

Tesis de Posgrado

Estudio de un reactor tanque agitado por boquillas pulsantes

Venturini, Néstor Ruben

1974

Tesis presentada para obtener el grado de Doctor en Ciencias Químicas de la Universidad de Buenos Aires

Este documento forma parte de la colección de tesis doctorales y de maestría de la Biblioteca Central Dr. Luis Federico Leloir, disponible en digital.bl.fcen.uba.ar. Su utilización debe ser acompañada por la cita bibliográfica con reconocimiento de la fuente.

This document is part of the doctoral theses collection of the Central Library Dr. Luis Federico Leloir, available in digital.bl.fcen.uba.ar. It should be used accompanied by the corresponding citation acknowledging the source.

Cita tipo APA:

Venturini, Néstor Ruben. (1974). Estudio de un reactor tanque agitado por boquillas pulsantes. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_1463_Venturini.pdf

Cita tipo Chicago:

Venturini, Néstor Ruben. "Estudio de un reactor tanque agitado por boquillas pulsantes". Tesis de Doctor. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 1974. http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_1463_Venturini.pdf

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

ESTUDIO DE UN REACTOR TANQUE
AGITADO POR BOQUILLAS PULSANTES

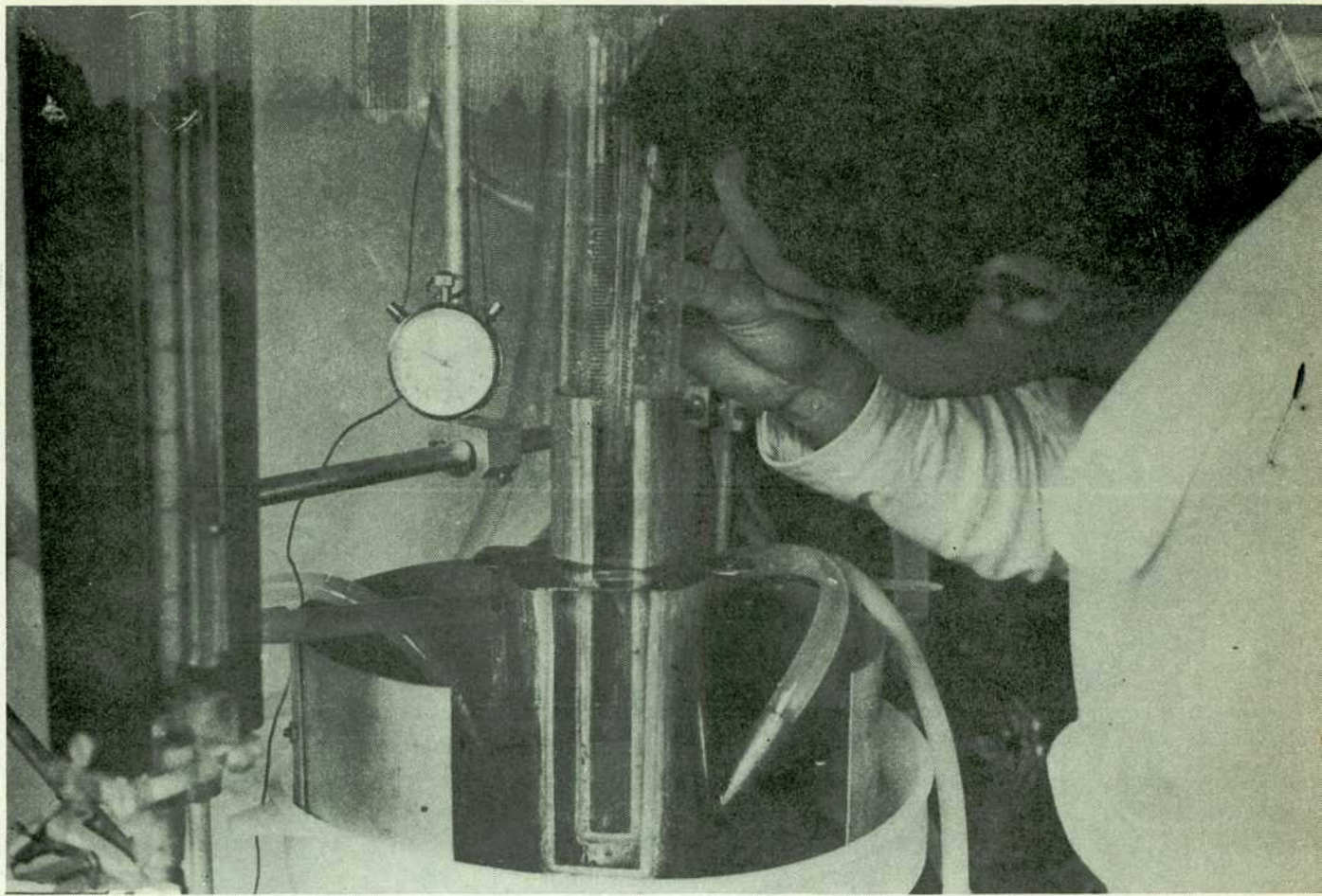
LICENCIADO NESTOR RUBEN VENTURINI

Tesis presentada para optar al título
de Doctor en Química Industrial

DIRECTOR : Ing. Miguel de Santiago

1974

A MASHA



RESUMEN

La carencia de información cuantitativa sobre los tanques agitados por chorros pulsantes, determinó la necesidad de encarar una investigación que permitiera conocer el funcionamiento de este tipo de contactor, con el objeto de aplicarlo al cálculo de las baterías de mezcladores-decantadores.

Los procesos extractivos que frecuentemente se dan en el campo de la Ingeniería Química Nuclear hacen especial hincapié en la obtención de material fisible debido al papel protagónico que cumplen estos nucleidos en el ciclo de combustibles de los reactores nucleares.

Con este marco se concretó la investigación que culminó en la obtención de dos correlaciones adimensionales donde se vinculan el área específica de contacto con variables operativas, físicas y geométricas:

$$A_v \cdot D_t = 62,96 W_e^{0,516} (\phi_D - 1,134 \phi_D^2)$$

$$A_v \cdot D_t = 49,13 W_e^{0,569} (\phi_D - 1,271 \phi_D^2)$$

Las mediciones del área de contacto fueron efectuadas por un método químico, y el análisis de los resultados condujo a las correlaciones indicadas, correspondiendo la primera al modelo de interfase cóncava, y la segunda, al de interfase plana.

En el aspecto conceptual se analizaron las condiciones de aplicabilidad que deben cumplirse para poder utilizar un sistema químico dado, en la medición del área específica de mezclas líquidas.

El presente trabajo fue realizado mediante la colaboración de la Comisión Nacional de Energía Atómica y el Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de La Plata.

INDICE GENERAL

PRIMERA SECCION

1. Introducción

- 1.1. Planteo del problema
- 1.2. Métodos de medición del área interfacial
- 1.3. Método químico de medición del área de contacto
- 1.4. Método de medición utilizado en el presente trabajo
- 1.5. Análisis de las condiciones de aplicabilidad del método
- 1.6. Verificación de las condiciones

SEGUNDA SECCION

2. Elementos del proceso de medición

- 2.1. Descripción del sistema de medición
- 2.2. Descripción del proceso de medición. Calibración
- 2.3. Técnica de medición
- 2.4. Medición de la velocidad global de reacción
- 2.5. Balance energético
- 2.6. Cálculo de la velocidad de reacción
- 2.7. Cálculo del área específica de contacto
- 2.8. Programa de cálculo

TERCERA SECCION

3. Resultados

- 3.1. Resultados experimentales
- 3.2. Análisis de los resultados
- 3.3. Síntesis gráfica
- 3.4. Correlación de variables
- 3.5. Programa de cálculo

CUARTA SECCION

4. Discusión

4.1. Descripción del mecanismo de formación de gotas

4.2. Comparación de resultados

4.3. Análisis del sistema de mezclado

4.4. Conclusiones

. Índice de figuras y gráficos

. Índice de tablas

. Bibliografía

. Nomenclatura

. Apéndice

1. INTRODUCCION

1.1. Planteo del problema.

Las baterías de tanques agitados, conocidos con el nombre de mezcladores-decantadores, constituyen la clase de equipo que con mayor frecuencia se utilizan como extractores líquido-líquido en la industria química nuclear(1).

La elección de los mezcladores-decantadores, se realizó considerando una serie de factores, que la experiencia señaló como determinantes del criterio de selección(2).

Estos factores son:

1.1.1. Eficacia extractiva.

1.1.2. Tamaño compacto.

1.1.3. Flexibilidad operativa.

1.1.1. Eficacia extractiva:

Este aspecto está influido principalmente por el grado de mezclado de las fases y el tiempo de contacto de ambos líquidos en cada tanque. Cada etapa está constituida por una zona de mezcla y otra de separación, resultando la magnitud de la dispersión, función de la potencia y geometría del agitador, la geometría del tanque y las propiedades físicas de las fases. En estos contactores, la eficacia total se calcula por el cociente entre el número de etapas teóricas, para un cierto grado de agotamiento y el número de etapas reales necesarias:

$$\frac{N_T}{N_R} \cdot 100 = \% \text{ Eficacia}$$

El valor está comprendido generalmente entre el 75% y el 100%.

El hecho de que la mayoría de los procesos extractivos presenten, desde el punto de vista cinético, un carácter difusional, explica porqué la eficacia extractiva tiene tanto que ver con el grado de dispersión de los líquidos, que se expresa numéricamente por medio del área específica de contacto A_v , cuyo valor está dado:

$$A_v = \frac{\text{Superficie de contacto de las fases}}{\text{Superficie ocupado por dichas fases}}$$

1.1.2. Tamaño compacto

La relación volumen/capacidad constituye otro elemento de selección con respecto al cual los mezcladores-decantadores están ampliamente favorecidos.

El volumen de un equipo y el espacio requerido para ubicarlo se hallan directamente vinculados con los costos de construcción e instalación, debiendo agregarse que en la industria nuclear juega un papel importante en la inversión inicial, el blindaje (3), cuyo costo será mucho menor cuanto más compacto sea el equipo. Esta ha sido una de las razones por la que se reemplazaron las columnas de platos, que poseen frecuentemente una gran envergadura, y que por lo tanto daban costos de blindaje e instrumentación muy superiores a los del equipo en sí.

1.1.3. Flexibilidad operativa

En lo que hace a las características operacionales, una de las mayores ventajas de los mezcladores-decantadores reside en la posibilidad de variar independientemente el grado de mezcla de las fases.

Esto permite una mayor flexibilidad operativa, al poder modificar la magnitud de la dispersión, sin alterar los tiempos de residencia de los líquidos.

El tiempo de residencia óptimo debe contemplar además, el lapso necesario de permanencia de la emulsión en la zona de separación como para provocar su ruptura, asegurando con esto un flujo uniforme de las fases a través del equipo.

Las plantas de recuperación de combustible nuclear se construyen con el criterio de mantener el ciclo productivo de más de un reactor. Debe, por lo tanto, considerarse en el diseño, la posibilidad de que las instalaciones permitan ajustar las condiciones operativas de acuerdo a distintos FLOW-SHEETS.

Esto significa, en lo que atañe a los ciclos de extracción, la factibilidad para modificar los caudales, como consecuencia de los cambios de concentración, siendo posible además, alterar los puntos de inyección de las corrientes de alimentación, adecuando el mezclado para cada situación y manteniendo un alto valor del factor de descontaminación en todos los casos.

Tradicionalmente los mezcladores-decantadores eran agitados por turbinas provistas con paletas de distinta geometría. Este sistema de agitación presenta el inconveniente de su mantenimiento, especialmente agravado cuando se trabaja en celdas activas, donde todo manipuleo directo debe estar precedido por el vaciado del equipo y su descontaminación.

Todas estas operaciones significan, por lo tanto, una prolongada detención en la operación de la planta.

La filosofía actual, en las plantas de reprocesamiento de combustible irradiado (4), tiende a reemplazar los equipos que requieren un cierto servicio mecánico, por instalaciones donde las partes móviles se ubiquen fuera de la celda, obviando los inconvenientes señalados anteriormente.

Para realizar el mezclado de las fases de acuerdo a este concepto (5), se recurrió al empleo de un par de boquillas idénticas por etapa, ubicadas perpendicularmente al fondo de la zona de mezcla.

Cada boquilla se conecta a través de un distribuidor, a un cilindro de una bomba generadora de pulsos neumáticos.

La bomba está provista de dos cilindros que suministran un par de pulsos con un desfase de 180°.

Por otra parte, las boquillas pescan en la emulsión, de manera que cuando una eyecta un cierto volumen de líquido, la otra succiona igual cantidad simultáneamente.

Con esta precaución se consigue mantener constante el nivel de fases, evitando así la proyección de líquidos o la formación de peligrosos aerosoles.

La turbulencia provocada por el chorro de líquido y el impacto del mismo contra el fondo, promueve la dispersión, pudiendo con la modificación del volumen de eyección, lograr la magnitud del área específica de contacto que se requiere.

El objeto del presente trabajo fue, por lo tanto, buscar una correlación de diseño para un tanque agitado por pulsos de aire, tratando de vincular el valor de A_v , con las variables geométricas del mezclador, las propiedades físicas de las fases y las condiciones operativas de la bomba generadora de pulsos.

En los ensayos previos se pudo establecer la influencia sobre A_v del diámetro de boca, de las boquillas y del diámetro del tanque en cuanto a las variables geométricas.

Las propiedades físicas consideradas fueron las habituales en los sistemas líquido-líquido, o sea, la densidad de las fases y su relación volumétrica, las viscosidades de los líquidos y la tensión interfacial.

En cuanto a las condiciones operativas de la bomba se observó la importancia que sobre el diámetro medio de gotas, tiene el volumen de líquidos eyectados por las boquillas y la frecuencia con que se producen los pulsos.

En consecuencia las variables exploradas fueron:

- . Diámetro de boquillas
- . Relación volumétrica de fases
- . Volumen de pulsos

1.2. Métodos de medición del área interfacial

Los trabajos realizados con el objeto de correlacionar variables en los sistemas líquido-líquido, subrayan la importancia que tiene el conocimiento del área interfacial por unidad de volumen (A_v), en el cálculo de los contactores, así como en la determinación de sus condiciones óptimas de funcionamiento.

Para efectuar las mediciones de A_v se recurrió a distintas técnicas experimentales que utilizan recursos ópticos o fotográficos, y en algunos casos, fuentes de radiación alfa o gamma.

Estos son:

- a) Medición de la transmisión de la luz en dispersiones ópticamente densas.
- b) Medida de la reflexión de la luz en fases ópticamente transparentes.
- c) Medida de la transmisión de radiaciones alfa.
- d) Técnicas fotográficas de alta velocidad y análisis estadísticos.

Uno de los primeros intentos de medición de A_V lo realizó P.C. Clay (6), quien estudió el efecto de las variables de los líquidos sobre el diámetro medio de gotas en sistemas líquidos, en condiciones de alta turbulencia.

El rango del Re para este trabajo estaba comprendido entre 50.000 y 500.000 utilizando para las mediciones, fotografías de alta velocidad.

Langlois (7) desarrolló por otra parte, un dispositivo fotoeléctrico que relaciona la dispersión de la luz con la corriente de salida de una fotocélula.

La sonda fotoeléctrica fue calibrada por medio de fotografías rápidas, llegándose a vincular la corriente fotocelular con A_V por medio de la siguiente función:

$$I_0/I = \beta A_V + 1$$

donde I_0 es la corriente para la fase continua pura. El valor de β está determinado por el cociente de los índices de refracción de los líquidos.

Más recientemente Rushton y Love (8), hicieron mediciones del diámetro medio de gotas en una dispersión de fases líquidas a partir de la determinación de A_V tomadas con una sonda fotoeléctrica, cuya calibración se realizó con suspensiones de esferas de vidrio, de área interfacial conocida.

También se recurrió al empleo de radioisótopos para efectuar mediciones de A_V ; por ejemplo Chester (9), empleó soluciones acuosas conteniendo un emisor α (en ese caso Po^{210}), y otra fase consistente en un fluoruro orgánico (fluoruro de n-heptano) como emisor neutrónico.

Se produce una reacción (α, n) cuya velocidad es proporcional a A_v , suministrando entonces la medición del flujo neutrónico, valores del área de contacto. Las calibraciones se hicieron a partir de áreas interfaciales estáticas de superficie conocida. Las áreas determinadas de esta manera fueron un 30% más bajas que las medidas fotográficamente. No se ha establecido si la causa de estas diferencias son atribuibles a inexactitudes en la valoración del campo neutrónico o imperfecciones del método fotográfico.

En cuanto al empleo de fotografías rápidas, uno de los más recientes trabajos que utilizan este método es el de Hsiao Tsung Chen y Stanley Middleman (10), quienes recurrieron a un flash ultrarápido con un tiempo de duración del destello de 0,5 μ seg. y una cámara con lente de 133 milímetros de distancia focal. Los resultados obtenidos son válidos para dispersiones muy diluidas, en donde el papel que juega la coalescencia de gotas en el mecanismo de formación del área de contacto es despreciable.

Los inconvenientes que presentan estos métodos son, en lo que respecta a las técnicas por transmisión de la luz, el de dar valores locales de A_v , por lo que obliga a realizar mediciones bariendo todos los puntos que se consideren más representativos del estado fluidodinámico del tanque.

Las experiencias efectuadas para medir A_v por reflexión, también dan valores locales del área, con el agravante de que el elemento de medición altera las condiciones hidrodinámicas en el punto elegido, resultando por lo tanto, datos puntuales no representativos, con los que es muy azaroso obtener un A_v promedio para todo el volumen.

Las mediciones que se hicieron con radioisótopos, requieren una calibración con el empleo, por ejemplo, de una suspensión de pequeñas esferas de vidrio, lo que introduce nuevas variables al sistema, o calibrar el dispositivo sin agitación en el tanque para tener un área interfacial conocida. En ambos casos se altera la situación con respecto a las condiciones reales de funcionamiento del mezclador.

Las determinaciones fotográficas requieren un flash con tiempos muy cortos de exposición, del orden de μ segundos, como para obtener imágenes nítidas, detectando gotas ubicadas por lo general, cerca de las paredes del reactor.

En este trabajo se empleó para medir A_v un método químico diseñado por el Ingeniero De Santiago (11), que permite lograr valores promedios del área de contacto para todo el tanque, sin la introducción de objetos extraños que modifiquen las líneas de flujo.

1.3. Método químico de medición del área de contacto.

Introducción

Un aspecto importante, vinculado con el mecanismo de los procesos en sistemas heterogéneos, es la ubicación y extensión de la zona de reacción química, determinada por la solubilidad de los reactivos en las fases, la diferencia de velocidades entre las etapas químicas y las difusionales, así como la reversibilidad de la reacción.

Los elementos enunciados contribuyen a delinear una imagen física de la zona de transferencia másica, apoyándose en diversas hipótesis lógicas, que dan lugar a los distintos modelos conocidos.

En el desarrollo de las expresiones de flujo realizado por Van Krevelen, se utiliza el modelo pelicular.

Este postula para el entorno de la zona de contacto de dos fluidos inmiscibles, la existencia de sendas películas límites, ubicadas a cada lado del plano interfacial, en cuyo ámbito, la transferencia tiene lugar por un mecanismo exclusivamente difusional.

Para el caso de transferencia en un sistema líquido-gas con reacción química irreversible de segundo orden, con etapa química infinitamente rápida, moderada o lenta, Van Krevelen hizo el siguiente análisis teórico (12). Considerando un elemento unitario de superficie perpendicular al flujo unidireccional, y

colocado dentro de la película líquida a una distancia x de la interfase, la velocidad de flujo a través de ese elemento dada por la ley de Fick para la especie A es:

$$(1.1) \quad N_A = - D_A \frac{d|A|}{dx}$$

Tomando un segundo elemento unitario paralelo al anterior y separando de aquel por una distancia dx , la disminución del flujo debido a la reacción entre esas dos superficies, está dada por la segunda ley de Fick:

$$(1.2) \quad dN_A = - D_A \frac{d^2|A|}{dx^2} dx$$

Para el componente B disuelto inicialmente en la fase líquida resultará:

$$(1.3) \quad dN_B = - D_B \frac{d^2|B|}{dx^2} dx$$

Como el componente A proveniente de la fase gas, difunde en sentido contrario de B, se cumple para una reacción del tipo $A + z B \rightarrow \text{productos}$ que:

$$dN_A = - \frac{1}{z} dN_B$$

Por otra parte la velocidad de desaparición de A y B en la unidad de área es:

$$(1.4) \quad - \frac{d|A|}{dt} dx = - \frac{1}{z} \frac{d|B|}{dt} dx = k|A| \cdot |B| dx$$

pudiendo igualarse entonces:

$$(1.5) \quad D_A \frac{d^2|A|}{dx^2} = - \frac{1}{z} D_B \frac{d^2|B|}{dx^2} = k|A| \cdot |B|$$

si $D_A = D_B = D$

$$(1.6) \quad D \frac{d^2|A|}{dx^2} = k|A| \cdot |B|$$

Si A es poco soluble en el líquido se puede considerar B constante:

$$D \frac{d^2 |A|}{dx^2} = k |B_C| \cdot |A|$$

Para poner esta ecuación en forma adimensional

$$\frac{d^2 |A|}{d \left(\frac{x}{x_L} \right)^2} = \frac{k |B_C| \cdot D \cdot |A_i|^2 |A|}{\left(\frac{D}{x_L} \right)^2 |A_i|^2} = \left(\frac{R_O}{M_1} \right)^2 \cdot |A| =$$

$$(1.7) \quad = \psi^2 \cdot |A|$$

siendo:

$$(1.8) \quad R_O = |A_i| \cdot \sqrt{k \cdot |B_C| \cdot D}$$

$$(1.9) \quad M_1 = \frac{D}{x_L} \cdot |A_i| = k_L \cdot |A_i|$$

$$(1.10) \quad \psi = \frac{R_O}{M_1}$$

Integrando la ecuación, con las siguientes condiciones de contorno:

$$|A| = |A_i| \quad \text{para } x/x_L = 0$$

$$|A| = |A_L| \quad \text{para } x/x_L = 1$$

resulta:

$$(1.11) \quad |A| = |A_i| \frac{\text{Sh}((1-x/x_L)\psi)}{\text{Sh} \psi} + |A_L| \frac{\text{Sh}(x/x_L \cdot \psi)}{\text{Sh} \psi}$$

luego:

$$\begin{aligned} N_A &= - D \frac{d|A|}{dx} = \\ &= |A_i| \cdot \frac{D}{x_L} \cdot \frac{\psi \text{Ch}((1-x/x_L)\psi)}{\text{Sh} \psi} - \\ &\quad - |A_L| \cdot \frac{D}{x_L} \cdot \frac{\psi \text{Ch}(x/x_L \cdot \psi)}{\text{Sh} \psi} \end{aligned}$$

Para el flujo interfacial $x = 0$

$$(1.12) \quad (N_A)_{x=0} = \frac{D}{x_L} \left(|A_i| \frac{\Psi}{Th \Psi} - |A_L| \frac{\Psi}{Sh \Psi} \right)$$

$$(1.13) \quad (N_A)_{x=0} = k_L |A_i| \frac{\Psi}{Th \Psi} \left(1 - \frac{|A_L|}{|A_i|} \frac{1}{Ch \Psi} \right)$$

El flujo hacia el interior de la fase líquida será el que corresponde a $x = x_L$:

$$(1.14) \quad (N_A)_{x=x_L} = |A_i| \cdot k_L \frac{\Psi}{Sh \Psi} - |A_L| \cdot k_L \frac{\Psi}{Th \Psi}$$

Si ϕ es el líquido contenido en el seno de la fase líquida por unidad de volumen del aparato, el consumo de A en su interior por unidad de volumen y de tiempo:

$$(1.15) \quad r = k \cdot |A_L| \cdot |B_L| \cdot \phi$$

En estado estacionario se cumple además:

$$(1.16) \quad r = (N_A)_{x=x_L} \cdot A_V$$

Reemplazando en (1.16) la expresión del flujo dada por (1.14) e igualando a (1.15) queda:

$$(1.17) \quad |A_i| \cdot k_L \frac{\Psi}{Sh \Psi} - |A_L| \cdot k_L \frac{\Psi}{Th \Psi} = k \cdot |A_L| \cdot |B_L| \frac{\phi}{A_V} = R_2 \frac{|A_L|}{|A_i|}$$

siendo:

$$(1.18) \quad R_2 = k \cdot |A_i| \cdot |B_L| \frac{\phi}{A_V}$$

La ecuación (1.17) se puede poner:

$$(1.19) \quad k_L \cdot |A_i| \frac{\Psi}{Sh \Psi} = \frac{|A_L|}{|A_i|} \left(R_2 + k_L \cdot |A_i| \frac{\Psi}{Th \Psi} \right)$$

$$\frac{|A_L|}{|A_i|} = \frac{k_L \cdot |A_i| \cdot \Psi / Sh \Psi}{R_2 + k_L \cdot |A_i| \cdot \Psi / Th \Psi}$$

Teniendo en cuenta que $k_L \cdot |A_i| = M_1$, reemplazando en la (1.13) de acuerdo a (1.19), queda:

$$(1.20) \quad \frac{(N_A)_{x=0}}{M_1} = \frac{\psi}{Th\psi} \left(1 - \frac{M_1 \frac{\psi}{Sh\psi \cdot Ch\psi}}{R_2 + M_1 \frac{\psi}{Th\psi}} \right)$$

La ecuación (1.20) o su otra expresión dada por la ecuación (1.13), dan la velocidad total de transferencia por unidad de área y de tiempo.

El significado físico de los términos implicados se puede obtener, llevando esas ecuaciones a distintas condiciones límites.

Cuando la velocidad de reacción tiende a cero, implica que $k \rightarrow 0$, y lo mismo ocurre con R_0 , R_2 y ψ (ecuaciones (1.8), (1.18) y (1.10)).

En estas condiciones $Sh\psi \rightarrow \psi$, $Ch\psi \rightarrow 1$ y $Th\psi \rightarrow \psi$, por lo que la ecuación (1.13) resulta:

$$(1.21) \quad (N_A)_{x=0} = k_L (|A_i| - |A_L|)$$

o sea la expresión del flujo interfacial para un caso físico.

Cuando en cambio la velocidad de reacción tiende a infinito, R_0 y ψ se hacen muy grandes, lo mismo que $Sh\psi$ y $Ch\psi$, y $Th\psi$ tiende a 1.

La ecuación (1.20) queda:

$$\frac{(N_A)_{x=0}}{M_1} = \frac{R_0}{M_1}$$

y de (1.8)

$$(1.22) \quad (N_A)_{x=0} = |A_i| \sqrt{k \cdot |B_C| \cdot D}$$

Por lo que R_0 es el flujo interfacial, cuando la reacción ocurre totalmente dentro de la película líquida.

Si R_0 es pequeño y R_2 es grande, debido a un alto valor de $|B_L|$ o un bajo valor de A_v , la ecuación (1.20) queda:

$$\frac{(N_A)_{x=0}}{M_1} = 1 - \frac{M_1}{R_2 + M_1} = \frac{R_2}{R_1 + M_1}$$

$$(1.23) \quad (N_A)_{x=0} = \frac{M_1 \cdot R_2}{R_2 + M_1}$$

En esta expresión, si $R_2 \gg M_1$,

$$(1.24) \quad (N_A)_{x=0} = M_1 = k_L \cdot |A_i|$$

De manera que M_1 es el flujo, cuando la reacción ocurre totalmente dentro de la fase líquida y el control es difusional.

En la misma ecuación (1.23) cuando $R_2 \ll M_1$

$$(1.25) \quad (N_A)_{x=0} = R_2 = k \cdot |A_i| \cdot |B_L| \frac{\phi}{A_V}$$

Entonces R_2 es el flujo interfacial, cuando la reacción ocurre en la fase líquida y el control es químico.

En relación con estas distintas expresiones de flujo, se han utilizado algunas reacciones químicas que permiten determinar A_V o k_L a partir de la medición de la velocidad global de transferencia.

Sharma y Danckwerts (13), analizan las condiciones que deben cumplir las reacciones utilizadas para sistemas líquido-gas y líquido-líquido.

Considerando un sistema líquido-gas y denominando FASE I a la fase gaseosa y FASE II a la fase líquida, sea un soluto A disuelto en el gas inicialmente y otro soluto B disuelto en la fase líquida.

Puestas en contacto las fases, si la reacción es rápida e irreversible como para que anule la concentración de A en FASE II pero no tan rápida como para considerar que una porción importante de A se consuma en la película líquida, estaríamos entonces en el caso descrito por la ecuación (1.24), o sea la expresión del flujo interfacial es:

$$(N_A)_{x=0} = M_1 = k_L \cdot |A_i|$$

por ser $R_2 \gg M_1$, o sea de las ecuaciones (1.18) y (1.9):

$$\text{(CONDICION \#1)} \quad k \cdot |B_L| \cdot \phi \gg k_L \cdot A_V$$

por ser el control difusional.

En cambio si la reacción ocurre en la FASE II y la concentración de A en esta fase no es nula ($|A_i| \neq 0$) se cumple de la ecuación (1.25) que el flujo es:

$$(N_A)_{x=0} = R_2 = k \cdot |A_i| \cdot |B_L| \frac{\phi}{A_V}$$

por ser $M_1 \gg R_0$. Y de las ecuaciones (1.9) y (1.8)

$$\text{(CONDICION \#2)} \quad \frac{D \cdot k \cdot |B_L|}{k_L^2} \ll 1$$

debido a que la reacción ocurre en la FASE II y el control es químico.

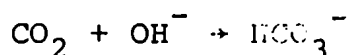
Si el sistema está bien agitado se cumple que $|A_L|$ y por lo tanto $|A_i|$ tengan el mismo valor en todos los puntos, entonces la velocidad de transferencia de A por unidad de volumen es:

$$R_A = (N_A)_{x=0} \cdot A_V = k_L \cdot A_V \cdot |A_i|$$

Como por otra parte $|A_i| = K \cdot |A|$, es posible de la medición de R_A obtener el valor de $k_L \cdot A_V$.

Uno de los sistemas químicos utilizados fue CO_2 y solución de $\text{CO}_3^{=}$ y CO_3H^- , para líquido-gas.

La reacción es:



La velocidad de reacción está dada por $k_{\text{OH}^-} \cdot |\text{CO}_2| \cdot |\text{OH}^-|$ y $k \cdot |B_L| = k_{\text{OH}^-} \cdot |\text{OH}^-|$ y su valor a 30 °C está en el rango de 0,1 - 3 sg^{-1} (13).

En lo referente a la CONDICION #1 esto implica con el valor más alto, que $k_L \cdot A_V$ será mucho menor que 3 sg^{-1} .

Con respecto a la CONDICION #2 si $D \approx 1,5 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sg}$, ésta se cumplirá si $k_L \gg 2 \times 10^{-2} \text{ cm/sg}$.

En algunos equipos como por ejemplo, columnas rellenas a baja velocidad de flujo, k_L puede ser bastante menor que $2 \times 10^{-2} \text{ cm/sg}$ (13). En ese caso es posible elegir condiciones de manera que $k \cdot |B_L| = 1 \text{ sg}^{-1}$, haciendo que un valor más bajo de k_L cumpla la CONDICION #2. Por otra parte el menor valor de $k \cdot |B_L|$ está acotado por la CONDICION #1.

Otra reacción utilizada para medir A_V es la fijación del oxígeno con SO_3Na_2 catalizada por SO_4Cu o SO_4Co (13). La reacción parece ser de segundo orden respecto del oxígeno y de orden cero para el sulfito, siendo la velocidad influida por el PH.

A 20°C y $\text{PH} = 8$, $k \approx 8,5 \times 10^9 \left| \text{Co}^{++} \right| \frac{\text{litros}}{\text{gr mol sg}}$.

Para el estudio de sistemas líquido-líquido (13), se han utilizado hidrólisis alcalina de ésteres del ácido acético, por ejemplo, acetato de n-butilo, cuya constante de velocidad de reacción es $0,08 \text{ litro/gr mol seg}$.

En una solución de OHNa 1M , $k \cdot |B_L| \approx 0,08 \text{ sg}^{-1}$, por lo que la CONDICION #2 será satisfecha.

La CONDICION #1 en cambio, se cumplirá en aquellos equipos que suministren un valor menor de 10 cm^{-1} para A_V como las columnas de extracción.

En los tanques agitados el valor de A_V es del orden de 100 cm^{-1} y con $k_L \approx 10^{-3} \text{ cm/sg}$, la CONDICION #1 no se cumplirá.

Otra reacción utilizada para líquido-líquido (13), es la extracción de tributilamina, con una solubilidad en agua menor de $0,005 \text{ gr mol/litro}$, con solución acuosa de SO_4H_2 ($0,5 - 1 \text{ M}$).

En este caso como en el anterior el reactivo orgánico puede utilizarse puro, resultando así nula la resistencia de ese lado de la interfase.

La forma de realizar las mediciones de A_V en sistemas líquido-líquido, es trabajar de manera tal que las propiedades sean uniformes en todos los puntos, a fin de que el valor de N_A sea constante a través del sistema, resultando entonces la velocidad de reacción:

$$R_A = (N_A)_{x=0} \cdot A_V$$

Si por otra parte el proceso entre A y B, (presentes inicialmente en FASE I y FASE II respectivamente), posee características tales como para poder utilizar algunas de las expresiones de N_A deducidas por Van Krevelen (12), será posible midiendo R_A y calculando N_A , obtener el valor de A_V .

Nanda y Sharma (14), describen la técnica de medición del área interfacial en una columna de niebla, utilizando la hidrólisis alcalina del formiato de n-butilo con OHNa 2M, y del formiato de n-propilo con OHNa 6M.

En estos casos la reacción química es muy rápida y por lo tanto queda confinada en la película de la fase acuosa (FASE II).

Por otra parte como la concentración de OHNa (reactivo B) es muy grande en relación con la solubilidad del éster en FASE II se puede admitir que la concentración de B es constante en la zona de reacción, resultando el proceso de pseudo-primer orden.

Es aplicable entonces, como expresión de flujo interfacial, la obtenida por Van Krevelen (12), por la cual:

$$(1.26) \quad (N_A)_{x=0} = |A_i| \sqrt{k \cdot |B_c| \cdot D}$$

Esta relación es aplicable, según las suposiciones hechas en el desarrollo, a una reacción irreversible, muy rápida donde además el perfil del reactivo B sea constante e iguales las difusividades de A y B en la zona de reacción ($D_A = D_B = D$).

Como se ve de la ecuación (1.26), N_A resulta independiente de las condiciones hidrodinámicas de la dispersión, dependiendo

de las propiedades fisicoquímicas de los reactivos y la concentración de B.

Nanda y Sharma (14), utilizaron una celda de difusión para obtener los valores de las constantes que determinan el flujo.

Estipularon además que las condiciones a cumplirse son:

$$a) \quad \frac{\sqrt{k \cdot D}}{k_L} \ll \frac{1}{z} \frac{|B_L|}{|A_i|}$$

donde z es el número de moles de B que reaccionan por mol de A.

$$b) \quad \frac{k \cdot D}{k_L^2} > 10$$

1.4. Método de medición para A_v utilizado en el presente trabajo.

Se empleó un método químico, consistente en la medición de la velocidad de hidrólisis alcalina, del formiato de n-butilo(11).

El éster fue utilizado puro, constituyendo la fase orgánica (FASE I) y la FASE II consistió en una solución de OHNa 8N.

Como la reacción es rápida, muy baja la solubilidad del éster en fase acuosa, y elevada la concentración del OHNa, estamos frente a un proceso que ocurre dentro de la película acuosa y es de pseudo-primer orden.

Resulta válida la expresión (1.26) para el flujo y se cumple además con buena agitación, que la velocidad de reacción es:

$$R_A = (N_A)_{x=0} \cdot A_v$$

por lo que el área por unidad de volumen promedio es:

$$(1.27) \quad A_v = \frac{R_A}{A_i \sqrt{k \cdot |B_C| \cdot D_A}}$$

Es necesario para aplicar el método, por lo tanto, determinar el valor del flujo $(N_A)_{x=0}$ y medir la velocidad R_A estando el sistema en régimen.

De Santiago y Bidner (15) realizaron las mediciones del flujo en función de la temperatura y la fuerza iónica.

Como $|A_i|$ y k , concentración del éster en la interfase y constante de velocidad de reacción en la película acuosa respectivamente, son de difícil predicción, se buscó una correlación que tiene la siguiente forma:

$$(1.28) \quad \ln N_A = -24,39 + 0,03609 T - 0,4915 I$$

donde T: temperatura de reacción en °K

I: fuerza iónica de la solución en ión gr/litro.

Las mediciones se realizaron en un reactor cilíndrico termostático, en donde se centra un agitador provisto con dos paletas para agitar separadamente las fases.

La velocidad del agitador se mantuvo entre 30 - 60 r.p.m., con lo que se logra una interfase plana de área conocida.

De esta manera se trabaja a un A_V constante, midiéndose la velocidad de reacción en forma continua por conductimetría.

La ecuación (1.28) suministra valores del flujo con una desviación standard de $\pm 0,1005$.

Se cuenta entonces con la función que permite de la ecuación (1.27), despejar el valor de A_V .

1.5. Condiciones para la aplicabilidad del método químico.

De Santiago y Trambouze (16), estudiaron las condiciones que debe cumplir un sistema químico, con el objeto de ser empleado en la medición de A_V .

La gran utilidad de la expresión (1.26) reside en que su valor es independiente de la hidrodinámica del sistema, y su vigencia está relacionada a una serie de condiciones enunciadas por Van Krevelen (12), en el desarrollo de las distintas expresio-

nes de flujo que se utilizan en las mediciones del área de contacto por métodos químicos.

La primera condición es la de suponer válido el modelo pelicular, por lo que el único mecanismo de transferencia considerado, en el entorno interfacial, es el de difusión molecular. Esto determina la forma de las ecuaciones de continuidad que son el punto de partida del desarrollo de Van Krevelen (12).

En segundo lugar interesa que el sistema químico alcance rápidamente el estado estacionario, con lo que sus propiedades físicas y químicas serán independientes de la posición y del tiempo.

Esto es importante en lo atinente a la temperatura, las difusividades de los reactivos y sus concentraciones. De esta manera la expresión de balance másico, a partir de la cual se obtiene $(N_A)_{x=0}$ será válida para todos los puntos.

Dentro del modelo pelicular está incluida, a parte del mecanismo de transporte, la condición de interfase plana, la que permite arribar a expresiones de flujo interfacial independientes del valor de A_v .

Se considera el caso de las reacciones rápidas, que es la cuarta condición, implicando ésto que la concentración del reactivo transferido (formiato de n-butilo) presente originalmente en la fase I, es nula mas allá de la película receptora (fase II), luego $|A| = 0$ para $x \geq x_c$.

La quinta condición es que el reactivo contenido inicialmente en la fase II (acuosa), no es soluble en la fase I, o sea $(N_B)_{x=0} = 0$.

Estas dos últimas condiciones determinan que la zona de reacción química queda comprendida nítidamente por la película de la fase II, para lo cual debe cumplirse que uno solo de los reactivos atraviese la interfase y la reacción química sea muy rápida.

La sexta condición, para poder utilizar una expresión como la (1.26) en el cálculo del flujo interfacial, es que la concentración del reactivo presente en la fase receptora (OHNa en es-

te caso) sea mucho mayor que la concentración del reactivo que se transfiere, (formiato de n-butilo), determinado esto por su solubilidad en la fase que lo recibe (solución 8N de OHNa).

Luego desde el punto de vista cinético, la reacción química es de pseudo-primer orden por lo que $|B| = |B_C|$ (constante para $x_C \geq x \geq 0$, siendo x_C el espesor de la película receptora.

Condición I

Considerando el modelo de las películas, el movimiento convectivo provocado por la especie transferida puede ser importante cuando el flujo interfacial llega a ser alto.

Como en el caso presente la reacción química incrementa el flujo, se incluye un término convectivo en la ecuación de continuidad, con el objeto de evaluar su importancia.

Dentro de la película receptora el balance másico para la especie transferida A, en estado estacionario resulta entonces:

$$(1.29) \quad D_A \frac{d^2 |A|}{dx^2} - v \frac{d|A|}{dx} - k \cdot |B_C| \cdot |A| = 0$$

La integración de esta ecuación da:

$$|A| = C e^{\lambda x}$$

derivando resultan:

$$\frac{d|A|}{dx} = C \lambda e^{\lambda x} \quad \text{y} \quad \frac{d^2 |A|}{dx^2} = C \lambda^2 e^{\lambda x}$$

Reemplazando y agrupando en (1.29):

$$C e^{\lambda x} \{ \lambda^2 D_A - \lambda v - k |B_C| \} = 0$$

Las raíces son:

$$(1.30) \quad \lambda = \frac{v \pm \sqrt{v^2 + 4 D_A k |B_C|}}{2 D_A}$$

La expresión de $|A|$ será entonces:

$$(1.31) \quad |A| = C_1 e^{\lambda_1 x} + C_2 e^{\lambda_2 x}$$

Las condiciones de contorno son:

$$\text{CONDICION I} \quad |A| = |A_i| \quad \text{para } x = 0$$

$$\text{CONDICION II} \quad |A| = 0 \quad \text{para } x = x_C$$

De la condición I resulta:

$$(1.32) \quad C_1 = |A_i| - C_2$$

Y de la condición II:

$$C_2 = -C_1 \frac{e^{\lambda_1 x_C}}{e^{\lambda_2 x_C}}$$

Reemplazando C_1 en función de C_2 y agrupando:

$$(1.33) \quad C_2 = -|A_i| \frac{e^{\lambda_1 x_C}}{e^{\lambda_2 x_C} - e^{\lambda_1 x_C}}$$

Y reemplazando en (1.32):

$$(1.34) \quad C_1 = |A_i| \frac{e^{\lambda_2 x_C}}{e^{\lambda_2 x_C} - e^{\lambda_1 x_C}}$$

Sustituyendo en (1.31) por (1.33) y (1.34) y agrupando:

$$(1.35) \quad |A| = \frac{|A_i|}{e^{\lambda_2 x_C} - e^{\lambda_1 x_C}} \{e^{\lambda_2 x_C} e^{\lambda_1 x} - e^{\lambda_1 x_C} e^{\lambda_2 x}\}$$

Si solamente la especie A pasa a través de la interfase:

$$v = v_A = \frac{N_A}{c_A}$$

siendo c_A la densidad molar. Además:

$$c_A = \frac{\rho_A}{M_A}$$

donde M_A es el peso molecular, luego:

$$v = \frac{N_A \cdot M_A}{\rho_A} \approx 10^{-7} \text{ (cm/sg)}$$

Por otra parte:

$$D_A \cdot k \cdot |B_C| \approx 10^{-7} \text{ (cm/sg)}^2$$

De la expresión (1.30) resultará:

$$\lambda_1 = -\lambda_2 = \sqrt{\frac{k \cdot B_C}{D_A}}$$

La ecuación (1.35) queda:

$$|A| = \frac{|A_i|}{e^{\lambda x_C} - e^{-\lambda x_C}} \{e^{\lambda(x-x_C)} - e^{-\lambda(x-x_C)}\}$$

$$(1.36) \quad |A| = \frac{|A_i|}{\text{Sh} \lambda x_C} \text{Sh} \lambda (x_C - x)$$

Derivando:

$$\left(\frac{d|A|}{dx}\right)_{x=0} = -|A_i| \cdot \lambda \cdot \text{Cth} \lambda x_C$$

Si se considera que $\psi = \lambda x_C$, de acuerdo a la primer Ley de Fick el flujo interfacial será:

$$N_{A_V} = D_A \cdot |A_i| \cdot \frac{\psi}{x_C} \text{Cth} \psi$$

El error introducido en el cálculo del flujo por la ecuación (1.26) es:

$$\epsilon_I = \frac{(N_A)_{x=0} - N_{A_V}}{(N_A)_{x=0}}$$

Y como la ecuación (1.26) se puede escribir:

$$(1.37) \quad \begin{aligned} (N_A)_{x=0} &= |A_i| \cdot D_A \cdot \frac{\psi}{x_C} \\ \epsilon_I &= \frac{|A_i| \cdot D_A \cdot \psi / x_C - |A_i| \cdot D_A \cdot \psi / x_C \cdot \text{Cth} \psi}{|A_i| \cdot D_A \cdot \psi / x_C} \end{aligned}$$

Por otra parte cuando $\psi = 2$, $\text{Cth} \psi = 1,0373$, luego

$$\epsilon_I = 1 - 1,0373$$

$$|\epsilon_I| = 3,73 \%$$

De esto se concluye que el sistema químico debe ser tal que el valor de Ψ resulte mayor que 2 para poder utilizar la ecuación (1.26) en el cálculo del flujo con un error menor de 3,73%.

Condición II

El estado estacionario implica desde el punto de vista macroscópico, la constancia de las propiedades medias de un sistema.

Para que se dé esta situación, es necesario que los valores puntuales de las propiedades determinantes del sistema, no se modifiquen en función del tiempo.

Dada la vigencia del mecanismo difusional, la ecuación dinámica de balance dentro de la película receptora, para la especie transferida es:

$$(138) \quad \frac{\partial |A|}{\partial t} = D_A \frac{\partial^2 |A|}{\partial x^2} - k \cdot |B_C| \cdot |A|$$

con las siguientes condiciones inicial y de contorno:

- . Condición inicial: $t = 0, |A| = 0,$ para $0 < x < x_c$
- . Condición 1 : $t > 0, |A| = |A_i|,$ para $x = 0$
- . Condición 2 : $t > 0, |A| = 0,$ para $x = x_c$

La integración de la ecuación (1.38), cuyo desarrollo figura en el APENDICE #1, da como resultado:

$$|A| = |A_i| \left(\frac{\exp(\sqrt{k|B_C|/D_A} \cdot x) - \exp(\sqrt{k|B_C|/D_A} \cdot x_c)}{\text{Sh}(\sqrt{k|B_C|/D_A} \cdot x_c)} \right) + \exp(-k|B_C|t) \sum_1^{\infty} K_n \exp(-D_A \pi^2 n^2 / x_c^2 \cdot t) \cdot \text{sen}(n\pi/x_c \cdot x)$$

Siendo K_n los coeficientes de Fourier (APENDICE #1). Luego derivando la expresión de $|A|$ con respecto a x en $x = 0$, el flujo interfacial en función del tiempo resulta:

$$(1.39) \quad (N_A(t))_{x=0} = -D_A |A_i| \sqrt{k|B_C|/D_A} \left\{ 1 - \frac{\exp(\sqrt{k|B_C|/D_A} \cdot x_C)}{\text{Sh}(\sqrt{k|B_C|/D_A} \cdot x_C)} \right\} - \\ - D_A \exp(-k|B_C|t) \sum_1^{\infty} K_n \frac{n\pi}{x_C} \exp(-D_A \pi^2 n^2 / x_C^2 \cdot t)$$

En estado estacionario:

$$\frac{\partial |N_A(t)|}{\partial t} \Big|_{x=0} = 0$$

Derivando la ecuación (1.39) respecto del tiempo e igualando a cero, resulta:

$$(1.40) \quad k|B_C| \sum_1^{\infty} K_n \frac{n\pi}{x_C} \exp(-D_A \pi^2 n^2 / x_C^2 \cdot t) = \sum_1^{\infty} -K_n \frac{n^3 \pi^3}{x_C^3} D_A \exp(-D_A \pi^2 n^2 / x_C^2 \cdot t)$$

Pudiendo obtenerse de esta expresión, los valores de t que satisfacen la igualdad.

Condición III

Otra de las pautas que definen el modelo pelicular es la de interfase plana, condición que no se cumple en el caso de una dispersión líquido-líquido.

Es necesario analizar la influencia que sobre la expresión de flujo interfacial, tendrá el hecho de que la difusión tiene lugar a través de una película esférica.

La ecuación de balance en coordenadas esféricas, para la especie transferida, en estado estacionario será:

$$(1.41) \quad r_A \frac{1}{r^2} \left\{ \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{d|A|}{dr} \right) \right\} - k \cdot |B_C| \cdot |A| = 0$$

Mediante el siguiente cambio de variable:

$$|A| = \frac{f(r)}{r}$$

la ecuación (1.41) resulta:

$$\frac{d^2 f}{dr^2} = \frac{k \cdot |B_C|}{D_A} f(r)$$

Cuya integración, considerando que $\lambda = \sqrt{k|B_C|/D_A}$, es según Bird (17):

$$|A| = \frac{K_1}{r} \text{Ch}\lambda r + \frac{K_2}{r} \text{Sh}\lambda r$$

Expresando las funciones hiperbólicas en forma explícita y agrupando:

$$|A| = C_1 \frac{e^{\lambda r}}{r} + C_2 \frac{e^{-\lambda r}}{r}$$

Las condiciones de contorno son:

Condición #1: $|A| = |A_i|$, para $r = R$ (radio medio de las gotas)

Condición #2: $|A| = 0$, para $r = R + x_c = R_c$

Por la condición #2:

$$(1.43) \quad C_1 = -C_2 e^{-2\lambda R_c}$$

De acuerdo a la condición #1, teniendo en cuenta (1.43) y agrupando:

$$|A_i| = C_2 \frac{e^{-\lambda R_c}}{R} \cdot 2 \text{Sh}\lambda x_c$$

Luego C_2 es:

$$(1.44) \quad C_2 = A_i \frac{R e^{\lambda R_c}}{2 \text{Sh}\lambda x_c}$$

Reemplazando en (1.43):

$$C_1 = - \frac{|A_i| \cdot R}{2 \text{Sh}\lambda x_c} e^{-\lambda R_c}$$

La ecuación (1.42) resulta:

$$|A| = |A_i| \frac{R}{2r \text{Sh}\lambda x_c} \{e^{\lambda R_c} e^{-\lambda r} - e^{-\lambda R_c} e^{\lambda r}\}$$

Agrupando y desarrollando R_c :

$$(1.45) \quad |A| = |A_i| \frac{R}{r} \cdot \frac{\text{Sh}\lambda (R+x_c-r)}{\text{Sh}\lambda x_c}$$

Para obtener la expresión de flujo, se deriva la ecuación (1.45) en $r = R$:

$$\left(\frac{d|A|}{dr}\right)_{r=R} = - |A_i| \left\{ \frac{1}{R} + \lambda C_{th} \lambda \cdot x_c \right\}$$

El flujo interfacial es entonces:

$$(1.46) \quad (N_A)_{r=R} = D_A |A_i| \left\{ \frac{1}{R} + \lambda C_{th} \lambda x_c \right\}$$

Si el error producido por la expresión (1.26) en el cálculo de flujo interfacial es:

$$\epsilon_{III} = \frac{(N_A)_{x=0} - (N_A)_{r=R}}{(N_A)_{x=0}}$$

De (1.46) es finalmente:

$$\epsilon_{III} = \frac{D_A \cdot |A_i| \{1/R + \psi/x_c \cdot C_{th}\psi\} - D_A \cdot |A_i| \cdot \psi/x_c \cdot C_{th}\psi}{D_A \cdot |A_i| \cdot \psi/x_c \cdot C_{th}\psi}$$

Sacando factor común y simplificando:

$$(1.47) \quad \epsilon_{III} = \frac{Th\psi}{\frac{R}{x_c} \cdot \psi}$$

Por otra parte el Sherwood es:

$$SH = \frac{2 R}{x_c}$$

Luego el error es:

$$\epsilon_{III} = \frac{2 Th\psi}{SH \cdot \psi}$$

Para $\psi = 2$, $Th\psi = 0,964$. Por lo que en una dispersión de gotas, ϵ_{III} es menor que 1 %, cuando el diámetro medio de la dispersión es cien veces mayor que x_c .

Condición IV

En el análisis de las tres condiciones precedentes, se ha supues

to válida la condición de que el reactivo transferido se agota dentro de la película receptora, por lo que se utilizó en ese análisis como una de las condiciones de contorno: $|A| = 0$, para $x \geq x_c$.

En el análisis particular de esta condición, la ecuación de balance másico se puede expresar:

$$(1.48) \quad \frac{d^2 |A|}{dy^2} = \psi^2 |A|$$

Siendo:

$$|A| = \frac{|A_i|}{|A_i|} \quad y \quad y = \frac{x}{x_c}$$

Al integrar (1.48) queda:

$$(1.49) \quad |A| = C_1 e^{\psi y} + C_2 e^{-\psi y}$$

Si se toman como condiciones de contorno (18):

Condición #1: $|A| = 1$, para $y = 0$

Condición #2: $-A \frac{D_A}{\nu x_c} \left(\frac{d|A|}{dy} \right)_{y=1} = k \cdot |B_c| \cdot |A|_{y=1}^* \{ \phi_c - A_V \cdot x_c \}$, para $y = 1$

Derivando (1.49)

$$\frac{d|A|}{dy} = \psi \{ C_1 e^{\psi y} - C_2 e^{-\psi y} \}$$

De la condición #2

$$\begin{aligned} \left(\frac{d|A|}{dy} \right)_{y=1} &= \psi \{ C_1 e^{\psi} - C_2 e^{-\psi} \} = \\ &= - \frac{k \cdot |B_c| \cdot |A|_{y=1}^* \cdot x_c}{A_V \cdot D_A} \{ \phi_c - A_V \cdot x_c \} \end{aligned}$$

Si se considera la definición de ψ , multiplicando y dividiendo la expresión anterior por $A_V \cdot x_c$, y despejando $|A|_{y=1}^*$ resulta:

$$(1.50) \quad |A|_{y=1}^* = \frac{C_2 \cdot e^{-\psi} - C_1 \cdot e^{\psi}}{\psi \cdot \pi}$$

Siendo: $\pi = \frac{\phi c}{A_Y x_C} - 1$, considerando la ecuación (1.49) para $y=1$, e igualando a (1.50) resulta:

$$C_1 e^{\psi} + C_2 e^{-\psi} = \frac{C_2 e^{-\psi} - C_1 e^{\psi}}{\psi \cdot \pi}$$

Como de la condición de contorno #1, $C_1 = 1 - C_2$, se puede poner:

$$C_2 \{e^{\psi} + e^{-\psi}\} - e^{\psi} = \psi \cdot \pi \{e^{\psi} - C_2(e^{\psi} - e^{-\psi})\}$$

Ordenando e igualando a cero:

$$C_2 \{ (e^{\psi} + e^{-\psi}) + \psi \cdot \pi (e^{\psi} - e^{-\psi}) \} - e^{\psi} (1 + \psi \pi) = 0$$

Despejando queda:

$$C_2 = \frac{e^{\psi} (1 + \psi \pi)}{(e^{\psi} + e^{-\psi}) + \psi \pi (e^{\psi} - e^{-\psi})}$$

y de la condición de contorno #1:

$$C_1 = 1 - \frac{e^{\psi} (1 + \psi \pi)}{(e^{\psi} + e^{-\psi}) + \psi \pi (e^{\psi} - e^{-\psi})}$$

Reemplazando C_1 y C_2 en la ecuación (1.49)

$$|A|^* = \left\{ 1 - \frac{e^{\psi} (1 + \psi \pi)}{(e^{\psi} + e^{-\psi}) + \psi \pi (e^{\psi} - e^{-\psi})} \right\} e^{\psi Y} + \left\{ \frac{e^{\psi} (1 + \psi \pi)}{(e^{\psi} + e^{-\psi}) + \psi \pi (e^{\psi} - e^{-\psi})} \right\} e^{-\psi Y}$$

$$|A|^* = e^{\psi Y} - \frac{e^{\psi} (1 + \psi \pi)}{(e^{\psi} + e^{-\psi}) + \psi \pi (e^{\psi} - e^{-\psi})} \{e^{\psi Y} - e^{-\psi Y}\}$$

$$|A|^* = \frac{\{(e^{\psi} + e^{-\psi}) + \psi \pi (e^{\psi} - e^{-\psi})\} e^{\psi Y} - e^{\psi} (1 + \psi \pi) \{e^{\psi Y} - e^{-\psi Y}\}}{(e^{\psi} + e^{-\psi}) + \psi \pi (e^{\psi} - e^{-\psi})}$$

$$|A|^* = \frac{e^{\psi Y + \psi} + e^{\psi Y - \psi} + \psi \pi (e^{\psi Y + \psi} - e^{\psi Y - \psi}) - (e^{\psi Y + \psi} - e^{\psi Y - \psi}) (1 + \psi \pi)}{(e^{\psi} + e^{-\psi}) + \psi \pi (e^{\psi} - e^{-\psi})}$$

Desarrollando y simplificando:

$$|A|^* = \frac{\{e^{(\psi - \psi Y)} + e^{-(\psi - \psi Y)}\} + \psi \pi \{e^{(\psi - \psi Y)} - e^{-(\psi - \psi Y)}\}}{(e^{\psi} + e^{-\psi}) + \psi \pi (e^{\psi} - e^{-\psi})}$$

$$(1.51) \quad |A|^* = \frac{\text{Ch}(\psi - \psi Y) + \psi \pi \text{Sh}(\psi - \psi Y)}{\text{Ch}\psi + \psi \pi \text{Sh}\psi}$$

Teniendo en cuenta que:

$$\text{Ch}(\Psi - \Psi_Y) = \text{Ch}\Psi \cdot \text{Ch}\Psi_Y - \text{Sh}\Psi \cdot \text{Sh}\Psi_Y$$

$$\text{Sh}(\Psi - \Psi_Y) = \text{Sh}\Psi \cdot \text{Ch}\Psi_Y - \text{Sh}\Psi_Y \cdot \text{Ch}\Psi$$

Reemplazando en (1.51)

$$|A|^* = \frac{\text{Ch}\Psi \cdot \text{Ch}\Psi_Y - \text{Sh}\Psi \cdot \text{Sh}\Psi_Y + \Psi\pi \text{Sh}\Psi \cdot \text{Ch}\Psi_Y - \Psi\pi \text{Sh}\Psi_Y \cdot \text{Ch}\Psi}{\text{Ch}\Psi (1 + \Psi\pi \text{Th}\Psi)}$$

Dividiendo numerador y denominador por $\text{Ch}\Psi$:

$$|A|^* = \frac{\text{Ch}\Psi_Y - \text{Th}\Psi \cdot \text{Sh}\Psi_Y + \Psi\pi \text{Th}\Psi \cdot \text{Ch}\Psi_Y - \Psi\pi \text{Sh}\Psi_Y}{1 + \Psi\pi \text{Th}\Psi}$$

Factoriando y simplificando:

$$|A|^* = \text{Ch}\Psi_Y - \frac{(\text{Th}\Psi + \Psi\pi)}{(1 + \Psi\pi \text{Th}\Psi)} \cdot \text{Sh}\Psi_Y$$

Derivando en $y = 0$,

$$\left(\frac{d|A|^*}{dy}\right)_{y=0} = - \frac{\Psi \cdot \text{Th}\Psi + \Psi\pi}{1 + \Psi\pi \text{Th}\Psi}$$

La expresión de flujo interfacial, teniendo en cuenta el cambio de variables, resulta:

$$(1.52) \quad (N_A)_{y=0} = |A_i| \cdot \sqrt{k \cdot |B_c| \cdot D_A} \frac{\text{Th}\Psi + \Psi\pi}{1 + \Psi\pi \text{Th}\Psi}$$

Condición V y VI

La quinta condición implica que $\left(\frac{d|B|}{dx}\right)_{x=0} = 0$, con lo que $(N_B)_{x=0} = 0$.

Esta situación resulta un caso particular de la sexta condición, referente a que la reacción química es de pseudo-primer orden, por la cual $|B| = |B_c|$, siendo $|B_c|$ un valor constante dentro de la película receptora.

No obstante como la transferencia en esa zona es difusional, debe necesariamente existir un gradiente. Van Krevelen considera válida la igualdad $|B_i| = |B_c|$ cuando se cumple que:

$$\frac{D_B \cdot |B_C|}{D_A \cdot |A_i|} \gg \psi$$

De las expresiones de balance para A y B, se obtiene:

$$D_A \frac{d^2 |A|}{dx^2} = D_B \frac{d^2 |B|}{dx^2}$$

La primera integración da:

$$(1.53) \quad D_A \frac{d|A|}{dx} = D_B \frac{d|B|}{dx} + C_1$$

y la segunda:

$$(1.54) \quad D_A \cdot |A| = D_B \cdot |B| + C_1 x + C_2$$

Para evaluar las constantes C_1 y C_2 , se consideran las siguientes condiciones de contorno:

Condición #1: para $x = 0$

$$|B| = |B_i| ; \quad |A| = |A_i| ; \quad (N_A)_{x=0} = |A_i| \cdot D_A \cdot \psi / x_c \cdot C_{th} \psi$$

Condición #2: para $x = x_c$

$$|A| = 0 ; \quad |B| = |B_c| ; \quad D_A \frac{d|A|}{dx} = 0 ; \quad (N_B)_{x=x_c} = -D_B \left(\frac{d|B|}{dx} \right)_{x=x_c}$$

En la ecuación (1.54) con la condición #1 se tendrá:

$$C_2 = D_A \cdot |A_i| - D_B \cdot |B_i|$$

En la ecuación (1.53), con la condición #2:

$$C_1 = - D_B \cdot \left(\frac{d|B|}{dx} \right)_{x=x_c}$$

Reemplazando en (1.54):

$$D_A \cdot |A| = D_B \cdot |B| - D_B \left(\frac{d|B|}{dx} \right)_{x=x_c} \cdot x + D_A \cdot |A_i| - D_B \cdot |B_i|$$

En estado estacionario se cumple:

$$(N_A)_{x=0} = (-N_B)_{x=x_c}$$

por ser el factor estequiométrico igual a 1. Luego

$$(N_B)_{x=x_c} = -D_B \left(\frac{d|B|}{dx} \right)_{x=x_c}$$

$$(N_B)_{x=x_c} = (-N_A)_{x=0} = -|A_i| \cdot D_A \cdot \psi / x_c \cdot \text{Cth} \psi$$

Será entonces:

$$D_A \cdot |A| = D_B \cdot |B| - \{ |A_i| \cdot D_A \cdot \psi / x_c \cdot \text{Cth} \psi \} x + D_A \cdot |A_i| - D_B \cdot |B_i|$$

Si se tiene en cuenta la expresión (1.36) resultará:

$$\frac{D_A \cdot |A_i|}{e^\psi - e^{-\psi}} \cdot 2 \text{Sh} \psi \left(\frac{x}{x_c} - 1 \right) = D_B \cdot |B| - \{ |A_i| \cdot D_A \cdot \frac{\psi}{x_c} \text{Cth} \psi \} x + D_A \cdot |A_i| - D_B \cdot |B_i|$$

Para $x = x_c$, $|B| = |B_c|$, luego:

$$D_A \cdot |A_i| \cdot \psi \text{Cth} \psi = D_B \cdot |B_c| + D_A \cdot |A_i| - D_B \cdot |B_i|$$

Dividiendo por $D_B \cdot |B_c|$, y despejando:

$$\frac{|B_i|}{|B_c|} = 1 + \frac{D_A |A_i|}{D_B |B_c|} - \frac{D_A |A_i|}{D_B |B_c|} \psi \text{Cth} \psi$$

Cuando $\psi > 2$ se cumple que:

$$(1.55) \quad \frac{|B_i|}{|B_c|} = 1 + \frac{D_A |A_i|}{D_B |B_c|} - \frac{D_A |A_i|}{D_B |B_c|} \psi$$

Si se designa a

$$\frac{D_A \cdot |A_i|}{D_B \cdot |B_c|} = S$$

La ecuación (1.55) resulta:

$$(1.56) \quad \frac{|B_i|}{|B_c|} = 1 + S - S \cdot \psi$$

De la expresión anterior se concluye que la concentración de la

especie B será prácticamente invariante si se cumple que:

$$(1.57) \quad 1 \gg |S(1 - \Psi)|$$

Con el objeto de verificar las distintas condiciones que debe cumplir el sistema formiato de n-butilo-OHNa, empleado en este caso, para efectuar las mediciones del área específica de contacto, se realiza a continuación el cálculo de los valores de Ψ correspondientes a cada una de las experiencias.

Cálculo de Ψ :

Para obtener el valor de Ψ , se estimará k_c , admitiendo que la energía insumida en la agitación por pulso se puede considerar dada por la energía cinética con que las fases son eyectadas.

La potencia suministrada por pulso es entonces:

$$P_p = \frac{1}{2} V_p \cdot \rho_m \cdot F_p \cdot \overline{v_o^2}$$

- Siendo: . V_p : volumen de pulso
 . ρ_m : densidad de la mezcla
 . F_p : frecuencia de pulsos
 . $\overline{v_o^2}$: velocidad cuadrática media de eyección

Como el movimiento alternativo de la mezcla en las boquillas si gue una ley sinusoidal, la expresión de la velocidad será:

$$\overline{v_o^2} = \frac{\omega^2 (A/2)^2 \int_0^{T/2} \text{sen}^2 \omega t \, dt}{\int_0^{T/2} dt}$$

Si hacemos:

$$\begin{aligned} x &= \omega t \\ dx &= \omega \, dt \\ x &= \omega \cdot T/2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \int_0^{T/2} \text{sen}^2 \omega t \, dt &= \frac{1}{\omega} \int_0^{T/2} \text{sen}^2 x \, dx = \\ &= \frac{1}{\omega} \left(\frac{1}{2} x - \frac{1}{4} \text{sen} 2x \right)_0^x \end{aligned}$$

$$\int_0^{T/2} \text{sen}^2 \omega t \, dt = \frac{1}{\omega} \left(\frac{1}{2} x - \frac{1}{4} \text{sen} 2x \right) =$$

$$= \frac{1}{\omega} \left(\frac{1}{2} \omega \frac{T}{2} - \frac{1}{4} \text{sen} 2\omega \frac{T}{2} \right)$$

como $\omega = \frac{2\pi}{T}$

$$\int_0^{T/2} \text{sen}^2 \omega t \, dt = \frac{T}{2\pi} \left(\frac{\pi}{2} - \text{sen} 2\pi \right) = \frac{T}{4}$$

$$\overline{v^2} = \frac{8}{T^3} \frac{\pi^2}{4} \frac{A^2}{4} \frac{T}{4} = \frac{1}{2} \left(\frac{\pi A}{T} \right)^2$$

Si se expresa la amplitud de la oscilación en función del volumen de pulso y la sección de salida de la boquilla, la potencia por pulso estará dada:

$$P_p = \frac{1}{2} V_p \cdot \rho_m \cdot F_p \frac{\pi^2}{2T^2} \left(\frac{V_p}{S_b} \right)^2$$

Como en el tanque actúan dos boquillas, la potencia vertida es:

$$P = 8 \frac{V_p^3 \cdot \rho_m \cdot F_p^3}{D_b^4} = \left(\frac{2 V_p \cdot F_p}{D_b} \right)^3 \frac{\rho_m}{D_b}$$

donde D_b es el diámetro de boca de las boquillas.

Para el cálculo de k_c se utilizará la siguiente correlación (19):

$$k_c = 0,13 \left(\frac{P \cdot \mu_c}{V \cdot \rho_c^2} \right)^{1/4} \left(\frac{\mu_c}{\rho_c \cdot D_A} \right)^{-2/3}$$

Los datos para el cálculo son:

$$\rho_D^{20^\circ\text{C}} = 0,88 \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right)$$

$$\rho_C^{20^\circ\text{C}} = 1,27 \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right)$$

$$\mu_C^{20^\circ\text{C}} = 0,071 \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm} \cdot \text{sg}} \right)$$

$$F_p = 0,95 \left(\text{seg}^{-1} \right)$$

$$D_A = 1,3 \times 10^{-6} \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{seg}} \right)$$

Con esto resulta:

$$\left(\frac{\mu_c}{\rho_c \cdot D_A}\right)^{-2/3} = 8,148 \times 10^{-4}$$

Para el cálculo de ψ se tiene:

$$\psi = \frac{\sqrt{k \cdot D_A \cdot |B_c|}}{k_c}$$

$$N_{Ai} = |A_i| \sqrt{k \cdot D_A \cdot |B_c|}$$

por lo que resulta:

$$\psi = \frac{N_{Ai}}{|A_i| \cdot k_c}$$

Obteniéndose N_{Ai} (15) de la correlación:

$$\ln N_{Ai} = -24,39 + 0,03609 T - 0,4915 I$$

Con $T = 298^\circ\text{K}$, $I = 8 \text{ N}$:

$$\ln N_{Ai} = -24,39 + 0,03609 (298) - 0,4915 (8)$$

$$N_{Ai} = 2,3553 \times 10^{-8} \left(\frac{\text{moles}}{\text{cm}^2 \cdot \text{sg}}\right)$$

$|A_i|$ se calcula a partir de:

$$\ln |A_i| = \ln (7 \times 10^{-5}) - 0,1793 |B_c|$$

$$|B_c| = 8 \text{ N}$$

$$|A_i| = 1,7 \times 10^{-5} \left(\frac{\text{moles}}{\text{cm}^3}\right)$$

$D_b = 0,50 \text{ (cm)}, \quad \phi_D = 0,10 \quad \rho_m = 1,23 \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}\right)$

Número de experiencia	volumen de pulsos (cm ³)	$P \times 10^{-6}$ ($\frac{\text{ergios}}{\text{sg}}$)	$k_c \times 10^4$ ($\frac{\text{cm}}{\text{sg}}$)	ψ
1	20	1,088	3,944	3,93
2	25	2,126	4,663	3,31
3	30	3,674	5,346	2,91
4	35	5,834	6,001	2,59
5	40	8,708	6,633	2,34

$D_b = 0,40 \text{ (cm)} \quad \phi_D = 0,10 \quad \rho_m = 1,23 \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}\right)$

Número de experiencia	Volumen de pulsos (cm ³)	$P \times 10^{-6}$ ($\frac{\text{ergios}}{\text{sg}}$)	$k_c \times 10^4$ ($\frac{\text{cm}}{\text{sg}}$)	ψ
6	20	2,657	4,930	3,15
7	25	5,190	5,828	2,66
8	34	13,06	7,340	2,12
9	42	24,61	8,600	1,83

$D_b = 0,71 \text{ (cm)} \quad \phi_D = 0,10 \quad \rho_m = 1,23 \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}\right)$

Número de experiencia	Volumen de pulsos (cm ³)	$P \times 10^{-6}$ ($\frac{\text{ergios}}{\text{sg}}$)	$k_c \times 10^4$ ($\frac{\text{cm}}{\text{sg}}$)	ψ
10	20	0,2677	2,777	5,03
11	25	0,5229	3,283	4,27
12	30	0,9035	3,765	3,72
13	35	1,435	4,226	3,32
14	40	2,142	4,671	3,01
15	40	2,142	4,671	3,44
16	40	2,142	4,671	3,45
17	40	2,142	4,671	3,07

$$r_b = 0,89 \text{ (cm)} \quad \phi_D = 0,10 \quad \rho_m = 1,23 \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right)$$

Número de experiencia	Volumen de pulsos (cm ³)	P x 10 ⁻⁶ ($\frac{\text{ergios}}{\text{sg}}$)	k _C x 10 ⁴ ($\frac{\text{cm}}{\text{sg}}$)	ψ
18	20	0,1084	2,216	6,38
19	30	0,3659	3,003	4,72
20	40	0,8674	3,726	3,81
21	50	1,694	4,405	3,24

$$r_b = 0,50 \text{ (cm)} \quad \phi_D = 0,20 \quad \rho_m = 1,192 \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right)$$

Número de experiencia	Volumen de pulsos (cm ³)	P x 10 ⁻⁶ ($\frac{\text{ergios}}{\text{sg}}$)	k _C x 10 ⁴ ($\frac{\text{cm}}{\text{sg}}$)	ψ
22	20	1,054	3,912	3,82
23	30	3,557	5,303	2,83
24	40	8,432	6,580	2,32

$$r_b = 0,50 \text{ (cm)} \quad \phi_D = 0,30 \quad \rho_m = 1,153 \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right)$$

Número de experiencia	Volumen de pulsos (cm ³)	P x 10 ⁻⁶ ($\frac{\text{ergios}}{\text{sg}}$)	k _C x 10 ⁴ ($\frac{\text{cm}}{\text{sg}}$)	ψ
25	20	1,020	3,880	4,11
26	30	3,441	5,259	3,09
27	40	8,156	6,525	2,47

$$r_b = 0,50 \text{ (cm)} \quad \phi_D = 0,40 \quad \rho_m = 1,1140 \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right)$$

Número de experiencia	Volumen de pulsos (cm ³)	P x 10 ⁻⁶ ($\frac{\text{ergios}}{\text{sg}}$)	k _C x 10 ⁴ ($\frac{\text{cm}}{\text{sg}}$)	ψ
28	20	0,9850	3,847	4,41
29	30	3,324	5,214	3,24
30	40	7,880	6,469	2,16

1.6. Verificación de las condiciones:

Condición I

Como se puede ver en las tablas precedentes, los valores de ψ correspondientes a las experiencias realizadas son superiores a 2, por lo que el uso de una ecuación independiente de la hidrodinámica para el cálculo del flujo interfacial, introduce un error menor del 3 % (ecuación 1.37).

Condición II

Se dan a continuación, los valores de los tiempos que tarda el sistema en alcanzar el estado estacionario en cada experiencia, considerando como el origen de los tiempos, el instante en que se inicia la agitación (ecuación 1.40).

Teniendo en cuenta la tabla que se expone a continuación, los valores considerados de velocidad de reacción química y de flujo interfacial que permiten calcular A_v , son aquellos que corresponden a valores de conversión superiores a 4 %.

TABLA # 1

# de experiencia	$x_c \times 10^3$	ψ	tiempo (sg)	# de experiencia	$x_c \times 10^3$	ψ	tiempo (sg)
1	3,296140	3,93	47	16	2,783129	3,45	33
2	2,787900	3,31	33	17	2,783129	3,07	33
3	2,431720	2,91	26	18	5,866425	6,38	149
4	2,166300	2,59	20	19	4,329004	4,72	80
5	1,959890	2,34	17	20	3,488996	3,81	52
6	2,636910	3,15	30	21	2,951191	3,24	37
7	2,230610	2,66	22	22	3,323108	3,82	47
8	1,771117	2,12	14	23	2,451442	2,83	26
9	1,511627	1,83	10	24	1,975683	2,32	17
10	4,681310	5,03	94	25	3,350515	4,11	48
11	3,959792	4,27	67	26	2,471952	3,09	26
12	3,452855	3,72	51	27	1,992337	2,47	17
13	3,076194	3,32	40	28	3,379256	4,41	49
14	2,783129	3,01	33	29	2,493287	3,24	27
15	2,783129	3,44	33	30	2,009584	2,16	18

Condición III

Según lo deducido anteriormente (ecuación 1.47) el error introducido al suponer interfase plana es:

$$\epsilon_{III} = \frac{Th\psi}{\frac{R}{x_c} \cdot \psi}$$

Expresado en función de A_v es

$$\epsilon_{III} = \frac{1}{\frac{3\phi_D}{A_v x_c}} \cdot \frac{Th\psi}{\psi}$$

Los valores correspondientes a cada corrida se indican en la siguiente TABLA # 2:

TABLA # 2

# de ensayo	ψ	Th ψ	Th ψ / ψ	$\frac{3\phi_D}{(A_{vexp})x_c}$	$\frac{1/3\phi_D}{(A_{vexp})x_c}$	ϵ_{III} %
1	3,93	0,99923	0,254257	2,06524	0,484203	12,31
2	3,31	0,99734	0,301311	1,887526	0,529793	15,96
3	2,91	0,99408	0,341608	1,677583	0,596095	20,36
4	2,59	0,98881	0,381779	1,776131	0,563021	21,49
5	2,34	0,98161	0,419491	1,622996	0,613510	25,74
6	3,15	0,99633	0,316295	1,557846	0,641911	20,30
7	2,66	0,99026	0,372278	1,318940	0,758184	28,22
8	2,12	0,97159	0,458297	1,377894	0,725744	33,26
9	1,83	0,94983	0,519032	1,270724	0,786953	40,84
10	5,03	0,99991	0,198789	3,133722	0,319109	6,34
11	4,27	0,99961	0,234100	2,583954	0,387003	9,06
12	3,72	0,99883	0,268502	2,150077	0,465099	12,48
13	3,32	0,99739	0,300418	1,840753	0,543255	16,32
14	3,01	0,99515	0,330615	2,250832	0,444280	14,68
15	3,44	0,99795	0,290101	2,851649	0,350674	10,17
16	3,45	0,99799	0,289272	2,456525	0,407079	11,77
17	3,07	0,99570	0,324332	2,266926	0,441125	14,31
18	6,38	0,99999	0,156738	5,088405	0,196525	3,08
19	4,72	0,99984	0,211830	4,595491	0,217604	4,61
20	3,81	0,99902	0,262209	4,277841	0,233762	6,13

# de ensayo	ψ	Th ψ	Th ψ/ψ	$\frac{3 \phi_D}{(A_{vexp})x_c}$	$\frac{1/3\phi_D}{(A_{vexp})x_c}$	ϵ_{III} %
21	3,24	0,99694	0,307697	3,011074	0,332107	10,22
22	3,82	0,99904	0,261528	3,046294	0,328267	8,58
23	2,83	0,99306	0,350904	2,060044	0,485426	17,03
24	2,32	0,98087	0,422788	1,735881	0,576076	24,35
25	4,11	0,99946	0,243177	2,506442	0,398971	9,70
26	3,09	0,99587	0,32228	1,999257	0,500185	16,12
27	2,47	0,98579	0,399105	2,162840	0,462355	18,45
28	4,41	0,99970	0,226689	5,520095	0,181156	4,10
29	3,24	0,99694	0,307697	3,039805	0,328968	10,12
30	2,16	0,97375	0,450810	2,802693	0,356799	16,08

Condición IV

De la ecuación (1.52), el flujo interfacial, considerando que el reactivo A no se agota en la película es:

$$(N_A)_{y=0} = |A_i| \sqrt{k_c |B_c| \cdot D_A} \frac{\left(\frac{\phi_C}{A_V x_C} - 1\right) \psi + Th\psi}{\left(\frac{\phi_C}{A_V x_C} - 1\right) \psi Th\psi + 1}$$

Además la expresión de flujo correspondiente a la ecuación (1.26) es:

$$(N_A)_{x=0} = |A_i| \sqrt{k_c |B_c| \cdot D_A}$$

El error relativo resulta entonces:

$$\begin{aligned} \epsilon_{IV} &= \frac{(N_A)_{y=0} - (N_A)_{x=0}}{(N_A)_{x=0}} = \\ &= \frac{\left(\frac{\phi_C}{A_V x_C} - 1\right) \psi + Th\psi}{\left(\frac{\phi_C}{A_V x_C} - 1\right) \psi Th\psi + 1} - 1 \end{aligned}$$

Los valores correspondientes a cada experiencia se dan en la TABLA # 3:

TABLA # 3

Número de experiencia	$k_c \times 10^4$ ($\frac{cm}{sg}$)	$x_c \times 10^3$ (cm)	$1-\phi_D$	A_{vexp} (cm^{-1})	$(\bar{N}_A)_{x=0} \times 10^8$ ($\frac{moles}{cm^2 sg}$)	$(\bar{N}_A)_{y=0} \times 10^8$ ($\frac{moles}{cm^2 sg}$)	ϵ_{IV} %
1	3,944	3,29614	0,9	44,07	2,63498	2,636857	0,07124
2	4,663	2,78790	0,9	57,01	2,62387	2,630167	0,2400
3	5,346	2,43172	0,9	73,54	2,64466	2,6583487	0,5176
4	6,001	2,16630	0,9	77,97	2,64224	2,6682845	0,3857
5	6,633	1,95989	0,9	93,91	2,638607	2,6804553	1,586
6	4,930	2,63691	0,9	73,03	2,640015	2,6485184	0,3221
7	5,828	2,23061	0,9	101,97	2,635421	2,65670729	0,8077
8	7,340	1,771117	0,9	122,93	2,645336	2,7073162	2,343
9	8,600	1,511627	0,9	156,18	2,67546	2,784351	4,070
10	2,777	4,68131	0,9	20,45	2,374612	2,3748043	0,0081
11	3,283	3,959792	0,9	29,32	2,383129	2,383998	0,0365
12	3,765	3,452855	0,9	40,41	2,380986	2,383552	0,1078
13	4,226	3,076194	0,9	52,98	2,385154	2,3907829	0,2360
14	4,671	2,783129	0,9	47,89	2,39015	2,4007527	0,4436
15	4,671	2,783129	0,9	37,80	2,73160	2,736885	0,1935
16	4,671	2,783129	0,9	43,88	2,739541	2,74463928	0,1861
17	4,671	2,783129	0,9	47,55	2,437794	2,4473428	0,3917
18	2,216	5,866425	0,9	10,05	2,403473	2,40348429	0,00047
19	3,003	4,329004	0,9	15,08	2,409607	2,40997928	0,01545
20	3,726	3,488996	0,9	20,10	2,41333	2,415585	0,09346
21	4,405	2,951191	0,9	33,76	2,426274	2,433256	0,2878
22	3,912	3,323108	0,8	59,27	2,540452	2,542537	0,08211
23	5,303	2,451442	0,8	118,81	2,551273	2,563947	0,4968
24	6,580	1,975683	0,8	174,95	2,595152	2,626293	1,200
25	3,880	3,350515	0,7	107,17	2,710956	2,711876	0,03395
26	5,259	2,471952	0,7	182,11	2,762552	2,767085	0,1641
27	6,525	1,992337	0,7	208,86	2,739847	2,755546	0,5730
28	3,847	3,379256	0,6	64,33	2,884095	2,884760	0,02308
29	5,214	2,493287	0,6	158,33	2,871871	2,874860	0,1041
30	6,469	2,009584	0,6	213,08	2,375416	2,383789	0,3525

Condición V y VI

Se llegó de la ecuación (1.57) a la restricción:

$$1 \gg (S \cdot (1 - \psi))$$

para que se cumpla que la concentración de la especie química B sea constante a través de la película receptora.

Se definió a S como:

$$S = \frac{D_A \cdot |A_i|}{D_B \cdot |B_c|}$$

Teniendo en cuenta los valores de los términos que definen a S, resulta:

$$S = \frac{1,3 \times 10^{-6} (1,7 \times 10^{-5})}{9,3 \times 10^{-6} (8 \times 10^{-3})}$$

$$S = 2,97 \times 10^{-4}$$

Si se consideran los valores de ψ , se observa el cumplimiento de la restricción en todas las experiencias.

2.1. Descripción del sistema de medición

Los elementos que componen el sistema, son los siguientes:

1. Bomba de pulsos
2. Bomba de agua
3. Termostato y depósito de agua termostaticada
4. Caudalímetro para la línea de agua termostaticada
5. Serpentín de refrigeración
6. Caudalímetro para la línea de refrigeración
7. Dos termistores calibrados
8. Puente de Wheatstone
9. Registrador
10. Cinco termómetros graduados al 1/10 °C
11. Recipiente refrigerador continuo (baño)
12. Pares de boquillas eyectoras graduadas
13. Reactor

1. La bomba pulsadora consta de dos cilindros de acero inoxidable con una capacidad de 2000 cm³, provistos de pistones encamisados en teflón, que aseguran un volumen de pulsos rigurosamente constantes, para una determinada carrera del pistón.

Los pistones tienen un desfase de 180°, de manera que cuando una pulsa, el otro succiona, estando conectados a un motoreductor por un sistema de bielas dobles dotadas de un indicador digital de amplitud, que permite poner al equipo en condiciones fácilmente reproducibles.

El motoreductor de 0,5 HP es para corriente trifásica 220//380 Volts, 50 Hz, suministrando 57 pulsos por minuto de frecuencia.

Cada cilindro se conecta a una boquilla, a través de una trampa para líquidos, dotada de un manómetro con el que se mide la presión de pulsos. (FIGURA # 1)

2. La bomba de agua es centrífuga con carcasa e impulsor de acero inoxidable, accionada por un motor de 0,5 HP y 2800 RPM, que suministra 1000 litros/hora de caudal. Esta bomba es la

BOMBA PULSANTE

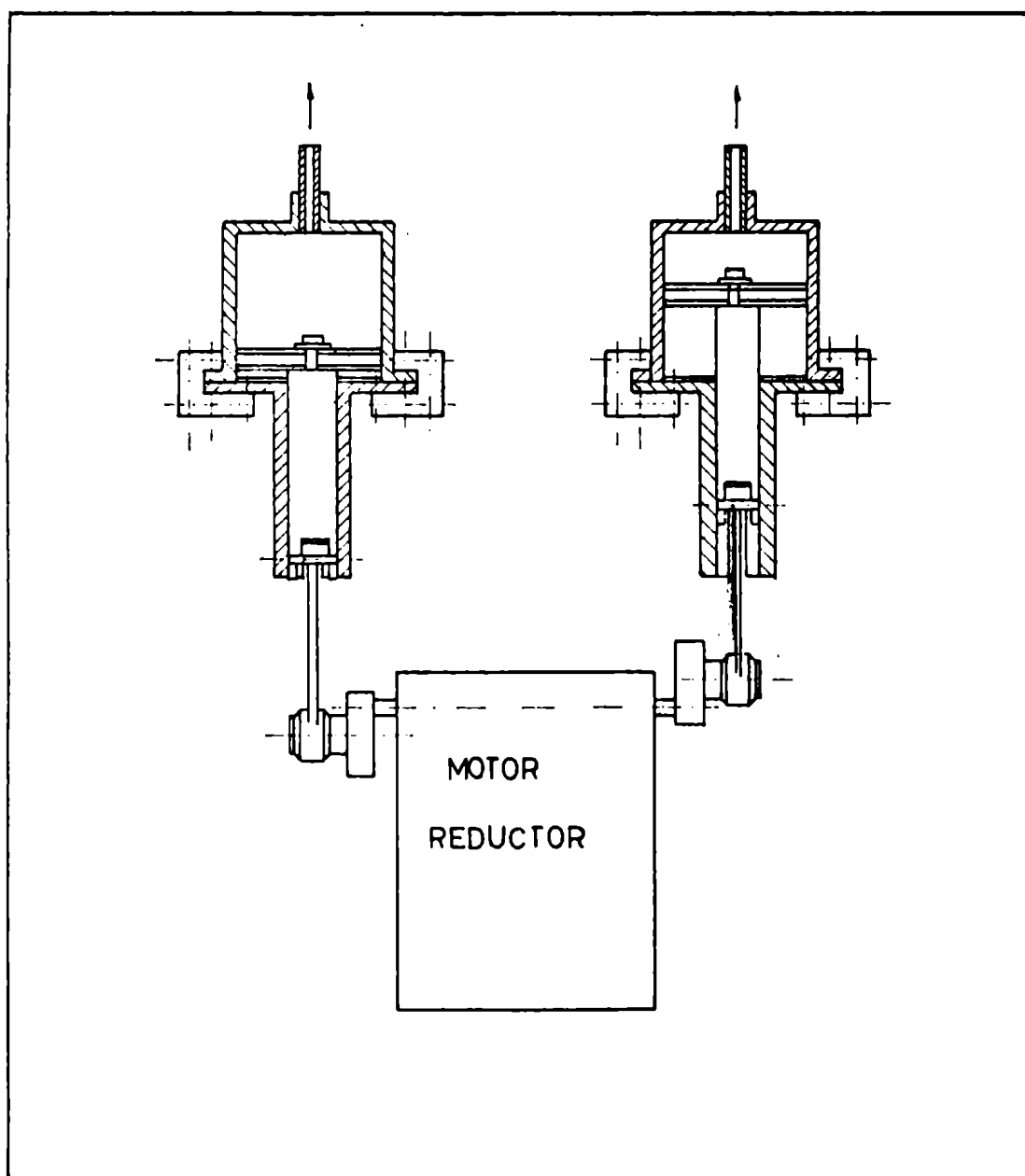


Fig. N° 1

que eleva el agua del depósito al baño.

3. El termostato sumergido en el depósito de agua está provisto de un relay conectado a través de un indicador de temperatura, que juntamente con el serpentín de refrigeración permite un control constante de la temperatura del agua. La capacidad del depósito es de 100 litros, lo que posibilitó lograr una adecuada inercia térmica en la línea de agua del baño. Se trabajó siempre con agua destilada.
4. Se controló durante cada ensayo el caudal de agua que circula a través del baño, con un caudalímetro ubicado sobre la línea de alimentación de éste.
5. El calor generado por la bomba de agua, el termostato y el reactor, se disipó a través de un serpentín de cobre sumergido en el depósito de agua. Las dimensiones del serpentín fueron: 1,98 metros de largo, 11 milímetros de espesor de pared, y 6,84 decímetros cuadrados de superficie.
6. El serpentín se alimentó con agua proveniente de un tanque de cemento de 15.000 litros, bombeada desde la tercer napa, características que contribuyeron a tener una línea de refrigeración de temperatura constante en cada día, aún bajo las condiciones climáticas más extremas. Esta línea contó además, con un caudalímetro para controlar el caudal de refrigeración necesario, de acuerdo a la temperatura del agua de refrigeración. Con estas precauciones se pudo mantener constante la temperatura del agua que fluye a través del baño.
7. Las mediciones continuas de las velocidades de reacción química, se lograron mediante el registro de las diferencias de temperaturas, entre el reactor y el baño. Se utilizó para esto, dos termistores encamisados en una delgada capa de vidrio y soldados a un soporte también de vidrio que evitó la transmisión del efecto térmico ambiental al detector.

Los termistores se ubicaron, uno en el reactor y otro en la línea por donde ingresa el agua termostatizada al baño. La sensibilidad promedio de los termistores fue de 440 Ohm/°C,

TERMOMETRO DIFERENCIAL 0 a 10°C Para la medición de $T_1 - T_2$

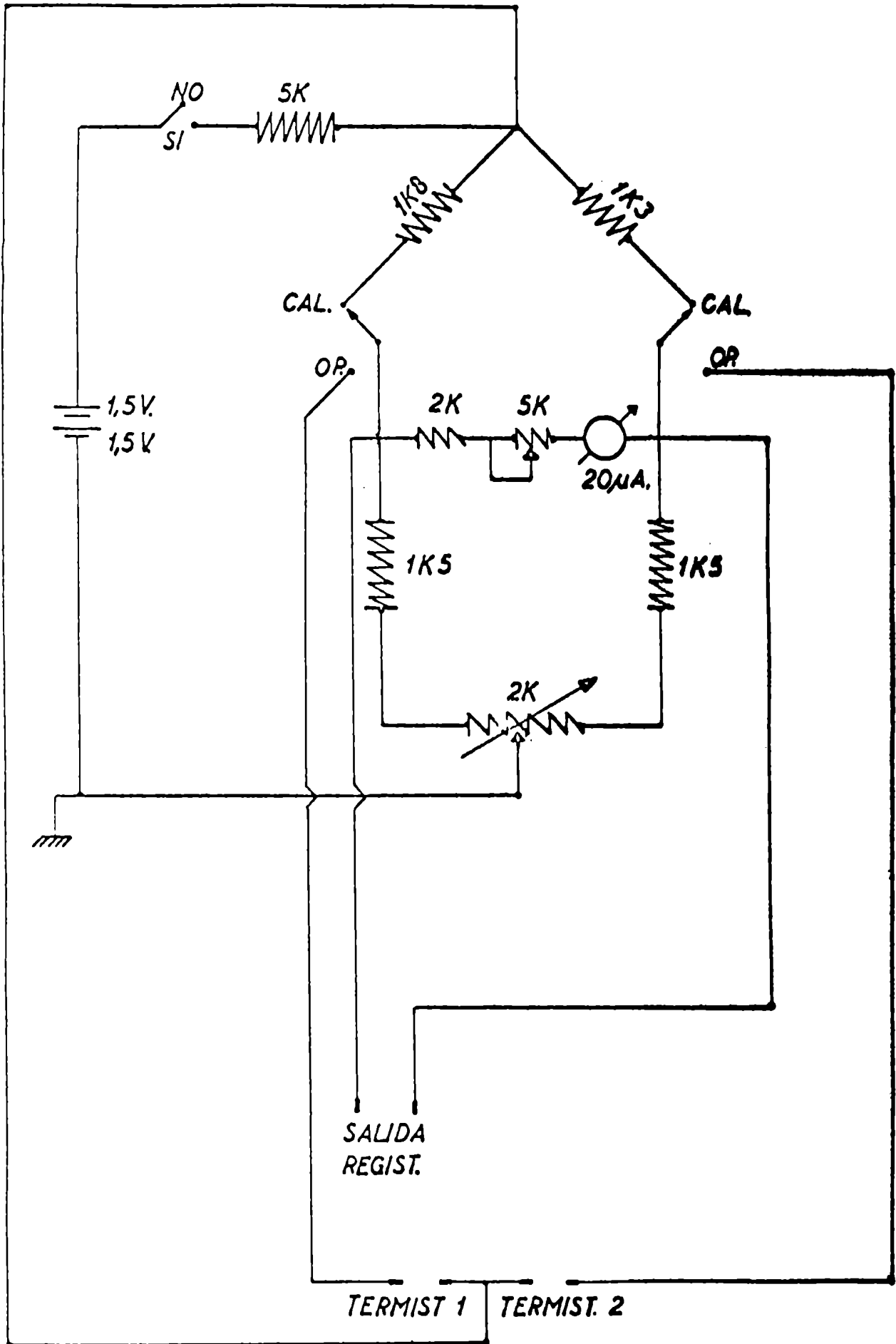


FIG. N° 2

para el rango 25-30°C, y 300 Ohm/°C entre los 30-35°C.

8. Los cables de salida de los termistores se conectaron a un puente de Wheatstone construido según el esquema de la FIGURA # 2.
9. La señal de salida del puente de Wheatstone se registró en un registrador de 0 - 10 milivoltios, con un ancho de papel de 25 centímetros (100 divisiones) y una velocidad de barrido de 25 divisiones por minuto.
10. Se utilizaron cinco termómetros al 1/10 °C previamente chequeados, observándose que la altura de la columna mercurial coincidía para todos ellos en el rango de 20-35°C. Estaban ubicados, uno en el depósito de agua termostaticada, otro en la línea que alimenta al baño, dos más en la línea del serpentín de refrigeración y el último, en el reactor.
11. El recipiente utilizado como baño, fue construido en acero inoxidable en forma cilíndrica, con 12 centímetros de diámetro y 15 centímetros de alto, siendo provisto de un visor vertical de lucite, de 14 centímetros de largo por 4,1 centímetros de ancho. La inyección de agua se efectuó por dos caños de 12 milímetros de diámetro, situados diametralmente opuestos casi sobre el fondo, en ángulo de 45°aproximadamente. El agua circuló a razón de 1000 litros/hora y rebalsaba por el borde superior (FIGURA # 3).
12. Se utilizaron en el curso del trabajo cuatro pares de boquillas cuyos diámetros de salida interiores fueron de: 0,4; 0,5; 0,71 y 0,89 centímetros. Las boquillas fueron graduadas al cm³ de 0 - 100, y calibradas por pesada (FIGURA # 4).
13. El reactor construido en acero inoxidable de forma cilíndrica tiene 21,5 centímetros de largo y 5,93 centímetros de diámetro, con un espesor de pared de 2 milímetros.

Contaba con un visor central de vidrio de 19 centímetros de largo y 2 centímetros de ancho, con 2,6 milímetros de espesor. Durante la realización de las mediciones, el reactor estaba sumergido hasta los 13,5 centímetros en el recipiente

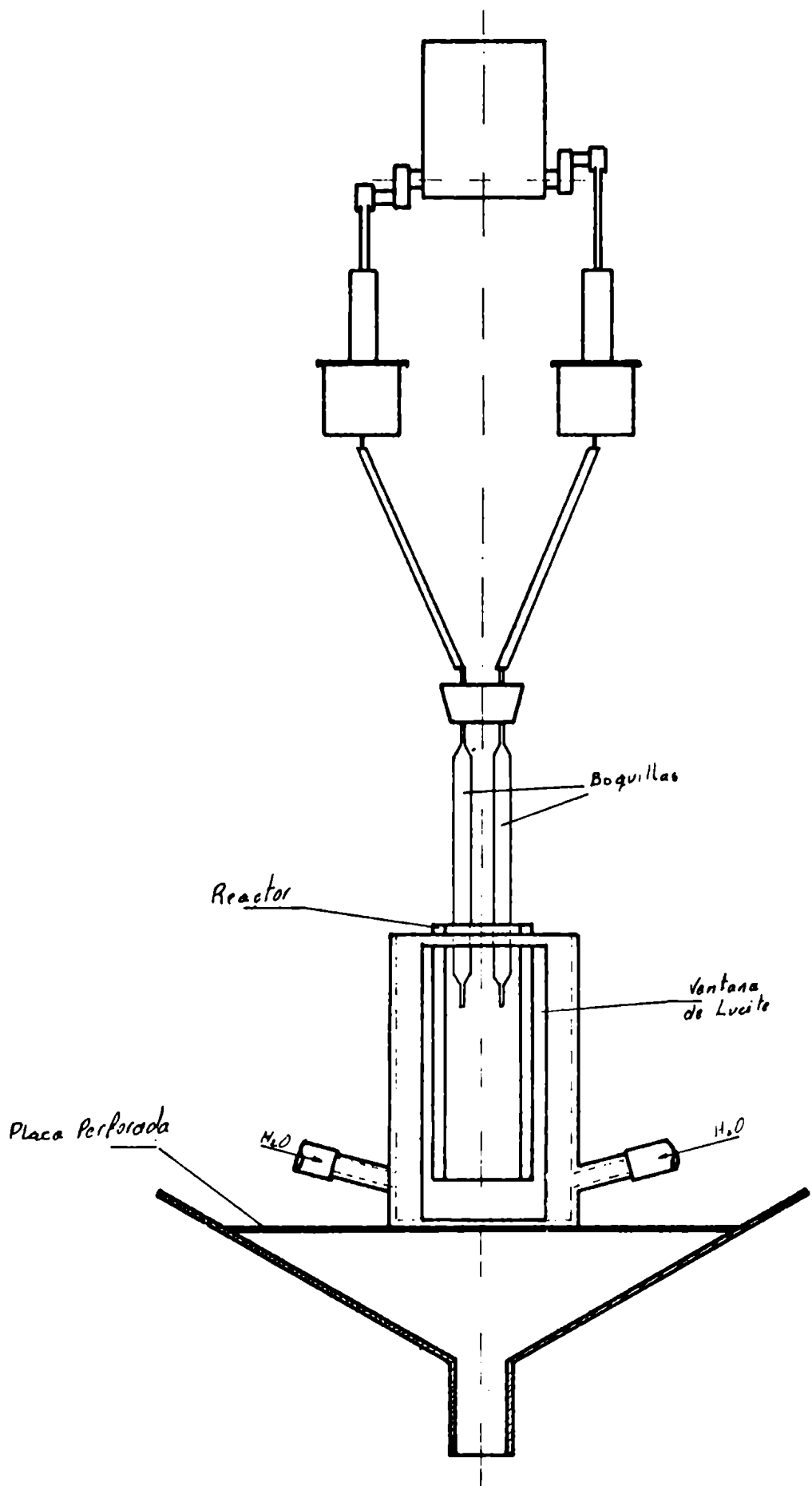


Fig. N° 3

BOQUILLA

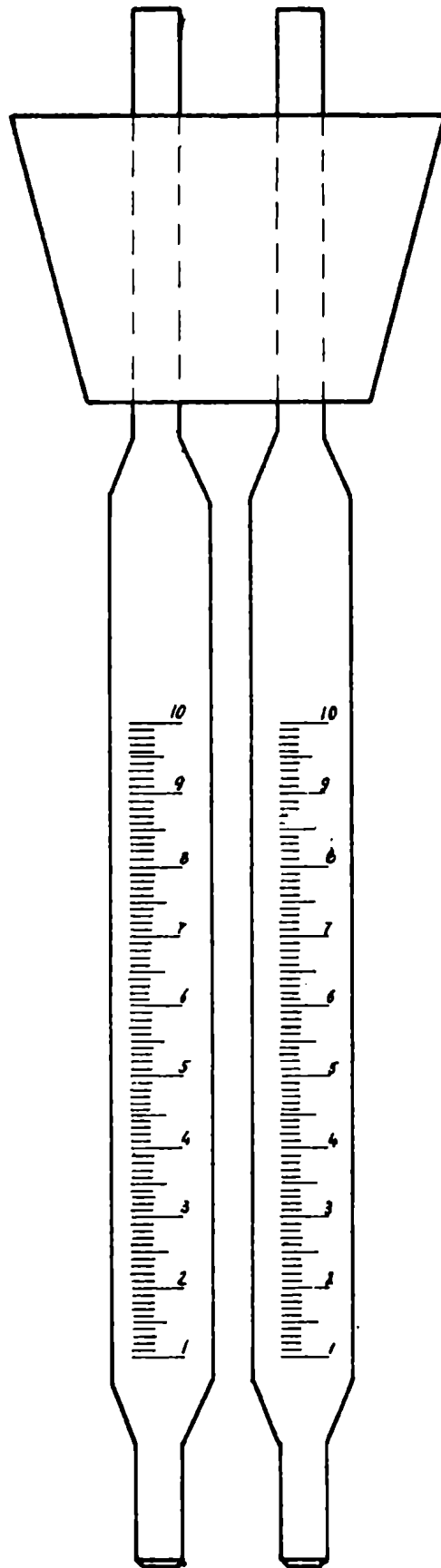


Fig. N° 4

ESQUEMA DEL CIRCUITO DE MEDICION

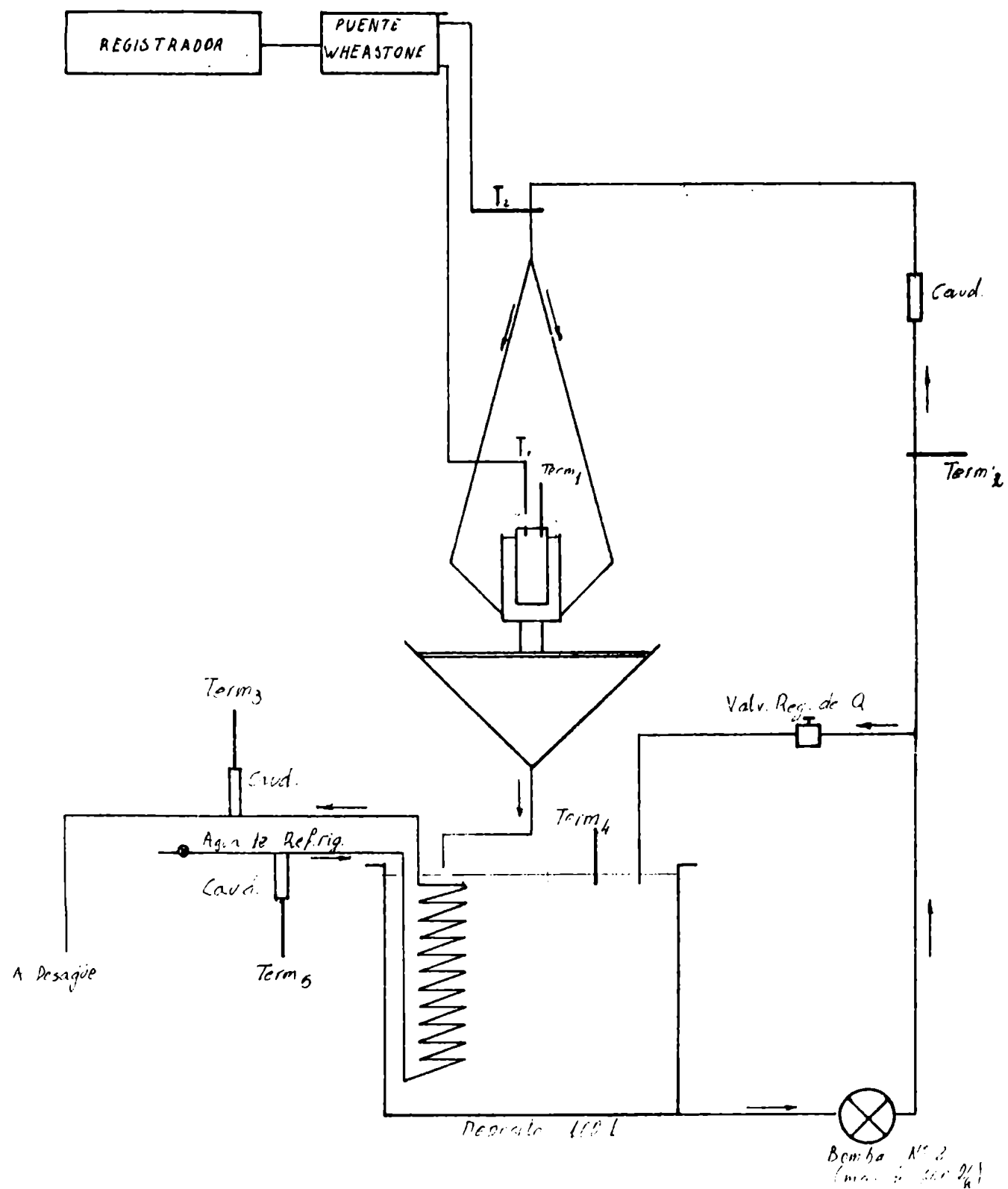


Fig. N° 5

refrigerador continuo (baño) (FIGURA # 5).

Las mediciones se efectuaron en un laboratorio dotado de aire acondicionado, manteniéndose la temperatura entre los 23°C y 25°C, estando además la atmósfera desprovista de polvo.

2.2. Descripción del proceso de medición.

Calibración:

La calibración de los termistores que operaron como medidor diferencial de temperaturas, se realizó de la siguiente manera:

1. Se efectuaba la termostatación del agua contenida en el depósito de 100 litros a temperatura que permitiera llegar a 25°C en el baño; para ello la temperatura en el agua del depósito debía ser 24,8°C.
2. Se colocaba luego el termistor móvil en el flujo que atraviesa el baño (termistor #1). El otro termistor estaba fijo en la línea que alimenta el recipiente utilizado como baño (termistor #2). En estas condiciones la diferencia de temperatura era igual a cero. El puente de Wheatstone estaba dotado de un instrumento que indica el valor de la señal de salida que va al registrador, pudiéndose comprobar en todos los casos la solidaridad de la indicación del puente con respecto a la lectura sobre el papel del registrador.

En otro recipiente de aproximadamente 14 litros de capacidad, se termostataba ese volumen de agua a 26°C. La temperatura era medida por un Beeckmann (B #1) con mercurio en el bulbo para leer entre 25°C y 30°C, obteniéndose así la diferencia térmica entre el baño y el recipiente con una aproximación de 1/100°C. En este último se sumergía el termistor #1, anotándose la lectura en divisiones indicada por el registrador. En la misma forma se calibraba el medidor diferencial para 27°C, 28°C, 29°C y 30°C.

3. Luego se cambiaba el termómetro por otro Beeckmann (B #2), como para leer entre 30°C y 35°C con la misma aproximación, siguiéndose las mismas etapas descritas anteriormente. El

agua que pasaba por el baño se mantenía a una temperatura constante de 25°C.

4. Se representaba por último, las diferencias de temperatura en función de las lecturas en divisiones del registrador, para el rango de 0 a 10°C. (TABLA #4 y GRAFICO #1)

TABLA # 4
CALIBRACION # 1

ΔT (°C)	Lectura puente (mV)	Lectura registrador (divisiones)
0	0,0	0,1
1	0,90	9,9
2	1,80	19,6
3	2,80	29,6
4	3,85	40,0
5	4,88	50,4
6	5,83	60,6
7	6,89	71,3
8	7,92	82,0
9	8,95	92,3
10	10,00	101,2

Temperatura del laboratorio: 20,2°C

Temperatura del agua de entrada al serpentín: 20,3°C

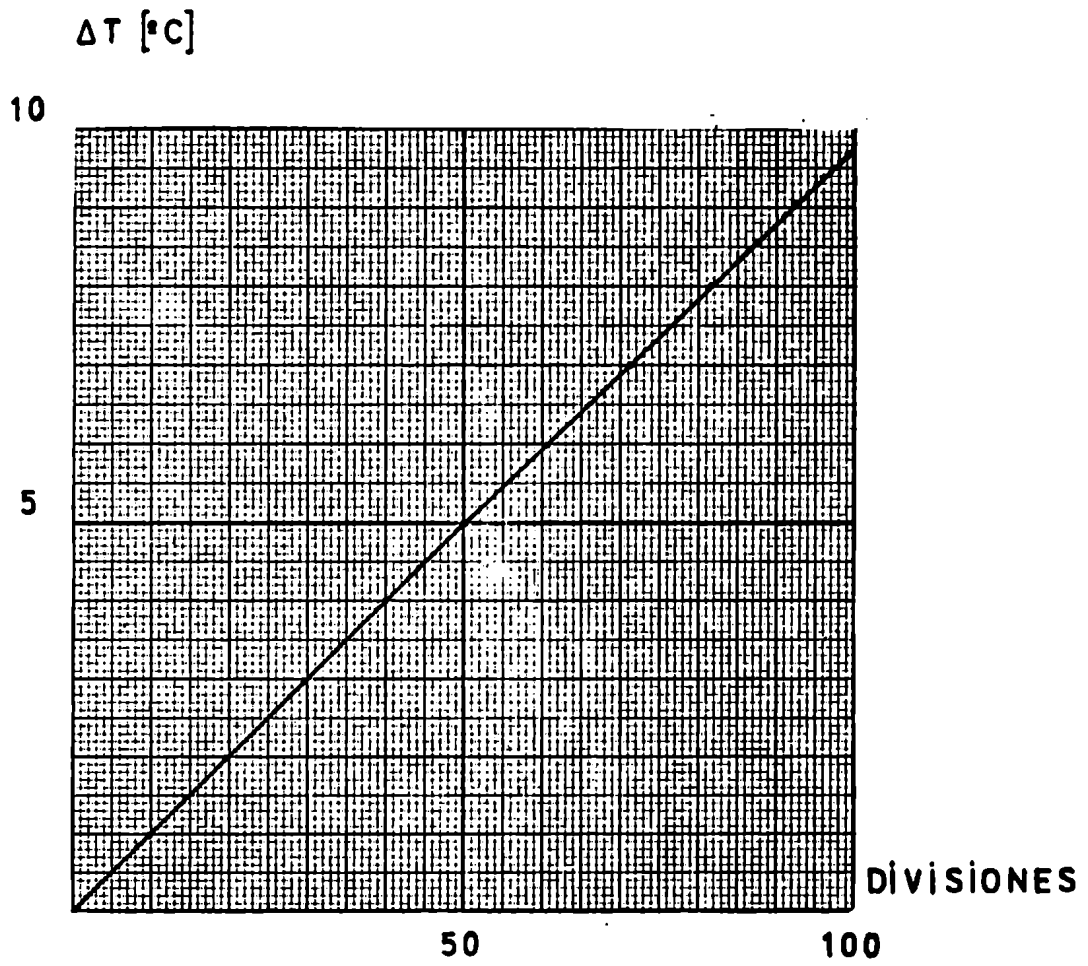
Temperatura del agua del tanque: 24,8°C

Temperatura del agua del baño : 25,0°C

Temperatura del agua de salida del serpentín: 23,3°C

Caudal del serpentín: 18,7 litros/hora (Lectura 0,2)

GRAFICO N° 1



2.3. Técnica de medición

Las etapas que se cumplieron siempre al realizar las corridas fueron:

- a. Termostatar el agua del depósito de 100 litros de manera que la temperatura del flujo a través del baño sea constante e igual a 25°C.
- b. Instalar el reactor dentro del baño.
- c. Llenar el reactor con solución de OHNa termostatizada a 25°C en el volumen requerido para la relación de fases de trabajo; la solución provenía de un depósito cerrado herméticamente, desde donde se la extraía por sifón, entrando el aire a través de un filtro con cal sodada; la normalidad de la solución se chequeaba semanalmente.
- d. El soporte que sostiene las boquillas se hace descender hasta que el extremo de las boquillas queda sumergido en la solución de OHNa.
- e. Poner la bomba de pulsos en marcha.
- f. Graduar la carrera de los pistones de la bomba, de manera de llegar paulatinamente al volumen de pulsos con que se va a trabajar.
- g. Colocar el termistor #1 en el reactor en posición de lectura, (hay además en el reactor un termómetro al 1/10°C).
- h. Conectar el puente Wheatstone a los termistores.
- i. Cuando la lectura en el instrumento del puente, no indica diferencia entre las temperaturas del OHNa y del flujo de agua que pasa por el baño, verter en el reactor el formiato de n-butilo termostatizado a 25°C, con un volumen correspondiente a la relación de fases de trabajo.
- j. Conectar la salida del puente al registrador, después de permanecer este último en situación de STANDBY durante 15 minutos.
- k. Elevar las boquillas a la altura de trabajo, con la precau-

ción de dejar siempre las boquillas sumergidas a la misma profundidad, (la distancia de las bocas de las boquillas al fondo del reactor, era indicada por un cursor colocado sobre el soporte de las boquillas, que se desplaza sobre una escala graduada en milímetros; esta escala se ajustaba antes de cada experiencia de manera que el cursor estuviera sobre el cero, cuando las boquillas tocaran el fondo del reactor).

Esta etapa señala la iniciación de la corrida durante la cual la temperatura del baño es mantenida rigurosamente a 25°C.

- l. Al agotarse el formiato de n-butilo, y producirse el enfriamiento del reactor, la curva del registrador se aproxima asintóticamente a cero, desconectando el registrador y el puente.
- m. Se anota el tiempo de duración de la corrida y se corta el agua de refrigeración.
- n. Se detienen la bomba de agua, el termostato y la bomba de pulsos.
- o. Se desinstala el reactor y se separan las fases.
- p. Se mide el volumen de las fases y se pesan, se toman las temperaturas, y se obtiene una muestra para analizar OHNa en ambos.
- q. Se limpian cuidadosamente el reactor y las boquillas.

2.4. Medición de la velocidad global de reacción

Precedentemente en la descripción del método químico, se pudo ver la necesidad de medir la velocidad de reacción química y evaluar la magnitud del flujo interfacial, para , con la sencilla expresión:

$$R_A = (N_A)_{x=0} \cdot A_v$$

poder calcular el área específica de contacto.

Uno de los métodos para medir la cantidad de moles del formiato de n-butilo que reaccionan por unidad de tiempo, y de volumen,

es el que consiste en seguir la cinética de la reacción química, por medio de la velocidad del efecto térmico que la acompaña, siendo esto posible debido a que el proceso resulta marcadamente exotérmico.

En principio cualquier otro método capaz de informar continuamente del avance de la reacción, puede emplearse con el mismo objeto, como por ejemplo, las mediciones conductimétricas.

2.5. Balance energético

La cantidad de calor generado por unidad de tiempo, es la suma del aumento entálpico del sistema y del calor disipado por aquél, en el mismo lapso.

Se puede expresar entonces:

$$(2.1) \quad \Delta H_r \cdot \frac{dn}{dt} = MC_p \cdot \frac{dT_R}{dt} + K.A. (T_R - T_B)_t$$

siendo: ΔH_r : calor de reacción en $\left(\frac{\text{calorías}}{\text{mol}}\right)$

$\frac{dn}{dt}$: velocidad de reacción química en un instante dado, expresado en $\left(\frac{\text{moles}}{\text{seg}}\right)$

MC_p : sumatoria de las capacidades caloríficas de los reactivos, del reactor, y de todo accesorio sumergido en la mezcla reaccionante, dado en $\left(\frac{\text{caloría}}{\text{grado}}\right)$

$\frac{dT_R}{dt}$: velocidad de variación térmica del reactor en cierto instante, expresado en $\left(\frac{\text{grado}}{\text{seg}}\right)$

K : coeficiente de transferencia calórica expresado en $\left(\frac{\text{caloría}}{\text{cm}^2 \text{sg. grado}}\right)$

A : superficie total de transferencia en (cm^2)

$(T_R - T_B)_t$: gradiente térmico entre el reactor y el baño, cuyo valor es función del tiempo, dado en (grado)

Los moles de A que reaccionan por segundo en el reactor, resultan en el lapso dt :

$$(2.2) \quad r_A = \frac{dn}{dt} = \frac{\overline{MC}_p}{\Delta H_r} \cdot \frac{dT_R}{dt} + \frac{h}{\Delta H_r} (T_R - T_B)_t$$

siendo $h = K.A$.

Si la reacción se completa entre $t = 0$ y $t = t_f$, integrando:

$$(2.3) \quad n_0 = \frac{\overline{MC}_p}{\Delta H_r} (T_{R_f} - T_{R_0}) + \frac{h}{\Delta H_r} \int_0^{t_f} (T_R - T_B)_t dt$$

Siendo n_0 el número total de moles del formiato de n-butilo con que se cargó el reactor.

De la misma manera, la expresión (2.3) da el número de moles que han reaccionado desde el comienzo hasta un instante cualquiera t :

$$(2.4) \quad n_t = \frac{\overline{MC}_p}{\Delta H_r} (T_{R_t} - T_{R_0}) + \frac{h}{\Delta H_r} \int_0^t (T_R - T_B)_t dt$$

Para facilitar el cálculo de las constantes involucradas, se reagrupan de la siguiente manera:

$$H = \frac{h}{\Delta H_r} \quad , \quad G = \frac{h}{\overline{MC}_p}$$

La ecuación (2.2) resulta entonces:

$$(2.5) \quad r_A = H \left\{ \frac{1}{G} \frac{dT_R}{dt} + (T_R - T_B)_t \right\}$$

De la ecuación (2.3) se puede despejar la constante H:

$$(2.6) \quad H = \frac{n_0}{\frac{1}{G} (T_{R_f} - T_{R_0}) + \int_0^{t_f} (T_R - T_B)_t dt}$$

Para calcular G se tiene en cuenta que cuando la reacción química se ha completado, la disminución de entalpía del sistema es igual al calor que éste transfiere.

La expresión del balance resulta entonces:

$$\overline{MC}_p \frac{dT_R}{dt} + h (T_R - T_B)_t = 0$$

Su integración da:

$$\frac{(T_R - T_B)_t}{(T_R - T_B)_0} = \exp\{-G(t - t_0)\}$$

Aplicando logaritmos a esta última expresión queda:

$$(2.7) \quad \ln(T_R - T_B)_t = -G (t - t_0) + \ln(T_R - T_B)_0$$

La pendiente de la recta que se obtiene llevando sobre un gráfico semilogarítmico $(T_R - T_B)_t$ en función del tiempo, permite el cálculo de la constante G.

2.6. Cálculo de la velocidad de reacción

El avance del proceso es seguido por medio del registro de la diferencia entre la temperatura del reactor y el baño, en función del tiempo.

Esta curva comprende dos zonas que corresponden a la etapa de reacción química y de enfriamiento respectivamente (GRAFICO #2).

La primer etapa se inicia con la agitación de las fases, concluyendo cuando se agota el reactivo orgánico.

Comienza entonces la etapa de enfriamiento durante la cual, disminuye la diferencia de temperatura entre el reactor y el baño, hasta que el registro de esta diferencia se hace asintótico con respecto al tiempo.

Evaluación de G:

Para obtener la constante G, se recurre a los datos registrados en la zona de enfriamiento.

Cuando se inicia el descenso de la temperatura del reactor, la ordenada de la curva suministra la diferencia $(T_R - T_B)_0$ correspondiente al instante t_0 , que es el origen de los tiempos en esta segunda etapa, y de la misma forma se logran las diferencias $(T_R - T_B)_t$ en instantes posteriores.

Representando el logaritmo neperiano de $(T_R - T_B)_t$ en ordenadas

y los tiempos desde t_0 en abscisas, la pendiente de la recta que así se obtiene permite el cálculo de la constante G (ecuación (2.7) y GRAFICO #3).

Evaluación de H:

Para despejar la constante H se recurre a la expresión (2.6), donde $(T_{R_f} - T_{R_0})$ está dado en la curva que registra el proceso por las diferencias de sus ordenadas entre el instante final e inicial de la corrida.

El cálculo numérico de la integral $\int_0^{t_f} (T_R - T_B)_t dt$, se realiza con los datos de la curva, entre el instante inicial de la experiencia $t = 0$, y el final $t = t_f$, (GRAFICO #2)

Evaluación de r_A :

Con las constantes G y H, se puede calcular de la expresión (2.5) la velocidad global de reacción en función del tiempo.

El valor dT_R/dt es la pendiente y $(T_R - T_B)_t$ la ordenada de la curva en cada punto, correspondiente a la etapa de reacción.

La velocidad instantánea de la reacción R_A es:

$$(2.8) \quad R_A = \frac{r_A}{\text{Volumen del reactor}}$$

2.7. Cálculo del área específica de contacto A_v

Para el cálculo de A_v , es necesario conocer además de R_A , el valor del flujo interfacial.

Con las condiciones del sistema empleado, N_{Ai} es independiente de la hidrodinámica por lo que se puede utilizar en su valoración la expresión:

$$(2.9) \quad \ln N_{Ai} = -24,39 + 0,03609 T - 0,4915 I$$

Para obtener la fuerza iónica I, con el avance de reacción, se calcula la conversión de la ecuación:

$$x_t = \frac{n}{n_0} = \frac{H}{n_0} \left(\frac{1}{G} (T_{R_t} - T_{R_0}) + \int_0^t (T_R - T_B) dt \right)$$

Con estos valores de R_A y N_{Ai} se obtiene $A_v = R_A/N_{Ai}$.

Cálculo del error de A_v :

Recordando que

$$A_v = \frac{R_A}{N_{Ai}}$$

y siendo:

$$R_A = f(T_R(t)) \quad \text{y} \quad N_{Ai} = g(T_R(t))$$

El error de A_v se calcula como derivada de función de función:

$$(2.10) \quad dA_v = \frac{d}{dT_R} \left(\frac{R_A}{N_{Ai}} \right) \frac{dT_R}{dt} dt$$

1. Cálculo de $\frac{d}{dT_R} (R_A/N_{Ai})$:

$$(2.11) \quad \frac{d}{dT_R} \left(\frac{R_A}{N_{Ai}} \right) = \frac{N_{Ai} \frac{dR_A}{dT_R} + R_A \frac{dN_{Ai}}{dT_R}}{(N_{Ai})^2}$$

Teniendo en cuenta la expresión (2.5) y la (2.8):

$$(2.12) \quad R_A = \frac{r_A}{V_t} = \frac{H}{V_t} \left(\frac{1}{G} \frac{dT_R}{dt} + (T_R - T_B)_t \right)$$

Luego:

$$(2.13) \quad \frac{dR_A}{dT_R} = \frac{H}{V_t G} \frac{d}{dt} \left(\frac{dT_R}{dT_R} \right) + \frac{H}{V_t} = \frac{H}{V_t}$$

Teniendo en cuenta que:

$$dT_R = \pm 0,025 \text{ (grado)}$$

$$R_A = \frac{2,449}{250} \times 10^{-5} \left(\frac{\text{moles}}{\text{sg cm}^3} \right)$$

$$T_R = 298 \text{ (grado)}$$

$$A_v = 44,07 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$$

$$G = 0,01348 \text{ (sg}^{-1}\text{)}$$

$$H = 3,03431 \times 10^{-5} \left(\frac{\text{moles}}{\text{sg grado}} \right)$$

$$dt = 9,6 \text{ (sg)}$$

Resulta, considerando la expresión (2.9):

$$\begin{aligned} N_{Ai} &= \exp(-24,39 + 0,03609 T_R - 0,4915 I) = \\ &= 2,3553 \times 10^{-8} \frac{\text{moles}}{\text{cm}^2 \text{sg}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{dN_{Ai}}{dT_R} &= (2,3553 \times 10^{-8}) 0,03609 = \\ &= 8,50027 \times 10^{-10} \end{aligned}$$

Reemplazando los valores numéricos en (2.11) resulta:

$$(2.14) \quad \frac{d}{dT_R} \left(\frac{R_A}{N_{Ai}} \right) = 5,3$$

2. Cálculo de dT_R/dt :

De la ecuación (2.2) es:

$$\begin{aligned} r_A &= N_{Ai} \cdot A_v \cdot V_t = \\ &= \frac{\overline{MC}_p}{\Delta H_r} \frac{dT_R}{dt} + \frac{h}{\Delta H_r} (T_R - T_B) t \end{aligned}$$

Despejando de esta última expresión dT_R/dt , y reemplazando los valores numéricos, obtenemos:

$$\begin{aligned} \frac{dT_R}{dt} &= \frac{N_{Ai} \cdot A_v \cdot V_t + \frac{h}{\Delta H_r} (T_R - T_B) t}{\frac{\overline{MC}_p}{\Delta H_r}} = \\ (2.15) \quad &= 0,06480 \end{aligned}$$

Reemplazando los valores obtenidos en (2.14) y (2.15), en la expresión dada por (2.10), resulta:

$$\begin{aligned} \Delta A_v &= \pm (5,3 \times 0,0648 \times 9,6) = \\ &= \pm 3,297 \text{ (cm}^{-1}\text{)} \end{aligned}$$

Y el error porcentual relativo resulta ser:

$$\frac{\Delta A_v}{A_v} = \frac{3,927}{44,07} \times 100 = 8,9 \%$$

Programa de cálculo del área específica:

```
      READ(5,100)MOLIN,G,DT,NEXP
      READ(5,102)CBI,VOL,FI,FACT,TRIN
      READ(5,104)DB,VP,NPI,NPF
      WRITE(6,208)FI,DB,VP
      WRITE(6,214)NEXP
214  FORMAT(1H,14)
      READ(5,101)(TRB(I),I=1,NEXP)
      INTEG(1)=0
      H3=DT/3.
      RMOL=MOLIN/(CBI*VOL*(1.-FI)*.001)
      DO10 I=3,NEXP,2
10   INTEG(I)=INTEG(I-2)+H3*(TRB(I-2)+4.*TRB(I-1)+TRB(I))
      H=MOLIN/(INTEG(NEXP)+(TRB(NEXP)-TRB(1))/G)
      HM=H/MOLIN
      NF=NEXP-2
      DO20 I=3,NF,2
      DTRB(I)=(TRB(I+1)-TRB(I-1))/(2.*DT)
      R(I)=HM*(DTRB(I)/G+TRB(I))
20   X(I)=HM*(TRB(I)-TRB(1))/G+INTEG(I)
      T(1)=0
      WRITE(6,209)T(1),TRIN
      IC=1
      DO30 I=3,NF,2
      T(I)=DT*FLOAT(I)
      TEMP=FACT*TRB(I)+TRIN
      XB=X(I)*RMOL
      ROM=FI*.88+(1.-FI)*1.27
      PP=13.818*VP*VP*VP*ROM/(DB**4)
      KL=1.06E-4*(PP*.071/(VOL*1.6129))**.25
      AMB=SQRT(0.173*CBI*(1-XB))*1000.
      AMBXL=AMB*1.36E-6/KL
      EP=EXP(AMBXL)
      EN=EXP(-AMBXL)
      DAC=2.21E-8*AMB*(EP+EN)/(EP-EN)
```

```
AV(I)=((-DAC+SQRT(DAC*DAC+2.947E-8*R(I)/FI))/1.473E-8)*FI
IF(IC.EQ.78)WRITE(6,212)
WRITE(6,210)T(I),TEMP,T(I),X(I),R(I),AV(I),AMBXL
WRITE(6,213)ROM,PP,KL,AMB,AMBXL,EP,EN
213 FORMAT(1H 7E10.4)
30 IC=IC+1
NV=0
SU=0
DO40 I=NPI,NPF,2
SU=SU+AV(I)
40 NV=NV+1
AREA=SU/NV
WRITE(6,211)AREA
```

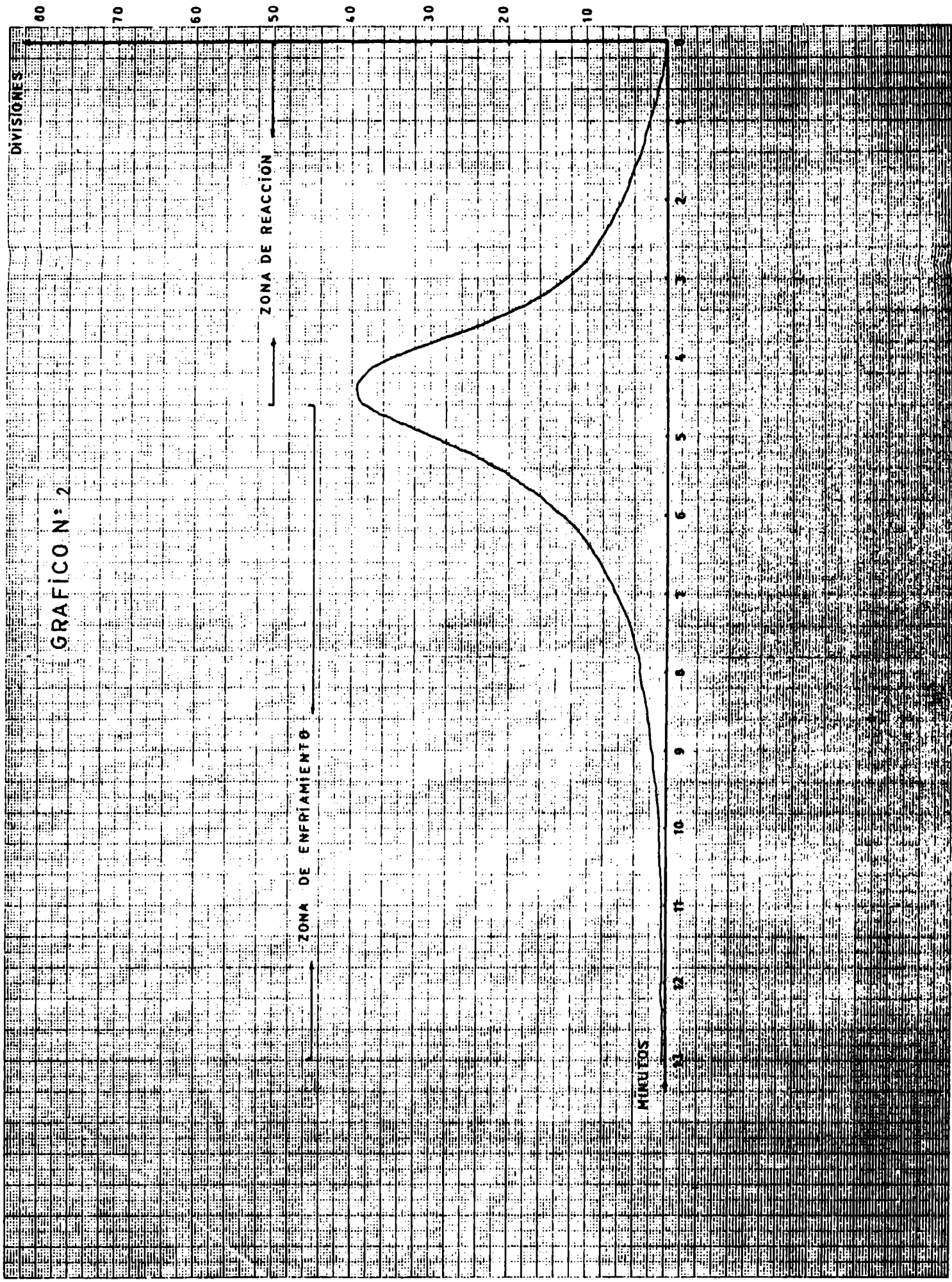
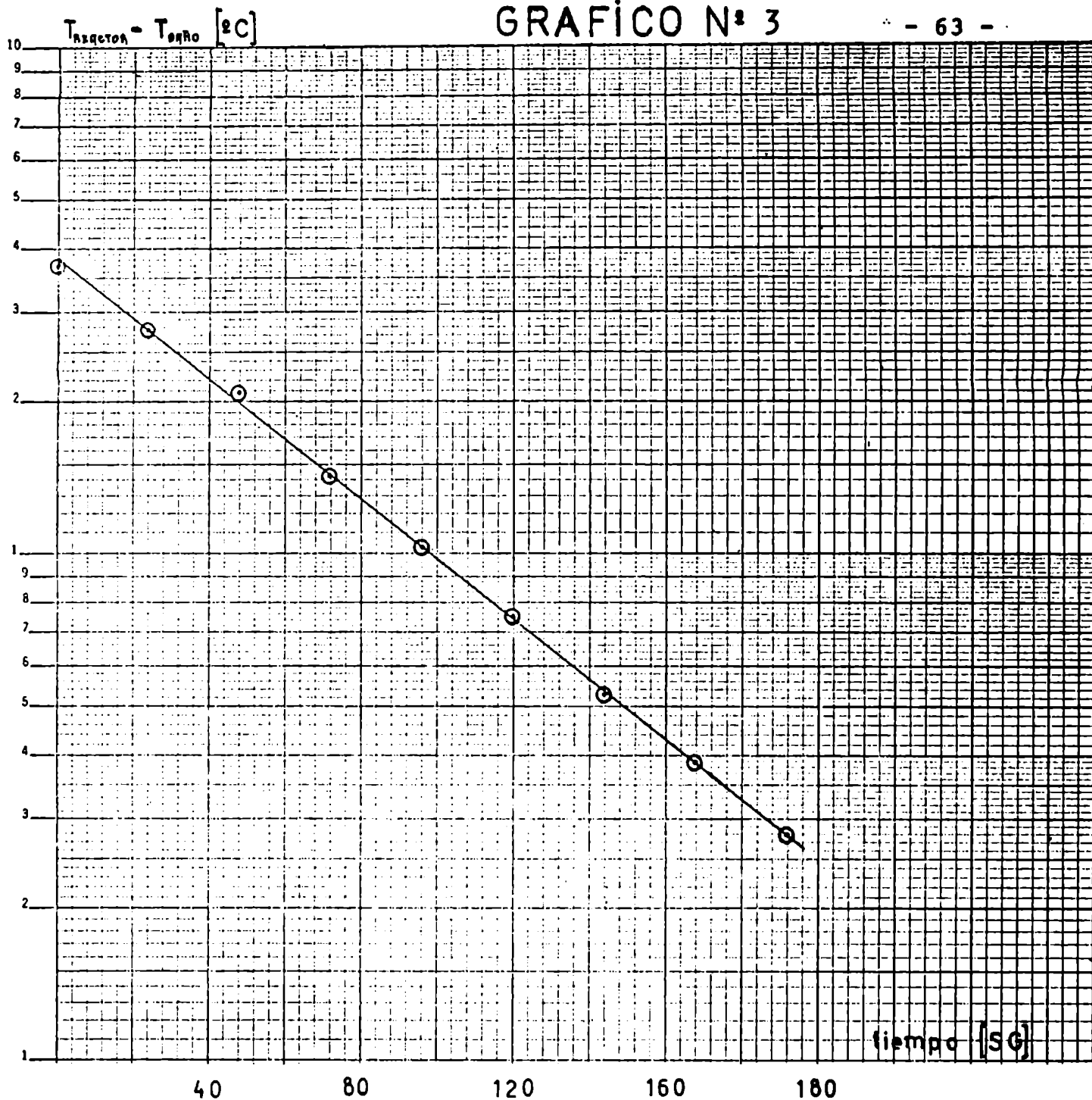


GRAFICO N: 2

GRAFICO N° 3



$T_{\text{ambiente}} - T_{\text{ambiente}}$ °C	tiempo SG.
3,7	0
2,79	24
2,09	48
1,48	72
1,03	96
0,75	120
0,53	144
0,39	168
0,28	192

$$G = \frac{h}{M c_p} = 2,3 \frac{1,38 - 1,03}{188} = 0,01348 \text{ SG}^{-1}$$

3.1. Resultados experimentales:

Modelo de flujo correspondiente a interfase plana.

Expresión de flujo interfacial:

$$\ln N_{Ai} = -24,39 + 0,03609 T - 0,4915 I$$

TABLA # 5

Extractor Uranio - Experiencia # 1

$\phi_D = 0,10$	$D_b = 0,50$	$V_p = 20$
Tiempo:	0,0	Temp: 298,00
	14,40	298,00
	24,00	298,02
	33,61	298,06
	43,21	298,12
	52,81	298,16
	62,41	298,21
	72,01	298,26
	81,61	298,31
	91,22	298,37
	100,82	298,43
	110,42	298,48
	120,02	298,53
	129,62	298,62
	139,22	298,69
	148,82	298,81
	158,43	298,91
	168,03	299,02
	177,63	299,20
	187,23	299,41
	196,83	299,65
	206,43	299,94
	216,04	300,31
	225,64	300,75
	235,24	301,20
	244,84	301,57
	254,44	301,83
	264,04	301,92
	273,65	301,87
	283,25	301,62
	292,85	301,25
	302,45	300,86
	312,05	300,51
	321,65	300,22
	331,26	299,95
	340,86	299,70

Area Interfacial: 44,07

TABLA # 6

Extractor Uranio - Experiencia # 2

$\phi_D = 0,10$	$D_b = 0,50$	$V_p = 25$
Tiempo:	0,0	Temp: 298,00
	14,40	298,01
	24,00	298,02
	33,61	298,02
	43,21	298,02
	52,81	298,02
	62,41	298,07
	72,01	298,13
	81,61	298,24
	91,22	298,32
	100,82	298,42
	110,42	298,51
	120,02	298,62
	129,62	298,72
	139,22	298,86
	148,82	299,02
	158,43	299,23
	168,03	299,50
	177,63	299,87
	187,23	300,36
	196,83	300,99
	206,43	301,68
	216,04	302,27
	225,64	302,59
	235,24	302,53
	244,84	302,07
	254,44	301,54
	264,04	301,15
	273,65	300,60
	283,25	300,26
	292,85	299,96
	302,45	299,69

Area interfacial : 57,01

TABLA # 7

Extractor Uranio - Experiencia # 3

$\phi_D = 0,10$	$D_b = 0,50$	$V_p = 30$
Tiempo:	0,0	Temp: 298,00
	14,40	298,05
	24,00	298,13
	33,61	298,22
	43,21	298,31
	52,81	298,41
	62,41	298,51

Tiempo: 72,01	Temp: 298,62
81,61	298,82
91,22	298,95
100,82	299,19
110,42	299,52
120,02	300,03
129,62	300,69
139,22	301,46
148,82	301,96
158,43	302,06
168,03	301,91
177,63	301,49
187,23	301,17
196,83	300,68
206,43	300,34
216,04	300,04
225,64	299,79
235,24	299,58

Area interfacial: 73,54

TABLA # 8

Extractor Uranio - Experiencia # 4

$\phi_D = 0,10$	$D_b = 0,50$	$V_p = 35$
Tiempo: 0,0	Temp: 298,00	
14,40	298,04	
24,00	298,12	
33,61	298,19	
43,21	298,27	
52,81	298,37	
62,41	298,47	
72,01	298,61	
81,61	298,81	
91,22	299,06	
100,82	299,38	
110,42	299,88	
120,02	300,58	
129,62	301,49	
139,22	302,18	
148,82	302,18	
158,43	301,65	
168,03	301,15	
177,63	300,67	
187,23	300,30	
196,83	299,99	
206,43	299,74	
216,04	299,51	

Area interfacial = 77,97

TABLA # 9

Extractor Uranio - Experiencia # 5

$\phi_D = 0,10$	$D_b = 0,50$	$V_p = 40$
Tiempo:	0,0	Temp: 298,00
	14,40	298,00
	24,00	298,00
	33,61	298,00
	43,21	298,00
	52,81	298,00
	62,41	298,00
	72,01	298,00
	81,61	298,00
	91,22	298,00
	100,82	298,00
	110,42	298,00
	120,02	298,00
	129,62	298,00
	139,22	298,01
	148,82	298,04
	158,43	298,16
	168,03	298,33
	177,63	298,49
	187,23	298,64
	196,83	298,85
	206,43	299,10
	216,04	299,43
	225,64	299,99
	235,24	300,97
	244,84	302,55
	254,44	303,50
	264,04	303,08
	273,65	302,27
	283,25	301,56
	292,85	300,98
	302,45	300,49
	312,05	299,12
	321,65	299,75

Area interfacial = 93,91

TABLA # 10

Extractor Uranio - Experiencia # 6

$\phi_D = 0,10$	$D_b = 0,40$	$V_p = 20$
Tiempo:	0,0	Temp: 298,00
	14,40	298,00
	24,00	298,00
	33,61	298,09

Tiempo:	Temp:
43,21	298,20
52,81	298,30
62,41	298,43
72,01	298,54
81,61	298,70
91,22	298,88
100,82	299,09
110,42	299,38
120,02	299,77
129,62	300,40
139,22	301,40
148,82	302,56
158,43	303,26
168,03	303,05
177,63	302,39
187,23	301,73
196,83	301,17

Area interfacial = 73,03

TABLA # 11

Extractor Uranio - Experiencia # 7

$\phi_D = 0,10$	$D_b = 0,40$	$V_p = 25$
Tiempo:	0,0	Temp: 298,00
	14,40	298,00
	24,00	298,00
	33,61	298,01
	43,21	298,07
	52,81	298,22
	62,41	298,37
	72,01	298,53
	81,61	298,72
	91,22	298,26
	100,82	299,30
	110,42	299,86
	120,02	300,81
	129,62	302,20
	139,22	302,70
	148,82	302,29
	158,43	301,61
	168,03	301,09
	177,63	300,60

Area interfacial = 101,97

TABLA # 12

Extractor Uranio - Experiencia # 8

$\phi_D = 0,10$	$D_b = 0,40$	$V_p = 34$
Tiempo:	0,0	Temp: 298,00
	14,40	298,00
	24,00	298,00
	33,61	298,01
	43,21	298,02
	52,81	298,04
	62,41	298,20
	72,01	298,43
	81,61	298,69
	91,22	298,94
	100,82	299,26
	110,42	299,73
	120,02	300,56
	129,62	302,33
	139,22	304,16
	148,82	303,44
	158,43	302,49
	168,03	301,71
	177,63	301,04

Area interfacial = 122,93

TABLA # 13

Extractor Uranio - Experiencia # 9

$\phi_D = 0,10$	$D_b = 0,40$	$V_p = 42$
Tiempo:	0,0	Temp: 298,00
	14,40	298,10
	24,00	298,36
	33,61	298,64
	43,21	298,96
	52,81	299,39
	62,41	300,11
	72,01	301,85
	81,61	304,06
	91,22	303,22
	100,82	302,32
	110,42	301,56
	120,02	300,99

Area interfacial = 156,18

TABLA # 14

Extractor Uranio - Experiencia # 10

$\phi_D = 0,10$	$D_b = 0,71$	$V_p = 20$
-----------------	--------------	------------

Tiempo: 0,0	Temp: 298,00
14,40	298,00
24,00	298,00
33,61	298,00
43,21	298,00
52,81	298,00
62,41	298,00
72,01	298,00
81,61	298,00
91,22	298,00
100,82	298,00
110,42	298,00
120,02	298,00
129,62	298,01
139,22	298,03
148,82	298,05
158,43	298,06
168,03	298,06
177,63	298,07
187,23	298,08
196,83	298,09
206,43	298,10
216,04	298,11
225,64	298,13
235,24	298,14
244,84	298,16
254,44	298,17
264,04	298,17
273,65	298,18
283,25	298,19
292,85	298,20
302,45	298,21
312,05	298,24
321,65	298,25
331,26	298,27
340,86	298,29
350,46	298,31
360,06	298,33
369,66	298,35
379,26	298,37
388,86	298,39
398,47	298,42
408,07	298,45
417,67	298,47
427,27	298,50
436,87	298,55
446,47	298,58
456,08	298,62
465,68	298,66
475,28	298,71
484,88	298,76
494,48	298,82
504,08	298,88
513,69	298,95

Tiempo: 523,29	Temp: 299,03
532,89	299,11
542,49	299,21
552,09	299,31
561,69	299,42
571,29	299,54
580,90	299,65
590,50	299,80
600,10	299,92
609,70	300,06
619,30	300,16
628,90	300,26
638,51	300,34
648,11	300,39
657,71	300,41
667,31	300,40
676,91	300,31
686,51	300,16
696,12	299,97
705,72	299,77
715,32	299,59
724,92	299,43
734,52	299,26
744,12	299,10

Área interfacial : 20,45

TABLA # 15

Extractor Uranio - Experiencia # 11

$\phi_D = 0,10$	$D_b = 0,71$	$V_p = 25$
Tiempo: 0,0	Temp: 298,00	
14,40	298,00	
24,00	298,00	
33,61	298,00	
43,21	298,00	
52,81	298,00	
62,41	298,00	
72,01	298,00	
81,61	298,00	
91,22	298,03	
100,82	298,05	
110,42	298,08	
120,02	298,10	
129,62	298,12	
139,22	298,13	
148,82	298,16	
158,43	298,18	
168,03	298,20	
177,63	298,22	
187,23	298,24	

Tiempo: 196,33	Temp: 298,27
206,43	298,30
216,04	298,32
225,64	298,35
235,24	298,38
244,84	298,41
254,44	298,45
264,04	298,49
273,65	298,53
283,25	298,59
292,85	298,65
302,45	298,70
312,05	298,77
321,65	298,84
331,26	298,94
340,86	299,02
350,46	299,13
360,06	299,23
369,66	299,37
379,26	299,50
388,86	299,65
398,47	299,80
408,07	299,98
417,67	300,13
427,27	300,25
436,87	300,33
446,47	300,39
456,08	300,40
465,68	300,38
475,28	300,32
484,88	300,22
494,48	300,09
504,08	299,97
513,69	299,81
523,29	299,66
532,89	299,48

Area interfacial = 29,32

TABLA # 16

Extractor Uranio - Experiencia #12

$\phi_D = 0,10$	$D_b = 0,71$	$V_p = 30$
Tiempo: 0,0	Temp: 298,00	
14,40	298,00	
24,00	298,00	
33,61	298,01	
43,21	298,01	
52,81	298,01	
62,41	298,01	
72,01	298,01	

Tiempo:	81,61	Temp:	298,01
	91,22		298,01
	100,82		298,03
	110,42		298,06
	120,02		298,08
	129,62		298,10
	139,22		298,14
	148,82		298,17
	158,43		298,21
	168,03		298,23
	177,63		298,27
	187,23		298,32
	196,83		298,36
	206,43		298,41
	216,04		298,47
	225,64		298,52
	235,24		298,58
	244,84		298,66
	254,44		298,76
	264,04		298,87
	273,65		298,96
	283,25		299,10
	292,85		299,26
	302,45		299,46
	312,05		299,67
	321,65		299,93
	331,26		300,22
	340,86		300,48
	350,46		300,73
	360,06		300,88
	369,66		300,93
	379,26		300,93
	388,86		300,84
	398,47		300,68
	408,07		300,48
	417,67		300,25
	427,27		300,03
	436,87		299,77
	446,47		299,55
	456,08		299,36

Area interfacial = 40,41

TABLA # 17

Extractor Uranio - Experiencia # 13

$\phi_D = 0,10$

$D_b = 0,71$

$V_p = 35$

Tiempo:	0,0	Temp:	298,00
	14,40		298,00
	24,00		298,01
	33,61		298,03
	43,21		298,07

Tiempo:	52,81	Temp:	298,09
	62,41		298,11
	72,01		298,12
	81,61		298,16
	91,22		298,19
	100,82		298,22
	110,42		298,28
	120,02		298,35
	129,62		298,42
	139,22		298,52
	148,82		298,65
	158,43		298,76
	168,03		298,86
	177,63		298,97
	196,83		299,18
	206,43		299,32
	216,04		299,52
	225,64		299,80
	235,24		300,17
	244,84		300,58
	254,44		301,06
	264,04		301,47
	273,65		301,70
	283,25		301,72
	292,85		301,50
	302,45		301,10
	312,05		300,68
	321,65		300,29
	331,26		299,94

Area interfacial = 52,98

TABLA # 18

Extractor Uranio - Experiencia # 14

$\phi_D = 0,10$	$D_b = 0,71$	$V_p = 40$	
Tiempo:	0,0	Temp:	298,00
	14,40		298,00
	24,00		298,00
	33,61		298,00
	43,21		298,00
	52,81		298,04
	62,41		298,11
	72,01		298,19
	81,61		298,25
	91,22		298,32
	100,82		298,36
	110,42		298,41
	120,02		298,45
	129,62		298,48
	139,22		298,52

Tiempo:	Temp:
148,82	298,54
158,43	298,57
168,03	298,58
177,63	298,59
187,23	298,60
196,83	298,60
206,43	298,60
216,04	298,60
225,64	298,60
235,24	298,60
244,84	298,60
254,44	298,61
264,04	298,62
273,65	298,63
283,25	298,63
292,85	298,65
302,45	298,66
312,05	298,68
321,65	298,70
331,26	298,72
340,86	298,75
350,46	298,78
360,06	298,82
369,66	298,86
379,26	298,92
388,86	298,98
398,47	299,04
408,07	299,13
417,67	299,22
427,27	299,34
436,87	299,45
446,47	299,58
456,08	299,69
465,68	299,84
475,28	299,95
484,88	300,05
494,48	299,99
504,08	299,69
513,69	299,42
523,29	299,16
532,89	298,98
542,49	298,81

Area interfacial = 47,89

TABLA # 19

Extractor Uranio - Experiencia # 15

$\phi_D = 0,10$	$D_b = 0,71$	$V_p = 40$
Tiempo: 0,0	Temp: 298,00	
14,40	298,00	

Tiempo:	24,00	Temp:	298,00
	33,61		298,01
	43,21		298,01
	52,81		298,01
	62,41		298,01
	72,01		298,01
	81,61		298,01
	91,22		298,01
	100,82		298,02
	110,42		298,02
	120,02		298,02
	129,62		298,02
	139,22		298,02
	148,82		298,02
	158,43		298,02
	168,03		298,02
	177,63		298,02
	187,23		298,02
	196,83		298,02
	206,43		298,02
	216,04		298,02
	225,64		298,02
	235,24		298,02
	244,84		298,02
	254,44		298,02
	264,04		298,02
	273,65		298,02
	283,25		298,02
	292,85		298,02
	302,45		298,02
	312,05		298,03
	321,65		298,06
	331,26		298,13
	340,86		298,19
	350,46		298,26
	360,06		298,38
	369,66		298,36
	379,26		298,41
	388,86		298,44
	398,47		298,48
	408,07		298,52
	417,67		298,54
	427,27		298,56
	436,87		298,58
	446,47		298,60
	456,08		298,60
	465,68		298,60
	475,28		298,60
	484,88		298,60
	494,48		298,60
	504,08		298,60
	513,69		298,60
	523,29		298,61
	532,89		298,62

Tiempo:	542,49	Temp:	298,63
	552,09		298,64
	561,69		298,65
	571,29		298,67
	580,90		298,68
	590,50		298,71
	600,10		298,72
	609,70		298,73
	619,30		298,76
	628,90		298,80
	638,51		298,83
	648,11		298,87
	657,71		298,92
	667,31		298,97
	676,91		299,03
	686,51		299,11
	696,12		299,19
	705,72		299,29
	715,32		299,43
	724,92		299,56
	734,52		299,69
	744,12		299,83
	753,73		299,96
	763,33		300,08
	772,93		300,09
	782,53		299,90
	792,13		299,62
	801,73		299,38
	811,33		299,17
	820,94		298,99
	830,54		298,83
	840,14		298,71

Area interfacial = 37,80

TABLA # 20

Extractor Uranio - Experiencia # 16

$\phi_D = 0,10$	$D_b = 0,71$	$V_p = 40$	
Tiempo:	0,0	Temp:	298,00
	14,40		298,00
	24,00		298,00
	33,61		298,00
	43,21		298,00
	52,81		298,00
	62,41		298,00
	72,01		298,00
	81,61		298,00
	91,22		298,00
	100,82		298,00
	110,42		298,00

Tiempo: 120,02	Temp: 298,02
129,62	298,06
139,22	298,15
148,82	298,22
158,43	298,29
168,03	298,36
177,63	298,41
187,23	298,48
196,83	298,50
206,43	298,55
216,04	298,60
225,64	298,64
235,24	298,68
244,84	298,72
254,44	298,74
264,04	298,78
273,65	298,79
283,25	298,81
292,85	298,82
302,45	298,83
312,05	298,84
321,65	298,84
331,26	298,85
340,86	298,86
350,46	298,87
360,06	298,88
369,66	298,90
379,26	298,93
388,86	298,95
398,47	298,98
408,07	299,02
417,67	299,05
427,27	299,12
436,87	299,18
446,47	299,27
456,08	299,35
465,68	299,45
475,28	299,59
484,88	299,70
494,48	299,84
504,08	299,96
513,69	300,06
523,29	300,11
532,89	300,00
542,49	299,69
552,09	299,41
561,69	299,18
571,29	299,00
580,90	298,84

Area interfacial = 43,88

TABLA # 21

Extractor Uranio - Experiencia # 17

$\phi_D = 0,10$	$D_b = 0,71$	$V_p = 40$
Tiempo:	0,0	Temp: 298,00
	14,40	298,00
	24,00	298,00
	33,61	298,00
	43,21	298,00
	52,81	298,00
	62,41	298,00
	72,01	298,00
	81,61	298,00
	91,22	298,00
	100,82	298,00
	110,42	298,00
	120,02	298,00
	129,62	298,00
	139,22	298,00
	148,82	298,00
	158,43	298,00
	168,03	298,00
	177,63	298,04
	187,23	298,09
	196,83	298,16
	206,43	298,24
	216,04	298,31
	225,64	298,37
	235,24	298,42
	244,84	298,46
	254,44	298,52
	264,04	298,56
	273,65	298,61
	283,25	298,66
	292,85	298,71
	302,45	298,79
	312,05	298,84
	321,65	298,89
	331,26	298,92
	340,86	298,96
	350,46	298,99
	360,06	299,00
	369,66	299,01
	379,26	299,02
	388,86	299,02
	398,47	299,04
	408,07	299,07
	417,67	299,11
	427,27	299,13
	436,87	299,19
	446,47	299,25
	456,08	299,33

Tiempo:	465,68	Temp:	299,43
	475,28		299,54
	484,88		299,70
	494,48		299,84
	504,08		299,99
	513,69		300,15
	523,29		300,34
	532,89		300,50
	542,49		300,46
	552,09		300,12
	561,69		299,78
	571,29		299,51
	580,90		299,26
	590,50		299,07
	600,10		298,91

Area interfacial = 47,55

TABLA # 22

Extractor Uranio - Experiencia # 18

$\phi_D = 0,10$	$D_b = 0,89$	$V_p = 20$
Tiempo:	0,0	Temp: 298,00
	14,40	298,00
	24,00	298,00
	33,61	298,00
	43,21	298,00
	52,81	298,00
	62,41	298,01
	72,01	298,01
	81,61	298,01
	91,22	298,02
	100,82	298,02
	110,42	298,03
	120,02	298,03
	129,62	298,03
	139,22	298,03
	148,82	298,03
	158,43	298,03
	168,03	298,03
	177,63	298,03
	187,23	298,03
	196,83	298,03
	206,43	298,04
	216,04	298,04
	225,64	298,04
	235,24	298,04
	244,84	298,04
	254,44	298,05
	264,04	298,06
	273,65	298,06
	283,25	298,06
	292,85	298,06

Tiempo: 302,45	Temp: 298,07
312,05	298,07
321,65	298,07
331,26	298,07
340,86	298,07
350,46	298,08
360,06	298,08
369,66	298,09
379,26	298,09
388,86	298,10
398,47	298,10
408,07	298,10
417,67	298,10
427,27	298,10
436,87	298,10
446,47	298,10
456,08	298,11
465,68	298,12
475,28	298,12
484,88	298,12
494,48	298,12
504,08	298,14
513,69	298,14
523,29	298,14
532,89	298,14
542,49	298,14
552,09	298,14
561,69	298,15
571,29	298,15
580,90	298,16
590,50	298,16
600,10	298,16
609,70	298,17
619,30	298,17
628,90	298,17
638,51	298,17
648,11	298,18
657,71	298,18
667,31	298,19
676,91	298,19
686,51	298,20
696,12	298,21
705,72	298,22
715,32	298,22
724,92	298,23
734,52	298,23
744,12	298,25
753,73	298,26
763,33	298,26
772,93	298,26
782,53	298,26
792,13	298,27
801,73	298,27
811,33	298,27

Tiempo:	820,94	Temp:	298,27
	830,54		298,27
	840,14		298,27
	849,74		298,27
	859,34		298,27
	868,94		298,27
	878,55		298,27
	888,15		298,28
	897,75		298,29
	907,35		298,31
	916,95		298,31
	926,55		298,34
	936,16		298,35
	945,76		298,37
	955,36		298,38
	964,96		298,38
	974,56		298,42
	984,16		298,43
	993,77		298,43
	1003,37		298,44
	1012,97		298,45
	1022,57		298,45
	1032,17		298,45
	1041,77		298,45
	1051,38		298,45
	1060,98		298,45
	1070,58		298,45
	1080,18		298,45
	1089,78		298,45
	1099,38		298,45
	1108,98		298,45
	1118,59		298,45
	1128,19		298,45
	1137,79		298,46
	1147,39		298,47
	1156,99		298,48
	1166,59		298,49
	1176,20		298,50
	1185,80		298,50
	1195,40		298,52
	1205,00		298,54
	1214,60		298,56
	1224,20		298,58
	1233,81		298,59
	1243,41		298,60
	1253,01		298,61
	1262,61		298,61
	1272,21		298,62
	1281,81		298,63
	1291,41		298,63
	1301,02		298,63
	1310,62		298,63
	1320,22		298,64
	1329,82		298,64
	1339,42		298,66

Tiempo:	1349,02	Temp:	298,67
	1358,63		298,68
	1368,23		298,68
	1377,83		298,70
	1387,43		298,72
	1397,03		298,72
	1406,63		298,73
	1416,24		298,73
	1425,84		298,73
	1435,44		298,73
	1445,04		298,73
	1454,64		298,73
	1464,24		298,73
	1473,85		298,70
	1483,45		298,68
	1493,05		298,66
	1502,65		298,62
	1512,25		298,58

Area interfacial = 10,05

TABLA # 23

Extractor Uranio - Experiencia # 19

$\phi_D = 0,10$

$D_b = 0,89$

$V_p = 30$

Tiempo:	0,0	Temp:	298,00
	14,40		298,00
	24,00		298,00
	33,61		298,00
	43,21		298,00
	52,81		298,00
	62,41		298,00
	72,01		298,00
	81,61		298,00
	91,22		298,00
	100,82		298,00
	110,42		298,00
	120,02		298,00
	129,62		298,00
	139,22		298,00
	148,82		298,00
	158,43		298,02
	168,03		298,03
	177,63		298,04
	187,23		298,05
	196,83		298,05
	206,43		298,06
	216,04		298,07
	225,64		298,07
	235,24		298,08
	244,84		298,08

Tiempo: 254,44	Temp: 298,09
264,04	298,10
273,65	298,11
283,25	298,11
292,85	298,12
302,45	298,13
312,05	298,14
321,65	298,15
331,26	298,16
340,86	298,16
350,46	298,16
360,06	298,16
369,66	298,17
379,26	298,17
388,86	298,18
398,47	298,19
408,07	298,19
417,67	298,20
427,27	298,21
436,87	298,21
446,47	298,22
456,08	298,22
465,68	298,23
475,28	298,24
484,88	298,25
494,48	298,27
504,08	298,28
513,69	298,29
523,29	298,31
532,89	298,31
542,49	298,32
552,09	298,33
561,69	298,35
571,29	298,36
580,90	298,36
590,50	298,36
600,10	298,38
609,70	298,38
619,30	298,38
628,90	298,38
638,51	298,38
648,11	298,38
657,71	298,38
667,31	298,38
676,91	298,38
686,51	298,38
696,12	298,38
705,72	298,38
715,32	298,38
724,92	298,39
734,52	298,41
744,12	298,42
753,73	298,43
763,33	298,43
772,93	298,43

Tiempo:	782,53	Temp:	298,44
	792,13		298,46
	801,73		298,47
	811,33		298,48
	820,94		298,49
	830,54		298,51
	840,14		298,52
	849,74		298,55
	859,34		298,56
	868,94		298,57
	878,55		298,59
	888,15		298,62
	897,75		298,63
	907,35		298,67
	916,95		298,68
	926,55		298,71
	936,16		298,74
	945,76		298,76
	955,36		298,79
	964,96		298,83
	974,56		298,84
	984,16		298,88
	993,77		298,93
	1003,37		298,93
	1012,97		298,96
	1022,57		298,98
	1032,17		298,99
	1041,77		299,04
	1051,38		299,05
	1060,98		299,04
	1070,58		299,04
	1080,18		299,01
	1089,78		298,97
	1099,38		298,89
	1108,98		298,79
	1118,59		298,67

Area interfacial = 15,80

TABLA # 24

Extractor Uranio - Experiencia # 20

$\phi_D = 0,10$	$D_b = 0,89$	$V_p = 40$
Tiempo:	0,0	Temp: 298,00
	14,40	298,00
	24,00	298,00
	33,61	298,00
	43,21	298,00
	52,81	298,00
	62,41	298,00
	72,01	298,00

Tiempo: 81,61	Temp: 298,00
91,22	298,00
100,82	298,00
110,42	298,00
120,02	298,00
129,62	298,00
139,22	298,01
148,82	298,02
158,43	298,03
168,03	298,04
177,63	298,05
187,23	298,07
196,83	298,10
206,43	298,12
216,04	298,13
225,64	298,15
235,24	298,16
244,84	298,17
254,44	298,18
264,04	298,19
273,65	298,20
283,25	298,22
292,85	298,23
302,45	298,24
312,05	298,24
321,65	298,25
331,26	298,25
340,86	298,27
350,46	298,29
360,06	298,30
369,66	298,31
379,26	298,32
388,86	298,33
398,47	298,35
408,07	298,36
417,67	298,37
427,27	298,39
436,87	298,40
446,47	298,42
456,08	298,43
465,68	298,45
475,28	298,46
484,88	298,47
494,48	298,50
504,08	298,51
513,69	298,52
523,29	298,53
532,89	298,53
542,49	298,53
552,09	298,53
561,69	298,53
571,29	298,53
580,90	298,53
590,50	298,53
600,10	298,53

Tiempo:	609,70	Temp:	298,53
	619,30		298,53
	628,90		298,53
	638,51		298,53
	648,11		298,53
	657,71		298,54
	667,31		298,55
	676,91		298,56
	686,51		298,56
	696,12		298,57
	705,72		298,60
	715,32		298,61
	724,92		298,64
	734,52		298,65
	744,12		298,68
	753,73		298,71
	763,33		298,74
	772,93		298,75
	782,53		298,80
	792,13		298,84
	801,73		298,87
	811,33		298,92
	820,94		298,96
	830,54		299,00
	840,14		299,04
	849,74		299,06
	859,34		299,07
	868,94		299,15
	878,55		299,17
	888,15		299,23
	897,75		299,27
	907,35		299,32
	916,95		299,32
	926,55		299,32
	936,16		299,26
	945,76		299,14
	955,36		299,02
	964,96		298,88
	974,56		298,78
	984,16		298,67
	993,77		298,57

Area interfacial = 20,10

TABLA # 25

Extractor Uranio - Experiencia # 21

$\phi_D = 0,10$	$D_b = 0,89$	$V_p = 50$
Tiempo:	0,0	Temp: 298,00
	14,40	298,00
	24,00	298,00
	33,61	298,00



Tiempo:		Temp:	
	43,21		298,00
	52,81		298,00
	62,41		298,00
	72,01		298,00
	81,61		298,04
	91,22		298,08
	100,82		298,13
	110,42		298,16
	120,02		298,21
	129,62		298,23
	139,22		298,27
	148,82		298,30
	158,43		298,34
	168,03		298,37
	177,63		298,38
	187,23		298,40
	196,83		298,43
	206,43		298,45
	216,04		298,48
	225,64		298,50
	235,24		298,53
	244,84		298,57
	254,44		298,59
	264,04		298,62
	273,65		298,64
	283,25		298,68
	292,85		298,70
	302,45		298,73
	312,05		298,73
	321,65		298,73
	331,26		298,73
	340,86		298,73
	350,46		298,73
	360,06		298,73
	369,66		298,73
	379,26		298,73
	388,86		298,73
	398,47		298,74
	408,07		298,76
	417,67		298,79
	427,27		298,81
	436,87		298,85
	446,47		298,89
	456,08		298,94
	465,68		298,99
	475,28		299,05
	484,88		299,15
	494,48		299,24
	504,08		299,34
	513,69		299,45
	523,29		299,56
	532,89		299,69
	542,49		299,83
	552,09		299,96

Tiempo: 561,69	Temp: 300,00
571,29	299,87
580,90	299,57
590,50	299,32
600,10	299,12
609,70	298,95
619,30	298,80

Area interfacial = 33,76

TABLA # 26

Extractor Uranio - Experiencia # 22

$\phi_D = 0,20$	$D_b = 0,50$	$V_p = 20$
Tiempo:	0,0	Temp: 298,00
	14,40	298,00
	24,00	298,03
	33,61	298,03
	43,21	298,12
	52,81	298,21
	62,41	298,31
	72,01	298,41
	81,61	298,48
	91,22	298,54
	100,82	298,62
	110,42	298,67
	120,02	298,72
	129,62	298,78
	139,22	298,83
	148,82	298,88
	158,43	298,93
	168,03	298,98
	177,63	299,03
	187,23	299,05
	196,83	299,12
	206,43	299,17
	216,04	299,23
	225,64	299,30
	235,24	299,35
	244,84	299,43
	254,44	299,50
	264,04	299,55
	273,65	299,61
	283,25	299,63
	292,85	299,63
	302,45	299,58
	312,05	299,57
	321,65	299,54
	331,26	299,53
	340,86	299,51
	350,46	299,50
	360,06	299,49

Tiempo: 369,66	Temp: 299,49
379,26	299,50
388,86	299,51
398,47	299,51
408,07	299,53
417,67	299,56
427,27	299,62
436,87	299,69
446,47	299,78
456,08	299,85
465,68	299,90
475,28	299,96
484,88	300,04
494,48	300,11
504,08	300,17
513,69	300,31
523,29	300,42
532,89	300,53
542,49	300,66
552,09	300,73
561,69	300,80
571,29	300,88
580,90	300,96
590,50	300,99
600,10	300,98
609,70	300,98
619,30	300,98
628,90	300,98
638,51	300,93
648,11	300,87
657,71	300,71
667,31	300,43

Area interfacial = 59,27

TABLA # 27

Extractor Uranio - Experiencia # 23

$\phi_D = 0,20$	$D_b = 0,50$	$V_p = 30$
Tiempo: 0,0	Temp: 298,00	
14,40	298,00	
24,00	298,00	
33,61	298,00	
43,21	298,00	
52,81	298,00	
62,41	298,08	
72,01	298,21	
81,61	298,32	
91,22	298,51	
100,82	298,58	
110,42	298,76	

Tiempo: 120,02	Temp: 298,96
129,62	298,16
139,22	299,36
148,82	299,54
158,43	299,75
168,03	299,96
177,63	300,11
187,23	300,21
196,83	300,29
206,43	300,33
216,04	300,33
225,64	300,33
235,24	300,33
244,84	300,36
254,44	300,41
264,04	300,51
273,65	300,65
283,25	300,81
292,85	300,99
302,45	301,24
312,05	301,47
321,65	301,73
331,26	302,01
340,86	302,27
350,46	302,51
360,06	302,70
369,66	302,75
379,26	302,55
388,86	301,82
398,47	301,21
408,07	300,69
417,67	300,26

Area interfacial = 118,81

TABLA # 28

Extractor Uranio - Experiencia # 24

$\phi_D = 0,20$

$D_b = 0,50$

$V_p = 40$

Tiempo: 0,0	Temp: 298,00
14,40	298,00
24,00	298,00
33,61	298,00
43,21	298,00
52,81	298,00
62,41	298,00
72,01	298,00
81,61	298,00
91,22	298,00
100,82	298,06
110,42	298,20

Tiempo:	120,02	Temp:	298,46
	129,62		298,70
	139,22		298,97
	148,82		299,22
	158,43		299,48
	168,03		299,78
	177,63		300,10
	187,23		300,40
	196,83		300,60
	206,43		300,72
	216,04		300,80
	225,64		300,81
	235,24		300,85
	244,84		300,88
	254,44		300,92
	264,04		301,01
	273,65		301,11
	283,25		301,25
	292,85		301,41
	302,45		301,63
	312,05		301,88
	321,65		302,16
	331,26		302,42
	340,86		302,61
	350,46		302,55
	360,06		301,91
	369,66		301,27
	379,26		300,77
	388,86		300,32
	398,47		299,98
	408,07		299,67

Area interfacial = 174,95

TABLA # 29

Extractor Uranio - Experiencia # 25

$\phi_D = 0,30$	$D_b = 0,50$	$V_p = 20$
Tiempo:	0,0	Temp: 298,00
	14,40	298,00
	24,00	298,00
	33,61	298,00
	43,21	298,00
	52,81	298,00
	62,41	298,00
	72,01	298,00
	81,61	298,00
	91,22	298,71
	100,82	298,85
	110,42	299,00
	120,02	299,14

Tiempo: 129,62	Temp: 299,28
139,22	299,38
148,82	299,52
158,43	299,70
168,03	299,81
177,63	299,97
187,23	300,12
196,83	300,33
206,43	300,55
216,04	300,71
225,64	301,05
235,24	301,31
244,84	301,74
254,44	302,20
264,04	302,71
273,65	303,41
283,25	304,01
292,85	304,55
302,45	305,06
312,05	305,40
321,65	305,62
331,26	305,98
340,86	305,91
350,46	305,84
360,06	305,79
369,66	305,68
379,26	305,51
388,86	305,18

Area interfacial = 107,17

TABLA # 30

Extractor Uranio - Experiencia # 26

$\phi_D = 0,30$

$D_b = 0,50$

$V_p = 30$

Tiempo: 0,0	Temp: 298,00
14,40	298,00
24,00	298,02
33,61	298,11
43,21	298,36
52,81	298,72
62,41	299,09
72,01	299,40
81,61	299,71
91,22	299,99
100,82	300,29
110,42	300,61
120,02	300,96
129,62	301,36
139,22	301,90
148,82	302,51
158,43	303,40

Tiempo: 168,03	Temp: 304,28
177,63	304,80
187,23	305,26
196,83	305,45
206,43	305,60
216,04	305,59
225,64	305,33
235,24	305,25
244,84	305,36
254,44	305,33
264,04	305,26
273,65	305,00
283,25	304,60
292,85	303,87
302,45	302,90
312,05	302,07

Area interfacial = 182,11

TABLA # 31

Extractor Uranio - Experiencia # 27

$\phi_D = 0,30$	$D_b = 0,50$	$V_p = 40$
Tiempo: 0,0	Temp: 298,00	
14,40	298,00	
24,00	298,00	
33,61	298,06	
43,21	298,32	
52,81	298,71	
62,41	299,09	
72,01	299,45	
81,61	299,77	
91,22	300,15	
100,82	300,51	
110,42	300,94	
120,02	301,33	
129,62	301,66	
139,22	301,87	
148,82	302,02	
158,43	302,12	
168,03	302,14	
177,63	302,16	
187,23	302,17	
196,83	302,17	
206,43	302,21	
216,04	302,21	
225,64	302,26	
235,24	302,41	
244,84	302,51	
254,44	302,64	
264,04	302,78	

Tiempo: 273,65	Temp: 302,94
283,25	303,12
292,85	303,32
302,45	303,51
312,05	303,65
321,65	303,70
331,26	303,47
340,86	302,71
350,46	301,86
360,06	301,17
369,66	300,62

Area interfacial = 208,86

TABLA # 32

Extractor Uranio - Experiencia # 28

$\phi_D = 0,40$	$D_b = 0,50$	$V_p = 20$
Tiempo: 0,0	Temp: 298,00	
14,40	298,00	
24,00	298,00	
33,61	298,00	
43,21	298,00	
52,81	298,00	
62,41	298,00	
72,01	298,00	
81,61	298,00	
91,22	298,00	
100,82	298,02	
110,42	298,08	
120,02	298,13	
129,62	298,23	
139,22	298,37	
148,82	298,51	
158,43	298,62	
168,03	298,67	
177,63	298,80	
187,23	298,85	
196,83	298,94	
206,43	298,97	
216,04	298,99	
225,64	299,07	
235,24	299,02	
244,84	299,08	
254,44	200,03	
264,04	299,12	
273,65	299,12	
283,25	299,11	
292,85	299,18	
302,45	299,16	
312,05	299,18	

Tiempo: 321,65	Temp: 299,20
331,26	299,24
340,86	299,20
350,46	299,27
360,06	299,23
369,66	299,29
379,26	299,33
388,86	299,36
398,47	299,43
408,07	299,48
417,67	299,52
427,27	299,57
436,87	299,53
446,47	299,68
456,08	299,72
465,68	299,77
475,28	299,87
484,88	299,91
494,48	299,93
504,08	300,11
513,69	300,07
523,29	300,24
532,89	300,36
542,49	300,49
552,09	300,56
561,69	300,68
571,29	300,86
580,90	300,92
590,50	300,96
600,10	301,34
609,70	301,33
619,30	301,52
628,90	301,72
638,51	301,92
648,11	301,92
657,71	302,31
667,31	302,31
676,91	302,53
686,51	302,81
696,12	303,04
705,72	303,13
715,32	303,27
724,92	303,51
734,52	303,47
744,12	303,52
753,73	303,48
763,33	303,43
772,93	303,42
782,53	303,33
792,13	303,11
801,73	303,11
811,33	302,92
820,94	302,79
830,54	302,66

Area interfacial = 64,33

TABLA # 33

Extractor Uranio - Experiencia # 29

$\phi_D = 0,40$	$D_b = 0,50$	$V_p = 30$
Tiempo:	0,0	Temp: 298,00
	14,40	298,00
	24,00	298,02
	33,61	298,24
	43,21	298,53
	52,81	298,68
	62,41	298,98
	72,01	299,28
	81,61	299,36
	91,22	299,55
	100,82	299,83
	110,42	300,12
	120,02	300,38
	129,62	300,64
	139,22	300,89
	148,82	301,14
	158,43	301,44
	168,03	301,49
	177,63	301,58
	187,23	301,60
	196,83	301,60
	206,43	301,75
	216,04	302,06
	225,64	302,47
	235,24	302,95
	244,84	303,45
	254,44	304,14
	264,04	304,89
	273,65	305,65
	283,25	306,43
	292,85	307,19
	302,45	307,94
	312,05	308,34
	321,65	308,30
	331,26	307,94
	340,86	307,39
	350,46	306,76
	360,06	306,18
	369,66	305,63

Area interfacial = 158,33

TABLA # 34

Extractor Uranio - Experiencia # 30

$\phi_D = 0,40$	$D_b = 0,50$	$V_p = 40$
-----------------	--------------	------------

Tiempo:	0,0	Temp:	293,00
	14,40		293,00
	24,00		293,09
	33,61		293,40
	43,21		293,77
	52,81		294,06
	62,41		294,35
	72,01		294,61
	81,61		294,89
	91,22		295,15
	100,82		295,40
	110,42		295,66
	120,02		295,94
	129,62		296,27
	139,22		296,61
	148,82		296,90
	158,43		297,10
	168,03		297,17
	177,63		297,20
	187,23		297,20
	196,83		297,17
	206,43		297,32
	216,04		298,11
	225,64		299,18
	235,24		300,40
	244,84		301,61
	254,44		303,10
	264,04		303,80
	273,65		304,00
	283,25		303,70
	292,85		303,10
	302,45		302,18
	312,05		301,27
	321,65		300,46
	331,26		299,70

Area interfacial = 213,08

3.1. Resultados experimentales

Modelo de flujo correspondiente a interfase esférica.

Expresión de flujo interfacial:

$$(N_A)_{r=R} = D_A \cdot |A_i| \left\{ \frac{1}{R} + \lambda C_{th} \lambda x_c \right\}$$

TABLA # 35

Extractor Uranio - Experiencia # 1

$\phi_D = 0,10$	$D_b = 0,50$	$V_p = 20$
T :	X :	$r_A :$
14,40	0,0	0,2449 x 10 ⁻⁴
24,00	0,0024	0,5531 x 10 ⁻⁴
33,61	0,0075	0,1414 x 10 ⁻³
43,21	0,0155	0,1605 x 10 ⁻³
52,81	0,0220	0,1731 x 10 ⁻³
62,41	0,0304	0,1890 x 10 ⁻³
72,01	0,0395	0,1803 x 10 ⁻³
81,61	0,0492	0,2452 x 10 ⁻³
91,22	0,0610	0,2397 x 10 ⁻³
100,82	0,0735	0,3077 x 10 ⁻³
110,42	0,0858	0,3235 x 10 ⁻³
120,02	0,1002	0,3425 x 10 ⁻³
129,62	0,1191	0,3956 x 10 ⁻³
139,22	0,1369	0,4422 x 10 ⁻³
148,82	0,1618	0,5292 x 10 ⁻³
158,43	0,1860	0,5364 x 10 ⁻³
168,03	0,2128	0,6937 x 10 ⁻³
177,63	0,2497	0,8242 x 10 ⁻³
187,23	0,2928	0,1013 x 10 ⁻²
196,83	0,3439	0,1215 x 10 ⁻²
206,43	0,4035	0,1478 x 10 ⁻²
216,04	0,4773	0,1693 x 10 ⁻²
225,64	0,5661	0,1983 x 10 ⁻²
235,24	0,6615	0,2077 x 10 ⁻²
244,84	0,7551	0,1952 x 10 ⁻²
254,44	0,8400	0,1643 x 10 ⁻²
264,04	0,9080	0,1304 x 10 ⁻²
273,65	0,9604	0,8719 x 10 ⁻³
283,25	0,9878	0,4009 x 10 ⁻³
292,85	0,9959	0,3049 x 10 ⁻³
302,45	0,9979	0,3084 x 10 ⁻³
312,05	0,9979	0,9489 x 10 ⁻⁴
321,65	0,9990	0,1957 x 10 ⁻³
331,26	1,0001	0,2327 x 10 ⁻³
340,86	0,9988	0,3090 x 10 ⁻⁴

$$P_p = 0,1088 \times 10^7$$

$$k_c = 0,3944 \times 10^{-3}$$

Area interfacial = 39,77

TABLA # 36

Extractor Uranio - Experiencia # 2

$\phi_D = 0,10$	$D_b = 0,50$	$V_p = 25$
T :	X :	$r_A :$
14,40	0,0012	0,2607 x 10 ⁻⁴
24,00	0,0026	0,6778 x 10 ⁻⁵
33,61	0,0029	0,6778 x 10 ⁻⁵
43,21	0,0032	0,6778 x 10 ⁻⁵
52,81	0,0035	0,2946 x 10 ⁻⁴
62,41	0,0094	0,1825 x 10 ⁻³
72,01	0,0175	0,2028 x 10 ⁻³
81,61	0,0320	0,3309 x 10 ⁻³
91,22	0,0451	0,3126 x 10 ⁻³
100,82	0,0617	0,3692 x 10 ⁻³
110,42	0,0799	0,4031 x 10 ⁻³
120,02	0,1009	0,4630 x 10 ⁻³
129,62	0,1225	0,5423 x 10 ⁻³
139,22	0,1504	0,6351 x 10 ⁻³
148,82	0,1828	0,7347 x 10 ⁻³
158,43	0,2234	0,9873 x 10 ⁻³
168,03	0,2754	0,1264 x 10 ⁻²
177,63	0,3424	0,1548 x 10 ⁻²
187,23	0,4287	0,2100 x 10 ⁻²
196,83	0,5403	0,2589 x 10 ⁻²
206,43	0,6691	0,2758 x 10 ⁻²
216,04	0,7967	0,2595 x 10 ⁻²
225,64	0,9042	0,1890 x 10 ⁻²
235,24	0,9722	0,8943 x 10 ⁻³
244,84	0,9917	0,1453 x 10 ⁻³
254,44	0,9963	0,3370 x 10 ⁻⁴
264,04	1,0068	0,3424 x 10 ⁻⁴
273,65	0,9938	0,2932 x 10 ⁻⁴
283,25	0,9958	0,4393 x 10 ⁻⁴
292,85	0,9975	0,5856 x 10 ⁻⁴
302,45	0,9981	0,1242 x 10 ⁻⁴

$P_p = 0,2126 \times 10^7$

$k_c = 0,4663 \times 10^{-3}$

Area interfacial = 50,01

TABLA # 37

Extractor Uranio - Experiencia # 3

$\phi_D = 0,10$	$D_b = 0,50$	$V_p = 30$
T :	X :	$r_A :$
14,40	0,0073	0,1895 x 10 ⁻³
24,00	0,0197	0,2482 x 10 ⁻³
33,61	0,0348	0,3675 x 10 ⁻³
43,21	0,0516	0,3731 x 10 ⁻³
52,81	0,0714	0,4678 x 10 ⁻³

T :	X :	r _A :
62,41	0,0945	0,5093 x 10 ⁻³
72,01	0,1196	0,6078 x 10 ⁻³
81,61	0,1593	0,7971 x 10 ⁻³
91,22	0,1926	0,9031 x 10 ⁻³
100,82	0,2441	0,1278 x 10 ⁻²
110,42	0,3143	0,1862 x 10 ⁻²
120,02	0,4154	0,2339 x 10 ⁻²
129,62	0,5481	0,3246 x 10 ⁻²
139,22	0,7079	0,3310 x 10 ⁻²
148,82	0,8449	0,2280 x 10 ⁻²
158,43	0,9316	0,1436 x 10 ⁻²
168,03	0,9839	0,5543 x 10 ⁻³
177,63	0,9942	0,1396 x 10 ⁻³
187,23	1,0093	0,4333 x 10 ⁻⁴
196,83	0,9956	0,2878 x 10 ⁻⁴
206,43	0,9940	0,1035 x 10 ⁻³
216,04	0,9930	0,1779 x 10 ⁻⁴
225,64	0,9938	0,2993 x 10 ⁻⁴
235,24	0,9958	0,9276 x 10 ⁻⁴

$P_p = 0,3674 \times 10^7$

$k_c = 0,5346 \times 10^{-3}$

Area interfacial = 62,62

TABLA # 38

Extractor Uranio - Experiencia # 4

$\phi_D = 0,10$

$D_b = 0,50$

$V_p = 35$

T :	X :	r _A :
14,40	0,0061	0,2313 x 10 ⁻³
24,00	0,0193	0,2962 x 10 ⁻³
33,61	0,0326	0,2957 x 10 ⁻³
43,21	0,0488	0,3606 x 10 ⁻³
52,81	0,0697	0,4953 x 10 ⁻³
62,41	0,0927	0,5383 x 10 ⁻³
72,01	0,1252	0,8168 x 10 ⁻³
81,61	0,1687	0,1025 x 10 ⁻²
91,22	0,2238	0,1316 x 10 ⁻²
100,82	0,2948	0,1820 x 10 ⁻²
110,42	0,4015	0,2651 x 10 ⁻²
120,02	0,5495	0,3721 x 10 ⁻²
129,62	0,7448	0,4269 x 10 ⁻²
139,22	0,9244	0,2913 x 10 ⁻²
148,82	1,0115	0,8026 x 10 ⁻³
158,43	1,0156	0,1591 x 10 ⁻³
168,03	1,0114	0,1334 x 10 ⁻³
177,63	1,0015	0,1560 x 10 ⁻³
187,23	0,9974	0,4383 x 10 ⁻⁴
196,83	0,9964	0,2400 x 10 ⁻⁴
206,43	0,9983	0,2159 x 10 ⁻⁴
216,04	0,9983	0,7578 x 10 ⁻⁴

$P_p = 0,5834 \times 10^7$

$k_c = 0,6001 \times 10^{-3}$

Area interfacial = 65,60

TABLA # 39

Extractor Uranio - Experiencia # 5

$\phi_D = 0,10$	$D_b = 0,50$	$V_p = 40$
T :	X :	$r_A :$
14,40	0,0	0,0
24,00	0,0	0,0
33,61	0,0	0,0
43,21	0,0	0,0
52,81	0,0	0,0
62,41	0,0	0,0
72,01	0,0	0,0
81,61	0,0	0,0
91,22	0,0	0,0
100,82	0,0	0,0
110,42	0,0	0,0
120,02	0,0	0,0
129,62	0,0	0,0
139,22	0,0012	$0,5178 \times 10^{-4}$
148,82	0,0050	$0,1356 \times 10^{-3}$
158,43	0,0200	$0,4468 \times 10^{-3}$
168,03	0,0437	$0,5161 \times 10^{-3}$
177,63	0,0705	$0,6092 \times 10^{-3}$
187,23	0,0982	$0,7418 \times 10^{-3}$
196,83	0,1364	$0,8273 \times 10^{-3}$
206,43	0,1832	$0,1096 \times 10^{-2}$
216,04	0,2443	$0,1684 \times 10^{-2}$
225,64	0,3412	$0,2584 \times 10^{-2}$
235,24	0,4999	$0,4490 \times 10^{-2}$
244,84	0,7531	$0,5356 \times 10^{-2}$
254,44	0,9612	$0,2861 \times 10^{-2}$
264,04	1,0177	$0,2046 \times 10^{-3}$
273,65	1,0160	$0,1293 \times 10^{-4}$
283,25	1,0118	$0,3678 \times 10^{-4}$
292,85	1,0088	$0,8622 \times 10^{-4}$
302,45	1,0066	$0,2337 \times 10^{-4}$
312,05	0,8914	$0,3986 \times 10^{-3}$
321,65	0,9978	$0,1868 \times 10^{-4}$

$P_p = 0,8708 \times 10^7$

$k_c = 0,6633 \times 10^{-3}$

Area interfacial = 76,41

TABLA # 40

Extractor Uranio - Experiencia # 6

$\phi_D = 0,10$	$D_b = 0,40$	$V_p = 20$
T :	X :	$r_A :$
14,40	0,0	0,0
24,00	0,0	$0,6760 \times 10^{-4}$
33,61	0,0102	$0,2581 \times 10^{-3}$

T :	43,21	X :	0,0243	$r_A :$	0,3657 x 10 ⁻³
	52,81		0,0394		0,3119 x 10 ⁻³
	62,41		0,0594		0,4719 x 10 ⁻³
	72,01		0,0807		0,5155 x 10 ⁻³
	81,61		0,1087		0,6413 x 10 ⁻³
	91,22		0,1417		0,7293 x 10 ⁻³
	100,82		0,1811		0,9635 x 10 ⁻³
	110,42		0,2334		0,1272 x 10 ⁻²
	120,02		0,3033		0,1778 x 10 ⁻²
	129,62		0,4065		0,2683 x 10 ⁻²
	139,22		0,5643		0,3907 x 10 ⁻²
	148,82		0,7600		0,3998 x 10 ⁻²
	158,43		0,9217		0,2450 x 10 ⁻²
	168,03		0,9903		0,6606 x 10 ⁻³
	177,63		1,0010		0,5637 x 10 ⁻³
	187,23		1,0011		0,3407 x 10 ⁻⁵
	196,83		1,0002		0,7910 x 10 ⁻⁵

$$P_p = 0,2657 \times 10^7$$

$$k_c = 0,4930 \times 10^{-3}$$

Area interfacial = 62,02

TABLA # 41

Extractor Uranio - Experiencia # 7

$$\phi_D = 0,10$$

$$D_b = 0,40$$

$$V_p = 25$$

T :	14,40	X :	0,0	$r_A =$	0,0
	24,00		0,0		0,0
	33,61		0,0014		0,8953 x 10 ⁻⁴
	43,21		0,0101		0,3435 x 10 ⁻³
	52,81		0,0332		0,5539 x 10 ⁻³
	62,41		0,0596		0,5944 x 10 ⁻³
	72,01		0,0921		0,7573 x 10 ⁻³
	81,61		0,1310		0,9294 x 10 ⁻³
	91,22		0,0840		0,9120 x 10 ⁻³
	100,82		0,2459		0,1818 x 10 ⁻²
	110,42		0,3557		0,2986 x 10 ⁻²
	120,02		0,5339		0,4785 x 10 ⁻²
	129,62		0,7970		0,5116 x 10 ⁻²
	139,22		0,9644		0,2122 x 10 ⁻²
	148,82		1,0077		0,6051 x 10 ⁻⁴
	158,43		1,0027		0,3461 x 10 ⁻⁵
	168,03		1,0047		0,4141 x 10 ⁻⁴
	177,63		1,0010		0,1700 x 10 ⁻⁴

$$P_p = 0,5190 \times 10^7$$

$$k_c = 0,5828 \times 10^{-3}$$

Area interfacial = 82,50

TABLA # 42

Extractor Uranio - Experiencia # 8

$\phi_D = 0,10$	$D_b = 0,40$	$V_p = 34$
T :	X :	$r_A :$
14,40	0,0	0,0
24,00	0,0	0,0
33,61	0,0011	$0,4796 \times 10^{-4}$
43,21	0,0025	$0,3017 \times 10^{-3}$
52,81	0,0051	$0,1918 \times 10^{-3}$
62,41	0,0250	$0,5688 \times 10^{-3}$
72,01	0,0552	$0,6857 \times 10^{-3}$
81,61	0,0942	$0,9506 \times 10^{-3}$
91,22	0,1377	$0,9704 \times 10^{-3}$
100,82	0,1939	$0,1392 \times 10^{-2}$
110,42	0,2732	$0,2094 \times 10^{-2}$
120,02	0,4044	$0,3808 \times 10^{-2}$
129,62	0,6597	$0,6948 \times 10^{-2}$
139,22	0,9648	$0,3609 \times 10^{-2}$
148,82	1,0071	$0,4959 \times 10^{-4}$
158,43	1,0049	$0,2774 \times 10^{-4}$
168,03	1,0032	$0,8767 \times 10^{-4}$
177,63	0,9993	$0,4396 \times 10^{-4}$

$P_p = 0,1306 \times 10^8$ $k_c = 0,7340 \times 10^{-3}$

Area interfacial = 95,19

TABLA # 43

Extractor Uranio - Experiencia # 9

$\phi_D = 0,10$	$D_b = 0,40$	$V_p = 42$
T :	X :	$r_A :$
14,40	0,0120	$0,5551 \times 10^{-3}$
24,00	0,0466	$0,8432 \times 10^{-3}$
33,61	0,0907	$0,1048 \times 10^{-2}$
43,21	0,1449	$0,1266 \times 10^{-2}$
52,81	0,2193	$0,1923 \times 10^{-2}$
62,41	0,3399	$0,3711 \times 10^{-2}$
72,01	0,6039	$0,8127 \times 10^{-2}$
81,61	0,9738	$0,3657 \times 10^{-2}$
91,22	1,0001	$0,2980 \times 10^{-4}$
100,82	0,9989	$0,6879 \times 10^{-5}$
110,42	0,9971	$0,1280 \times 10^{-4}$
120,01	1,0015	$0,8740 \times 10^{-4}$

$P_p = 0,2461 \times 10^8$ $k_c = 0,8600 \times 10^{-3}$

Area interfacial = 114,67

TABLA # 44

Extractor Uranio - Experiencia # 10

$\phi_D = 0,10$

$D_b = 0,71$

$V_p = 20$

T :	X :	r_A :
14,40	0,0	0,0
24,00	0,0	0,0
33,61	0,0	0,0
43,21	0,0	0,0
52,81	0,0	0,0
62,41	0,0	0,0
72,01	0,0	0,0
81,61	0,0	0,0
91,22	0,0	0,0
100,82	0,0	0,0
110,42	0,0	0,0
120,02	0,0	0,2172 x 10 ⁻⁴
129,62	0,0012	0,2509 x 10 ⁻⁴
139,22	0,0035	0,5355 x 10 ⁻⁴
148,82	0,0062	0,6030 x 10 ⁻⁴
158,43	0,0082	0,2024 x 10 ⁻⁴
168,03	0,0091	0,4196 x 10 ⁻⁴
177,63	0,0112	0,2362 x 10 ⁻⁴
187,23	0,0134	0,7042 x 10 ⁻⁴
196,83	0,0158	0,5208 x 10 ⁻⁴
206,43	0,0184	0,5545 x 10 ⁻⁴
216,04	0,0212	0,5883 x 10 ⁻⁴
225,64	0,0251	0,6557 x 10 ⁻⁴
235,24	0,0283	0,9066 x 10 ⁻⁴
244,84	0,0327	0,7569 x 10 ⁻⁴
254,44	0,0363	0,7907 x 10 ⁻⁴
264,04	0,0390	0,7907 x 10 ⁻⁴
273,65	0,0429	0,8244 x 10 ⁻⁴
283,25	0,0469	0,8582 x 10 ⁻⁴
292,85	0,0511	0,8919 x 10 ⁻⁴
302,45	0,0554	0,1143 x 10 ⁻³
312,05	0,0621	0,1244 x 10 ⁻³
321,65	0,0671	0,1061 x 10 ⁻³
331,26	0,0733	0,1345 x 10 ⁻³
340,86	0,0798	0,1413 x 10 ⁻³
350,46	0,0866	0,1480 x 10 ⁻³
360,06	0,0938	0,1548 x 10 ⁻³
369,66	0,1013	0,1615 x 10 ⁻³
379,26	0,1090	0,1683 x 10 ⁻³
388,86	0,1171	0,1967 x 10 ⁻³
398,47	0,1267	0,1851 x 10 ⁻³
408,07	0,1367	0,2170 x 10 ⁻³
417,67	0,1460	0,2020 x 10 ⁻³
427,27	0,1568	0,2773 x 10 ⁻³
436,87	0,1703	0,2724 x 10 ⁻³
446,47	0,1825	0,2607 x 10 ⁻³
456,08	0,1961	0,3177 x 10 ⁻³
465,68	0,2105	0,3095 x 10 ⁻³

T :	475,28	X :	0,2266	r _A :	0,3481 x 10 ⁻³
	484,88		0,2435		0,3867 x 10 ⁻³
	494,48		0,2623		0,4286 x 10 ⁻³
	504,08		0,2822		0,4272 x 10 ⁻³
	513,49		0,3041		0,4725 x 10 ⁻³
	523,29		0,3282		0,4995 x 10 ⁻³
	532,89		0,3534		0,5699 x 10 ⁻³
	542,49		0,3822		0,6254 x 10 ⁻³
	552,09		0,4125		0,6808 x 10 ⁻³
	561,69		0,4455		0,7179 x 10 ⁻³
	571,29		0,4814		0,8236 x 10 ⁻³
	580,90		0,5184		0,7955 x 10 ⁻³
	590,50		0,5613		0,8896 x 10 ⁻³
	600,10		0,6032		0,9083 x 10 ⁻³
	609,70		0,6491		0,9773 x 10 ⁻³
	619,30		0,6930		0,9676 x 10 ⁻³
	628,90		0,7385		0,9579 x 10 ⁻³
	638,51		0,7835		0,9197 x 10 ⁻³
	648,11		0,8263		0,8932 x 10 ⁻³
	657,71		0,8667		0,7913 x 10 ⁻³
	667,31		0,9030		0,7228 x 10 ⁻³
	676,91		0,9322		0,5187 x 10 ⁻³
	686,51		0,9525		0,3595 x 10 ⁻³
	696,12		0,9660		0,2954 x 10 ⁻³
	705,72		0,9756		0,1411 x 10 ⁻³
	715,32		0,9840		0,1238 x 10 ⁻³
	724,92		0,9915		0,1567 x 10 ⁻³
	734,52		0,9956		0,3419 x 10 ⁻⁴
	744,12		0,9978		0,8879 x 10 ⁻⁴

$P_p = 0,2677 \times 10^6$

$k_c = 0,2777 \times 10^{-3}$

Area interfacial = 19,33

TABLA # 45

Extractor Uranio - Experiencia # 11

$\phi_D = 0,10$	$D_b = 0,71$	$V_p = 25$
T :	X :	r _A :
14,40	0,0	0,0
24,00	0,0	0,0
33,61	0,0	0,0
43,21	0,0	0,0
52,81	0,0	0,0
62,41	0,0	0,0
72,01	0,0	0,0
81,61	0,0	0,6559 x 10 ⁻⁵
91,22	0,0008	0,1923 x 10 ⁻⁴
100,82	0,0019	0,3095 x 10 ⁻⁴
110,42	0,0037	0,4034 x 10 ⁻⁴
120,02	0,0058	0,4550 x 10 ⁻⁴
129,62	0,0082	0,6051 x 10 ⁻⁴

T :	X :	r_A :
139,22	0,0109	$0,6145 \times 10^{-4}$
148,82	0,0143	$0,7411 \times 10^{-4}$
158,43	0,0180	$0,8256 \times 10^{-4}$
168,03	0,0221	$0,9100 \times 10^{-4}$
177,63	0,0265	$0,9945 \times 10^{-3}$
187,23	0,0314	$0,1079 \times 10^{-3}$
196,83	0,0369	$0,1271 \times 10^{-3}$
206,43	0,0431	$0,1332 \times 10^{-3}$
216,04	0,0495	$0,1450 \times 10^{-3}$
225,64	0,0567	$0,1543 \times 10^{-3}$
235,24	0,0643	$0,1703 \times 10^{-3}$
244,84	0,0726	$0,1895 \times 10^{-3}$
254,44	0,0818	$0,2031 \times 10^{-3}$
264,04	0,0919	$0,2200 \times 10^{-3}$
273,65	0,1028	$0,2402 \times 10^{-3}$
283,25	0,1150	$0,2655 \times 10^{-3}$
292,85	0,1282	$0,2941 \times 10^{-3}$
302,45	0,1424	$0,3120 \times 10^{-3}$
312,05	0,1580	$0,3546 \times 10^{-3}$
321,65	0,1753	$0,3776 \times 10^{-3}$
331,26	0,1945	$0,4231 \times 10^{-3}$
340,86	0,2150	$0,4635 \times 10^{-3}$
350,46	0,2380	$0,5099 \times 10^{-3}$
360,06	0,2628	$0,5620 \times 10^{-3}$
369,66	0,2908	$0,6211 \times 10^{-3}$
379,26	0,3212	$0,6793 \times 10^{-3}$
388,86	0,3547	$0,7491 \times 10^{-3}$
398,47	0,3913	$0,8223 \times 10^{-3}$
408,07	0,4320	$0,8819 \times 10^{-3}$
417,67	0,4751	$0,9453 \times 10^{-3}$
427,27	0,5205	$0,9828 \times 10^{-3}$
436,87	0,5674	$0,1007 \times 10^{-2}$
446,47	0,6152	$0,1019 \times 10^{-2}$
456,08	0,6630	$0,1013 \times 10^{-2}$
465,68	0,7102	$0,9885 \times 10^{-3}$
475,28	0,7559	$0,9501 \times 10^{-3}$
484,88	0,7993	$0,9078 \times 10^{-3}$
494,48	0,8403	$0,8365 \times 10^{-3}$
504,08	0,8787	$0,7859 \times 10^{-3}$
513,69	0,9137	$0,7150 \times 10^{-3}$
523,29	0,9459	$0,6452 \times 10^{-3}$
532,89	0,9743	$0,5692 \times 10^{-3}$

$P_p = 0,5229 \times 10^6$

$k_c = 0,3283 \times 10^{-3}$

Area interfacial = 27,09

TABLA # 46

Extractor Uranio - Experiencia # 12

$\phi_D = 0,10$

$D_b = 0,71$

$V_p = 30$

T :	X :	r_A :
14,40	0,0	0,0
24,00	0,0	0,2581 x 10 ⁻⁴
33,61	0,0013	0,3827 x 10 ⁻⁵
43,21	0,0015	0,3827 x 10 ⁻⁵
52,81	0,0017	0,3827 x 10 ⁻⁵
62,41	0,0019	0,3827 x 10 ⁻⁵
72,01	0,0021	0,3827 x 10 ⁻⁵
81,61	0,0022	0,3827 x 10 ⁻⁵
91,22	0,0024	0,2964 x 10 ⁻⁴
100,82	0,0052	0,8893 x 10 ⁻⁴
110,42	0,0096	0,7459 x 10 ⁻⁴
120,02	0,0132	0,8225 x 10 ⁻⁴
129,62	0,0172	0,8990 x 10 ⁻⁴
139,22	0,0240	0,1827 x 10 ⁻³
148,82	0,0304	0,1167 x 10 ⁻³
158,43	0,0385	0,1836 x 10 ⁻³
168,03	0,0448	0,1913 x 10 ⁻³
177,63	0,0541	0,2066 x 10 ⁻³
187,23	0,0654	0,2257 x 10 ⁻³
196,83	0,0762	0,2152 x 10 ⁻³
206,43	0,0888	0,3376 x 10 ⁻³
216,04	0,1038	0,3348 x 10 ⁻³
225,64	0,1187	0,3539 x 10 ⁻³
235,24	0,1357	0,4027 x 10 ⁻³
244,84	0,1564	0,4591 x 10 ⁻³
254,44	0,1810	0,5490 x 10 ⁻³
264,04	0,2085	0,6169 x 10 ⁻³
273,65	0,2356	0,6514 x 10 ⁻³
283,25	0,2706	0,7824 x 10 ⁻³
292,85	0,3106	0,9727 x 10 ⁻³
302,45	0,3587	0,1075 x 10 ⁻²
312,05	0,4115	0,1284 x 10 ⁻²
321,65	0,4747	0,1410 x 10 ⁻²
331,26	0,5462	0,1547 x 10 ⁻²
340,86	0,6189	0,1646 x 10 ⁻²
350,46	0,6951	0,1587 x 10 ⁻²
360,06	0,7629	0,1360 x 10 ⁻²
369,66	0,8207	0,1147 x 10 ⁻²
379,26	0,8726	0,1070 x 10 ⁻²
388,86	0,9134	0,7513 x 10 ⁻³
398,47	0,9434	0,5610 x 10 ⁻³
408,07	0,9655	0,3554 x 10 ⁻³
417,67	0,9800	0,2673 x 10 ⁻³
427,27	0,9916	0,1831 x 10 ⁻³
436,87	0,9943	0,6199 x 10 ⁻⁵
446,47	0,9973	0,7689 x 10 ⁻⁴
456,08	1,0004	0,2999 x 10 ⁻⁴

$P_p = 0,9035 \times 10^6$

$k_c = 0,3765 \times 10^{-3}$

Area interfacial = 36,30

TABLA # 47

Extractor Uranio - Experiencia # 13

$\phi_D = 0,10$	$D_b = 0,71$	$V_p = 35$
T :	X :	$r_A :$
14,40	0,0	0,0
24,00	0,0011	0,5036 x 10 ⁻⁴
33,61	0,0037	0,8125 x 10 ⁻⁴
43,21	0,0089	0,9646 x 10 ⁻⁴
52,81	0,0126	0,8079 x 10 ⁻⁴
62,41	0,0165	0,6512 x 10 ⁻³
72,01	0,0196	0,1388 x 10 ⁻³
81,61	0,0266	0,1074 x 10 ⁻³
91,22	0,0330	0,1421 x 10 ⁻³
100,82	0,0399	0,2234 x 10 ⁻³
110,42	0,0510	0,2229 x 10 ⁻³
120,02	0,0642	0,3194 x 10 ⁻³
129,62	0,0788	0,3460 x 10 ⁻³
139,22	0,0982	0,4771 x 10 ⁻³
148,82	0,1229	0,5033 x 10 ⁻³
158,43	0,1475	0,5452 x 10 ⁻³
168,03	0,1729	0,5599 x 10 ⁻³
177,63	0,2013	0,5785 x 10 ⁻³
187,23	0,2291	0,6826 x 10 ⁻³
196,83	0,2622	0,7515 x 10 ⁻³
206,43	0,2999	0,8979 x 10 ⁻³
216,04	0,3472	0,1160 x 10 ⁻²
225,64	0,4076	0,1406 x 10 ⁻²
235,24	0,4835	0,1733 x 10 ⁻²
244,84	0,5707	0,2006 x 10 ⁻²
254,44	0,6736	0,2258 x 10 ⁻²
264,04	0,7770	0,2111 x 10 ⁻²
273,65	0,8666	0,1664 x 10 ⁻²
283,25	0,9354	0,1252 x 10 ⁻²
292,85	0,9765	0,4934 x 10 ⁻³
302,45	0,9917	0,2249 x 10 ⁻³
312,05	0,9974	0,6509 x 10 ⁻⁴
321,65	0,9991	0,1343 x 10 ⁻⁴
331,26	0,9985	0,3965 x 10 ⁻⁴

$P_p = 0,1435 \times 10^7$

$k_c = 0,4226 \times 10^{-3}$

Area interfacial = 46,13

TABLA # 48

Extractor Uranio - Experiencia # 14

$\phi_D = 0,10$	$D_b = 0,71$	$V_p = 40$
T :	X :	$r_A :$
14,40	0,0	0,0
24,00	0,0	0,0

T :	33,61	X :	0,0	r _A :	0,0
	43,21		0,0		0,2501 x 10 ⁻⁴
	52,81		0,0050		0,1681 x 10 ⁻³
	62,41		0,0148		0,2495 x 10 ⁻³
	72,01		0,0274		0,2355 x 10 ⁻³
	81,61		0,0390		0,2374 x 10 ⁻³
	91,22		0,0518		0,3144 x 10 ⁻³
	100,82		0,0635		0,2824 x 10 ⁻³
	110,42		0,0774		0,2548 x 10 ⁻³
	120,02		0,0909		0,3228 x 10 ⁻³
	129,62		0,1042		0,3113 x 10 ⁻³
	139,22		0,1194		0,2792 x 10 ⁻³
	148,82		0,1328		0,3132 x 10 ⁻³
	158,43		0,1480		0,3017 x 10 ⁻³
	168,03		0,1612		0,2812 x 10 ⁻³
	177,63		0,1747		0,2857 x 10 ⁻³
	187,23		0,1884		0,2651 x 10 ⁻³
	196,83		0,2009		0,2651 x 10 ⁻³
	206,43		0,2134		0,2651 x 10 ⁻³
	216,04		0,2259		0,2651 x 10 ⁻³
	225,64		0,2384		0,2651 x 10 ⁻³
	235,24		0,2509		0,2901 x 10 ⁻³
	244,84		0,2636		0,2651 x 10 ⁻³
	254,44		0,2775		0,2946 x 10 ⁻³
	264,04		0,2916		0,2741 x 10 ⁻³
	273,65		0,3057		0,3036 x 10 ⁻³
	283,25		0,3189		0,3036 x 10 ⁻³
	292,85		0,3346		0,3126 x 10 ⁻³
	302,45		0,3494		0,3421 x 10 ⁻³
	312,05		0,3657		0,3511 x 10 ⁻³
	321,65		0,3825		0,3601 x 10 ⁻³
	331,26		0,3997		0,3691 x 10 ⁻³
	340,86		0,4186		0,4076 x 10 ⁻³
	350,46		0,4369		0,4416 x 10 ⁻³
	360,06		0,4583		0,4345 x 10 ⁻³
	369,66		0,4804		0,5026 x 10 ⁻³
	379,26		0,5059		0,5295 x 10 ⁻³
	388,86		0,5326		0,6065 x 10 ⁻³
	398,47		0,5607		0,6335 x 10 ⁻³
	408,07		0,5938		0,7239 x 10 ⁻³
	417,67		0,6289		0,7894 x 10 ⁻³
	427,27		0,6684		0,8638 x 10 ⁻³
	436,87		0,7103		0,9633 x 10 ⁻³
	446,47		0,7572		0,9967 x 10 ⁻³
	456,08		0,8043		0,1096 x 10 ⁻²
	465,68		0,8579		0,1109 x 10 ⁻²
	475,28		0,9104		0,1133 x 10 ⁻²
	484,88		0,9641		0,9783 x 10 ⁻³
	494,48		0,9994		0,3760 x 10 ⁻³
	504,08		1,0035		0,4470 x 10 ⁻⁵
	513,69		1,0038		0,7309 x 10 ⁻⁶
	523,29		1,0010		0,3803 x 10 ⁻⁴
	532,89		1,0019		0,1886 x 10 ⁻⁴
	542,49		1,0002		0,2021 x 10 ⁻⁴

$$P_p = 0,2142 \times 10^7$$

$$k_c = 0,4671 \times 10^{-3}$$

Area interfacial = 42,32

TABLA # 49

Extractor Uranio - Experiencia # 15

$$\phi_D = 0,10$$

$$D_b = 0,71$$

$$V_p = 40$$

T :	X :	r_A :
14,40	0,0	0,0
24,00	0,0	$0,2387 \times 10^{-4}$
33,61	0,0013	$0,4073 \times 10^{-5}$
43,21	0,0015	$0,4073 \times 10^{-5}$
52,81	0,0017	$0,4073 \times 10^{-5}$
62,41	0,0019	$0,4073 \times 10^{-5}$
72,01	0,0021	$0,4073 \times 10^{-5}$
81,61	0,0023	$0,4073 \times 10^{-4}$
91,22	0,0025	$0,2795 \times 10^{-5}$
100,82	0,0039	$0,8147 \times 10^{-5}$
110,42	0,0043	$0,8147 \times 10^{-5}$
120,02	0,0047	$0,8147 \times 10^{-5}$
129,62	0,0051	$0,8147 \times 10^{-5}$
139,22	0,0055	$0,8147 \times 10^{-5}$
148,82	0,0059	$0,8147 \times 10^{-5}$
158,43	0,0063	$0,8147 \times 10^{-5}$
168,03	0,0066	$0,8147 \times 10^{-5}$
177,63	0,0070	$0,8147 \times 10^{-5}$
187,23	0,0074	$0,8147 \times 10^{-5}$
196,83	0,0078	$0,8147 \times 10^{-5}$
206,43	0,0082	$0,8147 \times 10^{-5}$
216,04	0,0086	$0,8147 \times 10^{-5}$
225,64	0,0090	$0,8147 \times 10^{-5}$
235,24	0,0094	$0,8147 \times 10^{-5}$
244,84	0,0097	$0,8147 \times 10^{-5}$
254,44	0,0101	$0,8147 \times 10^{-5}$
264,04	0,0105	$0,8147 \times 10^{-5}$
273,65	0,0109	$0,8147 \times 10^{-5}$
283,25	0,0113	$0,8147 \times 10^{-5}$
292,85	0,0117	$0,8147 \times 10^{-5}$
302,45	0,0121	$0,8147 \times 10^{-4}$
312,05	0,0136	$0,8384 \times 10^{-3}$
321,65	0,0179	$0,1438 \times 10^{-3}$
331,26	0,0278	$0,2201 \times 10^{-3}$
340,86	0,0378	$0,2206 \times 10^{-3}$
350,46	0,0501	$0,2253 \times 10^{-3}$
360,06	0,0694	$0,2742 \times 10^{-3}$
369,66	0,0738	$0,2899 \times 10^{-3}$
379,26	0,0869	$0,2625 \times 10^{-3}$
388,86	0,0986	$0,2747 \times 10^{-3}$
398,47	0,1121	$0,2671 \times 10^{-3}$
408,07	0,1263	$0,2834 \times 10^{-3}$
417,67	0,1388	$0,2916 \times 10^{-3}$

T	X	r _A
427,27	0,1519	0,2520 x 10 ⁻³
436,87	0,1651	0,2840 x 10 ⁻³
446,47	0,1788	0,2683 x 10 ⁻³
456,08	0,1904	0,2444 x 10 ⁻³
465,68	0,2020	0,2444 x 10 ⁻³
475,28	0,2136	0,2444 x 10 ⁻³
484,88	0,2252	0,2444 x 10 ⁻³
494,48	0,2368	0,2444 x 10 ⁻³
504,08	0,2484	0,2444 x 10 ⁻³
513,69	0,2600	0,2683 x 10 ⁻³
523,29	0,2729	0,2485 x 10 ⁻³
532,89	0,2858	0,3003 x 10 ⁻³
542,49	0,2991	0,2566 x 10 ⁻³
552,09	0,3124	0,2846 x 10 ⁻³
561,69	0,3260	0,3125 x 10 ⁻³
571,29	0,3410	0,3207 x 10 ⁻³
580,90	0,3552	0,3009 x 10 ⁻³
590,50	0,3720	0,3370 x 10 ⁻³
600,10	0,3869	0,3172 x 10 ⁻³
609,70	0,4019	0,3929 x 10 ⁻³
619,30	0,4199	0,3335 x 10 ⁻³
628,90	0,4394	0,4214 x 10 ⁻³
638,51	0,4585	0,4575 x 10 ⁻³
648,11	0,4796	0,4260 x 10 ⁻³
657,71	0,5025	0,5419 x 10 ⁻³
667,31	0,5266	0,4906 x 10 ⁻³
676,91	0,5527	0,5867 x 10 ⁻³
686,51	0,5824	0,6670 x 10 ⁻³
696,12	0,6138	0,6519 x 10 ⁻³
705,72	0,6490	0,8597 x 10 ⁻³
715,32	0,6913	0,8451 x 10 ⁻³
724,92	0,7347	0,9458 x 10 ⁻³
734,52	0,7806	0,1023 x 10 ⁻²
744,12	0,8303	0,1056 x 10 ⁻²
753,73	0,8815	0,1109 x 10 ⁻²
763,33	0,9340	0,1038 x 10 ⁻³
772,93	0,9755	0,7081 x 10 ⁻³
782,53	0,9930	0,1293 x 10 ⁻⁵
792,13	0,9953	0,8581 x 10 ⁻⁴
801,73	0,9968	0,1303 x 10 ⁻⁴
811,33	0,9973	0,4685 x 10 ⁻⁴
820,94	0,9977	0,2128 x 10 ⁻⁵
830,54	0,9972	0,3856 x 10 ⁻⁵
840,14	0,9984	0,5047 x 10 ⁻⁶

$P_D = 0,4142 \times 10^7$

$k_C = 0,4671 \times 10^{-3}$

Area interfacial = 34,65

TABLA # 50

Extractor Uranio - Experiencia # 16

$\phi_D = 0,10$

$D_L = 0,71$

$V_p = 40$

T :	X :	r _A :	
14,40	0,0	0,0	
24,00	0,0	0,0	
33,61	0,0	0,0	
43,21	0,0	0,0	
52,81	0,0	0,0	
62,41	0,0	0,0	
72,01	0,0	0,0	
81,61	0,0	0,0	
91,22	0,0	0,0	
100,82	0,0	0,0	
110,42	0,0	0,2404	x 10 ⁻⁴
120,02	0,0025	0,5653	x 10 ⁻⁴
129,62	0,0076	0,2417	x 10 ⁻³
139,22	0,0200	0,2075	x 10 ⁻³
148,82	0,0315	0,2611	x 10 ⁻³
158,43	0,0432	0,2864	x 10 ⁻³
168,03	0,0574	0,2679	x 10 ⁻³
177,63	0,0704	0,2889	x 10 ⁻³
187,23	0,0867	0,3185	x 10 ⁻³
196,83	0,0983	0,3269	x 10 ⁻³
206,43	0,1141	0,3239	x 10 ⁻³
216,04	0,1309	0,3691	x 10 ⁻³
225,64	0,1474	0,3619	x 10 ⁻³
235,24	0,1648	0,4028	x 10 ⁻³
244,84	0,1831	0,3476	x 10 ⁻³
254,44	0,1996	0,3800	x 10 ⁻³
264,04	0,2177	0,3687	x 10 ⁻³
273,65	0,2340	0,3488	x 10 ⁻³
283,25	0,2517	0,3573	x 10 ⁻³
292,85	0,2685	0,3615	x 10 ⁻³
302,45	0,2855	0,3897	x 10 ⁻³
312,05	0,3028	0,3459	x 10 ⁻³
321,65	0,3190	0,3459	x 10 ⁻³
331,26	0,3363	0,3741	x 10 ⁻³
340,86	0,3539	0,4024	x 10 ⁻³
350,46	0,3718	0,3826	x 10 ⁻³
360,06	0,3899	0,3868	x 10 ⁻³
369,66	0,4093	0,4193	x 10 ⁻³
379,26	0,4303	0,4560	x 10 ⁻³
388,86	0,4508	0,4644	x 10 ⁻³
398,47	0,4729	0,4530	x 10 ⁻³
408,07	0,4966	0,5420	x 10 ⁻³
417,67	0,5202	0,5547	x 10 ⁻³
427,27	0,5492	0,5842	x 10 ⁻³
436,87	0,5781	0,6816	x 10 ⁻³
446,47	0,6120	0,6956	x 10 ⁻³
456,08	0,6451	0,8213	x 10 ⁻³
465,68	0,6836	0,8394	x 10 ⁻³
475,28	0,7287	0,9706	x 10 ⁻²
484,88	0,7729	0,1041	x 10 ⁻²
494,48	0,8221	0,1024	x 10 ⁻²
504,08	0,8723	0,1098	x 10 ⁻²
513,69	0,9227	0,1044	x 10 ⁻²
523,29	0,9689	0,8731	x 10 ⁻³

T : 532,89	X : 0,9970	$r_A : 0,2016 \times 10^{-3}$
542,49	0,9988	$0,5097 \times 10^{-4}$
552,09	0,9974	$0,4309 \times 10^{-4}$
561,69	0,9977	$0,8388 \times 10^{-5}$
571,29	0,9986	$0,2864 \times 10^{-4}$
580,90	0,9985	$0,1480 \times 10^{-4}$

$P_p = 0,2142 \times 10^7$
 $k_c = 0,4671 \times 10^{-3}$

Area interfacial = 39,76

TABLA # 51

Extractor Uranio - Experiencia # 17

$\phi_D = 0,10$	$D_b = 0,71$	$V_p = 40$
T :	X :	$r_A :$
14,40	0,0	0,0
24,00	0,0	0,0
33,61	0,0	0,0
43,21	0,0	0,0
52,81	0,0	0,0
62,41	0,0	0,0
72,01	0,0	0,0
81,61	0,0	0,0
91,22	0,0	0,0
100,82	0,0	0,0
110,42	0,0	0,0
120,02	0,0	0,0
129,62	0,0	0,0
139,22	0,0	0,0
148,82	0,0	0,0
158,43	0,0	0,0
168,03	0,0	$0,4585 \times 10^{-4}$
177,63	0,0047	$0,1307 \times 10^{-3}$
187,23	0,0114	$0,1966 \times 10^{-3}$
196,83	0,0214	$0,2018 \times 10^{-3}$
206,43	0,0338	$0,2340 \times 10^{-3}$
216,04	0,0452	$0,3039 \times 10^{-3}$
225,64	0,0580	$0,2592 \times 10^{-3}$
235,24	0,0708	$0,2793 \times 10^{-3}$
244,84	0,0833	$0,2954 \times 10^{-3}$
254,44	0,0989	$0,2736 \times 10^{-3}$
264,04	0,1131	$0,3356 \times 10^{-3}$
273,65	0,1293	$0,3786 \times 10^{-3}$
283,25	0,1465	$0,3986 \times 10^{-3}$
292,85	0,1648	$0,3958 \times 10^{-3}$
302,45	0,1863	$0,4468 \times 10^{-3}$
312,05	0,2067	$0,4211 \times 10^{-3}$
321,65	0,2280	$0,4641 \times 10^{-3}$
331,26	0,2479	$0,4761 \times 10^{-3}$
340,86	0,2698	$0,4234 \times 10^{-3}$
350,46	0,2912	$0,4126 \times 10^{-3}$

T :	360,06	X :	0,3106	r _A :	0,4166 x 10 ⁻³
	369,66		0,3301		0,4206 x 10 ⁻³
	379,26		0,3499		0,4246 x 10 ⁻³
	388,86		0,3688		0,4246 x 10 ⁻³
	398,47		0,3900		0,4785 x 10 ⁻³
	408,07		0,4128		0,5135 x 10 ⁻³
	417,67		0,4374		0,4837 x 10 ⁻³
	427,27		0,4603		0,5376 x 10 ⁻³
	436,87		0,4883		0,6075 x 10 ⁻³
	446,47		0,5174		0,6316 x 10 ⁻³
	456,08		0,5487		0,7285 x 10 ⁻³
	465,68		0,5849		0,8145 x 10 ⁻³
	475,28		0,6243		0,8587 x 10 ⁻³
	484,88		0,6712		0,1038 x 10 ⁻²
	494,48		0,7179		0,1021 x 10 ⁻²
	504,08		0,7692		0,1104 x 10 ⁻²
	513,69		0,8243		0,1306 x 10 ⁻²
	523,29		0,8852		0,1287 x 10 ⁻²
	532,89		0,9470		0,1213 x 10 ⁻²
	542,49		0,9889		0,5096 x 10 ⁻³
	552,09		0,9959		0,1026 x 10 ⁻⁴
	561,69		0,9963		0,3817 x 10 ⁻⁴
	571,29		0,9976		0,4434 x 10 ⁻⁴
	580,90		0,9976		0,2915 x 10 ⁻⁴
	590,50		0,9987		0,3207 x 10 ⁻⁴
	600,10		0,9997		0,9275 x 10 ⁻⁵

$P_p = 0,2142 \times 10^7$

$k_c = 0,4671 \times 10^{-3}$

Area interfacial = 42,19

TABLA # 52

Extractor Uranio - Experiencia # 18

$\phi_D = 0,10$

$D_b = 0,89$

$V_p = 20$

T :	14,40	X :	0,0	r _A :	0,0
	24,00		0,0		0,0
	33,61		0,0		0,0
	43,21		0,0		0,0
	52,81		0,0		0,0
	62,41		0,0022		0,4953 x 10 ⁻⁴
	72,01		0,0024		0,4172 x 10 ⁻⁵
	81,61		0,0026		0,4953 x 10 ⁻⁴
	91,22		0,0051		0,8345 x 10 ⁻⁵
	100,82		0,0055		0,8345 x 10 ⁻⁵
	110,42		0,0080		0,5788 x 10 ⁻⁴
	120,02		0,0086		0,1252 x 10 ⁻⁴
	129,62		0,0092		0,1252 x 10 ⁻⁴
	139,22		0,0098		0,1252 x 10 ⁻⁴
	148,82		0,0104		0,1252 x 10 ⁻⁴
	158,43		0,0110		0,1252 x 10 ⁻⁴

T : 168,03	X : 0,0116	r _A : 0,1252 x 10 ⁻⁴
177,63	0,0122	0,1252 x 10 ⁻⁴
187,23	0,0127	0,1252 x 10 ⁻⁴
196,83	0,0133	0,5788 x 10 ⁻⁴
206,43	0,0162	0,1669 x 10 ⁻⁴
216,04	0,0170	0,1669 x 10 ⁻⁴
225,64	0,0178	0,1669 x 10 ⁻⁴
235,24	0,0186	0,1669 x 10 ⁻⁴
244,84	0,0194	0,6205 x 10 ⁻⁴
254,44	0,0225	0,2086 x 10 ⁻⁴
264,04	0,0256	0,7040 x 10 ⁻⁴
273,65	0,0268	0,2503 x 10 ⁻⁴
283,25	0,0280	0,2503 x 10 ⁻⁴
292,85	0,0292	0,7040 x 10 ⁻⁴
302,45	0,0326	0,2921 x 10 ⁻⁴
312,05	0,0340	0,2921 x 10 ⁻⁴
321,65	0,0354	0,2921 x 10 ⁻⁴
331,26	0,0368	0,2921 x 10 ⁻⁴
340,86	0,0381	0,2921 x 10 ⁻⁴
350,46	0,0417	0,7874 x 10 ⁻⁴
360,06	0,0433	0,3338 x 10 ⁻⁴
369,66	0,0470	0,8291 x 10 ⁻⁴
379,26	0,0488	0,3755 x 10 ⁻⁴
388,86	0,0527	0,8709 x 10 ⁻⁴
398,47	0,0547	0,4172 x 10 ⁻⁴
408,07	0,0567	0,4172 x 10 ⁻⁴
417,67	0,0586	0,4172 x 10 ⁻⁴
427,27	0,0606	0,4172 x 10 ⁻⁴
436,87	0,0626	0,4172 x 10 ⁻⁴
446,47	0,0645	0,4172 x 10 ⁻⁴
456,08	0,0687	0,1366 x 10 ⁻³
465,68	0,0731	0,5007 x 10 ⁻⁴
475,28	0,0755	0,5007 x 10 ⁻⁴
484,88	0,0778	0,5007 x 10 ⁻⁴
494,48	0,0802	0,9543 x 10 ⁻⁴
504,08	0,0849	0,5424 x 10 ⁻⁴
513,69	0,0874	0,5424 x 10 ⁻⁴
523,29	0,0900	0,5424 x 10 ⁻⁴
532,89	0,0925	0,5424 x 10 ⁻⁴
542,49	0,0951	0,5424 x 10 ⁻⁴
552,09	0,0976	0,9960 x 10 ⁻⁴
561,69	0,1025	0,5841 x 10 ⁻⁴
571,29	0,1053	0,5841 x 10 ⁻⁴
580,90	0,1102	0,1079 x 10 ⁻³
590,50	0,1131	0,6259 x 10 ⁻⁴
600,10	0,1161	0,1079 x 10 ⁻³
609,70	0,1213	0,6676 x 10 ⁻⁴
619,30	0,1245	0,6676 x 10 ⁻⁴
628,90	0,1276	0,6676 x 10 ⁻⁴
638,51	0,1308	0,6676 x 10 ⁻⁴
648,11	0,1361	0,1163 x 10 ⁻³
657,71	0,1394	0,7093 x 10 ⁻⁴
667,31	0,1450	0,1205 x 10 ⁻³
676,91	0,1485	0,7510 x 10 ⁻⁴

T : 686,51	X : 0,1542	r _A : 0,1700 x 10 ⁻³
696,12	0,1602	0,1288 x 10 ⁻³
705,72	0,1665	0,8762 x 10 ⁻⁴
715,32	0,1706	0,8762 x 10 ⁻⁴
724,92	0,1769	0,1372 x 10 ⁻³
734,52	0,1812	0,1372 x 10 ⁻³
744,12	0,1900	0,1909 x 10 ⁻³
753,73	0,1971	0,1043 x 10 ⁻³
763,33	0,2020	0,1043 x 10 ⁻³
772,93	0,2069	0,1043 x 10 ⁻³
782,53	0,2118	0,1497 x 10 ⁻³
792,13	0,2190	0,1085 x 10 ⁻³
801,73	0,2241	0,1085 x 10 ⁻³
811,33	0,2293	0,1085 x 10 ⁻³
820,94	0,2344	0,1085 x 10 ⁻³
830,54	0,2395	0,1085 x 10 ⁻³
840,14	0,2446	0,1085 x 10 ⁻³
849,74	0,2497	0,1085 x 10 ⁻³
859,34	0,2548	0,1085 x 10 ⁻³
868,94	0,2599	0,1085 x 10 ⁻³
878,55	0,2650	0,1538 x 10 ⁻³
888,15	0,2725	0,1580 x 10 ⁻³
897,75	0,2801	0,1622 x 10 ⁻³
907,35	0,2901	0,1705 x 10 ⁻³
916,95	0,2960	0,2159 x 10 ⁻³
926,55	0,3086	0,1831 x 10 ⁻³
936,16	0,3173	0,2326 x 10 ⁻³
945,76	0,3285	0,1956 x 10 ⁻³
955,36	0,3377	0,1997 x 10 ⁻³
964,96	0,3450	0,1544 x 10 ⁻³
974,56	0,3588	0,3483 x 10 ⁻³
984,16	0,3689	0,1711 x 10 ⁻³
993,77	0,3770	0,1711 x 10 ⁻³
1003,37	0,3872	0,2206 x 10 ⁻³
1012,97	0,3977	0,2248 x 10 ⁻³
1022,57	0,4061	0,1794 x 10 ⁻³
1032,17	0,4146	0,1794 x 10 ⁻³
1041,77	0,4230	0,1794 x 10 ⁻³
1051,38	0,4315	0,1794 x 10 ⁻³
1060,98	0,4400	0,1794 x 10 ⁻³
1070,58	0,4484	0,1794 x 10 ⁻³
1080,18	0,4569	0,1794 x 10 ⁻³
1089,78	0,4653	0,1794 x 10 ⁻³
1099,38	0,4738	0,1794 x 10 ⁻³
1108,98	0,4822	0,1794 x 10 ⁻³
1118,59	0,4907	0,1794 x 10 ⁻³
1128,19	0,4991	0,1794 x 10 ⁻³
1137,79	0,5098	0,2743 x 10 ⁻³
1147,39	0,5207	0,1878 x 10 ⁻³
1156,99	0,5318	0,2373 x 10 ⁻³
1166,59	0,5430	0,2415 x 10 ⁻³
1176,20	0,5544	0,2456 x 10 ⁻³
1185,80	0,5638	0,2456 x 10 ⁻³
1195,40	0,5777	0,2540 x 10 ⁻³

T	X	r _A
1205,00	0,5919	0,3531 x 10 ⁻³
1214,60	0,6066	0,3160 x 10 ⁻³
1224,20	0,6217	0,3244 x 10 ⁻³
1233,81	0,6350	0,2378 x 10 ⁻³
1243,41	0,6484	0,3327 x 10 ⁻³
1253,01	0,6621	0,2462 x 10 ⁻³
1262,61	0,6737	0,2915 x 10 ⁻³
1272,21	0,6876	0,2957 x 10 ⁻³
1281,81	0,7017	0,2545 x 10 ⁻³
1291,41	0,7137	0,2545 x 10 ⁻³
1301,02	0,7257	0,2545 x 10 ⁻³
1310,62	0,7377	0,2545 x 10 ⁻³
1320,22	0,7519	0,3041 x 10 ⁻³
1329,82	0,7641	0,3041 x 10 ⁻³
1339,42	0,7786	0,2629 x 10 ⁻³
1349,02	0,7931	0,3124 x 10 ⁻³
1358,63	0,8079	0,3166 x 10 ⁻³
1368,23	0,8207	0,3166 x 10 ⁻³
1377,83	0,8379	0,3249 x 10 ⁻³
1387,43	0,8555	0,3786 x 10 ⁻³
1397,03	0,8690	0,3333 x 10 ⁻³
1406,63	0,8849	0,2921 x 10 ⁻³
1416,24	0,8987	0,2921 x 10 ⁻³
1425,84	0,9124	0,2921 x 10 ⁻³
1435,44	0,9262	0,2921 x 10 ⁻³
1445,04	0,9400	0,2921 x 10 ⁻³
1454,64	0,9537	0,2921 x 10 ⁻³
1464,24	0,9675	0,2013 x 10 ⁻³
1473,85	0,9745	0,1888 x 10 ⁻³
1483,45	0,9832	0,2258 x 10 ⁻³
1493,05	0,9916	0,1268 x 10 ⁻⁴
1502,65	0,9974	0,6890 x 10 ⁻⁵
1512,25	1,0002	0,6852 x 10 ⁻⁵

$P_p = 0,1084 \times 10^6$

$k_c = 0,2216 \times 10^{-3}$

Area interfacial = 9,76

TABLA # 53

Extractor Uranio - Experiencia # 19

$\hat{c}_D = 0,10$

$D_b = 0,89$

$V_p = 30$

T	X	r _A
1,00	0,0	0,0
24,00	0,0	0,0
33,61	0,0	0,0
43,21	0,0	0,0
52,81	0,0	0,0
62,41	0,0	0,0
72,01	0,0	0,0
81,61	0,0	0,0
91,22	0,0	0,0
100,82	0,0	0,0

T :	110,42	X :	0,0	r _A :	0,0
	120,02		0,0		0,0
	129,62		0,0		0,0
	139,22		0,0		0,0
	148,82		0,0		0,3363 x 10 ⁻⁴
	158,43		0,0033		0,7643 x 10 ⁻⁴
	168,03		0,0055		0,4739 x 10 ⁻⁴
	177,63		0,0079		0,1834 x 10 ⁻⁴
	187,23		0,0104		0,5656 x 10 ⁻⁴
	196,83		0,0114		0,5656 x 10 ⁻⁴
	206,43		0,0142		0,6114 x 10 ⁻⁴
	216,04		0,0173		0,3210 x 10 ⁻⁴
	225,64		0,0188		0,6573 x 10 ⁻⁴
	235,24		0,0220		0,3668 x 10 ⁻⁴
	244,84		0,0237		0,7031 x 10 ⁻⁴
	254,44		0,0272		0,4127 x 10 ⁻⁴
	264,04		0,0307		0,7948 x 10 ⁻⁴
	273,65		0,0344		0,8407 x 10 ⁻⁴
	283,25		0,0368		0,8407 x 10 ⁻⁴
	292,85		0,0409		0,5502 x 10 ⁻⁴
	302,45		0,0450		0,9324 x 10 ⁻⁴
	312,05		0,0494		0,9782 x 10 ⁻⁴
	321,65		0,0540		0,1360 x 10 ⁻³
	331,26		0,0590		0,7336 x 10 ⁻⁴
	340,86		0,0624		0,7336 x 10 ⁻⁴
	350,46		0,0658		0,7336 x 10 ⁻³
	360,06		0,0692		0,1070 x 10 ⁻⁴
	369,66		0,0744		0,7795 x 10 ⁻³
	379,26		0,0780		0,1116 x 10 ⁻⁴
	388,86		0,0834		0,8253 x 10 ⁻³
	398,47		0,0888		0,1207 x 10 ⁻³
	408,07		0,0929		0,1207 x 10 ⁻³
	417,67		0,0987		0,1253 x 10 ⁻³
	427,27		0,1047		0,9629 x 10 ⁻⁴
	436,87		0,1092		0,9629 x 10 ⁻⁴
	446,47		0,1153		0,1345 x 10 ⁻³
	456,08		0,1200		0,1345 x 10 ⁻³
	465,68		0,1264		0,1391 x 10 ⁻³
	475,28		0,1331		0,1437 x 10 ⁻³
	484,88		0,1400		0,1483 x 10 ⁻³
	494,48		0,1470		0,1528 x 10 ⁻³
	504,08		0,1543		0,1238 x 10 ⁻³
	513,69		0,1617		0,1956 x 10 ⁻³
	523,29		0,1710		0,1712 x 10 ⁻³
	532,89		0,1774		0,1376 x 10 ⁻³
	542,49		0,1855		0,1758 x 10 ⁻³
	552,09		0,1937		0,2140 x 10 ⁻³
	561,69		0,2039		0,2232 x 10 ⁻³
	571,29		0,2129		0,1605 x 10 ⁻³
	580,90		0,2203		0,1605 x 10 ⁻³
	590,50		0,2278		0,2277 x 10 ⁻³
	600,10		0,2388		0,1697 x 10 ⁻³
	609,70		0,2467		0,1697 x 10 ⁻³
	619,30		0,2546		0,1697 x 10 ⁻³
	628,90		0,2625		0,1697 x 10 ⁻³

T :	638,51	X :	0,2704	r _A :	0,1697 x 10 ⁻³
	648,11		0,2783		0,1697 x 10 ⁻³
	657,71		0,2862		0,1697 x 10 ⁻³
	667,31		0,2941		0,1697 x 10 ⁻³
	676,91		0,3020		0,1697 x 10 ⁻³
	686,51		0,3099		0,1697 x 10 ⁻³
	696,12		0,3178		0,1697 x 10 ⁻³
	705,72		0,3257		0,1697 x 10 ⁻³
	715,32		0,3336		0,2033 x 10 ⁻³
	724,92		0,3433		0,2415 x 10 ⁻³
	734,52		0,3549		0,2170 x 10 ⁻³
	744,12		0,3652		0,1880 x 10 ⁻³
	753,73		0,3755		0,2262 x 10 ⁻³
	763,33		0,3845		0,1926 x 10 ⁻³
	772,93		0,3935		0,2262 x 10 ⁻³
	782,53		0,4042		0,2308 x 10 ⁻³
	792,13		0,4167		0,2736 x 10 ⁻³
	801,73		0,4281		0,2445 x 10 ⁻³
	811,33		0,4397		0,2155 x 10 ⁻³
	820,94		0,4513		0,3210 x 10 ⁻³
	830,54		0,4650		0,2293 x 10 ⁻³
	840,14		0,4773		0,3347 x 10 ⁻³
	849,74		0,4933		0,2812 x 10 ⁻³
	859,34		0,5064		0,2858 x 10 ⁻³
	868,94		0,5198		0,3240 x 10 ⁻³
	878,55		0,5351		0,4005 x 10 ⁻³
	888,15		0,5527		0,3133 x 10 ⁻³
	897,75		0,5675		0,3515 x 10 ⁻³
	907,35		0,5874		0,3699 x 10 ⁻³
	916,95		0,6031		0,3745 x 10 ⁻³
	926,55		0,6224		0,4219 x 10 ⁻³
	936,16		0,6423		0,4356 x 10 ⁻³
	945,76		0,6613		0,4448 x 10 ⁻³
	955,36		0,6808		0,3867 x 10 ⁻³
	964,96		0,7038		0,5059 x 10 ⁻³
	974,56		0,7228		0,4769 x 10 ⁻³
	984,16		0,7472		0,4616 x 10 ⁻³
	993,77		0,7737		0,5518 x 10 ⁻³
	1003,37		0,7931		0,5181 x 10 ⁻³
	1012,97		0,8178		0,4310 x 10 ⁻³
	1022,57		0,8411		0,5074 x 10 ⁻³
	1032,17		0,8632		0,5120 x 10 ⁻³
	1041,77		0,8921		0,6022 x 10 ⁻³
	1051,38		0,9155		0,4723 x 10 ⁻³
	1060,98		0,9357		0,4677 x 10 ⁻³
	1070,58		0,9575		0,4677 x 10 ⁻³
	1080,18		0,9745		0,2858 x 10 ⁻³
	1089,78		0,9889		0,2674 x 10 ⁻³
	1099,38		0,9960		0,6261 x 10 ⁻⁴
	1108,98		0,9978		0,1676 x 10 ⁻⁴
	1118,59		0,9959		0,4666 x 10 ⁻⁷

$$P_p = 0,3659 \times 10^6$$

$$k_c = 0,3003 \times 10^{-3}$$

Area interfacial = 15,13

TABLA # 54

Extractor Uranio - Experiencia # 20

$\phi_D = 0,10$

$D_b = 0,89$

$V_p = 40$

T :	X :	r_A :
14,40	0,0	0,0
24,00	0,0	0,0
33,61	0,0	0,0
43,21	0,0	0,0
52,81	0,0	0,0
62,41	0,0	0,0
72,01	0,0	0,0
81,61	0,0	0,0
91,22	0,0	0,0
100,82	0,0	0,0
110,42	0,0	0,0
120,02	0,0	0,0
129,62	0,0	0,0
139,22	0,0012	0,5521 x 10 ⁻⁴
148,82	0,0028	0,3374 x 10 ⁻⁴
158,43	0,0045	0,1228 x 10 ⁻⁴
168,03	0,0063	0,4193 x 10 ⁻⁴
177,63	0,0083	0,7158 x 10 ⁻⁴
187,23	0,0119	0,7977 x 10 ⁻⁴
196,83	0,0170	0,1176 x 10 ⁻³
206,43	0,0216	0,1002 x 10 ⁻³
216,04	0,0252	0,5321 x 10 ⁻³
225,64	0,0302	0,1125 x 10 ⁻³
235,24	0,0343	0,9105 x 10 ⁻⁴
244,84	0,0386	0,9514 x 10 ⁻⁴
254,44	0,0431	0,9924 x 10 ⁻⁴
264,04	0,0478	0,1033 x 10 ⁻³
273,65	0,0526	0,1330 x 10 ⁻³
283,25	0,0591	0,1156 x 10 ⁻³
292,85	0,0645	0,1197 x 10 ⁻³
302,45	0,0702	0,1238 x 10 ⁻³
312,05	0,0748	0,9824 x 10 ⁻⁴
321,65	0,0806	0,1279 x 10 ⁻³
331,26	0,0854	0,1023 x 10 ⁻³
340,86	0,0915	0,1320 x 10 ⁻³
350,46	0,0989	0,1913 x 10 ⁻³
360,06	0,1056	0,1187 x 10 ⁻³
369,66	0,1124	0,1484 x 10 ⁻³
379,26	0,1194	0,1524 x 10 ⁻³
388,86	0,1266	0,1821 x 10 ⁻³
398,47	0,1353	0,1903 x 10 ⁻³
408,07	0,1432	0,1688 x 10 ⁻³
417,67	0,1513	0,1985 x 10 ⁻³

T :	427,27	X :	0,1609	r _A :	0,1555 x 10 ⁻³
	436,87		0,1695		0,2108 x 10 ⁻³
	446,47		0,1795		0,2189 x 10 ⁻³
	456,08		0,1888		0,1975 x 10 ⁻³
	465,68		0,1994		0,2312 x 10 ⁻³
	475,28		0,2092		0,1842 x 10 ⁻³
	484,88		0,2191		0,2650 x 10 ⁻³
	494,48		0,2319		0,2261 x 10 ⁻³
	504,08		0,2425		0,2302 x 10 ⁻³
	513,69		0,2534		0,2599 x 10 ⁻³
	523,29		0,2645		0,2128 x 10 ⁻³
	532,89		0,2745		0,2128 x 10 ⁻³
	542,49		0,2845		0,2128 x 10 ⁻³
	552,09		0,2945		0,2128 x 10 ⁻³
	561,69		0,3044		0,2128 x 10 ⁻³
	571,29		0,3144		0,2128 x 10 ⁻³
	580,90		0,3244		0,2128 x 10 ⁻³
	590,50		0,3344		0,2128 x 10 ⁻³
	600,10		0,3444		0,2128 x 10 ⁻³
	609,70		0,3544		0,2128 x 10 ⁻³
	619,30		0,3643		0,2128 x 10 ⁻³
	628,90		0,3743		0,2128 x 10 ⁻³
	638,51		0,3843		0,2128 x 10 ⁻³
	648,11		0,3943		0,2128 x 10 ⁻³
	657,71		0,4055		0,2425 x 10 ⁻³
	667,31		0,4169		0,2722 x 10 ⁻³
	676,91		0,4286		0,2251 x 10 ⁻³
	686,51		0,4392		0,2251 x 10 ⁻³
	696,12		0,4510		0,3059 x 10 ⁻³
	705,72		0,4657		0,2926 x 10 ⁻³
	715,32		0,4784		0,2967 x 10 ⁻³
	724,92		0,4939		0,2834 x 10 ⁻³
	734,52		0,5072		0,3131 x 10 ⁻³
	744,12		0,5233		0,3765 x 10 ⁻³
	753,73		0,5401		0,3376 x 10 ⁻³
	763,33		0,5574		0,3755 x 10 ⁻³
	772,93		0,5727		0,3540 x 10 ⁻³
	782,53		0,5921		0,3959 x 10 ⁻³
	792,13		0,6121		0,4634 x 10 ⁻³
	801,73		0,6318		0,4502 x 10 ⁻³
	811,33		0,6547		0,4706 x 10 ⁻³
	820,94		0,6772		0,4614 x 10 ⁻³
	830,54		0,7003		0,5289 x 10 ⁻³
	840,14		0,7243		0,4942 x 10 ⁻³
	849,74		0,7464		0,4768 x 10 ⁻³
	859,34		0,7678		0,5576 x 10 ⁻³
	868,94		0,7984		0,5648 x 10 ⁻³
	878,55		0,8227		0,5730 x 10 ⁻³
	888,15		0,8525		0,6231 x 10 ⁻³
	897,75		0,8809		0,5628 x 10 ⁻³
	907,35		0,9099		0,6303 x 10 ⁻³

T :	916,95	X :	0,9346	r _A :	0,5280 x 10 ⁻³
	926,55		0,9594		0,4258 x 10 ⁻³
	936,16		0,9775		0,3542 x 10 ⁻³
	945,76		0,9859		0,1262 x 10 ⁻³
	955,36		0,9919		0,1026 x 10 ⁻³
	964,96		0,9931		0,1976 x 10 ⁻⁴
	974,56		0,9966		0,5551 x 10 ⁻⁴
	984,16		0,9983		0,4013 x 10 ⁻⁴
	993,77		0,9981		0,2476 x 10 ⁻⁴

$P_p = 0,8674 \times 10^6$

$k_c = 0,3726 \times 10^{-3}$

Area interfacial = 19,04

TABLA # 55

Extractor Uranio - Experiencia # 21

$\phi_D = 0,10$

$D_b = 0,39$

$V_p = 50$

T :	14,40	X :	0,0	r _A :	0,0
	24,00		0,0		0,0
	33,61		0,0		0,0
	43,21		0,0		0,0
	52,81		0,0		0,0
	62,41		0,0		0,0
	72,01		0,0		0,4753 x 10 ⁻⁴
	81,61		0,0049		0,1361 x 10 ⁻³
	91,22		0,0107		0,1534 x 10 ⁻³
	100,82		0,0186		0,1038 x 10 ⁻³
	110,42		0,0249		0,1643 x 10 ⁻³
	120,02		0,0341		0,1859 x 10 ⁻³
	129,62		0,0408		0,1708 x 10 ⁻³
	139,22		0,0492		0,1600 x 10 ⁻³
	148,82		0,0581		0,2443 x 10 ⁻³
	158,43		0,0690		0,1665 x 10 ⁻³
	168,03		0,0792		0,2270 x 10 ⁻³
	177,63		0,0876		0,2076 x 10 ⁻³
	187,23		0,0976		0,2400 x 10 ⁻³
	196,83		0,1093		0,2292 x 10 ⁻³
	206,43		0,1202		0,2617 x 10 ⁻³
	216,04		0,1329		0,2509 x 10 ⁻³
	225,64		0,1449		0,2595 x 10 ⁻³
	235,24		0,1585		0,2963 x 10 ⁻³
	244,84		0,1738		0,3373 x 10 ⁻³
	254,44		0,1876		0,3222 x 10 ⁻³
	264,04		0,2031		0,3114 x 10 ⁻³
	273,65		0,2179		0,3676 x 10 ⁻³
	283,25		0,2358		0,3374 x 10 ⁻³
	292,85		0,2518		0,3698 x 10 ⁻³

T :	X :	r _A :
302,45	0,2696	0,3353 x 10 ⁻³
312,05	0,2842	0,3115 x 10 ⁻³
321,65	0,2989	0,3115 x 10 ⁻³
331,26	0,3135	0,3115 x 10 ⁻³
340,86	0,3281	0,3115 x 10 ⁻³
350,46	0,3428	0,3115 x 10 ⁻³
360,06	0,3574	0,3115 x 10 ⁻³
369,66	0,3721	0,3115 x 10 ⁻³
379,26	0,3867	0,3115 x 10 ⁻³
388,86	0,4013	0,3353 x 10 ⁻³
398,47	0,4173	0,3158 x 10 ⁻³
408,07	0,4344	0,3958 x 10 ⁻³
417,67	0,4521	0,3807 x 10 ⁻³
427,27	0,4702	0,4368 x 10 ⁻³
436,87	0,4913	0,4066 x 10 ⁻³
446,47	0,5129	0,5190 x 10 ⁻³
456,08	0,5367	0,5406 x 10 ⁻³
465,68	0,5617	0,5622 x 10 ⁻³
475,28	0,5890	0,6357 x 10 ⁻³
484,88	0,6224	0,6552 x 10 ⁻³
494,48	0,6563	0,7655 x 10 ⁻³
504,08	0,6921	0,8044 x 10 ⁻³
513,69	0,7323	0,8520 x 10 ⁻³
523,29	0,7745	0,9471 x 10 ⁻³
532,89	0,8213	0,1027 x 10 ⁻²
542,49	0,8709	0,1083 x 10 ⁻²
552,09	0,9230	0,1068 x 10 ⁻²
561,69	0,9671	0,7767 x 10 ⁻³
571,29	0,9914	0,2214 x 10 ⁻³
580,90	0,9932	0,4837 x 10 ⁻⁴
590,50	0,9942	0,1150 x 10 ⁻⁴
600,10	0,9972	0,2436 x 10 ⁻⁴
609,70	0,9986	0,2211 x 10 ⁻⁴
619,30	0,9990	0,4744 x 10 ⁻⁵

$P_p = 0,1694 \times 10^7$

$k_c = 0,4405 \times 10^{-3}$

Area interfacial = 30,87

TABLA # 56

Extractor Uranio - Experiencia # 22

$\phi_{D_r} = 0,20$

$D_b = 0,50$

$V_p = 20$

T :	X :	r _A :
14,40	0,0	0,4786 x 10 ⁻⁴
24,00	0,0018	0,3417 x 10 ⁻⁴
33,61	0,0021	0,8203 x 10 ⁻⁴
43,21	0,0077	0,2563 x 10 ⁻³
52,81	0,0140	0,3349 x 10 ⁻³

T :	62,41	X :	0,0211	r _A :	0,3177 x 10 ⁻³
	72,01		0,0296		0,3040 x 10 ⁻³
	81,61		0,0369		0,3757 x 10 ⁻³
	91,22		0,0444		0,3244 x 10 ⁻³
	100,82		0,0535		0,3757 x 10 ⁻³
	110,42		0,0614		0,3688 x 10 ⁻³
	120,02		0,0698		0,3140 x 10 ⁻³
	129,62		0,0785		0,3790 x 10 ⁻³
	139,22		0,0876		0,4439 x 10 ⁻³
	148,82		0,0972		0,3652 x 10 ⁻³
	158,43		0,1071		0,4780 x 10 ⁻³
	168,03		0,1175		0,3994 x 10 ⁻³
	177,63		0,1282		0,4403 x 10 ⁻³
	187,23		0,1376		0,4711 x 10 ⁻³
	196,83		0,1501		0,4950 x 10 ⁻³
	206,43		0,1619		0,5360 x 10 ⁻³
	216,04		0,1748		0,5804 x 10 ⁻³
	225,64		0,1882		0,5769 x 10 ⁻³
	235,24		0,2015		0,5940 x 10 ⁻³
	244,84		0,2170		0,6213 x 10 ⁻³
	254,44		0,2324		0,6691 x 10 ⁻³
	264,04		0,2473		0,6622 x 10 ⁻³
	273,65		0,2631		0,6348 x 10 ⁻³
	283,25		0,2771		0,5459 x 10 ⁻³
	292,85		0,2899		0,4741 x 10 ⁻³
	302,45		0,2998		0,4810 x 10 ⁻³
	312,05		0,3116		0,4537 x 10 ⁻³
	321,65		0,3222		0,4674 x 10 ⁻³
	331,26		0,3337		0,5118 x 10 ⁻³
	340,86		0,3446		0,4571 x 10 ⁻³
	350,46		0,3559		0,4776 x 10 ⁻³
	360,06		0,3671		0,4742 x 10 ⁻³
	369,66		0,3788		0,4982 x 10 ⁻³
	379,26		0,3911		0,5255 x 10 ⁻³
	388,86		0,4035		0,5289 x 10 ⁻³
	398,47		0,4154		0,5050 x 10 ⁻³
	408,07		0,4285		0,5836 x 10 ⁻³
	417,67		0,4423		0,6656 x 10 ⁻³
	427,27		0,4583		0,6622 x 10 ⁻³
	436,87		0,4752		0,7579 x 10 ⁻³
	446,47		0,4940		0,7646 x 10 ⁻³
	456,08		0,5116		0,7372 x 10 ⁻³
	465,68		0,5291		0,8500 x 10 ⁻³
	475,28		0,5478		0,7748 x 10 ⁻³
	484,88		0,5680		0,8021 x 10 ⁻³
	494,48		0,5882		0,9217 x 10 ⁻³
	504,08		0,6084		0,9661 x 10 ⁻³
	513,69		0,6334		0,1058 x 10 ⁻²
	523,29		0,6582		0,1144 x 10 ⁻²
	532,89		0,6841		0,1038 x 10 ⁻²
	542,49		0,7118		0,1154 x 10 ⁻²
	552,09		0,7371		0,1082 x 10 ⁻²

T :	561,69	X :	0,7628	r _A :	0,1130 x 10 ⁻²
	571,29		0,7892		0,1130 x 10 ⁻²
	580,90		0,8168		0,1133 x 10 ⁻²
	590,50		0,8420		0,9519 x 10 ⁻³
	600,10		0,8648		0,1020 x 10 ⁻²
	609,70		0,8883		0,1020 x 10 ⁻²
	619,30		0,9118		0,9724 x 10 ⁻³
	628,90		0,9352		0,9245 x 10 ⁻³
	638,51		0,9557		0,8118 x 10 ⁻³
	648,11		0,9750		0,8152 x 10 ⁻³
	657,71		0,9886		0,3333 x 10 ⁻³
	667,31		0,9931		0,1660 x 10 ⁻³

$P_p = 0,1054 \times 10^7$

$k_c = 0,3012 \times 10^{-3}$

Area interfacial = 55,31

TABLA # 57

Extractor Uranio - Experiencia # 23

$\phi_D = 0,20$

$D_b = 0,50$

$V_p = 30$

T :	14,40	X :	0,0	r _A :	0,0
	24,00		0,0		0,0
	33,61		0,0		0,0
	43,21		0,0		0,0
	52,81		0,0		0,0
	62,41		0,0044		0,3958 x 10 ⁻³
	72,01		0,0128		0,3131 x 10 ⁻³
	81,61		0,0213		0,4716 x 10 ⁻³
	91,22		0,0354		0,4589 x 10 ⁻³
	100,82		0,0442		0,5557 x 10 ⁻³
	110,42		0,0603		0,7430 x 10 ⁻³
	120,02		0,0792		0,8705 x 10 ⁻³
	129,62		0,1001		0,9072 x 10 ⁻³
	139,22		0,1229		0,1012 x 10 ⁻²
	148,82		0,1466		0,1086 x 10 ⁻²
	158,43		0,1737		0,1172 x 10 ⁻²
	168,03		0,2028		0,1190 x 10 ⁻²
	177,63		0,2304		0,1229 x 10 ⁻²
	187,23		0,2568		0,1111 x 10 ⁻²
	196,83		0,2830		0,1031 x 10 ⁻²
	206,43		0,3074		0,1002 x 10 ⁻²
	216,04		0,3300		0,9566 x 10 ⁻³
	225,64		0,3525		0,9566 x 10 ⁻³
	235,24		0,3750		0,9566 x 10 ⁻³
	244,84		0,3992		0,1105 x 10 ⁻²
	254,44		0,4250		0,1148 x 10 ⁻²
	264,04		0,4541		0,1280 x 10 ⁻²
	273,65		0,4864		0,1406 x 10 ⁻²

T :	283,25	X :	0,5213	r _A :	0,1607 x 10 ⁻²
	292,85		0,5590		0,1636 x 10 ⁻²
	302,45		0,6023		0,1852 x 10 ⁻²
	312,05		0,6468		0,2060 x 10 ⁻²
	321,65		0,6955		0,2212 x 10 ⁻²
	331,26		0,7481		0,2236 x 10 ⁻²
	340,86		0,8021		0,2252 x 10 ⁻²
	350,46		0,8573		0,2373 x 10 ⁻²
	360,06		0,9120		0,2179 x 10 ⁻²
	369,66		0,9603		0,1950 x 10 ⁻²
	379,26		0,9951		0,6885 x 10 ⁻³
	388,86		0,9966		0,1955 x 10 ⁻⁴
	398,47		0,9979		0,9295 x 10 ⁻⁴
	408,07		0,9987		0,1557 x 10 ⁻⁴
	417,67		0,9997		0,2181 x 10 ⁻⁵

$P_p = 0,3557 \times 10^7$

$k_c = 0,5303 \times 10^{-3}$

Area interfacial = 103,58

TABLA # 58

Extractor Uranio - Experiencia # 24

$\phi_D = 0,20$

$D_b = 0,50$

$V_p = 40$

T :	14,40	X :	0,0	r _A :	0,0
	24,00		0,0		0,0
	33,61		0,0		0,0
	43,21		0,0		0,0
	52,81		0,0		0,0
	62,41		0,0		0,0
	72,01		0,0		0,0
	81,61		0,0		0,0
	91,22		0,0		0,2750 x 10 ⁻⁴
	100,82		0,0041		0,2469 x 10 ⁻³
	110,42		0,0143		0,8048 x 10 ⁻³
	120,02		0,0348		0,8113 x 10 ⁻³
	129,62		0,0565		0,1056 x 10 ⁻²
	139,22		0,0830		0,1150 x 10 ⁻²
	148,82		0,1109		0,1235 x 10 ⁻²
	158,43		0,1421		0,1379 x 10 ⁻²
	168,03		0,1788		0,1761 x 10 ⁻²
	177,63		0,2204		0,1767 x 10 ⁻²
	187,23		0,2638		0,1791 x 10 ⁻²
	196,83		0,3035		0,1633 x 10 ⁻²
	206,43		0,3397		0,1385 x 10 ⁻²
	216,04		0,3741		0,1393 x 10 ⁻²
	225,64		0,4045		0,1370 x 10 ⁻²
	235,24		0,4372		0,1333 x 10 ⁻²

T :	X :	r _A :
244,84	0,4695	0,1429 x 10 ⁻²
254,44	0,5029	0,1474 x 10 ⁻²
264,04	0,5403	0,1570 x 10 ⁻²
273,65	0,5792	0,1725 x 10 ⁻²
283,25	0,6219	0,1897 x 10 ⁻²
292,85	0,6677	0,2024 x 10 ⁻²
302,45	0,7192	0,2343 x 10 ⁻²
312,05	0,7754	0,2400 x 10 ⁻²
321,65	0,8362	0,2580 x 10 ⁻²
331,26	0,8985	0,2670 x 10 ⁻²
340,86	0,9588	0,2397 x 10 ⁻²
350,46	1,0039	0,9951 x 10 ⁻³
360,06	1,0073	0,1170 x 10 ⁻³
369,66	1,0037	0,1289 x 10 ⁻³
379,26	1,0031	0,2308 x 10 ⁻⁴
388,86	1,0007	0,3234 x 10 ⁻⁴
398,47	1,0014	0,4728 x 10 ⁻⁴
408,07	1,0005	0,3375 x 10 ⁻⁴

$P_p = 0,8432 \times 10^7$

$k_c = 0,6580 \times 10^{-3}$

Area interfacial = 144,43

TABLA # 59

Extractor Uranio - Experiencia # 25

$\phi_D = 0,30$

$D_b = 0,50$

$V_p = 20$

T :	X :	r _A :
14,40	0,0	0,0
24,00	0,0	0,0
33,61	0,0	0,0
43,21	0,0	0,0
52,81	0,0	0,0
62,41	0,0	0,0
72,01	0,0	0,0
81,61	0,0	0,0
91,22	0,0277	0,2173 x 10 ⁻²
100,82	0,0373	0,6509 x 10 ⁻³
110,42	0,0480	0,6535 x 10 ⁻³
120,02	0,0591	0,7011 x 10 ⁻³
129,62	0,0710	0,6762 x 10 ⁻³
139,22	0,0818	0,8309 x 10 ⁻³
148,82	0,0950	0,8060 x 10 ⁻³
158,43	0,1104	0,8671 x 10 ⁻³
168,03	0,1238	0,1049 x 10 ⁻²
177,63	0,1400	0,1080 x 10 ⁻²
187,23	0,1567	0,1106 x 10 ⁻²
196,83	0,1765	0,1274 x 10 ⁻²
206,43	0,1979	0,1373 x 10 ⁻²
216,04	0,2180	0,1476 x 10 ⁻²

T :	225,64	X :	0,2463	r _A :	0,1881 x 10 ⁻²
	235,24		0,2734		0,1752 x 10 ⁻²
	244,84		0,3084		0,2574 x 10 ⁻²
	254,44		0,3473		0,2416 x 10 ⁻²
	264,04		0,3905		0,3000 x 10 ⁻²
	273,65		0,4440		0,3286 x 10 ⁻²
	283,25		0,4971		0,3490 x 10 ⁻²
	292,85		0,5510		0,3577 x 10 ⁻²
	302,45		0,6067		0,3750 x 10 ⁻²
	312,05		0,6587		0,3238 x 10 ⁻²
	321,56		0,7077		0,3023 x 10 ⁻²
	331,26		0,7632		0,3024 x 10 ⁻²
	340,86		0,8030		0,2735 x 10 ⁻²
	350,46		0,8428		0,2446 x 10 ⁻²
	360,06		0,8829		0,2477 x 10 ⁻²
	369,66		0,9203		0,1981 x 10 ⁻²
	379,26		0,9543		0,1875 x 10 ⁻²
	388,86		0,9807		0,1714 x 10 ⁻²

$P_p = 0,1020 \times 10^7$

$k_c = 0,3880 \times 10^{-3}$

Area interfacial = 99,86

TABLA # 60

Extractor Uranio - Experiencia # 26

$\phi_D = 0,30$

$D_b = 0,50$

$V_p = 30$

T :	14,40	X :	0,0	r _A :	0,2205 x 10 ⁻⁴
	24,00		0,0008		0,1181 x 10 ⁻³
	33,61		0,0043		0,2639 x 10 ⁻³
	43,21		0,0141		0,1002 x 10 ⁻²
	52,81		0,0299		0,1078 x 10 ⁻²
	62,41		0,0484		0,1114 x 10 ⁻²
	72,01		0,0667		0,1280 x 10 ⁻²
	81,61		0,0871		0,1337 x 10 ⁻²
	91,22		0,1083		0,1403 x 10 ⁻²
	100,82		0,1319		0,1610 x 10 ⁻²
	110,42		0,1582		0,1714 x 10 ⁻²
	120,02		0,1875		0,2095 x 10 ⁻²
	129,62		0,2211		0,2297 x 10 ⁻²
	139,22		0,2622		0,2731 x 10 ⁻²
	148,82		0,3093		0,3545 x 10 ⁻²
	158,43		0,3709		0,4007 x 10 ⁻²
	168,03		0,4375		0,4244 x 10 ⁻²
	177,63		0,4964		0,3678 x 10 ⁻²
	187,23		0,5561		0,3551 x 10 ⁻²
	196,83		0,6083		0,3339 x 10 ⁻²
	206,43		0,6603		0,3134 x 10 ⁻²
	216,04		0,7072		0,2557 x 10 ⁻²

T :	225,64	X :	0,7443	r _A :	0,2542 x 10 ⁻²
	235,24		0,7866		0,3128 x 10 ⁻²
	244,84		0,8360		0,2907 x 10 ⁻²
	254,44		0,8806		0,2741 x 10 ⁻²
	264,04		0,9235		0,2449 x 10 ⁻²
	273,65		0,9587		0,2081 x 10 ⁻²
	283,25		0,9870		0,1483 x 10 ⁻²
	292,85		1,0006		0,2903 x 10 ⁻³
	302,45		1,0004		0,1369 x 10 ⁻³
	312,05		0,9993		0,1085 x 10 ⁻³

$$P_p = 0,3441 \times 10^7$$

$$k_c = 0,5259 \times 10^{-3}$$

Area interfacial = 161,52

TABLA # 61

Extractor Uranio - Experiencia # 27

$$\phi_D = 0,30$$

$$D_b = 0,50$$

$$V_p = 40$$

T :	14,40	X :	0,0	r _A :	0,0
	24,00		0,0		0,0
	33,61		0,0023		0,4326 x 10 ⁻³
	43,21		0,0134		0,9291 x 10 ⁻³
	52,81		0,0316		0,1315 x 10 ⁻²
	62,41		0,0522		0,1291 x 10 ⁻²
	72,01		0,0746		0,1472 x 10 ⁻²
	81,61		0,0978		0,1613 x 10 ⁻²
	91,22		0,1257		0,1803 x 10 ⁻²
	100,82		0,1553		0,2057 x 10 ⁻²
	110,42		0,1904		0,2293 x 10 ⁻²
	120,02		0,2268		0,2321 x 10 ⁻²
	129,62		0,2635		0,2250 x 10 ⁻²
	139,22		0,2975		0,2127 x 10 ⁻²
	148,82		0,3305		0,2074 x 10 ⁻²
	158,43		0,3625		0,1926 x 10 ⁻²
	168,03		0,3918		0,1863 x 10 ⁻²
	177,63		0,4213		0,1872 x 10 ⁻²
	187,23		0,4506		0,1829 x 10 ⁻²
	196,83		0,4794		0,1853 x 10 ⁻²
	206,43		0,5099		0,1918 x 10 ⁻²
	216,04		0,5390		0,1918 x 10 ⁻²
	225,64		0,5703		0,2107 x 10 ⁻²
	235,24		0,6059		0,2221 x 10 ⁻²
	244,84		0,6406		0,2241 x 10 ⁻²
	254,44		0,6771		0,2346 x 10 ⁻²
	264,04		0,7150		0,2479 x 10 ⁻²
	273,65		0,7547		0,2573 x 10 ⁻²
	283,25		0,7963		0,2699 x 10 ⁻²
	292,85		0,8399		0,2787 x 10 ⁻²

T :	302,45	X :	0,8846	r _A :	0,2847 x 10 ⁻²
	312,05		0,9285		0,2717 x 10 ⁻²
	321,65		0,9698		0,2380 x 10 ⁻²
	331,26		1,0000		0,1132 x 10 ⁻²
	340,86		1,0067		0,3399 x 10 ⁻⁴
	350,46		1,0041		0,7586 x 10 ⁻⁴
	360,06		1,0025		0,1395 x 10 ⁻³
	369,66		1,0017		0,6994 x 10 ⁻⁴

$P_p = 0,8156$ $\rho_c = 0,6525 \times 10^{-3}$

Area interfacial = 180,62

TABLA # 62.

Extractor Uranio - Experiencia # 28

$\phi_D = 0,40$

$D_b = 0,50$

$V_p = 20$

T :	14,40	X :	0,0	r _A :	0,0
	24,00		0,0		0,0
	33,61		0,0		0,0
	43,21		0,0		0,0
	52,81		0,0		0,0
	62,41		0,0		0,0
	72,01		0,0		0,0
	81,61		0,0		0,0
	91,22		0,0		0,0
	100,82		0,0006		0,1276 x 10 ⁻³
	110,42		0,0025		0,1987 x 10 ⁻³
	120,02		0,0044		0,1461 x 10 ⁻³
	129,62		0,0080		0,4005 x 10 ⁻³
	139,22		0,0133		0,4545 x 10 ⁻³
	148,82		0,0192		0,5324 x 10 ⁻³
	158,43		0,0249		0,4789 x 10 ⁻³
	168,03		0,0293		0,4742 x 10 ⁻³
	177,63		0,0364		0,5723 x 10 ⁻³
	187,23		0,0417		0,4236 x 10 ⁻³
	196,83		0,0483		0,4823 x 10 ⁻³
	206,43		0,0535		0,3979 x 10 ⁻³
	216,04		0,0584		0,6455 x 10 ⁻³
	225,64		0,0655		0,3885 x 10 ⁻³
	235,24		0,0689		0,4412 x 10 ⁻³
	244,84		0,0755		0,4164 x 10 ⁻³
	254,44		0,0789		0,5170 x 10 ⁻³
	264,04		0,0865		0,4078 x 10 ⁻³
	273,65		0,0916		0,4318 x 10 ⁻³
	283,25		0,0964		0,4759 x 10 ⁻³
	292,85		0,1036		0,5029 x 10 ⁻³
	302,45		0,1083		0,4952 x 10 ⁻³
	312,05		0,1143		0,5029 x 10 ⁻³
	321,65		0,1203		0,3667 x 10 ⁻³
	331,26		0,1268		0,6699 x 10 ⁻³

T :	340,86	X :	0,1313	r _A :	0,5346 x 10 ⁻³
	350,46		0,1390		0,3697 x 10 ⁻³
	360,06		0,1434		0,6181 x 10 ⁻³
	369,66		0,1509		0,5933 x 10 ⁻³
	379,26		0,1581		0,4888 x 10 ⁻³
	388,86		0,1649		0,6203 x 10 ⁻³
	398,47		0,1731		0,8391 x 10 ⁻³
	408,07		0,1812		0,4746 x 10 ⁻³
	417,67		0,1889		0,8019 x 10 ⁻³
	427,27		0,1973		0,8691 x 10 ⁻³
	436,87		0,2035		0,6858 x 10 ⁻³
	446,47		0,2152		0,7676 x 10 ⁻³
	456,08		0,2242		0,6391 x 10 ⁻³
	465,68		0,2334		0,8263 x 10 ⁻³
	475,28		0,2444		0,4571 x 10 ⁻²
	484,88		0,2534		0,1408 x 10 ⁻²
	494,48		0,2628		0,1056 x 10 ⁻²
	504,08		0,2772		0,1077 x 10 ⁻²
	513,69		0,2859		0,6301 x 10 ⁻³
	523,29		0,3003		0,1223 x 10 ⁻²
	532,89		0,3141		0,1318 x 10 ⁻²
	542,49		0,3288		0,7441 x 10 ⁻³
	552,09		0,3417		0,1898 x 10 ⁻²
	561,69		0,3574		0,1153 x 10 ⁻²
	571,29		0,3751		0,1486 x 10 ⁻²
	580,90		0,3900		0,1342 x 10 ⁻²
	590,50		0,4048		0,1429 x 10 ⁻²
	600,10		0,4298		0,1480 x 10 ⁻²
	609,70		0,4444		0,1404 x 10 ⁻²
	619,30		0,4649		0,1837 x 10 ⁻²
	628,90		0,4866		0,2034 x 10 ⁻²
	638,51		0,5093		0,1943 x 10 ⁻²
	648,11		0,5271		0,2063 x 10 ⁻²
	657,71		0,5569		0,2021 x 10 ⁻²
	667,31		0,5764		0,2285 x 10 ⁻²
	676,91		0,6031		0,2226 x 10 ⁻²
	686,51		0,6325		0,2478 x 10 ⁻²
	696,12		0,6617		0,2399 x 10 ⁻²
	705,72		0,6877		0,2122 x 10 ⁻²
	715,32		0,7155		0,2607 x 10 ⁻²
	724,92		0,7471		0,2220 x 10 ⁻²
	734,52		0,7711		0,2205 x 10 ⁻²
	744,12		0,7977		0,1768 x 10 ⁻²
	753,73		0,8214		0,2089 x 10 ⁻²
	763,33		0,8446		0,2213 x 10 ⁻²
	772,93		0,8692		0,1730 x 10 ⁻²
	782,53		0,8909		0,1983 x 10 ⁻²
	792,13		0,9086		0,1274 x 10 ⁻²
	801,73		0,9315		0,1898 x 10 ⁻²
	811,33		0,9487		0,1513 x 10 ⁻²
	820,94		0,9670		0,1583 x 10 ⁻²
	830,54		0,9847		0,1413 x 10 ⁻²

$$P_p = 0,9850 \times 10^6$$

$$k_c = 0,3847 \times 10^{-3}$$

Area interfacial = 63,33

TABLA # 63

Extractor Uranio - Experiencia # 29

$$\phi_D = 0,40$$

$$D_b = 0,50$$

$$V_p = 30$$

T :	X :	r_A :
14,40	0,0	$0,6480 \times 10^{-4}$
24,00	0,0006	$0,1374 \times 10^{-3}$
33,61	0,0067	$0,7202 \times 10^{-3}$
43,21	0,0158	$0,8120 \times 10^{-3}$
52,81	0,0226	$0,5683 \times 10^{-3}$
62,41	0,0340	$0,1118 \times 10^{-2}$
72,01	0,0468	$0,9972 \times 10^{-3}$
81,61	0,0551	$0,6613 \times 10^{-3}$
91,22	0,0665	$0,1232 \times 10^{-2}$
100,82	0,0815	$0,1234 \times 10^{-2}$
110,42	0,0980	$0,1455 \times 10^{-2}$
120,02	0,1149	$0,1535 \times 10^{-2}$
129,62	0,1332	$0,1529 \times 10^{-2}$
139,22	0,1522	$0,1735 \times 10^{-2}$
148,82	0,1726	$0,1681 \times 10^{-2}$
158,43	0,1952	$0,1734 \times 10^{-2}$
168,03	0,2123	$0,1580 \times 10^{-2}$
177,63	0,2309	$0,1508 \times 10^{-2}$
187,23	0,2479	$0,1451 \times 10^{-2}$
196,83	0,2645	$0,1451 \times 10^{-2}$
206,43	0,2850	$0,2114 \times 10^{-2}$
216,04	0,3109	$0,2322 \times 10^{-2}$
225,64	0,3410	$0,2676 \times 10^{-2}$
235,24	0,3748	$0,2994 \times 10^{-2}$
244,84	0,4114	$0,3448 \times 10^{-2}$
254,44	0,4556	$0,3588 \times 10^{-2}$
264,04	0,5042	$0,4681 \times 10^{-2}$
273,65	0,5570	$0,4352 \times 10^{-2}$
283,25	0,6134	$0,5391 \times 10^{-2}$
292,85	0,6734	$0,5299 \times 10^{-2}$
302,45	0,7368	$0,5182 \times 10^{-2}$
312,05	0,7940	$0,4323 \times 10^{-2}$
321,65	0,8407	$0,3552 \times 10^{-2}$
331,26	0,8782	$0,2936 \times 10^{-2}$
340,86	0,9089	$0,2289 \times 10^{-2}$
350,46	0,9347	$0,2150 \times 10^{-2}$
360,06	0,9590	$0,2032 \times 10^{-2}$
369,66	0,9815	$0,1644 \times 10^{-2}$

$$P_p = 0,3324 \times 10^7$$

$$k_c = 0,5214 \times 10^{-3}$$

Area interfacial = 147,69

TABLA # 64

Extractor Uranio - Experiencia # 30

$$\phi_D = 0,40$$

$$D_b = 0,50$$

$$V_p = 40$$

T :	X :	$r_A :$
14,40	0,0	$0,2282 \times 10^{-4}$
24,00	0,0025	$0,4946 \times 10^{-3}$
33,61	0,0120	$0,9682 \times 10^{-3}$
43,21	0,0248	$0,1193 \times 10^{-2}$
52,81	0,0373	$0,1042 \times 10^{-2}$
62,41	0,0512	$0,1257 \times 10^{-2}$
72,01	0,0657	$0,1275 \times 10^{-2}$
81,61	0,0820	$0,1371 \times 10^{-2}$
91,22	0,0991	$0,1550 \times 10^{-2}$
100,82	0,1173	$0,1610 \times 10^{-2}$
110,42	0,1371	$0,1720 \times 10^{-2}$
120,02	0,1587	$0,1884 \times 10^{-2}$
129,62	0,1831	$0,2207 \times 10^{-2}$
139,22	0,2096	$0,2259 \times 10^{-2}$
148,82	0,2363	$0,2177 \times 10^{-2}$
158,43	0,2617	$0,2102 \times 10^{-2}$
168,03	0,2844	$0,1858 \times 10^{-2}$
177,63	0,3062	$0,1779 \times 10^{-2}$
187,23	0,3272	$0,1779 \times 10^{-2}$
196,83	0,3474	$0,1675 \times 10^{-2}$
206,43	0,3725	$0,3176 \times 10^{-2}$
216,04	0,4175	$0,4082 \times 10^{-2}$
225,64	0,4745	$0,5060 \times 10^{-2}$
235,24	0,5410	$0,6421 \times 10^{-2}$
244,84	0,6141	$0,6751 \times 10^{-2}$
254,44	0,7015	$0,6652 \times 10^{-2}$
264,04	0,7729	$0,5716 \times 10^{-2}$
273,65	0,8333	$0,4568 \times 10^{-2}$
283,25	0,8799	$0,3483 \times 10^{-2}$
292,85	0,9161	$0,2430 \times 10^{-2}$
302,45	0,9398	$0,1766 \times 10^{-2}$
312,05	0,9590	$0,1403 \times 10^{-2}$
321,65	0,9765	$0,1403 \times 10^{-2}$
331,26	0,9914	$0,1104 \times 10^{-2}$

$$P_p = 0,7880 \times 10^7$$

$$k_c = 0,6469 \times 10^{-3}$$

Area interfacial = 186,16

3.2. Análisis de resultados

Para realizar un análisis previo, en el intento de correlación de las variables, se utilizaron dos series de gráficos donde son representadas las áreas específicas de contacto suministradas para cada ensayo, por el modelo de interfase plana e interfase esférica, respectivamente.

En los gráficos #4 y #5 se indican las áreas específicas, en función del volumen de pulsos, figurando el diámetro de boquillas como parámetro para una relación de fase dispersa del 10%.

Los volúmenes de pulsos a los cuales se trabajó fueron: 20; 25; 30; 35; 40 y 50 cm³.

Las boquillas utilizadas tenían: 0,40; 0,50; 0,71 y 0,89 cm de diámetro.

En este primer par de gráficos se observa un incremento lineal del área (A_v) con el aumento de los volúmenes pulsados (V_p), para cada valor del diámetro de las boquillas (D_b).

Además, para un V_p determinado se tiene un incremento de A_v , con la disminución de D_b .

Para el análisis de la relación entre A_v y D_b se construyeron los gráficos #6 y #7, con V_p como parámetro, y 10% de relación volumétrica de fase dispersora (ϕ_D). En este caso, A_v disminuye al aumentar D_b , correspondiendo, por la forma de las curvas, a A_v una relación inversa con el cuadrado de D_b .

Por otra parte, estas curvas indican, para un cierto D_b , valores más altos de A_v , cuanto mayor sea V_p .

En los contactores líquido-líquido, como el investigado, la energía necesaria para el mezclado es derivada del flujo con que el, o los líquidos ingresan en el reactor.

Podemos admitir entonces, que A_v es proporcional a la velocidad con que el chorro de la dispersión pasa a través de la boca de las boquillas.

A partir de consideraciones similares a las efectuadas en el cálculo de la velocidad cuadrática media, se puede obtener la

velocidad media de pasaje, resultando ésta:

$$(3.1) \quad \bar{v} = \frac{\int_0^{T/2} v \, dt}{\int_0^{T/2} dt} = 2 \frac{A}{T}$$

siendo:

$$(3.2) \quad A = \frac{4 V_P}{\pi D_b^2}$$

$$Y \quad \frac{1}{T} = F_P \quad (\text{Frecuencia de pulsos})$$

Resulta:

$$(3.3) \quad \bar{v} = \frac{8 F_P \cdot V_P}{\pi D_b^2}$$

Dado que la frecuencia de pulsos no fue variada en los ensayos puede esperarse una relación de este tipo:

$$(3.4) \quad A_V \propto \frac{V_P}{D_b^2}$$

Para comprobar esto último, se construyeron los gráficos #8 y #9, donde se representa A_V en función de V_P/D_b^2 con ϕ_D igual a 10%.

El análisis respecto de ϕ_D se hizo mediante los gráficos #10 y # 11, siendo A_V representado en función de la relación de fase dispersa, para volúmenes pulsados de 40, 30 y 20 cm³, con un diámetro de boquillas de 0,50 cm.

Se observa entonces, un aumento del área interfacial al incrementar la relación de fases, dando las curvas para cada uno de los V_P , un máximo comprendido entre $\phi_D = 0,30$ y $\phi_D = 0,40$.

En base a esto último, se postula una relación cuadrática entre A_V y ϕ_D , que tendría la siguiente forma:

$$(3.5) \quad A_V \propto (\phi_D - K_2 \phi_D^2)$$

3.3. Síntesis gráfica

GRAFICO N° 4

- 157 -

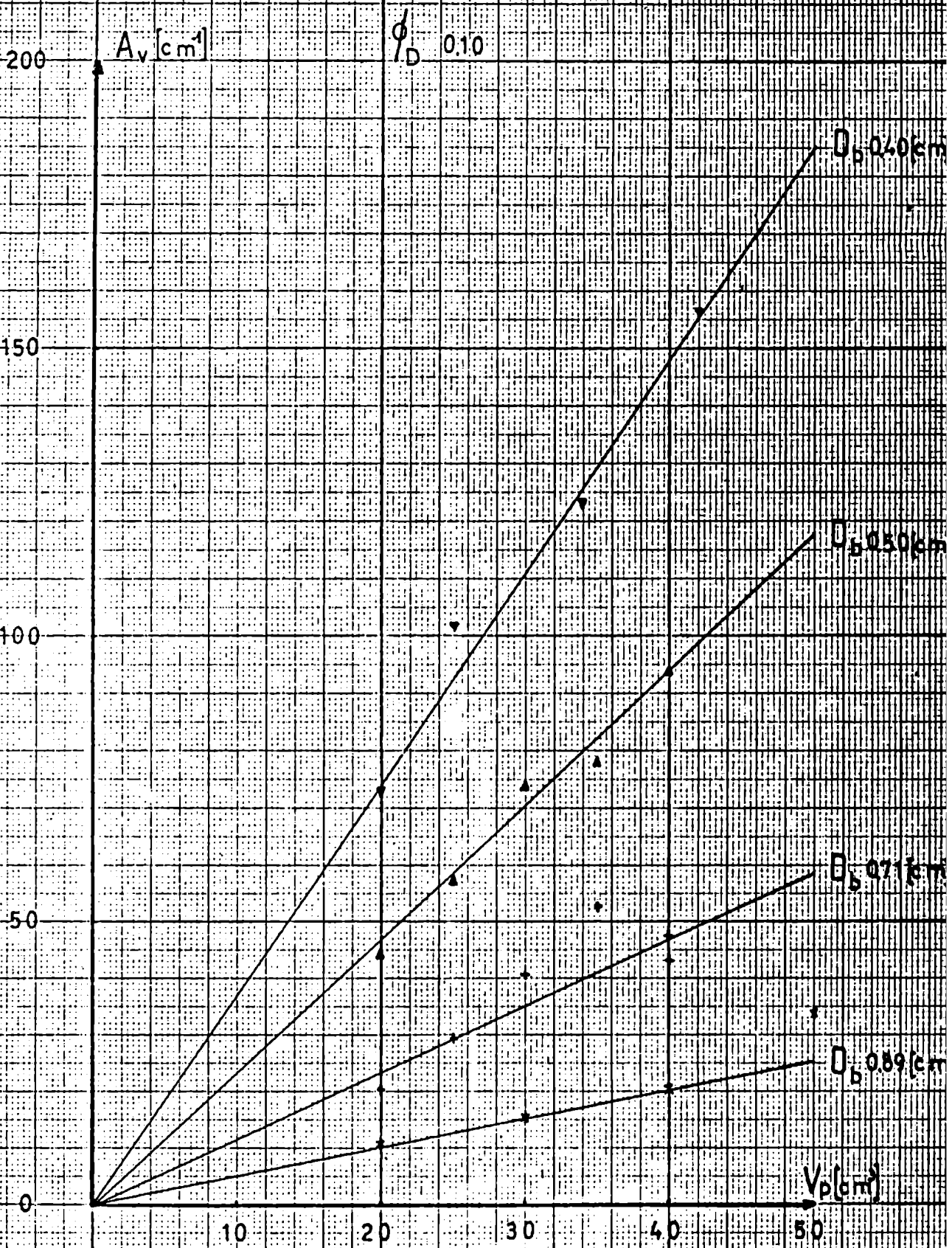


GRAFICO N° 3

2-104

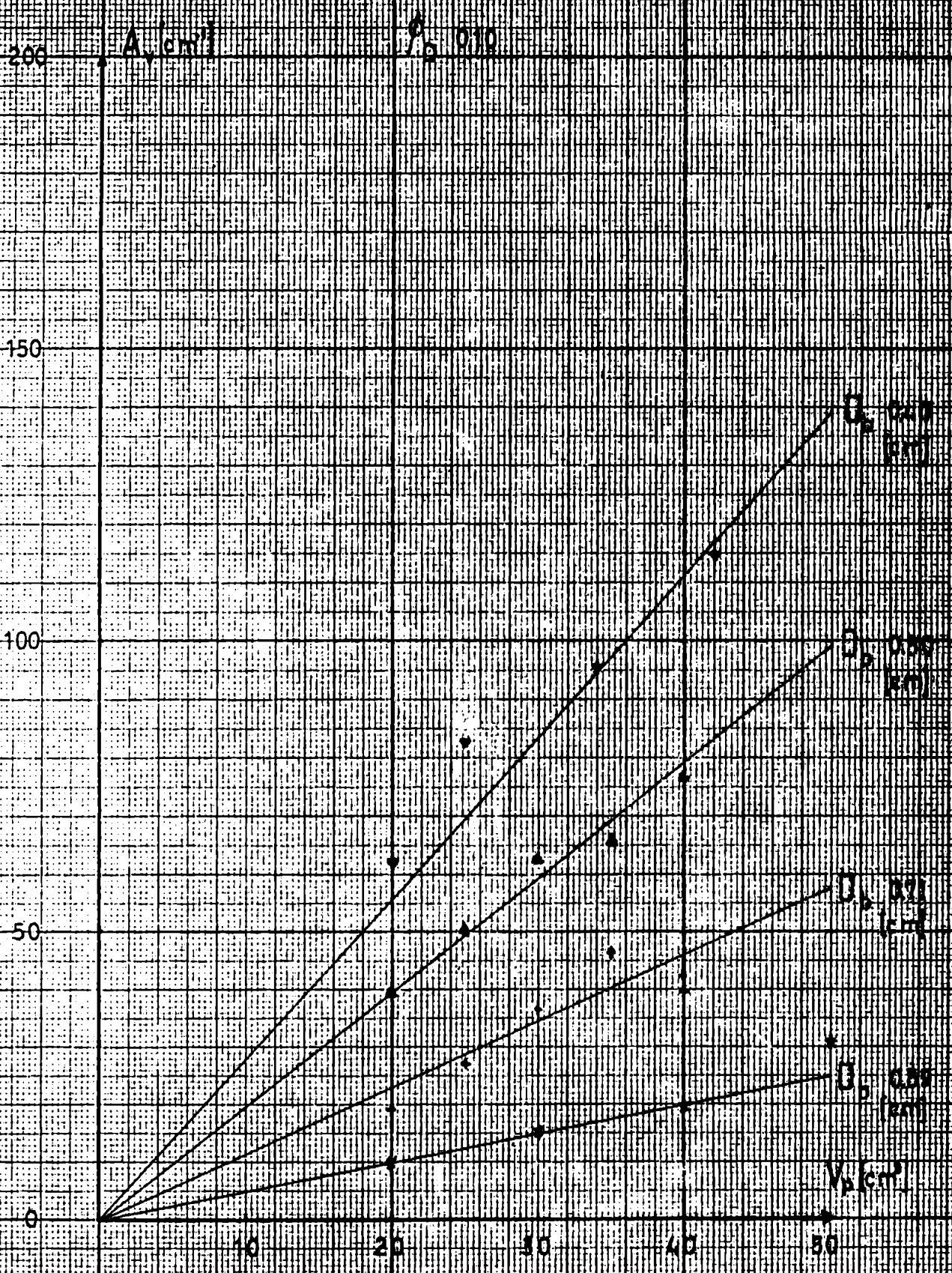


GRAFICO N° 6

A_v [cm²]

ϕ_D 0.10

200

150

100

50

0

0.40

0.60

0.71

0.80

- ▼ V_p 20 [cm/s]
- ▲ V_p 25 [cm/s]
- V_p 30 [cm/s]
- + V_p 35 [cm/s]

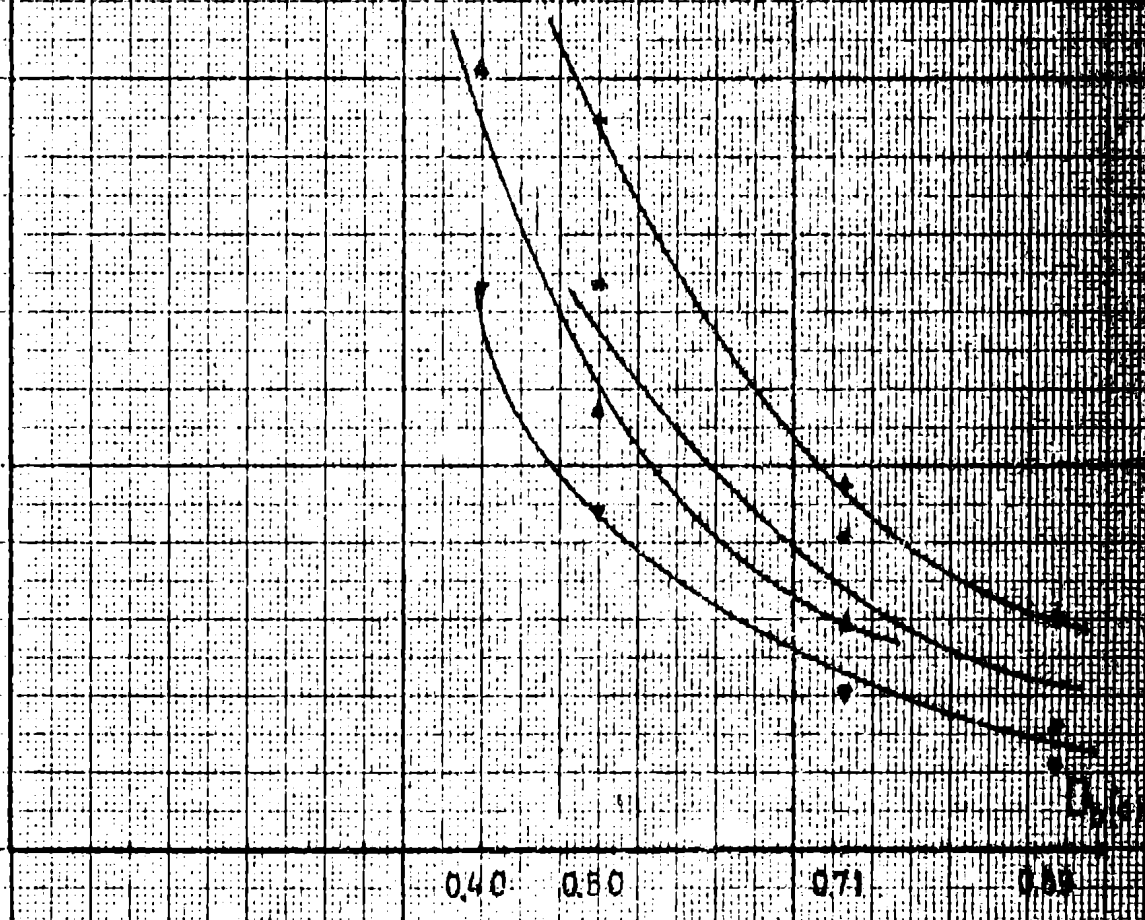


GRAFICO Nº 7

540

A_v [cm²]

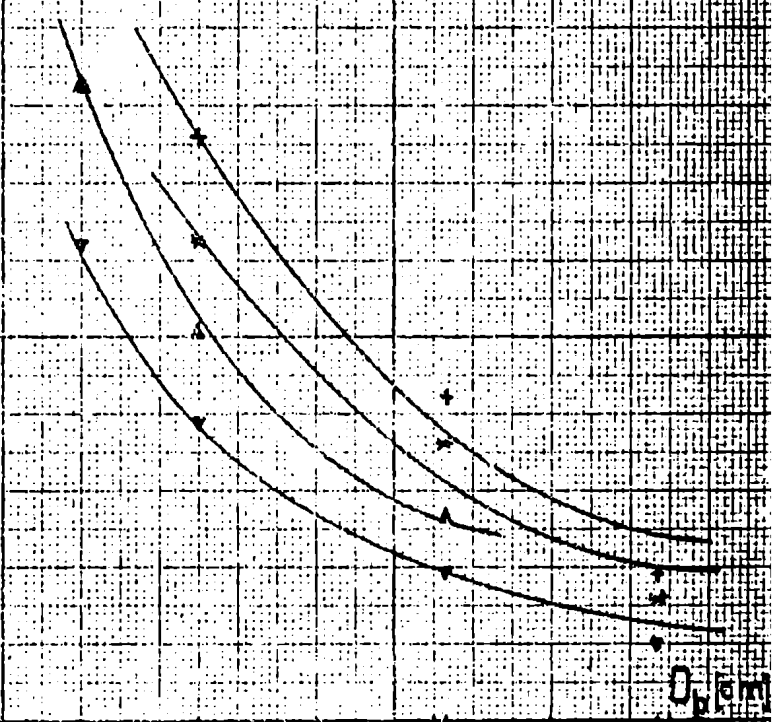
ϕ_D 0.10

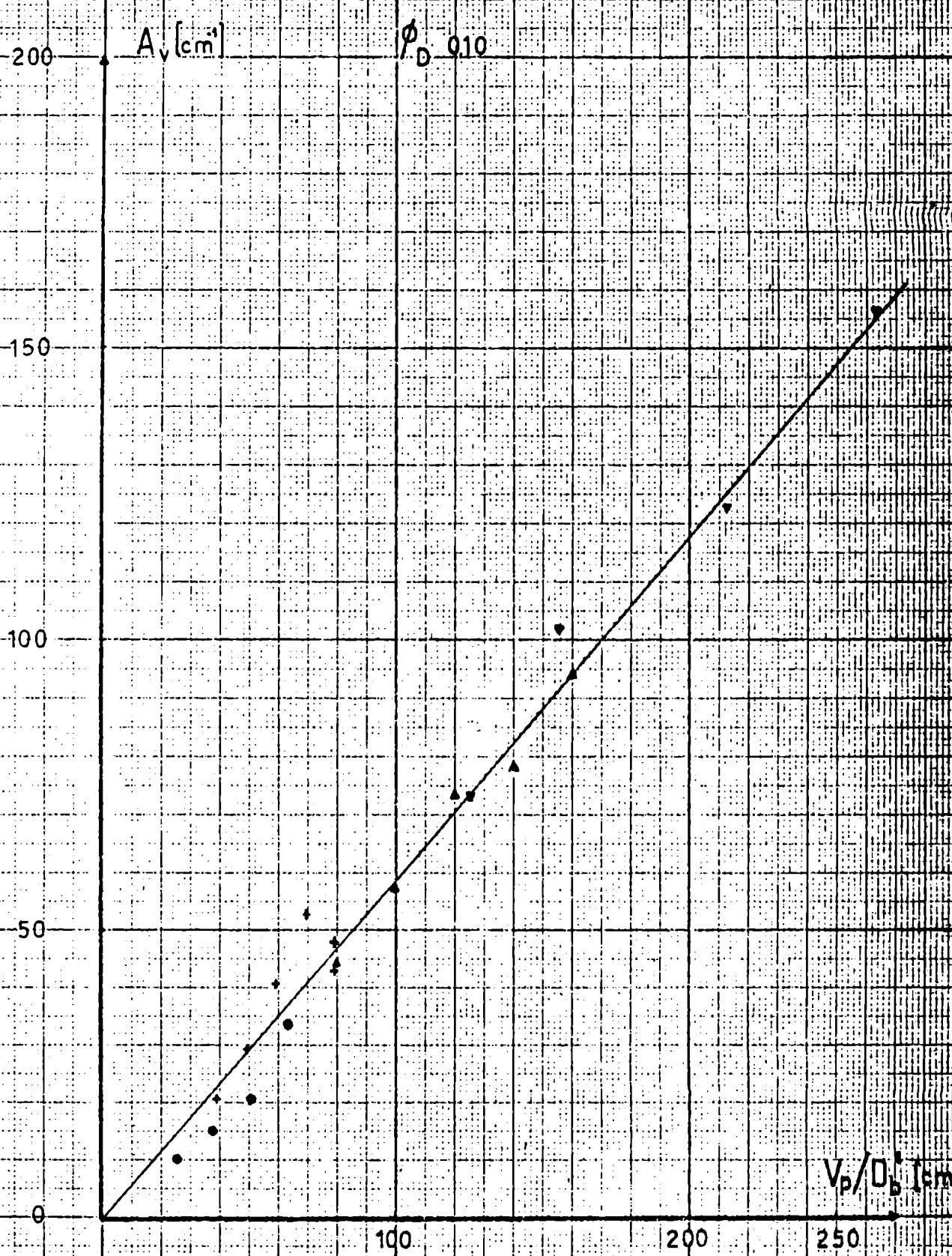
200
150
100
50
0

0.40 0.50 0.71 0.89

D_p [cm]

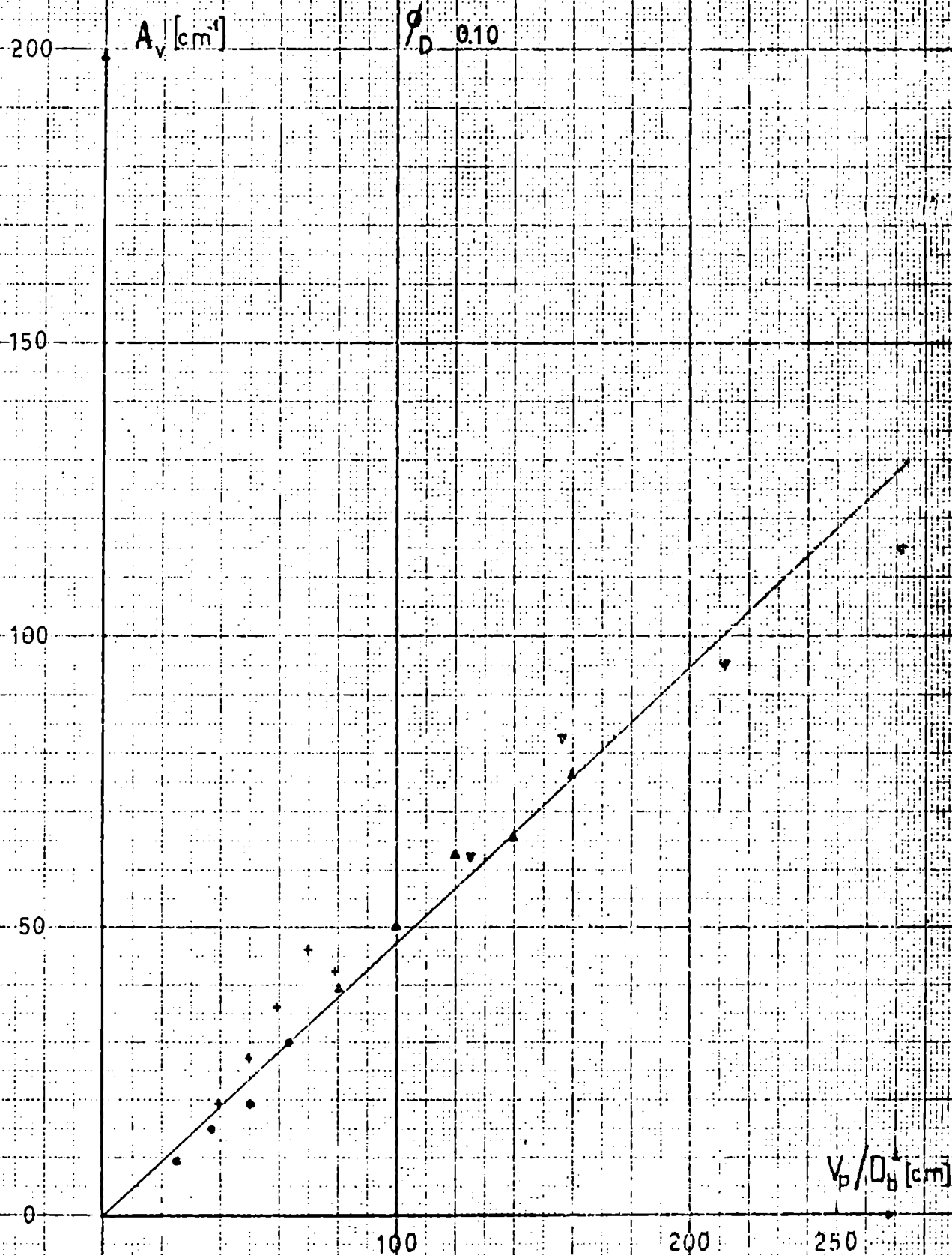
- ▼ V_p 20 [cm³]
- ▲ V_p 25 [cm³]
- ✱ V_p 30 [cm³]
- + V_p 40 [cm³]





- ▼ $D_b = 0.40$ [cm]
- ▲ $D_b = 0.50$ [cm]
- * $D_b = 0.71$ [cm]
- $D_b = 0.89$ [cm]

GRAFICO N: 9



- ▼ D_b 0.40 [cm]
- ▲ D_b 0.50 [cm]
- D_b 0.71 [cm]
- D_b 0.89 [cm]

GRAFICO N° 10

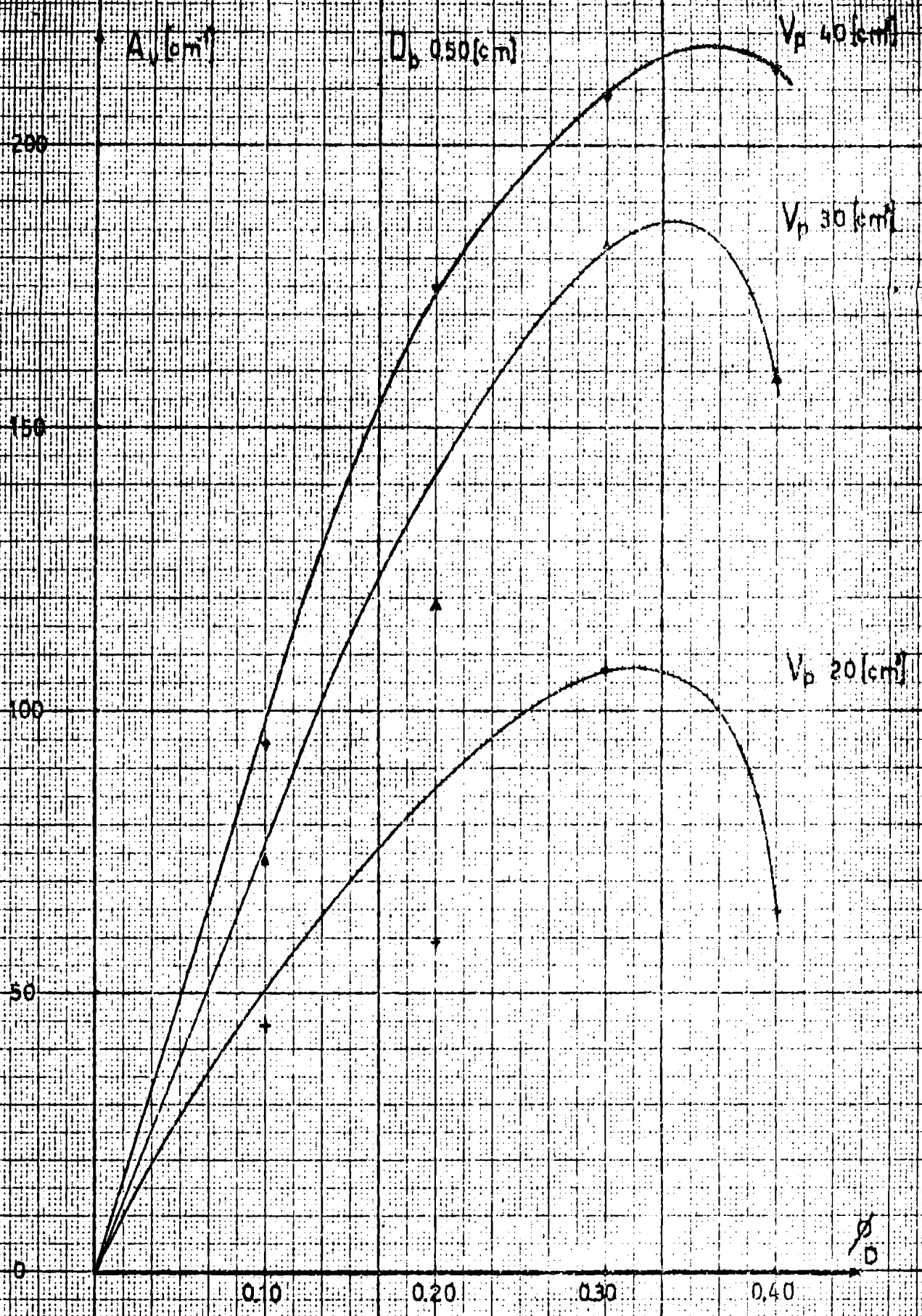
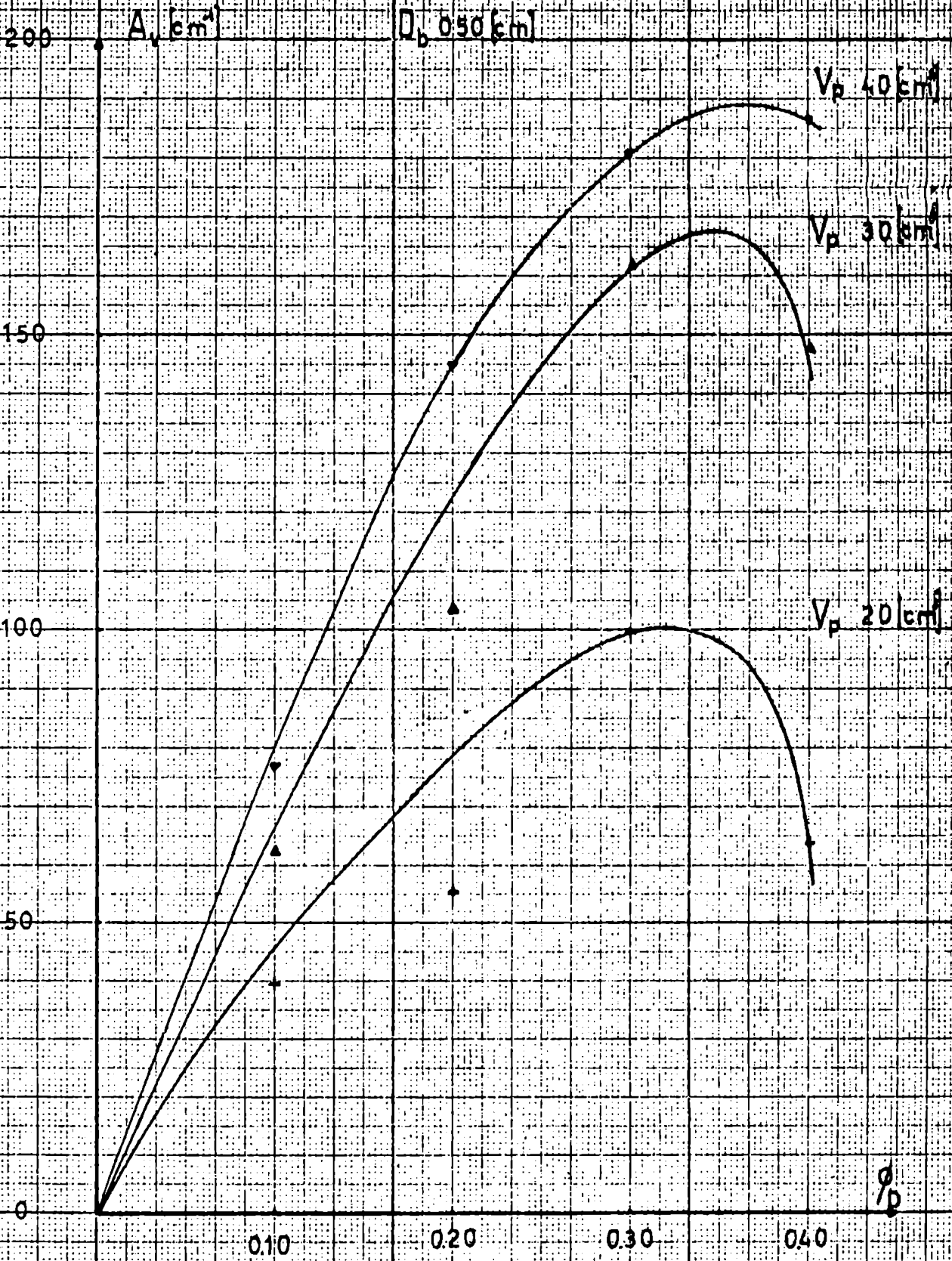


GRAFICO N° 11

1955



3.4. Correlación de variables:

En el sistema investigado, la incorporación de energía se realiza por medio de la inyección de líquido en el reactor.

La magnitud del área de contacto lograda, está en relación con la energía cinética del fluido y su disipación en los torbellinos y el impacto contra el fondo del tanque.

Son variables fundamentales en este proceso de ruptura, la velocidad de eyección y las propiedades físicas de las fases, como ser las densidades y viscosidades de los líquidos.

El otro fenómeno que compite en la determinación de A_v , es la coalescencia, cuya magnitud es función de la fracción de volumen de fase dispersa, la tensión interfacial y la existencia de zonas con menor intensidad de turbulencia.

Los autores (22), (23) y (24), vinculan frecuentemente la magnitud del área interfacial a la relación entre la energía cinética de las gotas y su energía de adherencia.

Esta relación energética se expresa a través de un conjunto de variables que definen al número de Weber.

En el tanque agitado por chorros pulsantes, la velocidad cuadrática media es:

$$(3.6) \quad \overline{v^2} = \frac{1}{2} \left(\frac{\pi A}{T} \right)^2$$

y teniendo en cuenta las expresiones anteriores para A y T, la energía cinética que ambas boquillas incorporan al tanque, por unidad de volumen pulsado, resulta:

$$(3.7) \quad E_c = \rho_M \cdot \overline{v^2} = 8 \rho_M \cdot \left(\frac{F_p \cdot V_p}{D_b^2} \right)^2$$

siendo ρ_M la densidad de la mezcla.

La relación energética de competencia será entonces:

$$(3.8) \quad 8 \left(\frac{F_p \cdot V_p}{D_b^2} \right)^2 \cdot \frac{\rho_M}{\sigma}$$

siendo σ la tensión interfacial.

Si se considera además, la vinculación establecida de A_V con ϕ_D , surgirá como expresión de proporcionalidad del área específica, dada en forma adimensional, el siguiente agrupamiento de variables:

$$(3.9) \quad A_V \cdot D_T \propto 8 D_T \left(\frac{V_P \cdot V_P}{D_b^2} \right)^2 \frac{\rho_M}{\sigma} \{ \phi_D - K_2 \phi_D^2 \}$$

siendo D_T el diámetro de tanque.

En los ensayos realizados se exploraron:

- . Volumen de pulsos (V_P)
- . Diámetro de boquillas (D_b)
- . Relación volumétrica de fases (ϕ_D)

y por lo tanto, ρ_M por ser:

$$\rho_M = \rho_C + \phi_D (\rho_D - \rho_C)$$

Con el objeto de comprobar las consideraciones propuestas, se intentaron las siguientes correlaciones:

$$I. \quad A_V = K_1 \left(\frac{V_P}{D_b^2} \rho_M \right) \{ \phi_D - K_2 \cdot \phi_D^2 \}$$

$$II. \quad A_V = K_1 \left(\frac{V_P}{D_b^2} \right)^{K_3} \{ \phi_D - K_2 \cdot \phi_D^2 \left(\frac{V_P}{D_b^2} \right)^{K_4} \}$$

$$III. \quad A_V = K_1 \left\{ \left(\frac{V_P}{D_b^2} \right)^2 \cdot \rho_M \right\}^{K_3} \{ \phi_D - K_2 \cdot \phi_D^{(K_4 (V_P/D_b^2))} \}$$

$$IV. (3.10) \quad A_V = K_1 \left\{ \left(\frac{V_P}{D_b^2} \right)^2 \cdot \rho_M \right\}^{K_3} \{ \phi_D - K_2 \phi_D^2 \}$$

De éstas, la ensayada en último término, permite calcular valores de A_V que concuerdan mejor con los medidos experimentalmente. Sus coeficientes fueron optimizados por el método de regresión no lineal (25), minimizando la siguiente sumatoria:

$$(3.11) \quad s = \left[\frac{A_v \text{ exp} - A_v \text{ calc}}{A_v \text{ calc}} \right]^2$$

Los resultados correspondientes a los modelos de interfase plana e interfase esférica, se indican en las tablas siguientes:

MODELO DE INTERFASE PLANA

TABLA # 65

	$A_v \text{ exp}$	ϕ_D	V_p	D_b	$A = (\dot{V}_p / D_b^2)^2 \rho_M$
1	$0,4407 \times 10^2$	0,10	20	0,50	$0,7878 \times 10^4$
2	$0,5701 \times 10^2$	0,10	25	0,50	$0,1231 \times 10^5$
3	$0,7354 \times 10^2$	0,10	30	0,50	$0,1773 \times 10^5$
4	$0,7797 \times 10^2$	0,10	35	0,50	$0,2413 \times 10^5$
5	$0,9391 \times 10^2$	0,10	40	0,50	$0,3151 \times 10^5$
6	$0,7303 \times 10^2$	0,10	20	0,40	$0,1923 \times 10^5$
7	$0,1020 \times 10^3$	0,10	25	0,40	$0,3005 \times 10^5$
8	$0,1229 \times 10^3$	0,10	34	0,40	$0,5559 \times 10^5$
9	$0,1562 \times 10^3$	0,10	42	0,40	$0,8482 \times 10^4$
10	$0,2045 \times 10^2$	0,10	20	0,71	$0,1938 \times 10^4$
11	$0,2932 \times 10^2$	0,10	25	0,71	$0,3028 \times 10^4$
12	$0,4041 \times 10^2$	0,10	30	0,71	$0,4360 \times 10^4$
13	$0,5298 \times 10^2$	0,10	35	0,71	$0,5934 \times 10^4$
14	$0,4789 \times 10^2$	0,10	40	0,71	$0,7751 \times 10^4$
15	$0,3780 \times 10^2$	0,10	40	0,71	$0,7751 \times 10^4$
16	$0,4388 \times 10^2$	0,10	40	0,71	$0,7751 \times 10^4$
17	$0,4755 \times 10^2$	0,10	40	0,71	$0,7751 \times 10^4$
18	$0,1005 \times 10^2$	0,10	20	0,89	$0,7848 \times 10^3$
19	$0,1580 \times 10^2$	0,10	30	0,89	$0,1766 \times 10^4$
20	$0,2010 \times 10^2$	0,10	40	0,89	$0,3139 \times 10^4$
21	$0,3376 \times 10^2$	0,10	50	0,89	$0,4905 \times 10^4$
22	$0,5927 \times 10^2$	0,20	20	0,50	$0,7629 \times 10^4$
23	$0,1188 \times 10^3$	0,20	30	0,50	$0,1716 \times 10^5$
24	$0,1749 \times 10^3$	0,20	40	0,50	$0,3052 \times 10^5$
25	$0,1072 \times 10^3$	0,30	20	0,50	$0,7379 \times 10^4$
26	$0,1821 \times 10^3$	0,30	30	0,50	$0,1660 \times 10^5$
27	$0,2089 \times 10^3$	0,30	40	0,50	$0,2952 \times 10^5$
28	$0,6433 \times 10^2$	0,40	20	0,50	$0,7130 \times 10^4$
29	$0,1583 \times 10^3$	0,40	30	0,50	$0,1604 \times 10^5$
30	$0,2131 \times 10^3$	0,40	40	0,50	$0,2852 \times 10^5$

$$C_1 = 0,3150419 \times 10$$

$$K_2 = 0,1271474 \times 10$$

$$K_3 = 0,5699524$$

TABLA # 66

	$A_v \text{ calc}$	$(A_v \text{ exp} - A_v \text{ calc}) / A_v \text{ calc}$
1	0,45719 x 10 ²	-0,36059 x 10 ⁻¹
2	0,58960 x 10 ²	-0,33080 x 10 ⁻¹
3	0,72581 x 10 ²	0,13219 x 10 ⁻¹
4	0,86523 x 10 ²	-0,98855 x 10 ⁻¹
5	0,10075 x 10 ³	-0,67376 x 10 ⁻¹
6	0,76038 x 10 ²	-0,39555 x 10 ⁻¹
7	0,98061 x 10 ²	0,39861 x 10 ⁻¹
8	0,13923 x 10 ³	-0,11704
9	0,17714 x 10 ³	-0,11835
10	0,20554 x 10 ²	-0,50778 x 10 ⁻²
11	0,26508 x 10 ²	0,10609
12	0,32631 x 10 ²	0,23839
13	0,38900 x 10 ²	0,36197
14	0,45295 x 10 ²	0,57292 x 10 ⁻¹
15	0,45295 x 10 ²	-0,16547
16	0,45295 x 10 ²	-0,31239 x 10 ⁻¹
17	0,45295 x 10 ²	0,49786 x 10 ⁻¹
18	0,12280 x 10 ²	-0,18157
19	0,19494 x 10 ²	-0,18951
20	0,27060 x 10 ²	-0,25721
21	0,34898 x 10 ²	-0,32599 x 10 ⁻¹
22	0,76697 x 10 ²	-0,22722
23	0,12176 x 10 ³	-0,24234 x 10 ⁻¹
24	0,16902 x 10 ³	0,35113 x 10 ⁻¹
25	0,43638 x 10 ²	0,14452
26	0,44865 x 10 ³	0,22506
27	0,44865 x 10 ³	0,12184 x 10 ⁻¹
28	0,97400 x 10 ³	0,33858
29	0,15141 x 10 ³	0,25416 x 10 ⁻¹
30	0,11433 x 10 ³	-0,58287 x 10 ⁻²

Suma error cuadrático = 0,657607

MODELO DE INTERFASE ESFERICA

TABLA # 67

	$A_v \text{ exp}$	ϕ_D	V_p	D_b	$A = (V_p / D_b^2)^2 \rho_M$
1	0,3977 x 10 ²	0,10	20	0,50	0,7878 x 10 ⁴
2	0,5001 x 10 ²	0,10	25	0,50	0,1231 x 10 ⁵
3	0,6262 x 10 ²	0,10	30	0,50	0,1773 x 10 ⁵
4	0,6560 x 10 ²	0,10	35	0,50	0,2413 x 10 ⁵
5	0,7641 x 10 ²	0,10	40	0,50	0,3151 x 10 ⁵
6	0,6202 x 10 ²	0,10	20	0,40	0,1923 x 10 ⁵
7	0,8250 x 10 ²	0,10	25	0,40	0,3005 x 10 ⁵
8	0,9519 x 10 ²	0,10	34	0,40	0,5559 x 10 ⁵

	$A_v \text{ exp}$	ϕ_D	V_p	D_b	$A = (V_p/D_b)^2 \rho_M$
9	$0,1147 \times 10^3$	0,10	42	0,40	$0,8482 \times 10^5$
10	$0,1933 \times 10^2$	0,10	20	0,71	$0,1938 \times 10^4$
11	$0,2709 \times 10^2$	0,10	25	0,71	$0,3028 \times 10^4$
12	$0,3630 \times 10^2$	0,10	30	0,71	$0,4360 \times 10^4$
13	$0,4613 \times 10^2$	0,10	35	0,71	$0,5934 \times 10^4$
14	$0,4232 \times 10^2$	0,10	40	0,71	$0,7751 \times 10^4$
15	$0,3465 \times 10^2$	0,10	40	0,71	$0,7751 \times 10^4$
16	$0,3976 \times 10^2$	0,10	40	0,71	$0,7751 \times 10^4$
17	$0,4219 \times 10^2$	0,10	40	0,71	$0,7751 \times 10^4$
18	$0,9760 \times 10^1$	0,10	20	0,89	$0,7848 \times 10^3$
19	$0,1513 \times 10^2$	0,10	30	0,89	$0,1766 \times 10^4$
20	$0,1904 \times 10^2$	0,10	40	0,89	$0,3139 \times 10^4$
21	$0,3087 \times 10^2$	0,10	50	0,89	$0,4905 \times 10^4$
22	$0,5531 \times 10^2$	0,20	20	0,50	$0,7629 \times 10^4$
23	$0,1036 \times 10^3$	0,20	30	0,50	$0,1716 \times 10^5$
24	$0,1444 \times 10^3$	0,20	40	0,50	$0,3052 \times 10^5$
25	$0,9986 \times 10^2$	0,30	20	0,50	$0,7379 \times 10^5$
26	$0,1615 \times 10^3$	0,30	30	0,50	$0,1660 \times 10^5$
27	$0,1806 \times 10^3$	0,30	40	0,50	$0,2952 \times 10^5$
28	$0,6333 \times 10^3$	0,40	20	0,50	$0,7130 \times 10^5$
29	$0,1477 \times 10^3$	0,40	30	0,50	$0,1604 \times 10^5$
30	$0,1862 \times 10^3$	0,40	40	0,50	$0,2852 \times 10^5$

$$C_1 = 0,4425534 \times 10^1$$

$$K_2 = 0,1134065 \times 10^1$$

$$K_3 = 0,5161084$$

TABLA # 68

	$A_v \text{ calc}$	$(A_v \text{ exp} - A_v \text{ calc}) / A_v \text{ calc}$
1	$0,40241 \times 10^2$	$-0,11716 \times 10^{-1}$
2	$0,50665 \times 10^2$	$-0,12923 \times 10^{-1}$
3	$0,61156 \times 10^2$	$0,23940 \times 10^{-1}$
4	$0,71704 \times 10^2$	$-0,85125 \times 10^{-1}$
5	$0,82300 \times 10^2$	$-0,71573 \times 10^{-1}$
6	$0,63788 \times 10^2$	$-0,27715 \times 10^{-1}$
7	$0,80310 \times 10^3$	$0,27267 \times 10^{-1}$
8	$0,11031 \times 10^3$	$-0,13706$
9	$0,13720 \times 10^2$	$-0,16418$
10	$0,19511 \times 10^2$	$-0,92892 \times 10^{-2}$
11	$0,24565 \times 10^2$	$0,10279$
12	$0,29652 \times 10^2$	$0,22421$
13	$0,34766 \times 10^2$	$0,32688$
14	$0,39904 \times 10^2$	$0,60554 \times 10^{-1}$
15	$0,39904 \times 10^2$	$-0,13166$
16	$0,39904 \times 10^2$	$-0,36002 \times 10^{-2}$
17	$0,39904 \times 10^2$	$0,57296 \times 10^{-1}$
18	$0,12238 \times 10^2$	$-0,20246$
19	$0,18598 \times 10^2$	$-0,18646$

	$A_v \text{ calc}$	$(A_v \exp^{-A_v \text{ calc}}) / A_v \text{ calc}$
20	$0,25028 \times 10^2$	-0,23925
21	$0,31511 \times 10^2$	$-0,20334 \times 10^{-1}$
22	$0,69032 \times 10^3$	-0,19877
23	$0,10491 \times 10^3$	$-0,12668 \times 10^{-1}$
24	$0,14118 \times 10^3$	$0,23013 \times 10^{-1}$
25	$0,86856 \times 10^2$	0,14972
26	$0,13200 \times 10^3$	0,22367
27	$0,17763 \times 10^3$	$0,16809 \times 10^{-1}$
28	$0,94214 \times 10^2$	-0,32781
29	$0,14318 \times 10^3$	$0,31507 \times 10^{-1}$
30	$0,19268 \times 10^3$	$-0,33853 \times 10^{-1}$

Suma error cuadrático = 0,608507

Cálculo de ρ_M medio:

Para el cálculo de $\overline{\rho_D}$ en función de la conversión y temperatura se utilizó la expresión:

$$\rho_D(X_E, T) = 0,9130 - 0,0755 X_E - 0,0112 X_E^2 - 0,0010 T + 0,0002 X_E \cdot T$$

siendo: X_E = conversión del éster

T = temperatura en °C

Los rangos de variación dentro del intervalo de utilidad de los resultados son:

$$\begin{aligned} X_E &: 0,04 - 0,12 \\ T &: 20 \text{ °C} - 27 \text{ °C} \end{aligned}$$

$$(3.12) \quad \overline{\rho_D} = \frac{\int_{20}^{27} \int_{0,04}^{0,12} (0,9130 - 0,0755 X_E - 0,0112 X_E^2 - 0,0010 T + 0,0002 X_E \cdot T) dx_E dT}{\int_{20}^{27} \int_{0,04}^{0,12} dx_E dT}$$

$$\overline{\rho_D} = 0,8837 \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right)$$

La expresión correspondiente a ρ_C es:

$$\rho_C(X_B, T) = 1,2749 + 0,02 X_B + 0,0122 - 0,00061 T$$

siendo: X_B = conversión para el OHNa

T = temperatura en °C

Sus rangos de variación son:

$$\begin{aligned} X_B &: 0,004 - 0,09 \\ T &: 20 \text{ }^\circ\text{C} - 27 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$(3.13) \quad \bar{\rho}_C = \frac{\int_{20}^{27} \int_{0,004}^{0,09} (1,2749 + 0,02 X_B + 0,0122 - 0,00061 T) dx_B dT}{\int_{20}^{27} \int_{0,004}^{0,09} dx_B dT}$$

$$\bar{\rho}_C = 1,2737 \quad \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right)$$

La densidad media de la mezcla es:

$$\bar{\rho}_M = 1,2737 + \phi_D (0,8837 - 1,2737)$$

Cálculo de σ medio:

La expresión que se utiliza es:

$$(3.14) \quad \bar{\sigma} = \frac{\int_{0,04}^{0,12} \int_{0,004}^{0,09} (9 + 11,7 e^{-3,45 X_E} - 2,76 X_B + 3,1 X_B X_E - 3,1 X_B e^{-34,5 X_E}) dx_B dx_E}{\int_{0,04}^{0,12} \int_{0,004}^{0,09} dx_B dx_E}$$

$$\bar{\sigma} = 29,3160 \quad \left(\frac{\text{dinas}}{\text{cm}} \right)$$

Correlación final:

Aquellas variables del proceso de mezclado que no fueron modificadas durante los ensayos, se agruparon dentro de la constante C_1 .

La forma óptima de la correlación, en cuanto a las variables exploradas resultó:

$$A_V = C_1 \left\{ \frac{V_P}{D_b^2} \right\}^{K_3} \cdot \{ \phi_D - K_2 \cdot \phi_D^2 \}$$

Si se considera además la totalidad de las variables implicadas en la relación (3.9), la correlación final es:

$$A_V \cdot D_T = K_1 \left\{ \frac{8 D_T \cdot F_P^2}{\bar{\sigma}} \cdot \frac{V_P}{D_b^2} \right\}^{K_3} \{ \phi_D - K_2 \cdot \phi_D^2 \}$$

C_1 resulta entonces:

$$C_1 = \frac{K_1}{D_T} \left(\frac{8 D_T \cdot F_p^2}{\sigma} \right)^{K_3}$$

Los datos para despejar K_1 son:

$$D_T = 5,9 \text{ (cm)}$$

$$\sigma = 29,3160 \left(\frac{\text{dinas}}{\text{cm}} \right)$$

$$F_p = 0,95 \text{ (sg}^{-1}\text{)}$$

Para el modelo de interfase plana:

$$C_1 = 3,150419$$

$$K_2 = 1,2714$$

$$K_3 = 0,5699$$

Luego:

$$K_1 = \frac{(3,150419)(5,9)}{\left\{ \frac{8(5,9)(0,95)^2}{29,3160} \right\}^{0,5699}}$$

$$K_1 = 15,1920853$$

La correlación final es:

$$A_V \cdot D_T = 15,01920853 (8)^{0,5699} \left\{ D_T \left(\frac{F_p V}{D_b^2} \right)^2 \cdot \frac{\rho_M}{\sigma} \right\}^{0,5699} \{ \phi_D - 1,2714 \phi_D^2 \}$$

Quedando de esta manera establecido la composición del número de Weber, resultando la expresión final:

$$A_V \cdot D_T = 49,13083494 W_e^{0,5699} \{ \phi_D - 1,2714 \phi_D^2 \}$$

Para el modelo de interfase esférica:

$$C_1 = 4,425534$$

$$K_2 = 1,134$$

$$K_3 = 0,5161084$$

Luego:

$$K_1 = \frac{(4,425534)(5,9)}{\left\{ \frac{8(5,9)(0,95)^2}{29,3160} \right\}^{0,5161084}}$$

$$K_1 = 21,52674542$$

La correlación resulta:

$$A_v \cdot D_T = 21,52674542 (8)^{0,5161084} \left\{ D_T \left(\frac{V_p P}{D_b^2} \right)^{2\rho_M} \right\}^{0,5161084} \{ \phi_D - 1,134 \phi_D^2 \}$$

Y finalmente:

$$A_v \cdot D_T = 62,96035 W_e^{0,5161084} \{ \phi_D - 1,134 \phi_D^2 \}$$

Los intervalos de confianza para 95%, según criterio de Student son, respectivamente:

$$C_1 = \pm 0,450$$

$$K_2 = \pm 0,283$$

$$K_3 = \pm 0,0147$$

INTERFASE PLANA

TABLA # 69

#	ϕ_D	D_b (cm)	V_p (cm ³)	A_v exp (cm ⁻¹)	A_v calc (cm ⁻¹)
1	0,10	0,50	20	44,07	45,72
2	0,10	0,50	25	57,01	58,96
3	0,10	0,50	30	73,54	72,58
4	0,10	0,50	35	77,97	86,52
5	0,10	0,50	40	93,91	100,75
6	0,10	0,40	20	73,03	76,04
7	0,10	0,40	25	101,97	98,06
8	0,10	0,40	34	122,93	139,23
9	0,10	0,40	42	156,18	177,14
10	0,10	0,71	20	20,45	20,55
11	0,10	0,71	25	29,32	26,51
12	0,10	0,71	30	40,41	32,63
13	0,10	0,71	35	52,98	38,90
14	0,10	0,71	40	47,89	45,29
15	0,10	0,71	40	37,80	45,29
16	0,10	0,71	40	43,88	45,29
17	0,10	0,71	40	47,55	45,29
18	0,10	0,89	20	10,05	12,28
19	0,10	0,89	30	15,08	19,49
20	0,10	0,89	40	20,10	27,06
21	0,10	0,89	50	33,76	34,90
22	0,20	0,50	20	59,27	76,70
23	0,20	0,50	30	118,31	121,76
24	0,20	0,50	40	174,95	169,02

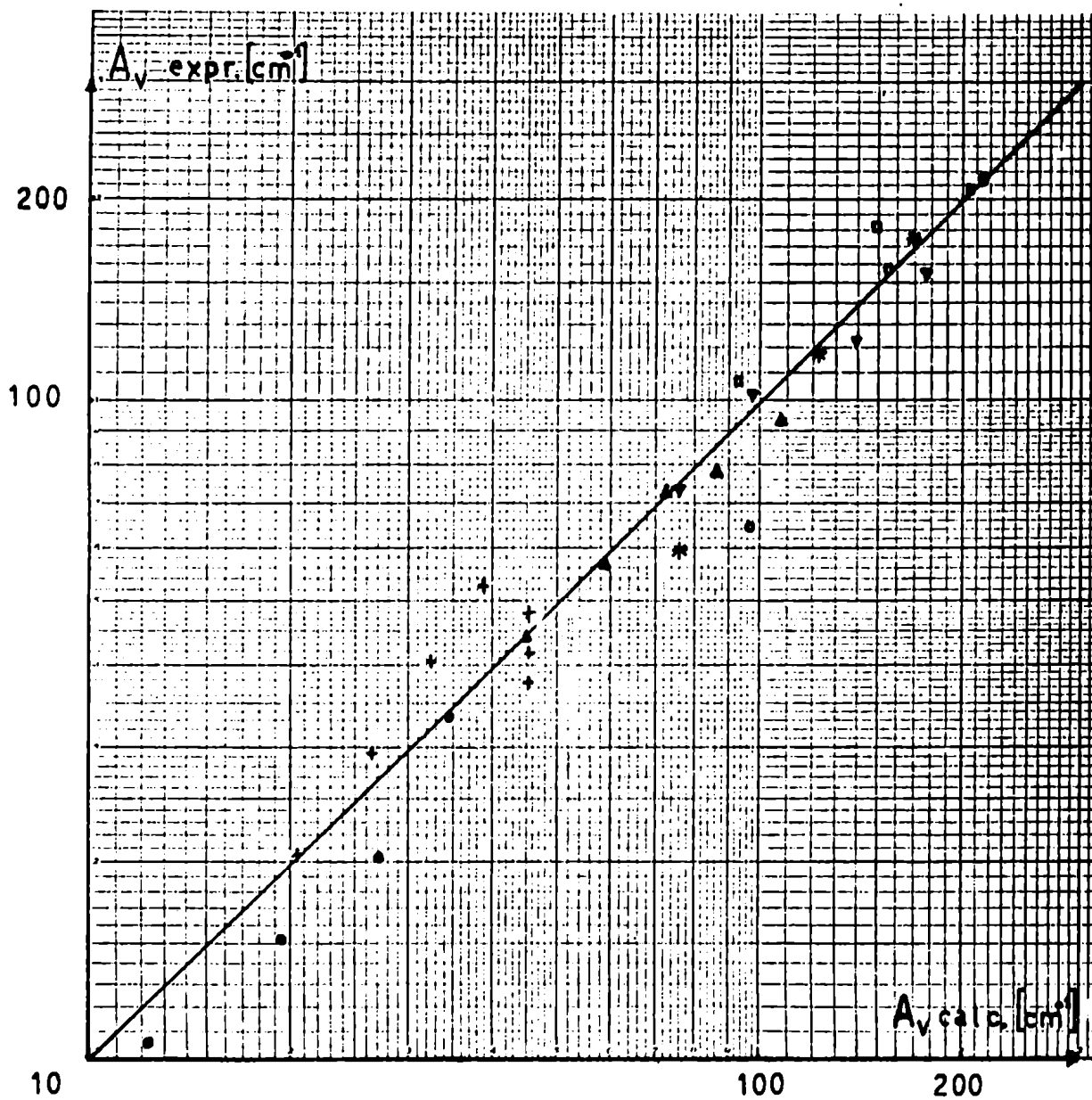
#	ϕ_D	D_b (cm)	V_p (cm ³)	A_v exp (cm ⁻¹)	A_v calc (cm ⁻¹)
25	0,30	0,50	20	107,17	93,64
26	0,30	0,50	30	182,11	148,65
27	0,30	0,50	40	208,86	206,35
28	0,40	0,50	20	64,33	97,26
29	0,40	0,50	30	158,33	154,41
30	0,40	0,50	40	213,08	214,33

INTERFASE ESFERICA

TABLA # 70

#	ϕ_D	D_b (cm)	V_p (cm ³)	A_v exp (cm ⁻¹)	A_v calc (cm ⁻¹)
1	0,10	0,50	20	39,77	40,24
2	0,10	0,50	25	50,01	50,66
3	0,10	0,50	30	62,62	61,16
4	0,10	0,50	35	65,60	71,70
5	0,10	0,50	40	76,41	82,30
6	0,10	0,40	20	62,02	63,79
7	0,10	0,40	25	82,50	80,31
8	0,10	0,40	34	95,19	110,31
9	0,10	0,40	42	114,67	137,20
10	0,10	0,71	20	19,33	19,51
11	0,10	0,71	25	27,09	24,56
12	0,10	0,71	30	36,30	29,65
13	0,10	0,71	35	46,13	34,77
14	0,10	0,71	40	42,32	39,90
15	0,10	0,71	40	34,65	39,90
16	0,10	0,71	40	39,76	39,90
17	0,10	0,71	40	42,19	39,90
18	0,10	0,89	20	9,76	12,24
19	0,10	0,89	30	15,13	18,60
20	0,10	0,89	40	19,04	25,03
21	0,10	0,89	50	30,87	31,51
22	0,20	0,50	20	55,31	69,03
23	0,20	0,50	30	103,58	104,91
24	0,20	0,50	40	144,43	141,18
25	0,30	0,50	20	99,86	86,86
26	0,30	0,50	30	161,52	132,00
27	0,30	0,50	40	180,62	177,63
28	0,40	0,50	20	63,33	94,21
29	0,40	0,50	30	147,69	143,18
30	0,40	0,50	40	186,16	192,68

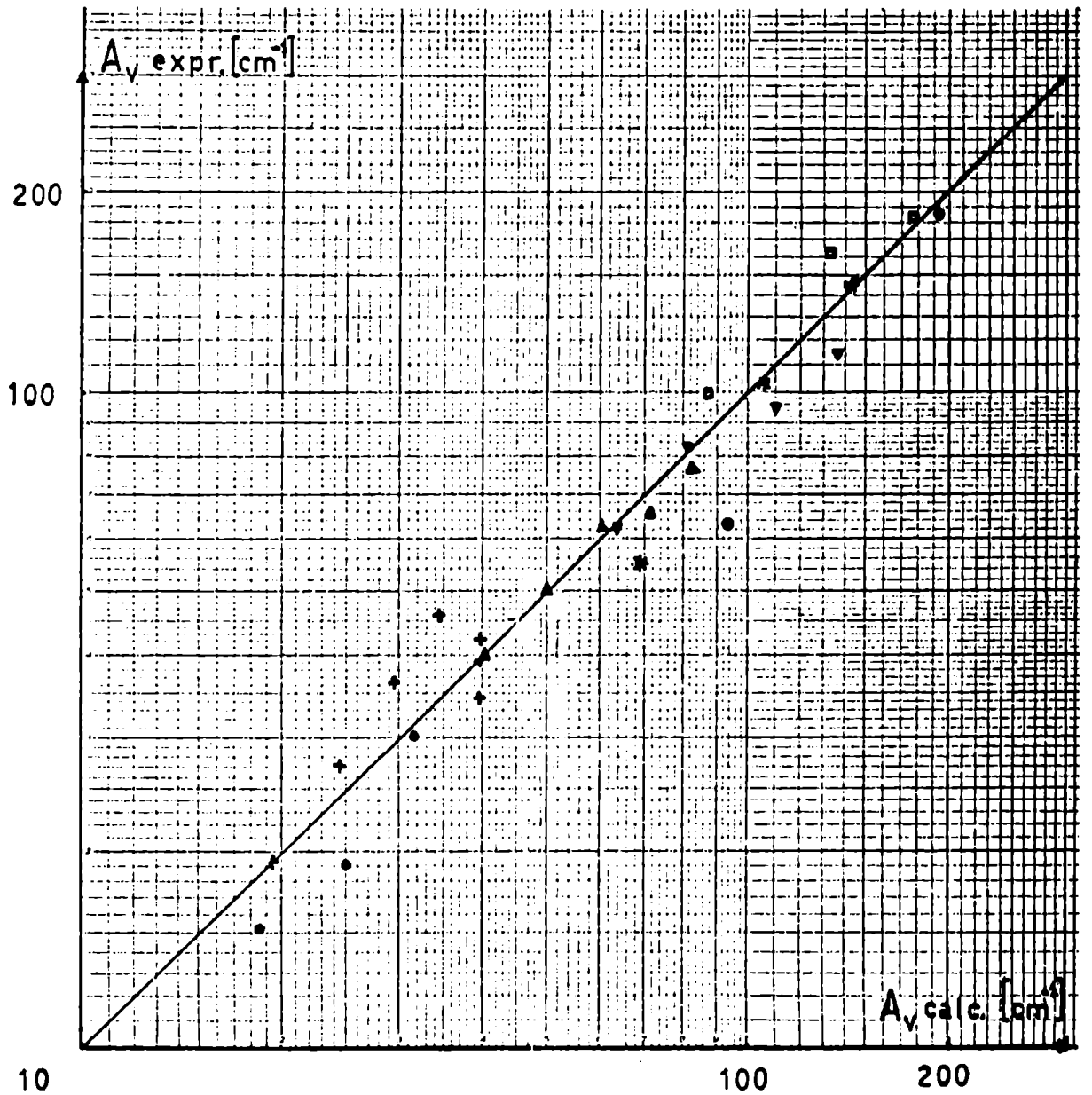
GRAFICO N° 12



$D_b \text{ 0.50 [cm]}$
 $\left\{ \begin{array}{l} * \phi_D \text{ 0.20} \\ \square \phi_D \text{ 0.30} \\ \circ \phi_D \text{ 0.40} \end{array} \right.$

$\phi_D \text{ 0.10}$
 $\left\{ \begin{array}{l} \nabla D_b \text{ 0.40 [cm]} \\ \blacktriangle D_b \text{ 0.50 [cm]} \\ + D_b \text{ 0.71 [cm]} \\ \bullet D_b \text{ 0.89 [cm]} \end{array} \right.$

GRAFICO N: 13



$D_b \text{ 0.50 [cm]}$

*	ϕ_D	0.20
□	ϕ_D	0.30
○	ϕ_D	0.40

$\phi_D \text{ 0.10}$

▼	D_b	0.40 [cm]
▲	D_b	0.50 [cm]
+	D_b	0.71 [cm]
•	D_b	0.89 [cm]

PROGRAMA DE OPTIMIZACION DE COEFICIENTES

```
      SUBROUTINE IQSAMA(Y,X,NX,PREC,IMPRE,DIQPAR,MAXC)
C     SIGNIFICADO DE LOS ARGUMENTOS
C     Y     VALOR DE LA FUNCION A MINIMIZAR
C     X     VALOR DE LOS PARAMETROS A OPTIMIZAR
C     DX    PASO DE EXPLORACION SOBRE LAS X
C     NX    NUMERO DE PARAMETROS A DETERMINAR
C     PREC  VARIABLE QUE DEFINE LA PRECISION DESEADA
C     IMPRE INDICA LA FRECUENCIA DE LA IMPRESION DE RESULTADOS
C     PARCIALES (IMPRIME CADA IMPRE ITERACIONES)
C     MAXC  NUMERO MAXIMO DE CALCULOS DE LA FUNCION A REALIZAR
C     DIQPAR NOMBRE DEL SUBPROGRAMA PARTICULAR. DEBE FIGURAR
C     EN UNA ORDEN EXTERNAL EN EL PROGRAMA PRINCIPAL
C     FUNCION PARTICULAR DEBE ESCRIBIRSE COMO SUBPROGRAMA LLAMADO
C     DIMENSION X(6),DX(6),XA(6),XC(6),XX(6,6),XB(6),IFX(6),IFXB(6)
      FACT=.000001
      CALL DIQPAR(Y,X,DX,NX,1)
C     SUBROUTINE DIQPAR(Y,X,DX,NX,K)
C     ORGANIZACION SUBPROGRAMA DIQPAR
C     PRIMERA ORDEN EJECUTABLE      GO TO(N1,N2,N3),K
C     N1,N2,N3  NUMEROS DE ORDEN
C     K=1  LEE DATOS, VALORES INICIALES X,DX.,CALCULO DE CONSTANTES
C     K=2  IMPRIME RESULTADOS CALCULOS CON PARAMETROS OPTIMOS
C     K=3  CALCULOS DE LA FUNCION A MINIMIZAR
      SOM=0
      DO 60 I=1,NX
60    SOM=SOM+DX(I)*DX(I)
      PREC=PREC*SQRT(SOM/NX)
      CALL DIQPAR(Y,X,DX,NX,3)
      NCAL=1
      NIT=0
      IF(IMPRE.LE.1)WRITE(6,101)NIT,NCAL,Y,(X(I),I=1,NX)
      YB=Y
      DO 1 I=1,NX
1     XB(I)=X(I)
2     YC=YA
```

```
YA=YB
NIT=NIT+1
DO 63 I=1,NX
  IFXB(I)=IFX(I)
  XC(I)=XA(I)
63 XA(I)=XB(I)
  4 DO 5 I=1,NX
    X(I)=XB(I)+DX(I)
    CALL DIQPAR(Y,X,DX,NX,3)
    NCAL=NCAL+1
    IF(Y.GE.YB)GO TO 37
    IFX(I)=1
    GO TO 7
37 X(I)=XB(I)-DX(I)
    CALL DIQPAR(Y,X,DX,NX,?)
    NCAL=NCAL+1
    IF(Y.GE.YB)GO TO 38
    IFX(I)=-1
    GO TO 7
38 X(I)=XB(I)
    Y=YB
    IFX(I)=0
    GO TO 5
7 YB=Y
  XB(I)=X(I)
5 CONTINUE
  IF(YB.LT.YA)GO TO 11
  SOM=0.
  DO 66 I=1,NX
66 SOM=SOM+DX(I)*DX(I)
  SOMA=SOM
  DXM=SQRT(SOM/NX)
  IF(DXM.LEPREC)GO TO 29
  DO 14 J=1,NX
    IF(ABS(DX(J)).LE.ABS(FACT*X(J)))GO TO 14
    DX(J)=DX(J)*.1
14 CONTINUE
```

```
SOM=0.
DO 92 I=1,NX
92 SOM=SOM+DX(I)*DX(I)
   IF(SOMA.GT.SOM)GO TO 4
   GO TO 29
11 KL=1
13 DO 23 J=1,NX
23 X(J)=2.*XB(J)-YA(J)
   CALL DIQPAR(Y,X,DX,NX,3)
   NCAL=NCAL+1
   IF(Y.GE.YB)GO TO 70
   YB=Y
   DO 17 J=1,NX
17 XB(J)=X(J)
   KL=KL+1
   GO TO 13
70 IF(NIT.LE.1)GO TO 9
   DO 68 J=1,NX
68 XC(J)=.8*XB(J)+.2XC(J)
83 DO 69 J=1,NX
69 X(J)=2.*XB(J)-XC(J)
   CALL DIQPAR(Y,X,DX,NX,3)
   NCAL=NCAL+1
   IF(Y.GE.YB)GO TO 9
   YB=Y
   DO 72,J=1,NX
72 XB(J)=X(J)
   GO TO 83
9 DO 31 I=1,NX
31 X(I)=XB(I)
   Y=YB
   IF(NIT.NE.NIT/IMPRES*IMPRES)GO TO 27
   WRITE(6,101)NIT,NCAL,Y,(X(I),I=1,NX)
27 IF(NCAL.GE.MAXC)GO TO 26
   IF(KL.LE.2)GO TO 76
   DO 77 J=1,NX
```

```
77 DX(J)=DX(J)*1.62
76 IF(NIT.EQ.1)GO TO 2
   DO 75 I=1,NX
   IF(IFX(I).NE.0)GO TO 78
   IF(IFXB(I).NE.0)GO TO 75
   GO TO 73
78 IF(IFX(I)*IFXB(I))73,75,74
73 IF(ABS(DX(I)).LE.ABS(FACT*X(I)))GO TO 75
91 DX(I)=DX(I)*.62
   GO TO 75
74 DX(I)=DX(I)*1.62
75 CONTINUE
   GO TO 2
26 WRITE(6,102)
29 WRITE(6,104)(DX(J),J=1,NX
   WRITE(6,103)NCAL,NIT
   CALL DIQPAR(Y,X,DX,NX,2)
RETURN
```

4.1. Descripción del mecanismo de formación de gotas

La producción de emulsiones es generalmente consecuencia de la agitación de líquidos inmiscibles, o de la inyección de una fase dentro de la otra, (26), (27).

En estas circunstancias, uno de los líquidos se fragmenta, dispersándose en forma de gotas, pasando a constituir la denominada fase dispersa.

El hecho de que en un par de líquidos, uno se disperse, está condicionado por una serie de factores, entre los que se destacan su proporción volumétrica y viscosidad.

La elevada viscosidad de un líquido predispone para que éste se comporte como fase continua. El conocimiento del mecanismo de formación de gotas, tiene por objeto esclarecer aspectos del comportamiento de las emulsiones, vinculado a la magnitud del mezclado y a la estabilidad de la dispersión.

El mecanismo se inicia con la ruptura, provocada por impacto de los líquidos contra las paletas del agitador y las paredes del tanque.

En casos de alta viscosidad de la fase continua y apreciable velocidad relativa de las fases, el esfuerzo de corte juega un papel importante en la fragmentación, (28), (29).

Para gotas de líquido que se mueven en fases continuas de bajas viscosidades (30), la fuerza de arrastre ejercida por el campo continuo, se ha estudiado por medio de gráficos donde figura el coeficiente de arrastre en función del número de Reynolds de la gota.

Por debajo de 1.000 del número de Reynolds, hay una disminución continua de la fuerza de arrastre, mientras que al incrementar por encima de este valor, sube rápidamente el coeficiente de arrastre, después de lo cual se produce la ruptura de la gota.

Este comportamiento observado por distintos autores, (31), (32), (33), puede ser debido a que el aumento de la velocidad de la gota, se traduce en deformaciones oscilantes de su superficie,

que llegan hasta su fragmentación.

Las perturbaciones superficiales han llamado la atención de los investigadores, por que producen grandes incrementos de la velocidad interfacial de transferencia de masa.

Su aparición se atribuye en algunos casos, a modificaciones locales de tensión interfacial, promovidas por gradientes de concentración o temperatura. En otros, la inestabilidad sería provocada por apartamiento transitorio del equilibrio de fuerzas que actúan sobre la superficie de la gota.

Las fuerzas que controlan la deformación y ruptura comprenden dos grupos adimensionales: el número Weber y un grupo de viscosidad $\mu_d / \sqrt{\rho_d \cdot \sigma_D}$, ocurriendo la partición cuando el número de Weber excede cierto valor crítico que determina el máximo tamaño en la población.

Varios autores (34), (35), (36) y (37), estudiaron la formación de emulsiones por eyección de la fase dispersa, en términos de balances de fuerzas que actúan sobre las gotas; considerando la fuerza de empuje debido a la diferencia de densidad, la fuerza de tensión superficial, la fuerza cinética expresada como función cuadrática de la velocidad de pasaje por la boquilla y la fuerza de arrastre suministrada por la ley de Stockes.

Los resultados del volumen medio de gota obtenidos por este modelo, coinciden con las mediciones, para velocidades de eyección relativamente bajas (hasta 30 cm/sg), mientras que con valores superiores no hay coincidencia, debido probablemente a que la suposición de que las fuerzas tienen únicamente componentes verticales ya no es válida, al incrementarse marcadamente la turbulencia.

A continuación de la ruptura, y luego de una trayectoria condicionada por la turbulencia y la proporción de fase dispersa, se produce la colisión de las gotas.

Vanderveen J.H. (38), estudió la variación del tamaño de las gotas con la posición respecto del agitador, por medio de una sonda fotoeléctrica.

Observó que el tamaño de las gotas, es más pequeño en el extremo del agitador, y se incrementa hacia el tope y el fondo del tanque. Esto se produce por colisión de las gotas, con lo que se inicia el proceso de crecimiento, cuya frecuencia está dada por la velocidad del agitador, el número de gotas por unidad de volumen, el tamaño medio de la dispersión, la geometría del mezclador y la homogeneidad de la dispersión, como factores más importantes.

Scott y colaboradores (39) y (40), realizaron parecidas observaciones en un sistema líquido-líquido, mezclado por medio de una placa orificio, indicando además que todos los choques para este sistema particular, ocurrían entre el orificio y una posición situada a 220 pulgadas corriente abajo.

A efectos de la variación del área de contacto, interesa que los choques resulten eficaces en cuanto a la formación de gotas más grandes.

La aglomeración puede ser dificultada en caso de dispersiones muy finas, cuando el diámetro de las gotas es del orden de 1,5 micrones o menor. En estas condiciones, los choques resultan totalmente ineficaces, comportándose el sistema como una emulsión estable.

Más importante para la floculación, es la presencia de distintas sustancias como impurezas sólidas, hecho frecuente en los equipos industriales, que aún en bajas proporciones, se acumulan en la interfase, bloqueando el contacto.

La variable que indica esta circunstancia, es la tensión superficial, cuyos valores descienden marcadamente con el consiguiente aumento de la estabilidad.

Los iones que se encuentran en fase acuosa suelen adsorberse selectivamente en la superficie interfacial, como por ejemplo, los aniones, que siendo más solubles que los cationes en fase orgánica, en sistemas donde lo dispersado es un líquido no acuoso, dan gotas cargadas negativamente. Cada gota está rodeada de una atmósfera iónica de signo opuesto, que al ponerse el conjunto en

movimiento genera un potencial, denominado potencial zeta, con efectos perniciosos para la floculación (41), (42).

Luego de la aglomeración de las gotas puede producirse la redispersión debido a la turbulencia, o bien la fusión mutua del grupo, fenómeno denominado coalescencia.

Para que esto último tenga lugar, se requiere la perforación de la película interfacial siendo la fuerza impulsora la tensión superficial.

Madden A.J. y Danerell G.L. (43), proponen un modelo simplificado de coalescencia y ruptura, según el cual, bajo condiciones constantes de agitación, la fase dispersa está constituida por un número determinado de gotas de igual tamaño. Esto implica que cuando se forma un agregado de gotas bajo efecto de la coalescencia, inmediatamente se rompen en dos nuevas gotas, cuyos tamaños reproducen a las precedentes. Establecieron además que la frecuencia de coalescencia, definida como la fracción del total de gotas que coalescen por unidad de tiempo, varían con la velocidad del agitador elevada a 2,4 y con la raíz cuadrada del volumen de fase dispersa.

Trabajos posteriores de Howarth W.J. (44), coinciden con estos resultados.

La viscosidad de la fase continua es una de las propiedades físicas que afectan la coalescencia. Cuando esta variable tiene un valor elevado, el drenaje del líquido ubicado entre las gotas se produce con lentitud, retardando la fusión.

Los cambios de temperatura que influyen sobre la viscosidad y la tensión superficial, tienen también un marcado efecto sobre la velocidad de coalescencia (45).

No obstante, Vermeulen T., Williams G.M. y Langlois G.E. (46), han informado que variaciones de la viscosidad en la fase continua entre 1,81 y 65,4 cpoise, se traducen en alteraciones del diámetro medio comprendidos entre 10 y 20 por ciento.

Además observaron variaciones de alrededor del 30% en el diámetro, con la viscosidad de la fase dispersa, acompañada por cam-

bios de densidad entre $0,693$ y $0,891$ gr/cm^3 , y modificaciones de la tensión interfacial entre $46,5$ y $55,5$ dinas/cm.

Surgiría de todo esto, que la relación de viscosidades de las fases, más que sus valores absolutos influyen sobre la coalescencia, en especial cuando la fuerza impulsora del fenómeno es reducida.

Además si tiene lugar la transferencia de soluto entre las fases, es posible la aparición de gradientes de tensión superficial que afecten la fusión.

El sentido del flujo másico puede incrementar o disminuir la velocidad de fusión, de manera que si el soluto pasa a la fase continua y esto se traduce en una disminución local de la tensión superficial, habrá un desplazamiento de líquido con el consiguiente aumento de la velocidad de escurrimiento de la película ubicada entre las gotas.

Si se produce el pasaje de soluto hacia las gotas, podría ocurrir entonces, una disminución de la velocidad de coalescencia. El retardo que esto provoca, en la formación de gotas más grandes, se manifiesta en una mayor estabilidad de la emulsión, que puede llegar a dificultar la circulación de los líquidos dentro del contactor.

En síntesis, el volumen de fase dispersa va pasando por las etapas de: ruptura, choque, floculación y por último, redispersión o bien coalescencia, pudiendo, a partir de esta última, reiniciar el ciclo.

Las continuas oscilaciones de la superficie interfacial que supone el cumplimiento de este mecanismo, trae como consecuencia una importante agitación dentro de la fase dispersa, que redundará en una mayor eficiencia de los fenómenos de transporte que se pretenden.

En el apartado siguiente, se comparan las correlaciones obtenidas por distintos autores para A_v , observándose que las variables implicadas en ellas son las mismas, debido a que el mecanismo de formación de gotas, coincide cualitativamente en los distintos contactores.

4.2. Comparación de resultados

Se comparan a continuación los valores del área de contacto su ministrados por distintas correlaciones, obtenidas con mezcladores convencionales, dotados de turbinas con seis paletas y cortacorrientes.

KAFAROV Y BABANOV (47)

$$A_v \cdot d_t = 13,65 W_e^{0,5} \cdot R_e^{0,1} \cdot \phi_D^{0,84}$$

válida para: $0 \leq \phi_D \leq 0,1$

CALDERBANK (48)

$$A_v \cdot d_t = 100 \cdot \frac{\phi_D}{1 + 9 \cdot \phi_D} \cdot W_e^{0,6}$$

válida para: $0 < \phi_D < 0,2$

DE SANTIAGO Y TRAMBOUZE (49)

$$A_v \cdot d_t = 19,8 \cdot \frac{\phi_D}{1 + 3 \cdot \phi_D} \cdot W_e^{0,6} \cdot \exp(0,1 P_o)$$

válida para: $0,1 < \phi_D < 0,4$

AYERS (50)

$$A_v \cdot d_t = 90,9 W_e^{0,22} \cdot \phi_D^{0,18} \left(\frac{v_D}{v_c}\right)^{0,19} \exp\left(1,37 \frac{\Delta \rho}{\rho_c}\right) \left(\frac{d_t}{D_T}\right)^{0,82} \exp\left(0,35 \frac{D_T}{D_o}\right)$$

válida para: $0,2 < \phi_D < 0,5$

En el presente trabajo, la correlación es:

$$A_v \cdot D_T = 62,96035 \cdot W_e^{0,516} \{ \phi_D - 1,134 \phi_D^2 \}$$

válida para: $0,1 \leq \phi_D \leq 0,4$

En las correlaciones correspondientes, a mezcladores convencionales, los números adimensionales se definen:

$$W_e = \frac{d_t^3 \cdot N^2 \cdot \rho_C}{\sigma} \quad ; \quad R_e = \frac{d_t^2 \cdot N}{\nu} \quad ; \quad P_o = \frac{P}{d_t^5 \cdot N^3 \cdot \rho_M}$$

siendo: d_t = diámetro del agitador

N = revoluciones/segundo

P = potencia consumida por el mezclado

D_T = diámetro del tanque

ν = viscosidad cinemática

$D_o = 0,333$ pies

En el presente trabajo, el número de Weber se definió:

$$W_e = D_T \left(\frac{F_p \cdot V_p}{D_b^2} \right)^2 \frac{\rho_M}{\sigma}$$

En las correlaciones indicadas, se trabajó con:

$$d_t = \frac{D_T}{3} = \frac{5,9}{3}$$

$$\text{Volumen de tanque} = 250 \text{ cm}^3$$

siendo las propiedades de los líquidos, las correspondientes a los utilizados en el presente trabajo:

$$\mu_C = 0,071 \text{ (gr/cm.sg)}$$

$$\mu_D = 0,0069 \text{ (gr/cm.sg)}$$

En el gráfico # 14, se representan los valores de A_v en función de ϕ_D para $W_e = 1000$.

Se aprecia que los valores correspondientes al tanque agitado por boquillas, son inferiores a los suministrados por los agitadores convencionales, lo que puede interpretarse considerando que el mezclador estudiado, la ruptura ocurre preferentemente sobre el fondo del tanque, siendo las restantes zonas del tanque, luga-

GRAFICO N: 14

$W_e \cdot 1000$

$A_v [cm^2]$

300

200

100

0.10

0.20

0.30

0.40

0.50

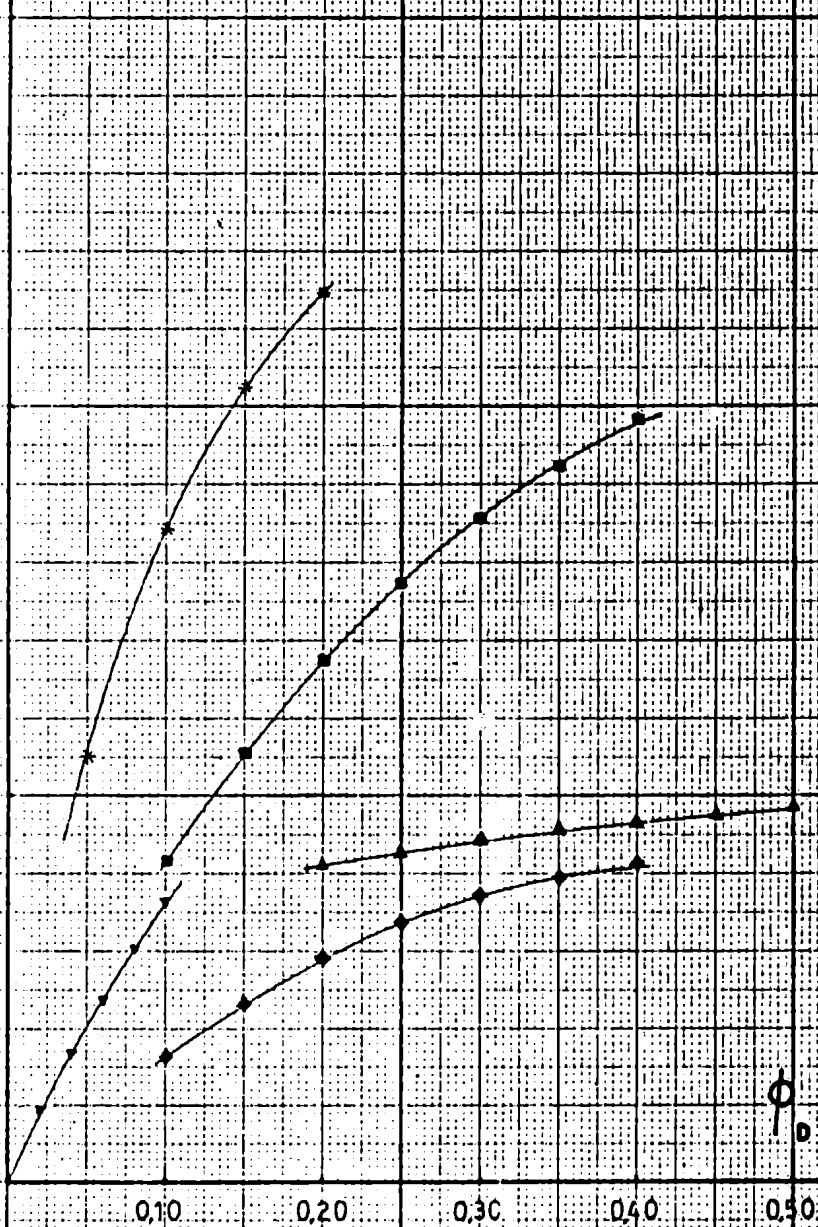
* CALDERBANK

▼ KAFAROV BABANOV

■ DE SANTIAGO TRAMBOUZE

▲ AYERS

◆ ESTE TRABAJO



res donde predomina el fenómeno de coalescencia.

Por la forma de las curvas, se puede suponer además, un mismo tipo de funcionalidad entre A_V y ϕ_D , para todas estas correlaciones:

$$W_c = 1000 \quad ; \quad R_{ec} = 3940,8 \quad ; \quad P_o = 5,2967$$

TABLA # 71

CALDERBANK		KAFAROV Y BABANOV		AYERS		DE SANTIAGO Y TRAMBOUZE		ESTE TRABAJO	
ϕ_D	A_V	ϕ_D	A_V	ϕ_D	A_V	ϕ_D	A_V	ϕ_D	A_V
0,05	110,63	0	0,0	0,20	82,11	0,10	83,02	0,10	33,41
0,10	168,86	0,02	18,79	0,25	85,47	0,15	111,65	0,15	46,92
0,15	204,79	0,04	33,63	0,30	88,35	0,20	134,92	0,20	58,28
0,20	229,17	0,06	47,27	0,35	90,81	0,25	154,19	0,25	67,51
		0,08	60,21	0,40	93,03	0,30	170,42	0,30	74,60
		0,10	72,62	0,45	95,02	0,35	184,27	0,35	79,55
				0,50	96,84	0,40	196,24	0,40	82,37

Para comparar la magnitud del mezclado que se obtiene en un tanque convencional, con el que corresponde a uno agitado por pulsos, se representan a continuación A_V en función de P/V , para ϕ_D entre 0,10 y 0,40.

Para el tanque agitado con paletas, se utiliza la correlación de De Santiago - Trambouze.

En estos gráficos se incluyen los valores correspondientes a los diámetros de boquillas de 0,50 cm y 0,89 cm.

En el caso de tanques con paletas se utilizó la relación:

$$P_o = 1,53 R_{ec}^{0,15}$$

para el cálculo de P/V .

En el tanque agitado con boquillas, la potencia fue calculada por medio de la siguiente expresión:

$$P = 2 \left(\frac{V_p \cdot F_p}{D_b} \right)^3 \frac{\rho_M}{D_b}$$

Los cálculos se realizaron hasta valores de 340.000 erg/sg.cm³ de P/V.

Las unidades de V_p, P/V y A_v que aparecen en las siguientes tablas son: (V_p) = (cm³); (P/V) = (erg/sg.cm³); (A_v) = (cm⁻¹).

TABLA # 72

TANQUE AGITADO CON BOQUILLAS

$\phi_D = 0,10$; $\rho_M = 1,23$ (gr/cm³) ; $F_p = 0,95$ (sg⁻¹) ; $V_T = 250$ cm³

$D_b = 0,5$ cm		$D_b = 0,89$ cm		A_v
V_p	P/V	V_p	P/V	
7,5	227,8	23,7	714,18	14,5
12,0	933,02	37,5	2.827,28	23,37
17,0	2.652,7	53,0	8.007,43	33,42
20,5	4.651,6	65,0	14.770,87	41,19
23,6	7.097,1	75,0	22.690,8	47,78
26,4	9.934,7	84,0	31.878,94	53,61
29,0	13.168,6	92,0	41.882,20	58,89
40,0	34.556,19	126,7	109.394,6	82,17
50,0	67.492,56	158,0	213.762,5	103,45
60,0	116.627,14	190,0	369.498,2	124,87
70,0	185.199,58	221,8	586.881,8	146,37
80,0	276.449,52	253,5	876.193,3	168,05

TABLA # 73

TANQUE AGITADO CON BOQUILLAS

$\phi_D = 0,20$; $\rho_M = 1,192$ (gr/cm³) ; $F_p = 0,95$ (sg⁻¹) ; $V_T = 250$ (cm³)

$D_b = 0,5$ cm		$D_b = 0,89$ cm		A_v
V_p	P/V	V_p	P/V	
7,5	220,7	23,7	693,8	25,4
12,0	904,2	38,0	2.860,1	40,75
17,0	2.570,7	53,8	8.116,78	58,3

V_p	P/V	V_p	P/V	A_v
20,7	4.641,17	65,7	14.782,0	71,8
24,0	7.233,53	76,0	22.881,16	83,3
26,8	10.072,1	85,0	32.010,6	93,5
29,4	13.297,16	93,2	42.197,31	102,73
40,0	33.485,6	126,7	106.014,6	141,01
50,0	65.401,6	158,4	207.157,9	177,54
60,0	113.013,96	190,1	358.081,9	214,29
70,0	179.461,99	221,8	568.746,8	251,21
80,0	267.884,9	253,5	849.118,48	288,37

TABLA # 74

TANQUE AGITADO CON BOQUILLAS

$\phi_D = 0,30$; $\rho_M = 1,153$ (gr/cm³) ; $F_p = 0,95$ (sg⁻¹) ; $V_T = 250$ (cm³)

$D_b = 0,5$ cm		$D_b = 0,89$ cm		A_v
V_p	P/V	V_p	P/V	
7,75	235,59	24,55	746,01	32,5
12,25	930,41	38,81	2.947,28	52,2
17,25	2.597,98	54,65	8.229,26	74,6
21,25	4.856,76	67,32	15.382,35	91,9
24,42	7.370,67	77,38	23.360,19	106,67
27,31	10.309,44	86,54	32.676,91	119,69
29,92	13.556,7	94,79	42.941,54	131,50
40,00	32.392,92	126,7	102.546,0	177,43
50,00	63.267,4	158,4	200.380,1	223,37
60,00	109.326,06	190,1	346.366,1	269,58
70,00	173.605,7	221,8	550.140,6	316,14
80,00	259.143,27	253,5	821.339,9	362,78

TABLA # 75

TANQUE AGITADO CON BOQUILLAS

$\phi_D = 0,40$; $\rho_M = 1,114$ (gr/cm³) ; $F_p = 0,95$ (sg⁻¹) ; $V_T = 250$ (cm³)

$D_b = 0,5 \text{ cm}$		$D_b = 0,89 \text{ cm}$		A_v
V_p	P/V	V_p	P/V	
7,75	227,63	24,55	720,77	35,9
12,25	898,95	38,81	2.847,58	57,6
17,5	2.620,84	55,45	8.305,21	82,4
21,5	4.860,05	68,12	15.398,21	101,54
24,85	7.504,21	78,73	23.772,07	117,79
27,78	10.483,89	88,04	33.241,94	132,16
30,44	13.793,04	96,45	43.707,16	145,20
40,0	31.297,23	126,7	99.077,83	192,45
50,0	61.127,4	158,4	193.603,0	242,28
60,0	105.628,15	190,1	334.651,68	292,39
70,0	167.733,58	221,8	531.534,28	342,87
80,0	250.377,83	253,5	793.561,4	393,57

TABLA # 76

TANQUE AGITADO CON PALETAS

$D_{\text{agitador}} = 1,966 \text{ (cm)}$; $V_T = 250 \text{ (cm}^3\text{)}$; $\phi_D = 0,10$; $\rho_M = 1,23 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$

N (sg^{-1})	P/V	A_v
12	1.047,08	12,31
17	3.136,7	19,09
25	10.568,56	29,71
39	42.895,1	53,17
56	134.078,5	82,88
68	247.152,0	107,4
79	396.328,0	129,14
88	556.733,9	149,03
97	756.575,0	167,64

TABLA # 77

TANQUE AGITADO CON PALETAS

$D_{\text{agitador}} = 1,966 \text{ (cm)}$; $V_T = 250 \text{ (cm}^3\text{)}$; $\phi_D = 0,20$; $\rho_M = 1,192 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$

N (sg ⁻¹)	P/V	A_v
13	1.275,7	19,92
18	3.638,89	31,14
25	10.242,06	48,27
40	45.014,83	86,56
57	137.363,1	134,87
69	250.792,5	174,67
80	399.599,4	210,06
90	579.074,0	242,61
98,5	769.486,7	272,75

TABLA # 78

TANQUE AGITADO CON PALETAS

$D_{\text{agitador}} = 1,966$ (cm); $V_T = 250$ (cm³); $\phi_D = 0,30$; $\rho_M = 1,153$ (gr/cm³)

N (sg ⁻¹)	P/V	A_v
13	1.244,7	25,25
18	3.469,4	39,1
26	11.048,9	60,7
41	46.387,2	108,7
58	138.335,6	169,3
71	261.579,2	219,4
81,7	407.044,9	263,6
91,4	579.591,6	304,4
100,13	772.548,6	342,2

TABLA # 79

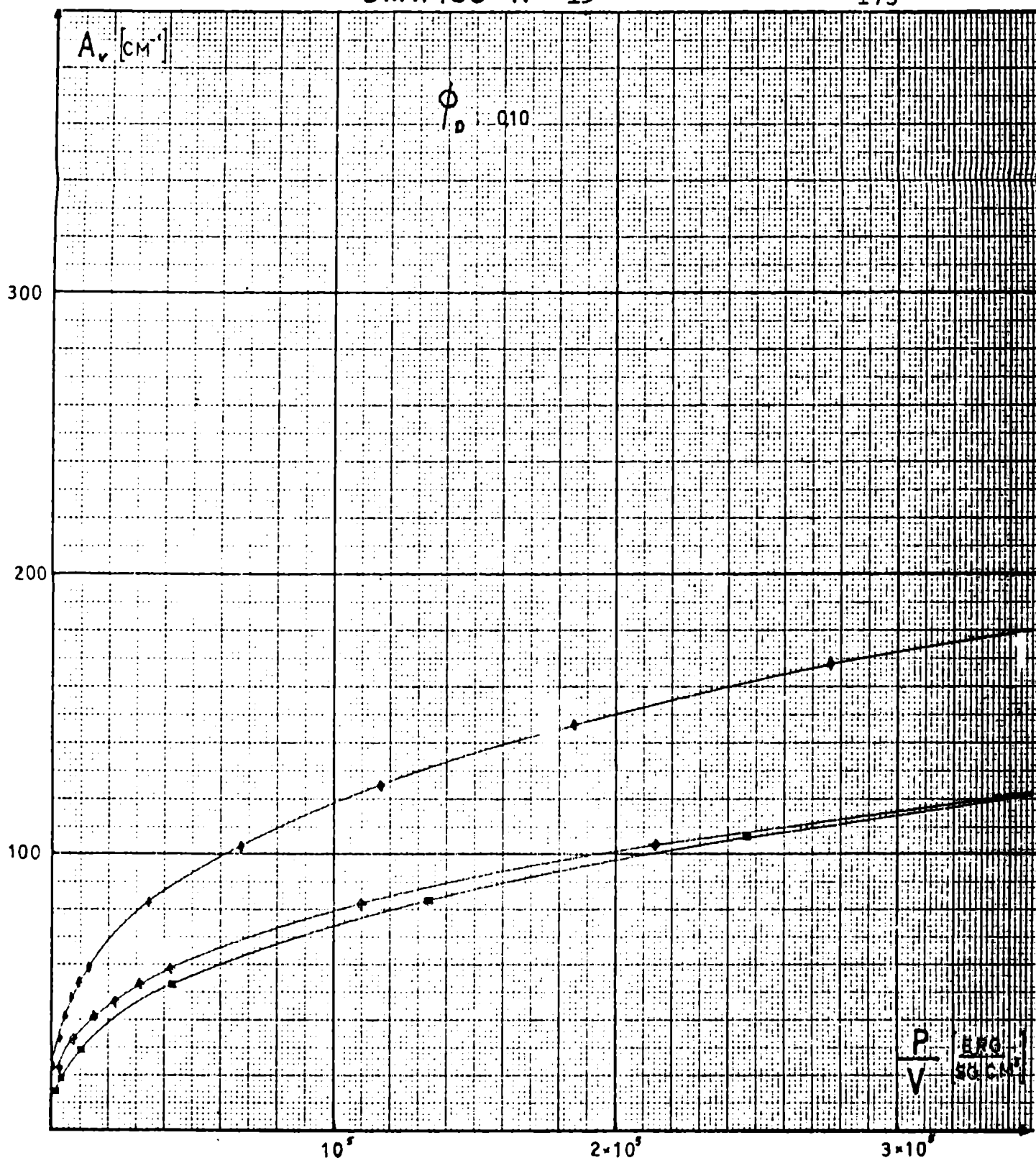
TANQUE AGITADO CON PALETAS

$D_{\text{agitador}} = 1,966$ (cm); $V_T = 250$ (cm); $\phi_D = 0,40$; $\rho_M = 1,114$ (gr/cm³)

N (sg ⁻¹)	P/V	A_v
13	1.196,39	29,02
18	3.334,92	44,91

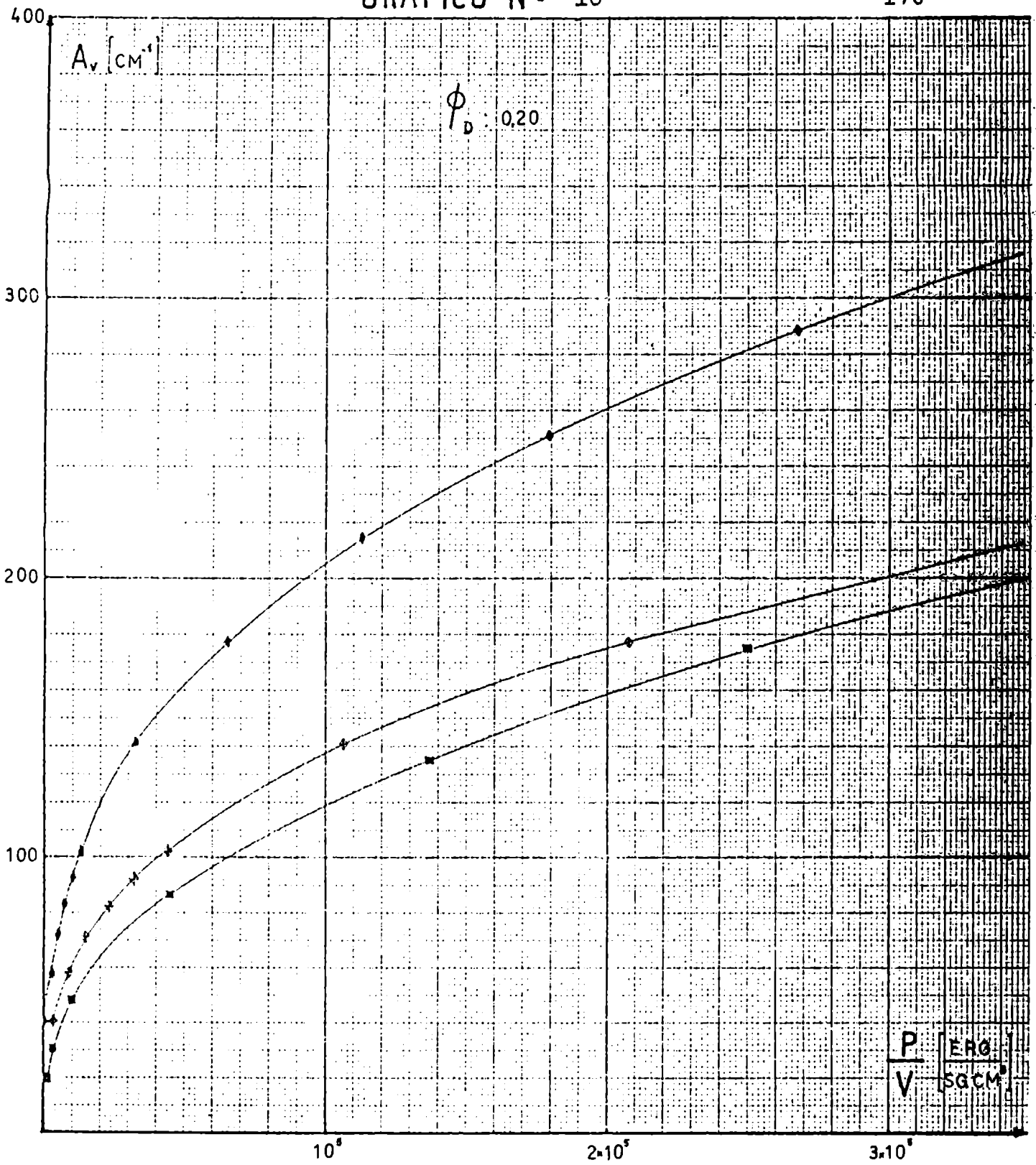
$\overset{N}{(sg^{-1})}$	P/V	A_v
26	10.619,95	69,51
41	44.586,34	124,92
59	140.327,8	194,69
72	262.754,3	252,24
83,18	414.013,7	303,23
93	588.385,7	349,97
101,8	782.276,5	393,45

GRAFICO N° 15



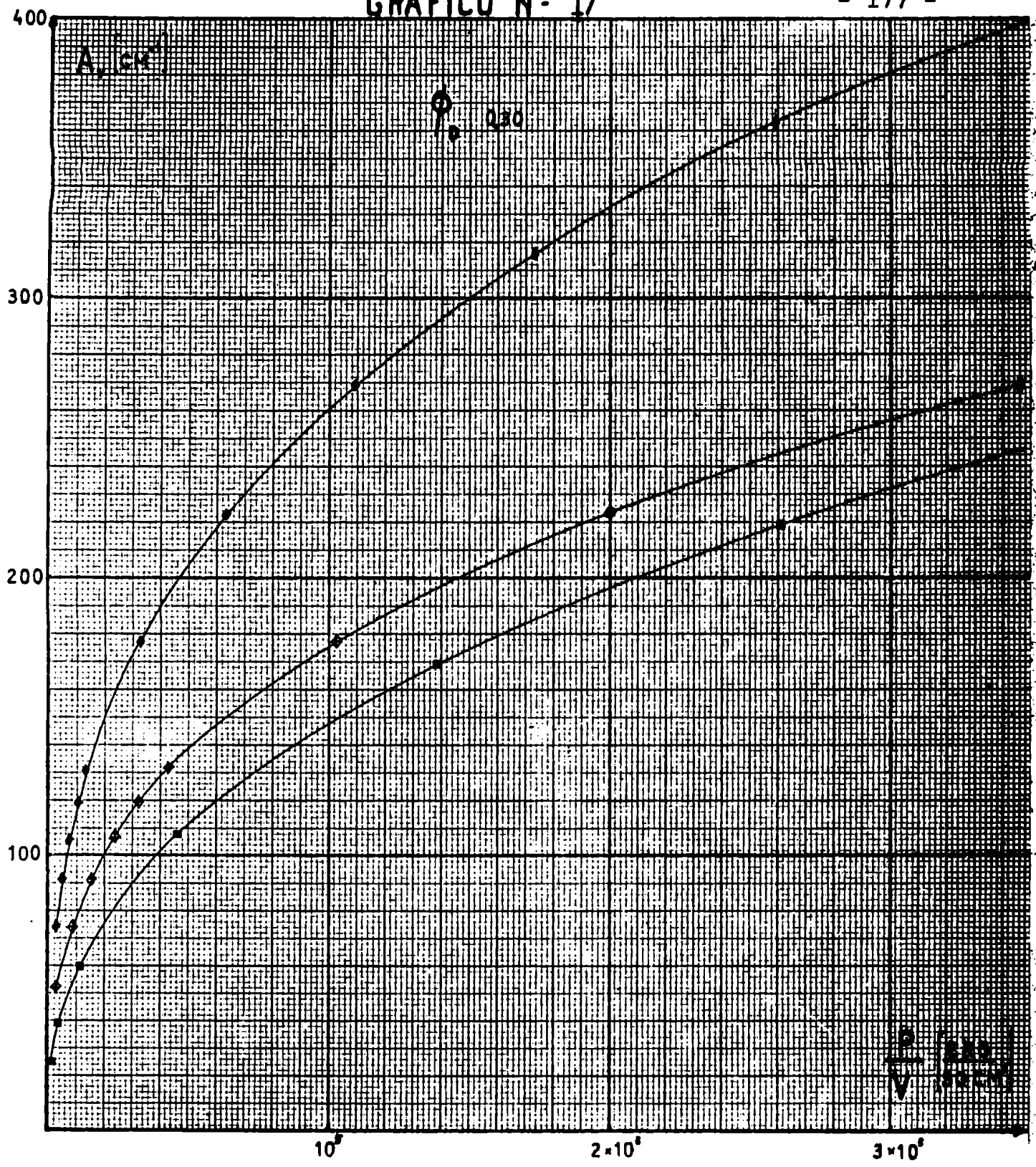
- ◆ $D_b : 0,50$ CM
- ◊ $D_b : 0,89$ CM
- PALETAS

GRAFICO N° 16

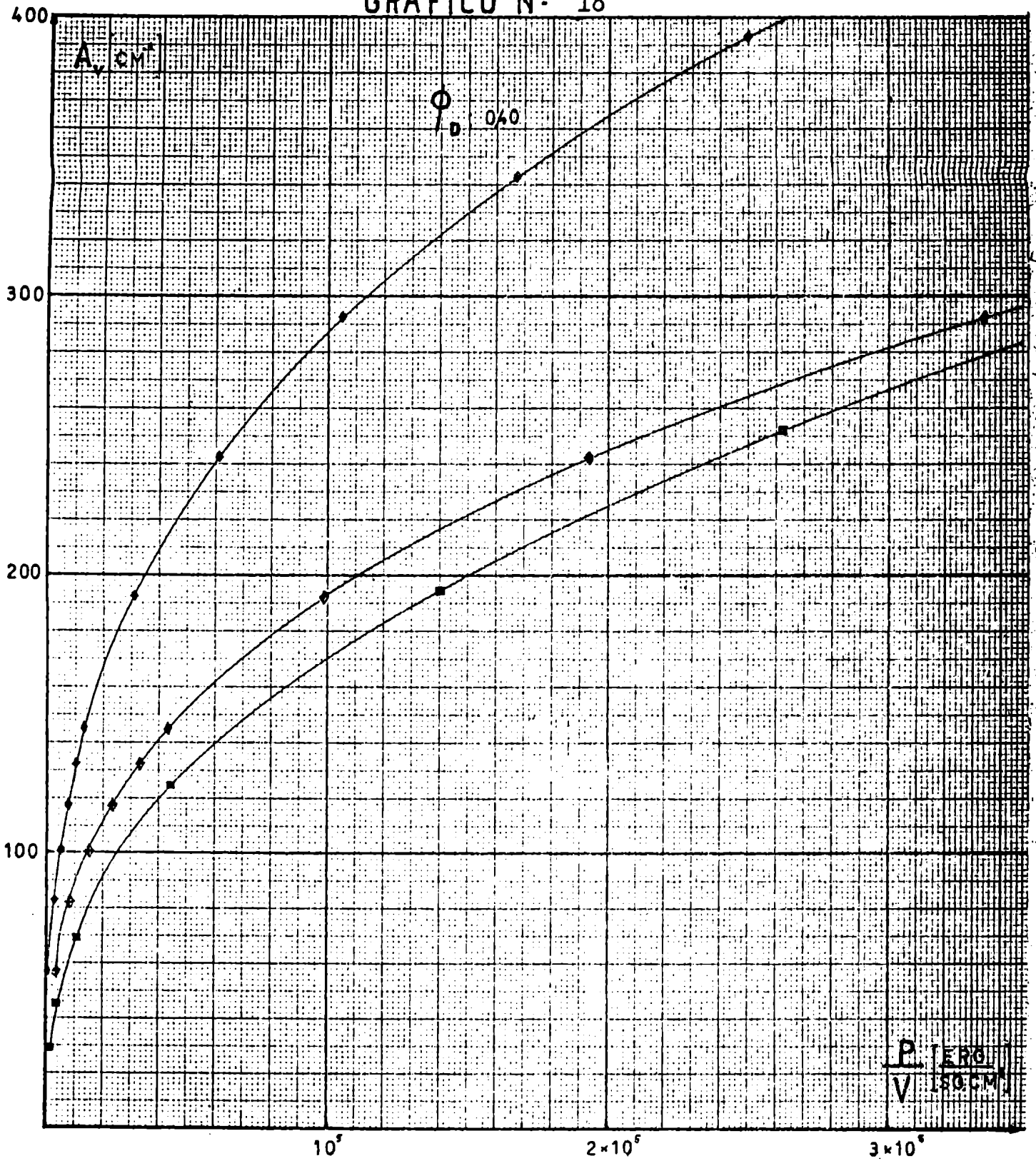


- ◆ $D_b : 0,50$ CM
- ◊ $D_b : 0,89$ CM
- PALETAS

GRAFICO N° 17



- ◆ $D_b : 0,50$ CM
- ◆ $D_b : 0,09$ CM
- PALETAS



◆ $D_b : 0,50$ CM

◆ $D_b : 0,89$ CM

■ PALETAS

En los gráficos anteriores se puede apreciar un mayor A_v para la agitación con boquillas que la obtenida con un agitador de paletas.

Esta diferencia es mayor para boquillas de 0,5 cm de diámetro que con boquillas de $D_b = 0,89$ cm.

Para un valor fijo de ϕ_D , la mayor magnitud del mezclado del agitador de boquillas respecto del agitador convencional, se acentúa al incrementarse la relación P/V.

Las diferencias apuntadas, en favor del agitador de boquillas, se hacen más pronunciadas al aumentar la relación de fase dispersa.

Todo lo señalado durante la comparación de resultados, reviste especial importancia, en el caso de los procesos extractivos de carácter difusional.

4.3. Análisis del sistema de mezclado

El estudio de un contactor, tiene como finalidad tecnológica, lograr la mayor eficiencia del proceso que se va a realizar en su interior, por medio del conocimiento de las variables determinantes de la velocidad del fenómeno.

Es frecuente, en los procesos extractivos líquido-líquido, un control cinético de tipo difusional ((51), (52), (53) y (54)).

El mezclador estudiado se utilizará en la extracción de $(NO_3)_2(UO_2)$ con tributil-fosfato (T.B.P.), siendo la difusión del complejo $(NO_3)_2(UO_2).2$ T.B.P., la etapa más lenta del mecanismo de transferencia, ((55), (56) y (57)).

Por consiguiente, la cantidad de uranio que se transfiere por unidad de tiempo a través de la película continua es:

$$(4.1) \quad dU_c = k_c \cdot dA \{ |U|_c^i - |U|_c^1 \}$$

a través de la película dispersa:

$$(4.2) \quad dU_D = k_D \cdot dA \{ |U|_D^i - |U|_D \}$$

En estado estacionario:

$$(4.3) \quad dU_C = dU_D = dU \text{ (gr/sg)}$$

Por otra parte, los valores en la interfase son los correspondientes al equilibrio de partición:

$$|U|_D^i = |U|_D^* \\ |U|_C^i = |U|_C^*$$

Se cumple para un equipo continuo:

$$dU_C = -G_C \cdot d|U|_C \quad ; \quad G_C: \text{caudal de fase continua}$$

$$dU_D = G_D \cdot d|U|_D \quad ; \quad G_D: \text{caudal de fase dispersa}$$

Como el control está en la película dispersa, y considerando (4.1), (4.2) y (4.3), tendremos:

$$G_D \cdot d|U|_D = -k_D \cdot dA \{ |U|_D - |U|_D^* \}$$

$$\frac{d|U|_D}{|U|_D - |U|_D^*} = - \frac{k_D}{G_D} dA$$

Integrando para todo el tanque, y considerando que:

$$\int_e^s dA = V_T \cdot A_V$$

resulta:

$$(4.4) \quad \ln \left(\frac{|U|_D^s - |U|_D^*}{|U|_D^e - |U|_D^*} \right) = - \frac{k_D}{G_D} \cdot V_T \cdot A_V$$

Si se tiene en cuenta que:

$$\frac{\phi_D \cdot V_T}{G_D} = \tau_D \quad (\text{tiempo de residencia de fase dispersa})$$

y se resta ambos miembros de la unidad la ecuación (4.4), resulta:

$$(4.5) \quad \frac{|U|_D^s - |U|_D^e}{|U|_D^* - |U|_D^e} = 1 - \exp\left(-\frac{k_D \cdot A_V \cdot \tau_D}{\phi_D}\right)$$

Pero el primer miembro indica la eficiencia extractiva (58), que es una medida de la aproximación al equilibrio que se logra en el contactor.

Se dispone así, de la expresión que permite obtener la curva real de funcionamiento del equipo sobre la cual es posible aplicar los métodos habituales de cálculo.

Para analizar el comportamiento extractivo del mezclador, se representan a continuación las eficiencias de extracción de uranio, con una solución de T.B.P. al 30% en querosene, a 25°C, en función de P/V.

En estas condiciones, la difusividad de uranio en fase dispersa es:

$$D_D = 1,27 \times 10^{-6} \quad (\text{cm}^2/\text{sg})$$

(59), el cálculo del coeficiente de transferencia de masa correspondiente, se obtuvo de la relación:

$$(4.6) \quad k_D = \frac{17,9 D_D}{\frac{6\phi_D}{A_V}}$$

Para los restantes cálculos, se utilizaron las expresiones del apartado anterior, con caudales de 10 litros/hora y 20 litros/hora, en un tanque de 250 cm³ de volumen.

TABLA # 80

TANQUE AGITADO CON BOQUILLAS

$$D_b = 0,5 \text{ cm} \quad ; \quad \phi_D = 0,10$$

$k_D \times 10^3$ ($\frac{\text{cm}}{\text{sg}}$)	A_V (cm^{-1})	P/V ($\frac{\text{ergios}}{\text{sg.cm}^3}$)	$G_D: 10\text{Lt/hr}; \tau_D: 9\text{sg}$		$G_D: 20\text{Lt/hr}; \tau_D: 4,5\text{sg}$	
			$e^{-\frac{k_D \cdot A_V \cdot \tau_D}{\phi_D}}$	E %	$e^{-\frac{k_D \cdot A_V \cdot \tau_D}{\phi_D}}$	E %
0,2690	7,1	34,55	0,8420	15,80	0,9177	8,23
0,3864	10,2	80,4	0,7014	29,86	0,8375	16,25
0,5494	14,5	227,8	0,4882	51,18	0,6988	30,12
0,8854	23,37	933,02	0,1553	84,47	0,3941	60,59
1,266	33,42	2.652,7	0,0222	97,77	0,1491	85,09
1,560	41,19	4.651,6	0,00308	99,69	0,0555	94,44
1,810	47,78	7.097,1	0,00042	99,95	0,02042	97,95
2,031	53,61	9.934,7	0,000056	99,99	0,00745	99,15
2,231	58,89	13.168,6			0,002712	99,72

TABLA # 81

TANQUE AGITADO CON BOQUILLAS

$D_b = 0,5 \text{ cm} ; \phi_D = 0,20$

$k_D \times 10^3$ ($\frac{\text{cm}}{\text{sg}}$)	A_V (cm^{-1})	P/V ($\frac{\text{ergios}}{\text{sg.cm}^3}$)	$G_D: 10\text{Lt/hr}; \tau_D: 18\text{sg}$		$G_D: 20\text{Lt/hr}; \tau_D: 9 \text{sg}$	
			$e^{-\frac{k_D \cdot A_V \cdot \tau_D}{\phi_D}}$	E %	$e^{-\frac{k_D \cdot A_V \cdot \tau_D}{\phi_D}}$	E %
0,2349	12,4	33,48	0,7694	23,06	0,8771	12,29
0,3353	17,7	77,9	0,5862	41,38	0,7656	23,44
0,4812	25,4	220,7	0,3328	66,72	0,5769	42,31
0,7719	40,75	904,2	0,05895	94,10	0,2428	75,72
1,104	58,3	2.570,7	0,00305	99,69	0,05524	94,47
1,360	71,8	4.641,17	0,00015	99,98	0,01235	98,76
1,578	83,3	7.233,53			0,002685	99,73
1,771	93,5	10.072,1			0,00058	99,94
1,946	102,73	13.297,16				

TABLA # 82

TANQUE AGITADO CON BOQUILLAS

$D_b = 0,5 \text{ cm} ; \phi_D = 0,30$

$k_D \times 10^3$ ($\frac{\text{cm}}{\text{sg}}$)	A_V (cm^{-1})	P/V ($\frac{\text{ergios}}{\text{sg.cm}^3}$)	$G_D: 10\text{Lt/hr}; \tau_D: 27\text{sg}$		$G_D: 20\text{Lt/hr}; \tau_D: 13,5\text{sg}$	
			$e \frac{-k_D \cdot A_V \cdot \tau_D}{\phi_D}$	E %	$e \frac{-k_D \cdot A_V \cdot \tau_D}{\phi_D}$	E %
0,2008	15,9	32,39	0,7503	24,97	0,8662	13,38
0,2866	22,7	84,2	0,5568	44,32	0,7462	25,38
0,4104	32,5	235,59	0,3012	69,88	0,5488	45,12
0,6592	52,2	930,41	0,04523	95,47	0,2126	78,74
0,9421	74,6	2.597,98	0,00178	99,82	0,04234	95,76
1,161	91,9	4.856,76	0,000067	99,99	0,008221	99,17
1,347	106,67	7.370,67			0,001564	99,84
1,511	119,69	10.309,44			0,0002916	99,97
1,660	131,50	13.556,7				

TABLA # 83

TANQUE AGITADO CON BOQUILLAS

$D_b = 0,5 \text{ cm} ; \phi_D = 0,40$

$k_D \times 10^3$ ($\frac{\text{cm}}{\text{sg}}$)	A_V (cm^{-1})	P/V ($\frac{\text{ergios}}{\text{sg.cm}^3}$)	$G_D: 10\text{Lt/hr}; \tau_D: 36\text{sg}$		$G_D: 20\text{Lt/hr}; \tau_D: 18\text{sg}$	
			$e \frac{-k_D \cdot A_V \cdot \tau_D}{\phi_D}$	E %	$e \frac{-k_D \cdot A_V \cdot \tau_D}{\phi_D}$	E %
0,1657	17,5	31,29	0,7703	22,97	0,8777	12,23
0,2377	25,1	81,36	0,5845	41,55	0,7646	23,54
0,3400	35,9	227,63	0,3335	66,65	0,5775	42,25
0,5456	57,6	898,95	0,05913	94,08	0,2432	75,68
0,7805	82,4	2.620,84	0,00308	99,69	0,05535	94,46
0,9618	101,54	4.860,05	0,00015	99,98	0,01235	98,76
1,116	117,79	7.504,21	0,000006	99,99	0,002685	99,73
1,252	132,16	10.483,89			0,00058	99,94
1,375	145,20	13.793,04			0,000125	99,98

TABLA # 84

TANQUE AGITADO CON PALETAS

$\phi_D = 0,10$

$k_D \times 10^3$ ($\frac{\text{cm}}{\text{sg}}$)	A_V (cm^{-1})	P/V ($\frac{\text{ergios}}{\text{sg.cm}^3}$)	$G_D: 10\text{Lt/hr}; \tau_D: 9\text{sg}$ $e \frac{-k_D \cdot A_V \cdot \tau_D}{\phi_D}$	E %	$G_D: 20\text{Lt/hr}; \tau_D: 4,5\text{sg}$ $e \frac{-k_D \cdot A_V \cdot \tau_D}{\phi_D}$	E %
0,4664	12,31	1.047,08	0,5965	40,35	0,7723	22,77
0,7230	19,09	3.136,7	0,2888	71,12	0,5373	46,27
1,126	29,71	10.568,56	0,04929	95,07	0,2220	77,80
2,015	53,17	42.895,1	0,00006	99,99	0,00805	99,19
3,144	82,88	134.078,5			0,000006	99,99

TABLA # 85

TANQUE AGITADO CON PALETAS

$\phi_D = 0,20$

$k_D \times 10^3$ ($\frac{\text{cm}}{\text{sg}}$)	A_V (cm^{-1})	P/V ($\frac{\text{ergios}}{\text{sg.cm}^3}$)	$G_D: 10\text{Lt/hr}; \tau_D: 18\text{sg}$ $e \frac{-k_D \cdot A_V \cdot \tau_D}{\phi_D}$	E %	$G_D: 20\text{Lt/hr}; \tau_D: 9\text{sg}$ $e \frac{-k_D \cdot A_V \cdot \tau_D}{\phi_D}$	E %
0,3774	19,92	1.275,1	0,5083	49,17	0,7129	28,71
0,5899	31,14	3.638,89	0,1915	80,85	0,4375	56,25
0,9144	48,27	10.242,06	0,0183	98,17	0,1372	86,28
1,639	86,56	45.014,83	0,000002	99,99	0,0016	99,83

TABLA # 86

TANQUE AGITADO CON PALETAS

$\phi_D = 0,30$

$k_D \times 10^3$ ($\frac{\text{cm}}{\text{sg}}$)	A_V (cm^{-1})	P/V ($\frac{\text{ergios}}{\text{sg.cm}^3}$)	$G_D: 10\text{Lt/hr}; \tau_D: 27\text{sg}$ $e \frac{-k_D \cdot A_V \cdot \tau_D}{\phi_D}$	E %	$G_D: 20\text{Lt/hr}; \tau_D: 13,5\text{sg}$ $e \frac{-k_D \cdot A_V \cdot \tau_D}{\phi_D}$	E %
0,3188	25,25	1.244,7	0,4846	51,54	0,6961	30,39
0,4933	39,1	3.469,4	0,1760	82,40	0,4195	58,05
0,7666	60,7	11.048,9	0,0152	98,48	0,1233	87,67
1,372	108,7	46.387,2	0,000002	99,99	0,0012	99,87
2,138	169,3	138.335,6			0,0000001	99,99

TABLA # 87

TANQUE AGITADO CON PALETAS

$\phi_D = 0,40$

$k_D \times 10^3$ $\left(\frac{\text{cm}}{\text{sg}}\right)$	A_V (cm^{-1})	P/V $\left(\frac{\text{ergios}}{\text{sg.cm}^3}\right)$	$G_D: 10\text{Lt/hr}; \tau_D: 36\text{sg}$		$G_D: 20\text{Lt/hr}; \tau_D: 18\text{sg}$	
			$e \frac{-k_D \cdot A_V \cdot \tau_D}{\phi_D}$	E %	$e \frac{-k_D \cdot A_V \cdot \tau_D}{\phi_D}$	E %
0,2748	29,02	1.196,39	0,4878	51,22	0,6985	30,15
0,4253	44,91	3.334,92	0,1792	82,08	0,4234	57,66
0,6584	69,51	10.619,95	0,0162	98,37	0,1276	87,24
1,183	124,92	44.586,34	0,000002	99,99	0,00129	99,87
1,844	194,69	140.327,8			0,0000001	99,99

GRAFICO N° 19

ϕ 0.010

E %

100

50

BOQUILLAS
 • 2,9 SG • 4,5 SG
 PALETAS
 ■ 2,9 SG ■ 4,5 SG

$\frac{P}{V}$ $\left[\frac{\text{ERG}}{\text{CM}^3} \right]$

$25 \cdot 10^3$

$50 \cdot 10^3$

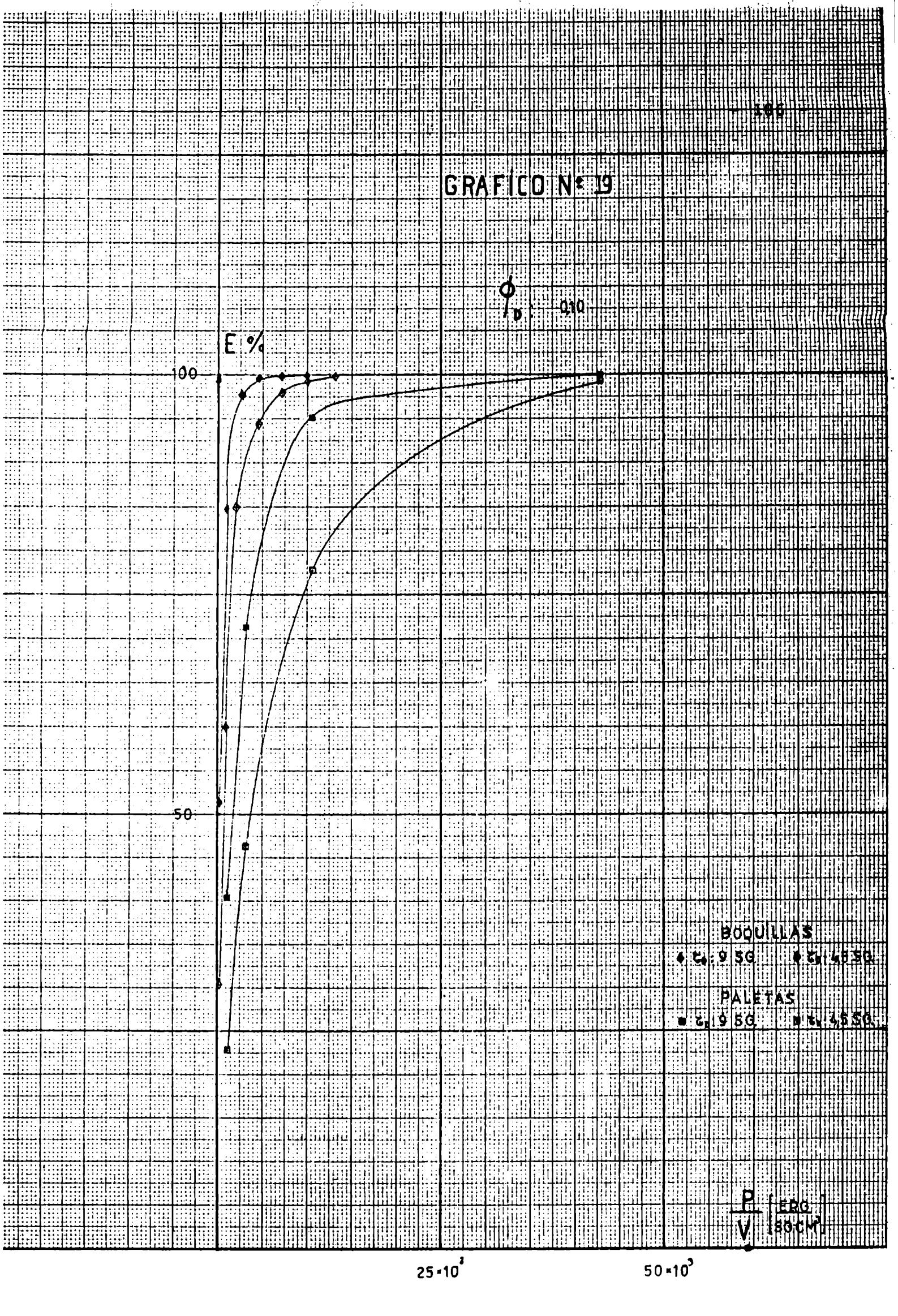


GRAFICO N° 20

$\phi_D = 0.20$

E %

100

50

BOQUILLAS
◆ 2.10 SG ◆ 2.9 SG
PALETAS
■ 2.10 SG □ 2.9 SG

$\frac{P}{V}$ ERG
SG.CM³

25×10^3

50×10^3

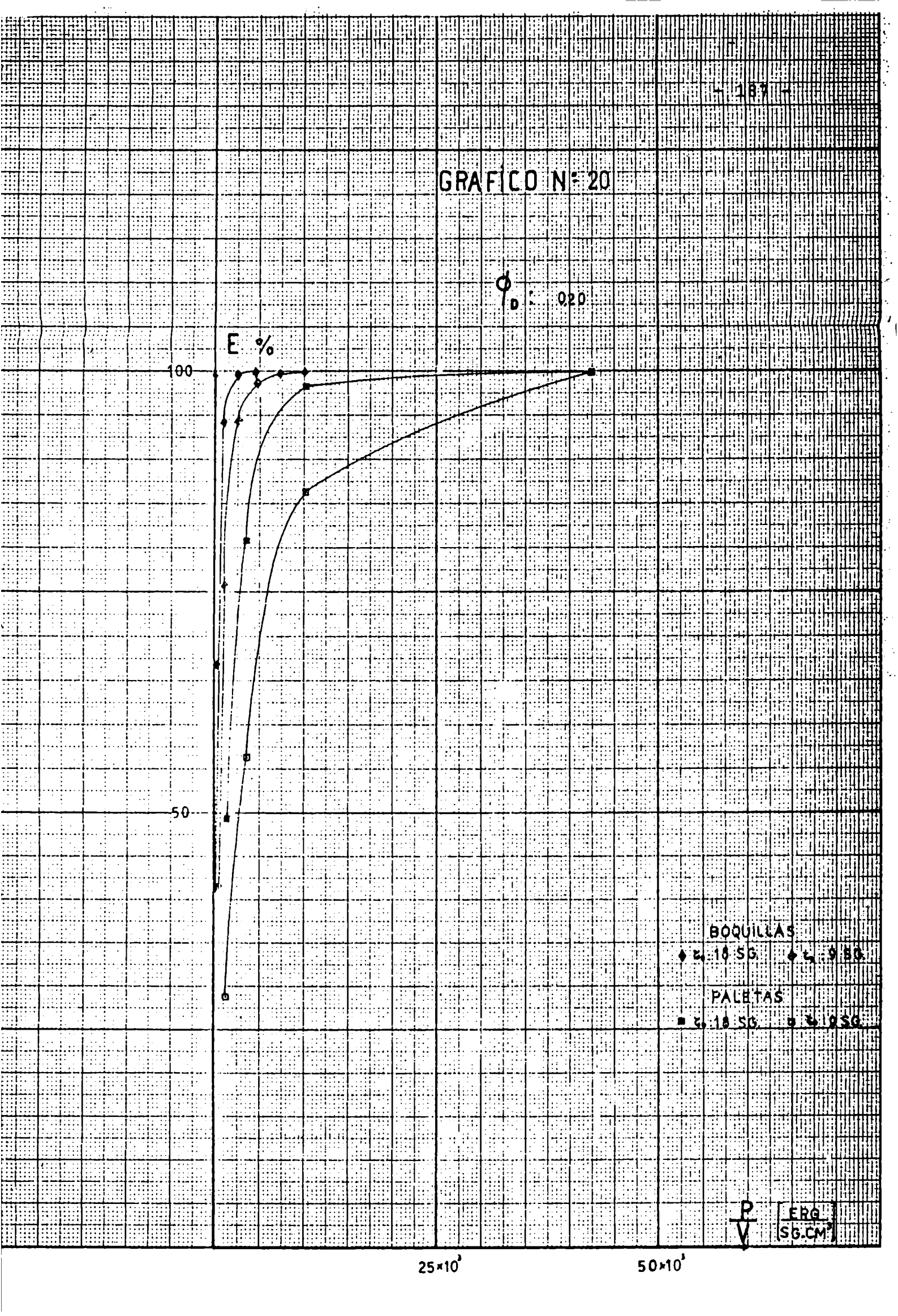


GRAFICO N° 21

$\phi_D : Q30$

E %

100

50

BOQUILLAS

◆ ϕ_0 27 SG.

◆ ϕ_0 135 SG.

PALETAS

■ ϕ_0 27 SG.

■ ϕ_0 135 SG.

$$\frac{P}{V} \left[\frac{\text{ERG}}{\text{SG.CM}^3} \right]$$

25×10^3

50×10^3

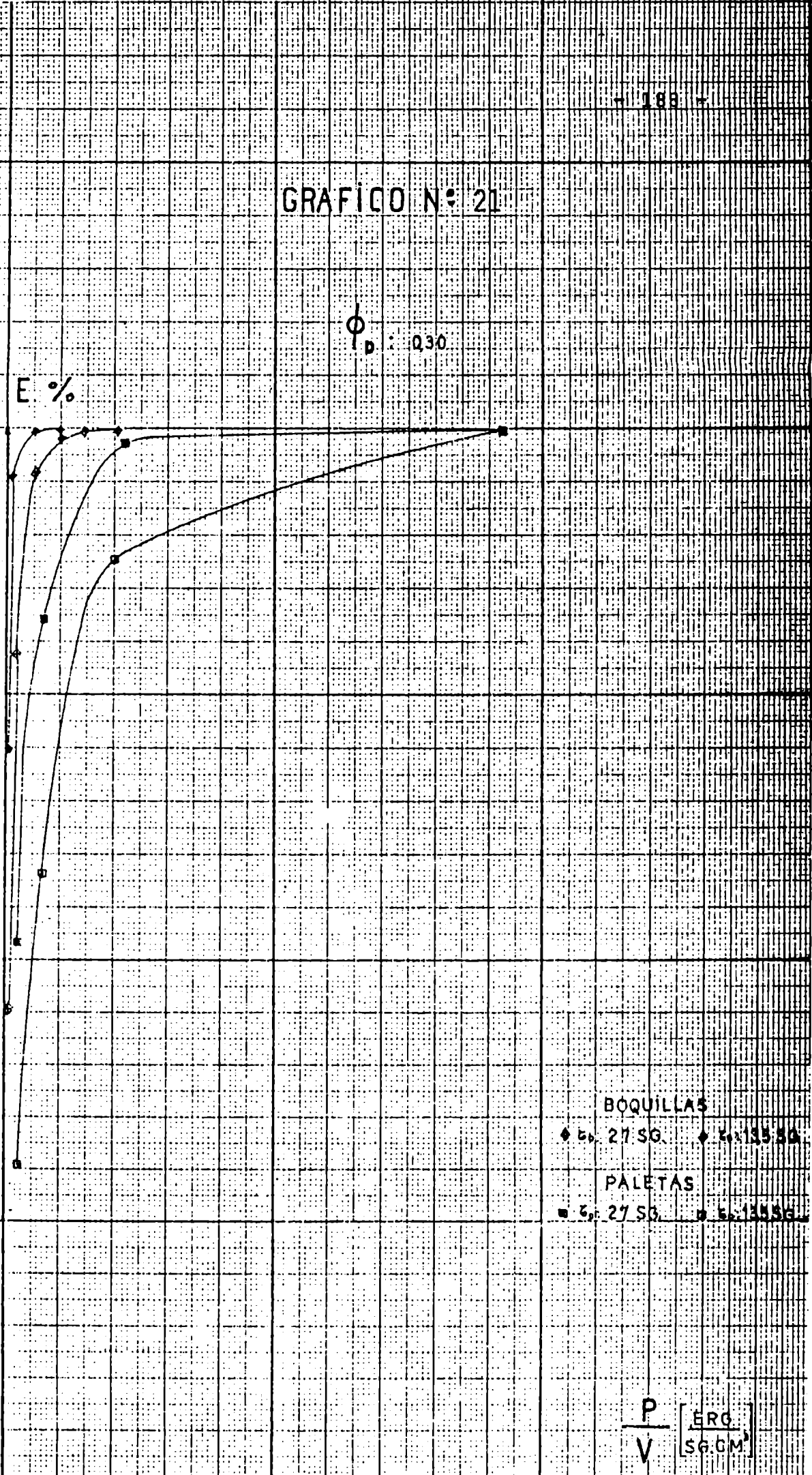


GRAFICO N° 22

$\phi_D : 0.40$

E %

100

50

BOQUILLAS

♦ $\phi = 36.50$ ♦ $\phi = 38.50$

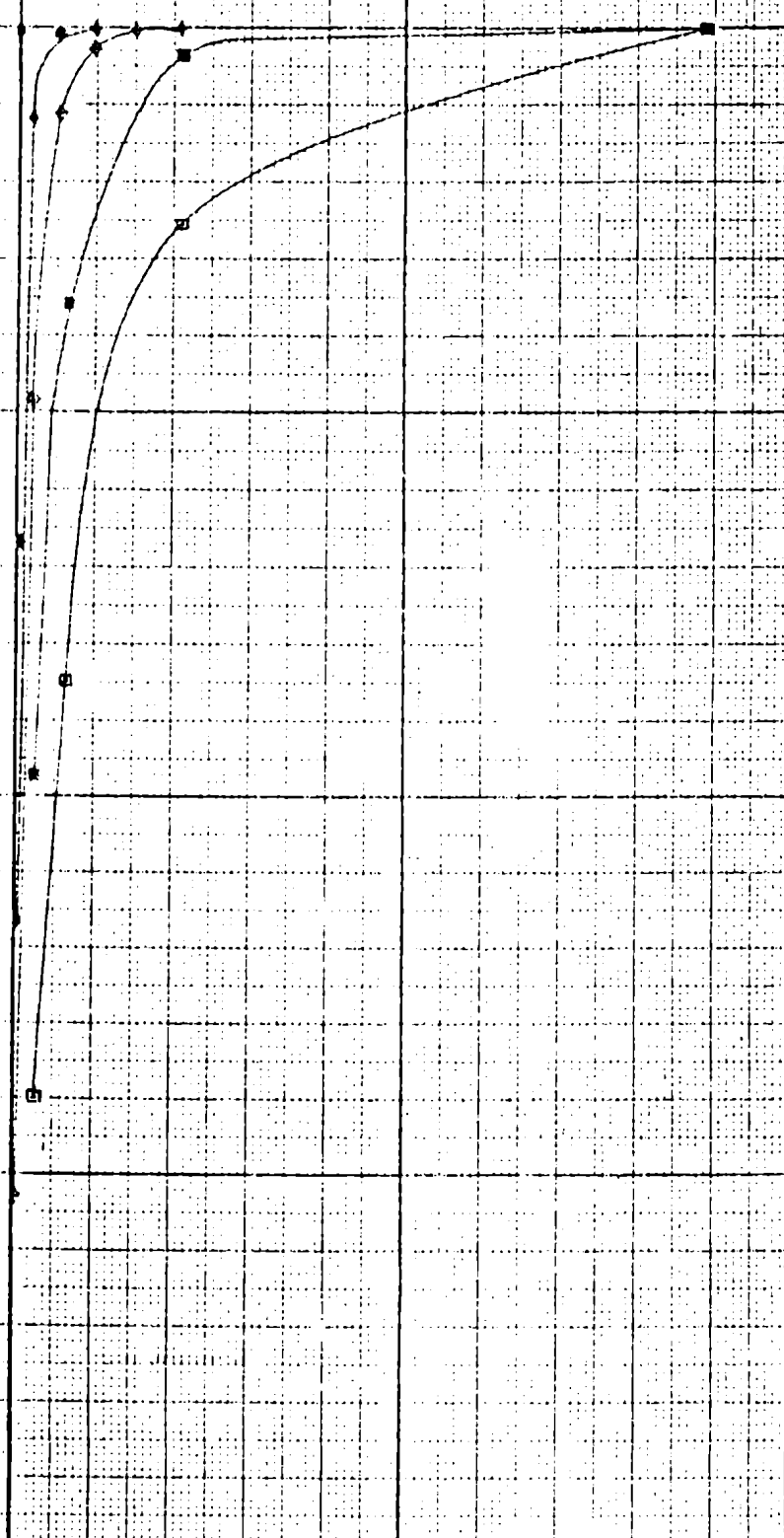
PALETAS

■ $\phi = 36.50$ ■ $\phi = 38.50$

$\frac{P}{V} \left[\frac{\text{ERG}}{\text{SGCM}} \right]$

$25 \cdot 10^3$

$50 \cdot 10^3$



En los gráficos precedentes, se observan valores superiores de la eficiencia de extracción para tanques agitados con boquilla, respecto de los valores correspondientes a tanques convencionales, para un mismo valor de P/V , observándose además, una mayor pendiente en las curvas del contactor estudiado en este trabajo.

Como era de esperar, las eficiencias son superiores cuanto mayor sea τ_D .

Las diferencias señaladas a favor del agitador de pulsos, se acentúan al incrementarse ϕ_D , y también con el aumento de los caudales de fase dispersa.

Esto concuerda con el hecho de que en un proceso de tipo difusional, aquel equipo que suministra la mayor área específica de contacto, es el que permite las máximas velocidades de transferencia másica.

4.4. Conclusiones

- 1) En la verificación de las condiciones de aplicabilidad, se pudo establecer, de acuerdo a los valores correspondientes a Ψ para cada ensayo, la validez de las hipótesis que deben cumplirse para poder aplicar el método químico de medición de área de contacto al mezclador investigado. Estas son:
 - a) $\Psi > 2$ para que la expresión de flujo másico interfacial, resulte independiente de la hidrodinámica.
 - b) $1 > |R(1 - \Psi)|$, para que la concentración de OHNa sea constante a través de la película de fase continua.
 - c) Efecto convectivo despreciable.

En lo atinente a la condición de interfase esférica, se utilizó la expresión de flujo interfacial:

$$(N_A)_{r=R} = D_A \cdot |A_i| \left\{ \frac{1}{R} + \lambda C_{th} \lambda x_c \right\}$$

para el cálculo de A_v , obteniéndose una correlación del área específica que coincide con la obtenida para el modelo de in-

terfase plana.

- 2) Se dedujo una expresión para estimar coeficiente de transferencia másico de fase continua, partiendo del supuesto que la energía de agitación es suministrada por la velocidad de los líquidos eyectados. La expresión de la potencia resultó:

$$P = \left(2 \frac{V_p \cdot F_p}{D_b} \right)^3 \cdot \frac{\rho_M}{D_b}$$

- 3) En el aspecto experimental, la boquilla de 0,4 cm de diámetro, resultó incómoda para trabajar con volúmenes de pulsos mayores de 40 cm³, y frecuencia de 0,95 sg⁻¹, siendo las viscosidades de los líquidos:

$$\mu_C = 0,071 \text{ (gr/cm. sg)}$$

$$\mu_D = 0,0069 \text{ (gr/cm. sg)}$$

En estas condiciones no llega a eyectarse todo el volumen pulsado, resultando dificultoso mantener las boquillas en régimen permanente.

- 4) En el análisis de resultados, A_V se manifestó proporcional a V_p/D_b^2 , para un determinado ϕ_D .
- 5) Como consecuencia de este análisis, A_V resultó proporcional a $\{\phi_D - K \cdot \phi_D^2\}$, observándose un máximo de A_V para ϕ_D entre 0,30 y 0,40, que coincide con cualquier volumen de pulso.
- 6) El número de Weber del tanque agitado con boquillas quedó constituido por:

$$W_e = D_T \left(\frac{F_p \cdot V_p}{D_b} \right)^2 \frac{\rho_M}{\sigma}$$

- 7) Las correlaciones obtenidas fueron:

Con el modelo de interfase plana:

$$A_V \cdot D_T = 49,13 W_e^{0,5699} \{\phi_D - 1,2714 \phi_D^2\}$$

Con el modelo de interfase esférica:

$$A_V \cdot D_T = 62,96 W_e^{0,5161} \{\phi_D - 1,134 \phi_D^2\}$$

Los intervalos de confianza para 95%, según criterio de Student, fueron:

$$C_1 = \pm 0,45$$

$$K_2 = \pm 0,283$$

$$K_3 = \pm 0,0147$$

- 8) Las desviaciones standard de las correlaciones, resultaron del 11,57%.
- 9) Los valores de A_v obtenidos en el mezclador estudiado, resultaron superiores a los que se logran en un mezclador convencional, para igual potencia de agitación, por unidad de volumen.
- 10) La eficiencia extractiva de uranio con tributil-fosfato es superior en un tanque agitado con boquillas, respecto de otro agitado con paletas, para igual valor de P/V.
- 11) Como consecuencia, el contactor resulta especialmente apto para ser colocado en celdas activas, donde es importante no contar con partes mecánicas móviles susceptibles de mantenimiento, siendo en general aconsejable para aquellos procesos extractivos de control difusional.

INDICE DE FIGURAS Y GRAFICOS

Figura	#	1	-	Página	#	42
"	#	2	-	"	#	44
"	#	3	-	"	#	46
"	#	4	-	"	#	47
"	#	5	-	"	#	48
Gráfico	#	1	-	"	#	51
"	#	2	-	"	#	62
"	#	3	-	"	#	63
"	#	4	-	"	#	137
"	#	5	-	"	#	138
"	#	6	-	"	#	139
"	#	7	-	"	#	140
"	#	8	-	"	#	141
"	#	9	-	"	#	142
"	#	10	-	"	#	143
"	#	11	-	"	#	144
"	#	12	-	"	#	155
"	#	13	-	"	#	156
"	#	14	-	"	#	168
"	#	15	-	"	#	175
"	#	16	-	"	#	176
"	#	17	-	"	#	177
"	#	18	-	"	#	178
"	#	19	-	"	#	186
"	#	20	-	"	#	187
"	#	21	-	"	#	188
"	#	22	-	"	#	189

INDICE DE TABLAS

Tabla # 1 -	Página # 36	Tabla # 45 -	Página # 106
" # 2 -	" # 37	" # 46 -	" # 107
" # 3 -	" # 39	" # 47 -	" # 109
" # 4 -	" # 50	" # 48 -	" # 109
" # 5 -	" # 64	" # 49 -	" # 111
" # 6 -	" # 65	" # 50 -	" # 112
" # 7 -	" # 65	" # 51 -	" # 114
" # 8 -	" # 66	" # 52 -	" # 115
" # 9 -	" # 67	" # 53 -	" # 118
" # 10 -	" # 67	" # 54 -	" # 121
" # 11 -	" # 68	" # 55 -	" # 123
" # 12 -	" # 68	" # 56 -	" # 124
" # 13 -	" # 69	" # 57 -	" # 126
" # 14 -	" # 69	" # 58 -	" # 127
" # 15 -	" # 71	" # 59 -	" # 128
" # 16 -	" # 72	" # 60 -	" # 129
" # 17 -	" # 73	" # 61 -	" # 130
" # 18 -	" # 74	" # 62 -	" # 131
" # 19 -	" # 75	" # 63 -	" # 133
" # 20 -	" # 77	" # 64 -	" # 134
" # 21 -	" # 79	" # 65 -	" # 147
" # 22 -	" # 80	" # 66 -	" # 148
" # 23 -	" # 83	" # 67 -	" # 148
" # 24 -	" # 85	" # 68 -	" # 149
" # 25 -	" # 87	" # 69 -	" # 153
" # 26 -	" # 89	" # 70 -	" # 154
" # 27 -	" # 90	" # 71 -	" # 169
" # 28 -	" # 91	" # 72 -	" # 170
" # 29 -	" # 92	" # 73 -	" # 170
" # 30 -	" # 93	" # 74 -	" # 171
" # 31 -	" # 94	" # 75 -	" # 171
" # 32 -	" # 95	" # 76 -	" # 172
" # 33 -	" # 97	" # 77 -	" # 172
" # 34 -	" # 97	" # 78 -	" # 173
" # 35 -	" # 99	" # 79 -	" # 174
" # 36 -	" # 100	" # 80 -	" # 181
" # 37 -	" # 100	" # 81 -	" # 182
" # 38 -	" # 101	" # 82 -	" # 182
" # 39 -	" # 102	" # 83 -	" # 183
" # 40 -	" # 102	" # 84 -	" # 183
" # 41 -	" # 103	" # 85 -	" # 184
" # 42 -	" # 104	" # 86 -	" # 184
" # 43 -	" # 104	" # 87 -	" # 185
" # 44 -	" # 105		

BIBLIOGRAFIA

- (1) Symposium on the Reprocessing of Irradiated Fuels, 1, pag. 130, (MAY 1957).
- (2) W. D. Jamrack; Rare Metal Extraction by Chemical Engineering Techniques, 2, pag. 125, Mc Millan Co. (1963).
- (3) J. T. Long; Engineering for Nuclear Fuel Reprocessing; pag. 589, Gordon and Breach Inc. (1967).
- (4) D. H. Logsdail y J. D. Thornton; Journal Nuclear Energy, Part. B: Reactor Technology; 1, pag. 15 (1959).
- (5) R. E. Mc Henry, J. C. Posey; U. S. Atomic Energy Commission; ORNL - TM - 896 (SEPTEMBER 1964).
- (6) P. C. Clay; Proc. Acad. Sci.; 43, pag. 832 (1940).
- (7) G. E. Langlois, J. E. Gullberg, T. Vermevlen; Rev. Sci. Insts.; 25, pag. 360 (1954).
- (8) J. H. Rushton y J. R. Love; Drop Size in Liquid-Liquid Dispersions in Mixing Tanks, Thesis (1965).
- (9) C. V. Chester y J. S. Newman; U. S. Atomic Energy Commission; ORNL 3018, (1961).
- (10) Hsiao Tsung Chem y S. Middleman; A.I.C.H.E.J. 13, #5, pag. 989, (1967).
- (11) M. De Santiago y P. Trambouze; Chem. Engn. Sci. 26, pag. 29 (1971).
- (12) D. W. Van Krevelen y P. J. Hofstijzer; Rec. Trav. Chim. 67, pag. 563, (1948).
- (13) M. N. Sharma y P. V. Danckwerts; British Chemical Engineering; 15, #4, pag. 522, (1970)
- (14) H. K. Nanda y M. N. Sharma; Chem. Engn. Sci. 21, pag. 707, (1966).
- (15) M. De Santiago y M. S. Bidner; Chem. Engn. Sci., 26, pag. 175, (1971).

- (16) M. De Santiago y P. Trambouze; Chem. Engn. Sci., 26, pag. 1803, (1971).
- (17) R. B. Bird, W. E. Stewart y E. N. Lightfoot; Transport Phenomena, pag. 17 - 27, John Wiley & Sons Inc. N.York (1960).
- (18) H. Kramers y K. R. Westerterp; Elements of Chemical Reactor Design and Operation, pag. 148, Netherlands University Press. Amsterdam (1963).
- (19) P. H. Calderbank y M. B. Moo Young; Chem. Engn. Sci., 16, pag. 39, (1961).
- (20) Keiichi Hayashi; Fünfstellige Tafeln Der Kreis Und Hyperbelfunktionen; Walter de Gruyter & Co. Berlin, (1955).
- (21) Tables Of The Exponential Function; National Bureau of Standards, United States Government, Printing Office, Washington, (1951).
- (22) R. Treybal; Extracción en fase líquida, pag. 481 - 482; Unión Tipográfica Hispanoamericana, México (1968).
- (23) J. H. Vanderveen; U. S. Atomic Energy Commission U.C.R.L. 8733, (1960).
- (24) H. Grootius y F. S. Zuiderwes; Chem. Engn. Sci. 12, pag. 288, (1960).
- (25) G. E. P. Box y G. A. Coutie; Proced. Elect. Engrs. B 103, Supplt. 1 - 3, pag. 100, (1956).
- (26) R. Shinar y J. M. Church; Industrial and Engeneering Chemistry; 52, pag. 253, (1960).
- (27) R. Shimar y J. M. Church; Industrial and Engeneering Chemistry; 53, pag. 479, (1961).
- (28) F. H. Garner, K. B. Mathur y V. G. Jenson; Nature, 180, pag. 331, (1957).
- (29) E. R. Elzinga y J. T. Banchemo; A.I.CH.E.J., 7, pag. 394, (1961).
- (30) Transport Phenomena in Liquid Extraction, Universidad de

- Madras, pag. 16, (1968).
- (31) S. Hu y R. C. Kintner; A.I.CH.E.J., 1, pag. 42, (1955).
- (32) W. Licht y G. S. R. Marasimhamurty; A.I.CH.E.J., 1, pag. 366, (1955).
- (33) A. J. Klee y R. E. Treybal; A.I.CH.E.J., 2, pag. 444, (1956).
- (34) C. B. Hayworth y R. Treybal; Industrial and Engineering Chemistry; 42, # 6, pag. 1174, (1950).
- (35) H. R. Null y H. F. Johnson; A.I.CH.E.J., 4, # 3, pag. 273, (1958).
- (36) F. W. Keith y N. A. Hixson; Industrial and Engineering Chemistry, 47, # 2, pag. 258, (1955).
- (37) G. F. Scheele y B. J. Meister; A.I.CH.E.J., 14, # 1, pag. 9, (1968).
- (38) J. H. Vanderveen; M. S. Thesis, California University, (1960).
- (39) L. S. Scott, W. B. Hayes y C. D. Holland; A.I.CH.E.J., 4, # 3, pag. 346, (1958).
- (40) J. A. Mc Donough, W. J. Tomme y C. D. Holland; A.I.CH.E.J. 6, # 4, pag. 615, (1960).
- (41) M. Van Den Temple; Rec. Trav. Chim., 72, pag. 419, (1953).
- (42) R. Treybal; Extracción en fase líquida, pag. 513; Unión Tipográfica Hispanoamericana, México, (1968).
- (43) A. J. Madden y G. L. Danerell; A.I.CH.E.J., 8, # 2, pag. 233, (1962).
- (44) W. J. Howarth; A.I.CH.E.J., 13, # 5, pag. 1007, (1967).
- (45) T. Gillespie y E. K. Rideal; Trans. Faraday Soc., 52, pag. 173, (1956).
- (46) T. Vermeulen, G. M. Williams y G. E. Langlois; Chem. Engr. Progr., 51, pag. 85, (1955).

- (47) *V. V. Kafarov y B. M. Babanov*; J. Appl. Chem. U.S.S.R., 32, pag. 810, (1959).
- (48) *P. H. Calderbank*; Trans. Inst. Chem. Engr., 36, pag. 443, (1958).
- (49) *M. De Santiago y P. Trambouze*; Chem. Engr. Sci., 26, pag. 29, (1971).
- (50) *P. G. Ayers*; M. S. Thesis, Purdue University U.S.A., (1968)
- (51) *A. M. Rozen*; Atomic Energy Review, 6, # ~~2~~, pag. 122, (1968)
- (52) *R. E. Treybal*; A.I.CH.E.J., 4, # 2, pag. 203, (1958).
- (53) *W. J. Mottel*; DP - 130, (AUGUST 1955).
- (54) *A. W. Flynn y R. E. Treybal*; A.I.CH.E.J., 1, # 3, pag. 324 (1955).
- (55) *H. T. Hahn*; HW - 32626 (JULY 1954).
- (56) *L. L. Burger*; HW - 62087 (NOVEMBER 1959).
- (57) *J. T. Wood y J. A. Williams*; Trans. Instn. Chem. Engrs., 36 pag. 382, (1958).
- (58) *R. E. Treybal*; A.I.CH.E.J., 4, # 2, pag. 202, (1958).
- (59) *K. E. Spells*; Proc. Roy. Soc., B 65, pag. 541, (1952).

NOMENCLATURA

- A : Amplitud del pulso (cm)
- A_V : Area específica de contacto en la emulsión (cm^2/cm^3)
- |A| : Concentración de la especie química A (moles/cm^3)
- |B| : Concentración de la especie química B (moles/cm^3)
- C_P : Capacidad calorífica específica (cal/gr.grado)
- C : Constante
- D_b : Diámetro de boquilla (cm)
- D : Difusividad (cm^2/sg)
- D_T : Diámetro de tanque (cm)
- d_g : Diámetro de gota (cm)
- d_t : Diámetro del agitador (cm)
- E_C : Energía cinética (ergios)
- F_P : Frecuencia de pulsos (sg^{-1})
- G : Caudal (cm^3/sg)
- ΔH_R : Calor de reacción (cal/mol)
- I_F : Fuerza iónica
- I : Intensidad de corriente (amper)
- K : Constante
- k_C : Coeficiente de transferencia de masa en la película con
tínua (cm/sg)
- k : Constante de velocidad de reacción química ($\text{cm}^3/\text{mol}.\text{sg}$)
- N_i : Flujo másico interfacial ($\text{moles}/\text{cm}^2.\text{sg}$)
- N : Velocidad del agitador (sg^{-1})
- n : Número de moles
- P : Potencia (ergios/sg)
- P_O : Número de potencia

- R_A : Velocidad de reacción en todo el reactor en función del componente A (moles/sg)
- R : Radio de la gota (cm)
- R_e : Número de Reynolds
- r_A : Velocidad de reacción por unidad de volumen expresada en función de la especie A (moles/sg.cm³)
- S_b : Sección de salida de la boquilla (cm²)
- S_H : Número de Sherwood
- S : Constante
- T : Temperatura (°K) o (°C)
- T_p : Período de pulsación (sg)
- T.B.P.: Tributil-fosfato
- t : Tiempo (sg)
- $|U|$: Concentración de uranio (moles/cm³)
- V_p : Volumen del pulso (cm³)
- V : Volumen (cm³)
- V_T : Volumen del tanque (cm³)
- v : Velocidad (cm/sg)
- W_e : Número de Weber
- ω : Velocidad angular (radianes/sg)
- χ : Conversión
- x_c : Espesor de la película continua (cm)
- x_L : Espesor de la película líquida (cm)
- Z : Factor estequiométrico
- ϵ : Error
- ψ^2 : Número de Damköhler II
- ϕ : Fracción volumétrica de una fase
- μ : Viscosidad (gr/cm.sg)

ν : Viscosidad cinemática (cm^2/sg)
 ρ : Densidad (gr/cm^3)
 σ : Tensión interfacial (dina/cm)
 τ : Tiempo de residencia (sg)

Subíndices correspondientes a:

c : fase continua
D : fase dispersa
e : entrada
f : final
i : interfacial
L : fase líquida
M : mezcla
s : salida
T : tanque
t : turbina

APENDICE # 1

Resolución de la Ecuación Diferencial (1.38).

Se hace el siguiente cambio de notación:

$$\begin{aligned} u &= |A| \\ a &= D_A \\ b &= k \cdot |B_c| \\ L &= x_c \\ \alpha &= |A_i| \end{aligned}$$

Entonces la ecuación (1.38) se expresa como:

$$(A.1) \quad \frac{\partial u}{\partial t} = a \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - bu$$

Y las condiciones inicial y de contorno son las siguientes:

$$(A) \quad \begin{aligned} t = 0, \quad u &= 0 && \text{para } 0 < x < L \\ t > 0, \quad u &= \alpha && \text{para } x = 0 \\ t > 0, \quad u &= 0 && \text{para } x = L \end{aligned}$$

1) Primer cambio de función:

$$(A.2) \quad u = e^{-bt} \cdot v$$

Reemplazando ésto en (A.1) queda:

$$(A.3) \quad \frac{\partial v}{\partial t} = a \frac{\partial^2 v}{\partial x^2}$$

Con las siguientes condiciones inicial y de contorno para la función v, teniendo en cuenta (A.2)

$$(B) \quad \begin{aligned} t = 0, \quad v &= 0 && \text{para } 0 < x < L \\ t > 0, \quad v &= \alpha e^{bt} && \text{para } x = 0 \\ t > 0, \quad v &= 0 && \text{para } x = L \end{aligned}$$

2) Segundo cambio de función:

$$(A.4) \quad v = w + \psi$$

La función ψ se determina de tal manera que las condiciones sean

nulas:

$$(C) \quad \begin{aligned} \psi &= \alpha e^{bt}, & \text{para } x = 0, & t > 0 \\ \psi &= 0, & \text{para } x = L, & t > 0 \end{aligned}$$

Entonces se escribe:

$$(A.5) \quad \psi(x,t) = \alpha e^{bt} f(x)$$

Para que se cumpla (c), con la definición dada en (A.5), se impone a $f(x)$, que sea la recta que pasa por los puntos $(0,1)$ y $(L,0)$, o sea:

$$(A.6) \quad f(x) = mx + f_0$$

$$\text{para } x = 0, \quad f(0) = f_0 = 1$$

$$\text{para } x = L, \quad f(L) = mL + 1 = 0, \text{ o sea } m = -1/L$$

Reemplazando en (A.6) resulta:

$$(A.6^*) \quad f(x) = -\frac{x}{L} + 1$$

O sea que A.5) se escribe como:

$$\psi(x,t) = \alpha e^{bt} \left(-\frac{x}{L} + 1\right)$$

Con lo que (A.4) queda:

$$(A.7) \quad v = w + \alpha e^{bt} \left(-\frac{x}{L} + 1\right)$$

O sea, reemplazando este valor en (A.3), resulta:

$$(A.8) \quad a \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - \frac{\partial w}{\partial t} = \alpha b e^{bt} \left(-\frac{x}{L} + 1\right)$$

y las condiciones inicial y de contorno para (A.8) son, teniendo en cuenta (A.7) y (B):

$$(C) \quad \begin{aligned} t = 0, & \quad w = \frac{\alpha x}{L} - \alpha & \text{para } 0 < x < L \\ t > 0, & \quad w = 0 & \text{para } x = 0 \\ t > 0, & \quad w = 0 & \text{para } x = L \end{aligned}$$

La solución de (A.8) se escribe como:

$$(A.9) \quad w(x,t) = g(x,t) + h(x,t)$$

donde $g(x,t)$ es solución del problema:

$$(A.10) \quad a \frac{\partial^2 g}{\partial x^2} - \frac{\partial g}{\partial t} = \alpha b e^{bt} \left(-\frac{x}{L} + 1\right)$$

con las condiciones de contorno:

$$(D) \quad \begin{aligned} g(0,t) &= 0 \\ g(L,t) &= 0 \end{aligned} \quad \text{para } t > 0$$

y la función $h(x,t)$ es solución del problema:

$$(A.11) \quad a \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} - \frac{\partial h}{\partial t} = 0$$

con las siguientes condiciones de contorno e inicial:

$$(E) \quad \begin{aligned} h(0,t) &= 0 \\ h(L,t) &= 0 \\ h(x,0) &= \frac{\alpha}{L}x - \alpha - g(x,0), \end{aligned} \quad \begin{aligned} &\text{para } t > 0 \\ & \\ &\text{para } 0 < x < L \end{aligned}$$

Resolución del problema (A.10):

Se plantea

$$(A.12) \quad g(x,t) = b \alpha e^{bt} G(x)$$

Reemplazando ésto en (A.10), resulta:

$$(A.13) \quad \frac{\partial^2 G}{\partial x^2} - \frac{b}{a} G = -\frac{1}{aL} x + \frac{1}{a}$$

Y teniendo en cuenta (A.12) y (D), salen las condiciones de contorno para $G(x)$:

$$(F) \quad \begin{aligned} G(x) &= 0, & \text{para } x &= 0 \\ G(x) &= 0, & \text{para } x &= L \end{aligned}$$

Y para resolver (A.13), se resuelve primero la ecuación homogénea:

$$(A.14) \quad \frac{\partial^2 G_h}{\partial x^2} - \frac{b}{a} G_h = 0$$

Se propone para (A.14) la solución $G_h = e^{\lambda x}$, y se obtiene, ha-

ciendo los cálculos:

$$(A.15) \quad G_h = A e^{\sqrt{b/a} x} + B e^{-\sqrt{b/a} x}$$

Ahora, para determinar la solución particular G_p , se propone la siguiente:

$$(A.16) \quad G_p = \gamma x + \delta$$

Y reemplazando (A.16) en (A.13), se obtiene:

$$\gamma = \frac{1}{bL} \quad \text{y} \quad \delta = -\frac{1}{b}$$

Con lo que (A.16) queda:

$$(A.17) \quad G_p(x) = \frac{1}{bL} x - \frac{1}{b}$$

Y como $G(x) = G_h(x) + G_p(x)$, resulta:

$$(A.18) \quad G(x) = A e^{\sqrt{b/a} x} + B e^{-\sqrt{b/a} x} + \frac{1}{b} \left(\frac{1}{L} x - 1 \right)$$

Y para determinar los coeficientes A y B, se usa (F), y se tiene que:

$$(A.19) \quad A = \frac{1}{b} - B$$

$$(A.20) \quad B = \frac{e^{\sqrt{b/a} L}}{2b \operatorname{Sh}\sqrt{b/a} L}$$

Luego, reemplazando en (A.18), los valores de A y B hallados en (A.19) y (A.20), resulta:

$$(A.21) \quad G(x) = \frac{1}{b} \left(\frac{1}{L} x - 1 + e^{\sqrt{b/a} x} \right) - \frac{e^{\sqrt{b/a} L}}{b} \frac{\operatorname{Sh}\sqrt{b/a} x}{\operatorname{Sh}\sqrt{b/a} L}$$

Resolución del problema (A.11):

Se hace por separación de variables:

$$h(x,t) = \chi(x) \cdot T(t)$$

Con lo que resulta, reemplazando:

$$(A.22) \quad a \frac{1}{\chi(x)} \frac{\partial^2 \chi(x)}{\partial x^2} - \frac{1}{T(t)} \frac{\partial T(t)}{\partial t} = 0$$

Como $\chi(x)$ es función sólo de x , y $T(t)$ lo es sólo de t , para que se verifique para todo valor de x y de t , debe ser, de (A.22):

$$(A.23) \quad a \frac{\chi''}{\chi} = \frac{T'}{T} = \text{cte} = \xi$$

Y de aquí resultan las siguientes ecuaciones:

$$(A.24) \quad \chi'' - \frac{\xi}{a} \chi = 0$$

$$(A.25) \quad T' - \xi T = 0$$

Para (A.24), se tienen las siguientes condiciones de contorno:

$$(G) \quad \chi(0) = \chi(L) = 0$$

Es decir, hay que resolver un problema de Sturm Liouville.

Si se plantea $\chi(x) = e^{rx}$ como solución, resulta ser:

$$(A.26) \quad \chi(x) = A e^{\sqrt{\xi/a} x} + B e^{-\sqrt{\xi/a} x}$$

Aplicando a (A.26) las condiciones impuestas en (G), resulta:

$$A = -B \quad \text{y} \quad \xi = -\frac{n^2 \pi^2}{L^2} a$$

Y reemplazando estos valores en (A.26), se obtiene:

$$\chi(x) = 2 i A \operatorname{sen} \frac{n\pi}{L} x$$

Es decir, el problema de Sturm Liouville planteado tiene los auvectores χ_n y los autovalores ξ_n :

$$\chi_n = \operatorname{sen} \frac{n\pi}{L} x$$
$$\xi_n = -a \frac{n^2 \pi^2}{L^2} \quad \text{con } n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Reemplazando el valor de ξ en la ecuación para $T(t)$, dada por (A.25) resulta:

$$T' + a \frac{n^2 \pi^2}{L^2} T = 0$$

O sea:

$$T_n(t) = K_n \exp\left(-a \frac{\pi^2}{L^2} n^2 t\right)$$

Finalmente, si se superponen todas las soluciones halladas, tendremos:

$$\begin{aligned} h(x,t) &= \sum_1^{\infty} x_n(x) \cdot T_n(t) = \\ (A.27) \quad &= \sum_1^{\infty} K_n \exp\left(-a \frac{\pi^2 n^2}{L^2} t\right) \cdot \text{sen} \frac{n\pi}{L} x \end{aligned}$$

Teniendo en cuenta la condición inicial dada por (E) y la ecuación (A.12), se calcula $g(x,0)$, y ésto nos permite obtener:

$$(A.28) \quad h(x,0) = \alpha \left(-e^{\sqrt{b/a} x} + e^{\sqrt{b/a} L} \frac{\text{Sh}\sqrt{b/a} x}{\text{Sh}\sqrt{b/a} L} \right)$$

Igualando (A.28) con la que se obtiene de (A.27) al hacer $t = 0$, nos permite calcular K_n , que es el n -simo coeficiente de Fourier del desarrollo de la función $h(x,0)$, en el intervalo $0 \leq x \leq L$. Luego:

$$(A.29) \quad K_n = \frac{2}{L} \int_0^L \left(\alpha e^{\sqrt{b/a} L} \frac{\text{Sh}\sqrt{b/a} x}{\text{Sh}\sqrt{b/a} L} - e^{\sqrt{b/a} x} \right) \text{sen} \frac{n\pi}{L} x \, dx$$

con $n = 0, 1, 2, \dots$

Ahora hay que reconstruir la solución del problema original.

Partiendo de (A.2), y teniendo en cuenta las expresiones dadas en (A.4), (A.7), (A.9), (A.12), (A.21) y (A.27), se obtiene la expresión de la solución del problema planteado:

$$(A.30) \quad u = \alpha \left(e^{\sqrt{b/a} x} - e^{\sqrt{b/a} L} \frac{\text{Sh}\sqrt{b/a} x}{\text{Sh}\sqrt{b/a} L} \right) e^{-bt} \sum_1^{\infty} K_n e^{-a(\pi n/L)^2 t} \text{sen} \frac{n\pi}{L} x$$

Donde los K_n se determinan con ayuda de (A.29).

Escribiendo (A.30) de acuerdo a nuestras variables de trabajo queda:

$$(A.31) \quad |A| = |A_i| \left(e^{\sqrt{k \cdot |B_c| / D_A} x} - e^{-\sqrt{k \cdot |B_c| / D_A} x} \frac{\text{Sh} \sqrt{k \cdot |B_c| / D_A} x}{\text{Sh} \sqrt{k \cdot |B_c| / D_A} x_c} \right) + e^{-k \cdot |B_c| t} \cdot \sum_1^{\infty} K_n e^{-D_A (\pi n / x_c)^2 t} \cdot \text{sen} \left(\frac{n\pi}{x_c} x \right)$$

Siendo:

$$(A.32) \quad (N_A(t))_{x=0} = -D_A \left(\frac{\partial |A|}{\partial x} \right)_{x=0}$$

Para que $(N_A(t))_{x=0} > 0$, debe ser $\left(\frac{\partial |A|}{\partial x} \right)_{x=0} < 0$.

Haciendo los cálculos, se debe cumplir:

$$(A.33) \quad \frac{e^{\sqrt{k \cdot |B_c| / D_A} x_c}}{\text{Sh} \sqrt{k \cdot |B_c| / D_A} x_c} > 1 + \frac{e^{-k \cdot |B_c| t}}{|A_i| \sqrt{k \cdot |B_c| / D_A}} \sum_1^{\infty} K_n \frac{n\pi}{x_c} e^{-D_A (\pi n / x_c)^2 t}$$

Y esta condición se verifica, al reemplazar los datos experimentales.

La expresión del flujo, dada por (A.32) se puede escribir, explicitando la derivada parcial de $|A|$ con respecto a x , como:

$$(A.34) \quad (N_A(t))_{x=0} = -D_A |A_i| \sqrt{k \cdot |B_c| / D_A} \left(1 - \frac{e^{\sqrt{k \cdot |B_c| / D_A} x_c}}{\text{Sh} \sqrt{k \cdot |B_c| / D_A} x_c} \right) - D_A e^{-k \cdot |B_c| t} \sum_1^{\infty} K_n \frac{n\pi}{x_c} e^{-D_A (\pi n / x_c)^2 t}$$

En el estado estacionario se cumple que:

$$(A.35) \quad \left(\frac{\partial N_A}{\partial t} \right)_{x=0} = 0$$

O sea:

$$(A.36) \quad k \cdot |B_c| \sum_1^{\infty} K_n \frac{n\pi}{x_c} e^{-D_A (\pi n / x_c)^2 t} = \sum_1^{\infty} -K_n \left(\frac{n\pi}{x_c} \right)^3 D_A e^{-D_A (\pi n / x_c)^2 t}$$

Aplicando el criterio de convergencia para series, que dice:

"Toda serie alternada, de términos decrecientes, y con el término general tendiendo a cero, es convergente", se ve que es la situación de las series que figuran en ambos términos de la igualdad de (A.36), y en general, de todas las series que aparecen en las distintas expresiones.

En el caso de (A.36), para $n = 5$, el error en el cálculo de la serie es $\epsilon < 10^{-18}$, y el error en el cálculo del tiempo t correspondiente es menor que 0,5 %.

PROGRAMA PARA EL CALCULO DEL TIEMPO

```
REAL K(5)
PI=3.1415926536
CON1=1.068144*(10.**(-4))
CON2=1.4215881*(10.**6)
CON3=1.3*(10.**(-6))
DO 1 NE=1,30
READ(2,100)XC,FI
100 FORMAT(F8.6,3X,F4.2)
XC=XC*(10.**(-3))
EFIP=EXP(FI)
EFIN=EXP(-FI)
SHFI=(EFIP-EFIN)/2.
CHFI=(EFIP+EFIN)/2.
CTHFI=CHFI/SHFI
CON4=(-CON3)*(PI**2)/(XC**2)
DO 2 N=1,5
2 K(N)=((CON1*N)/(XC**2))*(1./(CON2+(PI**2)*(N**2)/(XC**2)))*
*(((-1.**N)*EFIP*CTHFI)+1.-(EFIP/SHFI)-((-1.**N)*EFIN))
DO 3 ITIEM=1,600
SUM1=0.
SUM2=0.
DO 4 N=1,5
SUM1=SUM1+((K(N)*N*PI)/XC)*EXP(CON4*(N**2)*ITIEM)
4 SUM2=SUM2+((-K(N)*(N**3)*(PI**3)/(XC**3))*EXP(CON4*(N**2)*
*ITIEM)
```



```
SUM1=SUM1*CON2
ERR=ABS(SUM1-SUM2)
IF(ERR-(10.**(-18)))5,5,3
3 CONTINUE
WRITE(1,200)NE
200 FORMAT(//'PARA LA EXPERIENCIA NUMERO',I2,'NO SE CUMPLE LA
*IGUALDAD'/)
GO TO 1
5 WRITE(1,201)NE,ITIEM
201. FORMAT(//'PARA LA EXPERIENCIA NUMERO',I2,'EL TIEMPO ES',
*13,'SEGUNDOS'/)
1 CONTINUE
CALL EXIT
END
```

TABLA CON LOS VALORES DEL TIEMPO OBTENIDOS , CALCULADOS HASTA
n = 5.

# Exp.	Tiempo (sg)	# Exp.	Tiempo (sg)
1	47	16	33
2	33	17	33
3	26	18	149
4	20	19	80
5	17	20	52
6	30	21	37
7	22	22	47
8	14	23	26
9	10	24	17
10	94	25	48
11	67	26	26
12	51	27	17
13	40	28	49
14	33	29	27
15	33	30	18