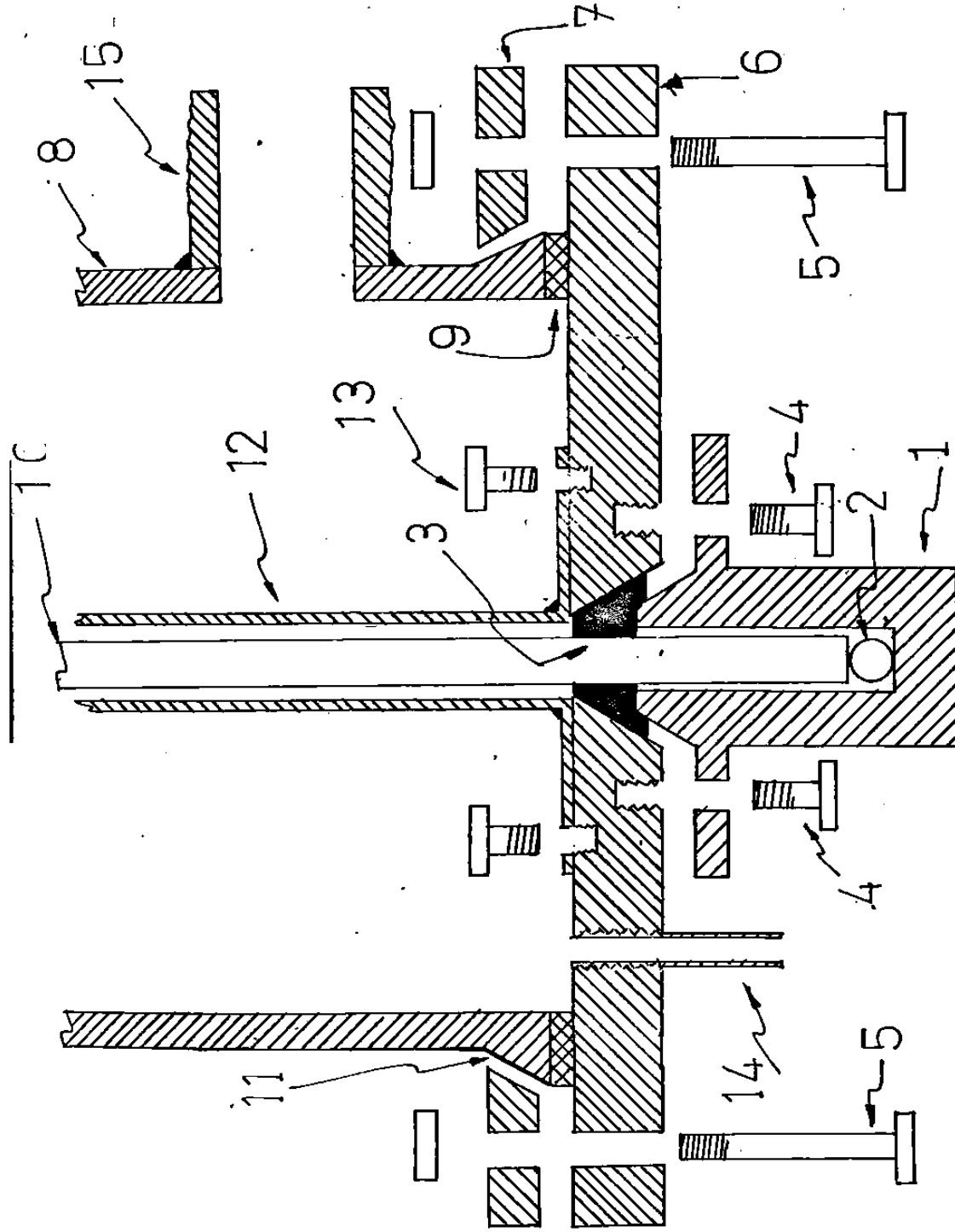
DIAGRAMA ESQUEMATICO DE LA COLUMNA.



- 1 DRENAJE DE COLUMNA.
- 2 APOYO INF. DE FLECHA Y SELLO. VER DETALLE.
- 3 BRIDA INF. DE COLUMNA. VER DETALLE.
- 4 SALIDA DE REFINADO
- 5 ENTRADA DE SOLVENTE
- 6 BRIDA. PARTE MEDIA DE COLUMNA. VER DETALLE.
- 7 ALIMENTACIÓN DE AGENTE EXTRACTOR
- 8 SALIDA DE EXTRACTO
- 9 BRIDA SUP. DE COLUMNA. VER DETALLE.
- 10 FLECHA PORTA DISCOS. VER DETALLE.
- 11 POLEA.

FIGURA 3.5 .

DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL FONDO DE LA COLUMNA.



- 1 APoyo INFERIOR DE FLECHA. MAT.: BRONCE
- 2 POSTA $\phi = 1/2$ "
MAT.: ACERO
- 3 CORDON ASBESTO GRAFITADO
- 4 TORNILLO SUJECION $\phi = 1/4$ ". CANT.: 4
- 5 TORNILLO SUJECION $\phi = 7/16$ ". CANT.: 4
- 6 APoyo INT. DE COLUMNA MAT.: AC. INOX. 304
- 7 BRIDA. MAT.: BAKELITA
- 8 COLUMNA
- 9 EMPAQUE. MAT.: TEFIDN ESPEOR: $1/8$ "
- 10 FLECHA. $\phi = 1/2$ "
MAT.: AC. INOX. 304
- 11 EMPAQUE MAT.: HULE
- 12 FUNDA DE FLECHA
- 13 TORNILLO SUJECION $\phi = 1/4$ ". CANT.: 4
- 14 DRENAJE
- 15 SALIDA REFINADO.

ESC.: NINOLUNA

FIGURA 3.6

DIAGRAMA ESQUEMATICO DE LA PARTE CENTRAL DE LA COLUMNA

1 FLECHA

2 SECCION INFERIOR DE COLUMNA.

3 TORNILLO DE SUJECION
 $\phi = 7/16$ " CANT.: 4

4 BRIDA. MAT.: BAKELITA
CANT.: 2

5 EMPAQUE. ESPESOR: $1/8$ "
MAT.: TEFLON

6 EMPAQUE. MAT.: HULE

7 SECCION SUP. DE COL.

8 BUJE. MAT.: BRONCE

9 APOYO CENTRAL DE LA FLECHA.

MAT.: A.C. INDOX. 304

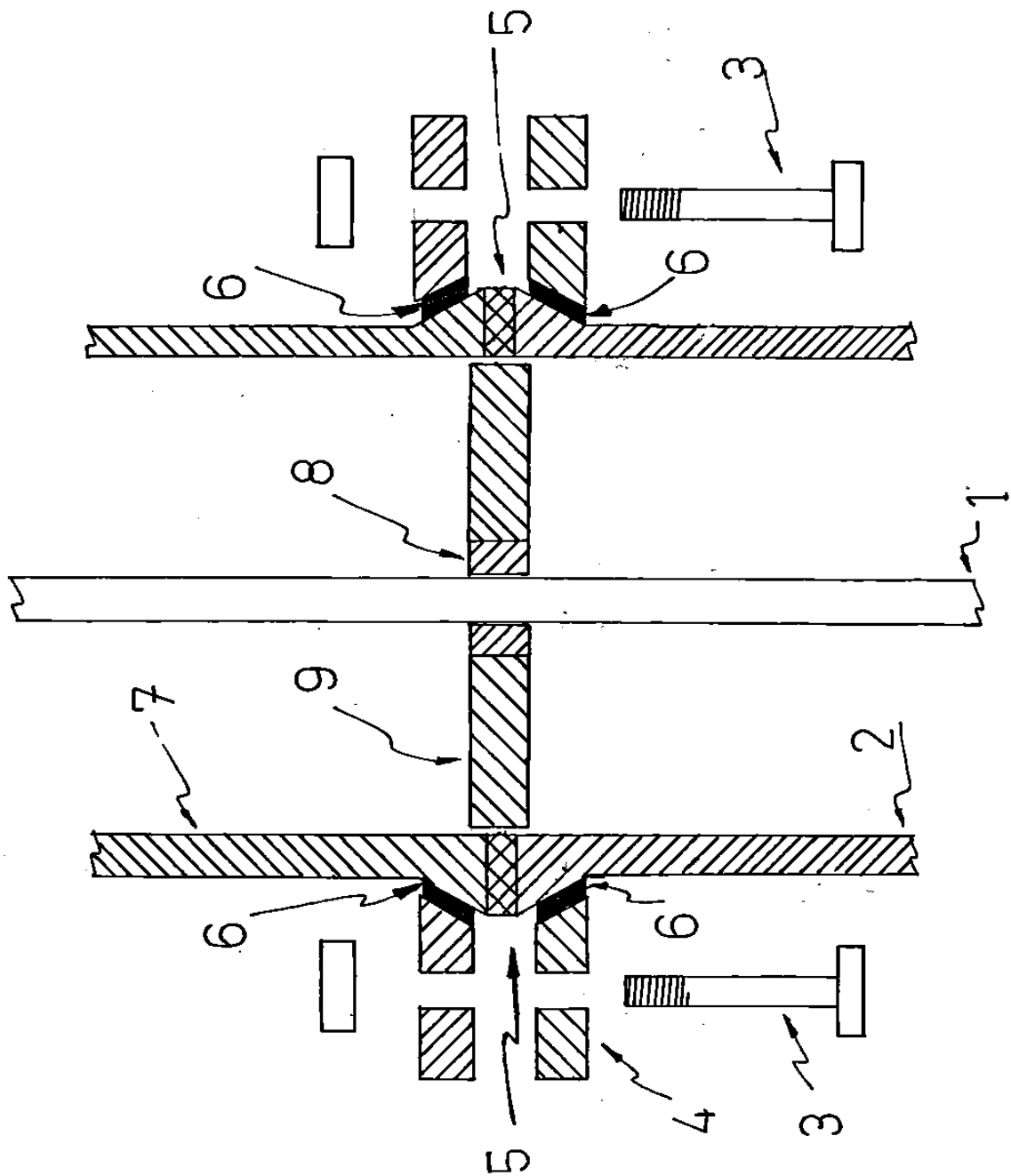
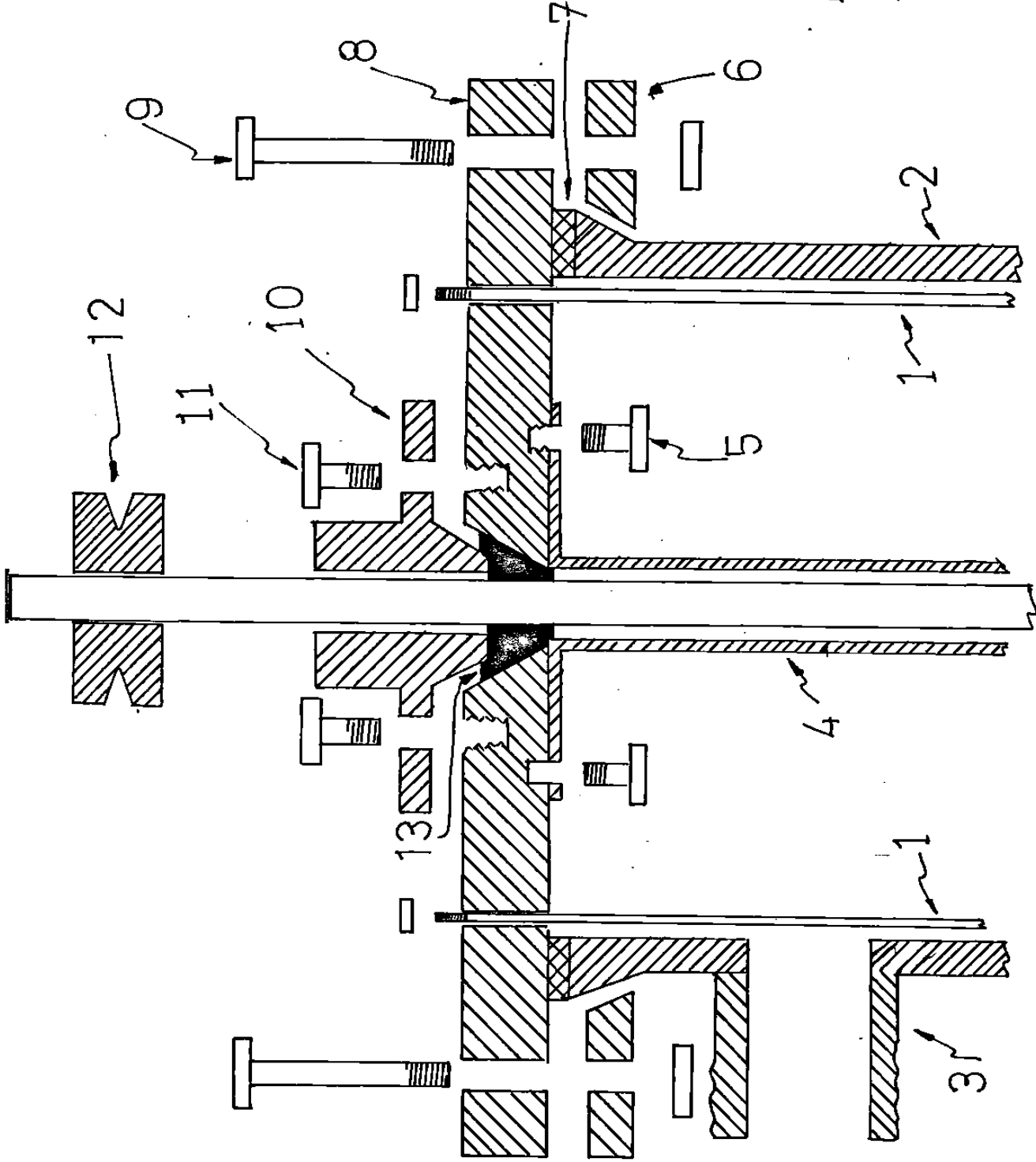


FIGURA 3.7

DIAGRAMA ESQUEMATICO DE LA PARTE SUPERIOR DE LA COLUMNA

- 1 SOPORTE DE ESTATORRES
 $\phi = 1/4"$. CANT.: 3
- 2 COLUMNA
- 3 SALIDA FASE LIGERA
- 4 FUNDA DE FLECHA
- 5 TORNILLO DE SUJECION
 $\phi = 1/4"$ CANT.: 4
- 6 BRIDA. MAT.: BAKELITA
- 7 EMPAQUE. MAT.: TEFLON
ESPEOR: $1/8"$
- 8 BRIDA. MAT.: AC. INOX
- 9 TORNILLO DE SUJECION
 $\phi = 3/16"$. CANT.: 4
- 10 APOYO SUP. DE FLECHA
MAT.: BRONCE
- 11 TORNILLO DE SUJECION
 $\phi = 1/4"$ CANT.: 4
- 12 POLEA
- 13 EMPAQUE.
MAT.: ASBESTO SIFAFITADO



y la otra superior que constituyen zonas de --
 asentamiento. La porción central mide 1.62 mts.
 esta limitada por la entrada de la Fase Conti--
 nua y la entrada de la Fase Dispersa. Ver Fig.
 3.3 y 3.4 . Las 2 porciones donde existe
 asentamiento miden cada una 20.56 cm de longi-
 tud. Las tomas de salida, de fase dispersa por
 la parte superior , y de la Fase Continua por -
 la parte inferior , se encuentran a 2.54 cm de
 los extremos de la Columna.

En las regiones de asentamiento la flecha esta
 cubierta por una porción de tubo , fijo a la -
 brida , para evitar agitación.

El diámetro de la brida superior es de 13.97 cm
 el diámetro de la brida inferior es de 15.24 cm

El diámetro interior de los estatores es de -
 5.963 cm. , obviamente el diámetro exterior es
 de 8.9 cm . El diámetro de los discos monta-
 dos sobre la flecha es de 4.45 cm. . Los dis-
 cos estatores son de un espesor de 1/16 de -
 pulgada. La separación entre estatores , y de
 los discos rotatorios , que se encuentran alter-
 nados , es de 2.74 cm. . El número de discos
 es 57. La separación se logró mediante tubos -
 espaciadores. Las partes internas de la columna

tal como discos rotatorios , estatores , flecha, soporte de los estatores , etc. , así como las bridas es de acero inoxidable 304. La parte -- central del apoyo de la flecha , que esta en contacto con ella , es de bronce antifricción.

Los empaques colocados entre la columna y la brida es de teflón de 1/8 de pulgada de espesor.

Entre el apoyo inferior de la columna y la brida ver figura 3.4 y 3.5 , se colocó cordón de asbesto grafitado para evitar fugas.

CAPITULO 4. EXPERIMENTACION.

4.1.- Objetivos Experimentales.

La generación de información experimental fué desarrollada con los siguientes propósitos :

- i).- Observar el comportamiento Hidrodinámico de la columna en ausencia de Transferencia de Masa.
- ii).- Correlacionar la información experimental con las condiciones de operación , representadas por la velocidad de rotación y de las velocidades de la Fase Dispersa y de la Fase Continua a través de la Columna.
- iii).- Así como la comparación de los valores experimentales contra los valores establecidos por modelos que no requieren información sobre tamaño de gotas (5 , 4 , 15) ; así como el Modelo de Misek (28) que sí requiere conocer el tamaño de las gotas.

4.2.- Calibración de los medidores de Flujo.

En las siguientes figuras se muestran las curvas de calibración de los medidores de flujo para tolueno y para agua. Los valores experimentales usados para la construcción de estas gráficas son el valor promedio de 5 .

El procedimiento de obtención de estos valores consistió en hacer pasar a través del medidor una corriente de fluido y en el punto de calibración , ver Fig. 3.3 ,

FIGURA 4.1

CURVA DE CALIBRACION. MEDICION DEL FLUJO DE TOLUENO.

FLUJO DE TOLUENO

$$\text{GASTO} = (0.321) (\%) - 0.377$$

(-) Gal / Hs

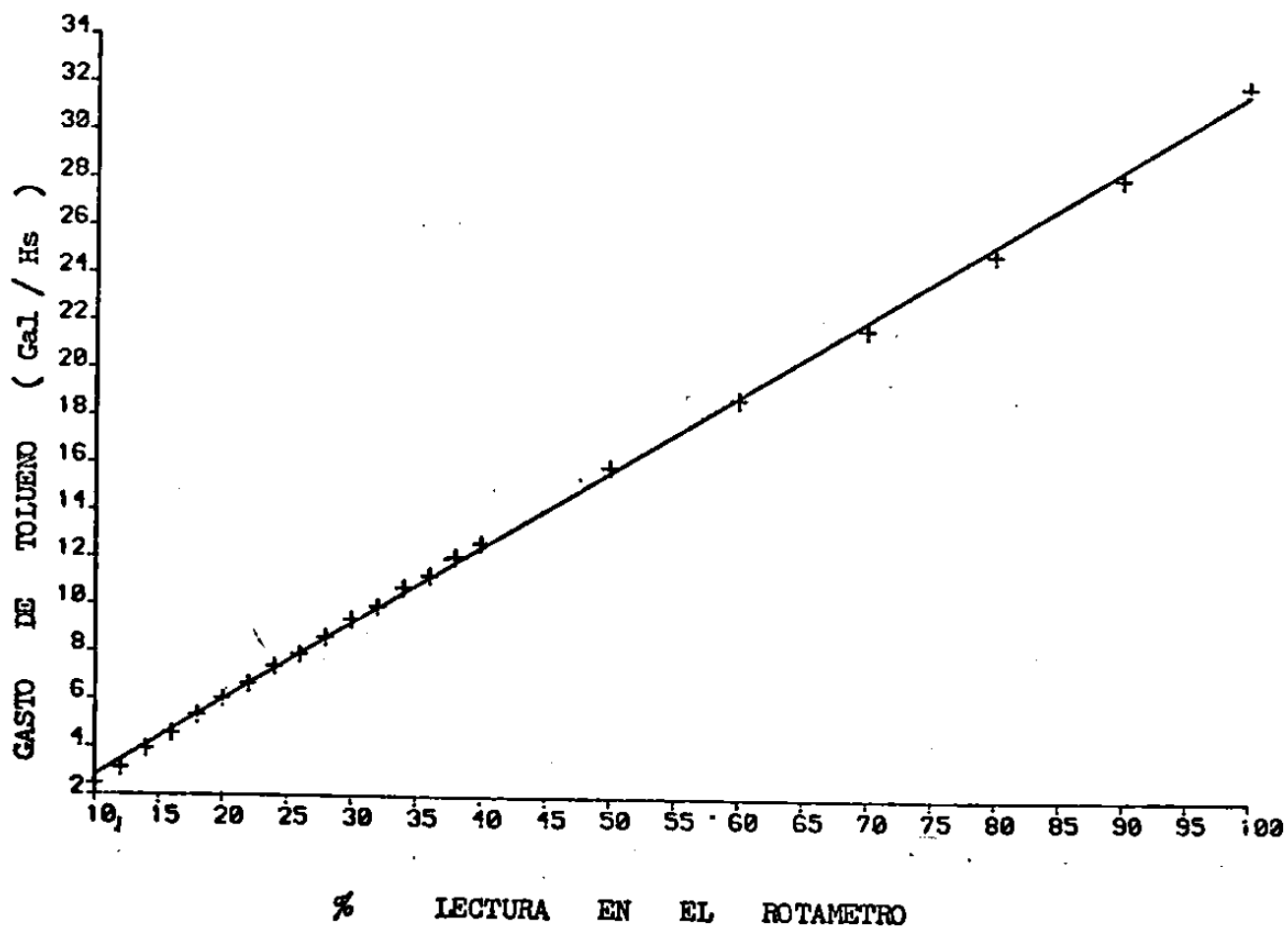


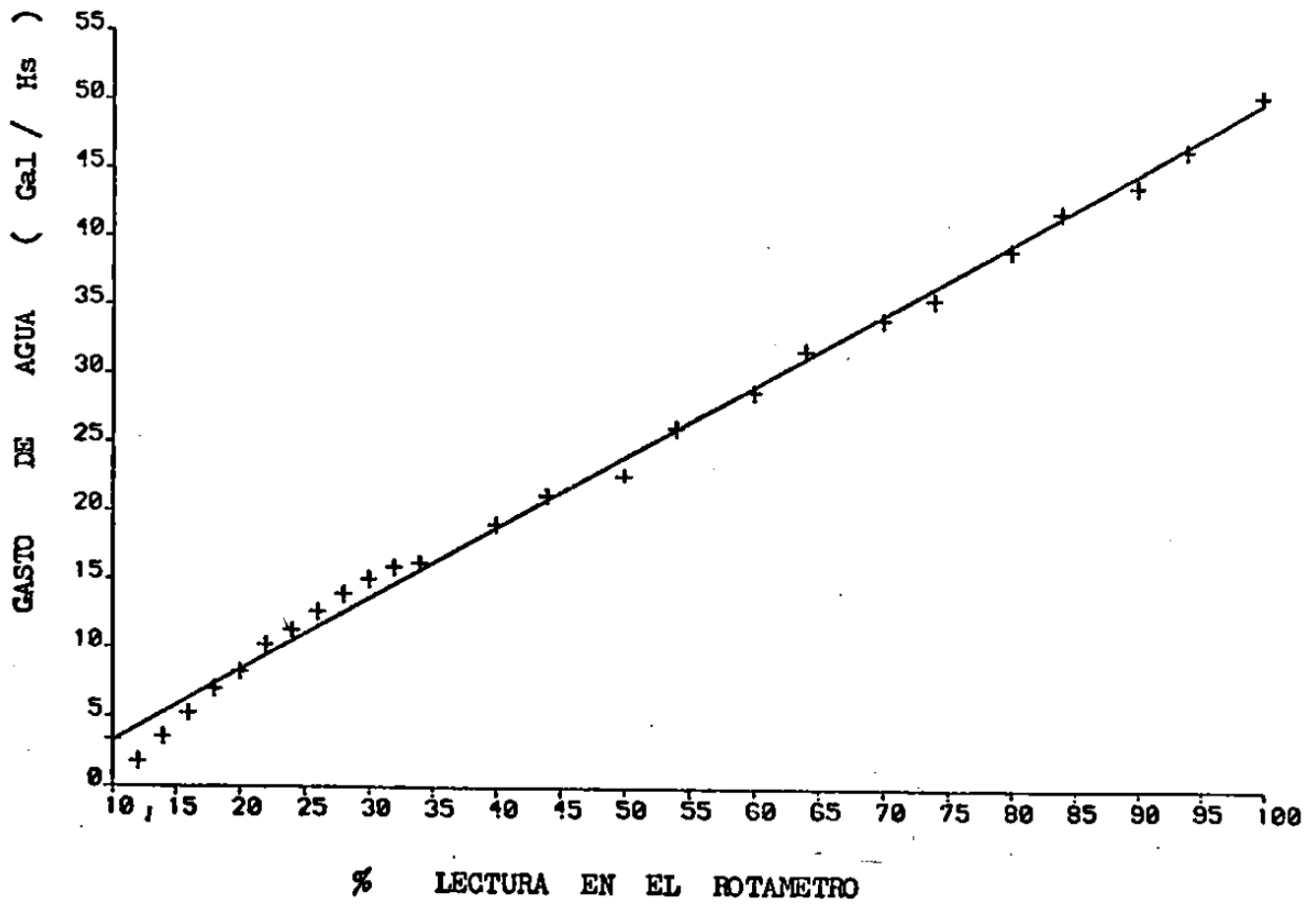
FIGURA 4.2

CURVA DE CALIBRACION . MEDICION DEL FLUJO DE AGUA

FLUJO DE AGUA

$$\text{GASTO} = (0.51) (\%) - 1.196$$

(=) Gal / Hs



partes 6 y 12 , medir el tiempo transcurrido en recoger volúmenes conocidos.

4.3.- Procedimiento Experimental.

4.3.1.- Preparación de la columna.

Antes de iniciar las corridas experimentales en la columna de extracción el Tolueno se colocaba en el tanque de alimentación correspondiente , dejándose reposar varias horas (por lo menos 12) , con el propósito de que se asentará totalmente el contenido de agua. Antes de iniciar la alimentación del Tolueno hacia la columna , se drenaba el contenido de agua. La presencia de agua en la corriente de alimentación se manifestaba por su aspecto físico , cristalino en el caso de ausencia de ella y , cuando existía , su aspecto es lechoso , turbio. Cuando se evidenciaba la presencia de agua se suspendía la obtención de datos dejándose reposar con el propósito de poder eliminarla.

El mismo lote de Tolueno fué usado para la obtención de los datos experimentales de tamaños de gotas y de la Fracción retenida de la Fase Dispersa.

El Tolueno usado fué de grado comercial.

El agua usada en la operación de la Columna -

fué suministrada por la Planta Desmineralizadora , a base de intercambio iónico , existente en el Laboratorio de Ingeniería Química. Básicamente el mismo lote de agua fué usado. Eventualmente se rellenaba el tanque con agua fresca.

La presencia de Tolueno en el tanque de alimentación de agua no fué crítica , ya que forma una capa que flota sobre el agua. Como la bomba succiona de la parte inferior del tanque nunca se presentó Tolueno en la alimentación de agua hacia la columna.

En un principio la columna fué lavada con una solución caliente de detergente comercial , haciéndose recircular durante varias horas a través de la columna , utilizándose un recipiente para calentarla , el que a su vez servía de alimentación y recepción. Durante la operación de la Columna se mantenía en funcionamiento los discos rotatorios. Después se hacía pasar abundantemente a través de ella agua limpia con el objeto de eliminar el detergente.

Después de varias corridas experimentales , cuando se evidenciaba la suciedad de la Columna puesta de manifiesto por la coalescencia de la Fase Dispersa , se procedía a una limpieza de

la Columna en la forma ya descrita.

4.3.2.- Operación de la Columna.

(14)

La Columna siempre se deja llena de Agua

- 1.- Se inicia la alimentación de Agua hacia la Columna estableciendo el flujo deseado.
- 2.- Se fija la velocidad del rotor deseada , -- usando el control de velocidad del motor.
- 3.- Habiendo drenado el Agua , si existe , del tanque de Tolueno se procede a alimentar --- éste hacia la Columna , incrementándose poco a poco el flujo hasta alcanzar el valor de-- seado.

Las válvulas existentes en la línea que conduce el Tolueno que sale de la Columna (Excepto parte número 9 , en Figura 3.3) se mantienen abiertas desde el inicio del funcionamiento de la Columna con el propósito , obviamente , de evitar el inundamiento.

- 4.- Mediante la válvula de aguja existente en la línea que conduce el Agua que sale de la Columna (parte número 10 , Figura 3.3) se controla su flujo con el objetivo de fijar la posición de la interfase ligeramente arriba de donde entra el agua a la Columna.

5.- Revisar periódicamente las condiciones de operación (Flujos de Agua y Tolueno, Velocidad de Rotación) , así como la posición de la interfase , hasta que permanezcan en estado estable por lo menos - 15 minutos.

4.3.3.- Medición del tamaño de gotas.

El método usado fué fotografía.

La cámara fotográfica se colocó para todas las tomas en la parte media de la Columna , y a una distancia de aproximadamente 60 cm La Columna fué iluminada con focos de 400 Watts , colocado uno a , aproximadamente , 120° y el otro a unos 240° de la cámara. Los focos de alta intensidad y la cámara fotográfica estaban en el mismo plano horizontal.

La cámara fué de 35 mm , f 5.8 , y la película ASA 400 para transparencias. El tiempo de exposición fué 1/1000 seg. Según (11) la recomendación de Chartres , las gotas que fueron tomadas en cuenta son las que se encuentran en la parte central de la

Columna que comprende un 80 % del diámetro
En los extremos , 10 % del diámetro a cada
lado , Chartres observó distorciones de las
imágenes debido a "Efectos de curvatura".

Para cada una de las fotografías la cámara -
fotográfica estuvo fija a un soporte , sien-
do la misma posición para todas las tomas.
Cada fotografía fué tomada después de 15
minutos de haber alcanzado el estado esta-
cionario para unas condiciones dadas.

Del revelado de la película fotográfica se
obtuvieron transparencias , las cuales pro-
yectadas a distancia adecuada se ampliaba -
la imagen aproximadamente 10 veces el ta-
maño real. El factor de ampliación fué de-
terminado observando la imagen de una regla
graduada en la cual se colocaba cinta adhe-
siva con la condiciones de operación anota-
das. De la imagen se determinó el tamaño -
manualmente. Alrededor de 300 gotas fué -
leído en cada transparencia.

El tamaño promedio es obtenido usando la -
siguiente expresión :

$$d_{32} = \frac{\sum d_i^3}{\sum d_i^2}$$

4.3.4.- Medición de la Fracción Retenida de la Fase Dispersa.

Valores locales de la Fracción Retenida de la Fase Dispersa no fueron obtenidos. Para valores globales el procedimiento seguido (5) fué el usado previamente por Logsdail (11) así como Chartres (10) y Cruz Pinto

el cual se describe a continuación :

- 1.- Una vez alcanzado el estado estacionario se marca la posición de la interfase.
- 2.- Las válvulas de entrada y salida son cerradas rápida y simultáneamente
- 3.- El rotor se deja funcionar por algún tiempo más con el propósito de que el Tolueno retenido en la parte inferior de los discos estatores ascienda.
- 4.- Cuando prácticamente no existe retención de Tolueno por las partes internas de la Columna se marca la nueva posición de la interfase.

5.- Ver Figura 3.3.

Con la válvula marcada con el número 8 cerrada y abierta la válvula marcada con el número 9, posición donde se recoge el volumen de Tolueno, alimentar Agua a bajos flujos con el propósito de desplazar la interfase hasta la posición original, ligeramente arriba del punto donde se alimenta el Agua.

La Fracción retenida de la Fase Dispersa es calculada con la siguiente expresión:

$$X = \frac{\text{Vol. de Tolueno entre las 2 marcas}}{\text{Volumen activo de la Columna}}$$

4.4.- Resultados Experimentales.

A continuación, en las páginas siguientes, se encuentra la información Experimental generada en el transcurso de esta investigación.

El procedimiento consistió en mantener fijas 2, de las 3 condiciones de operación, variando la tercera. Procediendo, según el caso, a obtener, ya sea la fotografía o la Fracción Retenida de la Fase Dispersa, según los procedimientos descritos en las 2 secciones anteriores de este mismo capítulo.

En las primeras 3 columnas de la Tabla 4.1 se encuentran tabuladas las condiciones de operación a las que fué evaluado el correspondiente tamaño de gotas. En la Figura 4.3 se muestra una fotografía típica.

Así mismo en las primeras 3 columnas de la Tabla 4.2 se encuentran las condiciones a las que fué evaluado la correspondiente Fracción Retenida de la Fase Dispersa.

4.4.1.- Tamaños de gotas.

N (RPM)	V (%)	V (%)	d (Cm)
	C	D	32
0	20	20	0.459
"	"	40	0.393
"	40	20	0.471
"	"	40	0.503
"	"	60	0.419
"	60	20	0.458
"	"	40	0.486
"	"	60	0.522
"	80	20	0.450
"	"	40	0.474
"	"	60	0.627
"	100	20	0.477
"	"	40	0.607
"	"	60	0.627
100	20	20	0.497
"	"	40	0.446
"	"	60	0.526
"	40	20	0.474
"	"	40	0.450
"	"	60	0.590
"	60	20	0.467
"	"	40	0.512
"	"	60	0.628

TABLA 4.1

100	80	20	0.456
"	"	40	0.550
"	"	60	0.685
"	100	20	0.542
"	"	40	0.651
200	20	20	0.564
"	"	40	0.479
"	"	60	0.541
"	"	80	0.558
"	40	20	0.544
"	"	40	0.495
"	"	60	0.417
"	"	80	0.418
"	60	20	0.594
"	"	40	0.427
"	"	60	0.603
"	80	20	0.618
"	"	40	0.606
"	"	60	0.757
"	100	20	0.504
"	"	40	0.540
"	"	60	0.703
250	20	20	
"	"	40	0.342
"	"	60	0.428
"	"	80	0.495
"	40	20	0.376
"	"	40	0.409
"	"	60	0.444
"	"	80	0.504
"	60	20	0.339
"	"	40	0.453
"	"	60	0.493
"	80	20	0.377
"	"	40	0.435
"	"	60	0.520
"	100	20	0.423
"	"	40	0.604
"	"	60	0.682

TABLA 4.1 Cont.

300	20	20	0.489
"	"	40	0.421
"	"	60	0.407
"	"	80	0.422
"	40	20	0.424
"	"	40	0.446
"	"	60	0.528
"	"	80	0.505
"	60	20	0.526
"	"	40	0.606
"	"	60	0.643
"	80	20	0.424
"	"	40	0.466
"	"	60	0.565
"	100	20	0.516
"	"	40	0.578
"	"	60	0.548
350	20	20	0.373
"	"	40	0.371
"	"	60	0.469
"	"	80	0.477
"	40	20	0.387
"	"	40	0.494
"	"	60	0.447
"	60	20	0.449
"	"	40	0.492
"	"	60	0.523
"	80	20	0.423
"	"	40	0.441
"	"	60	0.522
"	100	20	0.464
"	"	40	0.577
400	20	20	0.445
"	"	40	
"	"	60	0.491
"	40	20	0.414
"	"	40	0.441
"	"	60	0.556
"	60	20	0.480
"	"	40	0.499
"	"	60	0.509

TABLA 4.1 Cont.

400	80	20	0.413
"	"	40	0.461
"	"	60	0.592
"	100	20	0.499
"	"	40	0.531
500	20	20	0.462
"	"	40	0.428
"	"	60	0.644
"	40	20	0.470
"	"	40	0.425
"	60	20	0.395
"	"	40	0.426
"	80	20	0.406
"	"	40	0.462
"	100	20	0.399
"	"	40	0.446

TABLA 4.1 Conclusión

4.4.2.- Datos experimentales sobre Fracción Retenida
de Fase Dispersa.

N (RPM)	V (%) C	V (%) D	X exp
0	20	20	0.104
"	"	40	0.166
"	"	60	0.214
"	"	80	0.241 *
"	40	20	0.104
"	"	40	0.176
"	"	55	0.197
"	"	70	0.285 *
"	60	20	0.112
"	"	40	0.182
"	"	60	0.239
"	"	70	0.265 *
"	80	20	0.122
"	"	30	0.175
"	"	40	0.180
"	"	60	0.316 *
150	20	20	0.079
"	"	40	0.151
"	"	60	0.232
"	"	80	0.239
"	40	20	0.089
"	"	40	0.149
"	"	60	0.203
"	"	80	0.306
"	60	20	0.091
"	"	40	0.179
"	"	60	0.264
"	"	80	0.350 *
"	80	20	0.177
"	"	40	0.156
"	"	60	0.309
"	"	80	0.340 *

TABLA 4.2 Cont.

250	20	20	0.084
"	"	40	0.163
"	"	60	0.214
"	"	80	0.306
"	"	100	0.249
"	40	20	0.088
"	"	40	0.166
"	"	60	0.243
"	"	80	0.298
"	"	100	0.379 *
"	60	20	0.095
"	"	40	0.168
"	"	60	0.234
"	"	80	0.356 *
"	80	20	0.108
"	"	40	0.181
"	"	60	0.297 *
350	20	20	0.086
"	"	40	0.163
"	"	60	0.336
"	40	20	0.078
"	"	40	0.159
"	"	60	0.219
"	"	80	0.359 *
"	60	20	0.104
"	"	40	0.148
"	"	60	0.265
"	"	80	0.264
"	"	100	0.302
"	80	20	0.123
"	"	40	0.192
"	"	70	0.453 *
500	20	20	0.088
"	"	30	0.135
"	"	40	0.191
"	"	60	0.362 *
"	40	20	0.128
"	"	30	0.162
"	"	40	0.217
"	"	60	0.346 *
"	60	20	0.134
"	"	30	0.200
"	"	40	0.240
"	"	50	0.384 *

TABLA 4.2 Cont.

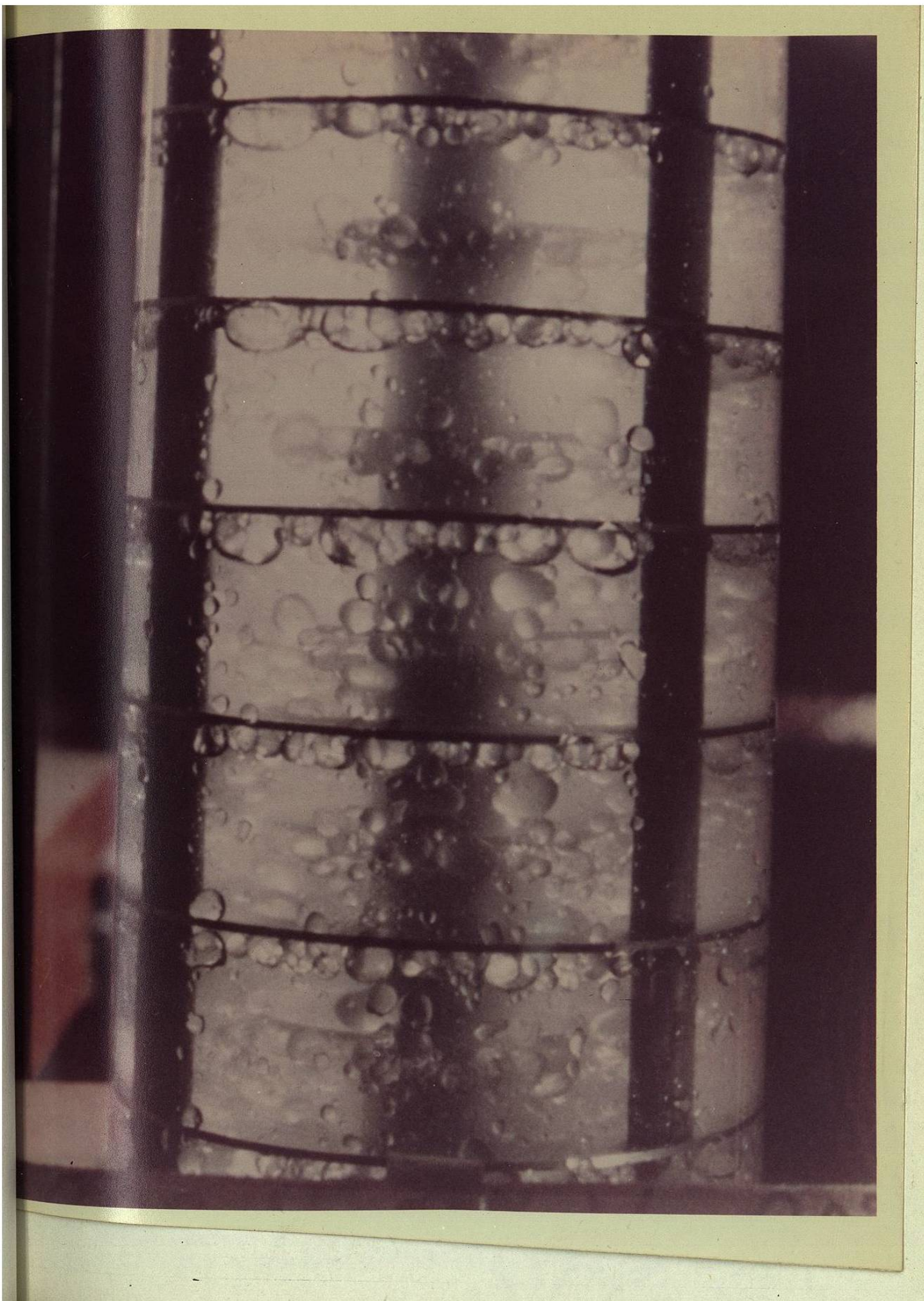
500	80	20	0.176
"	"	30	0.313
"	"	40	0.521

* Columna inundada.

TABLA 4.2 Conclusión.

FIGURA 4.3

FOTOGRAFIA TIPICA DONDE SE MUESTRA LA FASE DISPERSA



CAPITULO 5. ANALISIS DE DATOS EXPERIMENTALES.

5.1.- Tamaño de Gotas.

De la Tabla 4.1 se formaron 3 grupos de datos para observar la influencia por separado de cada una de las variables involucradas en las condiciones de operación. Esto es la dependencia del tamaño de las gotas observado de :

- i).- Velocidad de la Rotación.
- ii).- Flujo de la Fase Dispersa.
- iii).- Flujo de la Fase Continua.

De cada una de las tablas obtenidas en los 3 grupos se graficaron y se obtuvieron las ecuaciones correspondientes en cada caso. Gráficas típicas se muestran a continuación.

Las Ecuaciones obtenidas en esta sección , después de ajustados los datos , fueron usados en la siguiente sección 5.2 , en el Modelo de Misesk.

EFFECTO DE LA VELOCIDAD DE ROTACION SOBRE EL TAMAÑO
DE LAS GOTAS.

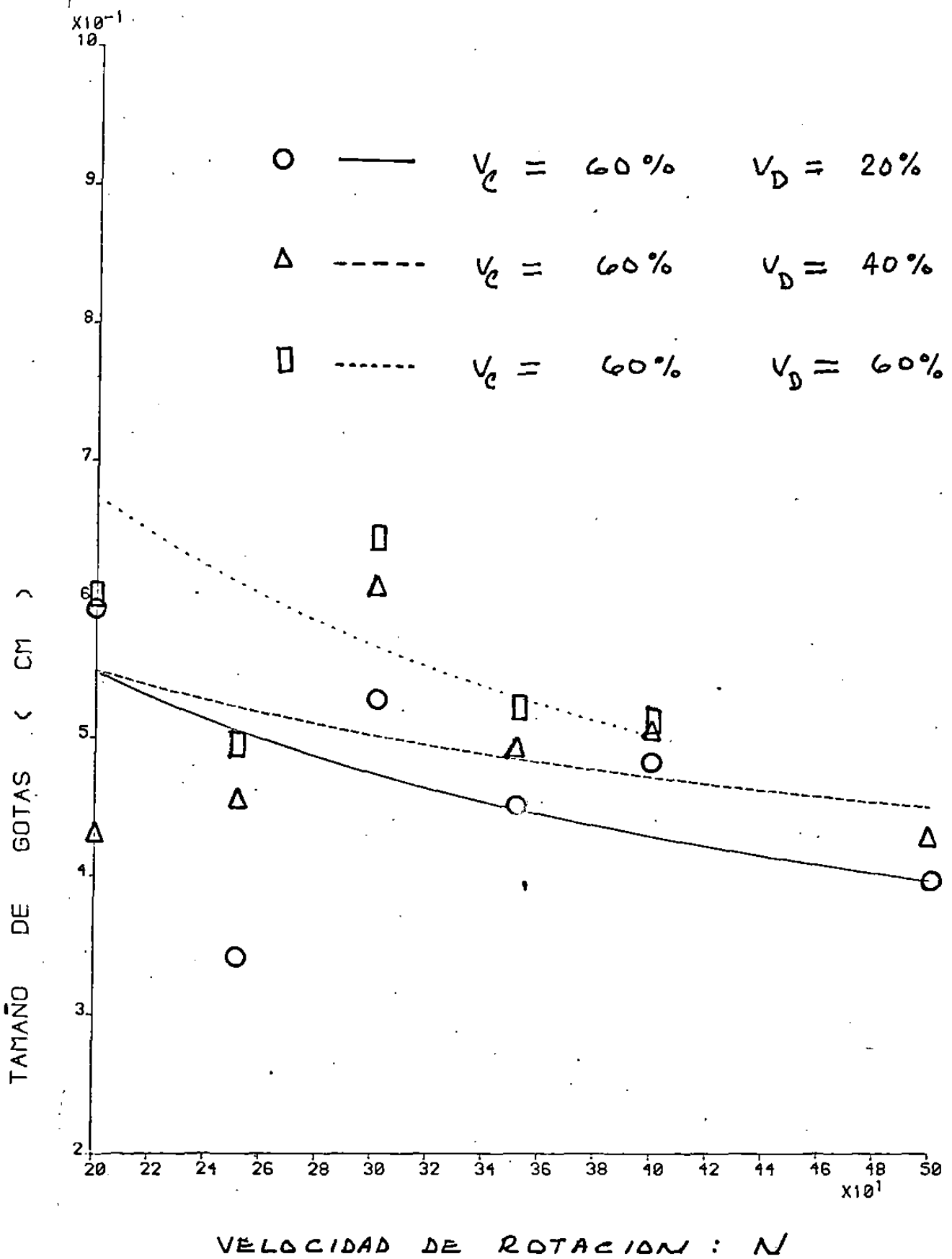
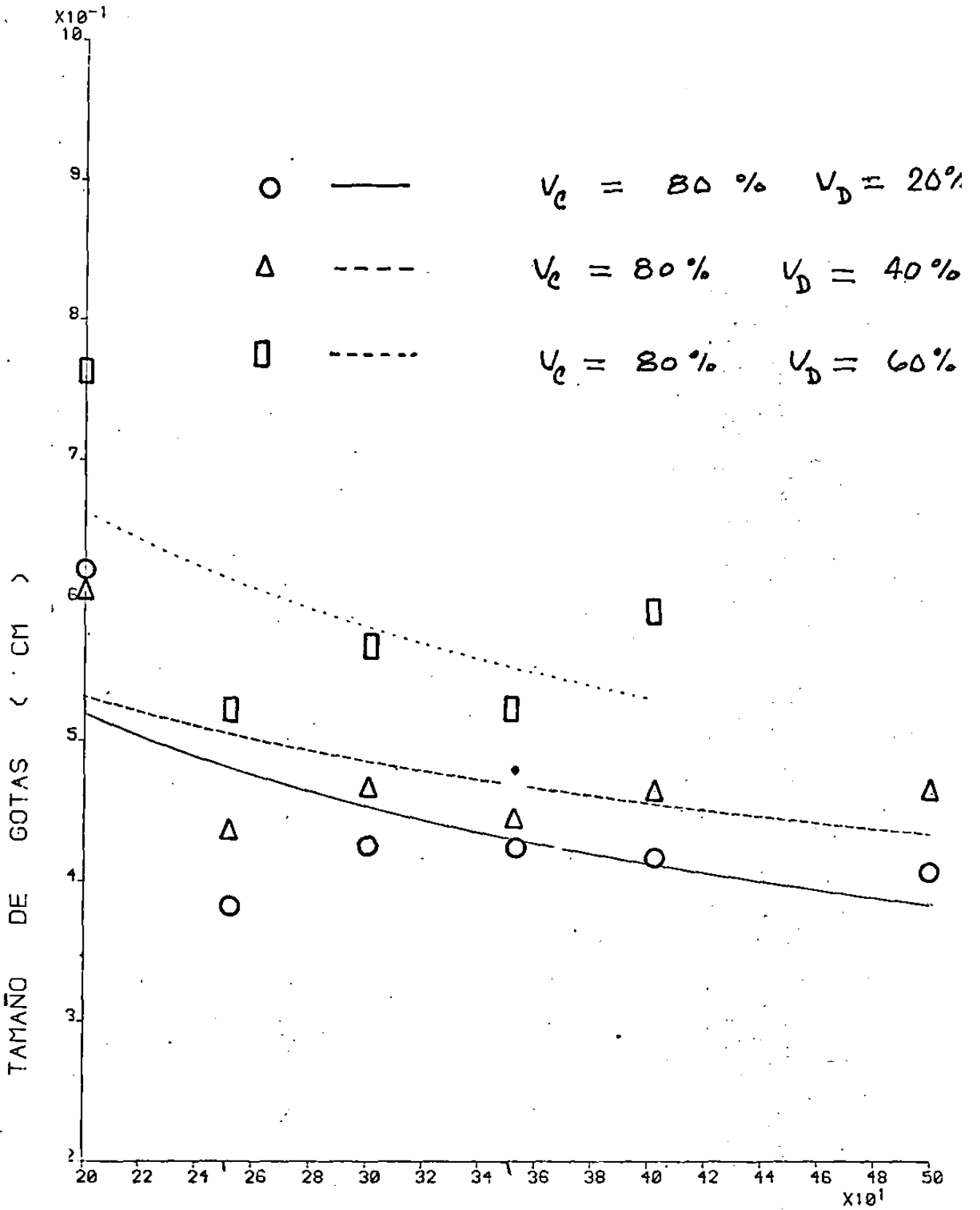


FIGURA 5.1



VELOCIDAD DE ROTACION : N

FIGURA 5.2

EFEECTO DE LA VELOCIDAD DE LA FASE CONTINUA SOBRE EL
TAMAÑO DE LAS GOTAS.

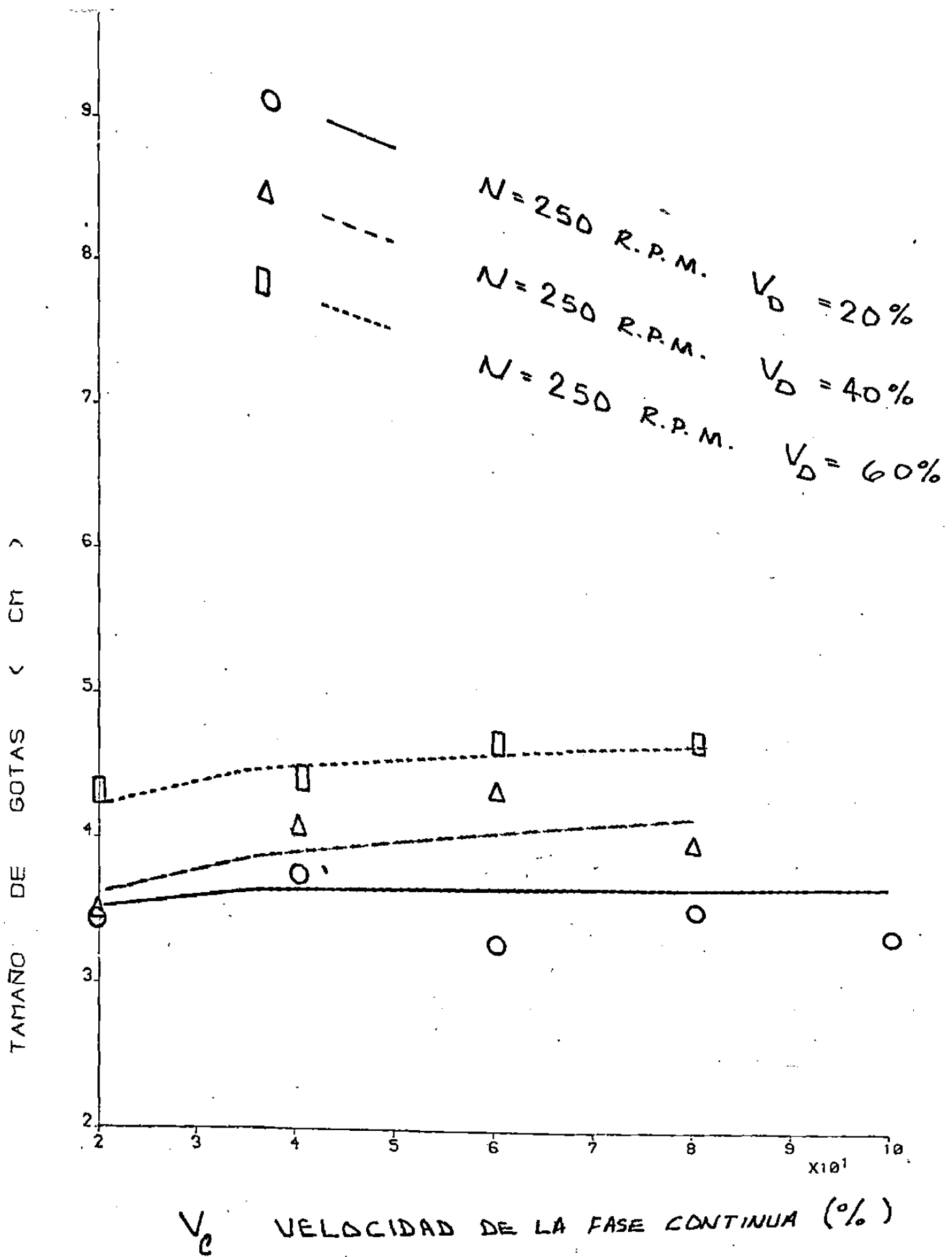


FIGURA 5.3

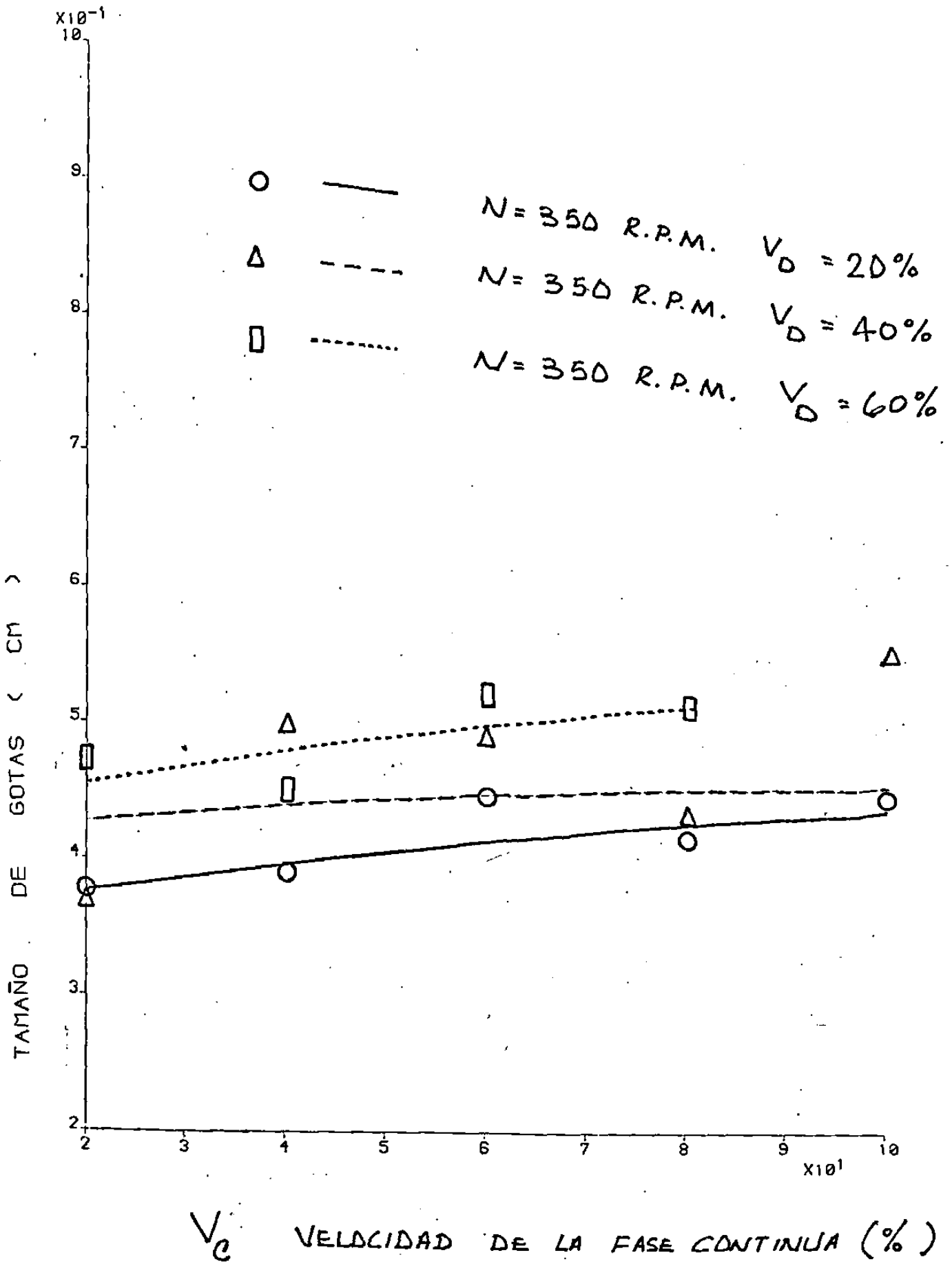


FIGURA 5.4

EFFECTO DE LA VELOCIDAD DE LA FASE DISPERSA SOBRE EL
TAMAÑO DE LAS GOTAS.

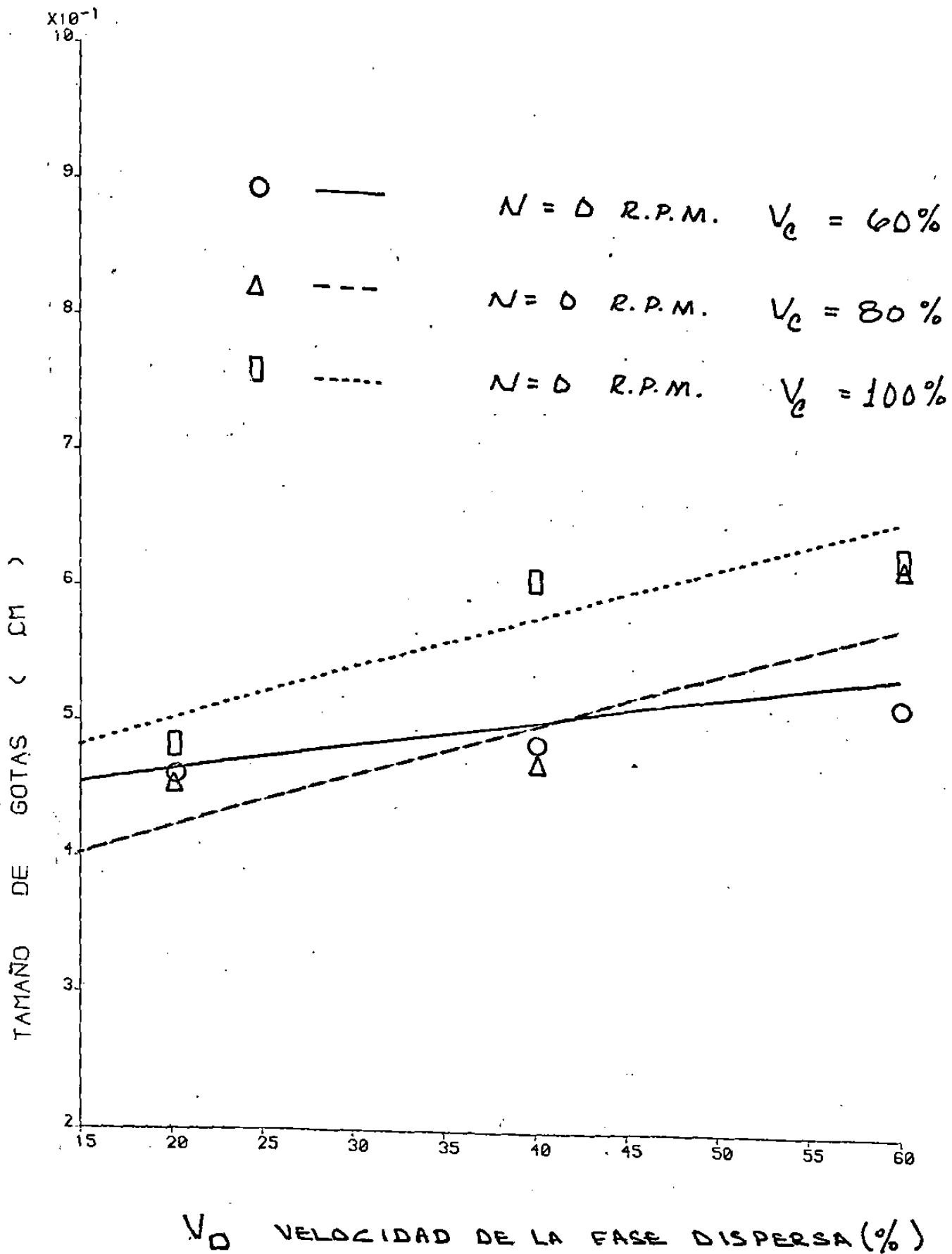


FIGURA 5.5

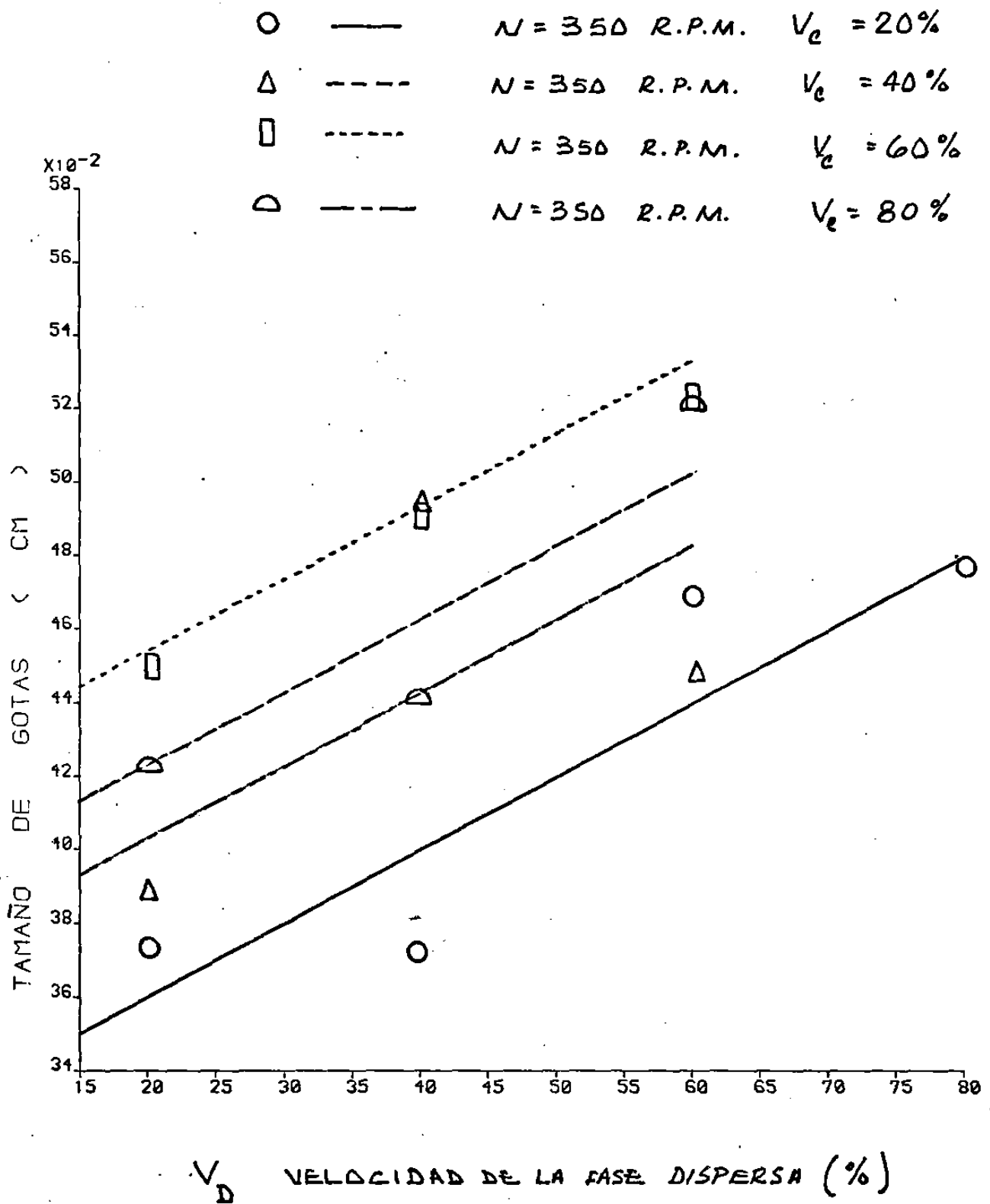


FIGURA 5.6

5.2.- Fracción Retenida de la Fase Dispersa.

5.2.1.- Comparación de datos experimentales contra valores esperados.

Rearreglando la Ecuación 2.2 se obtiene :

$$V \frac{X^3}{k} - 2V \frac{X^2}{k} + (V + V - V) X - V = 0$$

k k k d c d

- - - - - (5.1)

5.2.1.1.- Modelo de Logsdail.

Haciendo substituciones y operaciones de la Ecuación 2.3 se obtiene :

$$V = (973 \ 291) \left(\frac{1}{N} \right)^2 - - (5.2)$$

k

5.2.1.2.- Modelo de Kung y Beckmann.

Evaluando las Ecuaciones 2.5 y 2.7 se obtiene :

$$k = 1 , \quad c = 0.012$$

por lo que es igual al Modelo establecido por Logsdail.

5.2.1.3.- Modelo de Kannappan.

Evaluando la Ecuación 2.10 resulta :

$$N = 563 \text{ R.P.M.} \\ \text{cr}$$

por lo tanto , para $N < 563 \text{ RPM}$

de la Ecuación 2.8 resulta :

$$V_k = 8.196 \left(1 / N^{0.16} \right) - - - (5.3)$$

a).- Influencia de la Velocidad de Rotación.

Proceso de cálculo.

1.- Con la Ecuación 5.2 y 5.3 se evalúa la Velocidad Característica para cada

valor de rotación deseado.

2.- Conocido V_k y valores de la velocidad

de la Fase Continua y de la Fase Disper

sa , substituir en la Ecuación 5.1

La Ecuación 5.1 fué resuelta para :

$$100 < N < 500$$

Se tomaron suficientes valores de N con

el propósito de trazar con precisión las -

gráficas de los Modelos de Logsdail y Ka--

nnappan. En todos los casos la Ecuación

5.1 tuvo raíces reales y positivas , toman

dose el menor valor como el valor de la --
Fracción Retenida de la Fase Dispersa predi-
cho por cada Modelo correspondiente.

b).- Influencia de la Velocidad de la Fase Dis-
persa.

Proceso de cálculo :

- 1.- Se fija el valor de la rotación y el
valor de la velocidad de la Fase Conti-
nua.
- 2.- Con el valor de N y con las Ecuaciones
5.2 y 5.3 se evalúa la velocidad -
característica.
- 3.- Con el valor de V_k y la velocidad de -
la Fase Continua se evalúa la Ecuación
5.1 para diferentes valores de la velo-
cidad de la Fase Dispersa.

La Ecuación 5.1 en este caso fué evaluada
para

$$0 \% < \frac{v}{c} < 80 \%$$

c).- Influencia de la velocidad de la Fase Conti-
nua.

Proceso de cálculo :

- 1.- Se fija el valor de la rotación y el va-
lor de la velocidad de la Fase Dispersa

2.- Con el valor de la rotación y con las ecuaciones 5.2 y 5.3 se evalúa la Velocidad Característica

3.- Con el valor de V_k y la velocidad de la Fase Continua, se evalúa la Ecuación 5.1 para diferentes valores de la velocidad de la Fase Dispersa.

La Ecuación 5.1 fué evaluada para ;

$$20 \% < \underset{d}{V} < 80 \%$$

Al igual que en el caso anterior la Ecuación 5.1 tuvo raíces reales y positivas, tomándose en cada caso el menor de ellos como el valor predicho por cada modelo según el caso.

5.2.1.4.- Modelo de Misk.

a).- Influencia de la velocidad de la rotación.

Proceso de cálculo :

1.- Se fija el valor de la velocidad de la Fase Continua y de la Fase Dispersa.

2.- De los datos experimentales sobre tamaño de gotas, obtener :

$$d = f(N), \text{ a } V_c \text{ y } V_d \text{ Ctes}$$

- - - - - { 5.4 }

3.- Para diferentes valores de la velocidad de la rotación, evaluar la Ecuación 5.4 para obtener el tamaño de las gotas promedio.

4.- Con el tamaño de las gotas evaluar la Velocidad Terminal considerando que v_t es una buena aproximación a V_k . De la Figura 2.1 se obtiene :

$$v_t = (28.67 \frac{\text{cm/seg}}{\text{cm}}) (d) \quad \text{--- (5.5)}$$

5.- Con la Velocidad Terminal evaluar el Número de Reynolds :

$$\text{Re} = \frac{d v_t \rho_c}{\mu_c}$$

$$= 2867 d^2 \quad \text{--- (5.6)}$$

6.- Con Re y la Figura 2.2 evaluar α

7.- Evaluar Z. De la Ecuación 2.12 se obtiene :

$$Z = 1.128 (1/d)^{1/4}$$

--- (5.7)

8.- Substituir V_C , V_D , v_t , Z y $\tilde{\alpha}$ en la Ecuación 2.11

resolviendo para X

En este caso se tomó :

$$100 < N < 500$$

b).- Influencia de la velocidad de la Fase Dispersa.

El proceso de solución de la Ecuación de Misesk es el descrito.

Ahora lo que se varia es la velocidad de la Fase Dispersa.

En el paso 2 se usa

$$d = f(V_D) \text{ a } N \text{ y } V_C \text{ Ctes}$$

Procediendo a evaluar las Ecuaciones 5.5 , 5.6 y 5.7 , resolviendo posteriormente la Ecuación 2.11.

c).- Influencia de la velocidad de la Fase Continua.

El proceso de solución es el recién descrito con los cambios adecuados.

A continuación se muestran gráficas típicas resultantes de la comparación de :

i).- La influencia esperada , según el caso , de acuerdo a los modelos considerados. En la - evaluación del Modelo de Misesk se hizo uso de la información sobre tamaño de gotas observado , expuestos en la sección 5.1.

ii).- Así mismo , en las mismas gráficas se encontrará la influencia experimental observada.

Cabe hacer notar que éstas son sólo una muestra -- del total considerado. En todos los casos se observó la misma tendencia.

INFLUENCIA EXPERIMENTAL Y TEORICA DE LA VELOCIDAD DE
ROTACION SOBRE LA FRACCION RETENIDA DE LA FASE DISPERSA

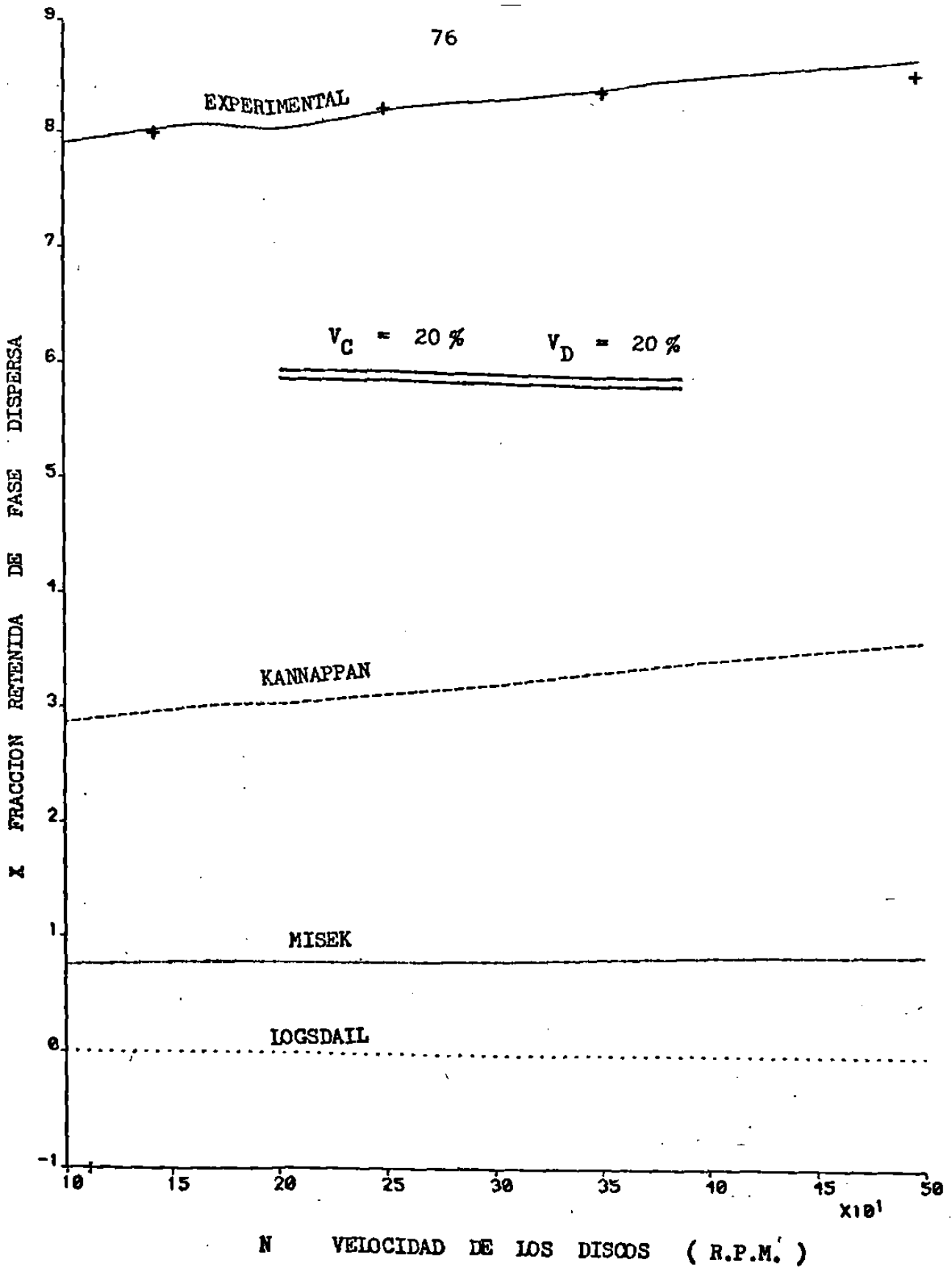


FIGURA 5.7

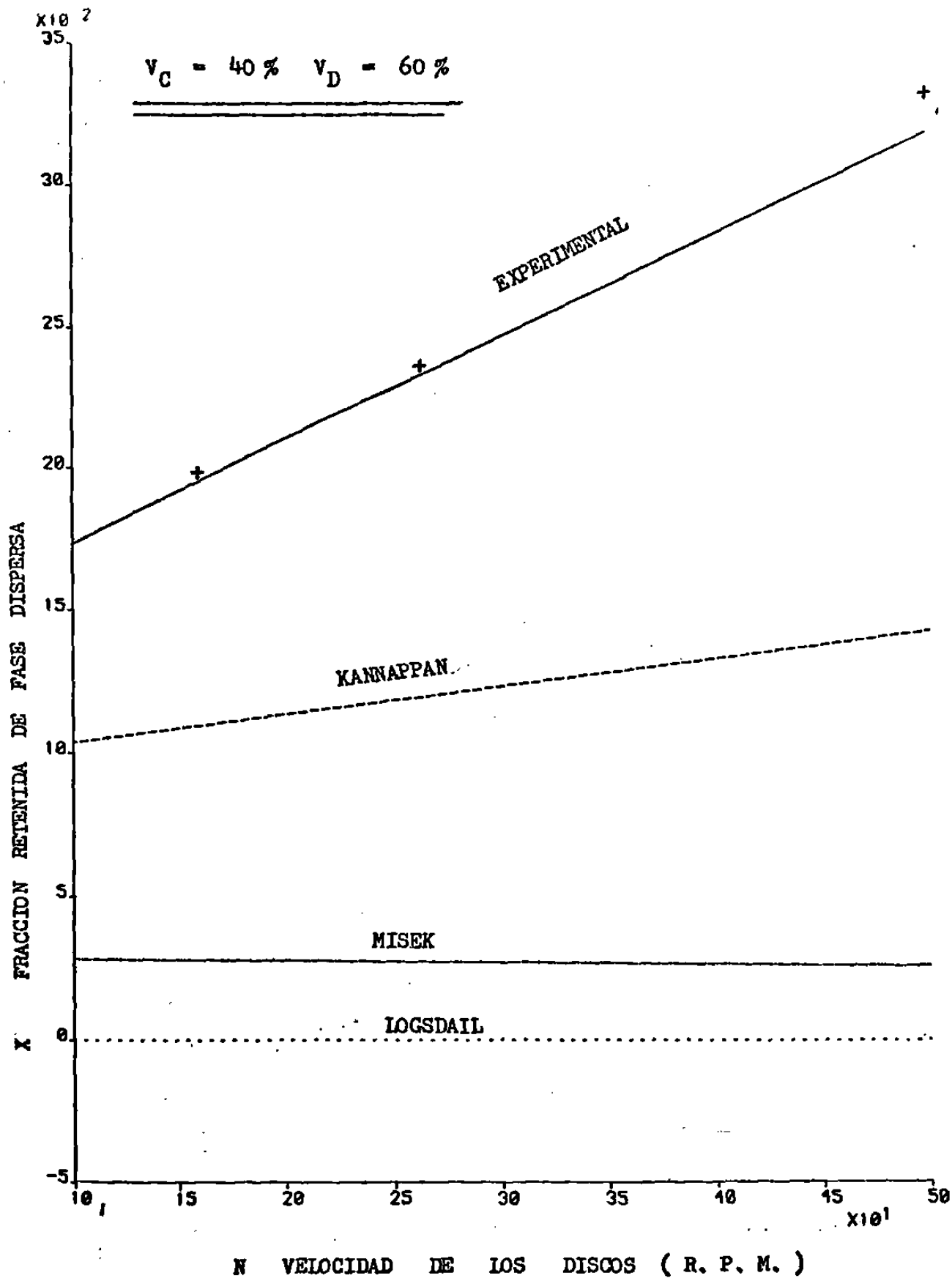


FIGURA 5.8

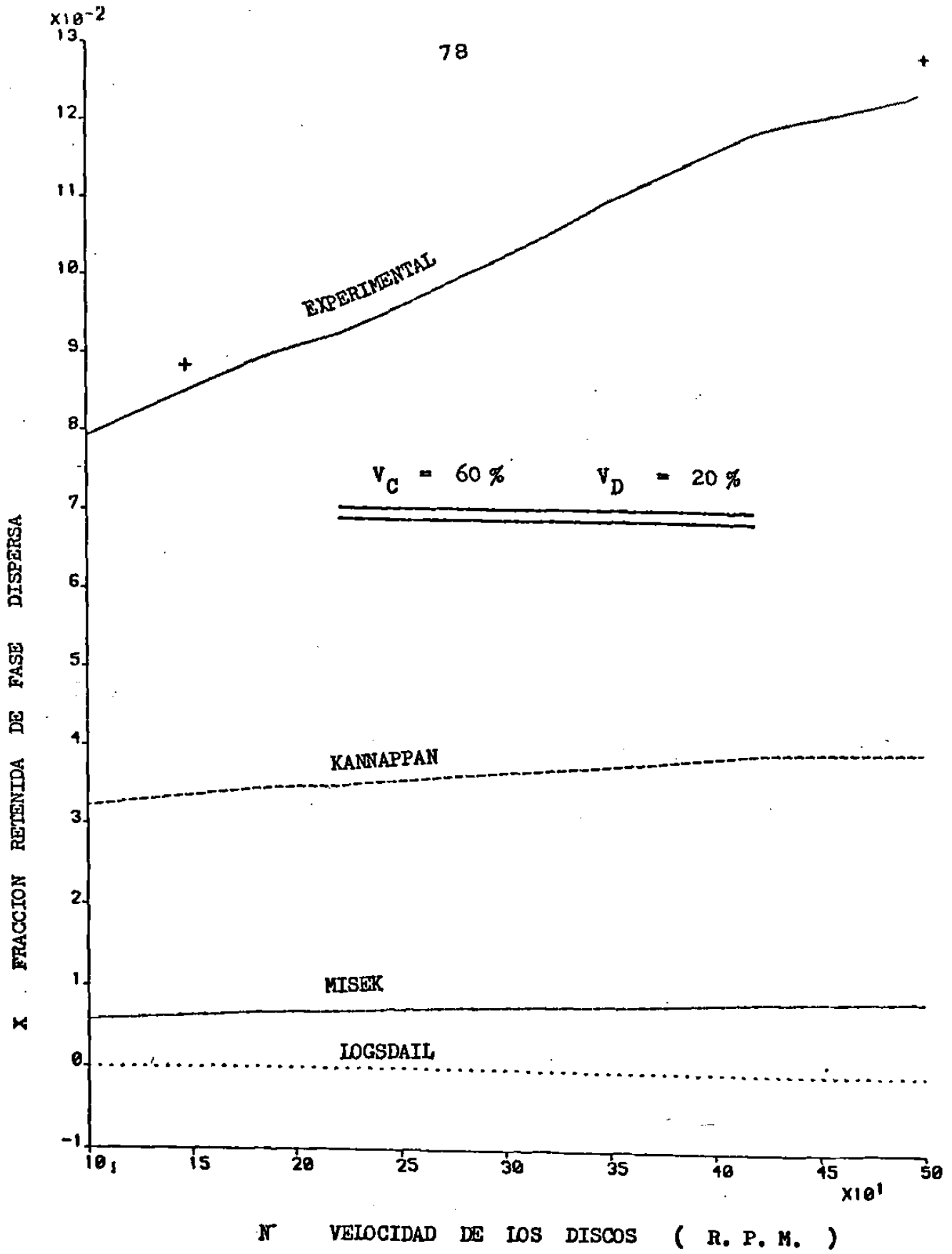


FIGURA 5.9

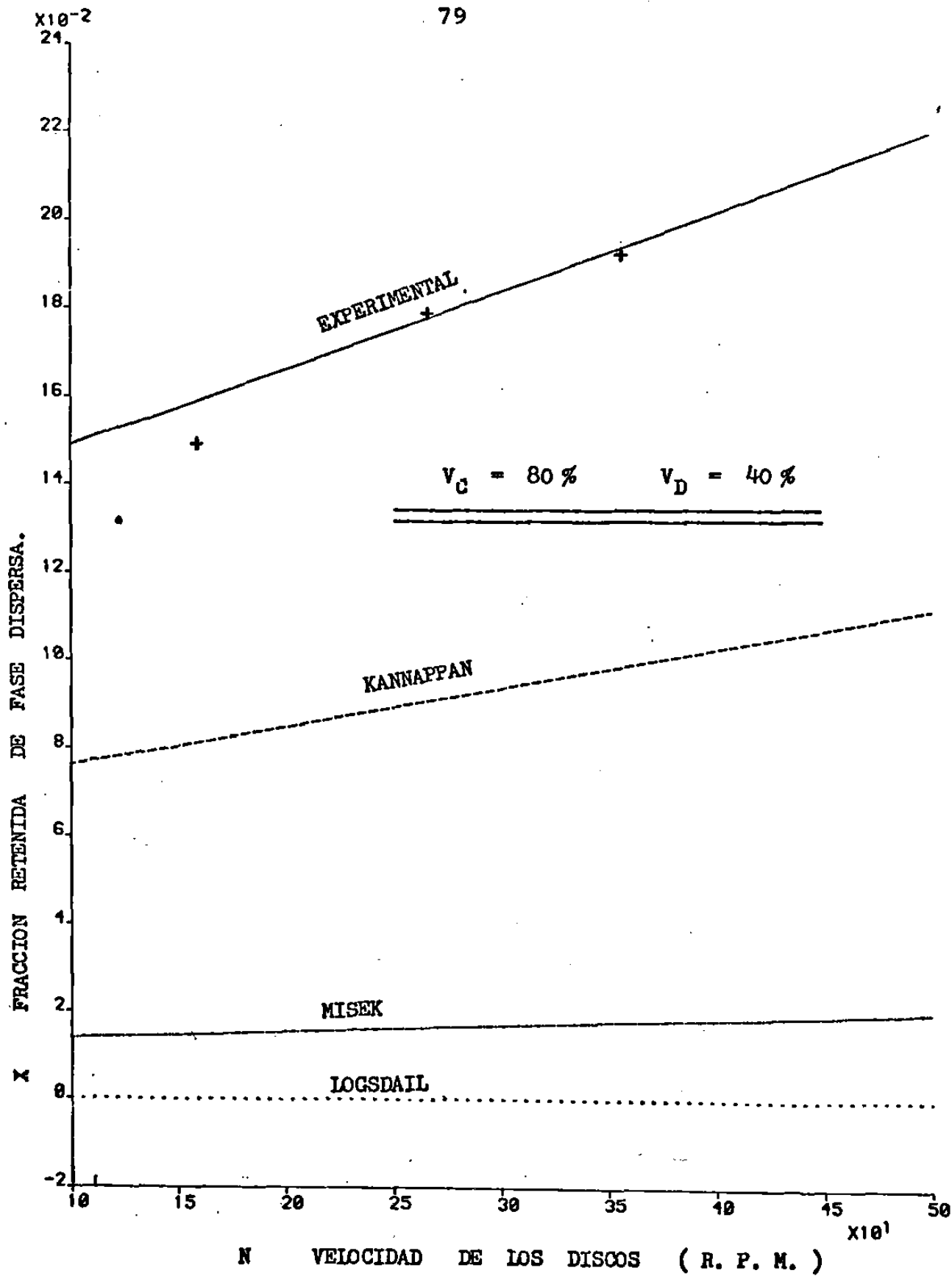


FIGURA 5.10

INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE LA FASE CONTINUA SOBRE
LA FRACCION RETENIDA DE LA FASE DISPERSA.

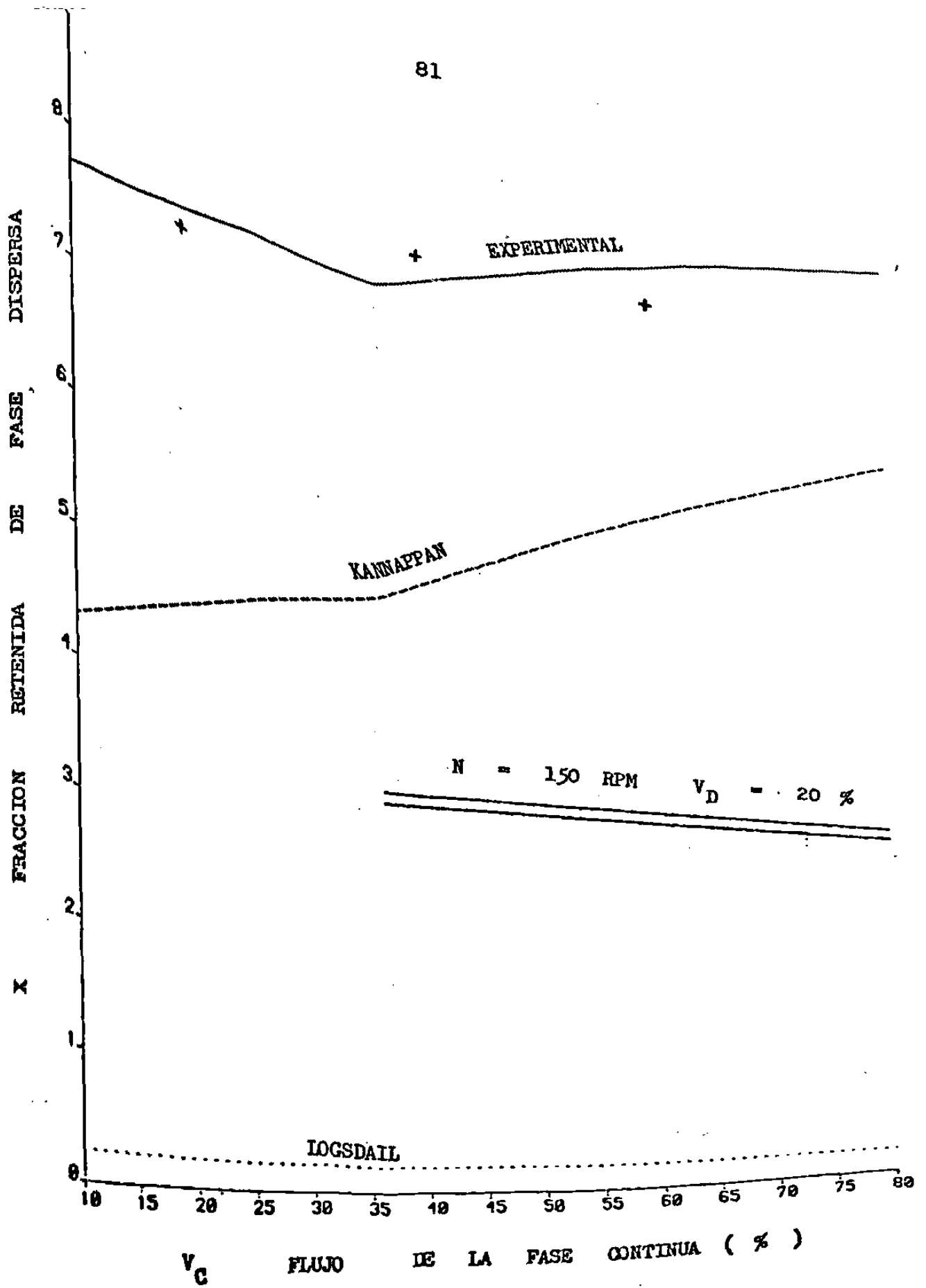


FIGURA 5.11

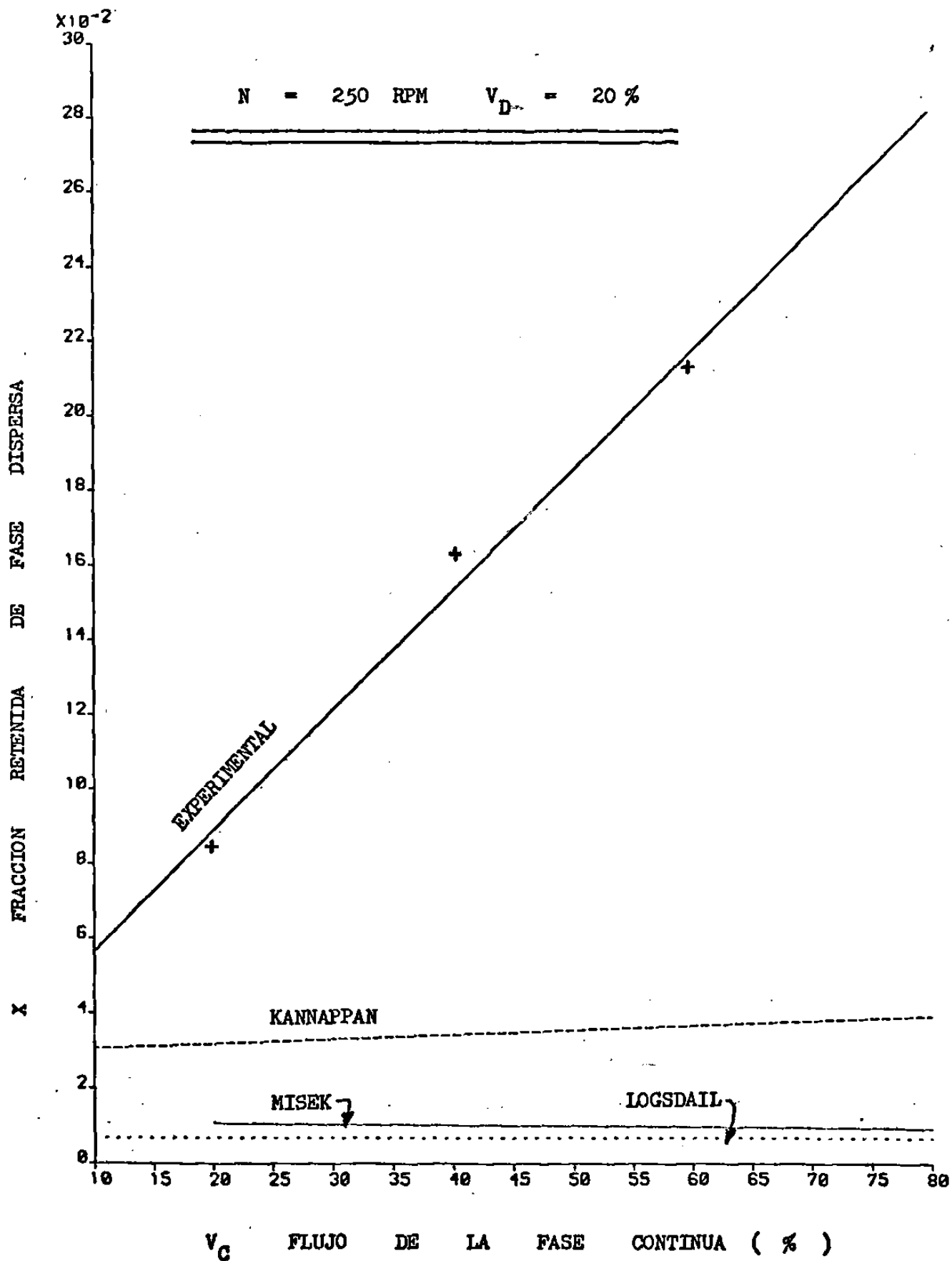


FIGURA 5.12

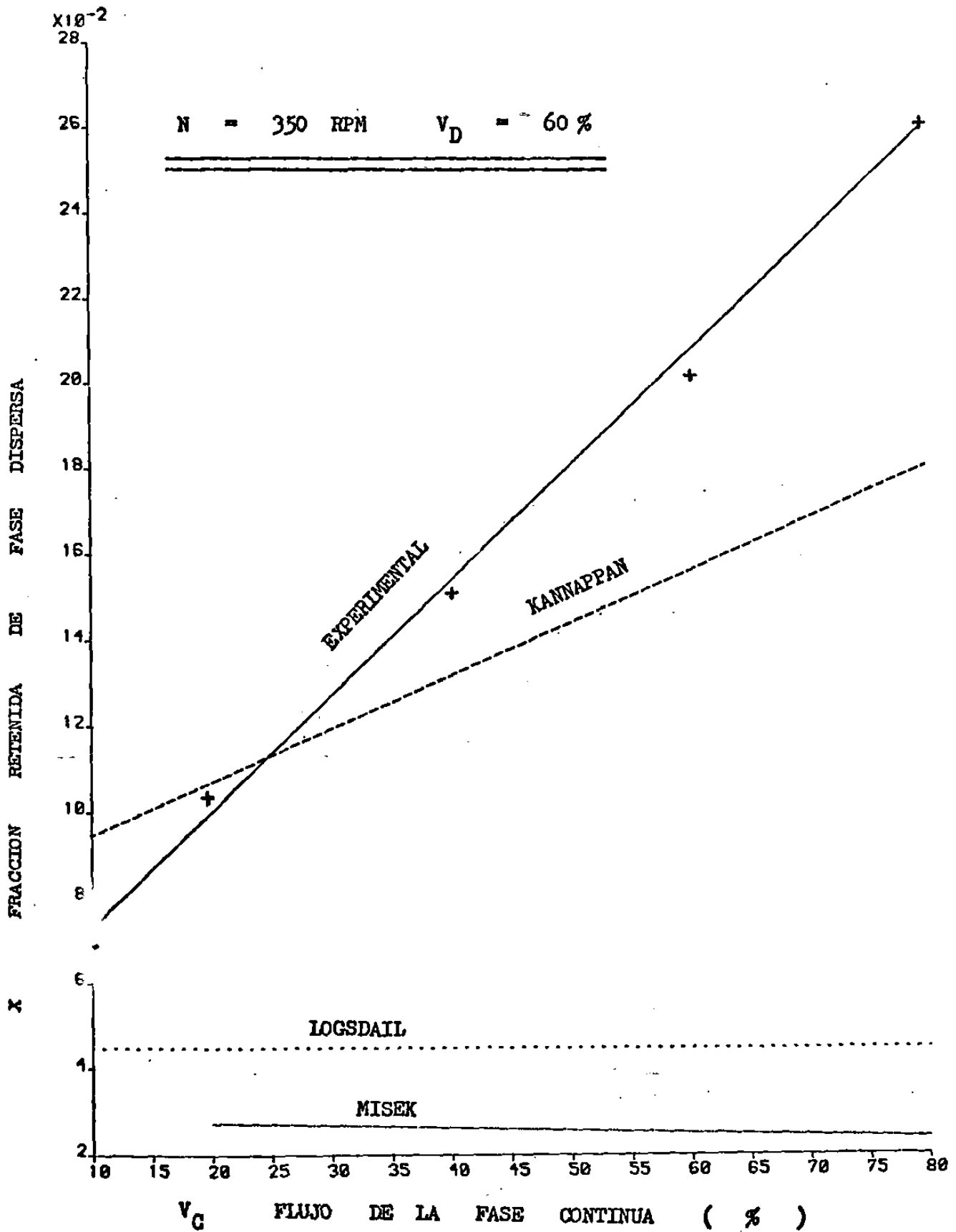


FIGURA 5.13

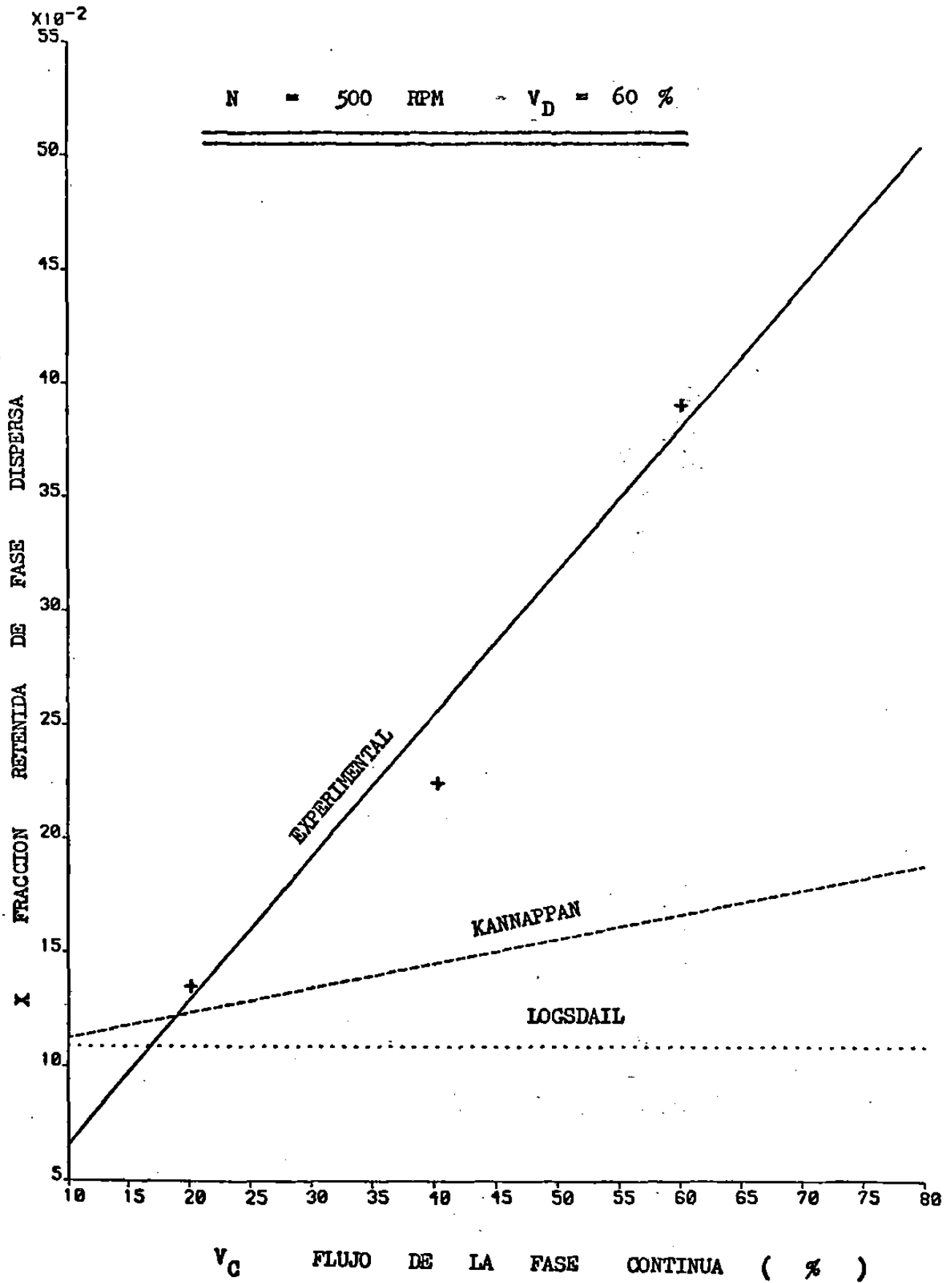


FIGURA 5.14

INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE LA FASE DISPERSA SOBRE
LA FRACCION RETENIDA DE LA FASE DISPERSA.

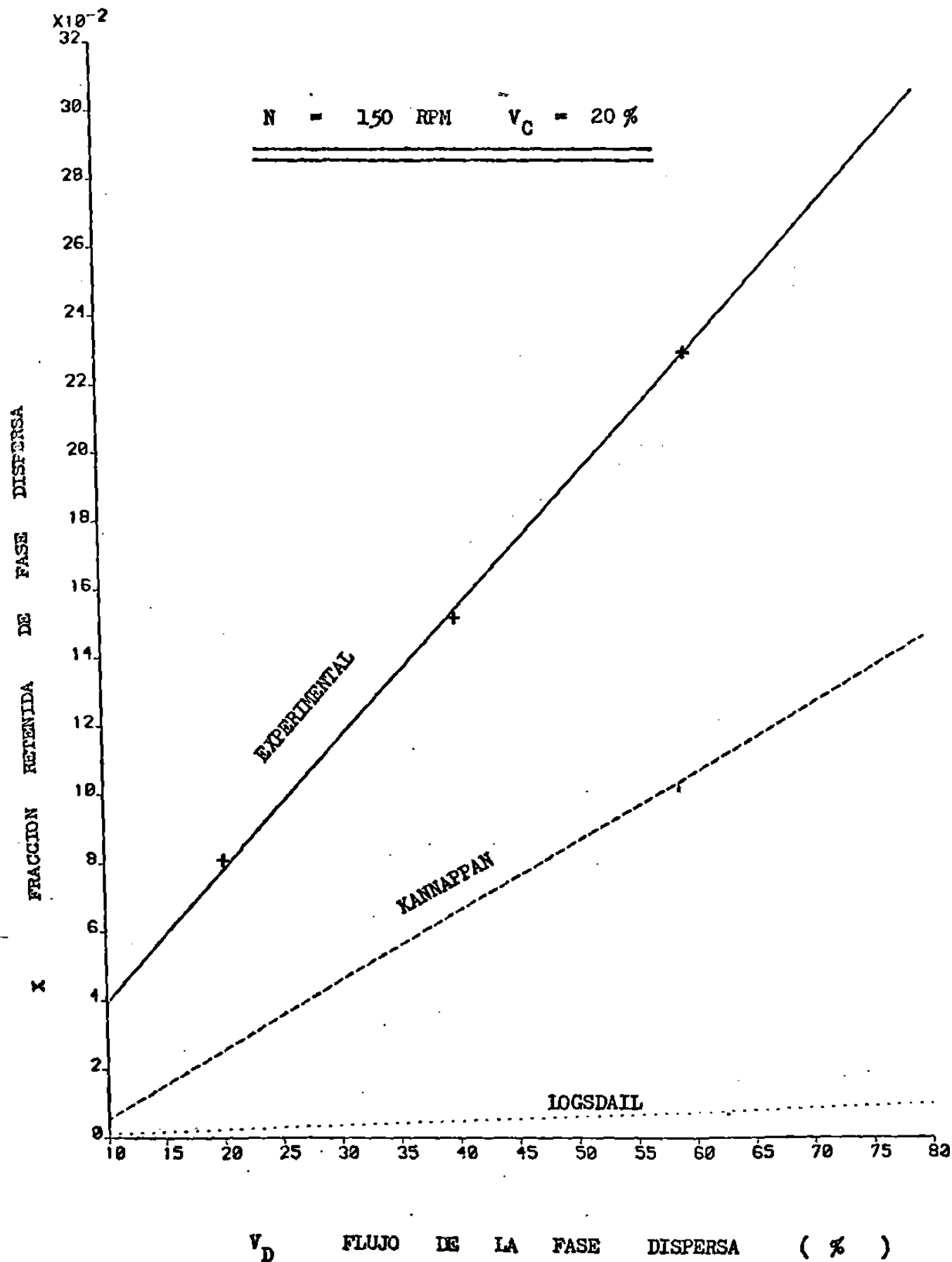


FIGURA 5.15

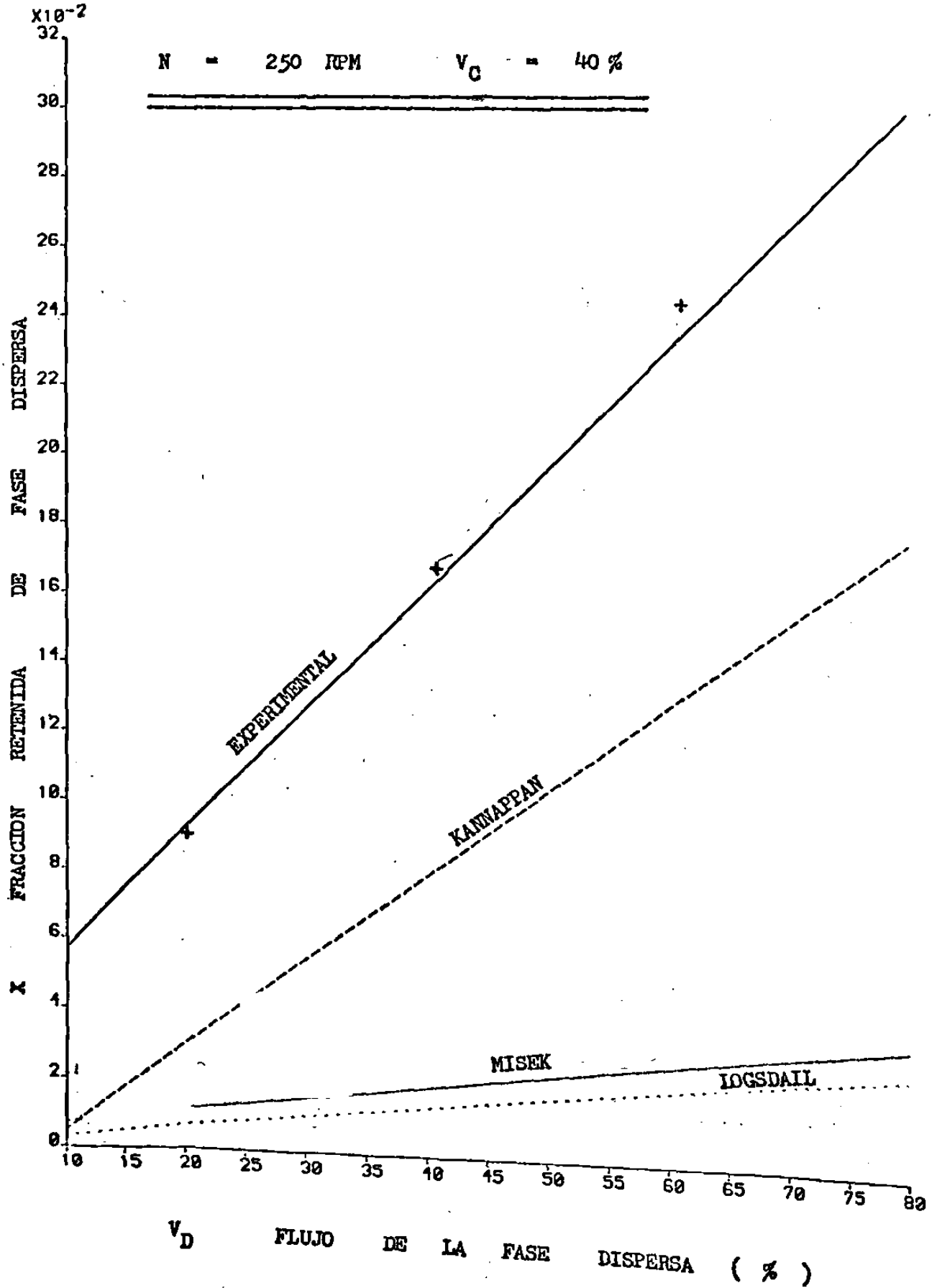


FIGURA 5.16

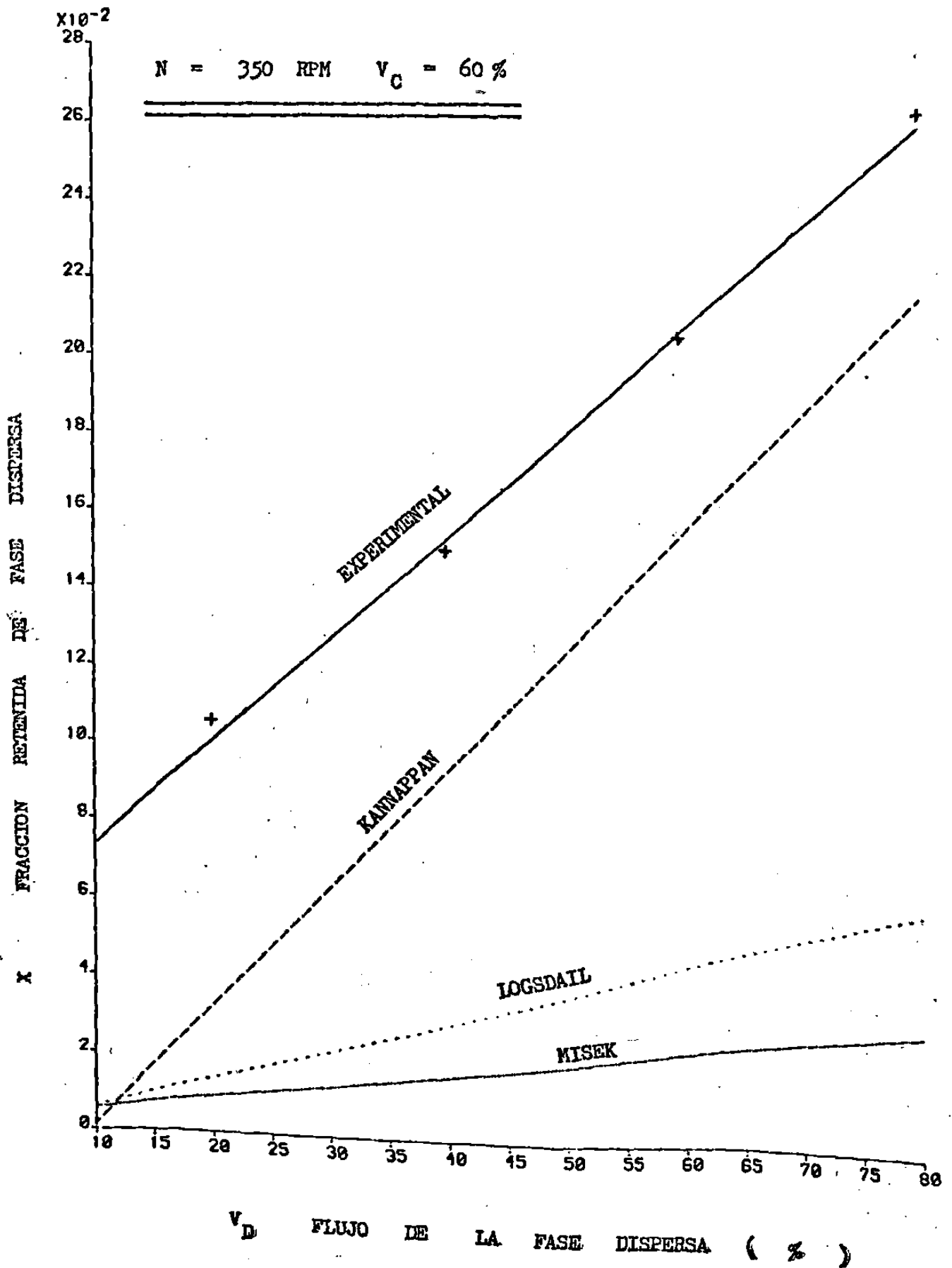


FIGURA 5.17

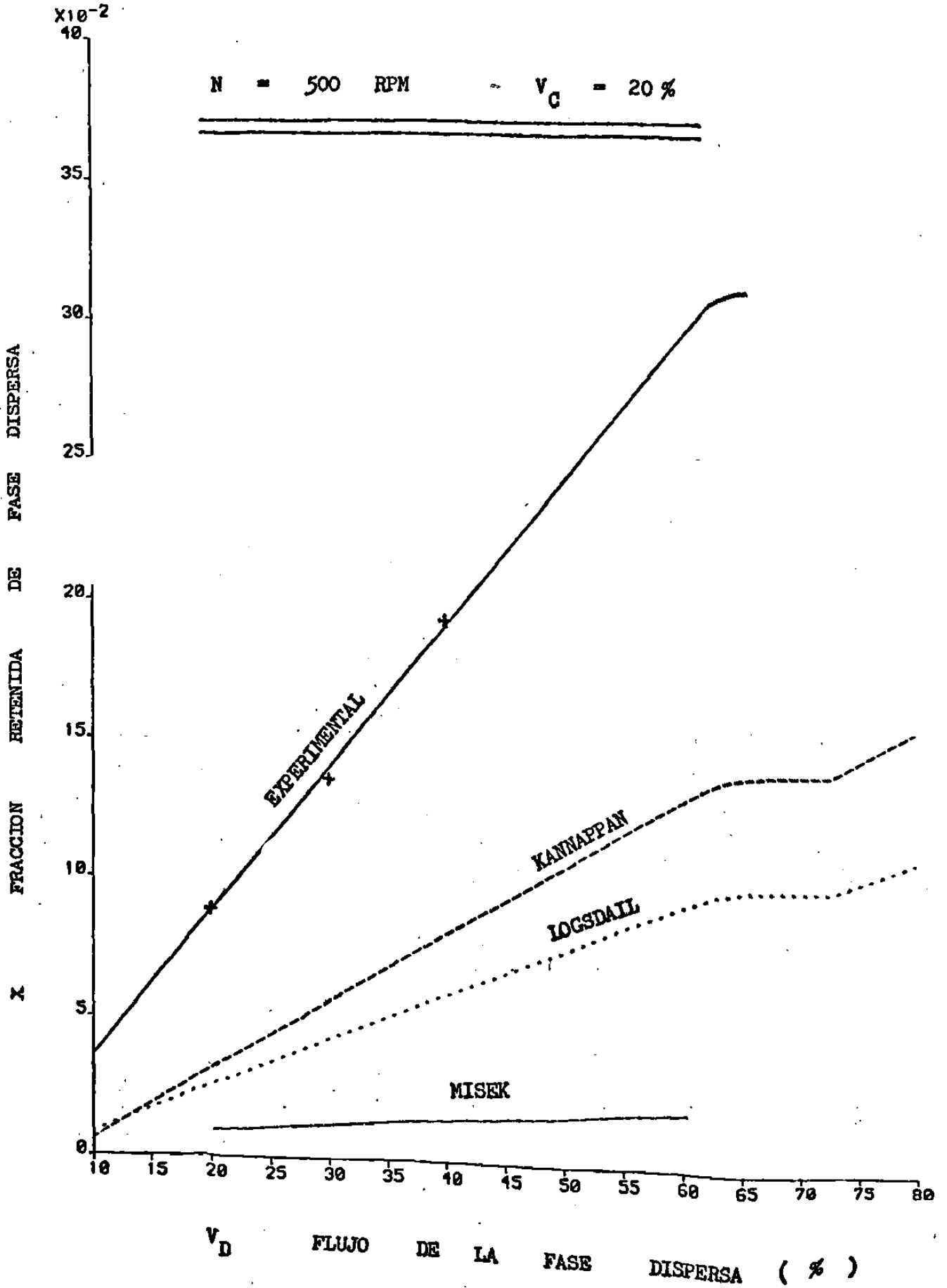


FIGURA 5.18

3.3.- Análisis de la información experimental.

Tal , como se hace mención en el Capítulo 4.4 , la información experimental se divide en 3 grupos para observar la influencia , por separado , de cada una de la variables involucradas en las condiciones de operación. A continuación se encontrará las gráficas correspondientes a :

- i).- La influencia observada de la velocidad de la rotación sobre la Fracción Retenida de la Fase Dispersa , manteniendo fija la velocidad de la Fase Continua y para diferentes valores constantes de la velocidad de la Fase Dispersa.
- ii).- La influencia observada de la velocidad de la Fase Continua , sobre la Fracción Retenida de la Fase Dispersa , manteniendo fija la rotación y para diferentes valores constantes de la velocidad de la Fase Dispersa.
- iii).- La influencia observada de la velocidad de la Fase Dispersa , sobre la Fracción Retenida de la Fase Dispersa , manteniendo fija la velocidad de rotación , para diferentes valores constantes de la velocidad de la Fase Continua.

INFLUENCIA EXPERIMENTAL DE LA VELOCIDAD DE LA RÓTACION ,
SOBRE LA FRACCION RETENIDA DE LA FASE DISPERSA , PARA
DIFERENTES VALORES CONSTANTES DE LA VELOCIDAD DE LA
FASE CONTINUA .

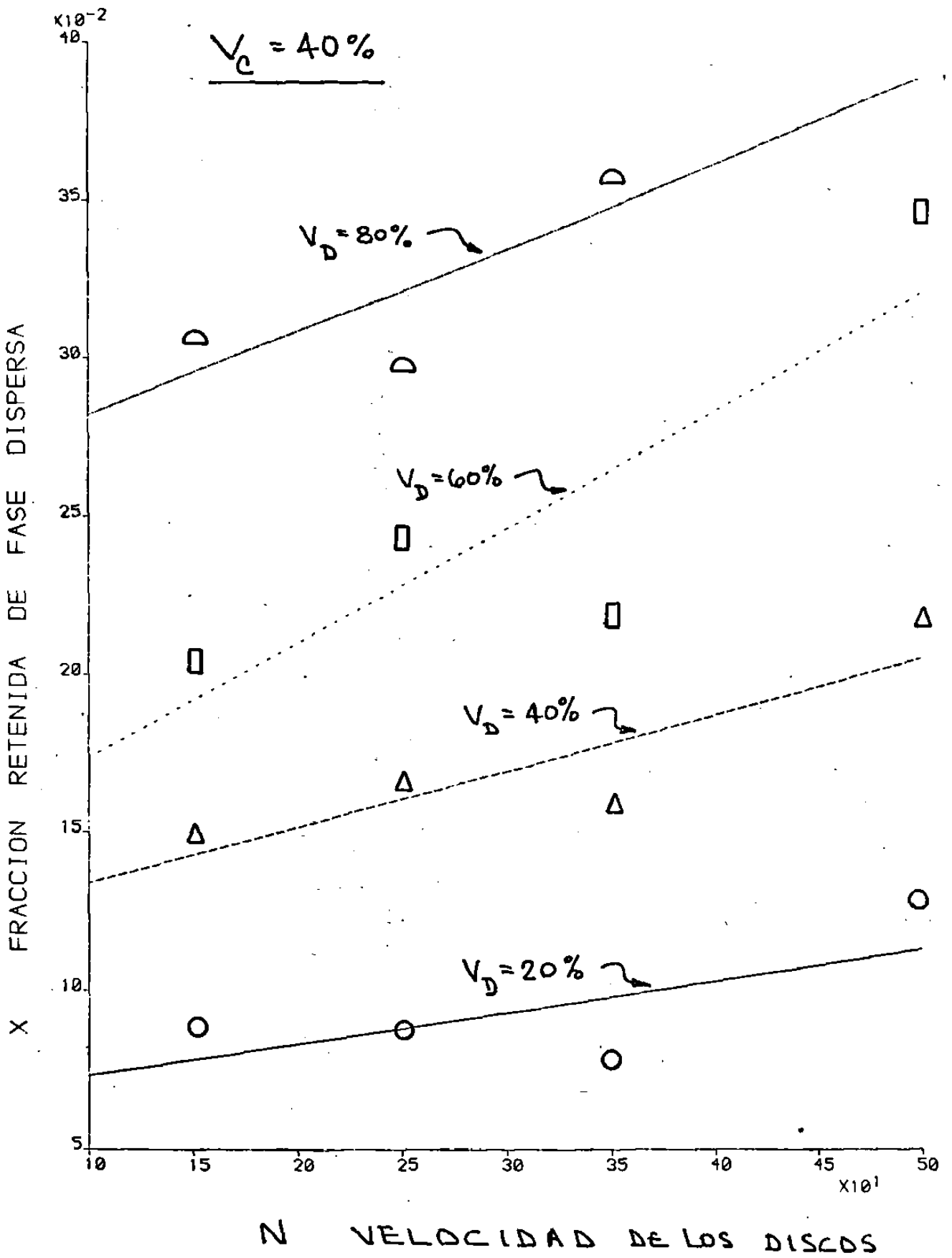


FIGURA 5.19

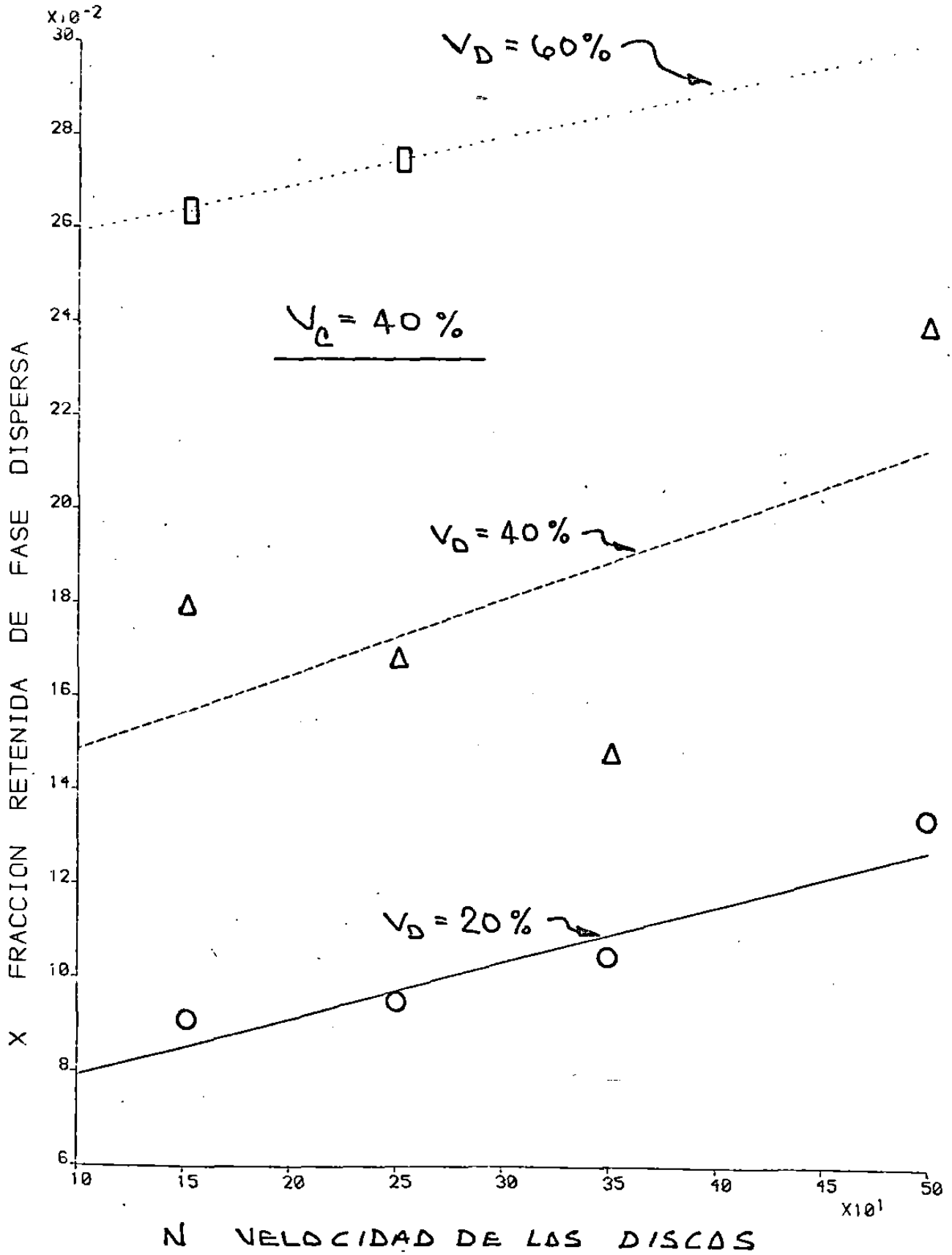


FIGURA 5.20

INFLUENCIA EXPERIMENTAL DE LA VELOCIDAD DE LA FASE
CONTINUA , SOBRE LA FRÁCCION RETENIDA DE LA FASE DIS-
PERSA , PARA DIFERENTES VALORES CONSTANTES DE LA VELO--
CIDAD DE LA FASE DISPERSA.

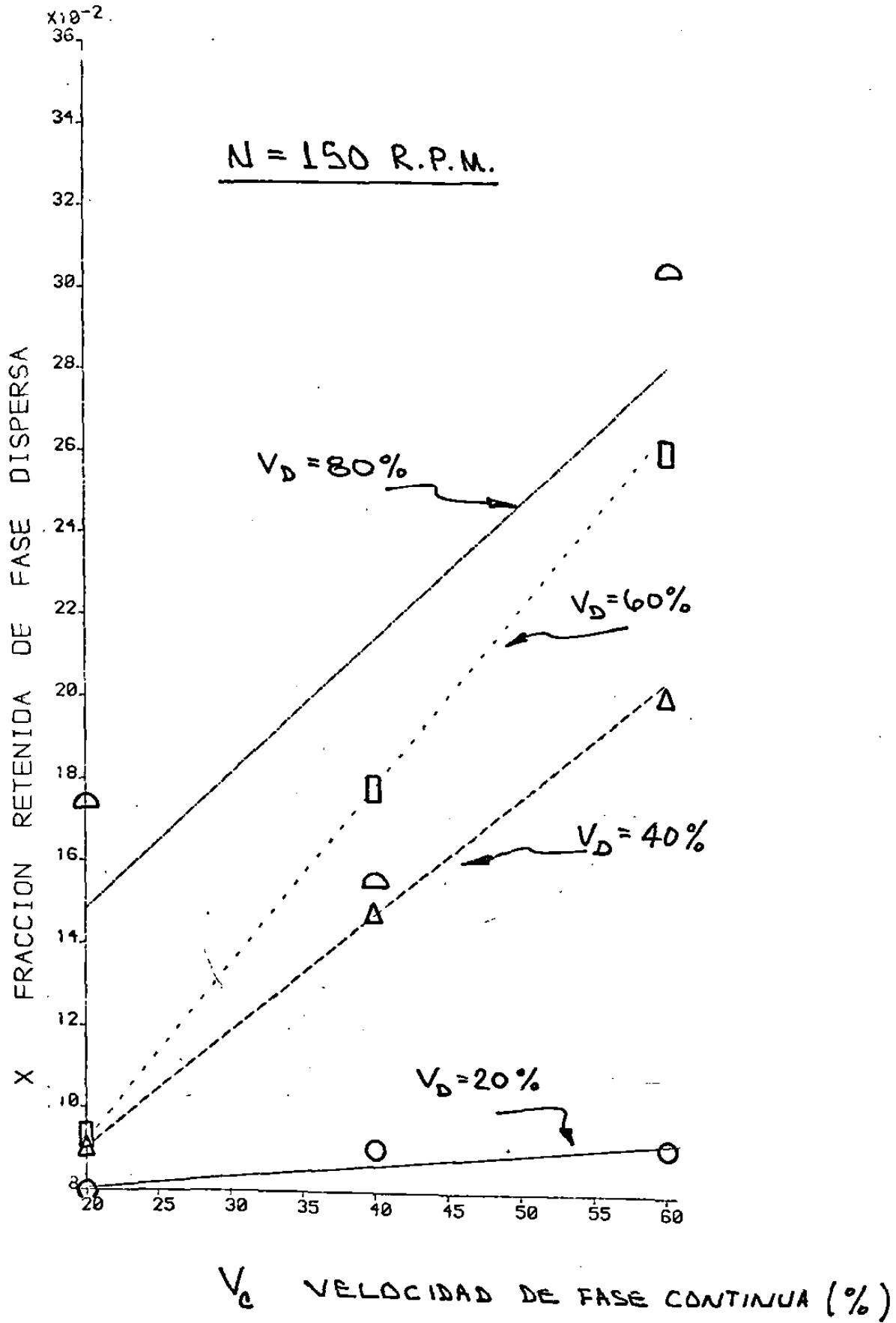


FIGURA 5.21

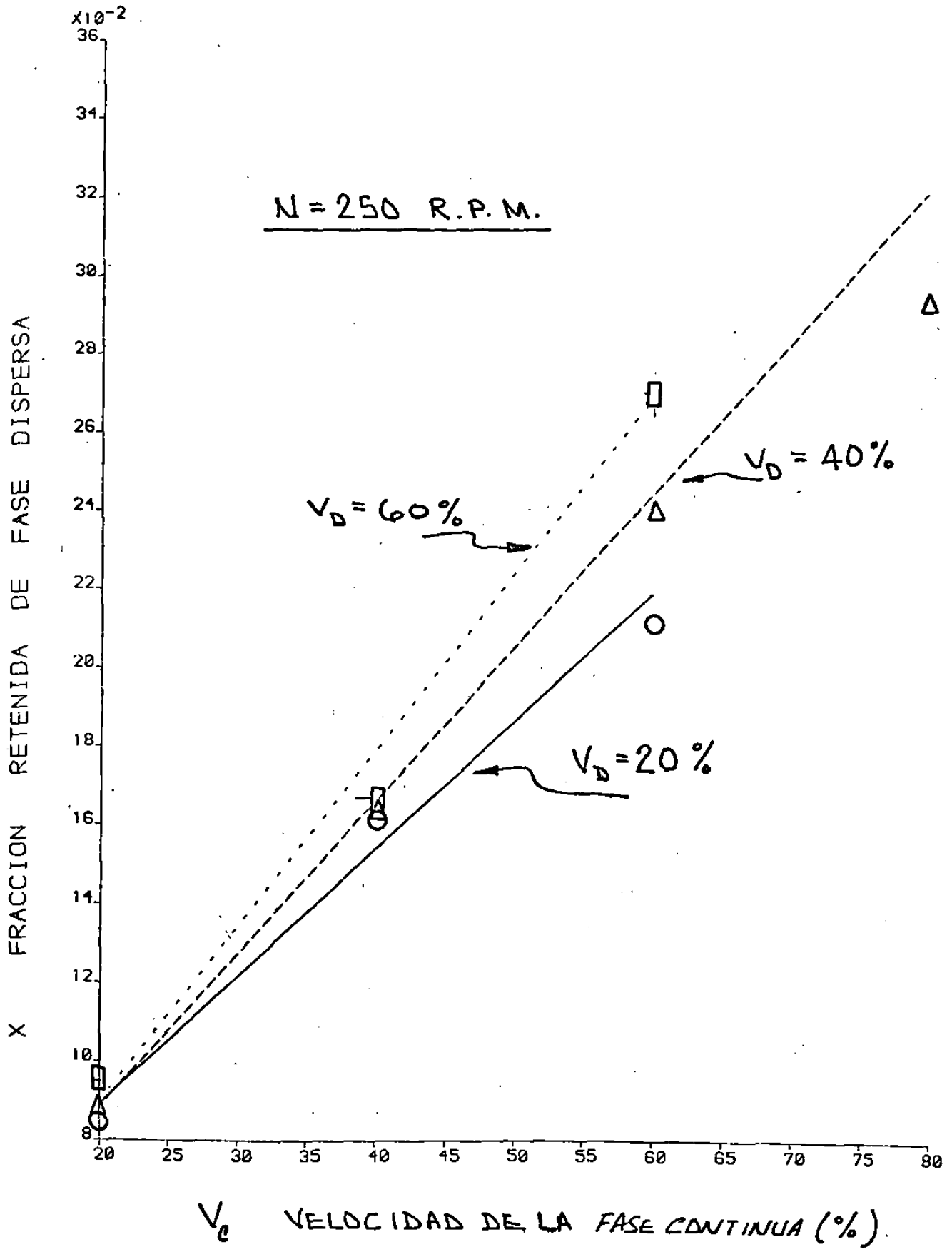


FIGURA 5.22

INFLUENCIA EXPERIMENTAL DE LA VELOCIDAD DE LA FASE
DISPERSA , SOBRE LA FRACCION RETENIDA DE LA FASE
DISPERSA , PARA DIFERENTES VALORES CONSTANTES DE LA
VELOCIDAD DE LA FASE CONTINUA .

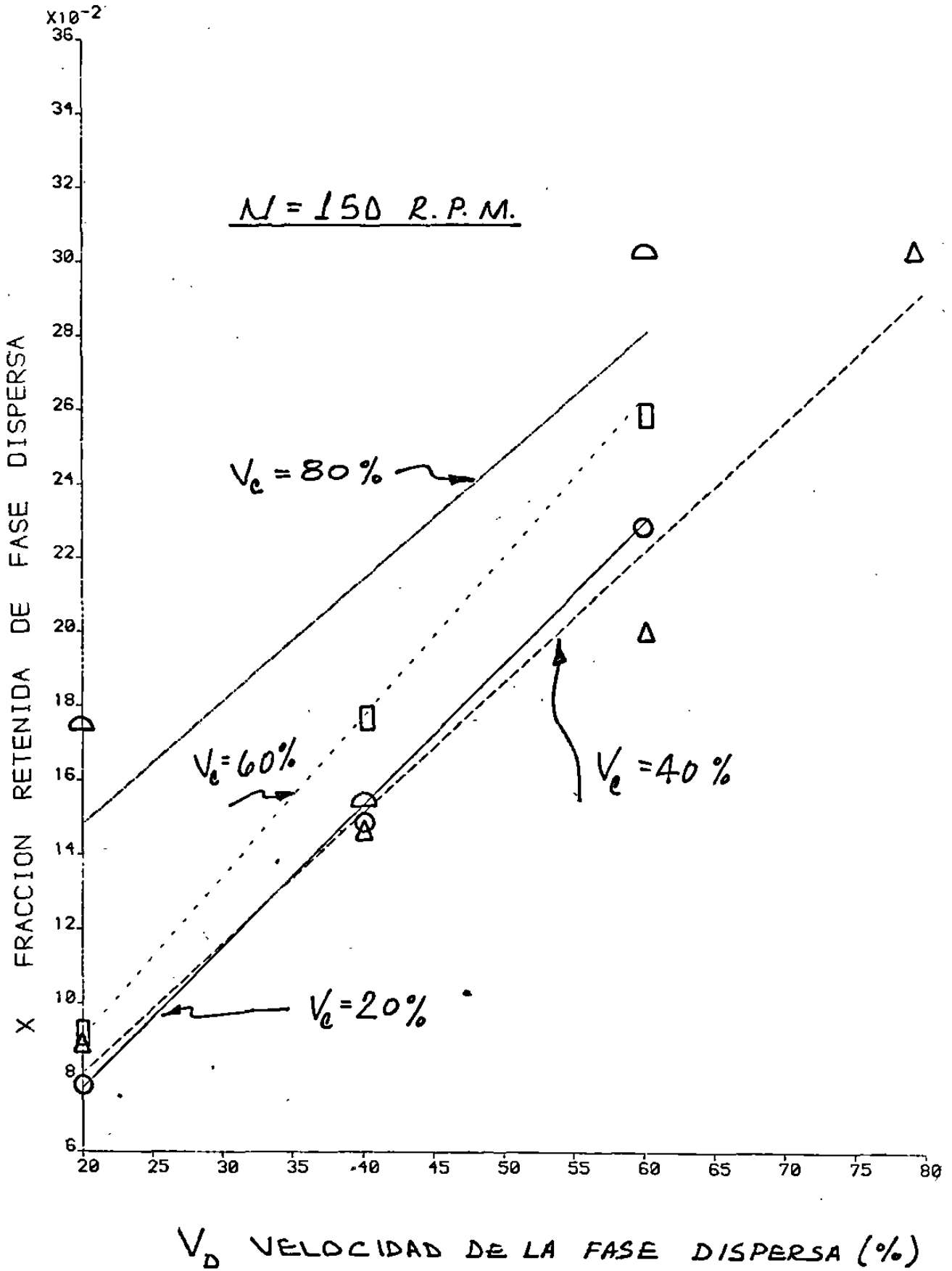


FIGURA 5.23

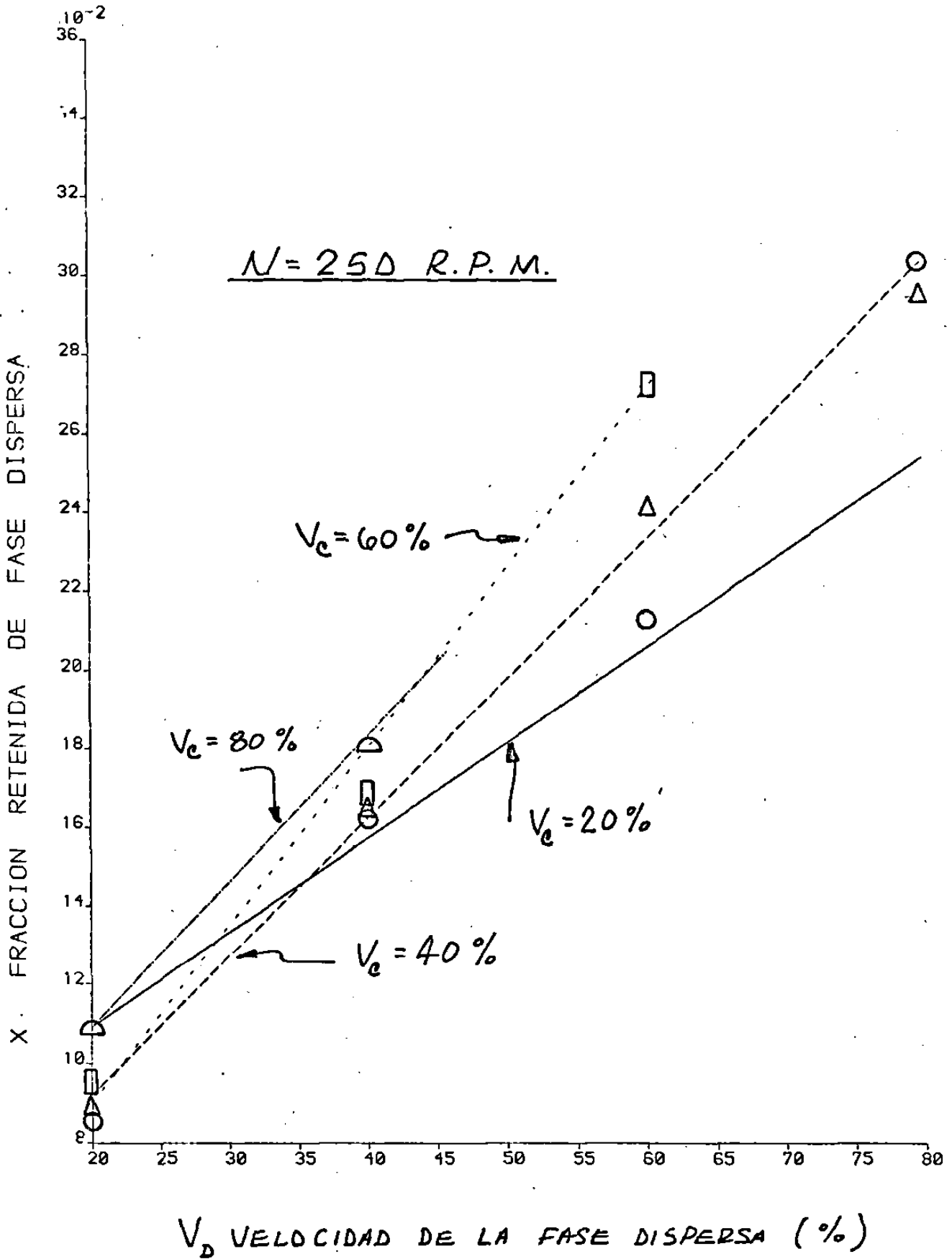


FIGURA 5.24

5.4.- Modelo propuesto sobre la Fracción Retenida de la Fase Dispersa.

Del análisis de la Información Experimental , sobre la Fracción Retenida de la Fase Dispersa , presentada en la Sección inmediata anterior , se observa que :

- i).- si N , Velocidad de Rotación de los Discos , y V_D , Velocidad de la Fase Dispersa , se mantienen fijos , variando V_C , la Velocidad de la Fase Continua , entonces :

$$X = a' + b' V_C \text{ - - - - - (5.8)}$$

- ii).- Si N y V_C , la Rotación y la Velocidad de la Fase Continua , se mantienen fijas , entonces :

$$X = c' + d' V_D \text{ - - - - - (5.9)}$$

- iii).- Si V_C y V_D , velocidades de las Fases Continua y Dispersa se mantienen fijas , entonces:

$$X = e' + f' N \text{ - - - - - (5.10)}$$

Además , en el caso i). se observa que , manteniendo fijo la Rotación de los Discos , N , variando la Velocidad de la Fase Dispersa , V_D , cambian los valores de los Coeficientes a' y b' . Es evidente que la variación es lineal.

De igual forma sucede en ii) , manteniendo fijo la velocidad de la rotación , N , los coeficientes c' y d' son linealmente dependientes de la Velocidad de la Fase Continua , V_C .

Así , en iii) para valores constantes de la Velocidad de la Fase Continua V_C , los Coeficientes son linealmente dependientes de la Velocidad de la Fase Dispersa V_D .

En base a estas observaciones se desarrolla el siguiente Modelo para la representación de la Fracción Retenida de la Fase Dispersa , cumpliendo así con el objetivo fundamental establecido antes del inicio de las actividades desarrolladas en el transcurso de esta investigación.

Considerando que :

$$X = f_1 (V_C , V_D , N) \text{ --- (5.11)}$$

$$= f_2 (V_C) f_3 (V_D) f_4 (N) \text{ --- (5.11')}$$

Además considerando que :

$$f_2 (V_C) = a + b V_C \text{ --- (5.12)}$$

$$f_3 (V_D) = c + d V_D \text{ --- (5.13)}$$

$$f_4 (N) = e + f N \text{ --- (5.14)}$$

Esta última consideración esta basada en las observaciones hechas en la Sección 5.3.

Es de hacer notar además que :

$$a = f (V_D , N) \text{ ----- (5.15)}$$

$$b = f (V_D , N) \text{ ----- (5.16)}$$

$$c = f (V_C , N) \text{ ----- (5.17)}$$

$$d = f (V_C , N) \text{ ----- (5.18)}$$

$$e = f (V_C , V_D) \text{ ----- (5.19)}$$

$$f = f (V_C , V_D) \text{ ----- (5.20)}$$

Substituyendo (5.12) , (5.13) , (5.14) en (5.11)

$$X = (a + bV_C) (c + dV_D) (e + f N) \text{ ----- (5.21)}$$

Rearreglando esta última Ecuación , resulta :

$$X = bdf (a/b + V_C) (c/d + V_D) (e/f + N) \text{ ----- (5.22)}$$

Proceso de evaluación de a/b , c/d , e/f y bdf :

1.- Evaluación de a/b.

De la Ecuación (5.21) , resulta

$$X = \frac{(c + dV)}{D} (e + fN) a + \frac{(c + dV)}{D} (e + fN) b \frac{V}{C} \quad (5.23)$$

De esta última Ecuación , haciendo

$$a' = \frac{(c + dV)}{D} (e + fN) a \quad (5.24)$$

$$b' = \frac{(c + dV)}{D} (e + fN) b \quad (5.25)$$

De donde resulta que :

$$X = a' + b' \frac{V}{C}$$

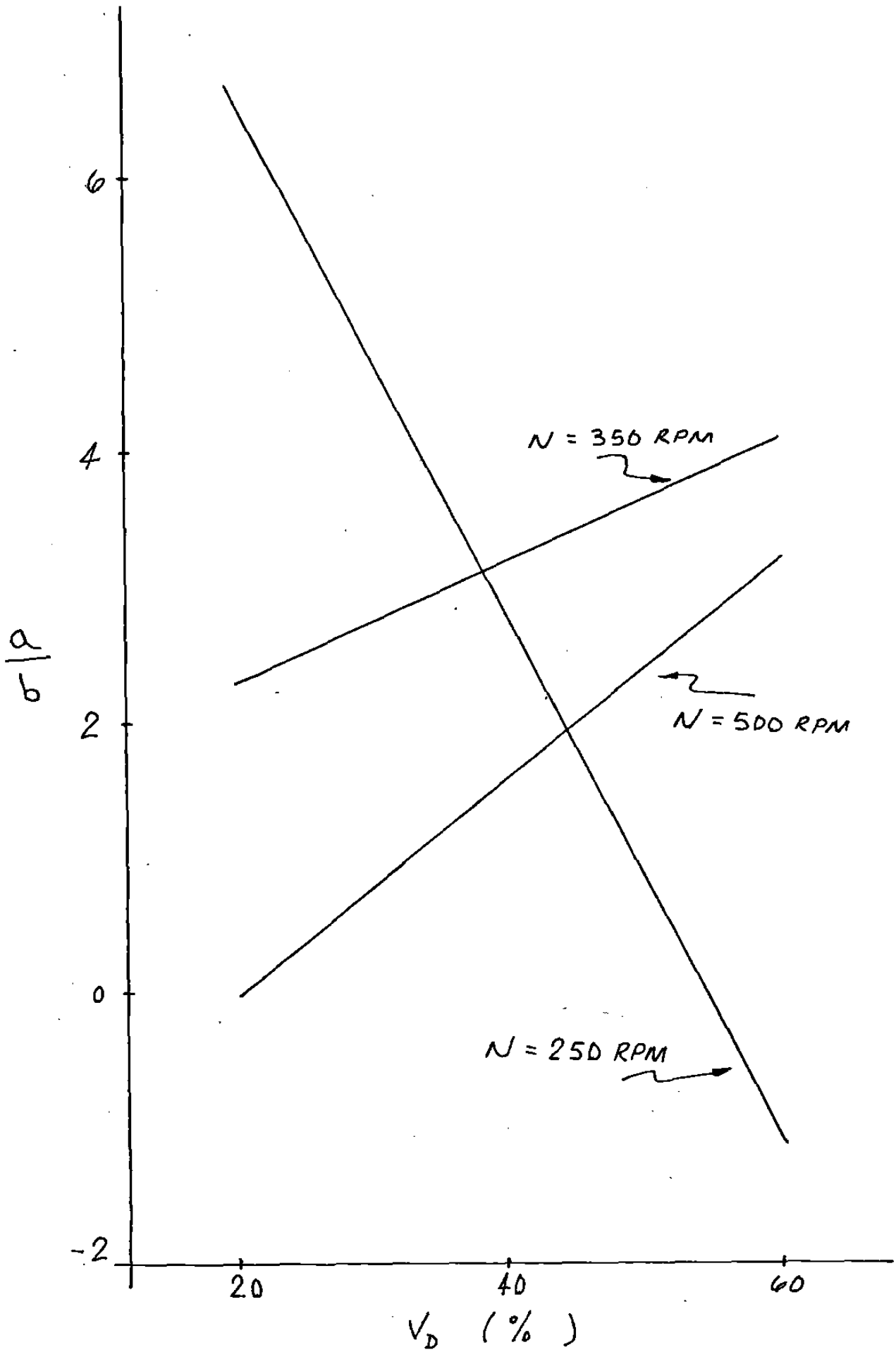
Obteniendose de la Sección 5.3 los Coeficientes

a' y b'

Además , de (5.24) y (5.25)

$$\frac{a'}{b'} = \frac{(c + dV)}{D} (e + fN) a}{(c + dV)} \frac{(e + fN) b}{D} = \frac{a}{b} \quad (5.26)$$

De aquí que , para valores fijos de la Rotación , N , es posible evaluar a/b para diferentes valores de V . En la Figura 5.25 se encuentra la solución para a/b en función de la Velocidad de la Fase Dispersa , teniendo como parámetro la Rotación.



2.- Evaluación de c/d .

De la Ecuación (5.21)

$$X = \left(a + bV_C \right) \left(e + fN \right) c + \left(a + bV_C \right) \left(e + fN \right) d \frac{V}{D} \quad \text{--- (5.27)}$$

Haciendo

$$c' = \left(a + bV_C \right) \left(e + fN \right) c \quad \text{--- (5.28)}$$

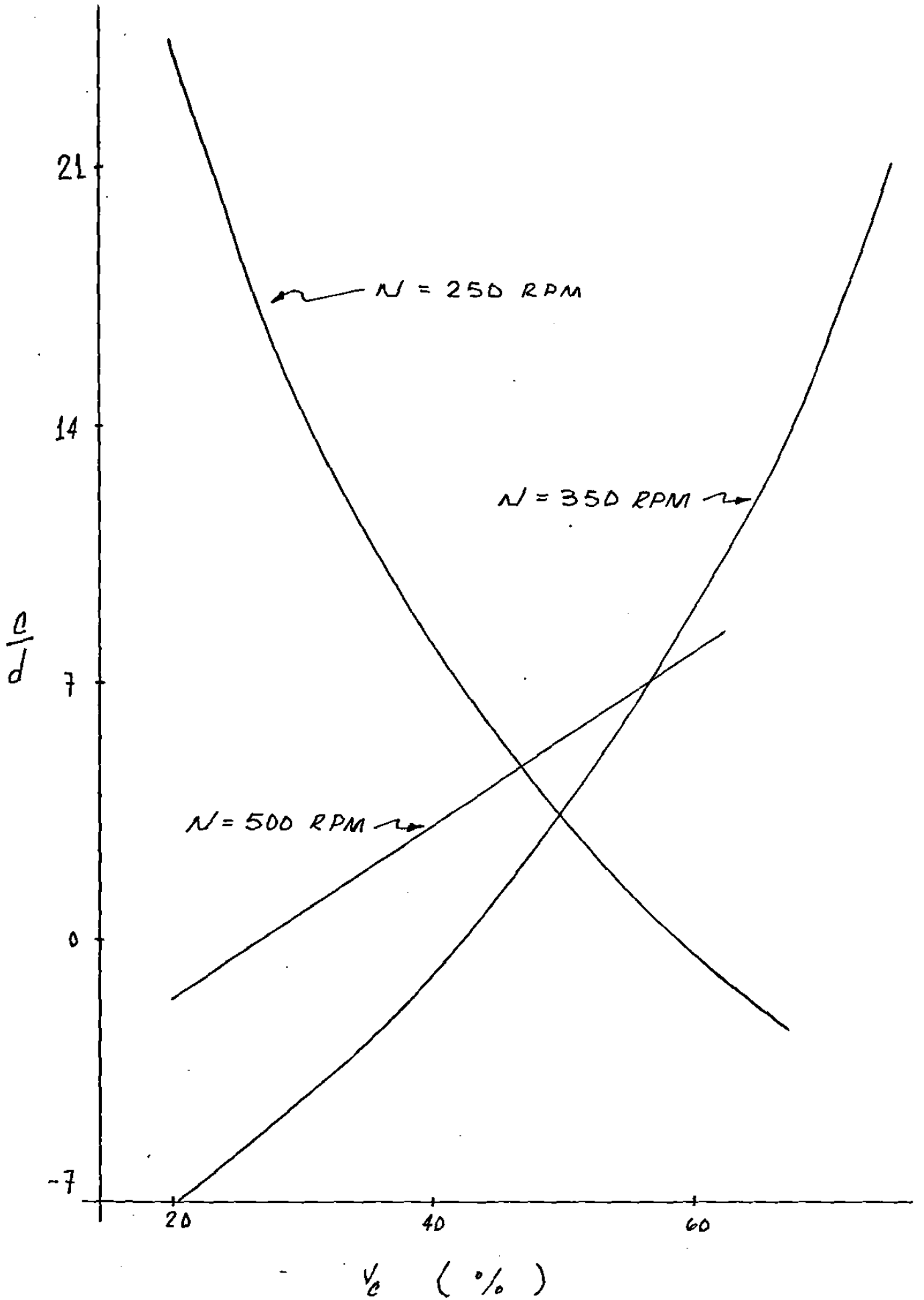
$$d' = \left(a + bV_C \right) \left(e + fN \right) d \quad \text{--- (5.29)}$$

De estas 2 últimas ecuaciones resulta :

$$\frac{c'}{d'} = \frac{\left(a + bV_C \right) \left(e + fN \right) c}{\left(a + bV_C \right) \left(e + fN \right) d} = \frac{c}{d} \quad \text{--- (5.30)}$$

Aquí, de igual manera que para la evaluación de a/b , fijo la Velocidad de la Rotación, N , es posible evaluar c/d en función de la Velocidad de la Fase Continua.

En la Figura 5.26 se encuentra la solución para c/d en función de V_C , obtenida a partir de información analizada en la sección 5.3.



3.- Evaluación de e/f.

Así , de igual manera , de la Ecuación (5.21)
resulta

$$X = \left(\frac{a + bV_C}{C} \right) \left(\frac{c + dV_D}{D} \right) e + \left(\frac{a + bV_C}{C} \right) \left(\frac{c + dV_D}{D} \right) f \quad (5.31)$$

Donde :

$$\frac{e'}{f'} = \frac{\left(\frac{a + bV_C}{C} \right) \left(\frac{c + dV_D}{D} \right) e}{\left(\frac{a + bV_C}{C} \right) \left(\frac{c + dV_D}{D} \right) f} = \frac{e}{f} \quad (5.32)$$

Por lo que fijo la Velocidad de la Fase Continua ,
V_C , es posible , a partir de información considerada
da en la sección 5.3 , evaluar e/f en función de V_D
En la Figura 5.27 se encuentra la solución para
e/f en función de V_D , teniendo como parámetro la
velocidad de la Fase Continua , V_C .

4.- Evaluación de bdf.

El siguiente proceso fué desarrollado para la repre-
sentación gráfica de bdf en función de V_C , V_D y N

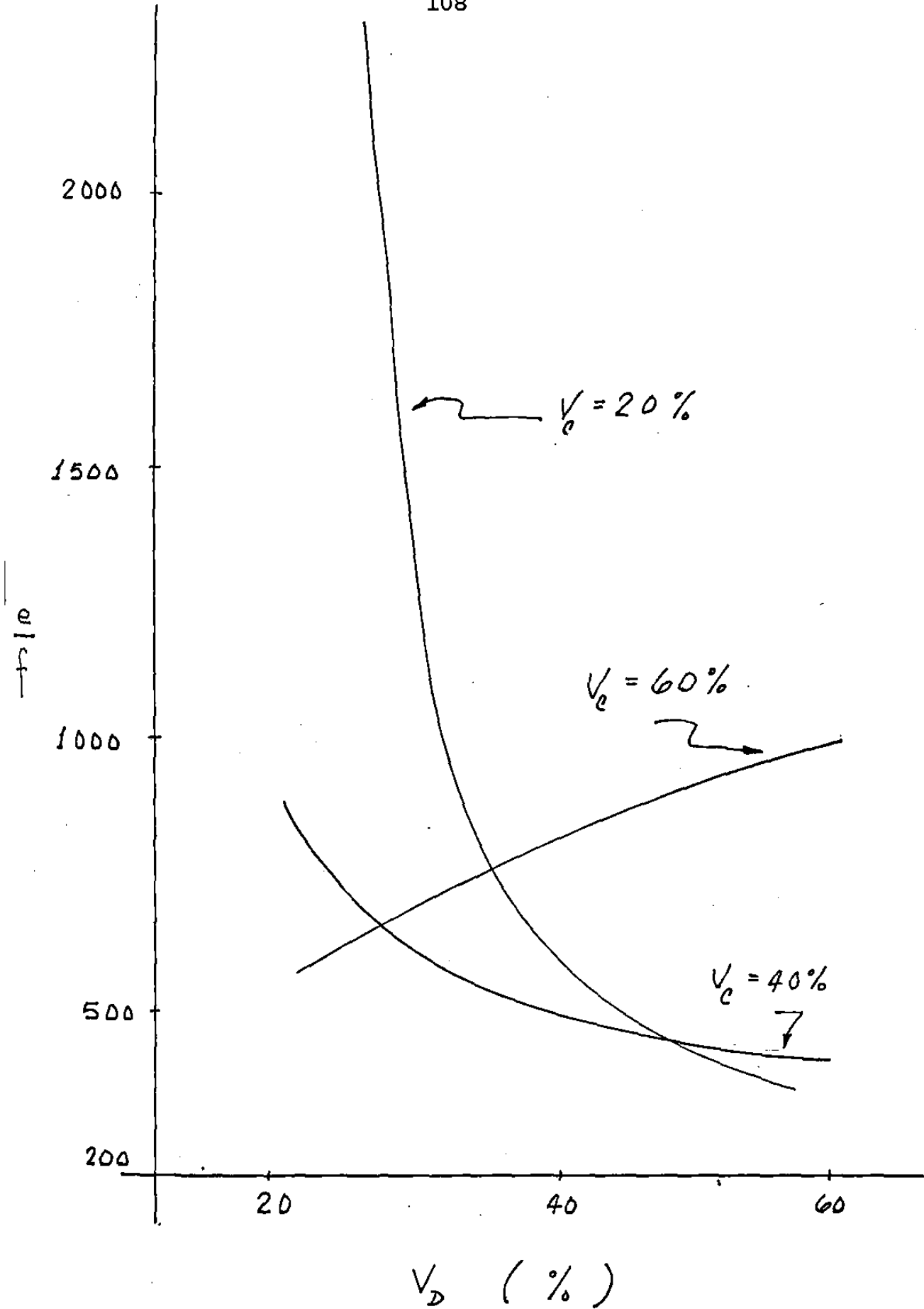


FIGURA 5.27

Proceso :

- 1.- Con N , V y Figura 5.25 obtener a/b .
- 2.- Con N , V y Figura 5.26 obtener c/d .
- 3.- Con V , V y Figura 5.27 obtener e/f .
- 4.- Con V , V y N , de la Sección 5.3 , obtener X
- 5.- Con a/b , c/d , e/f , V , V , N y X , evaluar
la Ecuación 5.22

$$bdf = \frac{X}{\left(\frac{a/b + V}{C} \right) \left(\frac{c/d + V}{D} \right) (e/f + N)}$$

- 6.- Repetir el proceso anterior para diferentes condiciones. En las Figuras 5.28 , 5.29 y 5.30 se encuentra la representación gráfica de la solución para bdf , en función de la Velocidad de la Fase Dispersa , V , teniendo los parámetros N y V fijos.

5.5.- Proceso recomendado para el uso del Modelo propuesto.

- 1.- A partir de V , V y N , con las Figuras respectivas evaluar a/b , c/d , e/f y bdf .
- 2.- Substituir en la Ecuación 5.22

Nota importante :

No es recomendable usar las gráficas propuestas para hacer extrapolaciones. Para el caso de interpolaciones es conveniente tomar con cautela el valor de X , obtener

nida de esta forma , para esta instalación en particular , considerando este valor como un estimado.

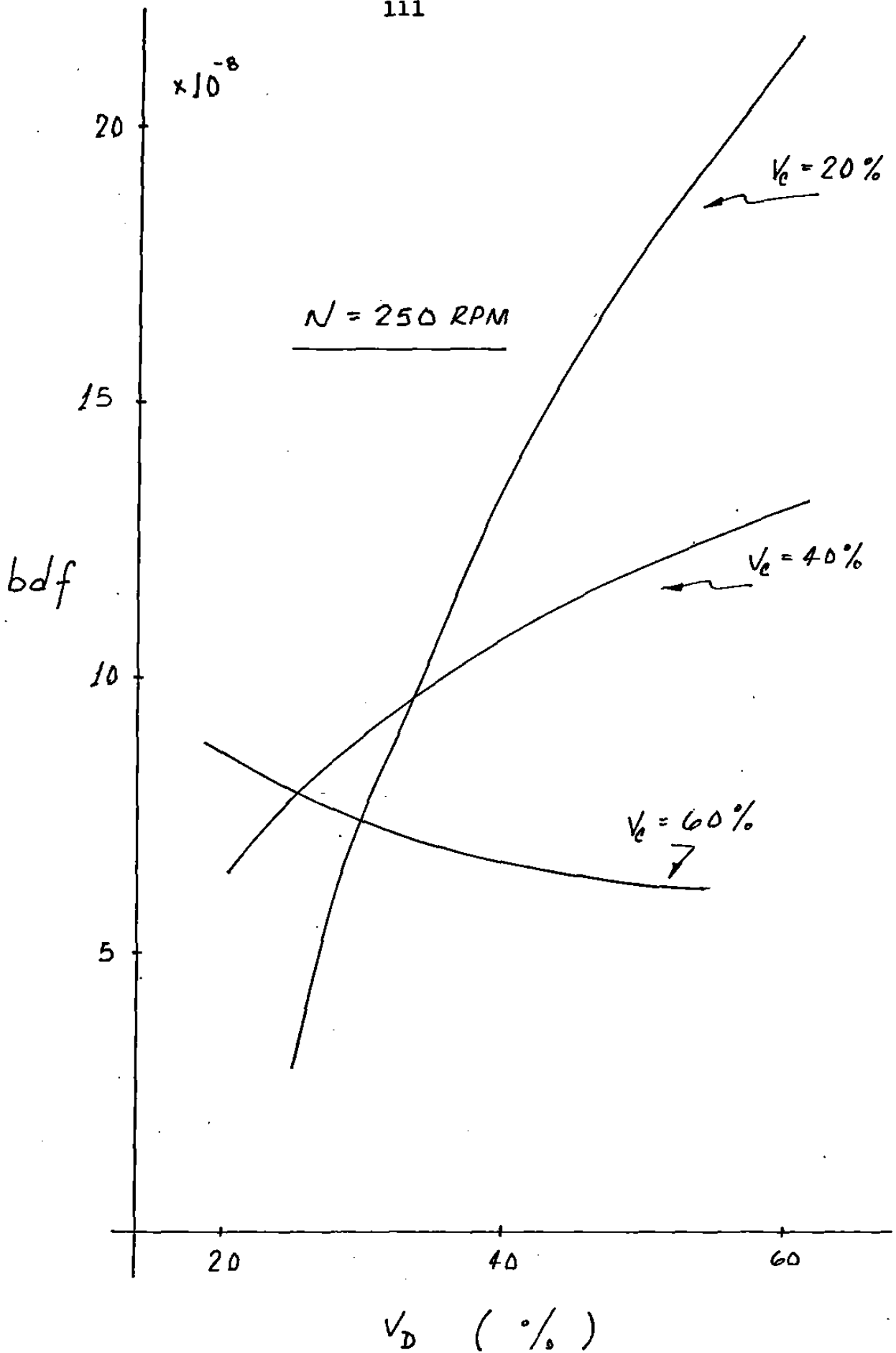


FIGURA 5.28

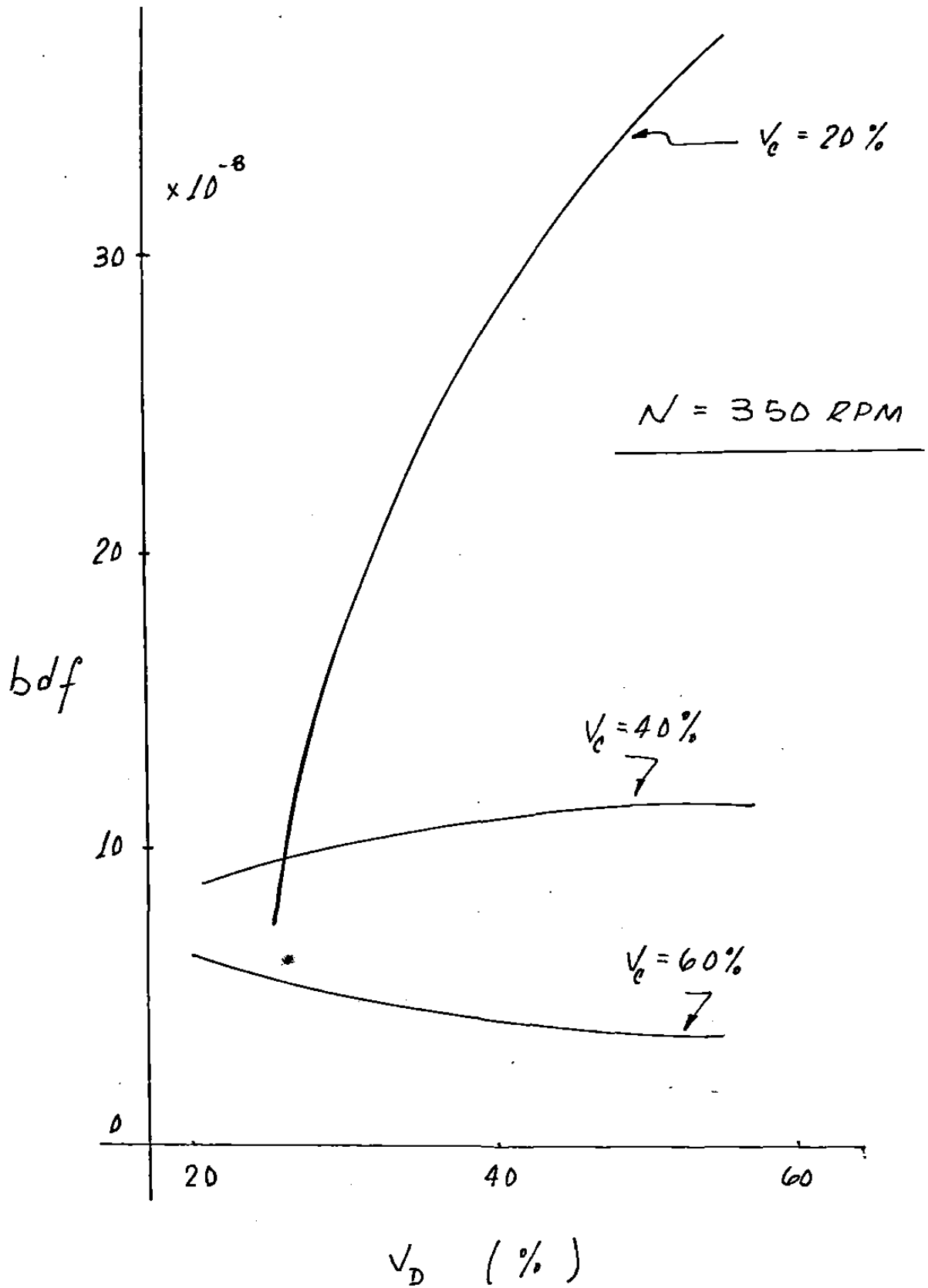


FIGURA 5.29

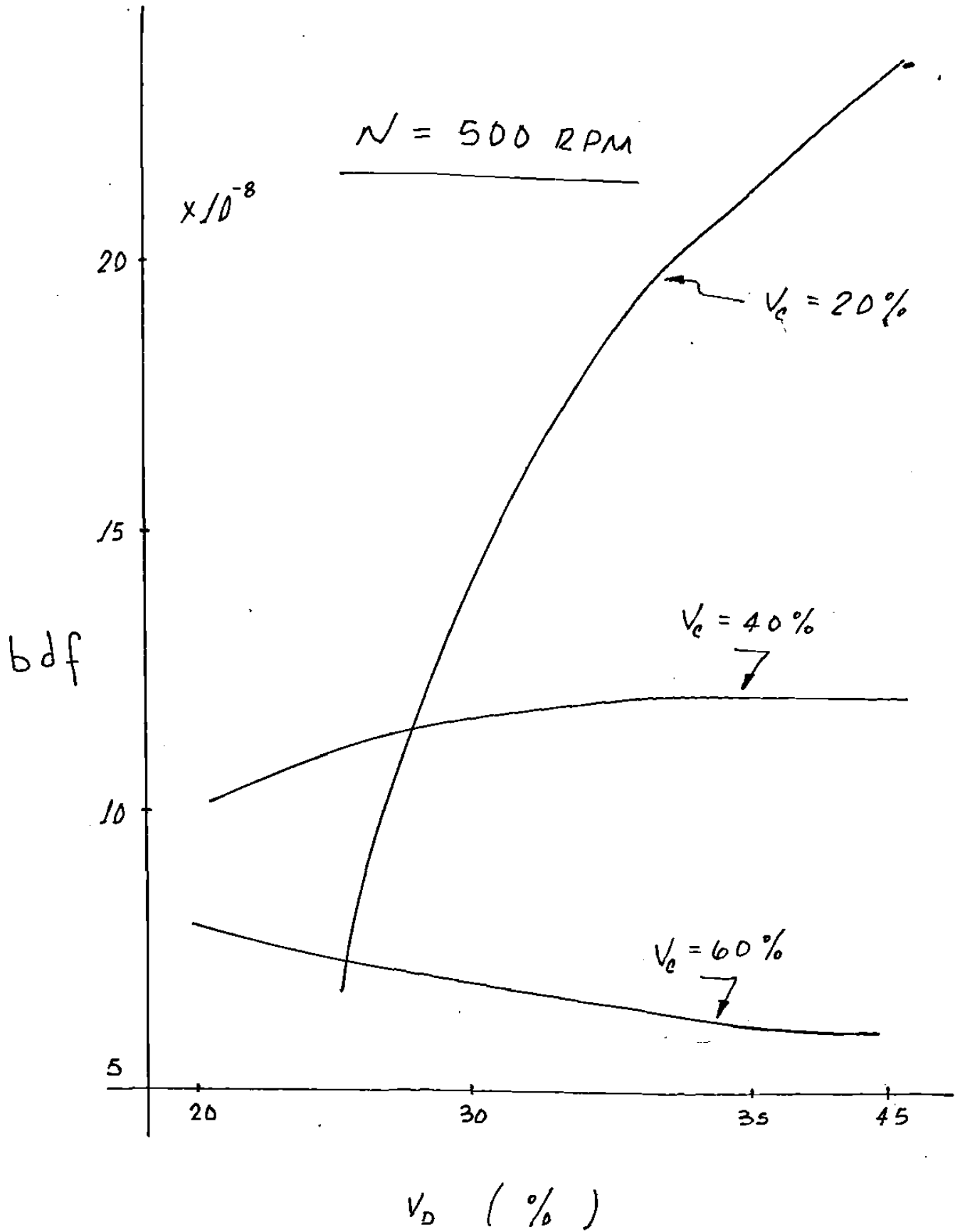


FIGURA 5.30

5.6.- Verificación del Modelo propuesto contra los valores Experimentales.

Como todo Modelo Matemático , que pretende representar un sistema físico real , es conveniente verificar los valores esperados , de acuerdo a este modelo , contra la información experimental disponible. El objetivo de esta sección es mostrar una comparación de los valores experimentales contra los valores obtenidos según el proceso establecido en la Sección 5.5.

En la Tabla 5.1 , mostrada a continuación , se muestra en la primeras 3 columnas las condiciones de operación de la Columna , en las siguientes 2 columnas -- los valores de la Fracción Retenida de la Fase Dispersa , experimental y esperado según el Modelo propuesto respectivamente , así como la desviación , calculada de la siguiente manera :

$$\left(\frac{X_{\text{experimental}} - X_{\text{esperado}}}{X_{\text{experimental}}} \right) (100)$$

N (RPM)	V (%) C	V (%) D	X exp	X esp	DESVIACION
250	20	20		-	
"	"	40	0.163	0.158	3.7
"	"	60	0.214	0.221	-6.8
"	40	20	0.088	0.092	4.35
"	"	40	0.165	0.160	-3.13
"	"	60	0.243	0.161	-51.00 *
"	60	20	0.095	0.089	-6.74
"	"	40	0.168	0.178	5.62
"	"	60	0.234	0.260	10.00
350	20	40	0.163	0.192	15.00
"	"	60	0.336	0.336	0.0
"	40	20	0.078	0.081	3.7
"	"	40	0.159	0.151	-5.3
"	"	60	0.219	0.240	8.75
"	60	20	0.104	0.100	-4.0
"	"	40	0.148	0.152	2.63
"	"	60	0.265	0.206	-28.0 *
500	20	30	0.135	0.141	4.3
"	"	40	0.191	0.193	1.04
"	40	20	0.128	0.126	-1.59
"	"	30	0.162	0.170	4.7
"	"	40	0.217	0.215	-0.93
"	60	20	0.134	0.139	3.6
"	"	30	0.200	0.187	-7.0
"	"	40	0.240	0.243	1.23

* Nota.

Esta diferencia en el valor esperado y el valor experimental es debido a que la Columna estaba muy cerca del inundamiento. Una evidencia experimental es que conforme se acerca al inun

damiento , la Fracción Retenida de la Fase Dispersa se incrementa mucho muy rápido , dejando de ser lineal la dependencia de ésta de :

i).- La Velocidad de la Fase Continua para valores fijos de la Rotación y de la Velocidad de la Fase Continua , o

ii).- La Velocidad de la Fase Dispersa , manteniendo fijos la Velocidad de la Rotación y la Velocidad de la Fase Continua , o

iii).- De la Velocidad de la Rotación , manteniendo fijas las Velocidades de las Fase Dispersa y Continua , respectivamente.

Así de esta manera , cerca del inundamiento , dejan de ser válidas las observaciones expuestas al inicio de la Sección 5.4 , representadas por medio de las Ecuaciones 5.8 , 5.9 y 5.10.

CAPITULO 6. CONCLUSIONES , RECOMENDACIONES Y TRABAJOS EXPERIMENTALES SUGERIDOS.

6.1.- Conclusiones.

6.1.1.- Tamaño de Gotas.

a).- Efecto de la Rotación.

De las Gráficas analizadas en la Sección 5.3 se concluye que :

i).- A mayor rotación menor Tamaño de Gotas.

ii).- Se observa que mientras mayor es el Flujo de la Fase Continua mayor es el efecto de la Rotación.

iii).- De las Gráficas analizadas se observa que la influencia de la Rotación sobre el Tamaño de las Gotas es de la forma :

$$d = a \frac{b}{N}$$

iv).- Los valores de a y b son diferentes para cada gráfica.

b).- Efecto del Flujo de la Fase Dispersa.

De las Gráficas analizadas en la Sec. 5.3 se observa que :

i).- El Flujo de la Fase Dispersa tiene un efecto considerable sobre el Tamaño de las gotas observado. Sola-

mente en un caso , $N = 200 \text{ RPM}$ y $V_C = 20\%$, se observa que el efecto del flujo de la Fase Dispersa es despreciable.

ii).- El tamaño de las gotas es linealmente dependiente del Flujo de la Fase Dispersa.

iii).- La influencia de la Fase Dispersa sobre el tamaño de las gotas es de la forma

$$d = a + b \frac{V}{D}$$

El valor más frecuente para b es 0.002. El valor de a promediado es 0.382.

c).- Efecto del flujo de la Fase Continua.

De la gráficas de la Sección 5.3 se observa

i).- La Fase Continua sí tiene influencia sobre el tamaño de las gotas.

Este hecho se puede interpretar de la siguiente manera : A medida que aumenta el flujo de la Fase Continua es de esperar una mayor resistencia a que se desplazen las gotas , lo que traduce en un mayor tiempo de residen

cia y , como consecuencia , mayor --
oportunidad a que las gotas interac-
tuen entre ellas formando gotas más
grandes. El hecho de que se forman -
gotas más grandes esta basado en la
siguiente observación :

ii).- Experimentalmente se observa que a
aumentos del flujo de la Fase Conti-
nua corresponden aumentos del tama-
ño de las gotas.

iii).- La dependencia del tamaño de las go-
tas del flujo de la Fase Continua es
líneal.

6.1.2.- Fracción Retenida de la Fase Dispersa.

a).- Influencia de la Rotación.

1.- Experimentalmente se observa que la in-
fluencia de la rotación es líneal : a
mayor rotación , mayor Fracción Reteni-
da de Fase Dispersa , r₁ ateniendo cons
tantes los flujos.

2.- Los Modelos de Logsdail y Kannappan es-
tablecen que a mayor r₁ rotación , mayor -
Fracción Retenida de la Fase Dispersa.
Kannappan practicamente predice una va
riación líneal , el Modelo de Logsdail
no. Los valores esperados según el Modeo

lo de Kannappan son mayores que los --
 predichos según el Modelo de Logsdail.
 Observando la influencia de N sobre la
 Fracción Retenida de la Fase Dispersa ,
 ajustando los valores establecidos según
 el Modelo de Kannappan a una línea recta
 se observa que a mayor rotación los va--
 lores de Logsdail se acercan a los valo-
 res de Kannappan. A 500 RPM Logsdail pre-
 dice entre 70 y 75 % de los valores
 de Kannappan. A 100 RPM Kannappan predi-
 ce valores mucho mayores que Logsdail ,
 siendo los valores experimentales bastan-
 tes más grandes que los esperados según
 el Modelo de Kannappan.

Generalmente los valores esperados , se-
 gún el Modelo de Kannappan , son el 45%
 del valor de los valores experimentales
 (Una vez ajustados los valores experi-
 mentales a una línea recta)

b).- Influencia del flujo de la Fase Dispersa.

1.- En los Modelos de Logsdail y Kannappan -
 la influencia es lineal. A mayor veloci-
 dad , mayor Fracción Retenida de la Fase
 Dispersa. Este hecho esta de acuerdo con

los valores experimentales.

- 2.- El Modelo de Kannappan es mucho más sensible a cambios de la velocidad de la Fase Dispersa que el Modelo de Logsdail prediciendo mayores valores Kannappan que Logsdail.

Los valores experimentales son mayores que los esperados según Kannappan.

- 3.- A medida que la rotación aumenta los valores predichos por Logsdail se acercan a los valores esperados según el Modelo de Kannappan.

A mayor rotación el Modelo de Logsdail es más sensible a la influencia de la velocidad de la Fase Dispersa. Se observa que el Modelo de Kannappan y los datos experimentales mantienen casi invariable la sensibilidad a cambios en la velocidad de la Fase Dispersa.

- c).- Influencia del flujo de la Fase Continua.

- 1.- Los Modelos de Logsdail y Kannappan predicen una variación lineal, manteniendo constante la velocidad de la Fase Continua.

Experimentalmente se observa que la in-

fluencia de la velocidad de la Fase -
Continua es directamente proporcional
sobre la Fracción Retenida de la Fase
Dispersa.

2.- A medida que la Velocidad de la Fase -
Continua aumenta , manteniendo constante
la velocidad de la rotación y la -
velocidad de la Fase Dispersa , aumen-
ta considerablemente los valores observa
dos experimentalmente para la Fracción Retenida de la Fase Dispersa. Much
más rápidamente aumenta , con incremento
de la velocidad de la Fase Dispersa
que la variación esperada según el Modelo de Kannappan.

3.- El Modelo de Logsdail establece que la
velocidad de la Fase Continua no tiene
influencia sobre la Fracción Retenida -
de la Fase Dispersa. Kannappan estable-
ce que a mayor velocidad de la Fase Dispersa
mayor es la fracción retenida.

d).- Modelo de Misek.

a).- Influencia de la Rotación.

1.- La influencia de la rotación sobre la Fracción Retenida de la Fase -- Dispersa es despreciable.

2.- Comparando las diversas gráficas - de la Sección ~~2.2~~^{5.2} se observa que Misek predice casi los mismos va--lores que Logsdail.

3.- Misek predice menores valores que - Kannappan ; para
 $200 < N < 300$ RPM , Misek y - Logsdail predicen casi los mismos valores. A $N < 200$ RPM Logsdail predice valores menores ; a $N > 300$ RPM los valores de Logsdail son mayores.

b).- Influencia de la Fase Dispersa.

1.- La Ec uación de Misek es líneal , al igual que los Modelos de Logsdail , Kannappan y la experimental.

2.- Prácticamente Logsdail y Misek predicen los mismos valores.

3.- A aumentos de la velocidad de la Fase Dispersa corresponden aumentos de

la Fracción Retenida de la Fase -
Dispersa.

c).- Influencia de la velocidad de la Fase
Continua.

- 1.- La Ecuación de Misesk es lineal. Al igual que la de Logsdail , Kanna-- ppan y la experimental.
- 2.- Prácticamente Logsdail y Misesk pre dicen los mismos valores.
- 3.- Prácticamente no hay influencia de la velocidad de la Fase Continua - sobre la Fracción Retenida de la - Fase Dispersa , según el Modelo de Misesk.

6.2.- Trabajos experimentales sugeridos.

Dentro del desarrollo de este proyecto se hicieron unas cuantas mediciones adicionales , no mostradas , de Fracción Retenida de Fase Dispersa sin distribuidor con el propósito de observar cualitativamente el efecto de la velocidad de la rotación sobre la Velocidad Característica , definida según la Ecuación 2.2 . De los datos - con distribuidor se observó mayor influencia. La razón debe de estar en el tamaño inicial de las gotas. En base a ésta observación se sugieren los siguientes temas de investigación :

- 1.- Predicción de tamaño de gotas en toberas.
- 2.- Influencia del tamaño-inicial de las gotas sobre el funcionamiento de una columna de Extracción líquido - Líquido de discos rotatorios.
- 3.- Distribución de tamaño de gotas a lo largo de la columna.
- 4.- Estudio Teórico - experimental sobre el inundamiento de una Columna de Extracción Líquido -Líquido - de discos rotatorios.

6.3.- Recomendaciones adicionales.

La gran diferencia de los datos experimentales con respecto a los valores esperados , según los modelos analizados , ha de deberse , muy probablemente , a la Coalescencia de la Fase Dispersa inducida por impurezas. Las superficies internas "sucias" provocan que el Tolueno se adhiera a ellas , que se traduce en un menor contacto con los discos que se encuentran girando , anulándose el efecto de la rotación. En base a esta observación se sugiere que :

- 1.- Se tenga un buen control sobre la limpieza del equipo en general ,
- 2.- Se tenga una manera efectiva de eliminar el agua - contenida dentro del tanque de alimentación de Tolueno.

3.- Además , de las líneas que conducen las corrientes de salida de la Columna , principalmente la de la - Fase Dispersa , eliminar al máximo p^osible la resistencia al avance para que no influya en el inundamiento de la Columna.

NOMENCLATURA.

C : CONSTANTE DE KANNAPPAN.

c : CONSTANTE DE KUNG Y BECKMANN.

d : TAMAÑO DE GOTAS, cm.

d : DIAMETRO DE ROTOR, cm.

R

d : DIAMETRO INTERIOR DEL DISCO ESTATOR, cm.

S

d : DIAMETRO INTERIOR DE LA COLUMNA, cm.

T

d : DIAMETRO PROMEDIO DE GOTA, cm.

32

g : CONSTANTE GRAVITACIONAL, cm/seg^2

k : CONSTANTE DE KUNG Y BECKMANN.

N : VELOCIDAD DEL ROTOR , R. P. M.

N : VELOCIDAD CRITICA DEL ROTOR, R. P. M. ,DEFINIDA POR
cr
KANNAPPAN.

Re: NUMERO DE REYNOLDS = $\frac{d v_t \rho_c}{\mu_c}$

v_c : VELOCIDAD DE LA FASE CONTINUA, cm/ seg.

v_d : VELOCIDAD DE LA FASE DISPERSA, cm/ seg.

v_k : VELOCIDAD CARACTERISTICA , cm/seg.

v_R : VELOCIDAD RELATIVA DE AMBAS FASES A TRAVES DE LA COLUMNA
cm/seg.

v_t : VELOCIDAD TERMINAL DE LAS GOTAS A TRAVES DE LA FASE DIS-
PERSA , cm/seg.

V_C : FLUJO DE LA FASE CONTINUA , % . LEIDO EN EL ROTAMETRO.

V_D : FLUJO DE LA FASE DISPERSA , % . LEIDO EN EL ROTAMETRO.

X : FRACCION RETENIDA DE LA FASE DISPERSA.

- X : FRACCION RETENIDA DE LA FASE DISPERSA DETERMINADO EXPERIMENTALMENTE.
- Z : CONSTANTE USADA EN LA ECUACION DE MISEK.
- Z_c : SEPARACION ENTRE DISCOS, O SEPARACION ENTRE ESTADORES.
- α : CONSTANTE DE LA ECUACION DE MISEK.
- γ : TENSION INTERFACIAL ENTRE FASES , dinas/cm.
- μ_c : VISCOSIDAD DE LA FASE CONTINUA , gr/cm seg.
- ρ_c : DENSIDAD DE LA FASE CONTINUA , gr/cm³
- $\Delta\rho$: DIFERENCIA DE DENSIDADES ENTRE LA FASE CONTINUA Y LA FASE DISPERSA , gr/cm³

BIBLIOGRAFIA.

- 1.- Reman , G. H.
Patente Americana Número 2601674 (1952)
- 2.- Kagan , S. Z.
Protsessy Zhidkostoni Ekstraktsii , Tr.
Nauchn. Teckhn, Soveshch.
Leningrado (1961).
- 3.- Kasatkin , Kagan , Trukhanov.
Zh. Prikl Khim. 35 . 1980 , (1962
- 4.- Kung , Beckmann.
A. I. Ch. E. J1. 7 , 319 , (1961)
- 5.- Logsdail , Thornton , Pratt.
Trans. Instn. Chem. Eng. 35 , 302 , (1951)
- 6.- Misek , T.
Colln. Czech. Chim. Commun. 28 , 1631 (1963)
- 7.- Reman , Olney.
Chem. Eng. Prog. 51 , 141 , (1955)
- 8.- Strand , Olney , Ackerman.
A. I. Ch. E. J1. 8 , 252 (1962)
- 9.- Vermijs , Kramers.
Chem. Eng. Sci. 3 , 55 (1954)
- 10.- Cruz Pinto.
Tesis Doctoral.
Universidad de Manchester (1979)

- 11.- Chartres
Tesis Doctoral.
Universidad de Manchester (1975)
- 12.- Korchinsky , W. J.
Can. J. Chem. Eng. 52 , 468 (1974)
Trans. I. Ch. E. 53 , 247 (1975)
Chem. Eng. Sci. 31 , 871 (1976)
Trans. I. Ch. E. 56 , 91 (1978)
Chem. Eng. Sci. 39 , 551 (1979)
- 13.- Hu , Kintner.
A. I. Ch. E. Jl. 1 , 42 (1955)
- 14.- Korchinsky , W. J.
Comunicación verbal.
- 15.- Kannappan , R.
Tesis Doctoral.
Universidad de Madras (1973)
- 16.- Hayworth , Treybal.
Ind. Engng. Chem. 42 , 1174 (1950)
- 17.- Hinze.
A. I. Ch. E. Jl. 1 , 289 (1955)
- 18.- Elgin.
A. I. Ch. E. Jl. 7 , 46 (1961)

19.- Vedaiyan , S.

Tesis Doctoral.

Universidad de Madras (1969)

20.- Treybal.

Mass Transfer Operation .

^a
2^a edición , Mc. Graw-Hill , New York (1968)

21.- Garner , Ellis , Hill.

Am. Instn. Ch. Eng. J. 1 , 185 (1955)

22.- Fleming , Jhonson

Ch. Eng. Prog. 49 , 497 (1953)

23.-Olney , R. B.

A. I. Ch. E. J1. 10 , 827 (1964)

24.- Al - Hussein.

M. Sc. Dissertation.

Universidad de Manchester (1979).

25.- Hanson , C.

Chemical Engineering 75 , 76 (1968) .

26.- Laddha , Degaleesan.

Transport Phenomena in Liquid Extraction.

Mc. Graw - Hill Publishing Co.,Ltd. (1976)

27.- Hanson , C. Editor.

Recent Advances in Liq-Liq Extraction.

Pergamon Press., (1975).

28.- Misek , T.

Rotating Disc Extractor and Their Calculations. ✓

State Publishing House of Technical literature.

Praga (1964).

29.- Sleicher , C. A.

A. I. Ch. J1. 5 , 145 (1959)

APENDICE 1.

Especificaciones de diseño de la Columna.

Especificaciones de diseño.

a).- Condiciones de Operación:

Sistema químico : Tolueno(D) - Agua (C)

Velocidad del Rotor : 200 RPM

Velocidad máxima de la

Fase Dispersa : 0.3 cm / seg

b).- Propiedades físicas.

Densidad del Tolueno : 0.866 gr/cm³

Viscosidad del Tolueno : 0.587 cp

Densidad del Agua : 1.0 gr/cm³

Viscosidad del Agua : 1.0 cp

c).- Especificaciones de la Columna.

Material de construcción : Vidrio Pyrex.

Diámetro interno : 8.9 cm

Diámetro externo : 10.1 cm

Material de construcción de

los accesorios internos : Acero inoxidable.

Diámetro de los discos : 4.45 cm

Espesor de los discos : 1/16 Pulgada.

Número de discos : 57

Diámetro interno de los

estatores : 5.963 cm

Separación entre estatores : 2.741 cm
Número de compartimientos : 57
Espacio de trabajo de la Columna : 156.26 cm
Espacio de asentamiento de la
Columna : 46.6 cm
Altura total de la Columna : 202.86 cm

tromecías , así como supervisión
de obras .

PERIODO Enero / 77 - Mayo / 77
EMPRESA IBM de México
LABOR DESARROLLADA Analista - Programador.

PERIODO Junio / 77 - Agosto / 77
EMPRESA ESVIR , S. A.
LABOR DESARROLLADA Desarrollo de Programas para
computadora.

PERIODO Septiembre / 77 - Marzo / 82
EMPRESA Fac. de C. Químicas , U. A. N. L.
LABOR DESARROLLADA Docente - Investigador.

Labor docente : Impartir clases de Física , Química y
Matemáticas.

Labor de Investigador : Realizar investigación en el Centro
de Investigaciones en Química , U. A. N. L.
Realización de un Proyecto completo de
investigación , desde el diseño químico
y mecánico , hasta su construcción de una
columna de extracción líquido-líquido
incluyendo diseño de experimentos , corri
das experimentales y análisis y discusión
de resultados.

PERIODO Marzo /82 - Agosto / 83
EMPRESA University of Manchester Institute of
Science and Technology
LABOR DESARROLLADA Realizar investigación sobre Modelamiento
de Columnas de Extracción Líquido-Líquido
de Discos Rotatorios (R. D. C.)

