

19
2 ej



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

FACULTAD DE QUIMICA

**TESIS: SIMULACION DE DISTRIBUCIONES EN DISPERSIONES
AGITADAS LIQUIDO-LIQUIDO**

SUSTENTADO POR:

**ANTONIO CERVANTES
ODRIOZOLA**

CARRERA: INGENIERO QUIMICO

1985



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 está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

I N D I C E

	PAGINA
1. INTRODUCCION	1
2. GENERALIDADES SOBRE DISPERSIONES LIQUIDO-LIQUIDO	5
2.1 INTRODUCCIÓN AL FENÓMENO DE DISPERSIÓN	6
2.2 INTRODUCCIÓN BIBLIOGRÁFICA, AL FENÓMENO DE RUPTURA	9
2.3 INTRODUCCIÓN BIBLIOGRÁFICA, AL FENÓMENO DE COALESCENCIA	14
2.4 RESUMEN DE MODELOS PROPUESTOS	17
2.4.1 REUEL SHINNAR Y JAMES M. CHURCH	17
2.4.2 L. A. SPIELMAN Y O. LEVENSPIEL	19
2.4.3 KENNETH J. VLAENTAS Y NAL. R. AMUNDSON	19
2.4.4 AKIRA SUZUKI, N.F.H. HO Y W. I. HIGUCHI	21
2.4.5 KALANADH V. S. SASTRY Y DOUGLAS W. FUERSTENAU	22
2.4.6 M. A. ZEITLIN Y L. L. TABLARIDES	23
3. MODELO EMPLEADO	25
3.1 MODELO ZEITLIN -TABLARIDES	26
3.1.1 GENERALIDADES	26
3.1.2 MOVIMIENTO DE LA PARTÍCULA	28
3.1.3 RUPTURA DE PARTÍCULA	32
3.1.4 COALESCENCIA DE PARTÍCULA	34
3.1.5 SIMULACIÓN	35
3.2 MODIFICACIONES AL MODELO	39
4. DIAGRAMA DE FLUJO	40
5. SIMULACION	49
6. CONCLUSIONES	82
7. BIBLIOGRAFIA	85
ANEXO 1	93
ANEXO 2	96
ANEXO 3	99
ANEXO 4	104

INTRODUCCION

EN LA MAYORÍA DE LAS OPERACIONES DE TRANSFERENCIA DE MASA, LA VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA ES EXPRESADA COMO EL PRODUCTO DEL ÁREA INTERFACIAL TOTAL NETA DE TRANSFERENCIA POR UNIDAD DE ÁREA.

ES NECESARIO AÑADIR A ESTE MODELO EL COMPORTAMIENTO EN SISTEMAS AGITADOS. TEÓRICAMENTE, POR SUPUESTO, EL ÁREA Y LA VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA, AMBAS DEPENDEN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, Y ESTAS PROPIEDADES PUEDEN SER USADAS PARA CORRELACIONAR LAS VELOCIDADES OBSERVADAS. SIN EMBARGO LAS VARIABLES SON MÁS NUMEROSAS QUE LAS HABITUALMENTE UTILIZADAS PARA LA MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE MASA. COMO UNA COMPLICACIÓN MÁS, LOS EFECTOS DE LAS VARIABLES FÍSICAS AFECTAN LA VELOCIDAD GLOBAL COMO UN PASO DE TRANSFERENCIA O COMO UN FACTOR LIMITANTE.

POR ESO, ESA MEDICIÓN DIRECTA DEL ÁREA INTERFACIAL O DEL TAMAÑO PROMEDIO DE PARTÍCULA PUEDE CONTRIBUIR EN LA INTERPRETACIÓN DE LA TRANSFERENCIA DE MASA EN TANQUES AGITADOS.

POR EJEMPLO, SUPONGAMOS QUE TENEMOS UN REACTOR (TANQUE AGITADO), EN DONDE SE TIENEN DOS FASES, UNA DISPERSA EN LA CUAL OCURRE LA REACCIÓN DE UNO O DOS COMPONENTES Y, OTRA CONTINUA QUE ACTÚA COMO ACARREADOR DE MATERIAL, COMO SUMINISTRADOR DEL REACTANTE A TRAVÉS DE LA TRANSFERENCIA DE MASA O COMO CATALIZADOR DE LA REACCIÓN EN LA FASE DISPERSA.

EN DICHO SISTEMA LA CONTINUA RUPTURA Y COALESCENCIA DE LAS GOTAS DE LA FASE DISPERSA, REDISTRIBUYEN EL MATERIAL REACTANTE DE ESTAS GOTAS LO CUAL PUEDE INFLUIR EN EL CURSO DE LA REACCIÓN YA QUE LA TRANSFERENCIA DE MASA Y DE CALOR SE VEN AFECTADOS POR QUE LOS REACTANTES SE ENCUENTRAN EN DIFERENTES FASES Y TIENEN QUE SER TRANSPORTADOS A LA INTERFASE E INCLUSO A TRAVÉS DE ELLA ANTES DE QUE LA REACCIÓN OCURRA. CON ESTO, ENTRE MAYOR SEA EL ÁREA INTERFACIAL MAYOR SERÁ LA TRANSFERENCIA DE MASA Y DE ENERGÍA LO CUAL AFECTA LA REACCIÓN.

ESTA ÁREA INTERFACIAL ESTÁ RELACIONADA CON EL DIÁMETRO DE LAS GOTAS (ESFERICAS) DE LA SIGUIENTE MANERA:

$$* A = \frac{6 \phi}{D_{32}}$$

DONDE:

A = ÁREA INTERFACIAL.

ϕ = FRACCIÓN VOLUMEN DEL LÍQUIDO.

$$D_{32} = \frac{\sum N_i D_i^3}{\sum N_i D_i^2}$$

D = DIÁMETRO DE PARTÍCULA.

VIENDOSE QUE EXISTE UNA DEPENDENCIA ENTRE LA REACCIÓN Y EL DIÁMETRO DE LAS PARTÍCULAS

POR LO ANTERIOR, EL CONOCER EL AREA INTERFACIAL ES DE GRAN IMPORTANCIA, POR LO CUAL EL OBJETIVO DE ESTA TESIS SERÁ DESARROLLAR UN MODELO PARA PREDECIR LA DISTRIBUCIÓN DE DIÁMETROS DE GOTA EN UNA -- DISPERSIÓN LÍQUIDO-LÍQUIDO; DESCRIBIENDO LAS INTERACCIONES DINÁMICAS E HIDRODINÁMICAS LÍQUIDO-LÍQUIDO PARA SISTEMAS DE DOS FASES LÍQUIDAS INMICIBLES AGITADAS TURBULENTAMENTE. Así, SE PODRÁ CONOCER ESTA -- ÁREA INTERFACIAL Y, SE PODRÁ PREDECIR LA TRANSFERENCIA DE MASA Y DE CALOR EN LA INTERFASE CUANDO UNA -- REACCIÓN OCURRE O PARA CUALQUIER OPERACIÓN EFECTUADA EN UN TANQUE AGITADO.

**GENERALIDADES SOBRE DISPERSIONES
LIQUIDO - LIQUIDO**

2.1 INTRODUCCION AL FENOMENO DE DISPERSION

SI SE TIENE UNA FASE CUALQUIERA (MEDIO CONTINUO) QUE CONTIENE A OTRA, DISTRIBUIDA EN SU SENO EN FORMA DE PARTÍCULAS PEQUEÑAS, FORMA UN SISTEMA DISPERSO O SIMPLEMENTE, UNA DISPERSION.

PUEDEN PREPARARSE DISPERSIONES DE TODA CLASE DE SUBSTANCIAS EN VARIOS MEDIOS, TANTO SI TALES SUBSTANCIAS SON CRISTALINAS O NO CRISTALINAS, ELECTRÓLITOS O NO ELECTRÓLITOS.

LAS PROPIEDADES DE LOS SISTEMAS DISPERSOS, Y EN PRIMER LUGAR SU ESTABILIDAD, DEPENDEN MUCHO DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE LA SUBSTANCIA DISPERSA.

LAS DISPERSIONES SE PUEDEN CLASIFICAR EN DOS GRANDES CATEGORIAS:

- A) SUSPENSIONES: QUE SON SISTEMAS EN LOS CUALES EL TAMAÑO DE PARTÍCULA EXCEDE DE 1μ Y SON SISTEMAS INESTABLES, Y
- B) SISTEMAS COLOIDALES: QUE SON SISTEMAS EN LOS CUALES EL TAMAÑO DE PARTÍCULA ES MENOR DE 1μ Y SE SUBDIVIDEN A SU VEZ EN TRES QUE SON:
 - B.1. DISPERSIONES
 - B.2. SOLUCIONES VERDADERAS
 - B.3. COLOIDES DE ASOCIACIÓN

SEGÚN EL ESTADO DE AGREGACIÓN DE LA SUBSTANCIA DISPERSA Y DEL MEDIO DISPERSANTE, PUEDEN DARSE CASOS DIFERENTES DE SISTEMAS DISPERSOS QUE SON: GAS-LÍQUIDO, GAS-SÓLIDO, LÍQUIDO-GAS, LÍQUIDO-LÍQUIDO, LÍQUIDO-SÓLIDO, SÓLIDO-GAS, SÓLIDO-LÍQUIDO Y SÓLIDO-SÓLIDO, DONDE EL PRIMER ESTADO DE AGREGACIÓN SE REFIERE A LA SUBSTANCIA DISPERSA Y EL SEGUNDO AL MEDIO DISPERSANTE, QUE EN LAS DISPERSIONES COLOIDALES TENEMOS COMO EJEMPLOS LAS SIGUIENTES:

FASE DISPERSA	MEDIO DE DISPERSIÓN	NOMBRE	EJEMPLOS
LÍQUIDO	GAS	AEROSOL LÍQUIDO	NIEBLA, SPRAYS LÍQUIDOS
SÓLIDO	GAS	AEROSOL SÓLIDO	HUMO-NIEBLA (SMOG)
GAS	LÍQUIDO	ESPUMA	ESPUMA DE ESTINGUIDORES
LÍQUIDO	LÍQUIDO	EMULSIONES	LECHE, MAYONESA
SÓLIDO	LÍQUIDO	SOL	PASTA DE DIENTES
GAS	SÓLIDO	ESPUMA SÓLIDA	POLIESTIRENO EXPANDIDO
LÍQUIDO	SÓLIDO	EMULSIÓN SÓLIDA	OPALO, PERLA
SÓLIDO	SÓLIDO	SUSPENSIÓN SÓLIDA	PLÁSTICOS PIGMENTADOS

AHORA ENFOQUEMOS NUESTRA ATENCION A LAS DISPERSIONES LÍQUIDO-LÍQUIDO, SOBRE TODO A LOS SISTEMAS INESTABLES EN LOS CUALES, DEBIDO A SU ALTO NIVEL DE COALESCENCIA ROMPEN LA DISPERSION EN UN TIEMPO RELATIVAMENTE CORTO.

ESTAS DISPERSIONES GENERALMENTE SON PREPARADAS INTENSIVAMENTE PARA PRODUCIR UNA MEJOR TRANSFERENCIA DE MASA Y DE ENERGÍA ENTRE DOS FASES LÍQUIDAS INMISCIBLES Y QUE SON INHERENTEMENTE INESTABLES, POR LO CUAL ES TODO UN PROBLEMA EL PRODUCIR Y MANTENER ESTAS DISPERSIONES.

ASÍ, LAS DISPERSIONES, PRODUCIDAS POR MEZCLADO MECÁNICO ESTÁN CARACTERIZADAS GENERALMENTE POR UNA GRAN DISTRIBUCIÓN DE DIÁMETRO DE GOTAS.

ESTO, ES UNA CONSECUENCIA INDIRECTA DE SU RELATIVAMENTE ALTA COALESCENCIA, ASÍ LA DISTRIBUCIÓN DE DIÁMETROS PRODUCIDA EN EL MEZCLADO ES EL RESULTADO DEL EQUILIBRIO DINÁMICO DEL PROCESO DE RUPTURA Y COALESCENCIA DE PARTÍCULAS.

2.2- INTRODUCCION BIBLIOGRAFICA AL FENOMENO DE RUPTURA.

EN DISPERSIONES DE DOS LÍQUIDOS INMISCIBLES CON AGITACIÓN TURBULENTO, LA RUPTURA Y LA COALESCENCIA DE GOTAS OCURREN CONTINUAMENTE.

LA RUPTURA DE GOTAS ES UN PROCESO COMPLICADO Y HAY MUY POCAS INFORMACIONES DISPONIBLES.

EPSTEIN (10) EN 1948, CONSIDERA LA RUPTURA COMO UN PROCESO COMPUESTO DE PASOS DISCRETOS, ASUMIENDO QUE LA PROBABILIDAD DE RUPTURA ES CONSTANTE E INDEPENDIENTE AL DIÁMETRO DE LA GOTA.

HINZE (11) EN 1955, CONSIDERA QUE LA RUPTURA PUEDE OCURRIR MEDIANTE TRES POSIBLES MECANISMOS: POR FUERZAS CORTANTES LAMINARES, TURBULENTAS O POR FLUCTUACIONES TURBULENTAS DE PRESIÓN. HINZE INDICA QUE EN DISPERSIONES DONDE LAS GOTAS SON MAS LARGAS QUE LA ESCALA DEL MICRODOMINIO DE TURBULENCIA (EDDY), LAS FUERZAS DINÁMICAS DE PRESIÓN CONTROLAN EL PROCESO DE RUPTURA.

ESTE PROCESO DE RUPTURA PUEDE SER CARACTERIZADO MEDIANTE EL VALOR CRÍTICO DEL NÚMERO DE WEBER : $We = kN^{2.4} D^{4/3} \rho^{5/3} / \sigma$ DONDE:

k = CONSTANTE.

N = VELOCIDAD DEL IMPULSOR.

D = DIÁMETRO DEL AGITADOR.

d = DIÁMETRO DE LA GOTA.

ρ = DENSIDAD.

σ = TENSIÓN INTERFACIAL.

ASÍ LA PROBABILIDAD DE RUPTURA O LA INESTABILIDAD DE LA GOTA DEPENDE DE SU DIÁMETRO.

SHINMAR Y CHURCH (7) EN 1960, CONSIDERAN QUE LA RUPTURA PUEDE SER CAUSADA POR FUERZAS CORTANTES DEBIDO A LA VISCOSIDAD O — POR LAS FLUCTUACIONES TURBULENTAS DE PRESIÓN.

CONSIDERANDO LA RUPTURA POR FUERZAS CORTANTES DEBIDO A — LA VISCOSIDAD, LA GOTA ES ELONGADA EN FORMA DE CACAHIATE QUE DES— PUÉS SE ROMPE EN PEQUEÑAS GOTAS.

BASADOS EN LA TEORÍA DE LA ISOTROPÍA LOCAL, UNA PARTÍCULA SUSPENDIDA EN UN FLUJO TURBULENTO ESTÁ EXPUESTA A FLUCTUACIONES LOCALES DE PRESIÓN.

CUANDO SE TIENEN DENSIDADES Y VISCOSIDADES CASI IGUALES EN LAS DOS FASES LÍQUIDAS SE PUEDE ASUMIR QUE LA GOTA O PARTÍCULA — OSCILA CON EL LÍQUIDO QUE LA CIRCUNDA. UNA PARTÍCULA OSCILANTE — SE TORNA INESTABLE SI LA ENERGÍA CINÉTICA (E_k) ES SUFICIENTE PARA COMPENSAR LA DIFERENCIA EN LA ENERGÍA SUPERFICIAL ENTRE LA PARTÍCULA Y DOS PEQUEÑAS PARTÍCULAS FORMADAS POR ELLA MEDIANTE LA RUPTURA.

ESTO NOS LLEVA (11) A QUE: $E_k / \sigma d^2 = \text{CTE}$, DONDE :

E_k = ENERGÍA CINÉTICA.

σ = TENSIÓN INTERFACIAL.

d = DIÁMETRO DE LA PARTÍCULA O GOTA.

EN DISPERSIONES AGITADAS, DONDE LAS CONDICIONES DE ISOTROPÍA LOCAL PREVALECE, LA ENERGÍA CINÉTICA ES PROPORCIONAL A: $u^2(d)d^3$

SUSTITUYENDO EL VALOR DE E_k EN LA ECUACIÓN ANTERIOR RESULTA QUE

$$\rho u^2(d)d / \sigma = We = \text{CTE} = 0.26$$

EN DONDE:

$$u^2(d) = k N^2 D^{4/3} d^{2/3}$$

SIENDO:

ρ = DENSIDAD,

$u(d)$ = VELOCIDAD RELATIVA ENTRE DOS PUNTOS EN EL FLUIDO, SEPARADOS UNA DISTANCIA d .

EL PROMEDIO DEL DIÁMETRO DE GOTA EN DISPERSIONES AGITADAS HA SIDO CALCULADA POR VERMEULEN (20), USANDO DOS TANQUES CON BAFLES DE GEOMETRÍA SIMILAR Y UN AGITADOR DE CUATRO PALETAS, DANDO POR RESULTADO LA ECUACIÓN:

$$\rho N^2 D^{4/3} d^{5/3} / \sigma = 0.016 \dots\dots\dots (1)$$

VANDERVEEN (21) EN 1960, OBTUVO LA SIGUIENTE ECUACIÓN:

$$\rho N^2 D^{4/3} d^{5/3} / \sigma = 0.079 \dots\dots\dots (2)$$

— ESTAS ECUACIONES SON APLICABLES SOLO EN DISPERSIONES DILUIDAS - DONDE EL PROMEDIO DEL DIÁMETRO DE LAS GOTAS ES DETERMINADO POR LA RUPTURA DE GOTAS Y NO EN DISPERSIONES CONCENTRADAS (21).

— PARA SISTEMAS GEOMÉTRICOS SIMILARES SE OBTIENEN DISTRIBUCIONES PROMEDIO DE GOTAS IGUALES, SI LA ENERGÍA POR UNIDAD DE MASA SE MANTIENE CONSTANTE.

— LAS ECUACIONES (1) Y (2) SON VALIDAS SOLO SI $d > \eta$ (22) — SIENDO η LA ESCALA DEL MICRODOMINIO DE TURBULENCIA (EDDY).

— EN AMBAS ECUACIONES SE ASUME QUE LAS VISCOSIDADES Y DENSIDADES DE LOS DOS LÍQUIDOS SON CASI IGUALES.

VALENTAS, AMUNDSON Y BILOUS (11) PROPONEN EN 1966 UNA FRECUENCIA DE RUPTURA $g(m)$ QUE DEPENDE DEL DIÁMETRO DE LA GOTA, SIENDO $g(m)$ LA FRACCIÓN DE GOTAS CON MASA ENTRE m Y $m+dm$, QUE DESAPARECEN POR LA RUPTURA POR UNIDAD DE TIEMPO. EL VALOR PROMEDIO DE $g(m)$ ES DEFINIDO EN TERMINOS DEL TIEMPO CARACTERISTICO DE RUPTURA θ_g , DEPENDIENDO DE LOS PARÁMETROS DE OPERACIÓN, PROPIEDADES FÍSICAS Y DE LA GEOMETRÍA DEL SISTEMA, DONDE:

$$\frac{1}{L} \int_0^L g(m) dm = \frac{1}{\theta_g}$$

LLEGANDO A UNA ECUACIÓN INTEGRO-DIFERENCIAL PARA CONOCER EL NÚMERO DE PARTÍCULAS O GOTAS QUE SE PRODUCEN DE LA RUPTURA. ÉSTA ECUA---

CION AL SER RESUELTA PARA SISTEMAS DILUIDOS DA RESULTADOS SEMEJAN--
TES A LOS DE LA ECUACION PROPUESTA POR SHINNAR (7) BASADA EN LA --
TEORÍA DE LA ISOTROPÍA LOCAL DE KOLMOGOROFF.

2.3- INTRODUCCION BIBLIOGRAFICA AL FENOMENO DE COALESCENCIA.

LA COALESCENCIA DE PARTÍCULAS EN SISTEMAS TURBULENTOS ES UN FENÓMENO POCO ENTENDIDO Y ESTUDIADO.

RECIENTES INVESTIGACIONES DE LA COALESCENCIA DE PARTÍCULAS HAN SIDO ENFOCADAS PRIMERAMENTE EN PARTÍCULAS COALESCIENDO EN EL PLANO DE LA INTERFASE.

UNA DELGADA PELÍCULA DE LÍQUIDO DE LA FASE CONTINUA ES - RETENIDA ENTRE LAS PARTÍCULAS Y TIENEN QUE HACERLA MÍNIMA ANTES DE QUE LA COALESCENCIA OCURRA. EL ESPESOR DE ÉSTA PELÍCULA PUEDE SER AFECTADO POR LA TEMPERATURA, LA PRESENCIA DE SURFACTANTES, VIBRACIONES TRANSMITIDAS POR EL MEDIO QUE LAS RODEA Y LAS PROPIEDADES - DEL LÍQUIDO COMO LA DENSIDAD, VISCOSIDAD Y LA TENSIÓN INTERFACIAL.

LA COALESCENCIA DE PARTÍCULAS PUEDE DECIRSE ENTONCES QUE OCURRE EN DOS PASOS. LAS PARTÍCULAS DEBEN EXPERIMENTAR UNA COLISIÓN CON LA PELÍCULA QUE LAS SEPARA. ÉSTE ES EL PRIMER PASO DEL PROCESO Y NO ES SUFICIENTE PARA CAUSAR LA COALESCENCIA.

EL TIEMPO REQUERIDO PARA COMPLETAR EL SIGUIENTE PASO DE LA COALESCENCIA, QUE ES LA RUPTURA DE ESA PELÍCULA, ES VARIABLE -- EN FORMA ALEATORIA.

CUANDO ESTA RUPTURA SE ESTÁ PRODUCIENDO, UN REMOLINO O -

UNA CORRIENTE PUEDEN IMPARTIR LA SUFICIENTE ENERGÍA PARA CAUSAR LA SEPARACIÓN DE LAS PARTÍCULAS.

CHURCH Y SHINNAR (7) EN 1960, BASADOS EN LOS RESULTADOS DE DERYAGUIN (32) Y BRADLEY (34), PROPONEN QUE PARA DOS GOTAS IGAUALES DE DIÁMETRO d SEPARADAS UNA DISTANCIA h_0 LA FUERZA DE ADHESIÓN $F(h_0)$ ES:

$$F(h_0) = \frac{\gamma d}{2} \int_0^{\infty} h_0 f(h) dh$$

DONDE $f(h)$ ES LA FUERZA POR UNIDAD DE ÁREA ENTRE DOS SUPERFICIES INFINITAS Y PARALELAS SEPARADAS POR UNA DISTANCIA h .

LA ENERGÍA TOTAL DE ADHESIÓN E_a ES:

$$E_a = \int_0^{\infty} F(h) dh = \frac{\gamma d}{2} \int_{h_c}^{\infty} \int_h^{\infty} f(h) dh dh'$$

VALENTAS Y AMUNDSON (10) EN 1966, PROPONEN UNA FRECUENCIA DE COALESCENCIA $h(m)$, QUE ESTÁ EN FUNCIÓN DEL TIEMPO CARACTERÍSTICO θh DE COLISIÓN, QUE ENGLOBA EL EFECTO DE LA VELOCIDAD DEL IMPULSOR Y LAS PROPIEDADES DEL LÍQUIDO:

$$\frac{1}{L} \int_0^h h(m) dm = \frac{1}{\theta h}$$

LANG Y WILKE (24) EN 1971, PROPONEN UN MECANISMO HIDRODINÁMICO PARA LA COALESCENCIA ESTUDIANDO PRINCIPALMENTE LA RUPTURA DE LA PELÍCULA INTERMEDIA.

**SIN EMBARGO EN NINGUNO DE LOS CASOS ANTERIORES SE LOGRA
ESTABLECER UNA EFICIENCIA DE COALESCENCIA.**

2.4- RESUMEN DE MODELOS PROPUESTOS.

2.4.1.- REUEL SHINNAR Y JAMES M. CHURCH (7), PROPONEN QUE PARA DISPERSIONES, EL PROCESO DE MEZCLADO SEA TRATADO TEÓRICAMENTE A TRAVÉS DEL CONCEPTO DE ISOTROPÍA LOCAL EN EL CASO DE DISPERSIONES ALTAMENTE TURBULENTAS ($N_{Re} > 10^4$).

EL PRINCIPIO EMPÍRICO DE IGUAL ENERGÍA RECIBIDA POR UNIDAD DE VOLUMEN ES TEÓRICAMENTE JUSTIFICADO EN DISPERSIONES, Y A TRAVÉS DE UNA DERIVACIÓN DE ESTE PRINCIPIO A PARTIR DEL CONCEPTO DE ISOTROPÍA LOCAL, ALGUNOS CRITERIOS SON ESTABLECIDOS PARA SER APLICADOS A PROBLEMAS DE ESCALAMIENTO.

LA TEORÍA ESTADÍSTICA DE KOLMOGOROFF ES APLICADA A LA PREDICCIÓN DE DIÁMETROS DE PARTÍCULAS EN DISPERSIONES LÍQUIDO-LÍQUIDO.

EN EL MODELO QUE PROPONEN ESTABLECEN QUE EL DIÁMETRO MÍNIMO DE PARTÍCULA ES:

$$d_{\min} = CN^{-0.75} D^{-0.5} \rho^{-3/8} A(h_0)^{3/8}$$

EN DONDE:

d_{\min} = DIÁMETRO MÍNIMO.

C = CONSTANTE EMPÍRICA.

N = VELOCIDAD DEL AGITADOR EN R.P.M.

D = DIÁMETRO DEL AGITADOR.

ρ = DENSIDAD.

$A(h_0)$ = ENERGÍA NECESARIA PARA SEPARAR DOS GOTAS POR UNIDAD DE RADI
DIO DESDE UNA DISTANCIA h_0 HASTA EL INFINITO.

Y COMO DIÁMETRO MÁXIMO:

$$d^{5/3} = \frac{0.016 \sigma}{\rho N^2 D^{4/3}}$$

DONDE:

σ = TENSIÓN SUPERFICIAL.

Y PARA EL DIÁMETRO DE GOTA PROMEDIO TOMAN LA ECUACIÓN PROPUESTA --
POR RODGER, TRICE AND RUSHTON (21) :

$$d = \left[\frac{D}{k} \frac{D^3 N^2 \rho_c}{\sigma} \right]^{-0.36} \left[\left(\frac{D^k}{T} \right) \left(\frac{V_d}{V_c} \right)^{1/5} \left(\frac{t}{t_0} \right)^{1/6} 0.71 \exp \left[3.6 \frac{\Delta \rho}{\rho_c} \right] \exp \left[0.35 \frac{T}{T_0} \right] \right]^{-1}$$

EN DONDE:

T = DIÁMETRO DEL TANQUE.

t/t_0 = TIEMPO RELATIVO DE ASENTAMIENTO.

V_c = VELOCIDAD CINEMÁTICA DE LA FASE CONTINUA.

V_d = VELOCIDAD CINEMÁTICA DE LA FASE DISPERSA.

ρ_c = DENSIDAD DE LA FASE CONTINUA.

k = CONSTANTE EMPÍRICA.

σ = TENSIÓN INTERFACIAL.

2.4.2.- L.A. SPIELMAN Y O. LEVENSPIEL (6), PROPONEN UN MODELO EN EL CUAL UTILIZAN EL MÉTODO MONTE CARLO.

EL MODELO DE SIMULACIÓN MONTE CARLO PARA COMPUTADORAS DIGITALES ES USADO EN EL ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA COALESCENCIA EN EL PROGRESO DE UNA REACCIÓN QUE OCURRE EN LA FASE DISPERSA EN UN SISTEMA DE DOS FASES EN REACTORES DE AGITACIÓN MECÁNICA.

EL MÉTODO MONTE CARLO, DEBIDO A SU SIMPLICIDAD, HA SIDO ESPECIFICAMENTE UTILIZADO PARA EL ESTUDIO DE SISTEMAS DISCRETOS -- EN LOS CUALES LA SOLUCIÓN ANALÍTICA NO ES POSIBLE. ADEMÁS HACEN UNA EXTENCIÓN, USANDO EL MODELO DE FASE DISPERSA PARA EL ESTUDIO DE MEZCLADO.

2.4.3.- KENNETH J. VALENTAS Y NEAL R. AMUNDSON (10), DESARROLLAN UN MODELO MATEMÁTICO PARA DESCRIBIR LA RUPTURA Y COALESCENCIA DE GOTAS EN UN SISTEMA DE DOS FASES HASTA LLEGAR AL EQUILIBRIO EN SISTEMAS CONTINUOS Y EN SISTEMAS INTERMITENTES

EL RESULTADO DEL ANÁLISIS MATEMÁTICO ES UNA ECUACIÓN INTEGRO-DIFERENCIAL QUE SE RESUELVE NUMÉRICAMENTE.

LA ECUACIÓN QUE PROPONEN PARA EL SISTEMA INTERMITENTE ES LA SIGUIENTE:

$$\frac{d}{dt} (N(t)A(m,t)) = \int_m^L v(\mu)g(\mu)\beta(m:\mu)N(t)A(\mu,t)d\mu + \int_0^{m/2} \lambda(m,\mu)h(m-\mu)N(t)A(m-\mu,t)h(\mu)N(t)A(\mu,t)d\mu - (g(m)+h(m)) \int_0^{L-m} \lambda(m,\mu)h(\mu)N(t)A(\mu,t)d\mu \quad N(t)A(m,t)$$

CON LA CONDICIÓN INICIAL:

$$N(0)A(m,0) = NA_0(m)$$

DONDE:

$A(m,t)dm$ = DENSIDAD DE PROBABILIDAD DEL DIÁMETRO DE GOTA EN EL TANQUE

$g(m)$ = FRECUENCIA DE RUPTURA.

$h(m)$ = FRECUENCIA DE COALESCENCIA.

λ = EFICIENCIA DE COALESCENCIA.

v = PROMEDIO DE GOTAS FORMADAS POR LA RUPTURA.

$\beta(m,\mu)$ = KERNEL DE RUPTURA.

N = NÚMERO DE GOTAS EN EL TANQUE.

PARA $v=2$ Y DESPUÉS DE UN ANÁLISIS DE LA ECUACIÓN ANTERIOR SE LLEGA

A LA ECUACIÓN:

PARA RUPTURA Y

COALESCENCIA

CONSTANTES.

$$N = \frac{2gN_0}{N_0 \lambda h^2 (1 - e^{-gt}) + 2ge^{-gt}}$$

DONDE:

N_0 = NÚMERO DE GOTAS INICIALES EN EL TANQUE.

t = TIEMPO.

ESTA ECUACIÓN ES APLICABLE SOLO CUANDO LA FRECUENCIA DE -
 RUPTURA ES INDEPENDIENTE AL DIÁMETRO DE LA GOTA, EN CASO CONTRARIO
 SE DEBE UTILIZAR LA ECUACIÓN INTEGRO DIFERENCIAL.

2.4.4.- AKIRA SUZUKI, N.F.H. HO Y W.I. HIGUCHI (26), EN SU ARTÍCULO --
 'PREDICCIÓN DEL CAMBIO DE DISTRIBUCIÓN DE DIÁMETROS DE PARTÍCULA EN
 EMULSIONES Y SUSPENSIONES A TRAVÉS DE COMPUTADORAS DIGITALES', PRO-
 PONEN UN MÉTODO BASADOS EN LA ECUACIÓN DE VELOCIDAD DE FLOCULACIÓN
 DE SHOLOCHOWSKI, INCLUYENDO LOS EFECTOS DE POLIDISPERSIDAD Y BARRE-
 RA POTENCIAL PARTÍCULA-PARTÍCULA, DICHA ECUACIÓN ES RESUELTA PARA -
 CUALQUIER DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULA INICIAL.

EL PROCEDIMIENTO PARA LA SOLUCIÓN NUMÉRICA DE LAS ECUACIO-
 NES DIFERENCIALES NO LINEALES ENVUELVE EL USO COMBINADO DE LOS MÉTO-
 DOS RUNGE-KUTTA Y HAMMING MEDIANTE EL USO DE UNA COMPUTADORA IBM360.

EN ESTA ECUACIÓN SE ASUME QUE LA ÚNICA FORMA DE VALUAR EL
 PROCESO ES MEDIANTE EL PASO DE LAS PARTÍCULAS SOBRE LA PRIMERA BARRE-
 RA ELÉCTRICA HASTA LA FLOCULACIÓN DE SUSPENSIONES(O COALESCENCIA DE
 EMULSIONES).

LOS DATOS DE ENTRADA SON: POTENCIAL DE LA SUPERFICIE, CONS-
 TANTE DIELECTRICA, TEMPERATURA, DEBYE-HUCKEL KAPPA, VISCOSIDAD, CONS-
 TANTE DE HAMAKER Y LA DISTRIBUCIÓN INICIAL DE DIÁMETROS DE PARTÍCULA.

EL RESULTADO INCLUYE: EL CAMBIO A TRAVÉS DEL TIEMPO EN LA DISTRIBUCIÓN DE DIÁMETROS, LA POLIDISPERSIDAD Y LOS EFECTOS DE LA BARRERA DE INTERACCIÓN DEL SISTEMA DISPERSO.

LOS CAMBIOS EN LA DISTRIBUCIÓN DE DIÁMETROS DE PARTÍCULA HAN SIDO SOLO ESTUDIADOS POR MEDIO DE CAMBIOS SIMILARES QUE NOS LLEVAN A RETENER UN ESPECTRO PROPIO.

CUANDO LA BARRERA ELÉCTRICA ES PEQUEÑA, CUALQUIER DISTRIBUCIÓN DE DIÁMETROS INICIAL SE HACE MÁS POLIDISPERSA CON EL TIEMPO Y EL NÚMERO DE PARTÍCULAS DECRECE MÁS RÁPIDAMENTE QUE DE SEGUNDO ORDEN RESPECTO AL TIEMPO PERTENECIENTE A LA FLOCULACIÓN PREFERENCIAL DE MULLER.

CUANDO LA BARRERA ELÉCTRICA ES APRECIABLE, LA DISTRIBUCIÓN SE REDUCE CON EL TIEMPO.

ESTOS RESULTADOS FUERON CONSISTENTES CON LOS EFECTOS DE LOS DIÁMETROS DE PARTÍCULA EN LA INTERACCIÓN POTENCIAL.

EL MÉTODO DEL ANÁLISIS NUMÉRICO PUEDE SER ADAPTADO A CASOS QUE ENVUELVAN OTRAS FUERZAS DE REPULSIÓN ENTRE SUSPENSIONES Y EMULSIONES COMO LA REPULSIÓN POR EL EFECTO ESTÉRICO.

2.4.5.- KALANADH V.S. SASTRY Y DOUGLAS W. FUERSTENAU (19), FORMULAN UN MODELO BASADO EN LOS CONCEPTOS DE AGLOMERACIÓN 'LIBRE EN EL ESPACIO' Y 'RESTRINGIDA EN EL ESPACIO'.

LA AGLOMERACIÓN 'LIBRE EN EL ESPACIO' ES CARACTERÍSTICA DE AEROSOLIOS O DE COAGULACIONES COLOIDALES, A SU VEZ LA AGLOMERACIÓN -- 'RESTRINGIDA EN EL ESPACIO' SE REFIERE A LA PELOTIZACIÓN O GRANULACIÓN DE UN NÚCLEO.

LA COMPARACIÓN DE ESTOS DOS TIPOS DE MECANISMOS DE EXPANSIÓN O AMPLIACIÓN DEL DIÁMETRO MUESTRA QUE LA DISTRIBUCIÓN DE DIÁMETRO RESULTANTE DE LAS ESPECIES AGLOMERADAS ES IDENTICA EN LOS DOS -- CASOS. EN AMBOS CASOS, SON CARACTERIZADOS MEDIANTE EL 'GRADO DE -- AGLOMERACIÓN' DEFINIDO COMO LA CANTIDAD DE AGLOMERACIONES POR UNIDAD DE TIEMPO.

UN MODELO COMBINATORIO PARA EL PROCESO ALEATORIO DE COALESCENCIA CON UNA DISTRIBUCIÓN INICIAL DE UN SOLO DIÁMETRO COINCIDE -- CON EL MODELO DETERMINISTICO.

EL MODELO COMBINATORIO PUEDE SOLO PREDECIR LA VARIANCIA -- DEL NÚMERO DE ESPECIES DE UN DIÁMETRO DADO, Y QUE NO PUEDE SER CALCULADO MEDIANTE UN MODELO DETERMINISTICO, Y QUE DE OTRA MANERA SERIAN OBTENIDAS DE UN COMPLICADO ANÁLISIS ESTOCÁSTICO.

2.4.6.- M.A. ZEITLIN Y L.L. TAVLARIDES (27) , DESARROLLAN UN MODELO -- QUE INTRODUCE Y CUENTA CON ELEMENTOS TAN COMPLEJOS COMO LAS INTERACCIONES FLUIDO-FLUIDO Y LOS EFECTOS HIDRODINÁMICOS PARA SISTEMAS DISPERSOS AGITADOS TURBULENTAMENTE PARA SISTEMAS INTERMITENTES, SEMI-IN-

TERMITENTES Y CONTINUOS.

LOS EFECTOS DEL MICROMEZCLADO Y MACROMEZCLADO SOBRE LA DISTRIBUCIÓN DE DIÁMETROS DE PARTÍCULA SON TOMADOS EN CUENTA.

FUNCIONES DE RUPTURA Y COALESCENCIA DE PARTÍCULAS SON DESARROLLADAS Y EJEMPLIFICADAS MEDIANTE DISTRIBUCIONES NUMÉRICAS O VOLUMÉTRICAS EN LAS DIFERENTES ZONAS DEL TANQUE.

LAS DISTRIBUCIONES CALCULADAS SON COMPARADAS CON DATOS EXPERIMENTALES PARA ESTIMAR LOS PARÁMETROS DE LA COALESCENCIA Y DE LA RUPTURA.

LOS EFECTOS DE LA COALESCENCIA, RUPTURA Y PARÁMETROS DEL SISTEMA EN EL ESTADO TRANSITORIO COMO EN EL SISTEMA EN ESTADO DE EQUILIBRIO SON DETERMINADOS.

MODELO EMPLEADO

3.1.- MODELO ZETLIN-TAVLARIDES.

3.1.1.- GENERALIDADES.

EL MODELO PRETENDE EXPLICAR LAS INTERACCIONES FLUIDO-FLUIDO Y LOS EFECTOS HIDRODINÁMICOS EN UN REACTOR DE FASE DISPERSA TOTALMENTE BAFLEADO Y AGITADO TURBULENTAMENTE.

SISTEMAS INTERMITENTES, SEMI-INTERMITENTES Y CONTINUOS SON CONSIDERADOS.

SE ASUME QUE LA FASE DISPERSA CONSISTE DE PARTÍCULAS ESFÉRICAS SIN UNA DISTRIBUCIÓN DE DIÁMETROS UNIFORME Y SOLAMENTE LA COALESCENCIA DE DOS PARTÍCULAS OCURRE.

LA RUPTURA DE PARTÍCULAS RESULTA EN LA FORMACIÓN DE DOS -- PARTÍCULAS DE DIÁMETROS DIFERENTES EN FORMA ALEATORIA, Y LA DIRECCIÓN DEL MOVIMIENTO DE LA PARTÍCULA ES ALEATORIA O EN DIRECCIÓN DE LA SOBREPUESTA DE LA VELOCIDAD TERMINAL DE LA PARTÍCULA CON EL VECTOR -- VELOCIDAD DE LA FASE CONTINUA.

EN LOS MODELOS DE CIRCULACIÓN DEL MACROMEZCLADO PARA UN -- TANQUE TOTALMENTE BAFLEADO Y AGITADO TURBULENTAMENTE SE ASUME QUE ES ADECUADO DESCRIBIR MEDIANTE UN SISTEMA BIDIMENSIONAL CON DIRECCIONES AXIAL Y RADIAL.

PARA ESTE SISTEMA LA VELOCIDAD TANGENCIAL TIENE IMPORTAN-- CIA PRIMORDIAL EN LOS EFECTOS DEL MICROMEZCLADO EN LA ZONA DEL AGITA-- DOR DONDE LA RUPTURA Y COALESCENCIA DE PARTÍCULAS OCURRE MUY VIGO--

ROSAMENTE. ESTE EFECTO ES EXPLICADO MEDIANTE UNA FUNCIÓN DE RUPTURA (QUE ES FUNCIÓN DEL N_{Re}) Y MEDIANTE UNA EFICIENCIA DE COALESCENCIA PARA LA REGIÓN CIRCUNDANTE AL AGITADOR.

LA FIGURA (1) ES LA REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE COMO EL MODELO SIMULA EL TANQUE MEDIANTE UN CORTE VERTICAL A LO LARGO DEL IMPULSOR.

UNA SIMETRÍA RADIAL ES ASUMIDA A LO LARGO DEL IMPULSOR DEL AGITADOR. EL CORTE ES DIVIDIDO EN UN SISTEMA DE REJILLA DE 45×45 Y EN CADA LOCALIZACIÓN SE ENCUENTRA CONTENIDA UNA CELDA DE FASE CONTINUA. TODAS LAS CELDAS DE FASE CONTINUA CONTIENEN MÁS DE 2 PARTÍCULAS DE LA FASE DISPERSA.

LA REJILLA ES DIVIDIDA EN TRES REGIONES: LA DE ARRIBA DEL AGITADOR, LA DEL AGITADOR Y LA DE ABAJO AL AGITADOR.

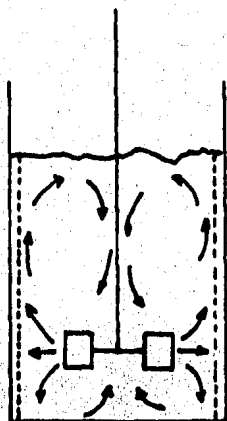
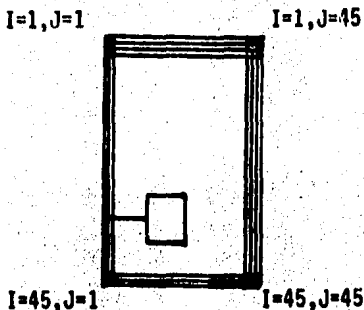


FIGURA I



LA FUNCIÓN DE RUPTURA Y LA PROBABILIDAD DE COALESCENCIA DE PARTÍCULAS VARIA CONFORME A LA REGIÓN DENTRO DEL TANQUE.

3.1.2.-MOVIMIENTO DE LA PARTÍCULA.

EL MACROMEZCLADO O EL MOVIMIENTO DE LA PARTÍCULA DE LA FASE DISPERSA ES SIMULADA MEDIANTE EL ASIGNAMIENTO DE UN VECTOR VELOCIDAD A LA PARTÍCULA. LA DIRECCIÓN DEL VECTOR VELOCIDAD ES DETERMINADA - POR LA VELOCIDAD SOBREPUESTA POR MEDIO DEL FLUIDO EN FORMA ALEATORIA DE TAL FORMA QUE:

$$\vec{U}_p \begin{cases} \vec{U}_f + \vec{U}_E & \text{SI EL NÚMERO ALEATORIO} > \frac{U'}{U} \\ \vec{U}_f & \text{SI EL NÚMERO ALEATORIO} < \frac{U'}{U} \end{cases}$$

EN DONDE:

\vec{U}_f = VELOCIDAD DEL FLUIDO.

\vec{U}_E = VELOCIDAD TERMINAL DE PARTÍCULA.

\vec{U}_f = VELOCIDAD ALEATORIA.

\vec{U}_p = VELOCIDAD DE PARTÍCULA.

EL MOVIMIENTO ALEATORIO ES ILUSTRADO EN LA FIGURA (11).

LAS COMPONENTES VERTICALES Y RADIALES DE LA VELOCIDAD DEL FLUIDO SON TRATADAS INDEPENDIENTEMENTE SIENDO:

$$U_E = \frac{2}{9} \frac{(\rho d - \rho c)}{\mu c} g a^2 \left\{ \frac{3c(1-\theta^{1/3})(1-\theta^{5/3}) + (3-\frac{9\theta^{5/3}}{2} - 3\theta^2)(\mu d + \gamma)}{2\mu c(1-\theta^{5/3}) + (3+2\theta^{5/3})(\mu d + \gamma)} \right\} \dots (3)$$

$$U_{f_z} = \left\{ \frac{ND^2}{\tau^{2/3} H^{1/3}} \cdot b\left(\frac{z}{H}, \frac{r}{R}\right) + \left(\frac{ND^2}{\tau^{2/3} H^{1/3}}\right)^2 \cdot c\left(\frac{z}{H}, \frac{r}{R}\right) + e\left(\frac{z}{H}, \frac{r}{R}\right) \right\} \dots (4)$$

$$U_{f_R} = \left\{ \frac{ND^2}{\tau^{2/3} H^{1/3}} \cdot b\left(\frac{z}{H}, \frac{r}{R}\right) + \left(\frac{ND^2}{\tau^{2/3} H^{1/3}}\right)^2 \cdot c\left(\frac{z}{H}, \frac{r}{R}\right) + e\left(\frac{z}{H}, \frac{r}{R}\right) \right\} \dots (5)$$

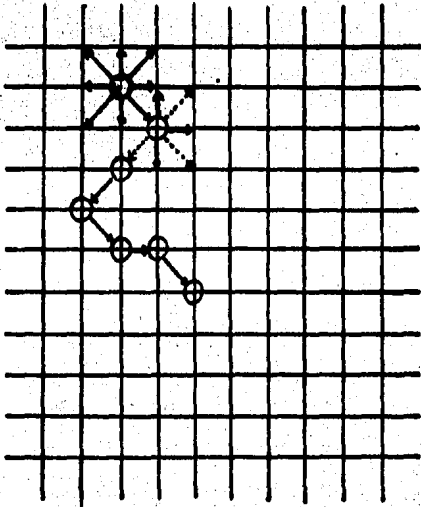


FIGURA II

LAS ECUACIONES (4) Y (5) REPRESENTAN LAS COMPONENTES RADIAL Y VERTICAL DE LA VELOCIDAD DEL FLUIDO Y ESTÁN EN TERMINO O EN FUNCIÓN DE $ND^2/T^{2/3}H^{1/3}$, z/H Y r/R PARA LAS DIFERENTES REGIONES DEL TANQUE, DONDE:

- D = DIÁMETRO DEL AGITADOR.
- H = ALTURA EN EL TANQUE DE LA FASE CONTINUA.
- r = POSICIÓN RADIAL.
- R = RADIO DEL TANQUE.
- T = DIÁMETRO DEL TANQUE.
- N = VELOCIDAD DEL AGITADOR.
- z = POSICIÓN VERTICAL.
- g = ACELERACIÓN GRAVITACIONAL.
- a = RADIO DE LA PARTÍCULA.
- μ = VISCOSIDAD.
- θ = FRACCIÓN OCUPADA POR LA FASE DISPERSA.
- ρ = DENSIDAD.
- χ = CORRECCIÓN POR SURFACTANTES.
- e, e', b, b', c, c' = FUNCIONES DEFINIDAS EN LAS ECUACIONES (4) Y (5).

LOS TÉRMINOS $b(\frac{z}{H}, \frac{r}{R})$, $c(\frac{z}{H}, \frac{r}{R})$ Y $e(\frac{z}{H}, \frac{r}{R})$ TIENEN UNIDADES -

QUE HACEN CONSISTENTES DIMENSIONALMENTE A LAS ECUACIONES (4) Y (5),

DEPENDIENDO DE LA REGIÓN DEL TANQUE, CUALQUIERA DE ESTOS TÉRMINOS PUEDEN SER CERO.

ES IMPORTANTE HACER NOTAR QUE LA VELOCIDAD DEL FLUIDO DETERMINADA EN LAS ECUACIONES (4) Y (5) QUE ESTÁN EN TÉRMINOS DE $ND^2/T^{2/3}H^{1/3}$ INCORPORAN LOS EFECTOS COMBINADOS DE LOS CAMBIOS EN LAS REVOLUCIONES POR MINUTO, DIÁMETRO DEL AGITADOR Y GEOMETRÍA DEL TANQUE.

AUNQUE LAS COMPONENTES DE LA VELOCIDAD SON SOLO FUNCIÓN DE LA POSICIÓN AXIAL Y RADIAL DENTRO DEL TANQUE, LOS EFECTOS DE LA POSICIÓN Y PARÁMETROS DEL SISTEMA SON CONSIDERADOS.

LOS EFECTOS DE LA VELOCIDAD TANGENCIAL EN EL MICROMEZCLADO SON TOMADOS EN CUENTA INDIRECTAMENTE EN LAS FUNCIONES DE RUPTURA Y COALESCENCIA.

EL MOVIMIENTO DE LA PARTÍCULA ES SIMULADA MEDIANTE EL CONTROL INDIVIDUAL DE CADA REJILLA EMPEZANDO CON LA PRIMERA LOCACIÓN EN LA PARTE SUPERIOR Y MOVIENDOLA DE IZQUIERDA A DERECHA. CADA REJILLA ES CHECADA SECUENCIALMENTE. LAS PARTÍCULAS SE PUEDEN MOVER SEIS O MÁS LOCACIONES POR ITERACIÓN.

3.1.3.- RUPTURA DE PARTÍCULA.

LA RUPTURA SE PUEDE REPRESENTAR, EN FLUJOS TURBULENTOS, DE TRES MANERAS O MECANISMOS POSIBLES: POR FUERZAS LAMINARES, FUERZAS - TURBULENTAS Y POR FLUCTUACIONES TURBULENTAS DE PRESIÓN.

HINZE (29) INDICA QUE EN DISPERSIONES DONDE LAS GOTAS SON MÁS LARGAS QUE LA MICRO ESCALA DE TURBULENCIA, LAS FUERZAS DINÁMICAS DE PRESIÓN CONTROLAN EL PROCESO DE RUPTURA.

ESTE PROCESO DE RUPTURA PUEDE ENTONCES SER CARACTERIZADO -- MEDIANTE EL VALOR CRÍTICO DEL NÚMERO DE WEBER QUE EN CADA CASO PUEDE VARIAR CON LA POSICIÓN EN EL TANQUE.

LA PROBABILIDAD DE RUPTURA O LA INESTABILIDAD DE LA GOTA, AMBAS DEPENDEN DEL DIÁMETRO DE LA GOTA.

AUN MÁS, UNO PUEDE POSTULAR UN DIÁMETRO MÁXIMO DE GOTA --- ARRIBA DEL CUAL LA RUPTURA ES ASEGURADA Y UN DIÁMETRO MÍNIMO ABAJO - DEL CUAL LA RUPTURA NO SUCEDE.

GENERALMENTE, LA FUNCIÓN DE EFICIENCIA DE RUPTURA PUEDE -- SER DEFINIDA COMO:

DIÁMETRO INESTABLE	$d > d_{\max} (N_{we})$	$\beta(d)$ 1
DIÁMETRO DENTRO DE LOS MARGENES DE ESTABILIDAD.	$d_{\min} < d < d_{\max}$	$n = 1, 2, 3$ $= (d - d_{\min})^n$
DIÁMETRO INESTABLE	$d < d_{\min} (N_{we})$	0

EL DIÁMETRO MÁXIMO ES DETERMINADO MEDIANTE LA CORRELACIÓN DE VANDERVEEN⁽¹⁹⁾:

$$d_{\max}^{5/3} \frac{N^2 D^{4/3} \rho c}{\sigma} = 0.079 \quad (\text{ver pag 11})$$

O LA DE VERVEULEN⁽²⁰⁾:

$$d_{\max}^{5/3} \frac{N^2 D^{4/3} \rho c}{\sigma} = 0.016 \quad (\text{ver pag 11})$$

SIN EMBARGO NO EXISTE INFORMACIÓN PARA EL CÁLCULO DEL DIÁMETRO MÍNIMO.

EN ESTE MODELO LA FUNCIÓN DE EFICIENCIA $\beta(d)$ DE RUPTURA VARIA CON LA REGIÓN DEL TANQUE. UN VALOR CONSTANTE ES ASUMIDO EN TODOS LADOS A EXCEPCIÓN DE LA REGIÓN DEL AGITADOR DONDE LA EFICIENCIA DE RUPTURA ES MAYOR.

3.1.4.- COALESCENCIA DE PARTÍCULA.

LA COALESCENCIA DE DOS GOTAS EN UN FLUJO TURBULENTO ES UN PROCESO MUY INEFICIENTE. UNO PUEDE ASUMIR QUE SOLAMENTE COLISIONES BINARIAS SUCEDEN. PRIMERO LAS GOTAS TIENEN QUE CHOCAR, DESPUÉS --- ELLAS TIENEN QUE PERMANECER EN CONTACTO PARA PODER ROMPER LA PELÍCULA DE LA FASE CONTINUA QUE LAS SEPARA PARA ASÍ PODER ESTE PAR DE GOTAS FORMAR UNA SOLA.

ESTA SERIE DE EVENTOS SON PROFUNDAMENTE INFLUENCIADOS POR LA TEMPERATURA, LA PRESENCIA DE SURFACTANTES, TURBULENCIA INTERFACIAL DEBIDA A DIFERENCIAS DE CONCENTRACIÓN, VIBRACIONES DE LOS LÍQUIDOS CIRCUNDANTES, Y POR PROPIEDADES DEL FLUIDO COMO DENSIDAD, VISCOSIDAD Y TENSIÓN INTERFACIAL.

ANTES DE QUE LA COALESCENCIA SE COMPLETE, CUALQUIER REMOLINO QUE SE FORME PUEDE IMPARTIR LA SUFICIENTE ENERGÍA PARA QUE LAS GOTAS SE SEPAREN EVITANDO LA COALESCENCIA.

SIN EMBARGO, VIRTUALMENTE NO EXISTEN DATOS REFERENTES A LA EFICIENCIA DE COALESCENCIA, PERO DIFERENTES VALORES SON DADOS SEGÚN LA REGIÓN DEL TANQUE Y SON CHECADOS CON DATOS EXPERIMENTALES.

3.1.5.- SIMULACIÓN.

LOS DATOS NECESARIOS DE ENTRADA Y LOS PARÁMETROS QUE EL MQ DELO USA EN LA SIMULACIÓN ESTÁN MOSTRADOS EN LA SIGUIENTE TABLA:

DATOS DE ENTRADA

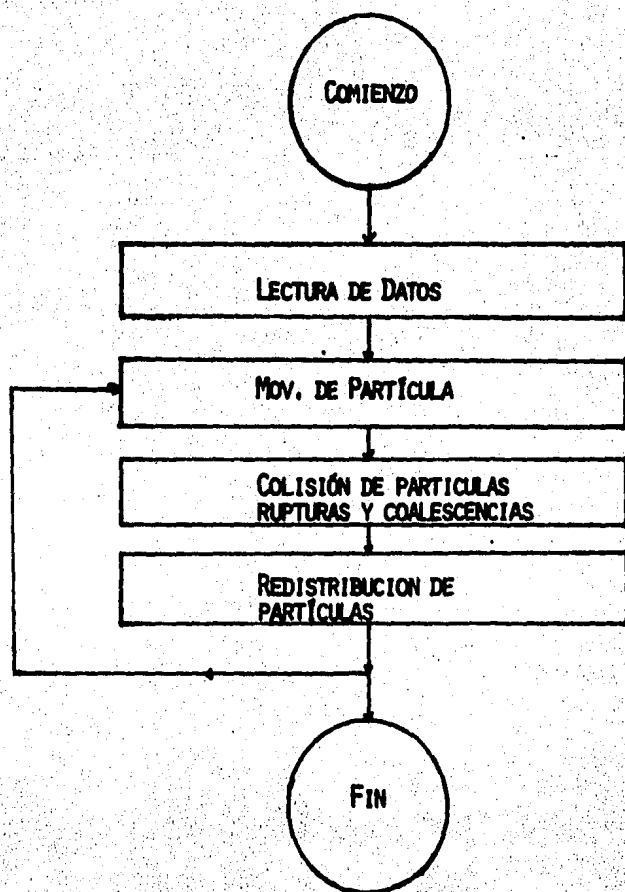
PROPIEDADES FÍSICAS	$\rho_c, \rho_d, \mu_c, \mu_d, \sigma, \gamma$
DESCRIPCIÓN DEL TANQUE	DIÁMETROS Y ALTURA DEL LÍQUIDO
CONDICIONES DE OPERACIÓN	Q_D, Q_C, Z, RPM

PARAMETROS DEL MODELO

EFICIENCIA DE COALESCENCIA	
K_{IR}	REGIÓN DEL AGITADOR
K_{CR}	REGION CIRCUNDANTE
EFICIENCIA DE RUPTURA	
β_{IR}	REGIÓN DEL AGITADOR
β_{CR}	REGIÓN DEL IMPULSOR

ADÉMÁS DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN, DIMENSIONES DEL TANQUE Y PROPIEDADES FÍSICAS, LAS EFICIENCIAS DE COALESCENCIA Y RUPTURA PUEDEN SER ESPECIFICADAS COMO FUNCIÓN DE LA REGIÓN DEL TANQUE.

EL DIAGRAMA DE FLUJO DE LA SIMULACIÓN ES EL SIGUIENTE:



PARA EL COMIENZO, LA INFORMACIÓN DE LA TABLA DE DATOS ES LEIDA COMO DATOS DE ENTRADA, LOS CUALES SIRVEN PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES DEL SISTEMA. LUEGO EL TANQUE ES OCUPADO CON UNA DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULA INICIAL ARBITRARIA. ADEMÁS, EL DIÁMETRO INICIAL Y EL NÚMERO DE PARTÍCULAS PUEDE SER DADO EN FORMA ALEATORIA, LA DISTRIBUCIÓN FINAL DEBE CONTENER DE 1000 A 1100 PARTÍCULAS PARA PODER SER REPRODUCTIBLE; Y A LO MÁS 1400 PARTÍCULAS SON USADAS PARA HACER LAS GRÁFICAS.

EL MOVIMIENTO DE LAS PARTÍCULAS ES SIMULADO DESPUÉS DE ACUERDO A LOS MÉTODOS DESCRITOS ANTERIORMENTE.

ANTES DE LOS PROCESOS DE MOVIMIENTO Y EL FLUJO, ALGUNAS LOCACIONES TIENEN DOS PARTÍCULAS SIMULANDO UNA COLISIÓN ENTRE ELLAS.

UN CIERTO NÚMERO DE LAS COLISIONES EN ESTAS LOCACIONES SE ASUME QUE COALESCEN DE ACUERDO CON EL VALOR ESPECÍFICO DE LA EFICIENCIA DE COALESCENCIA K . DESPUÉS DE LA COALESCENCIA, ALGUNAS PARTÍCULAS SE ROMPEN.

EN LAS REGIONES DE CIRCULACIÓN, UNA CIERTA FUNCIÓN (DENOTADA β CR) DE LAS PARTÍCULAS COALESCIDAS ES ASUMIDO QUE SE ROMPEN. EN LA REGIÓN DEL AGITADOR, TODAS LAS PARTÍCULAS COALESCIDAS SE ROMPEN.

LAS PARTÍCULAS SENCILLAS EN ESTA REGIÓN, LAS CUALES NO HAN SUFRIDO COLISIÓN SE ASUME QUE PUEDEN SUFRIR RUPTURA DE ACUERDO A LA FUNCIÓN β IR.

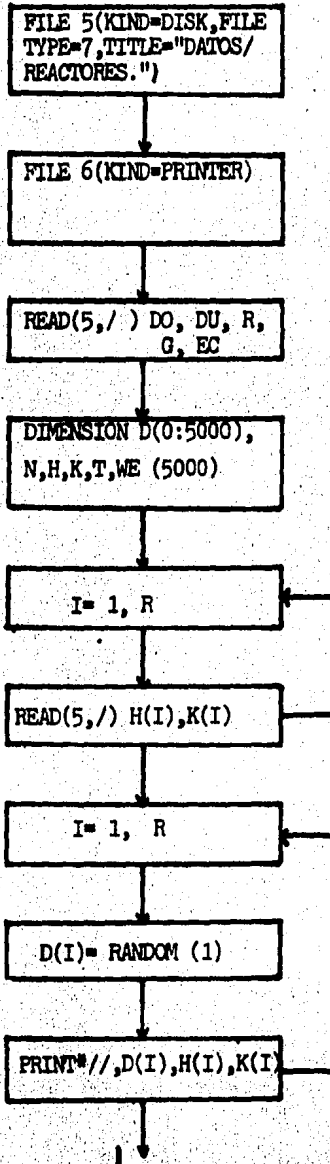
FINALMENTE, LAS PARTÍCULAS SON REDISTRIBUIDAS Y LA SIMULACIÓN SE REPITE HASTA QUE SE OBTIENE UNA DISTRIBUCIÓN DE DIÁMETROS DE PARTÍCULA REPRODUCTIBLE. LO CUAL SE LOGRA CUANDO SE LLEGA A UN ESTADO DE EQUILIBRIO.

3.2.- MODIFICACIONES AL MODELO.

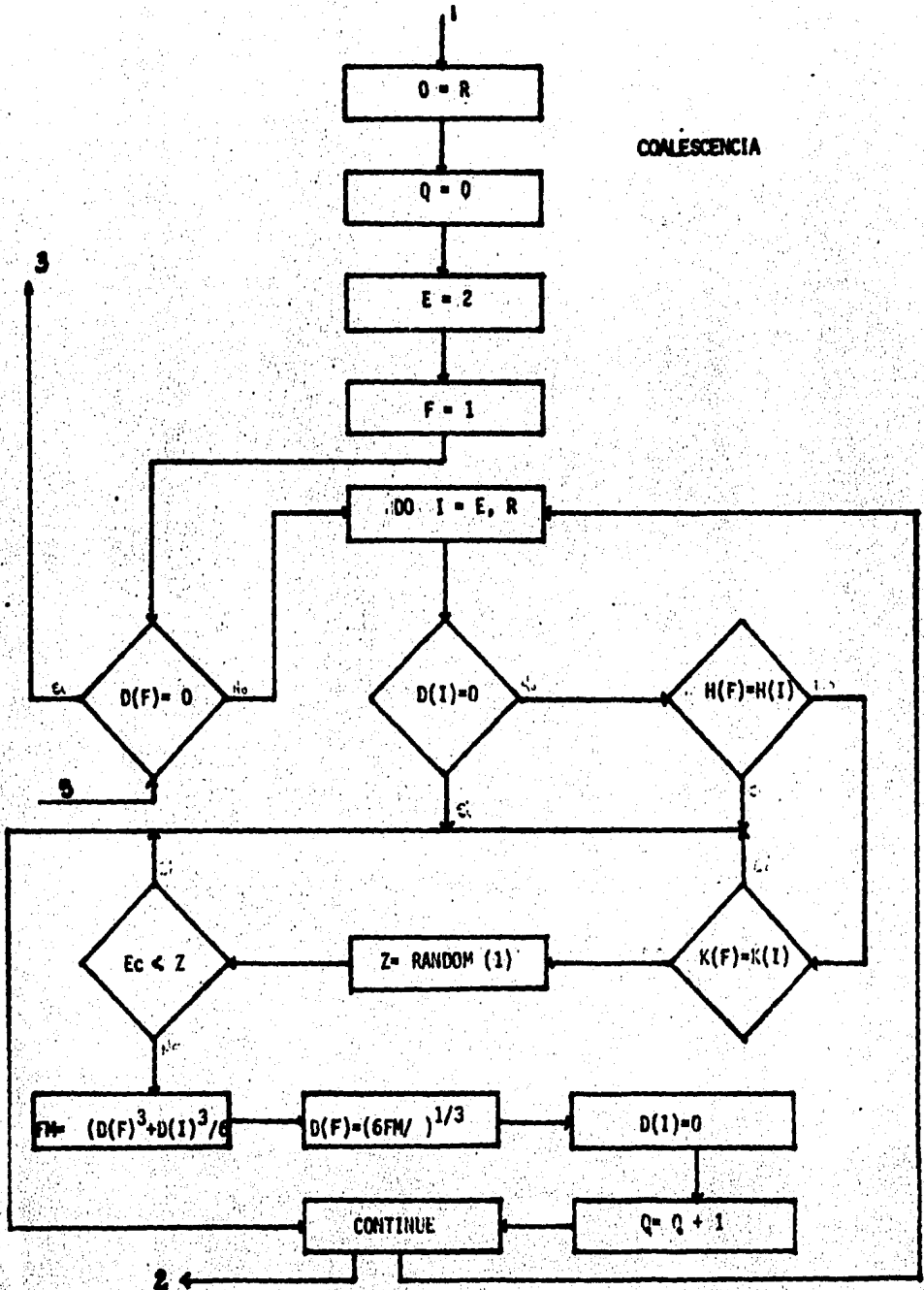
LAS MODIFICACIONES AL MODELO DE ZEITLIN Y L.L. TAVLARIDES SON LAS SIGUIENTES:

- SE ASUME QUE LA FASE DISPERSA CONSISTE DE PARTÍCULAS ESFERICAS -- SIN UNA DISTRIBUCIÓN DE DIÁMETROS UNIFORME Y NO SOLAMENTE LA COALESCENCIA DE DOS PARTÍCULAS OCURRE SI NO QUE PUEDE EXISTIR LA COALESCENCIA DE DOS O MÁS PARTÍCULAS.
- LA RUPTURA DE PARTÍCULA RESULTA EN LA FORMACIÓN DE DOS PARTÍCULAS DE DIÁMETROS UNIFORMES Y NO EN FORMA ALEATORIA. EL MOVIMIENTO Y DIRECCIÓN DE LAS PARTÍCULAS RESULTANTES ES EXCLUSIVAMENTE ALEATORIA.
- EL MACROMEZCLADO O EL MOVIMIENTO DE LA PARTÍCULA DE LA FASE DISPERSA ES SIMULADO MEDIANTE EL ASIGNAMIENTO DE UN VECTOR VELOCIDAD A LA PARTÍCULA EN FORMA ALEATORIA.
- ES IMPORTANTE HACER NOTAR QUE LA VELOCIDAD DEL FLUIDO DETERMINADA DE ESTA FORMA NO INCORPORA LOS EFECTOS COMBINADOS DE LOS CAMBIOS EN LAS REVOLUCIONES POR MINUTO, DIÁMETRO DEL AGITADOR Y GEOMETRÍA -- DEL TANQUE.
- LAS PARTÍCULAS SE PUEDEN MOVER MÁXIMO OCHO POSICIONES POR ITERACIÓN.

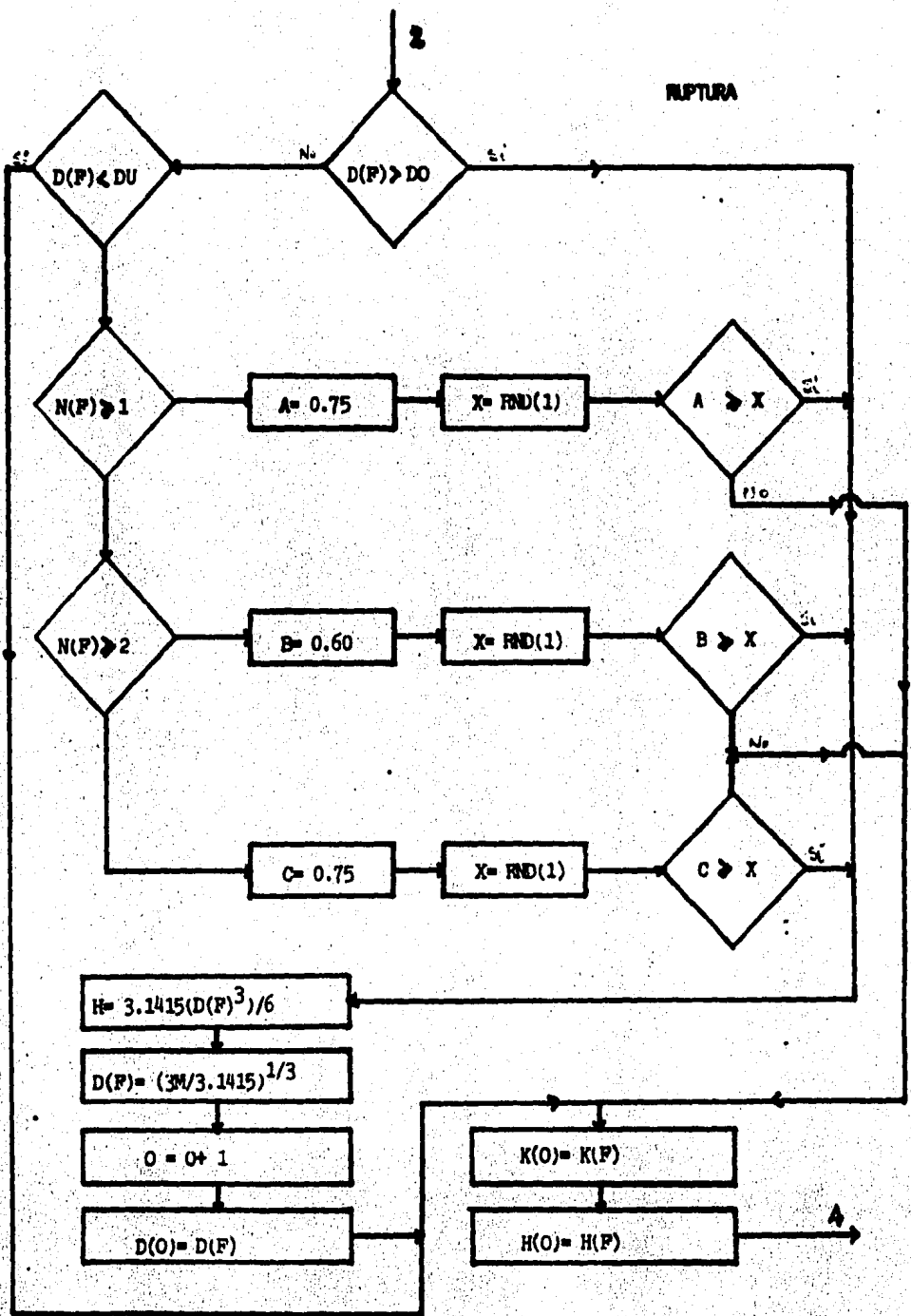
DIAGRAMA DE FLUJO



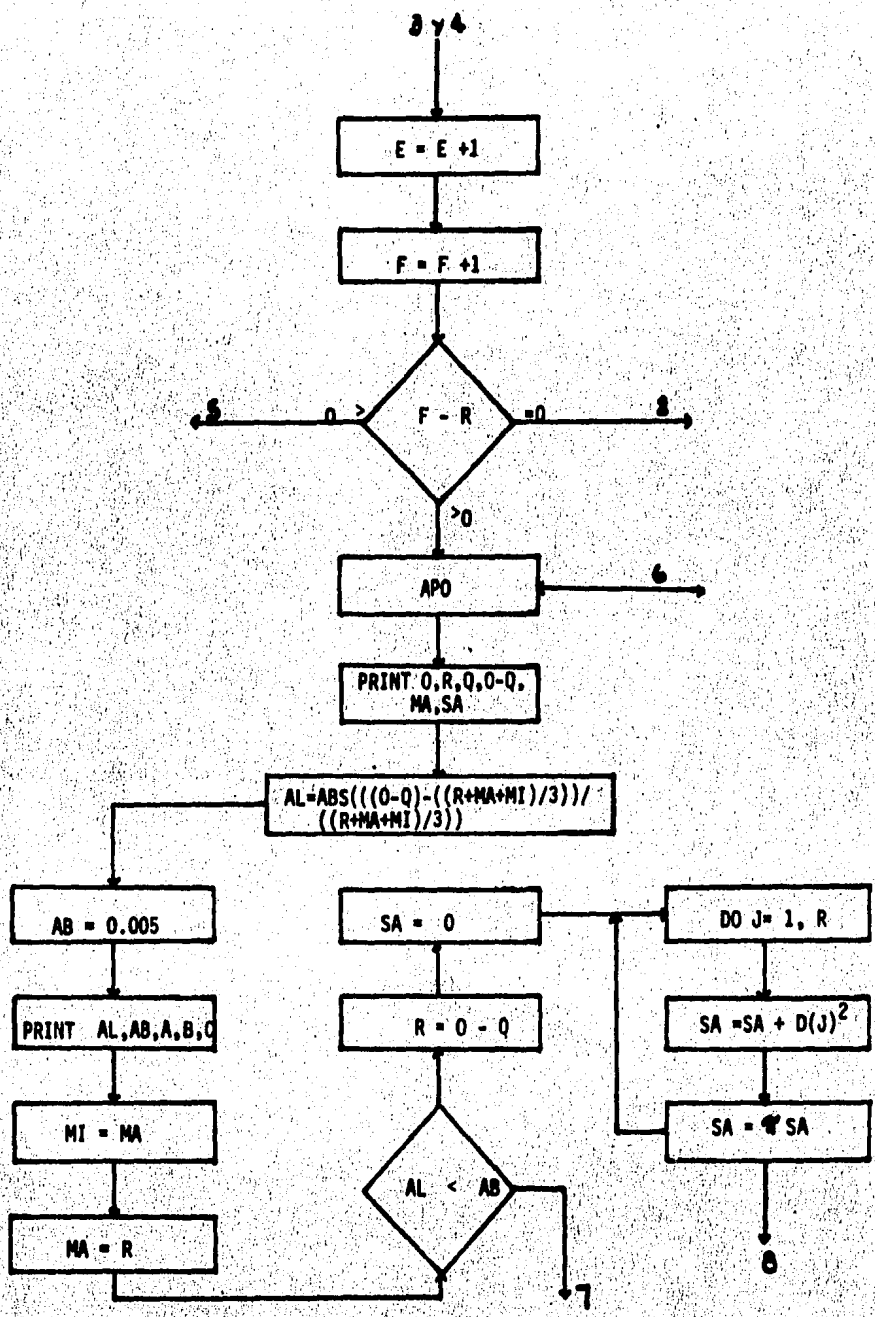
COALESCENCIA



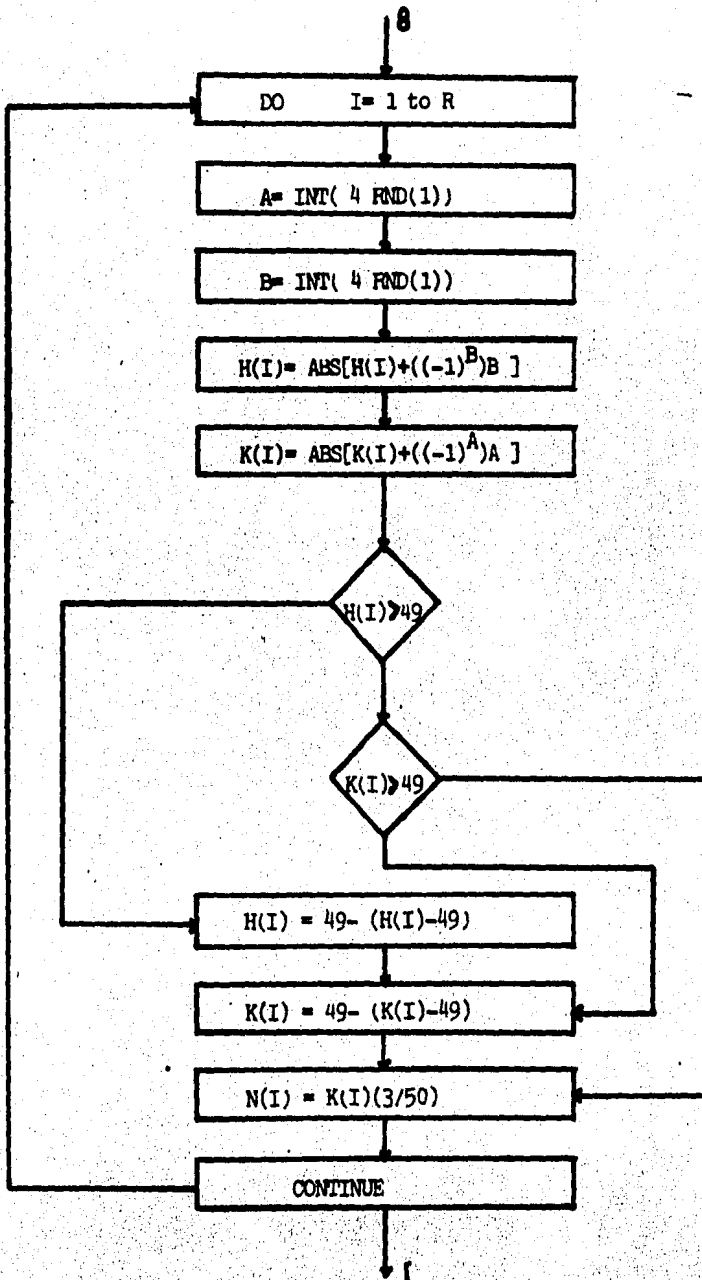
RUPTURA

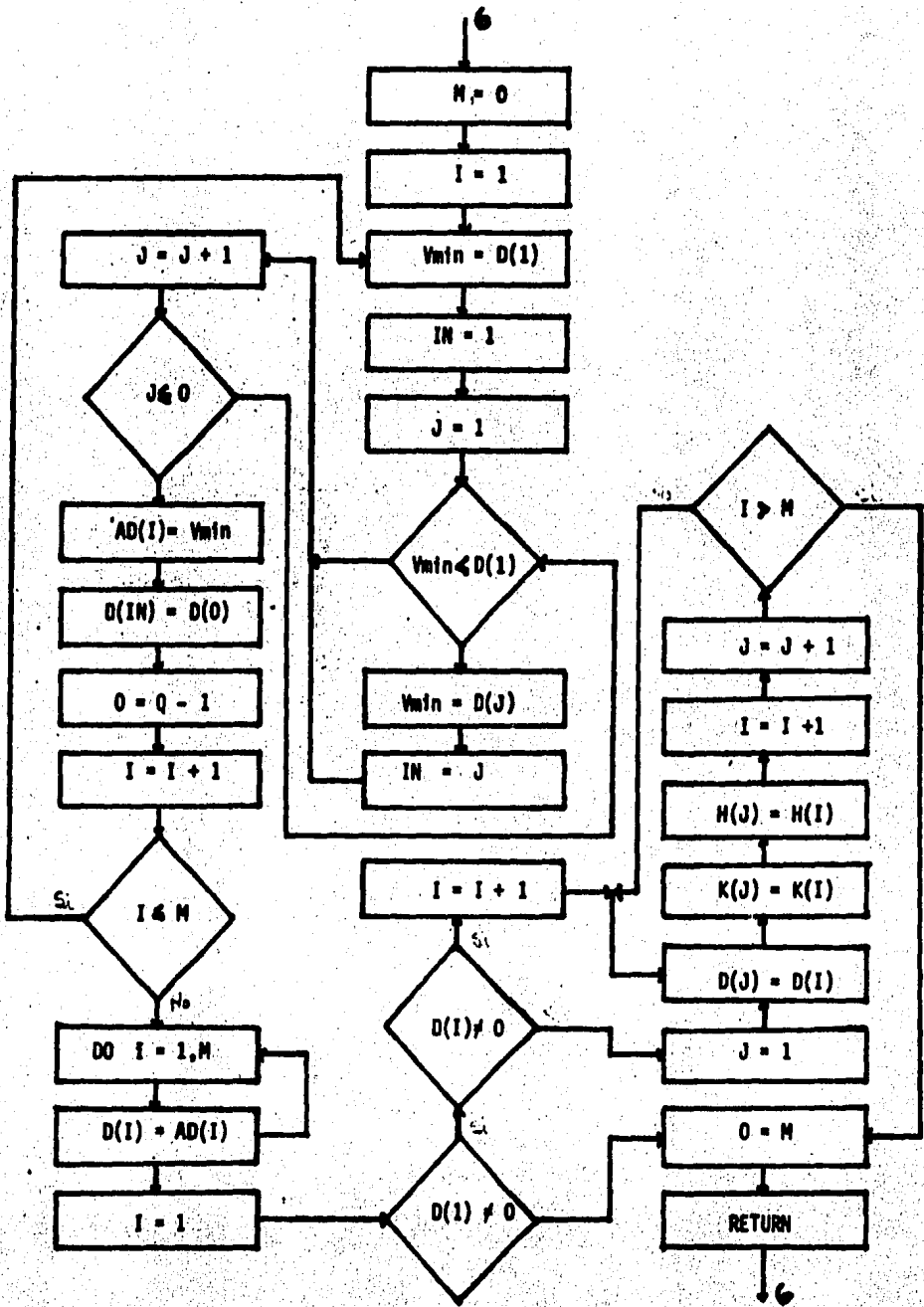


EQUILIBRIO

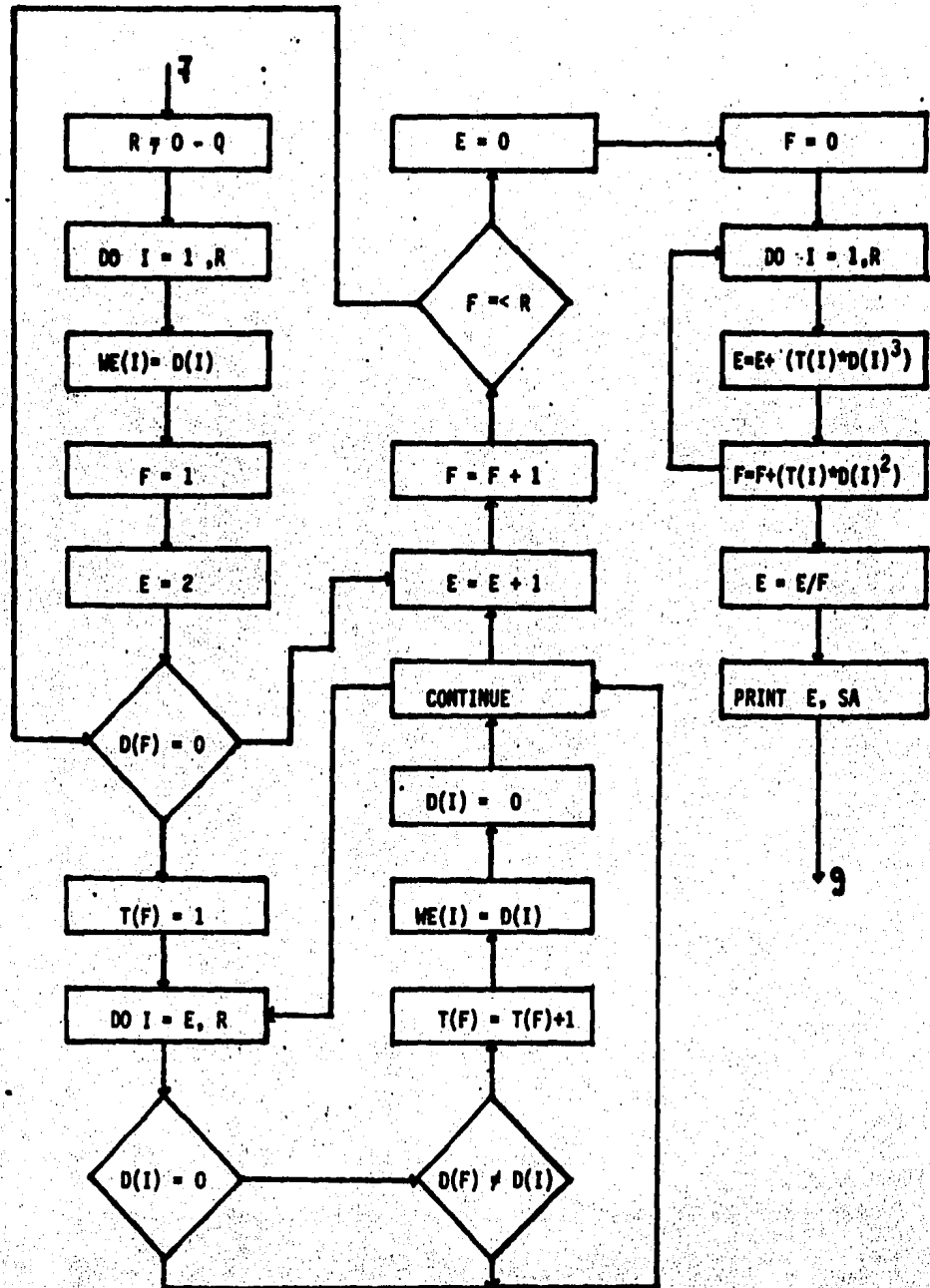


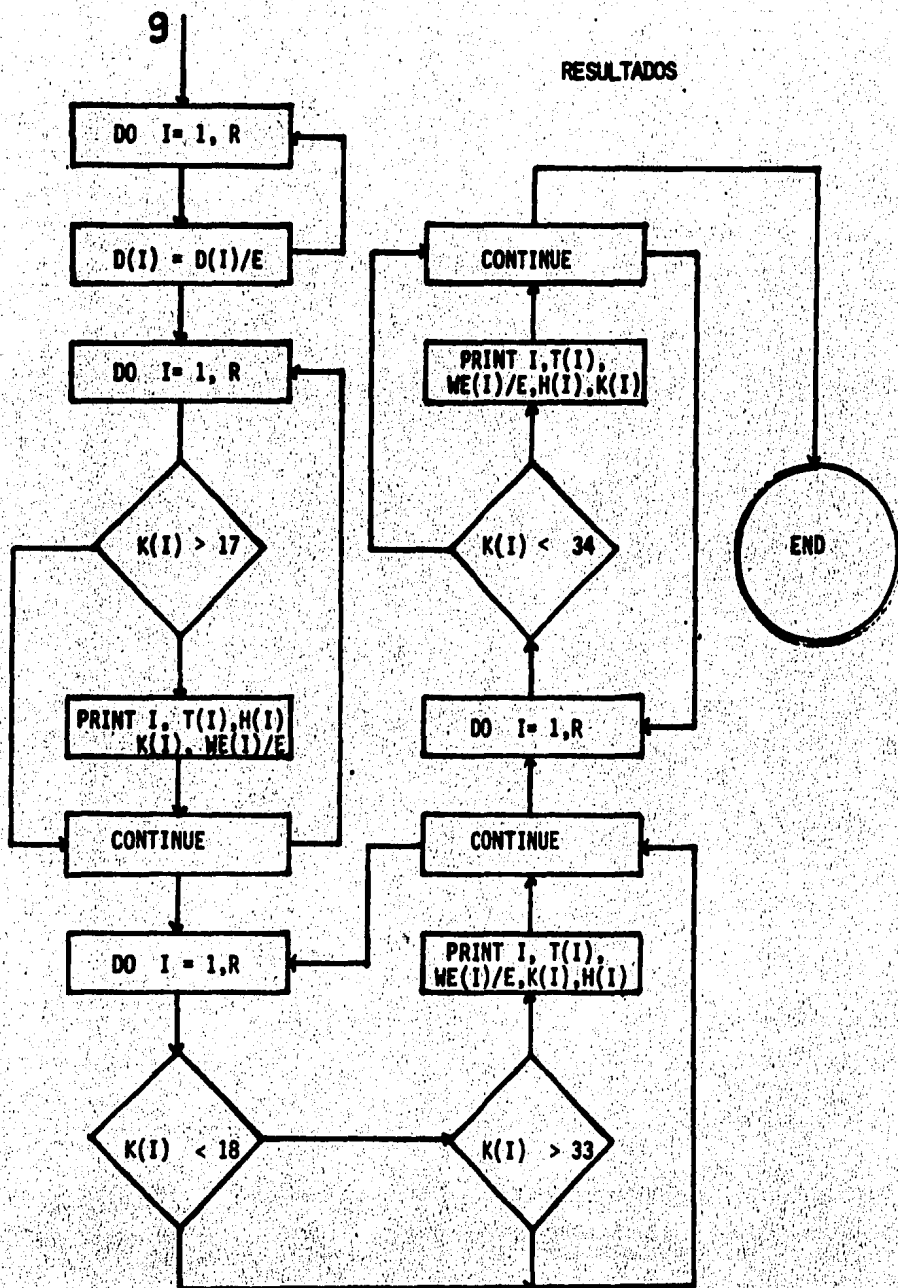
MOVIMIENTO





DIAMETRO 32





SIMULACION

SE EFECTUARON UN TOTAL DE 16 CORRIDAS VARIANDO TANTO LA EFICIENCIA DE COALESCENCIA COMO LA EFICIENCIA DE RUPTURA EN SUS DOS ZONAS, LA DE CIRCULACIÓN Y LA DEL AGITADOR.

ESTAS CORRIDAS O SIMULACIONES NO SE HICIERON PARA ALGUNA DISPERSIÓN LÍQUIDO-LÍQUIDO EN ESPECIAL SINO QUE EN FORMA GENERAL -- DÁNDOSE ARBITRARIAMENTE LOS DATOS DE DIÁMETRO MÁXIMO Y MÍNIMO, QUE FUERON RESPECTIVAMENTE 1 Y 0.09.

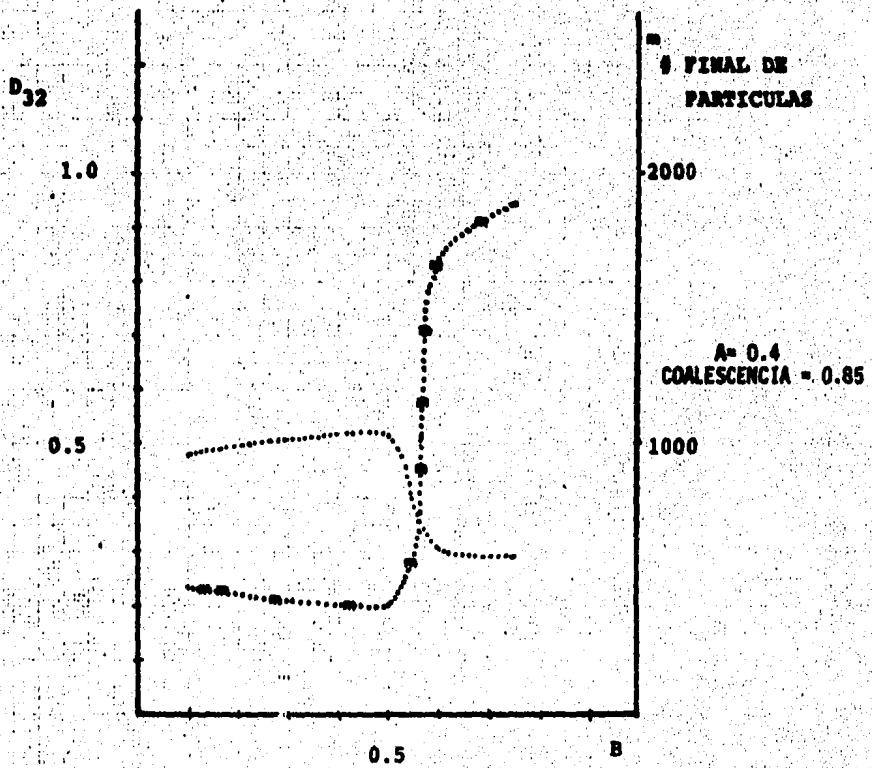
ADEMÁS, SE EMPLEARON 150 PARTÍCULAS INICIALES, TODAS CON DIÁMETROS DIFERENTES, Y EMPEZANDO SIEMPRE EN LA MISMA POSICIÓN (VER ANEXO: 2Y 3).

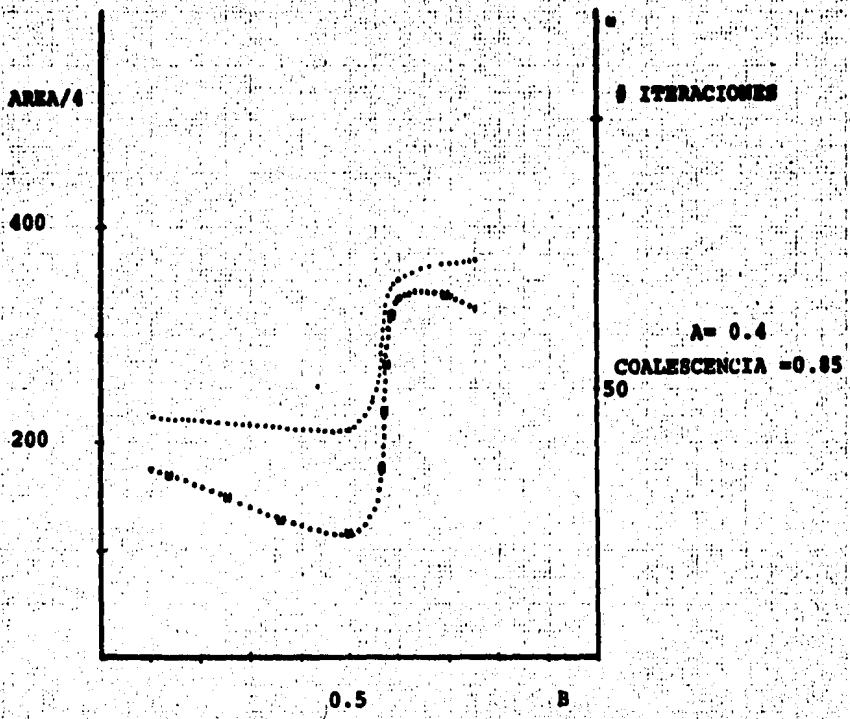
LOS RESULTADOS OBTENIDOS FUERON LOS SIGUIENTES:

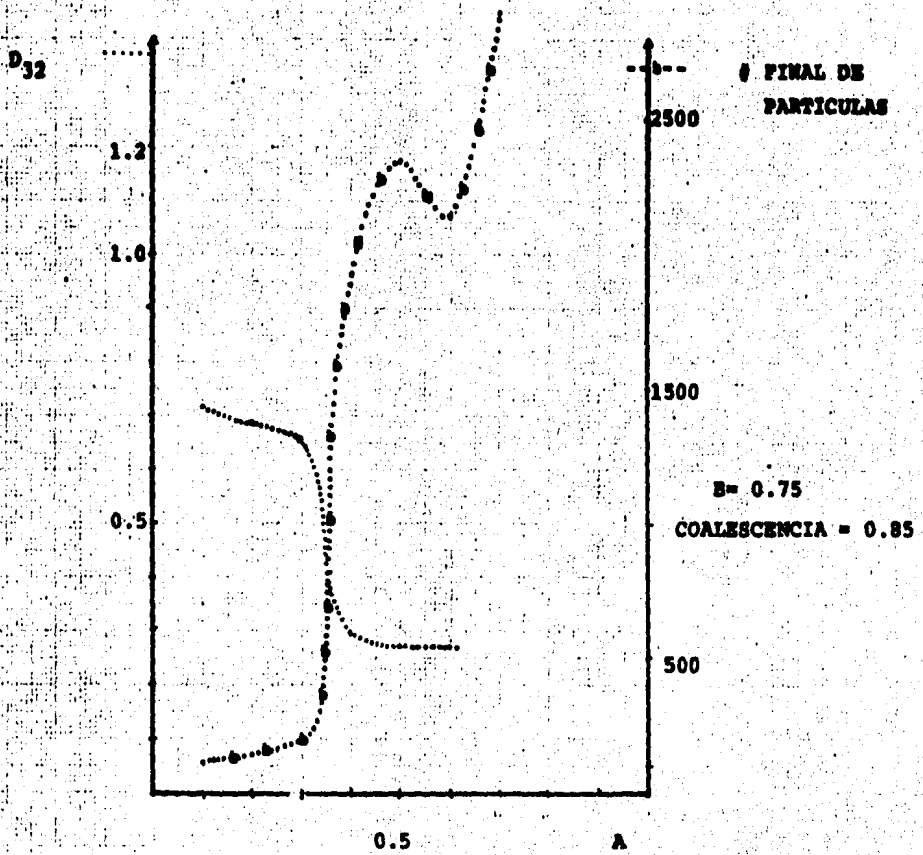
Corri- da	RUPTURA		Coales- cencia	Part. Inicio	# Part. Inicio	# Integ. sección	# Part. Iter	# Part. Final	Diámetro 32	Área 4
	Circu- lación	Agua- 135f.								
1	0.7	0.75	0.85	150	51	56.7	2894	-	-	425.8
2	0.6	0.75	0.85	150	45	47.8	2149	0.2802	0.2802	384.8
3	0.5	0.75	0.85	150	70	33.6	2355	0.2701	0.2701	398.7
4	0.4	0.75	0.85	150	65	29.1	1892	0.2921	0.2921	369.9
5	0.3	0.75	0.85	150	4	47.0	188	0.6560	0.6560	163.7
6	0.1	0.75	0.85	150	8	14.5	166	0.7188	0.7188	147.4
7	0.5	0.6	0.85	150	31	24.5	758	0.4009	0.4009	273.0
8	0.5	0.6	0.75	150	63	35.7	2251	0.2786	0.2786	386.5
9	0.4	0.5	0.85	150	23	17.7	406	0.5151	0.5151	211.4
10	0.5	0.95	0.85	150	45	53.7	2417	0.2632	0.2632	409.4
11	0.4	0.6	0.85	150	67	25.1	1684	0.3067	0.3067	351.7
12	0.5	0.75	0.5	150	44	82.5	3629	-	-	457.5
13	0.4	0.75	0.5	150	45	81.8	3680	-	-	458.1
14	0.4	0.1	0.85	150	35	13.5	472	0.4789	0.4789	224.3
15	0.4	0.3	0.85	150	28	14.9	418	0.5032	0.5032	215.7
16	0.2	0.75	0.85	150	19	7.8	148	0.6872	0.6872	156.1

NOMENCLATURA

- A - EFICIENCIA DE RUPTURA EN LA ZONA DE CIRCULACION.
- B - EFICIENCIA DE RUPTURA EN LA ZONA DEL AGITADOR.
- D_{32} - DIAMETRO 32
- β - EFICIENCIA DE COALESCENCIA.
- D - DIAMETRO.







AREA/4

ITERACIONES

400

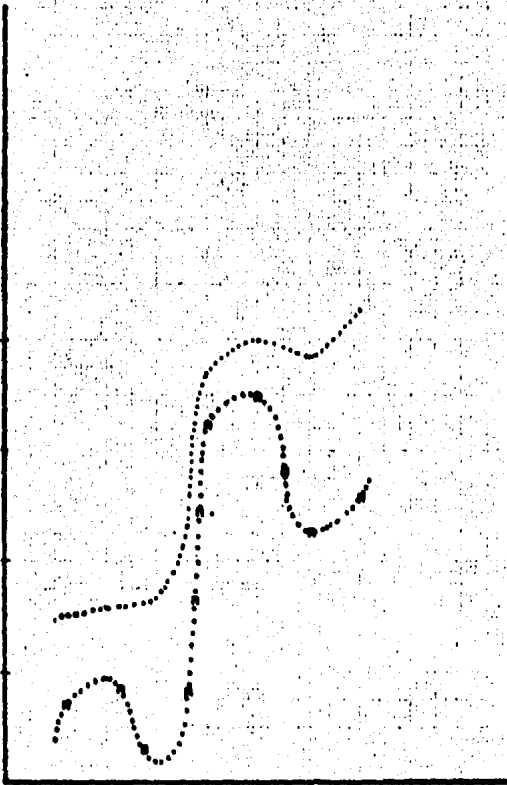
100

200

B = 0.75
COALESCENCIA = 0.85
50

0.5

A



5

Partic.

200

100

0

A = 0.6
B = 0.75 (a)
β = 0.85
D₃₂ 0.28021

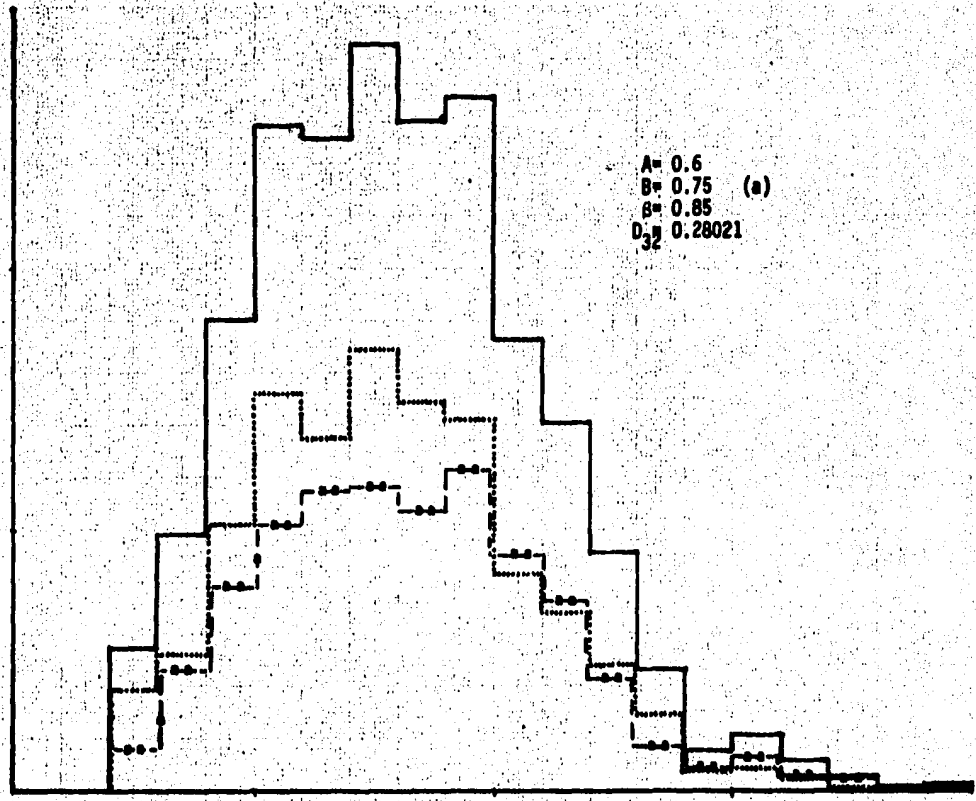
0.5

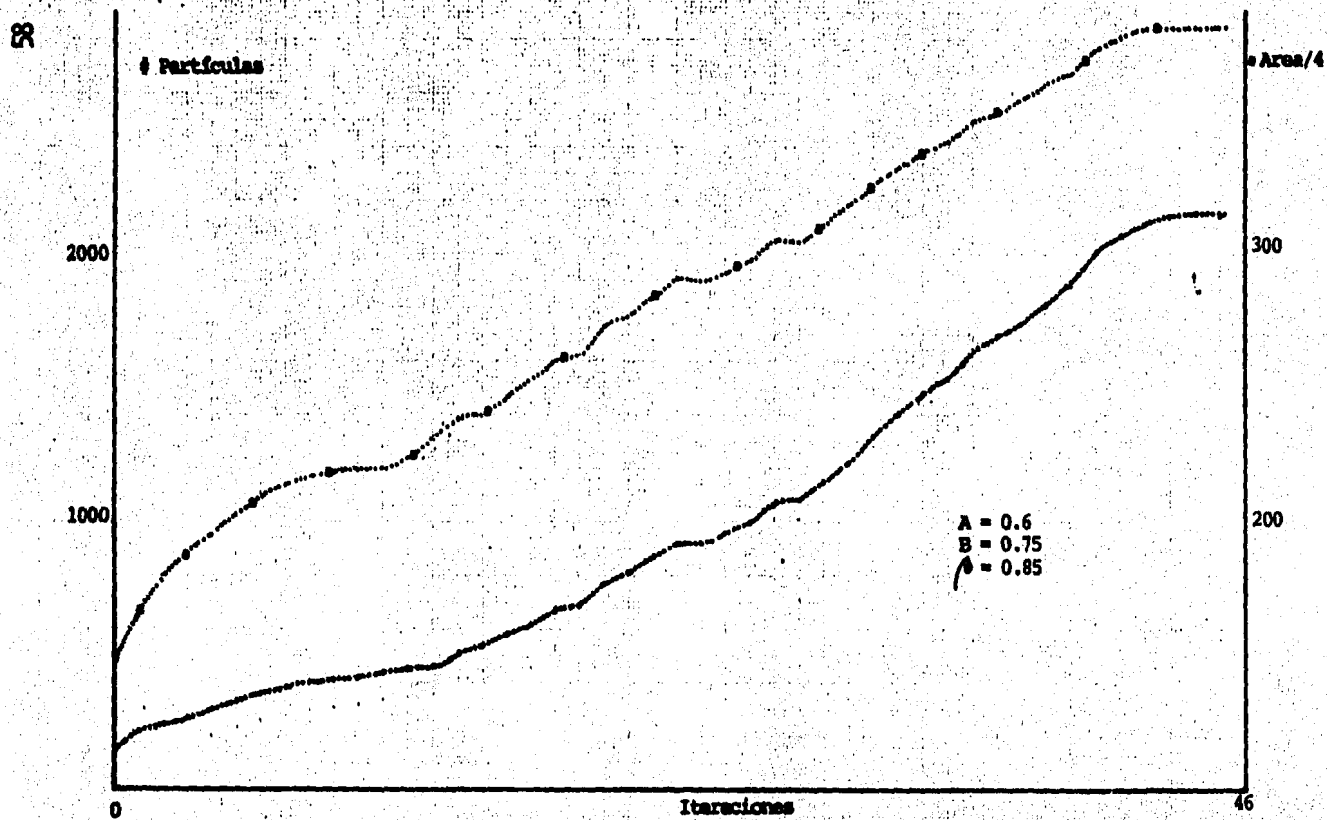
1.0

1.5

2

D/D₃₂





8

Particules

300

200

100

0

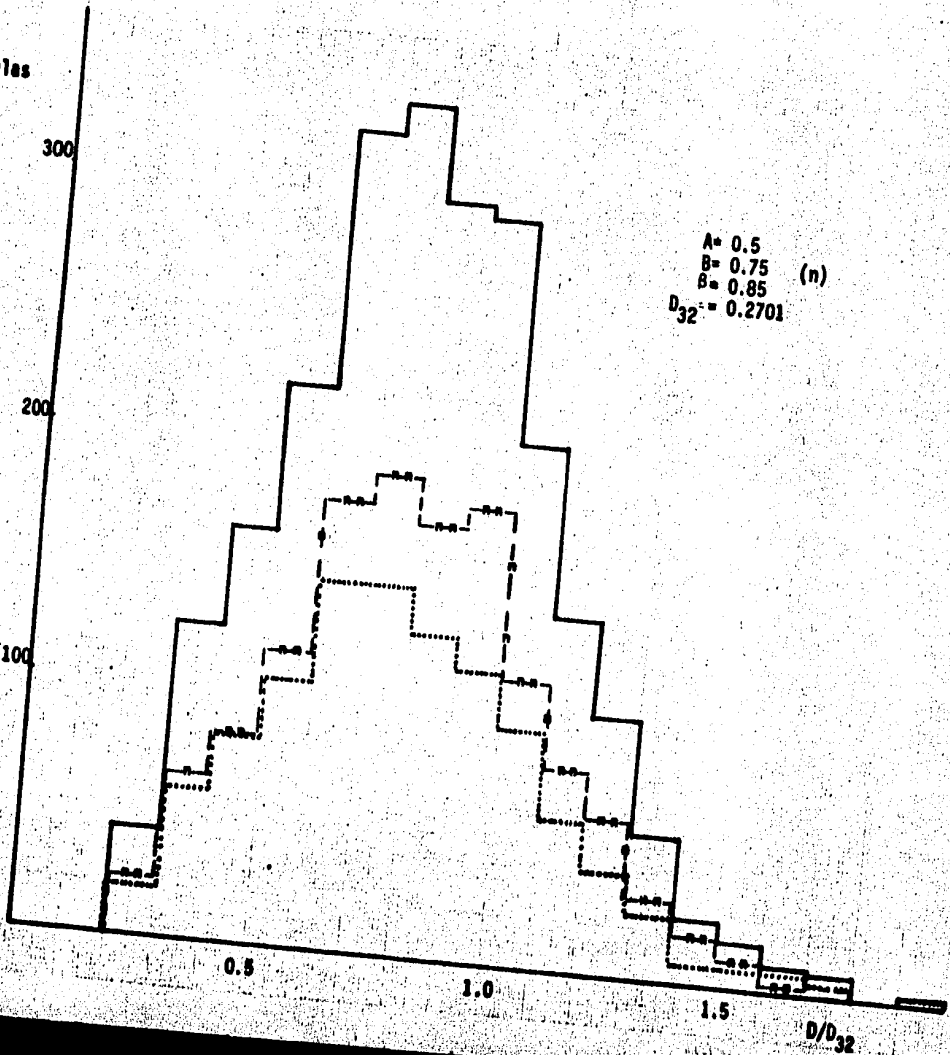
A = 0.5
B = 0.75 (n)
B = 0.85
D₃₂ = 0.2701

0.5

1.0

1.5

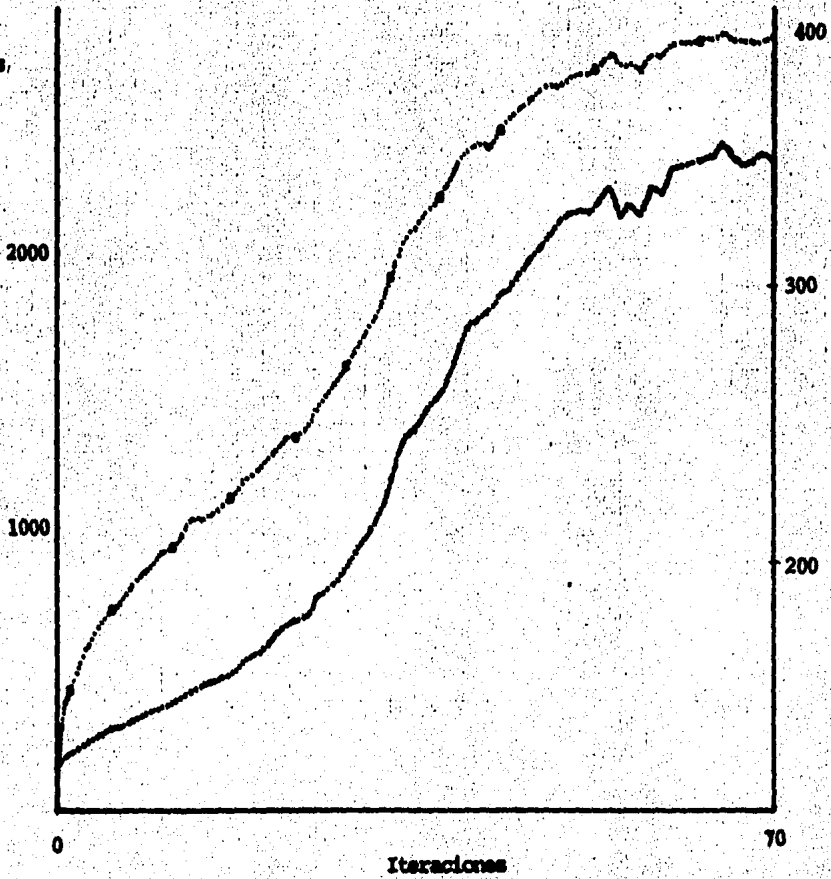
D/D₃₂



80

Partículas.

Area/4



A = 0.5
B = 0.75
 $\beta = 0.85$

Iteraciones

61

Partic.

200

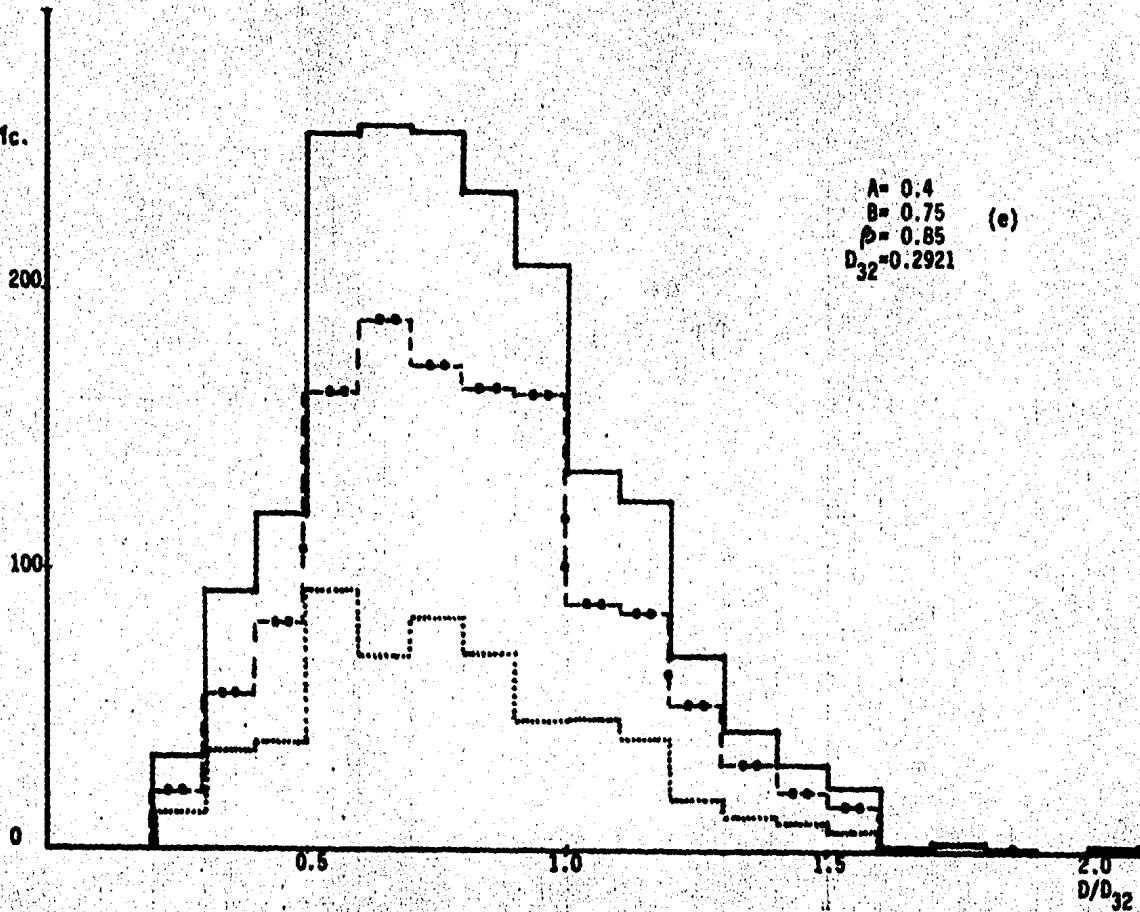
100

0

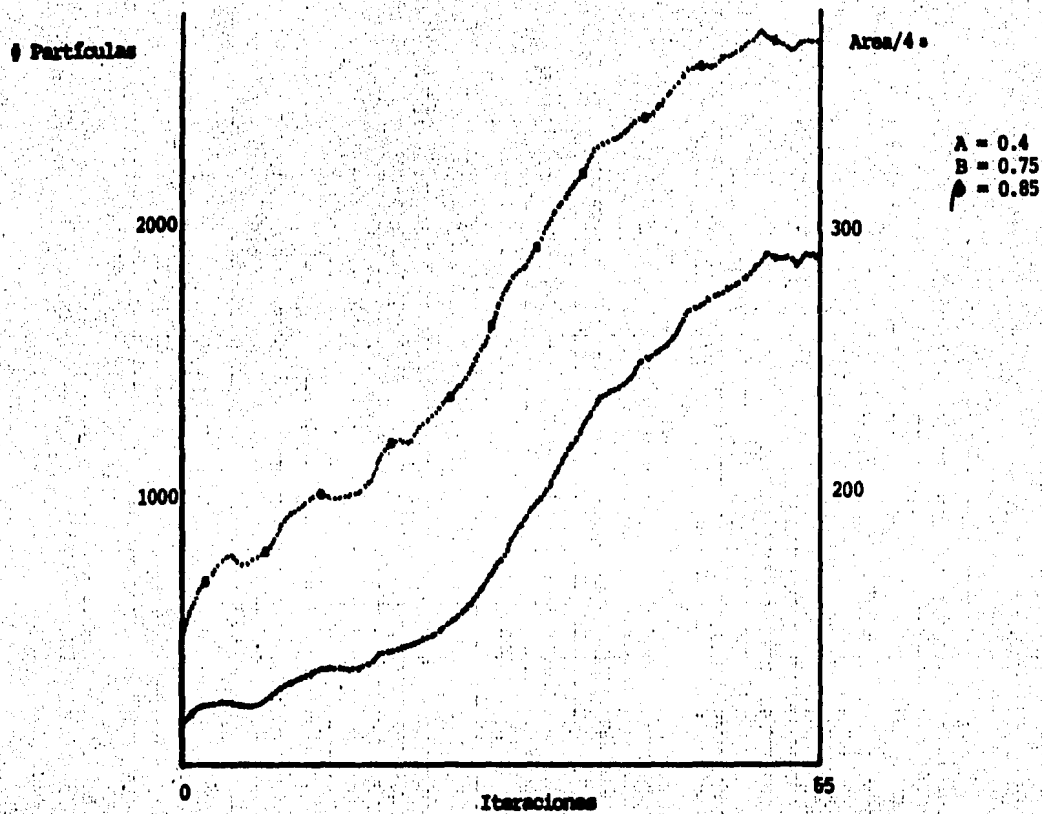
A = 0.4
B = 0.75
 $\rho = 0.85$
 $D_{32} = 0.2921$

(e)

2.0
 D/D_{32}



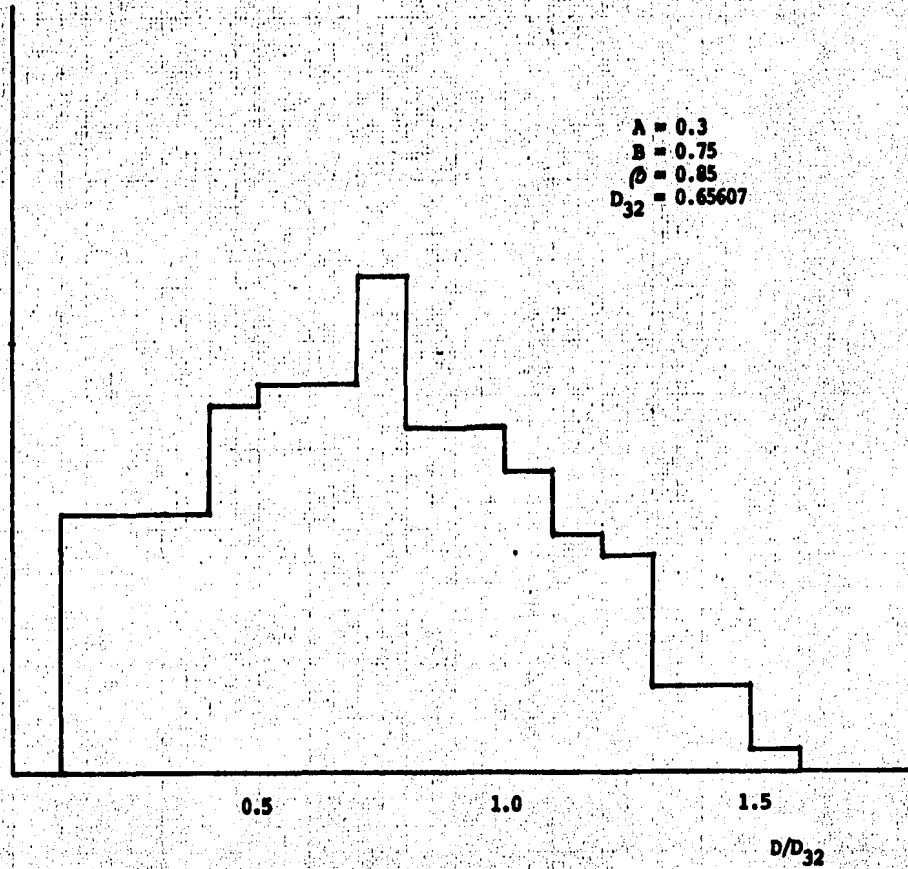
62



Particules

20

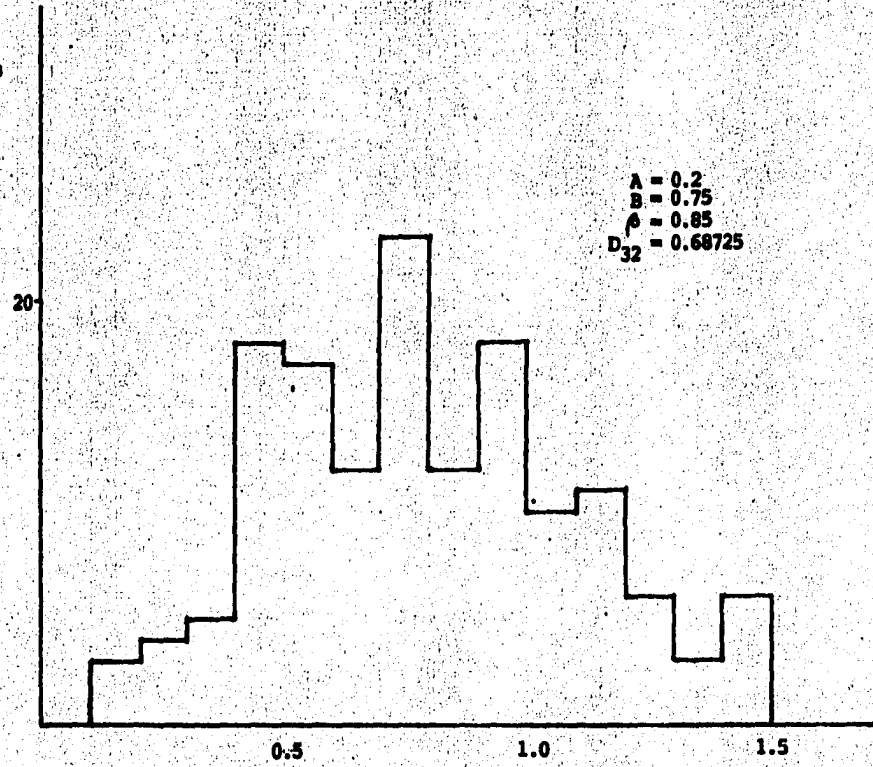
A = 0.3
B = 0.75
 $\sigma = 0.85$
 $D_{32} = 0.65607$

D/D₃₂

8

6

Particulas



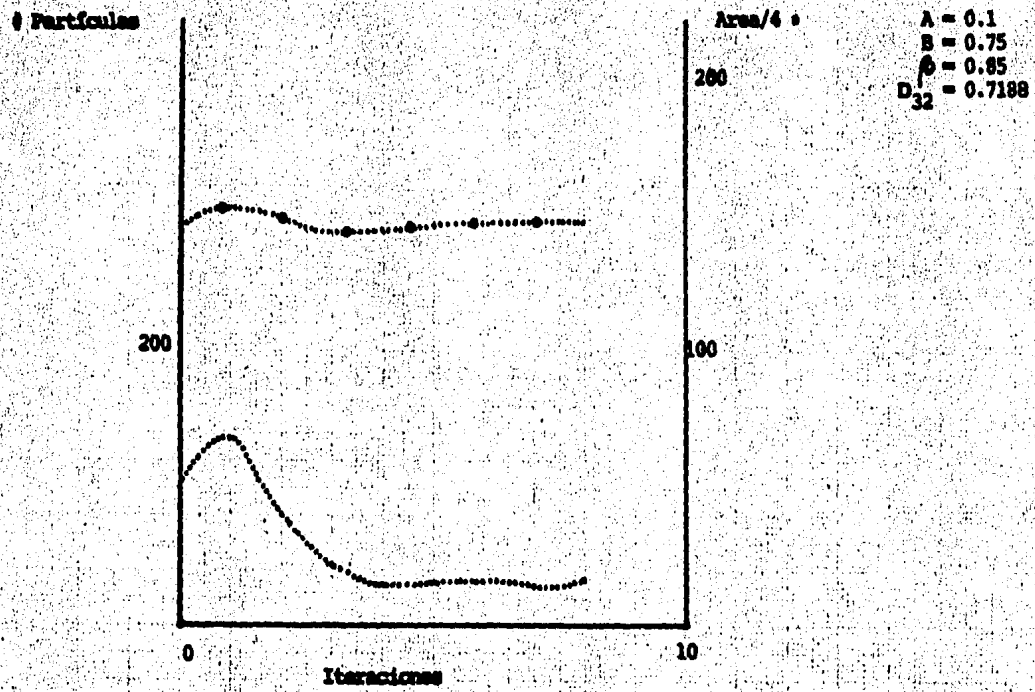
D/D₃₂

65

A = 0.1
B = 0.75
C = 0.85
D₃₂ = 0.7188

Particulas

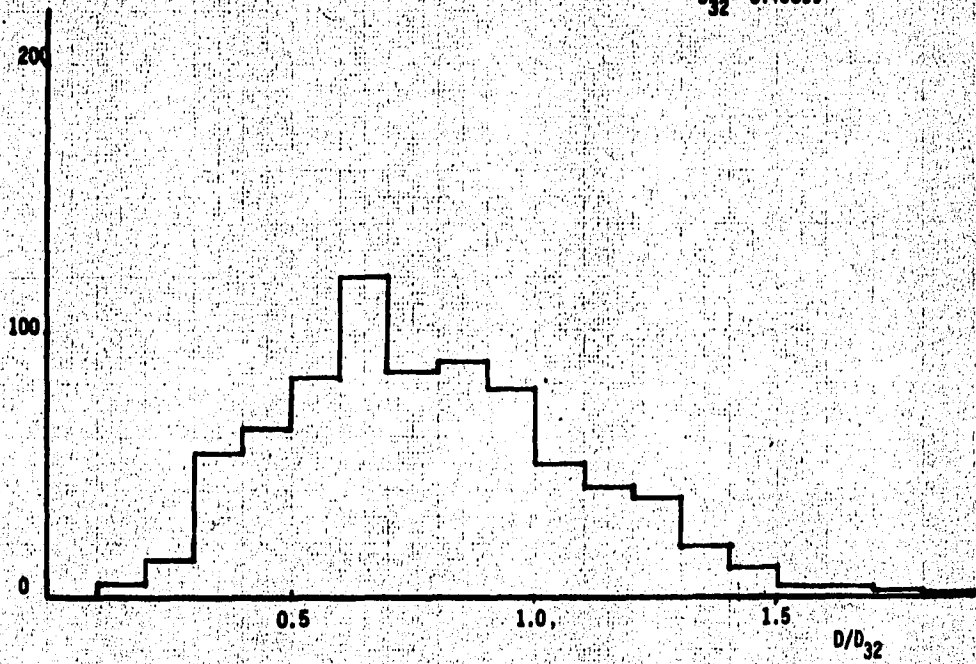




67

Particulas.

A = 0.5
B = 0.6
C = 0.85
D₃₂ = 0.40099

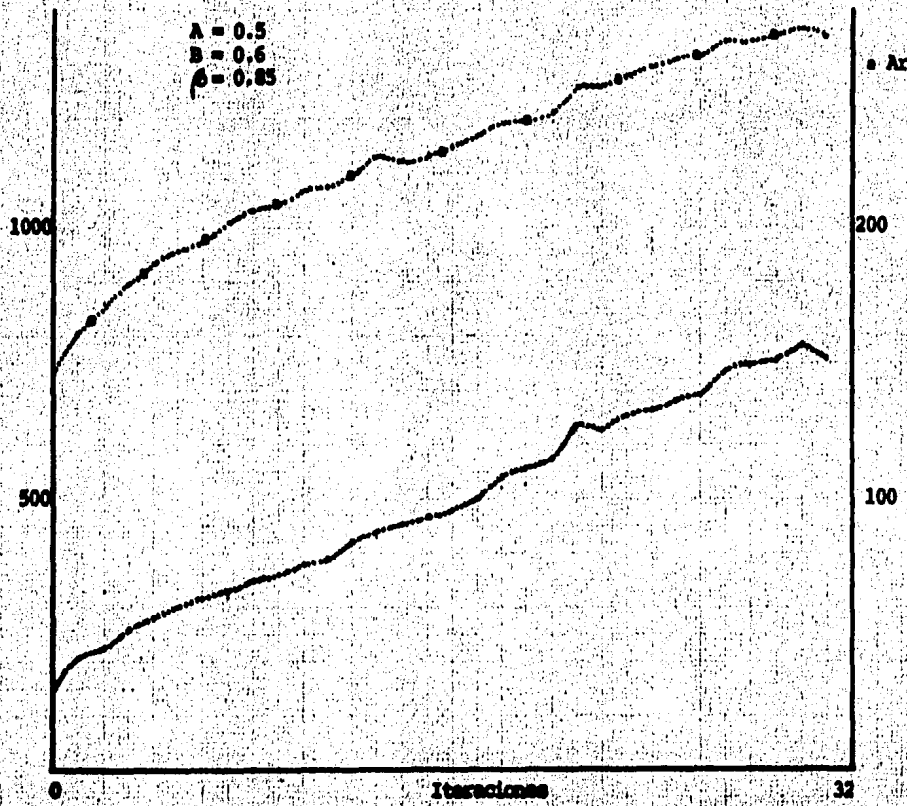


8

• Partículas

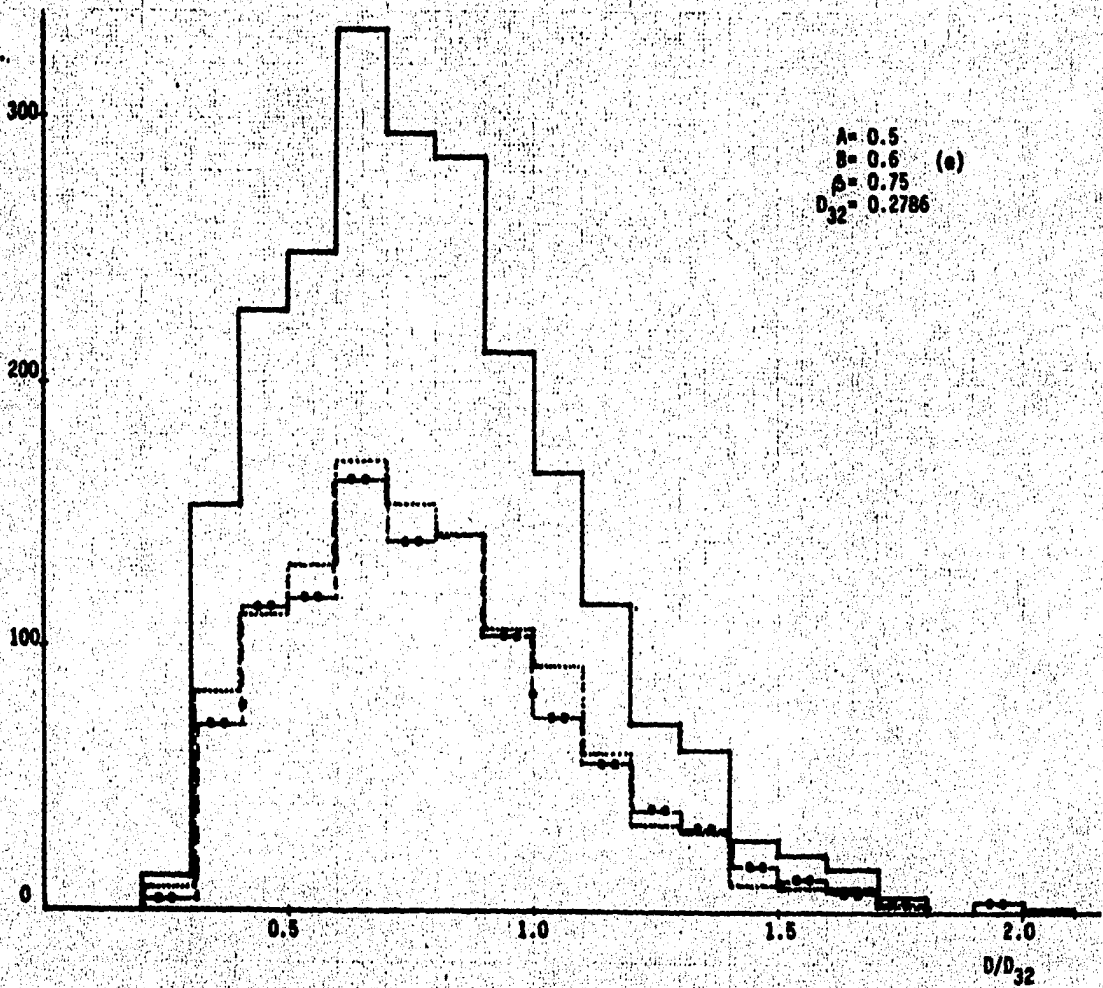
A = 0.5
B = 0.6
 $\beta = 0.85$

• Area / 4



88

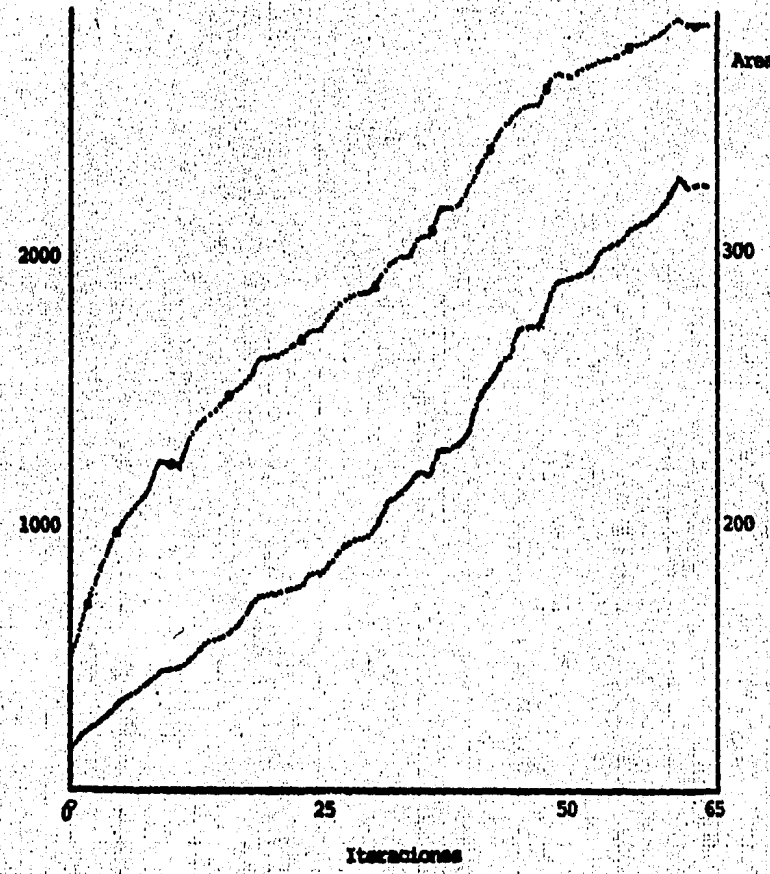
#Partic.



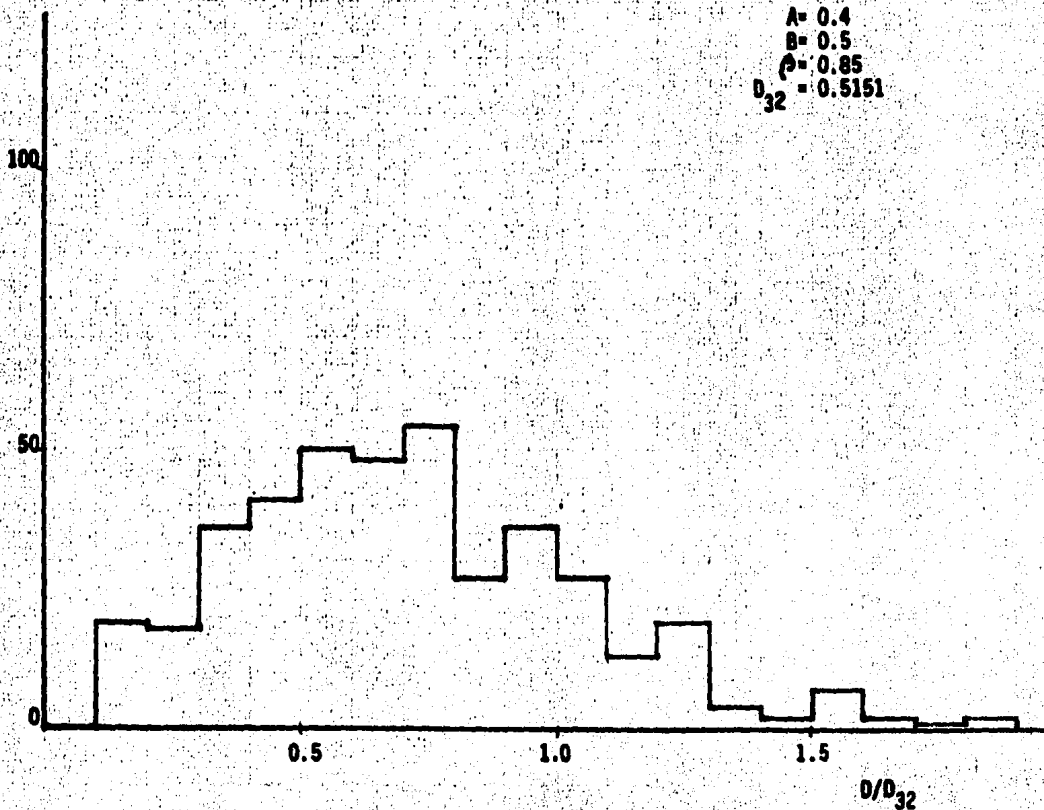
A = 0.5
B = 0.6 (a)
C = 0.75
D₃₂ = 0.2786

70

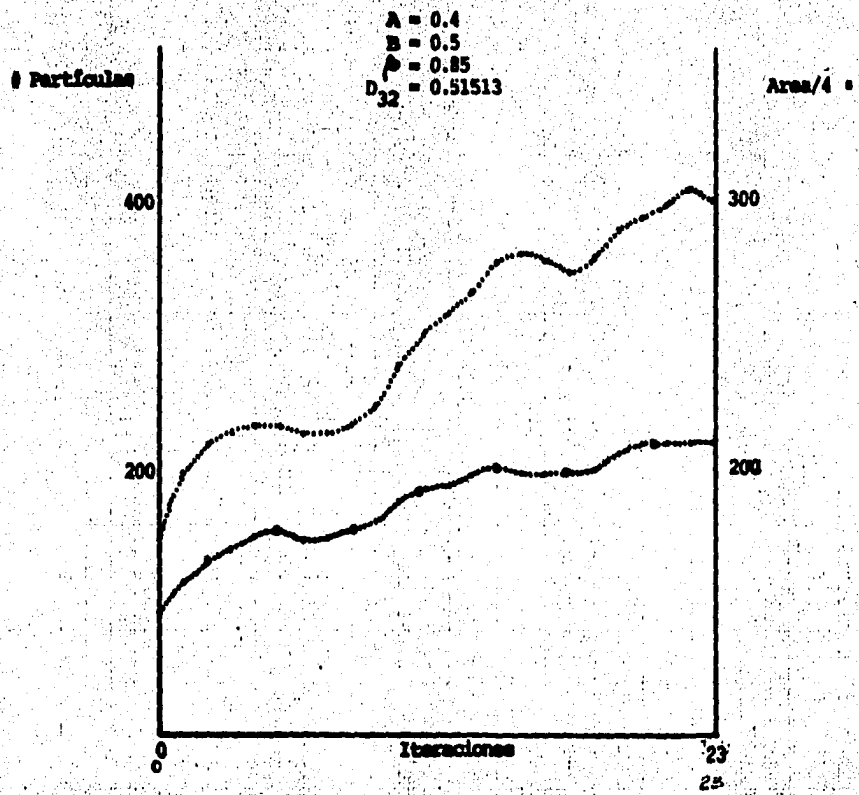
Particulas



71 # Particulas

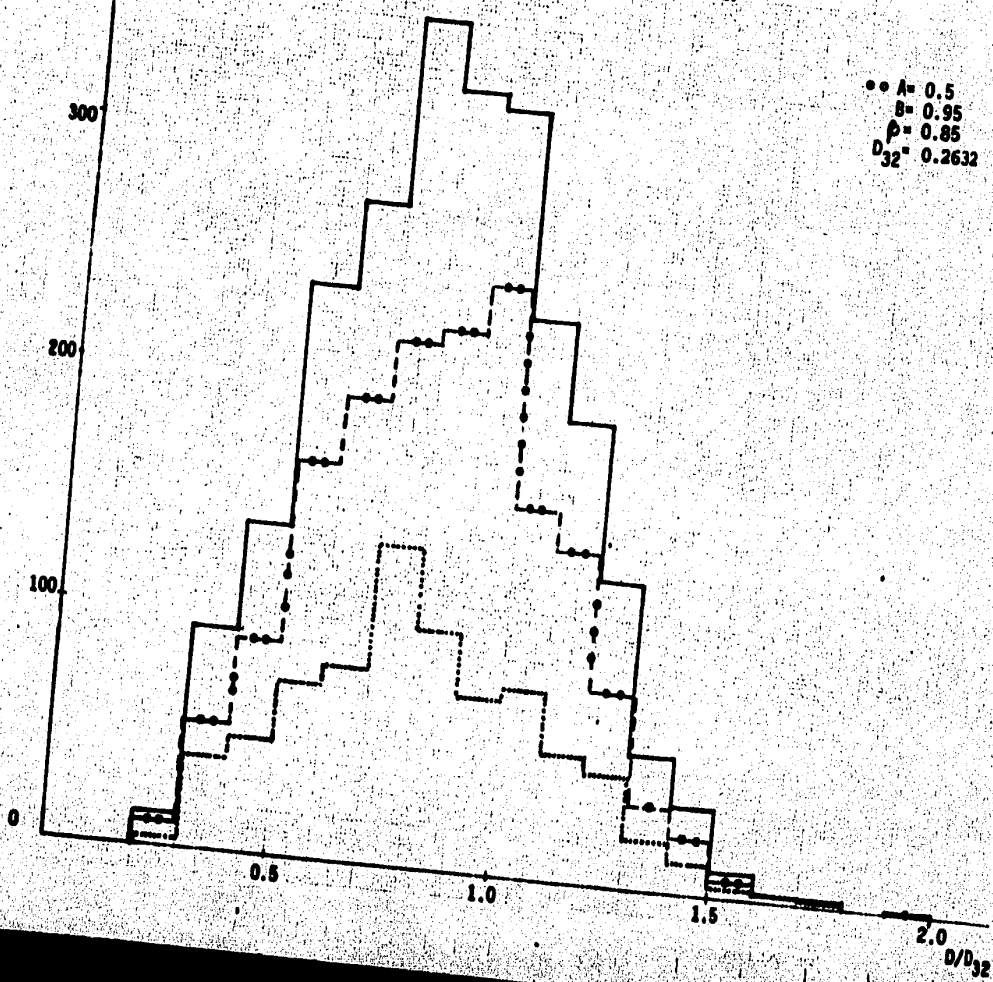


72



73

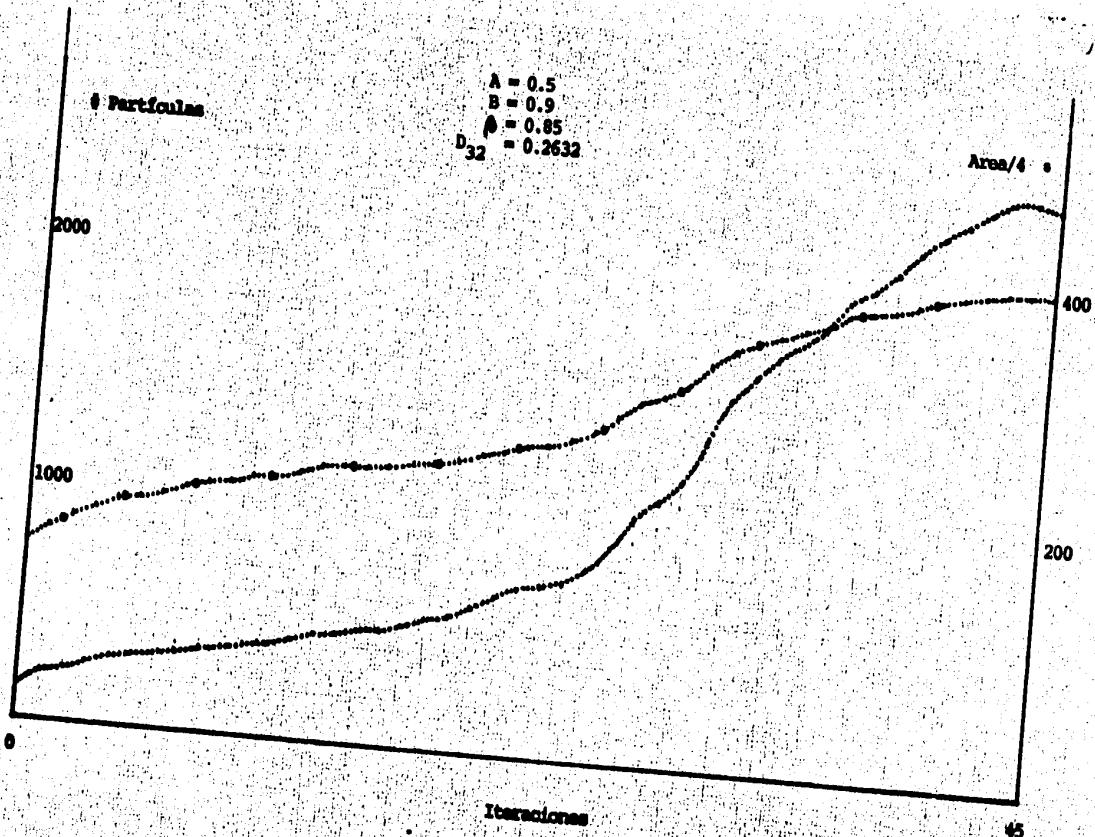
#Particulae



10

74

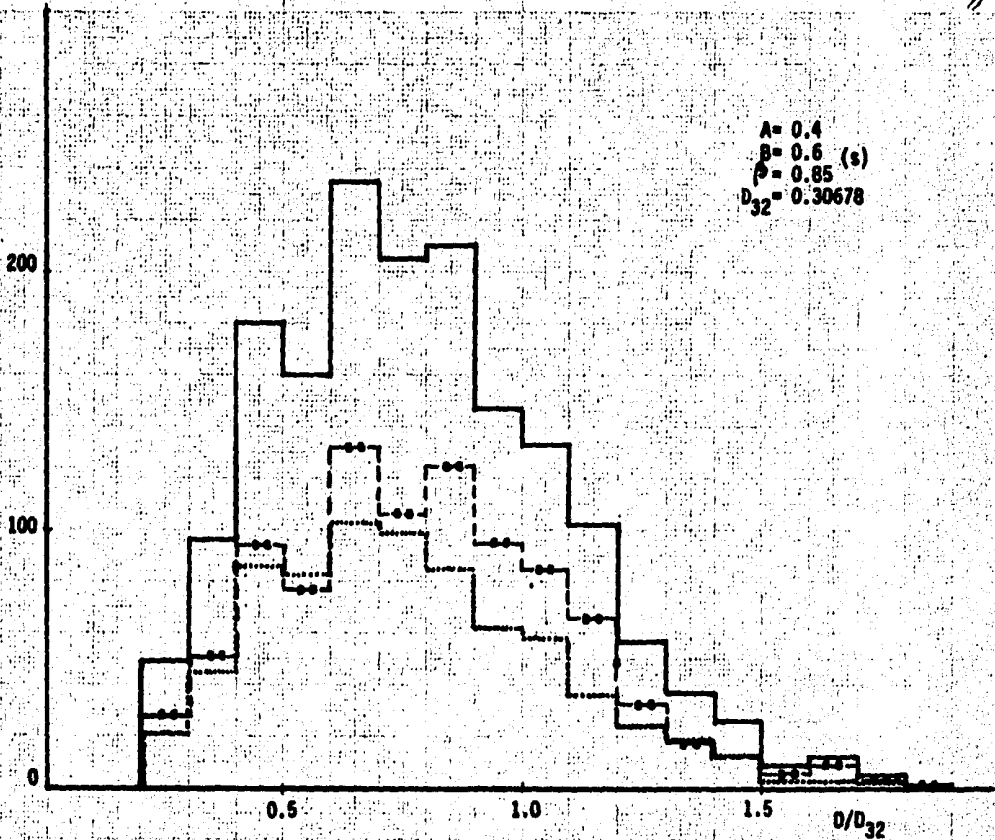
10



75

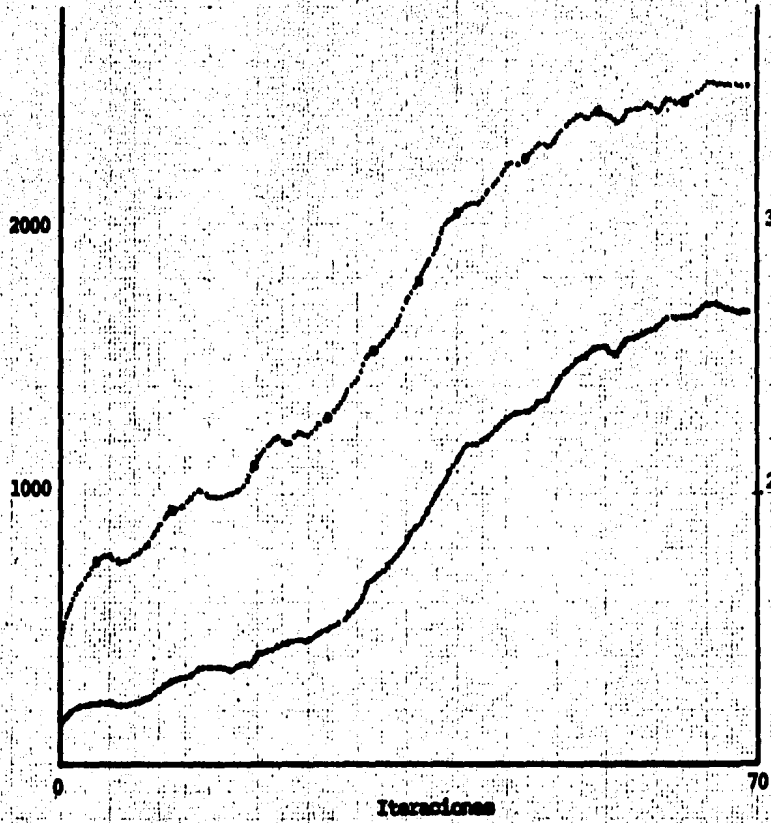
Particulas.

$A = 0.4$
 $B = 0.6$ (s)
 $\phi = 0.85$
 $D_{32} = 0.30678$



70

• Partículas



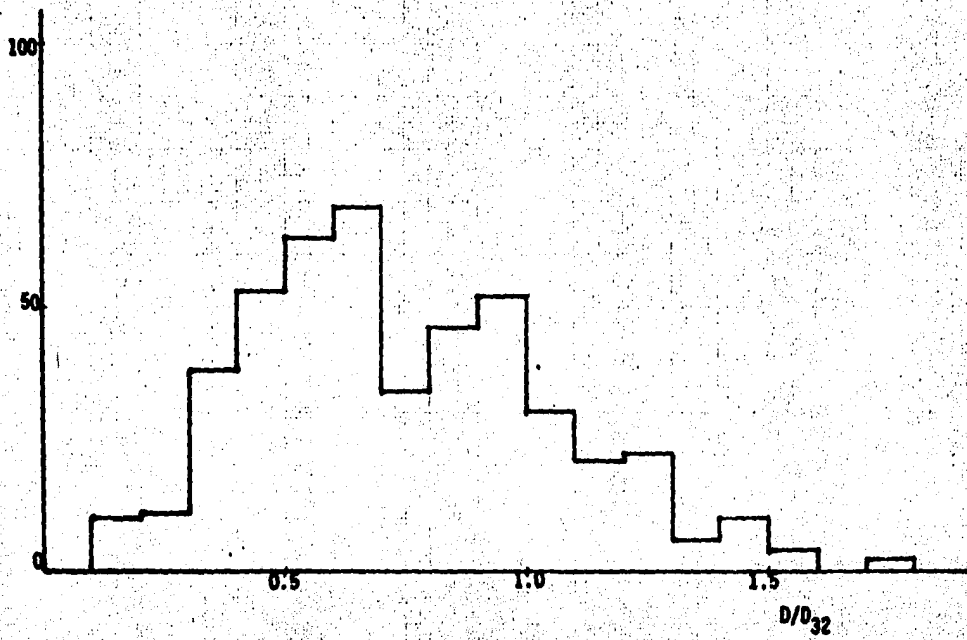
Area / 4 •

$\lambda = 0.4$
 $B = 0.6$
 $\beta = 0.85$

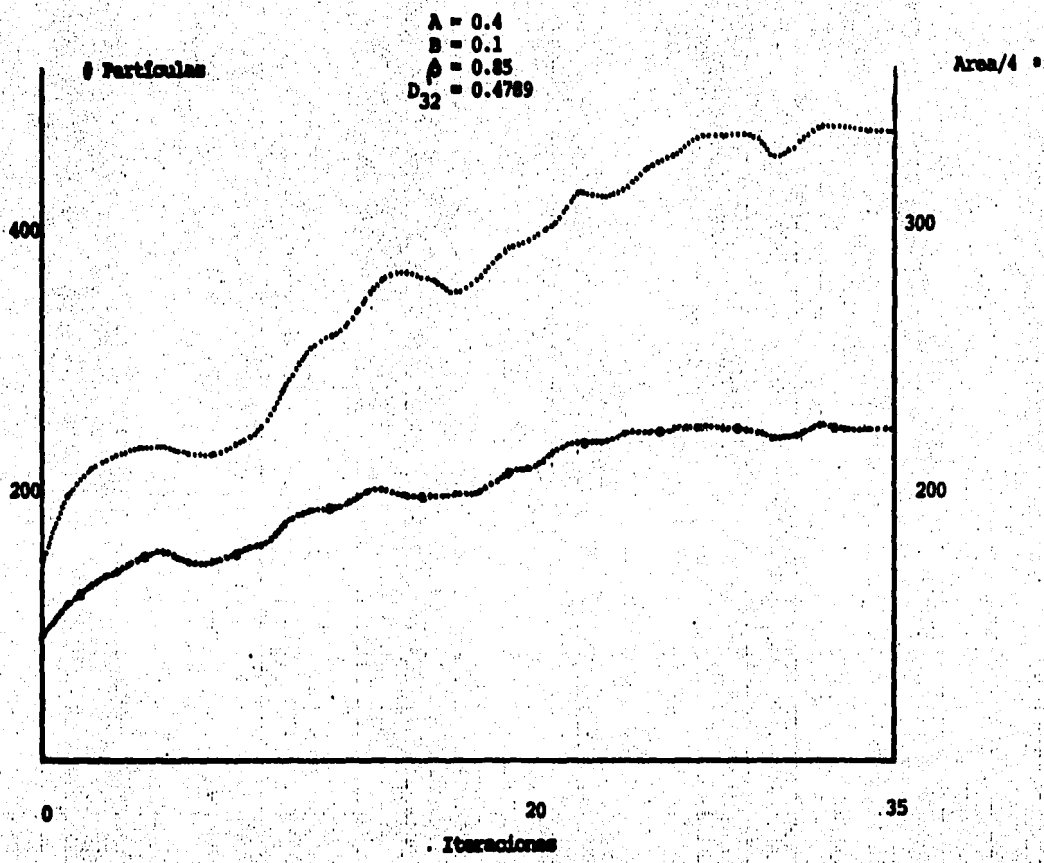
77

A = 0.4
B = 0.1
C = 0.85
D₃₂ = 0.4789

Particulas.

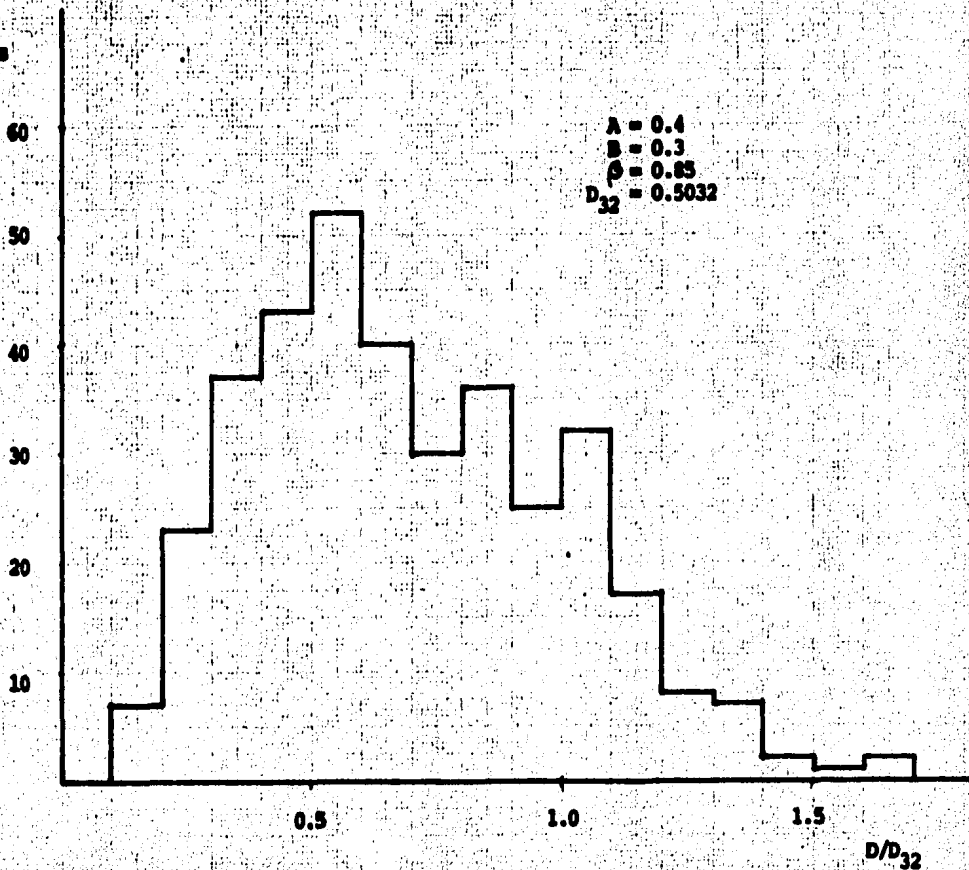


78

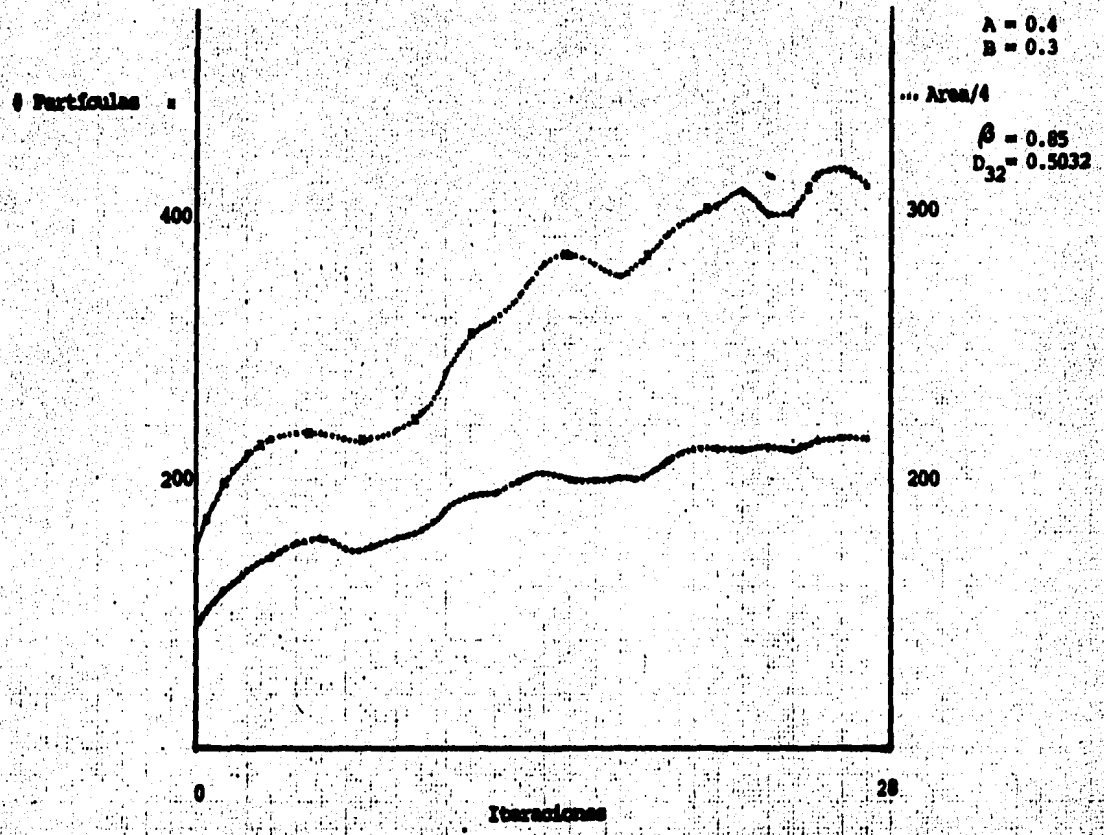


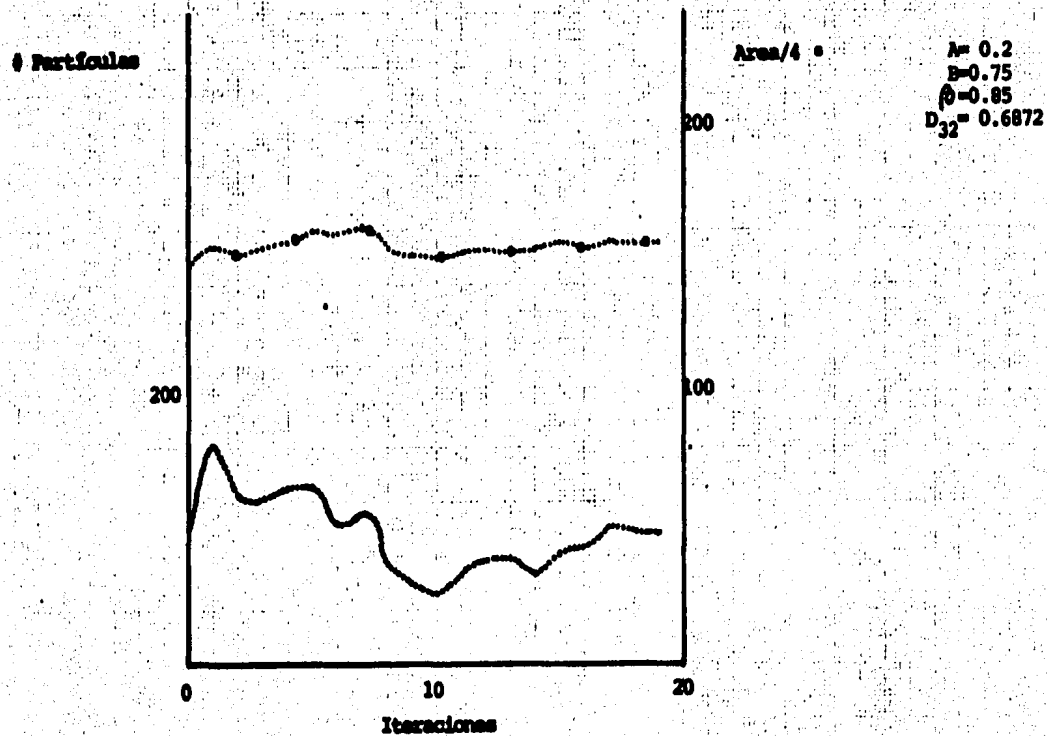
79

● Particles



88





CONCLUSIONES

DADA LA IMPORTANCIA QUE TIENEN LAS DISPERSIONES LÍQUIDO-LÍQUIDO SE DESARROLLÓ UN MODELO MEDIANTE EL CUAL SE PUDIERAN SIMULAR DISTRIBUCIONES DE DIÁMETRO DE PARTÍCULA, SE PUDIERA CALCULAR EL ÁREA INTERFACIAL Y EL DIÁMETRO \bar{d} .

EL MODELO FUÉ DESARROLLADO A PARTIR DE CONCEPTOS FUNDAMENTALES SOBRE DISPERSIONES LÍQUIDO-LÍQUIDO EN TANQUES AGITADOS. OBTENIÉNDOSE - DISTRIBUCIONES NO HOMOGÉNEAS DEL DIÁMETRO NO UNIFORME DE LAS PARTÍCULAS DE LA FASE DISPERSA A TRAVÉS DEL TANQUE.

LOS EFECTOS DEL MICRONEZCLADO, ASÍ COMO LA RUPTURA Y COALESCENCIA DE PARTÍCULAS SON TOMADAS EN CUENTA PARA LAS DIFERENTES REGIONES - DEL TANQUE MEDIANTE UNA COMBINACIÓN DE TÉCNICAS ESTADÍSTICAS Y FUNCIONES DE RUPTURA Y COALESCENCIA, LAS CUALES PUEDEN DEPENDER TANTO DEL DIÁMETRO COMO DEL NÚMERO DE WEBER.

ES EVIDENTE QUE TANTO EL NÚMERO DE PARTÍCULAS, EL ÁREA Y EL NÚMERO DE ITERACIONES SON DIRECTAMENTE PROPORCIONALES A LA EFICIENCIA DE - RUPTURA, MIENTRAS QUE EL DIÁMETRO \bar{d} LO ES EN FORMA INVERSA YA QUE CONFORME SE AUMENTA LA EFICIENCIA DE RUPTURA EN CUALQUIER ZONA DEL TANQUE, EL ÁREA, EL NÚMERO DE PARTÍCULAS Y DE ITERACIONES ALIMENTAN MIENTRAS QUE EL DIÁMETRO \bar{d} DISMINUYE.

ESTAS VARIACIONES SON, AL PRINCIPIO Y AL FINAL, EN FORMA DISCRETA PERO EXISTE UNA ZONA INTERMEDIA EN LA CUAL ESTAS VARIACIONES SON - MUY NOTORIAS; POR EJEMPLO EN LAS GRÁFICAS 1 Y 2 (PAG 53 Y 54), CUANDO LA EFICIENCIA DE RUPTURA EN LA ZONA DE CIRCULACIÓN ESTÁ ENTRE 0,3 Y 0,5 , LAS VARIACIONES SON MUY MARCADAS, CASI EN FORMA LINEAL.

PERO CUANDO SE TIENEN BAJAS EFICIENCIAS DE RUPTURA (0,3) LA FASE DISPERSA TIENDE A COAGULAR DISMINUYENDO EL ÁREA, EL NÚMERO DE PARTÍCULAS Y EL NÚMERO DE ITERACIONES, AUMENTANDO EL DIÁMETRO \bar{D} COMO SE PUEDE APPRECIAR EN LAS CORRIDAS 5,6 Y 16.

MIENTRAS QUE CUANDO SE TIENEN ALTAS EFICIENCIAS DE RUPTURA (0,6), EL ÁREA, EL NÚMERO DE PARTÍCULAS Y DE ITERACIONES AUMENTAN Y EL DIÁMETRO \bar{D} DISMINUYE LLEGÁNDOSE A UNA DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULAS MAS HOMOGÉNEA DENTRO DEL TANQUE.

LOS RESULTADOS INDICAN QUE PARA EFICIENCIAS DE RUPTURA MAYO RES A 0,7 EL MECANISMO DE RUPTURA DOMINA EN LA DETERMINACIÓN DE LA -- DISTRIBUCIÓN DE DIÁMETROS DE PARTÍCULA EN TANQUES AGITADOS; Y EN LA - RUPTURA, LA EFICIENCIA QUE PREDOMINA ES LA DE LA ZONA DE CIRCULACIÓN.

ANALIZANDO LAS GRÁFICAS 1 Y 2 SE OBSERVA QUE CUANDO LA EFI- CIENCIA DE RUPTURA ESTÁ ENTRE 0,5 Y 0,7 HAY UNA DISMINUCIÓN EN EL NÚ- MERO FINAL DE PARTÍCULAS, DE ÁREA Y DE ITERACIONES, ESTO SE INTERPRE- TA COMO UN ERROR DEL PROGRAMA, YA QUE SE DETUVO ANTES DE LLEGAR AL -- EQUILIBRIO POR CONDICION DEL PROGRAMA.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- DROP SIZE DISTRIBUTIONS PRODUCED BY TURBULENT PIPE FLOW OF IMMISCIBLE FLUIDS THROUGH A STATIC MIXER.
STANLEY MIDDLEMAN IND. ENG. CHEM. PROCESS DES. DEVELOP.
Vo. 13 No. 1 - 1974

- 2.- SCALE UP CRITERIA FOR STIRRED TANK REACTORS.
J. J. EVANGELISTA, STANLEY KATZ, REUEL SHINNAR,
AICHE J. Vo. 15 No. 6 - Nov. 1969

- 3.- FLUID AND PARTICLE MOTION IN TURBULENT STIRRED TANKS
(FLUID MOTION PARTICLE MOTION)
HENRY G. SCHWARTZBERG AND ROBERT E. TREYBAL
I. AND E. C. FUNDAMENTALS. VOL. 7 No. 1 - FEB. 1968

- 4.- RISING VELOCITY OF A SWARM OF SPHERICAL BUBBLES.
MARRUCI, GIUSEPPE
I. AND E. C. FUNDAMENTALS. VOL. 4 No. 2 - MAY 1965

- 5.- FLOW PATTERNS OF LIQUIDS IN AGITATED VESSELS.
SHUICHI AIBA AICHE J. VOL. 4 No. 4 - DEC 1968

- 6.- A MONTE CARLO TREATMENT FOR REACTING AN COALESCING DISPERSED PHASE SYSTEMS.
L. A. SPIELMAN AND O. LEVENSPIEL
CHEM. ENG. SCI. VOL. 20 1965

- 7.- PREDICTING PARTICLE SIZE IN AGITATED DISPERSIONS.
REUEL SHINNAR AND JAMES CHURCH
IND. AND ENG. CHEM. VOL. 52 No. 3 - MARCH 1960

- 8.- STABILIZING LIQUID-LIQUID DISPERSIONS BY AGITATION
REUEL-SHINNAR AND JAMES CHURCH
IND. AND ENG. CHEM. VOL. 53 No. 6 - JUNE 1961

- 9.- DISPERSED PHASE MIXING,
R. L. CURT AIChE J. VOL. 9 No. 2 - MARCH 1963

- 10.- INFLUENCE OF DROPLET, SIZE-AGE DISTRIBUTION ON RATE PROCESSES IN DISPERSED - PHASE SYSTEMS.
K. J. VALENTAS AND N. R. AMUNDSON
I. AND EC FUND. VOL. 7 No. 1 - FEB. 1968

- 11.- ANALYSIS DE BREAKAGE IN DI SPERSED PHASE SYSTEMS.
K. J. VALENTAS, N. R. AMUNDSON AND OLEGH BILIOUS
I. AND EC. FUND. VOL. 5 No. 2 - MAY 1966

- 12.- BREAKAGE AND COALESCENCE IN DI SPERSED PHASE SYSTEMS
K. J. VALENTAS AND N. R. AMUNDSON
I. AND E. C. FUND. VOL. 5 No. 4 - NOV. 1966

- 13.- THE EFFECTS OF COALESCENCE ON THE AVERAGE FROP SIZE
IN LIQUID-LIQUID DISPERSIONS,
MICHAEL A. DELICHATSIOS AND RONALD F. PROBSTEIN
I. ECH. FUND. VOL. 15 No. 2 1976

- 14.- PARTICULATE METHODS IN PROBABILITY SYSTEMS
STANLEY KATZ AND REUEL SHINNAR,
I. ECH. VOL. 61 No. 4 APR. 1969

- 15.- DETERMINATION OF DROPLET SIZE DISTRIBUTION IN LIQUID-
LIQUID DISPERSIONS,
GERSHON GROSSMAN.
IND. ENG. CHEM, PROCESS DES. DEVELOP
VOL. 11 No. 4 - 1972

- 16.- AN EFFECT OF HOLD UP ON DROP SIZE IN LIQUID-LIQUID
DISPERSIONS
MOHAMMED S. DOULAH
IND. ENG. CHEM. FUND. VOL. 14 No. 2 1975
- 17.- DROP BREAKUP IN SIMPLE SHEAR FIELDS OF VISCOELASTIC
FLUIDS.
RAYMOND W. FLUMERFELT
I. ECH. FUND. VOL. 11 No. 3 1972
- 18.- DROP FORMATION IN TWO LIQUID PHASE SYSTEMS.
CURTIS B. HAYWORTH AND ROBERT E. TREYBAL
IND. AND ENG. CHEM. VOL. 42 No. 6 JUN. 1950
- 19.- SIZE DISTRIBUTION OF AGGLOMERATES IN COALESCING
DISPERSED PHASE SYSTEMS.
KALANADH V. S. SATRY AND DOUGLAS W. FUERTENAU
I. AND E. C. FUND. VOL. 9 No. 1- FEB 1970
- 20.- AN APPROACH TO CHARACTERIZING AGITATION BY DISPERSION
PARTICLE SIZE
D. M. SULLIVAN AND E. LINDSEY
I. AND E. C. FUND. VOL. 1 No. 2 MAY 1962

- 21.- EFFECT OF FLUID MOTION ON INTERFACIAL AREA OF DISPERSIONS.
N: A. RODGER, V. G. TRICE JR. AND J. H. RUSHTON
CHEM. ENG. PROGRESS VOL. 52 No. 12 Dec. 1956
- 22.- INTERFACIAL AREA IN LIQUID-LIQUID MIXING.
FERDINAD RODRÍGUEZ L. C. GROTZ, AND D. L. ENGLE
AIChE. J. VOL. 6 No. 4 - Dec. 1961
- 23.- DROP FORMATION IN NON NEWTONIAN FLUIDS
RAJINDER KUMAR AND YELLAMARADU P. SARADHY
ING. ENG. CHEM. FUNDAM. VOL. 11 No. 3 1972
- 24.- A HYDRODYNAMIC MECHANISM FOR THE COALESCENCE OF LIQUID DROPS.
SIDNEY B. LANG, AND C. R. WILKE
(THEORY OF COALESCENCE AT A PLANAR INTERFACE)
IND. ENG. CHEM. FUNDAM. VOL. 10 No. 3 - 1971 (329)
- 25.- A HYDRODYNAMIC MECHANISM FOR THE COALESCENCE OF LIQUID DROPS, EXPERIMENTAL STUDIES
SIDNEY B. LANG AND C. R. WILKE
IND. ENG. CHEM. FUND. VOL. 10 No. 3 - 1971 (341)

- 26.- PREDICTIONS OF THE PARTICLE SIZE DISTRIBUTION
CHANGES IN EMULSIONS AND SUSPENSIONS BY DIGITAL
COMPUTATION
AKIRA SUZUKI, N.F. H. HO AND W.I. HIGUCHI
JOURNAL OF COLLOID AND INTERFACE SCIENCE VOL. 29
MARCH 1969
- 27.- FLUID-FLUID INTERACTIONS AND HYDRODYNAMICS IN
AGITATED DISPERSIONS, A SIMULATION MODEL
M.A. ZEITLIN AND L.L. TAVLARIDES
THE CANADIAN JOURNAL OF CHEM. ENG. VOL. 50
APRIL 1972
- 28.- INTERFACIAL AREA IN LIQUID-LIQUID AND GAS-LIQUID
AGITATION.
THEODORE VERMEULEN, GAIL M. WILLIAMS, AND GORDON
E. LANGLOIS.
CHEM. ENG. PROGRESS VOL. 51, No. 2 FEBRUARY 1955
- 29.- HINZE J.O., AICHE JOURNAL, VOL. 1, 289 (1955)
- 30.- EPSTEIN, BENJAMIN, IND. ENG. CHEM 40, 2289, 1948
- 31.- BOHR N., WHEELER, S.A. PHY S. REV., 56, 426, (1939)

- 32.- DERYAGUIN, B., Z. DER PHYSIK 84, 657 (1933)
- 33.- DERYAGUIN, B. OTHERS, DISCUSSIONS FARADAY SOC.
NO. 18, 2ER, (1954)
- 34.- BRADLEY R.S. PHIL MAG. 13, 853, (1932)
- 35.- BRADLEY R.S. TRANS. FARADAY SOC. 32, 1088 (1936)
- 36.- VANDERVEEN J.H., M.S. THESIS, UNIV. OF CALIFORNIA
(1960)

A N E X O 1

8716 45 JOB REACTORES;CLASS=6;BEGIN; (#0002)
 QUEUED: 11/18/83 AT 18:24:00

```

10 FILE 5(KIND=DISK,FILETYPE=7,TITLE="DATOS/REACTORES.")
20 FILE 6(KIND=PRINTER)
100     READ(5,/) DO,DU,R,G,EC
200     DIMENSION D(0:5000),N(5000),H(5000),K(5000),T(5000),WE(5000)
300     DO 1 I=1,R
400     1  READ(5,/)H(I),K(I)
500     DO 2 I=1,R
650     D(I)=RANDOM(P)
700     2  PRINT*//,D(I),H(I),K(I)
800     17  O=R
810     Q=0
900     E=2
1000    F=1
1100    9  IF(D(F).EQ.0) GO TO 7
1200    DO 3 I=E,R
1300    IF(D(I).EQ.0)GO TO 3
1400    IF(H(F).NE.H(I))GO TO 3
1500    IF(K(F).NE.K(I))GO TO 3
1700    Z=RANDOM(P)
1800    IF(EC.LT.Z)GO TO 3
1900    FM=3.1415926*((D(F)**3)+(D(I)**3))/6
2000    D(F)=(6*FM/3.1415926)**(1/3.)
2100    D(I)=0
2200    Q=Q+1
2300    3  CONTINUE
2400    8  IF(D(F).GT.DO)GO TO 4
2500    IF(D(F).LT.DU)GO TO 7
2600    IF(N(F).GE.1)GO TO 5
2700    A=0.4
2900    X=RANDOM(P)
3000    IF(A.GE.X)GO TO 4
3100    GO TO 7
3200    5  IF(N(F).GE.2)GO TO 6
3300    B=0.75
3500    X=RANDOM(P)
3600    IF(B.GE.X)GO TO 4
3700    GO TO 7
3800    6  C=0.4
4000    X=RANDOM(P)
4100    IF(C.GE.X)GO TO 4
4200    GO TO 7
4300    4  FM=3.1415926*(D(F)**3)/6
4400    D(F)=(3*FM/3.1415926)**(1/3.)
4500    O=O+1
4600    D(O)=D(F)
4700    K(O)=K(F)
4800    H(O)=H(F)
4900    7  E=E+1

```



```

5000      F=F+1
5100      IF(F-R)9,8,10
5200  10   CALL APO(D,O,H,K,Q)
5299      PRINT*//,O,R,Q,O-Q,MA
5300      AL=ABS(((O-Q)-((R+MA+MI)/3))/((R+MA+MI)/3))
5400      AB=0.005
5410      PRINT*//,AL,AB
5415      MI=MA
5420      MA=R
5500      IF(AL.LT.AB)GO TO 12
5600      R=O-Q
5700      DO 11 I=1,R
5900      A=INT(4*RANDOM(P))
6100      B=INT(4*RANDOM(P))
6200      H(I)=ABS(H(I)+((-1)**A)*A)
6300      K(I)=ABS(K(I)+((-1)**B)*B)
6400      IF(H(I).GT.49)GO TO 13
6500  14   IF(K(I).GT.49)GO TO 15
6600  16   N(I)=K(I)*3/50.
6700      GO TO 11
6800  13   H(I)=49-(H(I)-49)
6900      GO TO 14
7000  15   K(I)=49-(K(I)-49)
7100      GO TO 16
7200  11   CONTINUE
7300      GO TO 17
7400  12   R=O-Q
7450      DO 80 I=1,R
7460  80   WE(I)=D(I)
7500      F=1
7600      E=2
7700  20   IF(D(F).EQ.0) GO TO 19
7800      T(F)=1
7900      DO 18 I=E,R
8000      IF(D(I).EQ.0) GO TO 18
8100      IF(D(F).NE.D(I))GO TO 18
8200      I(F)=T(F)+1
8250      WE(I)=D(I)
8300      D(I)=0
8400  18   CONTINUE
8500  19   E=E+1
8600      F=F+1
8700      IF(F.LE.R) GO TO 20
8800      E=0
8900      F=0
9000      DO 21 I=1,R
9100      E=E+(T(I))*(D(I)**3)
9200  21   F=F+(T(I))*(D(I)**2)
9300      E=E/F
9310      PRINT*//,E
9400      DO 22 I=1,R
9500  22   D(I)=D(I)/E
9510      DO 90 I=1,R
9520      IF(K(I).GT.17)GO TO 90
9530      PRINT*//,I,T(I),WE(I)/E,H(I),K(I)
9540  90   CONTINUE

```

```

9550      DO 91 I=1,R
9560      IF(K(I).LT.18)GO TO 91
9570      IF(K(I).GT.33)GO TO 91
9580      PRINT*//,I,T(I),WE(I)/E,H(I),K(I)
9590      91 CONTINUE
9600      DO 92 I=1,R
9610      IF(K(I).LT.34)GO TO 92
9620      PRINT*//,I,T(I),WE(I)/E,H(I),K(I)
9630      92 CONTINUE
9800      END
9900      SUBROUTINE APO (D,O,H,K,Q)
9950      DIMENSION D(0:5000),H(5000),K(5000),AD(5000)
10000     M=0
10100     I=1
10200     52 VMIN=D(I)
10300     IN=I
10400     J=1
10500     50 IF(VMIN.LT.D(J))GO TO 51
10600     VMIN=D(J)
10700     IN=J
10800     51 J=J+1
10900     IF(J.LE.O) GO TO 50
11000     AD(I)=VMIN
11100     D(IN)=D(O)
11200     O=O-1
11300     I=I+1
11400     IF(I.LE.M) GO TO 52
11510     DO 60 I=1,M
11530     60 D(I)=AD(I)
11540     I=1
11550     IF(D(I).NE.O)GO TO 57
11600     53 IF(D(I).NE.O)GO TO 54
11700     I=I+1
11800     GO TO 53
12000     54 J=1
12100     55 D(J)=D(I)
12200     K(J)=K(I)
12300     H(J)=H(I)
12400     I=I+1
12500     J=J+1
.PAGE.
12600     IF(I.GT.M) GO TO 56
12700     GO TO 55
12800     GO TO 55
12900     56 J=.85
13000     57 O=M
13100     RETURN
13200     END

```

ANEXO 2

WORKFILE: DATOS/REACTORES (10/05/83)

100	1,09,150,5000,.85
200	0,0
300	1,0
400	2,0
500	3,0
600	4,0
700	5,0
800	6,0
900	7,0
1000	8,0
1100	9,0
1200	10,0
1300	11,0
1400	12,0
1500	13,0
1600	14,0
1700	15,0
1800	16,0
1900	17,0
2000	18,0
2100	19,0
2200	20,0
2300	21,0
2400	22,0
2500	23,0
2600	24,0
2700	25,0
2800	26,0
2900	27,0
3000	28,0
3100	29,0
3200	30,0
3300	31,0
3400	32,0
3500	33,0
3600	34,0
3700	35,0
3800	36,0
3900	37,0
4000	38,0
4100	39,0
4200	40,0
4300	41,0
4400	42,0
4500	43,0
4600	44,0
4700	45,0
4800	46,0
4900	47,0
5000	48,0
5100	49,0

5200	0,1
5300	1,1
5400	2,1
5500	3,1
5600	4,1
5700	5,1
5800	6,1
5900	7,1
6000	8,1
6100	9,1
6200	10,1
6300	11,1
6400	12,1
6500	13,1
6600	14,1
6700	15,1
6800	16,1
6900	17,1
7000	18,1
7100	19,1
7200	20,1
7300	21,1
7400	22,1
7500	23,1
7600	24,1
7700	25,1
7800	26,1
7900	27,1
8000	28,1
8100	29,1
8200	30,1
8300	31,1
8400	32,1
8500	33,1
8600	34,1
8700	35,1
8800	36,1
8900	37,1
9000	38,1
9100	39,1
9200	40,1
9300	41,1
9400	42,1
9500	43,1
9600	44,1
9700	45,1
9800	46,1
9900	47,1
10000	48,1
10100	49,1
10200	0,2
10300	1,2
10400	2,2
10500	3,2
10600	4,2

10700	5,2
10800	6,2
10900	7,2
11000	8,2
11100	9,2
11200	10,2
11300	11,2
11400	12,2
11500	13,2
11600	14,2
11700	15,2
11800	16,2
11900	17,2
12000	18,2
12100	19,2
12200	20,2
12300	21,2
12400	22,2
12500	23,2
12600	24,2
12700	25,2
12800	26,2
12900	27,2
13000	28,2
13100	29,2
13200	30,2
13300	31,2
13400	32,2
13500	33,2
13600	34,2
13700	35,2
13800	36,2
13900	37,2
14000	38,2
14100	39,2
14200	40,2
14300	41,2
14400	42,2
14500	43,2
14600	44,2
14700	45,2
14800	46,2
14900	47,2
15000	48,2
15100	49,2

A N E X O 3

PARTIDA	DIAMETRO	POSICION
1	(EXP)=0.211324865404	(EXP)=0.0 (EXP)=0
2	(EXP)=0.96662222272	(EXP)=1.0 (EXP)=0
3	(EXP)=0.171554627655	(EXP)=2.0 (EXP)=0
4	(EXP)=0.276212359378	(EXP)=3.0 (EXP)=0
5	(EXP)=0.93787406528	(EXP)=4.0 (EXP)=0
6	(EXP)=0.119126032394	(EXP)=5.0 (EXP)=0
7	(EXP)=0.64655320053	(EXP)=6.0 (EXP)=0
8	(EXP)=0.064529014765	(EXP)=7.0 (EXP)=0
9	(EXP)=0.89735502099	(EXP)=8.0 (EXP)=0
10	(EXP)=0.60772041225	(EXP)=9.0 (EXP)=0
11	(EXP)=0.395789608609	(EXP)=10.0 (EXP)=0
12	(EXP)=0.66150174693	(EXP)=11.0 (EXP)=0
13	(EXP)=0.318523648069	(EXP)=12.0 (EXP)=0
14	(EXP)=0.162205230863	(EXP)=13.0 (EXP)=0
15	(EXP)=0.16385575296	(EXP)=14.0 (EXP)=0
16	(EXP)=0.60216120587	(EXP)=15.0 (EXP)=0
17	(EXP)=0.103585467759	(EXP)=16.0 (EXP)=0
18	(EXP)=0.370079244331	(EXP)=17.0 (EXP)=0
19	(EXP)=0.71255100818	(EXP)=18.0 (EXP)=0
20	(EXP)=0.00511397570517	(EXP)=19.0 (EXP)=0
21	(EXP)=0.282333885965	(EXP)=20.0 (EXP)=0
22	(EXP)=0.84489079293	(EXP)=21.0 (EXP)=0
23	(EXP)=0.56352987024	(EXP)=22.0 (EXP)=0
24	(EXP)=0.0563649205	(EXP)=23.0 (EXP)=0
25	(EXP)=0.130373860402	(EXP)=24.0 (EXP)=0
26	(EXP)=0.62199786046	(EXP)=25.0 (EXP)=0
27	(EXP)=0.436346027696	(EXP)=26.0 (EXP)=0
28	(EXP)=0.62905719352	(EXP)=27.0 (EXP)=0
29	(EXP)=0.347549119984	(EXP)=28.0 (EXP)=0
30	(EXP)=0.93810956667	(EXP)=29.0 (EXP)=0
31	(EXP)=0.66765945773	(EXP)=30.0 (EXP)=0
32	(EXP)=0.11249416793	(EXP)=31.0 (EXP)=0
33	(EXP)=0.511050475527	(EXP)=32.0 (EXP)=0
34	(EXP)=0.83027803815	(EXP)=33.0 (EXP)=0

35	(EXP)=0.231357523824	(EXP)=34.0 (EXP)=0
36	(EXP)=0.88122942171	(EXP)=35.0 (EXP)=0
37	(EXP)=0.242292135814	(EXP)=36.0 (EXP)=0
38	(EXP)=0.300556477971	(EXP)=37.0 (EXP)=0
39	(EXP)=0.46957542623	(EXP)=38.0 (EXP)=0
40	(EXP)=0.97368278455	(EXP)=39.0 (EXP)=0
41	(EXP)=0.6575023181	(EXP)=40.0 (EXP)=0
42	(EXP)=0.6343361293	(EXP)=41.0 (EXP)=0
43	(EXP)=0.79108573224	(EXP)=42.0 (EXP)=0
44	(EXP)=0.96966232955	(EXP)=43.0 (EXP)=0
45	(EXP)=0.209083817133	(EXP)=44.0 (EXP)=0
46	(EXP)=0.333421703439	(EXP)=45.0 (EXP)=0
47	(EXP)=0.89626108749	(EXP)=46.0 (EXP)=0
48	(EXP)=0.25734406765	(EXP)=47.0 (EXP)=0
49	(EXP)=0.468159571667	(EXP)=48.0 (EXP)=0
50	(EXP)=0.529201717483	(EXP)=49.0 (EXP)=0
51	(EXP)=0.0467985850137	(EXP)=0.0 (EXP)=1
52	(EXP)=0.362682977378	(EXP)=1.0 (EXP)=1
53	(EXP)=0.248327642685	(EXP)=2.0 (EXP)=1
54	(EXP)=0.176817061987	(EXP)=3.0 (EXP)=1
55	(EXP)=0.0136286435391	(EXP)=4.0 (EXP)=1
56	(EXP)=0.277900877976	(EXP)=5.0 (EXP)=1
57	(EXP)=0.226509392245	(EXP)=6.0 (EXP)=1
58	(EXP)=0.298027993911	(EXP)=7.0 (EXP)=1
59	(EXP)=0.107915621704	(EXP)=8.0 (EXP)=1
60	(EXP)=0.270618528528	(EXP)=9.0 (EXP)=1
61	(EXP)=0.378884027092	(EXP)=10.0 (EXP)=1
62	(EXP)=0.53852662518	(EXP)=11.0 (EXP)=1
63	(EXP)=0.62779176959	(EXP)=12.0 (EXP)=1
64	(EXP)=0.981371211	(EXP)=13.0 (EXP)=1
65	(EXP)=0.61826204607	(EXP)=14.0 (EXP)=1
66	(EXP)=0.83473885215	(EXP)=15.0 (EXP)=1
67	(EXP)=0.63745049428	(EXP)=16.0 (EXP)=1
68	(EXP)=0.224668930001	(EXP)=17.0 (EXP)=1
69	(EXP)=0.493859505432	(EXP)=18.0 (EXP)=1
70	(EXP)=0.545706546338	(EXP)=19.0 (EXP)=1
71	(EXP)=0.73545929088	(EXP)=20.0 (EXP)=1
72	(EXP)=0.297434236985	(EXP)=21.0 (EXP)=1

73	(EXP)=0.195294391027	(EXP)=22.0 (EXP)=1
74	(EXP)=0.497437701622	(EXP)=23.0 (EXP)=1
75	(EXP)=0.86563706574	(EXP)=24.0 (EXP)=1
76	(EXP)=0.268572561872	(EXP)=25.0 (EXP)=1
77	(EXP)=0.88973576159	(EXP)=26.0 (EXP)=1
78	(EXP)=0.510159108391	(EXP)=27.0 (EXP)=1
79	(EXP)=0.77657495316	(EXP)=28.0 (EXP)=1
80	(EXP)=0.174601809733	(EXP)=29.0 (EXP)=1
81	(EXP)=0.114495701824	(EXP)=30.0 (EXP)=1
82	(EXP)=0.63320299979	(EXP)=31.0 (EXP)=1
83	(EXP)=0.94486410249	(EXP)=32.0 (EXP)=1
84	(EXP)=0.77868985545	(EXP)=33.0 (EXP)=1
85	(EXP)=0.0469635001555	(EXP)=34.0 (EXP)=1
86	(EXP)=0.99780599048	(EXP)=35.0 (EXP)=1
87	(EXP)=0.142328286902	(EXP)=36.0 (EXP)=1
88	(EXP)=0.064120444163	(EXP)=37.0 (EXP)=1
89	(EXP)=0.479640838965	(EXP)=38.0 (EXP)=1
90	(EXP)=0.414895503174	(EXP)=39.0 (EXP)=1
91	(EXP)=0.84904356049	(EXP)=40.0 (EXP)=1
92	(EXP)=0.428129880216	(EXP)=41.0 (EXP)=1
93	(EXP)=0.74014616259	(EXP)=42.0 (EXP)=1
94	(EXP)=0.929857533	(EXP)=43.0 (EXP)=1
95	(EXP)=0.89166156536	(EXP)=44.0 (EXP)=1
96	(EXP)=0.118228762585	(EXP)=45.0 (EXP)=1
97	(EXP)=0.114415761431	(EXP)=46.0 (EXP)=1
98	(EXP)=0.63060223705	(EXP)=47.0 (EXP)=1
99	(EXP)=0.520537465114	(EXP)=48.0 (EXP)=1
100	(EXP)=0.310544899439	(EXP)=49.0 (EXP)=1
101	(EXP)=0.055938486452	(EXP)=0.0 (EXP)=2
102	(EXP)=0.248200543221	(EXP)=1.0 (EXP)=2
103	(EXP)=0.129397856343	(EXP)=2.0 (EXP)=2
104	(EXP)=0.86839540973	(EXP)=3.0 (EXP)=2
105	(EXP)=0.094720383129	(EXP)=4.0 (EXP)=2
106	(EXP)=0.56634218397	(EXP)=5.0 (EXP)=2
107	(EXP)=0.4677683848	(EXP)=6.0 (EXP)=2
108	(EXP)=0.73921789464	(EXP)=7.0 (EXP)=2

109	(EXP)=0.396784908886	(EXP)=8.0 (EXP)=2
110	(EXP)=0.60993701512	(EXP)=9.0 (EXP)=2
111	(EXP)=0.99911516764	(EXP)=10.0 (EXP)=2
112	(EXP)=0.64916243657	(EXP)=11.0 (EXP)=2
113	(EXP)=0.86837377308	(EXP)=12.0 (EXP)=2
114	(EXP)=0.62265869092	(EXP)=13.0 (EXP)=2
115	(EXP)=0.516638498435	(EXP)=14.0 (EXP)=2
116	(EXP)=0.73706805872	(EXP)=15.0 (EXP)=2
117	(EXP)=0.0486228136633	(EXP)=16.0 (EXP)=2
118	(EXP)=0.211186473982	(EXP)=17.0 (EXP)=2
119	(EXP)=0.74389168638	(EXP)=18.0 (EXP)=2
120	(EXP)=0.533219152814	(EXP)=19.0 (EXP)=2
121	(EXP)=0.290346699401	(EXP)=20.0 (EXP)=2
122	(EXP)=0.80572359535	(EXP)=21.0 (EXP)=2
123	(EXP)=0.91888225648	(EXP)=22.0 (EXP)=2
124	(EXP)=0.73319925792	(EXP)=23.0 (EXP)=2
125	(EXP)=0.390675622	(EXP)=24.0 (EXP)=2
126	(EXP)=0.92128923528	(EXP)=25.0 (EXP)=2
127	(EXP)=0.78804711196	(EXP)=26.0 (EXP)=2
128	(EXP)=0.0433314482216	(EXP)=27.0 (EXP)=2
129	(EXP)=0.401646516924	(EXP)=28.0 (EXP)=2
130	(EXP)=0.73357806988	(EXP)=29.0 (EXP)=2
131	(EXP)=0.520477635846	(EXP)=30.0 (EXP)=2
132	(EXP)=0.481616462414	(EXP)=31.0 (EXP)=2
133	(EXP)=0.325460727128	(EXP)=32.0 (EXP)=2
134	(EXP)=0.543728204033	(EXP)=33.0 (EXP)=2
135	(EXP)=0.293005082853	(EXP)=34.0 (EXP)=2
136	(EXP)=0.406751582646	(EXP)=35.0 (EXP)=2
137	(EXP)=0.27997939872	(EXP)=36.0 (EXP)=2
138	(EXP)=0.298135185792	(EXP)=37.0 (EXP)=2
139	(EXP)=0.19324098855	(EXP)=38.0 (EXP)=2
140	(EXP)=0.71773514578	(EXP)=39.0 (EXP)=2
141	(EXP)=0.0071372726142	(EXP)=40.0 (EXP)=2
142	(EXP)=0.9524966727	(EXP)=41.0 (EXP)=2
143	(EXP)=0.140401697072	(EXP)=42.0 (EXP)=2
144	(EXP)=0.61773344481	(EXP)=43.0 (EXP)=2
145	(EXP)=0.79031491124	(EXP)=44.0 (EXP)=2

146	(EXP)=-0.62356919523	(EXP)=-45.0 (EXP)=-2
147	(EXP)=-0.232730484075	(EXP)=-46.0 (EXP)=-2
148	(EXP)=-0.56830865316	(EXP)=-47.0 (EXP)=-2
149	(EXP)=-0.446318774431	(EXP)=-48.0 (EXP)=-2
150	(EXP)=-0.65766533775	(EXP)=-49.0 (EXP)=-2

ANEXO 4

Para partículas esféricas:

$A = \frac{\text{Area interfacial}}{\text{Vol. libre de la partícula.}}$

$$A = \frac{\sum n_i A_i}{\sum n_i V_i}$$

$$A = \frac{\sum n_i \pi D_i^2}{\sum \frac{1}{6} \pi n_i D_i^3}$$

$$A = \frac{6 \sum n_i D_i^2}{\sum n_i D_i^3}$$

$$A = \frac{6}{\frac{\sum n_i D_i^3}{\sum n_i D_i^2}}$$

$$A = \frac{6}{D_{3,2}}$$

Para partículas no esféricas se corrige la ecuación multiplicandola por un factor ($\phi \geq 1$).

$$A = \frac{6 \phi}{D_{3,2}}$$