

Universidad Autónoma de Guadalajara

INCORPORADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

**INFLUENCIA DE LA ANCHURA DE LOS DEFLECTORES EN LA
DISTRIBUCION DEL TIEMPO DE RESIDENCIA EN UN TANQUE
AGITADO CON UNA HELICE DE FLUJO AXIAL.**

**TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
PRESENTA**

FRANCISCO JAVIER VALLEJO ESQUIVEL

Asesor: I.Q. Ma. del Consuelo López Limón
GUADALAJARA, JALISCO. 1987



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

ÍNDICE

	PAG.
INTRODUCCIÓN	1
NOMENCLATURA	3
CAPÍTULO I. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	6
CAPÍTULO II. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	19
CAPÍTULO III. PARTE EXPERIMENTAL	24
CAPÍTULO IV. RESULTADOS OBTENIDOS	26
CAPÍTULO V. MÉTODOS ESTADÍSTICOS	58
CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	65
RESUMEN	68
CONCLUSIONES	70
APÉNDICE I. CALIBRACIÓN DE APARATOS	72
APÉNDICE II. DESCRIPCIÓN DE RUTINA DE CÁLCULO Y TÉCNICA EMPLEADA	73
BIBLIOGRAFÍA	76

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN.

El objetivo de este trabajo es el de conocer la influencia de la anchura de los deflectores en un tanque agitado continuo, a una velocidad de 249 y 496 rpm, con un movimiento axial, en la distribución de tiempos de residencia.

El análisis se lleva a cabo comparando las curvas de distribución de tiempos de residencia obtenidas en las pruebas experimentales, con la curva de distribución de tiempos de residencia del modelo teórico de mezcla completa y las distintas pruebas entre sí.

En este estudio se probaron tres diferentes anchuras de deflectores (obstrucciones en la pared del tanque), en la primera y cuarta prueba utilizamos un deflector que tiene 2.5 cm de ancho ($AD/D = 1/14$), en la segunda y quinta prueba un deflector que tiene 3.5 cm de ancho ($AD/D = 1/10$), en la tercera y sexta prueba un deflector que tiene 4.5 cm de ancho ($AD/D = 0.1286$), las tres primeras pruebas se realizaron a una velocidad de 249 rpm y las tres últimas a 496 rpm, estas seis pruebas se hicieron con una hélice de flujo axial.

El diámetro de la turbina que utilizamos es de 15 cm ($DT/D = 0.4286$), con una anchura de 2.5 cm, un ángulo de 45° con respecto a la flecha y con cuatro aspas.

Nuestro tanque tiene cuatro deflectores y siete entradas y siete salidas. Nosotros usamos la entrada a la altura de las aspas y la salida, la segunda más cercana al -

nivel del líquido. (ver detalles en el cap. II).

Se hicieron en total seis pruebas diferentes, por duplicado cada una de ellas, obteniéndose seis curvas de distribución de tiempos de residencia, que se compararon estadísticamente con la curva ideal del modelo teórico de mezcla completa y entre sí, para poder determinar en cuáles pruebas había diferencia significativa y a partir de esa información, conocer la influencia de la anchura de los deflectores en un tanque agitado continuo, con un revolvedor axial, en la distribución de tiempos de residencia.

N O M E N C L A T U R A

NOMENCLATURA.

- Abs Prom : Lectura promedio de absorbancia de las dos réplicas.
- a : constante de orificio, para conocer el flujo por unidades de tiempo.
- AD : Anchura del deflector.
- AD/D : Relación entre la anchura del deflector y el diámetro del tanque.
- b : Constante de orificio, para conocer el flujo por unidades de tiempo.
- C, C(t) : Concentración del trazador en el tiempo t, absorbancia.
- Co : Concentración de la corriente de fluido en la entrada.
- \bar{C} : Concentración promedio, absorbancia.
- D : Diámetro del tanque.
- D exp : Diferencia entre F_e teórica y F_e experimental.
- D max : Desviación máxima entre la F_e teórica y la F_e experimental.
- DT : Diámetro de la turbina
- DT/D : Relación entre el diámetro de la turbina y diámetro del tanque.
- D tablas : Valor máximo permisible para la prueba estadística de Kolmogorov-Smirnov.

- $E_{e \text{ exp}}$: Distribución del tiempo de residencia experimental, basado en un tiempo adimensional indicado con el subíndice e.
- $E_{e \text{ teo}}$: Distribución del tiempo de residencia teórico, basado en un tiempo adimensional indicado con el subíndice e.
- $F_{e \text{ exp}}$: Función de distribución experimental acumulada.
- $F_{e \text{ teo}}$: Función de distribución teórica acumulada.
- H_N : Altura del nivel del líquido
- H_T : Altura a la que se encuentra la turbina
- H_T/H_N : Relación entre la altura de la turbina y la altura del nivel del líquido.
- LIC : Límite inferior de confiabilidad (prueba del rango de confiabilidad de las medias).
- LSC : Límite superior de confiabilidad (prueba del rango de confiabilidad de las medias).
- M : Cantidad de trazador contenido en la inyección - en gramos.
- $P(t)dt$: Probabilidad de residencia en el reactor de una partícula de trazador en el intervalo de tiempo t a $t+dt$.
- R : Rango en cada experimento (prueba del rango de confiabilidad de las medias).
- \bar{R} : Promedio de los rangos de cada experimento (prueba del rango de confiabilidad de las medias)
- Q : Caudal del fluido en l/min

- t : tiempo en min
- T : Número de rachas en la prueba estadística de Wald-Wolfowitz.
- V : Volumen de operación del reactor, l
- Zc : Estadístico de la prueba de rachas de Wald-Wolfowitz.
- θ : Teta: medida adimensional del tiempo $\theta = t/\tau$
- τ : Tiempo espacial, $\tau = V/Q$, min
- Δt : Incremento de tiempo, min
- Δh : Diferencia de presión manométrica en el medidor - de flujo.
- α : Nivel de significancia para la prueba estadística

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

EQUIPOS DE MEZCLADO (1,2,5)

Las hélices o impulsores se pueden dividir en dos - clases amplias: de flujo axial y flujo radial. Esta clasifi- cación depende del ángulo que forman las aspas con el plano de rotación de la hélice.

HELICES DE FLUJO AXIAL: Este tipo de hélices incluyen todas las que tienen aspas que forman un ángulo de menos de 90° - con el plano de rotación. Los tipos que son representativos de las hélices de flujo axial (fig. 1.1) son: Las hélices y las ruedas de paleta o turbinas de aspas inclinadas.

Las turbinas de aspas inclinadas se usan en ejes de agitadores de entrada por la parte superior, en lugar de hé- lices, cuando se desea una velocidad elevada de circulación axial.

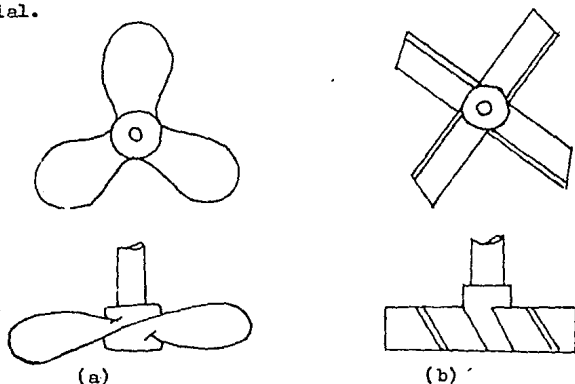


fig 1.1 Hélices de flujo axial: a) hélice tipo marino
b) turbina de hoja sumergida.

El flujo es axial y el propulsor se pone de tal forma, que produce un flujo descendente hacia el fondo del tanque (fig. 1.2).

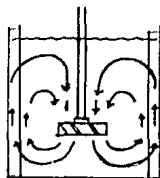
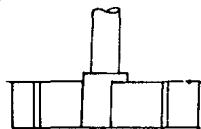
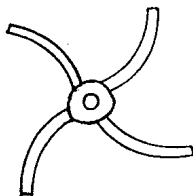


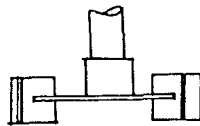
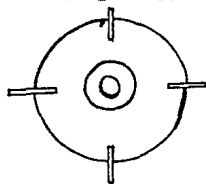
fig. 1.2 Agitación del líquido con mamparas de pared.

El diámetro de una turbina se encuentra normalmente entre 0.3 y 0.6 del diámetro del tanque.

HÉLICES DE FLUJO RADIAL: Este tipo de hélices tienen aspas paralelas al eje del husillo impulsor (fig. 1.3)



(a)



(b)

fig. 1.3 a) Turbina de aspas curvas

b) Turbina de aspas planas

TANQUES SIN DESVIADORES: Si se agita un líquido de baja viscosidad en un tanque sin desviadores (deflectores) mediante un agitador montado en forma axial, habrá tendencia a que se forme un flujo de remolino, sea cual sea el tipo de hélice que se utilice.

Esto es, cuando la velocidad del impulsor se aumenta para producir condiciones de turbulencia, se empieza entonces a formar un vórtice alrededor del eje. Este vórtice se produce debido a la fuerza centrífuga que actúa sobre el líquido que gira. A pesar de la presencia de un remolino, se obtienen a menudo un proceso satisfactorio en un recipiente sin desviadores, sin embargo, hay límites para la velocidad de rotación, puesto que, cuando el remolino llega a la hélice, se llegan a producir arrastres importantes de aire.

TANQUES CON DESVIADORES: Para la agitación vigorosa de suspensiones delgadas, se instalan desviadores en los tanques; generalmente constan de cuatro tiras planas, verticales, arregladas en forma radial a intervalos de 90° alrededor de la pared del tanque. La anchura de la manopla estándar es generalmente entre $1/10$ y $1/12$ del diámetro del tanque.

La presencia de los desviadores reduce los remolinos y aumenta las corrientes verticales del líquido en el

tanque. También aumenta la potencia que se requiere para mover el impulsor, para ésto no hay datos generales disponi - bles, pero se sabe que puede ser al menos, cuatro veces la - requerida en un tanque sin mamparas, con el resto de los parámetros iguales.

AGITACIÓN: Se han hecho estudios sobre la agitación en cuamto a la relación que existe entre las entradas y salidas de alimento al tanque con la posición del agitador.

Z.I.Ramírez, (10), 1981, llegó a la conclusión de - que la agitación fué más efectiva cuando el agitador se co - locó frente a la boca de alimentación de flujo.

A.Madrigal, (13), 1982, confirmó esta conclusión para otras combinaciones de altura de aspas del agitador y boca de entrada del líquido, para dos relaciones distintas de diámetro del tanque a altura del líquido.

DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS DE RESIDENCIA EN
REACTORES DE MEZCLA COMPLETA (3,4)

Los tipos de flujo ideales que existen son: en pistón y en mezcla completa. Aunque en la realidad, el verdadero comportamiento de los reactores nunca será exactamente igual a las situaciones de flujo ideal, pero en muchos casos se aproxima tanto a estas condiciones, que se puede aceptar éste, como un comportamiento ideal, sin incurrir en un error apreciable.

Sin embargo, cuando las desviaciones son muy grandes son originadas por formación de canalizaciones de flujo, por recirculación del fluido, o por formación de zonas estancadas o muertas en el reactor.

En el fluido estancado la conversión vendrá a ser más alta, pero este fluido no saldrá del reactor, por lo menos no inmediatamente.

También el resto del fluido consumirá menos tiempo en el reactor que si estas regiones no existieran y tendrá menos tiempo para reaccionar, o sea que, cuando una corriente de material entra a un reactor agitado con un tiempo espacial $\bar{T} = V/Q$, no todas las moléculas permanecerán este tiempo: algunas moléculas salen del reactor casi inmediatamente, mientras que otras permanecen dentro de él demasiado tiempo.

Esta información la determinamos por el método de investigación experimental estímulo-respuesta, que consiste en estimular al sistema con una perturbación instantánea y estudiar la respuesta que presenta a este estímulo.

Para nuestro caso, el estímulo fue una inyección de trazador en la corriente de fluido que entra al reactor en un tiempo $t=0$, que corresponde a una señal en impulso (señal instantánea), y la respuesta que estudiamos es la concentración del trazador en la salida del reactor con el tiempo.

Llamando $C(t)$ a la concentración del trazador en la salida del reactor en el tiempo t , el número de moléculas que salen entre los tiempos t y $t+dt$ será proporcional a $C(t)dt$. Entonces el número total de moléculas para todos los tiempos, será un factor conocido como factor de normalización $Q' = \int_0^{\infty} C(t)dt$, que depende de la cantidad y el tipo de trazador que se use.

por lo tanto:
$$P(t)dt = \frac{C(t)dt}{\int_0^{\infty} C(t)dt} \quad (1.1)$$

Donde $P(t)dt$ es la fracción de moléculas que sale del reactor en el intervalo t y $t+dt$, que corresponde a la función $E(t)$ (probabilidad de que ocurra algo), la cual representa la distribución de tiempos de residencia en el reactor.

Para calcular el factor de Normalización (Q'), se

inyectó una cantidad de trazador, igual al usado en las pruebas experimentales, en el reactor, con la entrada y salida cerrada, manteniendo el nivel de operación igual al usado - cuando se llegó al estado estacionario, se esperó un tiempo adecuado para que la mezcla se homogeneizara y se determinó la concentración promedio, con la cual se efectuó la normalización.

Definiremos la concentración promedio (\bar{C}) como:

$$\bar{C} = M/V \quad (1.2)$$

Donde M es la cantidad de trazador contenido en la inyección, V el volumen de líquido en el reactor.

Además:

$$M = Q \int_0^{\infty} C dt \quad (1.3)$$

Siendo Q el caudal que circula en estado estacionario.

Por lo tanto:

$$\int_0^{\infty} C dt = M/Q = CV/Q \quad (1.4)$$

Midiendo el tiempo en función del tiempo espacial - se obtiene el parámetro adimensional beta (θ).

$$\theta = t/\tau \quad (1.5)$$

Podemos definir E_{θ} de la manera siguiente:

$$\theta E_{\theta} = E t \quad (1.6)$$

Combinando la ecuación 1.5 y la 1.6 obtenemos:

$$E_{\theta} = \tau E \quad (1.7)$$

De las ecuaciones anteriores obtenemos:

$$E_e = C/\bar{C} \quad (1.8)$$

CURVAS DE RESPUESTA DEL TRAZADOR.

CURVA C_e : Cuando la corriente de fluido que entra al recipiente no contiene trazador alguno, y le imprimimos una señal en impulso idealizada de trazador (señal trazadora que se inyecta de modo virtualmente instantáneo y que frecuentemente se conoce con el nombre de función delta o pulsación) se denomina curva C_e a la respuesta normalizada del trazador en la corriente de salida frente al parámetro teta (θ).

La fig. 1.4 muestra la curva C_e .

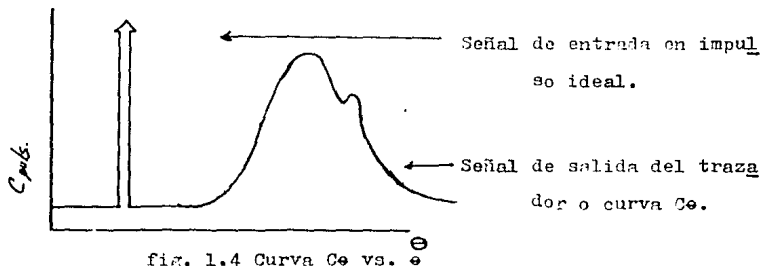


fig. 1.4 Curva C_e vs. θ

RELACIONES ENTRE LAS CURVAS E_e y C_e : Hemos de tener en cuenta que la RTD (distribución del tiempo de residencia) para cualquier porción de fluido que entra al recipiente ha de ser la misma que la de cualquier porción de fluido que sale.

Consideremos un fluido blanco que circula en régimen estacionario a través de un recipiente y en el instante

$t=0$ provoquemos una pulsación de fluido rojo. La curva C_e - representa la concentración del trazador a la salida frente al parámetro teta (θ); por consiguiente, indica su distribución de edades. Aunque la curva C_e representa la DTR de esa porción de fluido de entrada, también ha de representar la DTR de cualquier otra porción del fluido de entrada. Como la DTR de cualquier porción del fluido de entrada ha de ser la misma que la del fluido de salida, representará también la DTR de cualquier porción del fluido de salida. Por lo tanto, tenemos:

$$C_e = E_e \quad (1.9)$$

RELACIONES ENTRE LAS CURVAS E_e y F_e : consideremos un fluido blanco que circula en flujo estacionario a través del reactor, y en el instante $t=0$, se introduce un fluido rojo en vez del fluido blanco. La curva F_e representa el aumento de la concentración del fluido rojo en la corriente de salida. Para cualquier instante t o el fluido rojo, y solamente el fluido rojo, de la corriente de salida tiene una edad inferior a t , en consecuencia tenemos:

$$\left[\begin{array}{l} \text{fracción del fluido rojo} \\ \text{en la corriente de} \\ \text{salida.} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{fracción de la corriente} \\ \text{de salida con edad} \\ \text{inferior a } t. \end{array} \right]$$

El primer valor es simplemente F_e mientras que el segundo viene dado por la integral:

$$\int_0^t E_e \, d\theta \quad (1.10)$$

por consiguiente, tenemos que, para cualquier θ .

$$F_{\theta} = \int_0^{\infty} E_{\theta} d\theta \quad (1.11)$$

Para el modelo teórico de mezcla completa tenemos:

$$E_{\theta} \text{ teo} = \exp(-\theta) \quad (1.12)$$

$$F_{\theta} \text{ teo} = \int_0^{\infty} \exp(-\theta) d\theta$$

$$F_{\theta} \text{ teo} = 1 - \exp(-\theta) \quad (1.13)$$

INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA EN UN TRAZADOR (10,12)

Las curvas experimentales que se obtienen cuando usamos la técnica de trazadores, dependen principalmente de la agitación y el mezclado que se lleva a cabo dentro del reactor que utilizemos.

A partir de la información obtenida del trazador, podemos concluir si alguno de los siguientes fenómenos ocurre en el reactor estudiado:

- a) BY-PASSING (circuito corto): Es el fenómeno que se presenta entre la entrada al reactor y la salida, cuando se encuentra muy cerca una de la otra. En la curva E_{θ} vs. θ (fig. 1.5), el primer pico indica la cantidad de trazador que sale inmediatamente después de que entró al sistema, como consecuencia del circuito corto.
- b) ESPACIOS O VOLÚMENES MUERTOS: Puede existir por estancamiento del fluido en ciertas zonas del reactor cercanas por lo regular a los bordes o esquinas del mismo, también cuando se usa un equipo auxiliar dentro del reactor

que impide una buena agitación en determinadas partes del mismo. La fig. 1.6 muestra una primera señal que se adelanta en el tiempo debido a que el trazador no llega a las zonas estancadas. Cabe aclarar que el área bajo ambas curvas (la ideal y la del volumen muerto) es la misma, (1), pero el tiempo promedio resulta menor que el tiempo espacial. Puede existir una señal retrasada del trazador, cuando éste puede llegar a salir, aunque tardíamente, de las zonas con mala agitación; en ese caso el tiempo promedio (\bar{t}) puede igualar y aún superar el tiempo espacial.

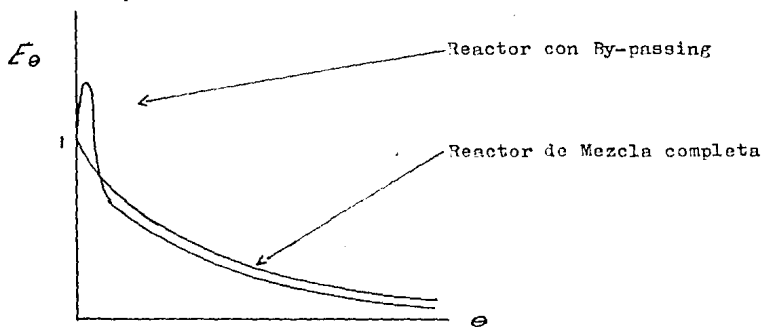


fig. 1.5 Curva típica de un reactor de mezcla con By-passing.

El tiempo promedio se calcula de la siguiente manera:

$$\bar{t} = \int_0^{\infty} \theta E \theta d\theta = \left(\sum_{i=1}^n \theta_i E_i \Delta \theta \right) \tau \quad (1.14)$$

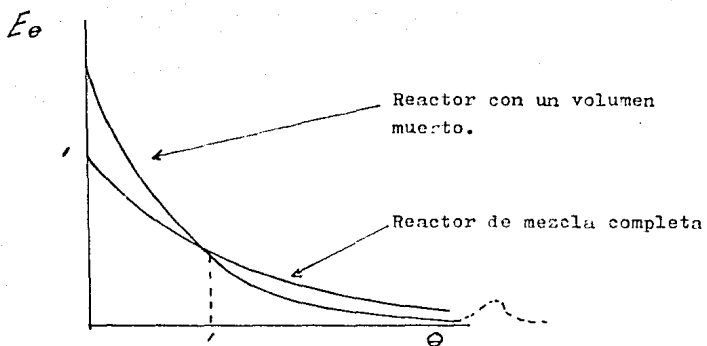


fig. 1.6 Curva de un reactor de mezcla con un volumen muerto.

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS QUE DEBE TENER UN
TRAZADOR (10,12)

- 1.- El trazador debe ser soluble en el fluido a investigar.
- 2.- El trazador debe tener propiedades físicas similares al fluido a investigar.
- 3.- El trazador debe ser detectable en pequeñas concentraciones, de tal manera que, al introducirlo al sistema no altere el patrón de flujo principal.
- 4.- La concentración debe ser medida en forma fácil.
- 5.- El trazador no debe sufrir absorción o adsorción sobre los sólidos presentes en el reactor, ni reaccionar con ellos.
- 6.- La forma del estímulo no debe alterarse antes de entrar al reactor, o al salir de él.

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

El reactor que se usó en este trabajo es un tanque-cilíndrico de lámina galvanizada de 0.125 cm de espesor, - tiene 42 cm de sección recta y el fondo es un casquete esférico de 2 cm de profundidad.

El reactor tiene 35 cm de diámetro y está provisto de siete entradas y siete salidas (boquillas), están numeradas del 1 al 7 de arriba hacia abajo (de las cuales nosotros usaremos en este trabajo la entrada seis y la salida - dos), las boquillas de entrada están separadas diametralmente de las boquillas de salida, estas boquillas de entrada y salida tienen un diámetro interno de 7 mm y una longitud de 5.08 cm (ver fig. 2.2).

La boquilla de alimentación (entrada seis) está situada a 28.5 cm de la parte superior del tanque hacia el fondo y la boquilla de salida (dos) se encuentra a 12.5 cm de la parte superior del tanque hacia el fondo.

Para nuestro estudio, se le adaptaron tres juegos - diferentes de mamparas a nuestro reactor, estos juegos consisten de: cuatro tiras planas verticales arregladas en forma radial a intervalos de 90° alrededor de la pared del tanque y las tiras planas verticales son de 4.5 cm para el primer juego, para el segundo de 3.5 cm de ancho y para el tercero de 2.5 cm.

Las mamparas están separadas de la entrada de allí -

mentación circunferencialmente a 69.51° ; en la parte superior de cada juego tienen una barra, la cual tiene una perforación en el centro, con el objeto de que se fije exactamente la posición del agitador (fig. 2.1).

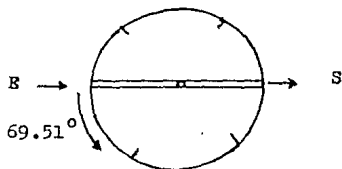


fig. 2.1 Vista superior del reactor empleado, en la cual podemos observar las entradas y salidas, y la separación circunferencial entre la entrada y las mamparas.

Para llevar a cabo la agitación se utilizó un motor de $3/4$ HP, dos poleas, una de 30 cm de diámetro y la otra de 15 cm de diámetro; a una flecha de acero inoxidable se le adaptó un agitador tipo turbina de hoja sumergida (fig. 1.1b) el cual tiene un diámetro de 15 cm, un ancho de 2.7 cm y un ángulo de inclinación de 45° con respecto a la flecha.

El volumen real del tanque es de 40 l, pero nuestro volumen de operación fué de 34.3 l; para mantener este volumen de operación constante, se le adicionó al reactor un indicador de nivel, el cual se estuvo verificando continuamente; también se utilizó un tanque de alimentación el -

cual se encontraba por encima del reactor 2.3 m y, mediante un rebosadero, se mantuvo el nivel constante.

El reactor se colocó sobre una base circular que permitió sostenerlo y mantenerlo nivelado.

Para mantener el flujo constante, se utilizó un medidor de flujo, el cual, previamente calibrado, nos permitió trabajar al flujo deseado.

El fluido de trabajo usado fué el agua, la sustancia usada como trazador fué un colorante artificial (rojo-uvva AAA).

Para medir la concentración de las muestras (en absorbancia) se usó un espectrofotómetro, modelo Spectronic 20, marca Bausch and Lomb.

Para medir las revoluciones por minuto utilizamos un tacómetro electrónico.

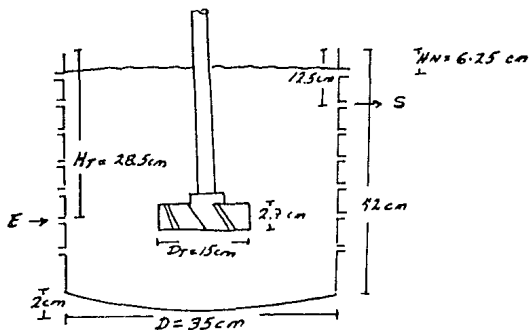


fig. 2.2 Esquema del reactor empleado.

Todo el equipo empleado lo mostraremos esquemáticamente en la figura siguiente.

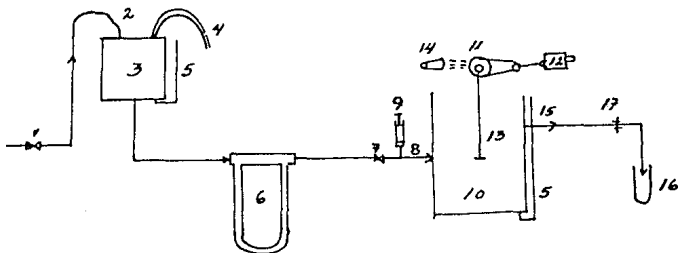


fig. 2.3 Esquema del equipo empleado.

- 1.- Llave de alimentación de agua a la tubería.
- 2.- Corriente de entrada al tanque de alimentación.
- 3.- Tanque de alimentación
- 4.- Rebosadero
- 5.- Medidor de nivel
- 6.- Medidor de flujo
- 7.- Llaves de paso
- 8.- corriente de entrada al reactor
- 9.- Jeringa de 35 ml para inyectar el trazador
- 10.- Reactor
- 11.- Poleas
- 12.- Motor de 3/4 HP
- 13.- Agitador tipo turbina de hoja sumergida
- 14.- Tacómetro electrónico.

- 15.- Corriente de salida del reactor
- 16.- Tubos de ensayo para muestras.
- 17.- Llave tipo prensa para controlar el flujo.

CAPÍTULO III

PARTE EXPERIMENTAL.

PARTS EXPERIMENTAL.

Se realizaron seis pruebas experimentales, cada una de ellas fue realizada por duplicado.

Los parámetros que se mantuvieron constantes en todas las pruebas son:

- 1.- La posición de entrada de fluido al reactor.
- 2.- La posición de salida de fluido del reactor.
- 3.- El volumen de solución trazadora inyectada.
- 4.- La velocidad de flujo.
- 5.- El nivel de operación del líquido (HN).
- 6.- La posición del agitador dentro del reactor.
- 7.- La altura del agitador dentro del reactor (HT).

Los parámetros que se mantuvieron constantes en cada prueba, pero que variaron de una prueba a otra, son:

- 1.- Velocidad de agitación.
- 2.- Tipo de mampara (AD/D).

Las corridas se desarrollaron de la siguiente manera: las tres primeras pruebas se realizaron con una velocidad de agitación de 249 rpm y las tres últimas a una velocidad de 496 rpm.

La primera y la cuarta prueba se realizaron con una mampara de 4.5 cm de ancho ($AD/D = 0.1286$), la segunda y la quinta prueba con una mampara de 3.5 cm de ancho ($AD/D = 1/10$), y la tercera y la sexta prueba con una mampara de 2.5 cm de ancho ($AD/D = 1/14$).

Prueba	Vel. de agitación	Ancho de la mampara
1	249 rpm	4.5 cm
2	249 rpm	3.5 cm
3	249 rpm	2.5 cm
4	496 rpm	4.5 cm
5	496 rpm	3.5 cm
6	496 rpm	2.5 cm

Las condiciones de operación fueron las siguientes:

$$V \text{ líq.} = 34.3 \text{ l}$$

$$Q = 1.239 \text{ l/min}$$

$$T = 1,614.9569 \text{ s}$$

La descripción detallada de la técnica empleada puede verse en el apéndice II.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS OBTENIDOS.

RESULTADOS OBTENIDOS.

Los valores de las absorbancias obtenidos en las dos réplicas de cada corrida experimental se promediaron para utilizarlos en los cálculos de E_e experimental y de F_e experimental (ver apéndice II).

Se construyeron seis tablas de resultados, las cuales contienen los siguientes valores: en la parte superior de cada tabla se indica el número de corrida o prueba y sus características, en la primera columna de cada tabla se indica el número de muestra, en la segunda columna se lista el parámetro adimensional "Teta", en la tercera columna se lista la absorbancia promedio, en la cuarta columna se lista E_e experimental, en la quinta columna se lista E_e teórica, en la sexta columna se lista F_e experimental, en la séptima columna se lista F_e teórica y en la última columna se lista la diferencia entre las funciones de distribución acumulada de F_e teórica y F_e experimental "D exp", en valor absoluto.

En esta última columna de cada tabla se indica con una cruz (+) cuál es el mayor valor de "D exp" obtenido.

Los datos obtenidos de Teta, E_e experimental, y E_e teórica, los utilizaremos para construir las gráficas correspondientes.

Se calculará el tiempo promedio y se comparará con el tiempo espacial, para conocer el % de volumen muerto que existe.

Para una explicación más detallada de los resultados mostrados dirigirse al apéndice II.

RESULTADOS DE LA CORRIDA # 1

249 rpm y 4.5 cm ancho.

TABLA 4-1

	•	Abs Prom	E _e exp	E _e teo	F _e exp	F _e teo	D exp
1	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.0031	0.1705	0.8177	0.9969	0.0025	0.0031	0.0006
3	0.0062	0.1960	0.9400	0.9938	0.0054	0.0062	0.0008
4	0.0093	0.2090	1.0024	0.9908	0.0085	0.0092	0.0007
5	0.0124	0.2025	0.9712	0.9877	0.0115	0.0123	0.0008
6	0.0155	0.1995	0.9568	0.9846	0.0145	0.0154	0.0009
7	0.0186	0.2005	0.9616	0.9816	0.0175	0.0184	0.0009
8	0.0217	0.1985	0.9520	0.9786	0.0205	0.0214	0.0009
9	0.0248	0.1990	0.9544	0.9755	0.0235	0.0245	0.0010
10	0.0279	0.2030	0.9736	0.9725	0.0265	0.0275	0.0010
11	0.0310	0.2015	0.9664	0.9695	0.0295	0.0305	0.0010
12	0.0345	0.2020	0.9688	0.9665	0.0325	0.0335	0.0010
13	0.0372	0.2100	1.0072	0.9635	0.0356	0.0365	0.0009
14	0.0433	0.2090	1.0024	0.9576	0.0418	0.0424	0.0006
15	0.0495	0.1975	0.9472	0.9517	0.0477	0.0483	0.0006
16	0.0577	0.2000	0.9592	0.9458	0.0536	0.0542	0.0006
17	0.0619	0.1990	0.9544	0.9400	0.0595	0.0600	0.0005
18	0.0681	0.2000	0.9592	0.9342	0.0654	0.0658	0.0004
19	0.0743	0.1985	0.9520	0.9284	0.0713	0.0716	0.0003
20	0.0805	0.1960	0.9400	0.9227	0.0771	0.0773	0.0002
21	0.0867	0.1940	0.9305	0.9170	0.0829	0.0830	0.0001
22	0.0929	0.1930	0.9257	0.9113	0.0866	0.0867	0.0001
23	0.0991	0.1915	0.9185	0.9057	0.0943	0.0943	0.0000
24	0.1115	0.1910	0.9161	0.8945	0.1057	0.1055	0.0002
25	0.1238	0.1950	0.9353	0.8835	0.1173	0.1165	0.0008

+ CONTINUACION DE LA CORRIDA # 1

249 rpm y 4.5 cm ancho.

TABLA 4-1

	e	Abs Prom	E _e exp	E _e teo	F _e exp	F _e teo	D exp
26	0.1362	0.1890	0.9065	0.8726	0.1285	0.1274	0.0011
27	0.1486	0.1875	0.8993	0.8619	0.1397	0.1381	0.0016
28	0.1610	0.1835	0.8801	0.8513	0.1506	0.1487	0.0019
29	0.1734	0.1810	0.8681	0.8408	0.1614	0.1592	0.0022
30	0.1858	0.1790	0.8585	0.8305	0.1720	0.1695	0.0025
31	0.1981	0.1775	0.8513	0.8202	0.1826	0.1798	0.0028
32	0.2105	0.1765	0.8465	0.8102	0.1931	0.1898	0.0033
33	0.2229	0.1730	0.8297	0.8002	0.2034	0.1998	0.0036
34	0.2415	0.1700	0.8153	0.7855	0.2186	0.2145	0.0041
35	0.2601	0.1650	0.7914	0.7710	0.2333	0.2290	0.0043
36	0.2786	0.1670	0.8010	0.7568	0.2482	0.2432	0.0050
37	0.2972	0.1635	0.7842	0.7429	0.2628	0.2571	0.0057
38	0.3158	0.1615	0.7746	0.7292	0.2772	0.2708	0.0064
39	0.3344	0.1570	0.7530	0.7158	0.2912	0.2842	0.0070
40	0.3530	0.1535	0.7362	0.7026	0.3049	0.2974	0.0075
41	0.3715	0.1495	0.7170	0.6897	0.3182	0.3102	0.0079
42	0.3901	0.1465	0.7026	0.6770	0.3313	0.3230	0.0083
43	0.4087	0.1445	0.6930	0.6645	0.3442	0.3355	0.0087
44	0.4458	0.1425	0.6835	0.6403	0.3696	0.3597	0.0099
45	0.4830	0.1390	0.6667	0.6169	0.3944	0.3831	0.0113
46	0.5201	0.1365	0.6546	0.5944	0.4188	0.4056	0.0132
47	0.5573	0.1340	0.6427	0.5728	0.4427	0.4272	0.0155
48	0.5944	0.1300	0.6235	0.5519	0.4659	0.4481	0.0178
49	0.6316	0.1260	0.6043	0.5317	0.4824	0.4683	0.0201
50	0.6687	0.1185	0.5683	0.5223	0.5095	0.4877	0.0218

++ CONTINUACION DE LA CORRIDA # 2

249 rpm y 4.5 cm ancho.

TABLA 4-1

	•	Abs Prom	E _e exp	E _e teo	F _e exp	F _e teo	D exp
51	0.7059	0.1120	0.5372	0.4937	0.5295	0.5063	0.0232
52	0.7431	0.1060	0.5084	0.4757	0.5484	0.5243	0.0241
53	0.7802	0.1025	0.4916	0.4583	0.5667	0.5417	0.0250
54	0.8545	0.0980	0.4700	0.4255	0.6016	0.5745	0.0271
55	0.9288	0.0930	0.4460	0.3950	0.6347	0.6050	0.0297
56	1.0031	0.0880	0.4221	0.3667	0.6661	0.6333	0.0328
57	1.0774	0.0850	0.4077	0.3405	0.6964	0.6595	0.0369
58	1.1517	0.0800	0.3837	0.3161	0.7249	0.6839	0.0410
59	1.2260	0.0735	0.3525	0.2935	0.7511	0.7065	0.0446
60	1.3003	0.0670	0.3213	0.2724	0.7750	0.7286	0.0474
61	1.3746	0.0595	0.2854	0.2529	0.7952	0.7471	0.0491
62	1.4490	0.0550	0.2638	0.2348	0.8152	0.7652	0.0506
63	1.5233	0.0505	0.2422	0.2180	0.8338	0.7820	0.0518
64	1.6347	0.0440	0.2110	0.1950	0.8573	0.8050	0.0523
65	1.7462	0.0385	0.1847	0.1744	0.8779	0.8256	0.0523
66	1.8576	0.0350	0.1679	0.1560	0.8966	0.8440	0.0526
67	1.9691	0.0335	0.1607	0.1396	0.9145	0.8604	0.0541 (+)
68	2.0806	0.0275	0.1319	0.1249	0.9292	0.8751	0.0541
69	2.1920	0.0200	0.0959	0.1117	0.9399	0.8883	0.0516
70	2.3035	0.0155	0.0743	0.0999	0.9482	0.9011	0.0481
71	2.4149	0.0140	0.0671	0.0894	0.9557	0.9106	0.0451
72	2.5664	0.0110	0.0528	0.0799	0.9616	0.9201	0.0415
73	2.6378	0.0075	0.0360	0.0725	0.9656	0.9285	0.0371
74	2.8236	0.0045	0.0216	0.0594	0.9696	0.9406	0.0290
75	3.0094	0.0035	0.0168	0.0493	0.9727	0.9507	0.0220

+++ CONTINUACION DE LA CORRIDA # 1

249 rpm y 4.5 cm ancho.

TABLA 4-1

		Abs Prom	E _e exp	E _e teo	F _e exp	F _e teo	D exp
76	3.1951	0.0015	0.0072	0.0410	0.9740	0.9590	0.0150
77	3.3809	0.0005	0.0024	0.0340	0.9744	0.9660	0.0084
78	3.5667	0.0000	0.0000	0.0283	0.9744	0.9717	0.0027

El tiempo promedio (t) lo calculamos con la ec. 1.14

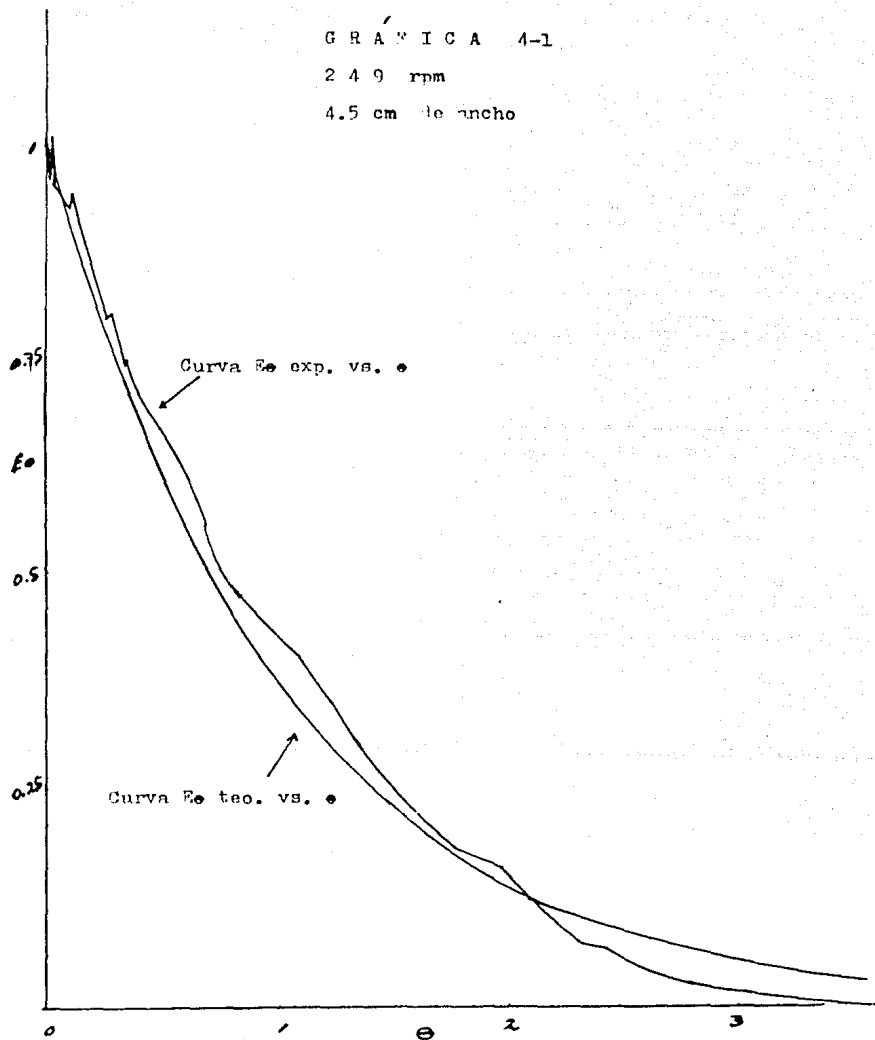
y nos dio: $t = 1,287.799$ s

El % de volumen muerto = 20.26%

GRÁFICA 4-1

249 rpm

4.5 cm de ancho



RESULTADOS DE LA CORRIDA # 2

249 rpm y 3.5 cm ancho.

TABLA 4-2

	e	Abs Prom	Bo exp	Bo teo	Pe exp	Pe teo	D exp.
1	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.0031	0.2295	1.1034	0.9969	0.0034	0.0031	0.0003
3	0.0062	0.2215	1.0649	0.9938	0.0067	0.0062	0.0005
4	0.0093	0.2200	1.0577	0.9908	0.0100	0.0092	0.0008
5	0.0124	0.2195	1.0553	0.9877	0.0133	0.0123	0.0010
6	0.0155	0.2195	1.0553	0.9846	0.0166	0.0154	0.0012
7	0.0186	0.2185	1.0505	0.9816	0.0199	0.0184	0.0015
8	0.0217	0.2185	1.0505	0.9786	0.0232	0.0214	0.0018
9	0.0248	0.2165	1.0409	0.9755	0.0264	0.0245	0.0019
10	0.0279	0.2155	1.0361	0.9725	0.0296	0.0275	0.0021
11	0.0310	0.2160	1.0385	0.9695	0.0328	0.0305	0.0023
12	0.0341	0.2145	1.0313	0.9665	0.0360	0.0335	0.0025
13	0.0372	0.2155	1.0361	0.9635	0.0392	0.0365	0.0027
14	0.0433	0.2140	1.0288	0.9576	0.0456	0.0424	0.0032
15	0.0495	0.2110	1.0144	0.9517	0.0519	0.0483	0.0036
16	0.0557	0.2100	1.0096	0.9458	0.0582	0.0542	0.0040
17	0.0619	0.2090	1.0048	0.9400	0.0644	0.0600	0.0044
18	0.0691	0.2075	0.9976	0.9342	0.0706	0.0658	0.0048
19	0.0743	0.2065	0.9928	0.9284	0.0768	0.0716	0.0052
20	0.0805	0.2050	0.9856	0.9227	0.0829	0.0773	0.0056
21	0.0867	0.2030	0.9760	0.9170	0.0890	0.0830	0.0060
22	0.0929	0.2010	0.9663	0.0113	0.0950	0.0887	0.0063
23	0.0991	0.2000	0.9615	0.9057	0.1010	0.0943	0.0067
24	0.1115	0.1985	0.9543	0.8945	0.1128	0.1055	0.0073
25	0.1238	0.1960	0.9423	0.8835	0.1245	0.1165	0.0080

+ CONTINUACION DE LA CORRIDA # 2

249 rpm y 3.5 cm ancho.

TABLA 4-2

	e	Abs Prom	E _o exp	E _o teo	F _o exp	F _o teo	D exp
26	0.1362	0.1925	0.9255	0.8726	0.1360	0.1274	0.0086
27	0.1486	0.1900	0.9135	0.8619	0.1473	0.1381	0.0092
28	0.1610	0.1880	0.9038	0.8513	0.1585	0.1487	0.0098
29	0.1734	0.1855	0.8918	0.8408	0.1696	0.1592	0.0104
30	0.1818	0.1850	0.8894	0.8365	0.1806	0.1695	0.0111
31	0.1981	0.1815	0.8726	0.8202	0.1914	0.1798	0.0116
32	0.2105	0.1800	0.8654	0.8102	0.2021	0.1898	0.0123
33	0.2229	0.1790	0.8606	0.8002	0.2128	0.1998	0.0130
34	0.2415	0.1770	0.8510	0.7855	0.2286	0.2145	0.0141
35	0.2601	0.1725	0.8293	0.7710	0.2440	0.2290	0.0150
36	0.2786	0.1690	0.8225	0.7568	0.2591	0.2432	0.0159
37	0.2972	0.1650	0.7933	0.7429	0.2739	0.2571	0.0169
38	0.3158	0.164	0.7885	0.7292	0.2886	0.2708	0.0178
39	0.3344	0.1605	0.7716	0.7158	0.3030	0.2842	0.0188
40	0.3530	0.1580	0.7596	0.7026	0.3171	0.2974	0.0197
41	0.3715	0.1535	0.7380	0.6897	0.3308	0.3103	0.0205
42	0.3901	0.1520	0.7308	0.6770	0.3444	0.3230	0.0214
43	0.4087	0.1505	0.7236	0.6645	0.3579	0.3355	0.0224
44	0.4458	0.1475	0.7091	0.6403	0.3843	0.3597	0.0246
45	0.4830	0.1405	0.6755	0.6169	0.4095	0.3831	0.0263
46	0.5201	0.1355	0.6514	0.5944	0.4336	0.4056	0.0263
47	0.5573	0.1310	0.6298	0.5728	0.4570	0.4272	0.0298
48	0.5944	0.1260	0.6058	0.5519	0.4795	0.4421	0.0314
49	0.6316	0.1200	0.5769	0.5317	0.5010	0.4683	0.0327
50	0.6687	0.1140	0.5481	0.5123	0.5214	0.4877	0.0337

++ CONTINUACION DE LA CORRIDA # 2

249 rpm y 3.5 cm ancho.

TABLA 4-2

	e	Abs Prom	Eo exp	Eo teo	Pe exp	Pe teo	D exp
51	0.7059	0.1085	0.5216	0.4937	0.5408	0.5063	0.0345
52	0.7431	0.1045	0.5024	0.4757	0.5595	0.5243	0.0352
53	0.7802	0.0990	0.4760	0.4583	0.5772	0.5417	0.0385
54	0.8545	0.0935	0.4495	0.4255	0.6106	0.5745	0.0361
55	0.5288	0.0870	0.4183	0.3950	0.6417	0.6050	0.0367
56	1.0031	0.0805	0.3870	0.3667	0.6705	0.6333	0.0372
57	1.0774	0.0770	0.3702	0.3405	0.6980	0.6595	0.0385
58	1.1517	0.0700	0.3365	0.3161	0.7230	0.6839	0.0391
59	1.2260	0.0655	0.3149	0.2935	0.7464	0.7065	0.0399
60	1.3003	0.0605	0.2909	0.2724	0.7680	0.7276	0.0404
61	1.3746	0.0570	0.2740	0.2529	0.7884	0.7471	0.0413
62	1.4490	0.0515	0.2476	0.2348	0.8068	0.7652	0.0416
63	1.5233	0.0490	0.2356	0.2180	0.8243	0.7820	0.0423
64	1.6347	0.0430	0.2067	0.1950	0.8474	0.8050	0.0424
65	1.7462	0.0395	0.1899	0.1744	0.8686	0.8256	0.0430
66	1.8576	0.0350	0.1683	0.1560	0.8874	0.8440	0.0434
67	1.9691	0.0310	0.1490	0.1396	0.9040	0.8604	0.0436
68	2.0806	0.0295	0.1418	0.1240	0.9198	0.8751	0.0447
69	2.1920	0.0255	0.1418	0.1117	0.9335	0.8883	0.0452
70	2.3035	0.0225	0.1082	0.0999	0.9456	0.9001	0.0455
71	2.4149	0.0205	0.0986	0.0894	0.9566	0.9106	0.0460 (+)
72	2.5264	0.0175	0.0841	0.0799	0.9660	0.9201	0.0459
73	2.6378	0.0145	0.0697	0.0715	0.9738	0.9285	0.0453
74	2.8236	0.0115	0.0553	0.0594	0.9841	0.9406	0.0435
75	3.0094	0.0070	0.0337	0.0493	0.9904	0.9507	0.0397

+++ CONTINUACIÓN DE LA CORRIDA # 2

249 rpm y 3.5 cm de ancho

TABLA 4-2

	•	Abs Prom	E _o exp	E _o teo	F _o exp	F _o teo	D exp
76	3.1951	0.0040	0.0192	0.0410	0.9940	0.9590	0.0350
77	3.3809	0.0010	0.0048	0.0340	0.9949	0.9660	0.0289
78	3.5667	0.0000	0.0000	0.0283	0.9949	0.9717	0.0232

El tiempo promedio (t) lo calculamos con la ec. 1.14

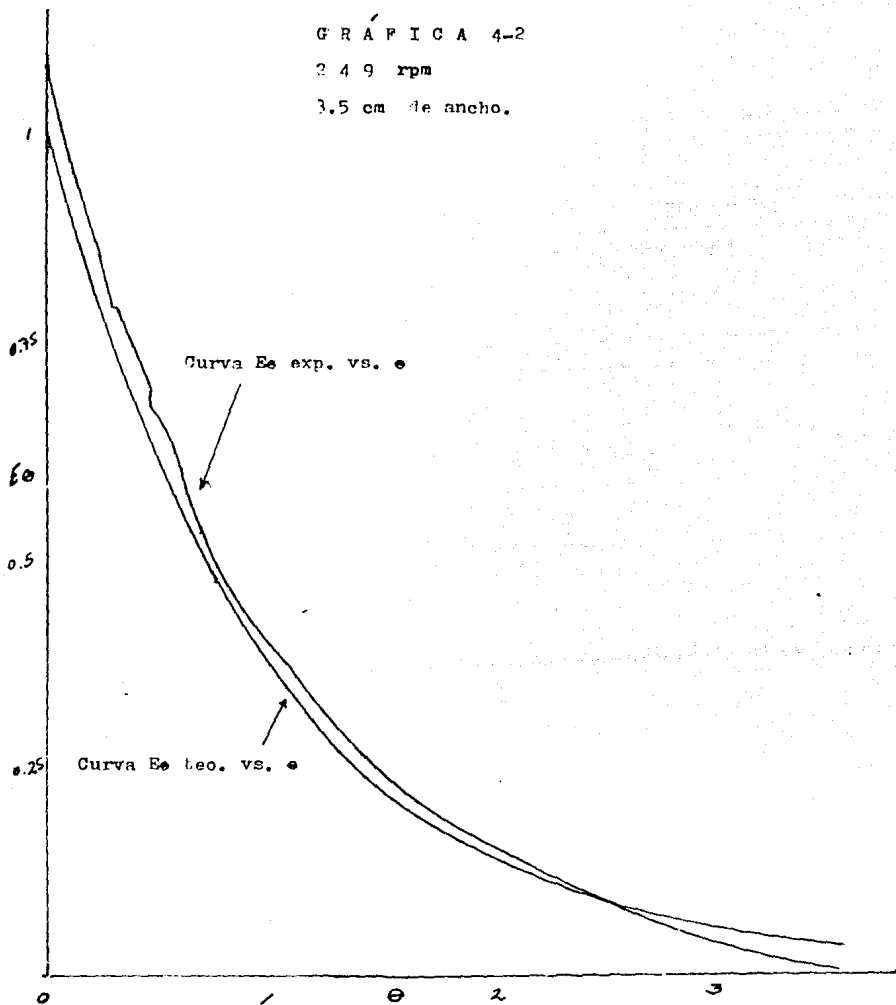
y nos dio: $t = 1,377.15$ s

El % de Volumen muerto = 14.73 %

GRÁFICA 4-2

249 rpm

3,5 cm de ancho.



RESULTADOS DE LA CORRIDA # 3

249 rpm y 2.5 cm ancho.

TABLA 4-3

	•	Abs Prom	Eo exp	Eo teo	Fe exp	Fe teo	D exp
1	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.0031	0.2175	1.0432	0.9969	0.0032	0.0031	0.0001
3	0.0062	0.2125	1.0192	0.9938	0.0064	0.0062	0.0002
4	0.0093	0.2065	0.9904	0.9908	0.0095	0.0092	0.0003
5	0.0124	0.2055	0.9856	0.9877	0.0126	0.0123	0.0003
6	0.0155	0.2095	1.0048	0.9846	0.0157	0.0154	0.0003
7	0.0186	0.2070	0.9928	0.9816	0.0188	0.0184	0.0004
8	0.0217	0.2045	0.9808	0.9786	0.0218	0.0214	0.0004
9	0.0248	0.2045	0.9808	0.9755	0.0248	0.0245	0.0003
10	0.0279	0.2030	0.9736	0.9725	0.0278	0.0275	0.0003
11	0.0310	0.2020	0.9688	0.9695	0.0306	0.0305	0.0003
12	0.0341	0.2020	0.9688	0.9665	0.0338	0.0335	0.0003
13	0.0372	0.2015	0.9664	0.9635	0.0368	0.0365	0.0003
14	0.0433	0.2005	0.9616	0.9576	0.0428	0.0424	0.0004
15	0.0495	0.1995	0.9568	0.9517	0.0487	0.0483	0.0004
16	0.0557	0.1980	0.9496	0.9458	0.0546	0.0542	0.0004
17	0.0619	0.1965	0.9424	0.9400	0.0604	0.0600	0.0004
18	0.0681	0.1950	0.9353	0.9342	0.0662	0.0658	0.0004
19	0.0743	0.1940	0.9305	0.9284	0.0720	0.0716	0.0004
20	0.0805	0.1900	0.9113	0.9227	0.0776	0.0773	0.0003
21	0.0867	0.1890	0.9065	0.9170	0.0832	0.0830	0.0002
22	0.0929	0.1865	0.8945	0.9113	0.0887	0.0887	0.0000
23	0.0991	0.1850	0.8873	0.9057	0.0942	0.0943	0.0001
24	0.1115	0.1845	0.8849	0.8945	0.1052	0.1055	0.0003
25	0.1238	0.1835	0.8801	0.8835	0.1161	0.1165	0.0004

+ CONTINUACIÓN DE LA CORRIDA # 3

249 rpm y 2.5 cm ancho.

TABLA 4-3

	•	Abs Prom	Ex exp	Ex teo	Ex exp	Ex teo	D exp
26	0.1362	0.1810	0.8681	0.8726	0.1269	0.1274	0.0005
27	0.1486	0.1775	0.8513	0.8619	0.1375	0.1381	0.0006
28	0.1610	0.1765	0.8465	0.8513	0.1480	0.1487	0.0007
29	0.1734	0.1745	0.8369	0.8408	0.1584	0.1592	0.0008
30	0.1858	0.1745	0.8369	0.8305	0.1688	0.1695	0.0007
31	0.1981	0.1715	0.8225	0.8202	0.1790	0.1798	0.0008
32	0.2105	0.1685	0.8082	0.8102	0.1890	0.1898	0.0008
33	0.2229	0.1675	0.8034	0.8002	0.1990	0.1998	0.0008
34	0.2415	0.1650	0.7914	0.7855	0.2137	0.2145	0.0008
35	0.2601	0.1635	0.7842	0.7710	0.2283	0.2290	0.0007
36	0.2786	0.1615	0.7746	0.7568	0.2427	0.2432	0.0005
37	0.2972	0.1585	0.7602	0.7429	0.2568	0.2571	0.0003
38	0.3158	0.1560	0.7482	0.7292	0.2707	0.2708	0.0001
39	0.3344	0.1585	0.7602	0.7158	0.2848	0.2842	0.0006
40	0.3530	0.1495	0.7170	0.7026	0.2981	0.2974	0.0007
41	0.3715	0.1455	0.6978	0.6897	0.3111	0.3103	0.0008
42	0.3901	0.1465	0.7026	0.6770	0.3242	0.3230	0.0012
43	0.4087	0.1410	0.6763	0.6645	0.3368	0.3355	0.0013
44	0.4458	0.1370	0.6571	0.6403	0.3612	0.3597	0.0015
45	0.4830	0.1345	0.6451	0.6169	0.3852	0.3831	0.0021
46	0.5201	0.1320	0.6331	0.5944	0.4028	0.4056	0.0032
47	0.5573	0.1290	0.6187	0.5728	0.4318	0.4272	0.0046
48	0.5944	0.1285	0.5875	0.5519	0.4537	0.4481	0.0056
49	0.6316	0.1185	0.5683	0.5317	0.4748	0.4683	0.0065
50	0.6687	0.1120	0.5372	0.5123	0.4948	0.4877	0.0071

++ CONTINUACION DE LA CORRIDA # 3

249 rpm y 2.5 cm ancho.

TABLA 4-3

	•	Abs Prom	Es exp	Es teo	Fe exp	Fe tco	D exp
51	0.7059	0.1110	0.5324	0.4937	0.5146	0.5063	0.0083
52	0.7431	0.1015	0.4868	0.4757	0.5327	0.5243	0.0084
53	0.7802	0.0980	0.4700	0.4583	0.5502	0.5417	0.0085
54	0.8545	0.0905	0.4341	0.4255	0.5825	0.5745	0.0080
55	0.9288	0.0890	0.4269	0.3950	0.6142	0.6050	0.0092
56	1.0031	0.0805	0.3861	0.3667	0.6429	0.6333	0.0096
57	1.0774	0.0745	0.3563	0.3405	0.6694	0.6595	0.0099
58	1.1517	0.0650	0.3118	0.3161	0.6926	0.6839	0.0087
59	1.2260	0.0620	0.2974	0.2935	0.7147	0.7065	0.0082
60	1.3003	0.0595	0.2854	0.2724	0.7359	0.7276	0.0083
61	1.3746	0.0550	0.2638	0.2529	0.7555	0.7471	0.0084
62	1.4490	0.0495	0.2374	0.2348	0.7731	0.7652	0.0079
63	1.5233	0.0435	0.2086	0.2180	0.7886	0.7820	0.0066
64	1.6347	0.0395	0.1894	0.1950	0.8097	0.8050	0.0047
65	1.7462	0.0365	0.1751	0.1744	0.8292	0.8256	0.0036
66	1.8576	0.0315	0.1511	0.1560	0.8460	0.8440	0.0020
67	1.9691	0.0285	0.1367	0.1396	0.8612	0.8604	0.0008
68	2.0806	0.0220	0.1055	0.1249	0.8730	0.8751	0.0021
69	2.1920	0.0180	0.0863	0.1117	0.8826	0.8883	0.0057
70	2.3035	0.0170	0.0815	0.0999	0.8917	0.9001	0.0084
71	2.4149	0.0110	0.0528	0.0894	0.8976	0.9106	0.0130
72	2.5264	0.0095	0.0456	0.0799	0.9027	0.9201	0.0174
73	2.6378	0.0075	0.0360	0.0715	0.9067	0.9285	0.0218
74	2.8236	0.0055	0.0264	0.0594	0.9116	0.9406	0.0290
75	3.0094	0.0030	0.0144	0.0493	0.9143	0.9507	0.0364

+++ CONTINUACIÓN DE LA CORRIDA # 3

249 rpm y 2.5 cm ancho.

TABLA 4-3

	•	Abs Prom	E _o exp	E _o teo	F _o exp	F _o teo	D exp
76	3.1951	0.0015	0.0072	0.0410	0.9156	0.9590	0.0434
77	3.3809	0.0005	0.0024	0.0340	0.9160	0.9660	0.0500
78	3.5667	0.0000	0.0000	0.0283	0.9160	0.9717	0.0557 (+)

El tiempo promedio (t) lo calculamos con la ec. 1.14

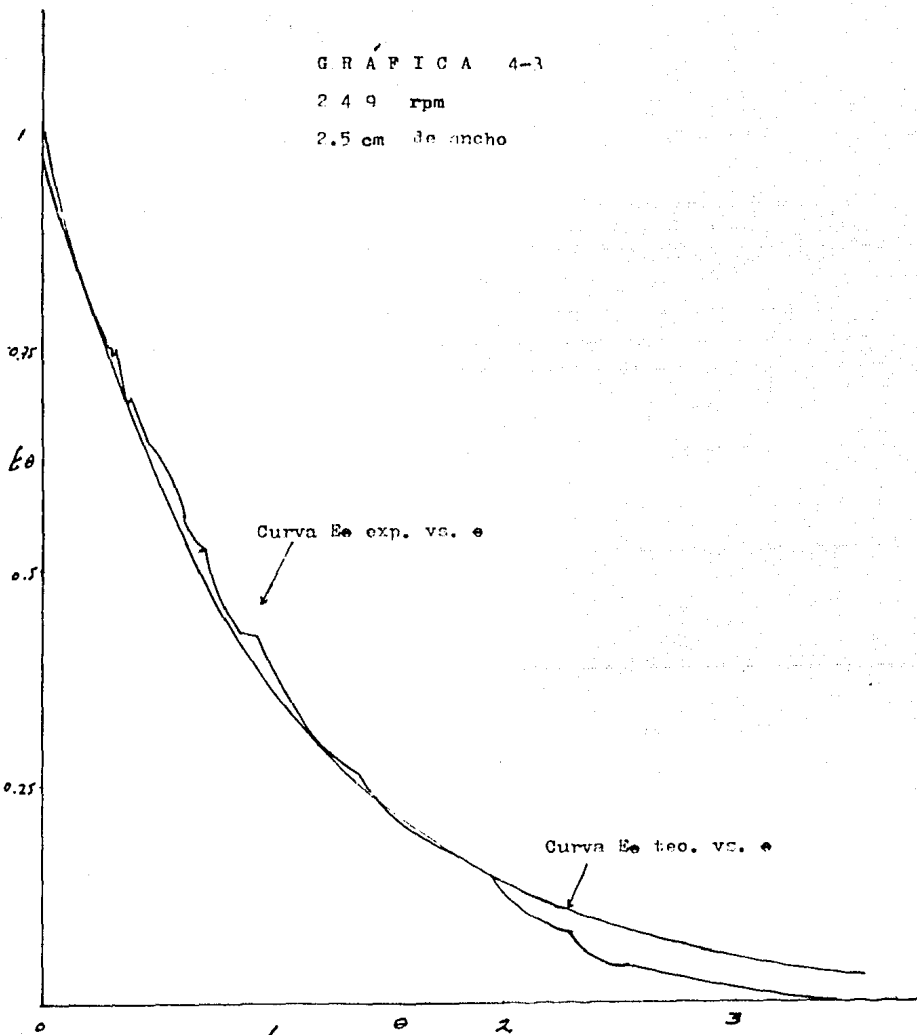
y nos dio: $t = 1,179.16 \text{ s}$

El % de Volumen muerto = 26.99 %

GRÁFICA 4-3

249 rpm

2.5 cm de ancho



RESULTADOS DE LA CORRIDA # 4

496 rpm y 4.5 cm ancho

TABLA 4-4

	e	Abs Prom	Es exp	Es teo	Pe exp	Pe teo	D exp
1	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.0031	0.2100	1.0082	0.9969	0.0031	0.0031	0.0000
3	0.0062	0.2240	1.0754	0.9938	0.0064	0.0062	0.0002
4	0.0093	0.2215	1.0634	0.9908	0.0097	0.0092	0.0005
5	0.0124	0.2205	1.0586	0.9877	0.0130	0.0123	0.0007
6	0.0155	0.2200	1.0562	0.9846	0.0163	0.0154	0.0009
7	0.0186	0.2200	1.0562	0.9816	0.0196	0.0187	0.0009
8	0.0217	0.2195	1.0538	0.9786	0.0229	0.0214	0.0015
9	0.0248	0.2185	1.0490	0.9755	0.0262	0.0245	0.0017
10	0.0279	0.2180	1.0466	0.9725	0.0294	0.0275	0.0019
11	0.0310	0.2185	1.0490	0.9695	0.0327	0.0305	0.0022
12	0.0341	0.2170	1.0418	0.9665	0.0359	0.0335	0.0024
13	0.0372	0.2155	1.0346	0.9635	0.0391	0.0365	0.0026
14	0.0433	0.2135	1.0250	0.9576	0.0455	0.0424	0.0031
15	0.0495	0.2110	1.0130	0.9517	0.0518	0.0483	0.0035
16	0.0557	0.2105	1.0106	0.9458	0.0581	0.0542	0.0039
17	0.0619	0.2095	1.0058	0.9400	0.0643	0.0600	0.0043
18	0.0681	0.2085	1.0010	0.9342	0.0705	0.0658	0.0047
19	0.0743	0.2085	1.0010	0.9284	0.0767	0.0716	0.0051
20	0.0805	0.2065	0.9914	0.9227	0.0828	0.0773	0.0055
21	0.0867	0.2050	0.9842	0.9170	0.0889	0.0830	0.0059
22	0.0929	0.2015	0.9674	0.9113	0.0949	0.0887	0.0062
23	0.0991	0.2005	0.9626	0.9057	0.1009	0.0943	0.0066
24	0.1115	0.1990	0.9554	0.8945	0.1127	0.1055	0.0072
25	0.1238	0.1980	0.9506	0.8835	0.1245	0.1165	0.0080

+ CONTINUACIÓN DE LA CORRIDA # 4

496 rpm y 4.5 cm ancho.

TABLA 4-4

	•	Abs Prom	Ea exp	Ea teo	Fe exp	Fe teo	D exp
26	0.1362	0.1950	0.9361	0.8726	0.1361	0.1274	0.0087
27	0.1486	0.1910	0.9169	0.8619	0.1475	0.1381	0.0094
28	0.1610	0.1900	0.9121	0.8513	0.1588	0.1487	0.0101
29	0.1734	0.1890	0.9073	0.8408	0.1701	0.1592	0.0109
30	0.1858	0.1860	0.8929	0.8305	0.1812	0.1695	0.0117
31	0.1981	0.1825	0.8761	0.8202	0.1921	0.1798	0.0123
32	0.2105	0.1800	0.8641	0.8102	0.2028	0.1898	0.0130
33	0.2229	0.1775	0.8521	0.8002	0.2134	0.1998	0.0136
34	0.2415	0.1750	0.8401	0.7855	0.2290	0.2145	0.0145
35	0.2601	0.1710	0.8209	0.7710	0.2443	0.2290	0.0153
36	0.2786	0.1685	0.8029	0.7568	0.2593	0.2432	0.0161
37	0.2972	0.1640	0.7873	0.7429	0.2739	0.2571	0.0168
38	0.3158	0.1600	0.7681	0.7292	0.2882	0.2708	0.0174
39	0.3344	0.1585	0.7609	0.7158	0.3024	0.2842	0.0182
40	0.3530	0.1550	0.7465	0.7026	0.3163	0.3074	0.0189
41	0.3715	0.1515	0.7273	0.6897	0.3298	0.3103	0.0195
42	0.3901	0.1485	0.7129	0.6770	0.3431	0.3230	0.0201
43	0.4087	0.1460	0.7009	0.6645	0.3561	0.3355	0.0206
44	0.4458	0.1400	0.6721	0.6403	0.3811	0.3597	0.0214
45	0.4830	0.1340	0.6433	0.6169	0.4050	0.3831	0.0219
46	0.5201	0.1300	0.6241	0.5944	0.4282	0.4056	0.0226
47	0.5573	0.1250	0.6001	0.5728	0.4505	0.4272	0.0233
48	0.5944	0.1200	0.5761	0.5519	0.4719	0.4481	0.0238
49	0.6316	0.1150	0.5521	0.5317	0.4924	0.4683	0.0241
50	0.6687	0.1110	0.5329	0.5123	0.5122	0.4877	0.0245

++ CONTINUACION DE LA CORRIDA # 4

496 rpm y 4.5 cm ancho.

TABLA 4-4

	•	Abs Prom	Fe exp	Fe teo	Fe exp	Fe teo	D exp
51	0.7059	0.1080	0.5185	0.4937	0.5315	0.5063	0.0252
52	0.7431	0.1025	0.4921	0.4757	0.5498	0.5243	0.0255
53	0.7802	0.0985	0.4729	0.4583	0.5674	0.5417	0.0257
54	0.8545	0.0900	0.4321	0.4255	0.5995	0.5745	0.0250
55	0.9288	0.0835	0.4009	0.3950	0.6293	0.6050	0.0243
56	1.0031	0.0795	0.3841	0.3667	0.6578	0.6333	0.0245
57	1.0774	0.0710	0.3409	0.3405	0.6831	0.6595	0.0236
58	1.1517	0.0665	0.3193	0.3161	0.7068	0.6839	0.0229
59	1.2260	0.0615	0.2952	0.2935	0.7287	0.7065	0.0222
60	1.3003	0.0565	0.2712	0.2724	0.7489	0.7276	0.0213
61	1.3746	0.0535	0.2568	0.2529	0.7680	0.7471	0.0209
62	1.4490	0.0485	0.2328	0.2348	0.7853	0.7652	0.0201
63	1.5233	0.0450	0.2160	0.2180	0.8014	0.7820	0.0194
64	1.6347	0.0370	0.1776	0.1950	0.8212	0.8050	0.0162
65	1.7462	0.0315	0.1512	0.1744	0.8381	0.8256	0.0125
66	1.8576	0.0290	0.1392	0.1560	0.8536	0.8440	0.0096
67	1.9691	0.0250	0.1200	0.1396	0.8670	0.8604	0.0066
68	2.0806	0.0215	0.1032	0.1249	0.8785	0.8751	0.0034
69	2.1920	0.0190	0.0912	0.1117	0.8885	0.8883	0.0002
70	2.3035	0.0165	0.0792	0.0999	0.8973	0.9001	0.0028
71	2.4149	0.0135	0.0648	0.0894	0.9045	0.9106	0.0061
72	2.5264	0.0115	0.0552	0.0799	0.9107	0.9201	0.0094
73	2.6378	0.0100	0.0480	0.0715	0.9161	0.9285	0.0124
74	2.8236	0.0085	0.0408	0.0594	0.9237	0.9406	0.0169
75	3.0094	0.0065	0.0312	0.0493	0.9295	0.9507	0.0212

+++ CONTINUACION DE LA CORRIDA # 4

496 rpm y 4.5 cm ancho.

TABLA 4-4

	•	Abs Prom	E _o exp	E _o teo	F _o exp	F _o teo	D exp
76	3.1951	0.0035	0.0168	0.0410	0.9326	0.9590	0.0264
77	3.3809	0.0015	0.0072	0.0340	0.9339	0.9660	0.0321
78	3.5667	0.0000	0.0000	0.0283	0.9339	0.9717	0.0378(+)

El tiempo promedio (t) lo calculamos con la ec. 1.14

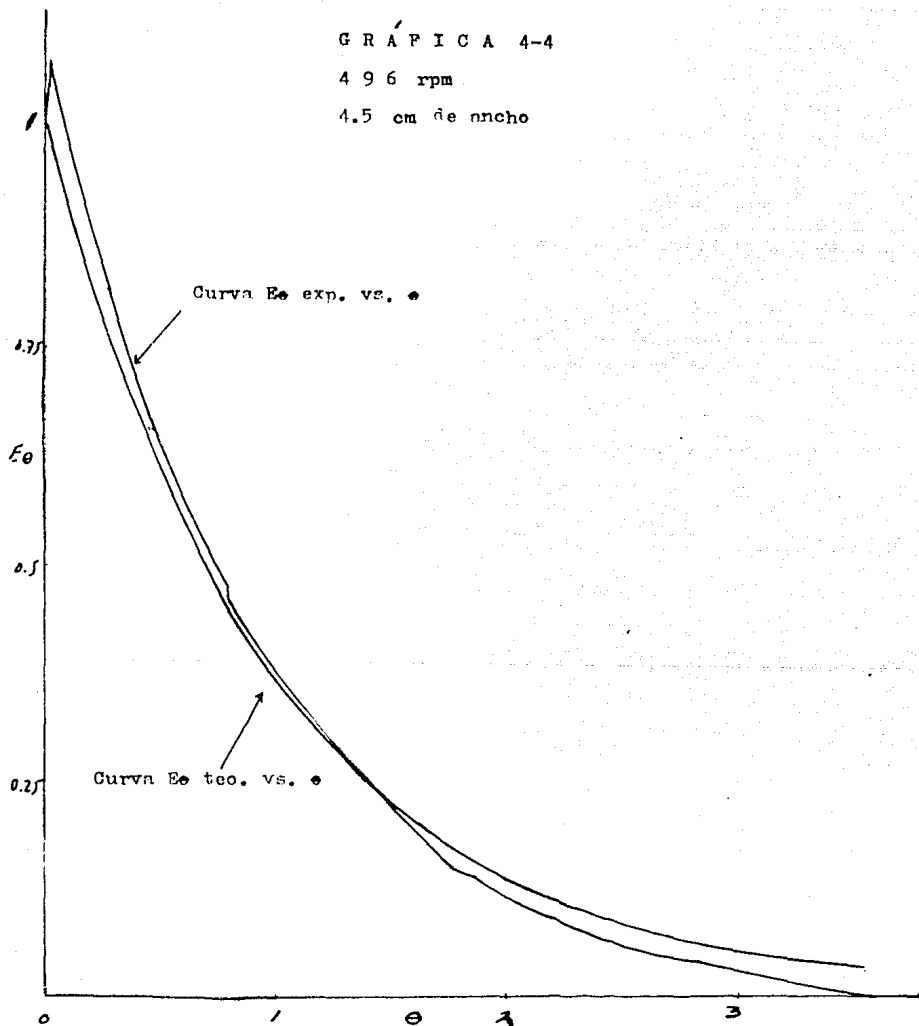
y nos dio: $t = 1,199.51$ s

El % de volumen muerto = 25.73 %

GRÁFICA 4-4

496 rpm

4.5 cm de ancho



RESULTADOS DE LA CORRIDA # 5

496 rpm y 3.5 cm ancho.

TABLA 4-5

	●	Abs Prom	Ee exp	Ee teo	Fe exp	Fe teo	D exp
1	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.0031	0.2240	1.0806	0.9969	0.0033	0.0031	0.0002
3	0.0062	0.2185	1.0540	0.9938	0.0066	0.0062	0.0004
4	0.0093	0.2175	1.0492	0.9908	0.0099	0.0092	0.0007
5	0.0124	0.2170	1.0468	0.9877	0.0131	0.0123	0.0008
6	0.0155	0.2165	1.0444	0.9846	0.0163	0.0154	0.0009
7	0.0186	0.2155	1.0396	0.9816	0.0195	0.0184	0.0011
8	0.0217	0.2150	1.0371	0.9786	0.0227	0.0214	0.0013
9	0.0248	0.2135	1.0299	0.9755	0.0259	0.0245	0.0014
10	0.0279	0.2125	1.0251	0.9725	0.0291	0.0275	0.0016
11	0.0310	0.2090	1.0082	0.9695	0.0322	0.0305	0.0017
12	0.0341	0.2075	1.0010	0.9665	0.0353	0.0335	0.0018
13	0.0372	0.2105	1.0154	0.9635	0.0384	0.0365	0.0019
14	0.0433	0.2105	1.0154	0.9576	0.0447	0.0424	0.0023
15	0.0495	0.2095	1.0106	0.9517	0.0510	0.0483	0.0027
16	0.0557	0.2085	1.0058	0.9458	0.0572	0.0542	0.0030
17	0.0619	0.2060	0.9937	0.9400	0.0634	0.0600	0.0034
18	0.0681	0.2040	0.9841	0.9342	0.0695	0.0658	0.0037
19	0.0743	0.2045	0.9865	0.9284	0.0756	0.0716	0.0040
20	0.0805	0.2020	0.9744	0.9227	0.0816	0.0773	0.0043
21	0.0867	0.2010	0.9696	0.9170	0.0876	0.0830	0.0046
22	0.0929	0.1995	0.9624	0.9113	0.0936	0.0887	0.0049
23	0.0991	0.1985	0.9575	0.9057	0.0925	0.0943	0.0052
24	0.1115	0.1960	0.9455	0.8945	0.1112	0.1055	0.0057
25	0.1238	0.1920	0.9262	0.8825	0.1227	0.1165	0.0062

+ CONTINUACIÓN DE LA CORRIDA # 5

496 rpm y 3.5 cm ancho.

TABLA 4-5

	e	Abs Prom	Es exp	Es teo	Fe exp	Fe teo	D exp
26	0.1362	0.1900	0.9165	0.8726	0.1341	0.1274	0.0067
27	0.1486	0.1880	0.9069	0.8619	0.1453	0.1381	0.0072
28	0.1610	0.1850	0.8924	0.8513	0.1564	0.1487	0.0077
29	0.1734	0.1825	0.8804	0.8408	0.1673	0.1592	0.0081
30	0.1858	0.1810	0.8731	0.8305	0.1781	0.1695	0.0086
31	0.1981	0.1795	0.8659	0.8202	0.1888	0.1798	0.0090
32	0.2105	0.1780	0.8587	0.8102	0.1994	0.1898	0.0096
33	0.2229	0.1770	0.8538	0.8002	0.2100	0.1998	0.0102
34	0.2415	0.1740	0.8394	0.7855	0.2256	0.2145	0.0111
35	0.2601	0.1705	0.8225	0.7710	0.2409	0.2290	0.0119
36	0.2786	0.1665	0.8032	0.7568	0.2558	0.2432	0.0126
37	0.2972	0.1630	0.7863	0.7429	0.2704	0.2561	0.0133
38	0.3158	0.1615	0.7791	0.7292	0.2849	0.2708	0.0141
39	0.3344	0.1585	0.7646	0.7158	0.2991	0.2842	0.0149
40	0.3530	0.1555	0.7501	0.7026	0.3131	0.2974	0.0157
41	0.3715	0.1515	0.7308	0.6897	0.3267	0.3103	0.0164
42	0.3901	0.1480	0.7139	0.6770	0.3400	0.3230	0.0170
43	0.4087	0.1440	0.6946	0.6645	0.3529	0.3355	0.0174
44	0.4458	0.1410	0.6802	0.6403	0.3782	0.3597	0.0185
45	0.4830	0.1335	0.6440	0.6169	0.4022	0.3831	0.0191
46	0.5201	0.1290	0.6223	0.5944	0.4253	0.4056	0.0197
47	0.5573	0.1225	0.5908	0.5728	0.4473	0.4272	0.0201
48	0.5944	0.1155	0.5572	0.5519	0.4680	0.4481	0.0199
49	0.6316	0.1120	0.5403	0.5317	0.4881	0.4683	0.0198
50	0.6687	0.1080	0.5210	0.5123	0.5075	0.4877	0.0198

++ CONTINUACION DE LA CORRIDA # 5

496 rpm y 3.5 cm ancho.

TABLA 4-5

	•	Abs Prom	Ee exp	Ee teo	Fe exp	Fe teo	D exp
51	0.7059	0.1040	0.5017	0.4937	0.5262	0.5063	0.0199
52	0.7431	0.0990	0.4776	0.4757	0.5440	0.5243	0.0197
53	0.7802	0.0945	0.4559	0.4583	0.5610	0.5417	0.0193
54	0.8545	0.0875	0.4221	0.4255	0.5924	0.5745	0.0179
55	0.9288	0.8200	0.3956	0.3950	0.6218	0.6050	0.0168
56	1.0031	0.7400	0.3570	0.3667	0.6483	0.6333	0.0150
57	1.0774	0.6900	0.3329	0.3405	0.6730	0.6595	0.0135
58	1.1517	0.6150	0.2967	0.3161	0.6950	0.6839	0.0111
59	1.2260	0.6000	0.2894	0.2935	0.7175	0.7065	0.0110
60	1.3003	0.5200	0.2508	0.2724	0.7351	0.7266	0.0075
61	1.3746	0.4900	0.2364	0.2529	0.7527	0.7471	0.0056
62	1.4490	0.4300	0.2074	0.2348	0.7681	0.7652	0.0029
63	1.5233	0.4000	0.1930	0.2180	0.7824	0.7820	0.0004
64	1.6347	0.3200	0.1544	0.1950	0.7996	0.8050	0.0054
65	1.7462	0.3000	0.1447	0.1744	0.8157	0.8256	0.0099
66	1.8576	0.2400	0.1158	0.1560	0.8286	0.8440	0.0154
67	1.9691	0.0210	0.1013	0.1396	0.8399	0.8604	0.0205
68	2.0806	0.0190	0.0917	0.1249	0.8501	0.8751	0.0250
69	2.1920	0.0170	0.0820	0.1117	0.8592	0.8883	0.0291
70	2.3035	0.0125	0.0603	0.0999	0.8659	0.9001	0.0342
71	2.4149	0.0100	0.0482	0.0894	0.8713	0.9106	0.0393
72	2.5264	0.0090	0.0434	0.0799	0.8761	0.9201	0.0440
73	2.7368	0.0080	0.0386	0.0715	0.8804	0.9285	0.0481
74	2.8236	0.0060	0.0289	0.0594	0.8858	0.9406	0.0548
75	3.0094	0.0025	0.0121	0.0493	0.8880	0.9507	0.0627

+++ CONTINUACIÓN DE LA CORRIDA # 5

496 rpm y 3.5 cm ancho.

TABLA 4-5

	•	Abs Prom	E _e exp	E _e teo	P _e exp	P _e teo	D exp
76	3.1951	0.0010	0.0048	0.0410	0.8889	0.9590	0.0701
77	3.3809	0.0000	0.0000	0.0340	0.8889	0.9660	0.0771(+)

El tiempo promedio (t) lo calculamos con la ec. 1.14

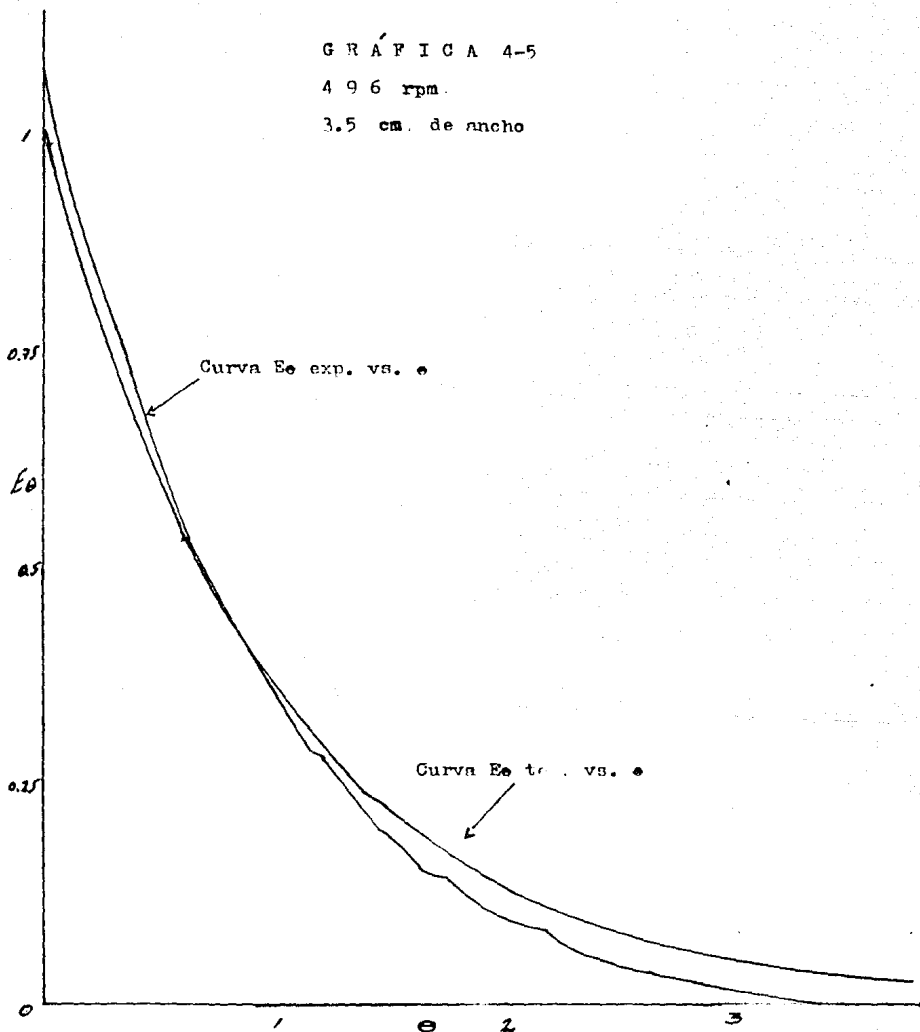
y nos dio: $t = 1.079.71$ s

El % de Volumen muerto = 33.1 %

GRÁFICA 4-5

496 rpm.

3.5 cm. de ancho



RESULTADOS DE LA CORRIDA # 6

496 rpm y 2.5 cm ancho.

TABLA 4-6

	•	Abs Prom	Ee exp	Ee teo	Fe exp	Fe teo	D exp
1	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.0031	0.2200	1.0613	0.9969	0.0033	0.0031	0.0002
3	0.0062	0.2195	1.0589	0.9938	0.0066	0.0062	0.0004
4	0.0093	0.2190	1.0564	0.9908	0.0099	0.0092	0.0007
5	0.0124	0.2185	1.0540	0.9877	0.0132	0.0123	0.0009
6	0.0155	0.2180	1.0516	0.9846	0.0165	0.0154	0.0011
7	0.0186	0.2185	1.0540	0.9816	0.0198	0.0184	0.0014
8	0.0217	0.2170	1.0468	0.9786	0.0230	0.0214	0.0016
9	0.0248	0.2155	1.0396	0.9755	0.0262	0.0245	0.0017
10	0.0279	0.2140	1.0323	0.9725	0.0294	0.0275	0.0019
11	0.0310	0.2125	1.0251	0.9695	0.0326	0.0305	0.0021
12	0.0341	0.2120	1.0227	0.9665	0.0358	0.0335	0.0023
13	0.0372	0.2105	1.0154	0.9635	0.0389	0.0365	0.0024
14	0.0433	0.2100	1.0130	0.9576	0.0452	0.0424	0.0028
15	0.0495	0.2095	1.0106	0.9517	0.0515	0.0483	0.0032
16	0.0557	0.2085	1.0058	0.9458	0.0577	0.0542	0.0035
17	0.0619	0.2065	0.9961	0.9400	0.0639	0.0600	0.0039
18	0.0681	0.2060	0.9937	0.9342	0.0701	0.0658	0.0043
19	0.0743	0.2045	0.9865	0.9284	0.0762	0.0716	0.0046
20	0.0805	0.2025	0.9768	0.9227	0.0823	0.0773	0.0050
21	0.0867	0.2010	0.9696	0.9170	0.0883	0.0830	0.0053
22	0.0929	0.2005	0.9672	0.9113	0.0943	0.0887	0.0056
23	0.0991	0.1995	0.9624	0.9057	0.1003	0.0943	0.0060
24	0.1115	0.1985	0.9575	0.8945	0.1122	0.1055	0.0067
25	0.1238	0.1950	0.9407	0.8835	0.1239	0.1165	0.0074

+ CONTINUACION DE LA CORRIDA # 6

496 rpm y 2.5 cm ancho.

TABLA 4-6

	a	Abs Prom	E _s exp	E _s teo	F _s exp	F _s teo	D exp
26	0.1362	0.1935	0.9334	0.8726	0.1355	0.1274	0.0081
27	0.1486	0.1905	0.9190	0.8619	0.1469	0.1381	0.0088
28	0.1610	0.1890	0.9117	0.8513	0.1582	0.1487	0.0095
29	0.1734	0.1860	0.8973	0.8408	0.1693	0.1592	0.0101
30	0.1858	0.1840	0.8876	0.8305	0.1803	0.1695	0.0108
31	0.1981	0.1805	0.8707	0.8202	0.1911	0.1798	0.0113
32	0.2105	0.1805	0.8797	0.8102	0.2019	0.1898	0.0121
33	0.2229	0.1785	0.8611	0.8002	0.2126	0.1998	0.0128
34	0.2415	0.1740	0.8394	0.7855	0.2282	0.2145	0.0137
35	0.2601	0.1720	0.8297	0.7710	0.2436	0.2290	0.0146
36	0.2786	0.1690	0.8152	0.7568	0.2588	0.2432	0.0156
37	0.2972	0.1665	0.8032	0.7429	0.2737	0.2571	0.0166
38	0.3158	0.1630	0.7863	0.7292	0.2883	0.2708	0.0175
39	0.3344	0.1590	0.7670	0.7158	0.3026	0.2842	0.0184
40	0.3530	0.1560	0.7525	0.7026	0.3166	0.2974	0.0192
41	0.3715	0.1535	0.7405	0.6897	0.3304	0.3103	0.0201
42	0.3901	0.1510	0.7284	0.6770	0.3439	0.3230	0.0209
43	0.4087	0.1480	0.7139	0.6645	0.3572	0.3355	0.0217
44	0.4458	0.1430	0.6998	0.6403	0.3829	0.3597	0.0232
45	0.4830	0.1385	0.6681	0.6169	0.4078	0.3831	0.0247
46	0.5201	0.1330	0.6416	0.5944	0.4317	0.4056	0.0261
47	0.5573	0.1280	0.6175	0.5728	0.4147	0.4272	0.0275
48	0.5944	0.1225	0.5909	0.5519	0.4767	0.4481	0.0286
49	0.6316	0.1180	0.5692	0.5317	0.4979	0.4683	0.0296
50	0.6687	0.1150	0.5548	0.5123	0.5185	0.4877	0.0308

++ CONTINUACIÓN DE LA CORRIDA # 6

496 rpm y 2.5 cm ancho.

TABLA 4-6

	•	Abs Prom	Ee exp	Ee teo	Fe exp	Fe teo	D exp
51	0.7059	0.1110	0.5355	0.4937	0.5384	0.5063	0.0321
52	0.7431	0.1070	0.5162	0.4757	0.5576	0.5243	0.0333
53	0.7802	0.1005	0.4848	0.4583	0.5756	0.5417	0.0339
54	0.8545	0.0920	0.4438	0.4583	0.5756	0.5417	0.0339
55	0.9288	0.0890	0.4293	0.3950	0.6405	0.6050	0.0355
56	1.0031	0.0810	0.3070	0.3667	0.6695	0.6333	0.0362
57	1.0774	0.0750	0.3618	0.3405	0.6964	0.6595	0.0369
58	1.1517	0.0700	0.3377	0.3161	0.7215	0.6839	0.0376
59	1.2260	0.0640	0.3087	0.2935	0.7444	0.7065	0.0379
60	1.3003	0.0580	0.2798	0.2724	0.7652	0.7266	0.0376
61	1.3746	0.0540	0.2605	0.2529	0.7842	0.7471	0.0371
62	1.4490	0.0500	0.2412	0.2348	0.8021	0.7652	0.0369
63	1.5233	0.0480	0.2315	0.2180	0.8193	0.7820	0.0373
64	1.6347	0.0440	0.2123	0.1950	0.8430	0.8050	0.0380
65	1.7462	0.0390	0.1881	0.1744	0.8640	0.8256	0.0384
66	1.8576	0.0350	0.1688	0.1560	0.8828	0.8440	0.0388
67	1.9691	0.0310	0.1495	0.1396	0.8995	0.8604	0.0391
68	2.0806	0.0280	0.1302	0.1249	0.9140	0.8751	0.0389
69	2.1920	0.0260	0.1254	0.1117	0.9280	0.8883	0.0397
70	2.3035	0.0230	0.1110	0.0999	0.9404	0.9001	0.0403(+)
71	2.4149	0.0190	0.0917	0.0894	0.9506	0.9106	0.0400
72	2.5264	0.0170	0.0820	0.0799	0.9597	0.9201	0.0396
73	2.6378	0.0150	0.0724	0.0715	0.9678	0.9285	0.0394
74	2.8236	0.0120	0.0579	0.0594	0.9786	0.9406	0.0380
75	3.0094	0.0080	0.0386	0.0493	0.9858	0.9507	0.0351

+++ CONTINUACIÓN DE LA CORRIDA # 6

496 rpm y 2.5 cm ancho.

TABLA 4-6

	•	Abs	Prom	E _o exp	E _o teo	F _o exp	F _o teo	D exp
76	3.1951	0.0030	0.0145	0.0410	0.9885	0.9590	0.0295	
77	3.3809	0.0010	0.0048	0.0340	0.9894	0.9660	0.0234	
78	3.5667	0.0000	0.0000	0.0283	0.9894	0.9717	0.0177	

El tiempo promedio (t) lo calculamos con la ec. 1.14

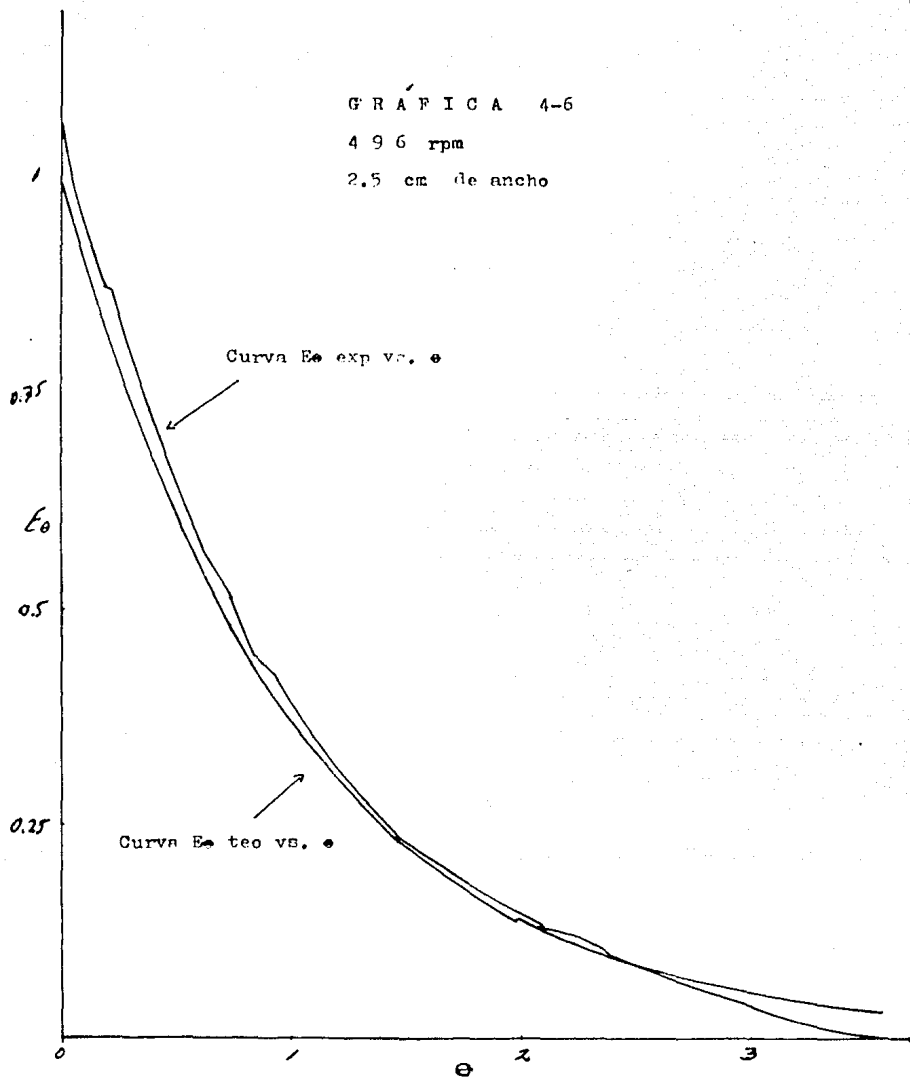
y nos dio : $t = 1,369.06$ s.

El % de Volumen muerto = 15.23 %

GRÁFICA 4-6

496 rpm

2.5 cm de ancho



CAPÍTULO V

MÉTODOS ESTADÍSTICOS

MÉTODOS ESTADÍSTICOS (6,8,9)

1.- PRUEBA DEL RANGO DE CONFIABILIDAD DE LAS MEDIAS:

Esta prueba se realizó con el fin de saber si los valores de las concentraciones promedio obtenidas durante nuestro experimento son estadísticamente iguales.

Se realizó de la siguiente manera: Se toman un número n de concentraciones promedio en cada experimento y se determina la media (\bar{x}) de cada experimento ($\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i$). Enseguida se calcula el promedio de promedios ($\bar{\bar{x}}$) a partir de las k medias obtenidas anteriormente ($\bar{\bar{x}} = \frac{1}{K} \sum \bar{x}_i$).

Los límites de confiabilidad, tres sigma superior e inferior para las medias, serán:

$$LSC = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R}$$

$$LIC = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}$$

Donde: LSC : Límite superior de confiabilidad

LIC : Límite inferior de confiabilidad

\bar{R} : Promedio de los rangos de cada experimento

R : Rango en cada experimento (mayor valor de x - menos menor valor de x).

A_2 : Coeficiente cte., tabulado en tablas estadísticas para diferentes valores de n empleados.

Todo lo anterior depende de la suposición de que las medias constituyen una muestra de una población normal.

Corrida	Concentraciones promedio				
1	0.205	0.210	0.209	0.210	0.208
	0.209	0.209	0.208		
2	0.204	0.207	0.209	0.209	0.208
	0.211	0.209	0.207		
3	0.210	0.210	0.210	0.209	0.205
	0.208	0.207	0.209		
4	0.208	0.210	0.203	0.210	0.209
	0.208	0.209	0.209		
5	0.209	0.205	0.208	0.206	0.208
	0.208	0.206	0.208		
6	0.205	0.209	0.205	0.209	0.210
	0.205	0.209	0.206		

Corrida	1	2	3	4	5	6
\bar{x}	0.2085	0.2080	0.2085	0.2083	0.2073	0.2073
R	0.0050	0.0070	0.0050	0.0070	0.0040	0.0050
$\bar{\bar{x}} = 0.2080$			$\bar{R} = 0.0055$			

De tablas estadísticas para $n = 8$

$$A_2 = 0.373$$

$$LSC = 0.2101$$

$$LIC = 0.2059$$

Por lo tanto, como los valores de concentraciones - promedio se encuentran entre los límites calculados anteriormente, se puede decir que son estadísticamente iguales.

2.- PRUEBA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV PARA FUNCIONES DE DISTRIBUCION: Esta prueba es apropiada únicamente para distribuciones continuas. La hipótesis a probar es : que cierta función, $F(x)$, es la función de distribución de una población de la que se han tomado las muestras x_1, \dots, x_n .

En este trabajo se usó esta prueba para contrastar las hipótesis siguientes:

Hipótesis nula : $F_{\text{exp}} = F_{\text{teo}}$

Hipótesis alternativa : $F_{\text{exp}} \neq F_{\text{teo}}$

Los pasos a seguir en esta prueba, son los siguientes:

1.- Se calculan los valores de la función de distribución acumulada experimental (F_{exp}) con la siguiente ecuación:

$$F_{\text{exp}} = \sum_{e=0}^x E_{\text{exp}} \cdot e$$

Los valores de E_{exp} y de e se muestran en las tablas 4-1 a 4-6.

2.- Se calculan los valores de la función de distribución acumulada teórica (F_{teo}), con la siguiente ecuación:

$$F_{\text{teo}} = 1 - \exp(-e)$$

3.- Se determina la desviación máxima entre la F_{teo} y la F_{exp} .

$$D_{\text{max}} = |F_{\text{teo}} - F_{\text{exp}}|$$

La "D max" se encuentra en las tablas 4-1 a 4-6 en la columna de "D exp" y es la que está marcada con una -

cruz(+).

- 4.- Se escoge un nivel de significancia α (5%, 1%, o uno semejante).
- 5.- Se busca en tablas estadísticas el valor máximo permisible "D" (D tablas) para el tamaño de muestra usado y el nivel de significancia escogido.
- 6.- Se compara " D max " con " D tablas ", y si D max es mayor o igual que D tablas se rechaza la hipótesis nula, - en caso de que sea menor la D max no se rechaza la hipótesis nula.

CUADRO DE RESULTADOS.

Prueba	D exp.	D tablas
1	0.0541	0.1516
2	0.0460	0.1516
3	0.0557	0.1516
4	0.0378	0.1516
5	0.0771	0.1524
6	0.0403	0.1516

Los valores de D tablas son para un nivel de significancia del 5%, y los valores D exp. son los que se encuentran en las tablas marcados con una cruz (+).

En el cuadro anterior podemos observar que el valor de " D exp " es menor que el valor de " D tablas " para todas las pruebas, y por lo tanto, se acepta la hipótesis de que ambos modelos son estadísticamente iguales.

3.- PRUEBA DE RACHAS DE WALD-WOLFOWITZ: Las secuencias también se pueden usar para probar la hipótesis nula de que las funciones de distribución de dos distribuciones continuas, son idénticas. Dicha prueba fue diseñada por Wald y Wolfowitz.

Por lo general, al analizar un conjunto de datos, la suposición más común es que las observaciones son una muestra aleatoria de una población dada, y mediante la prueba de rachas se puede decidir si esta suposición es adecuada.

Racha es la sucesión de observaciones, bordeada a ambos lados por observaciones de otro tipo, en este caso las observaciones se clasifican en dos tipos (+ y -), y las observaciones serán tomadas en orden de ocurrencia.

Las hipótesis que se contrastan son las sig:

Hipótesis nula: Las diferencias entre la distribución de tiempos de residencia experimental y teórica son aleatorias.

Hipótesis alternativa: Las diferencias entre la distribución de tiempos de residencia experimental y teórica no son aleatorias.

Quando n_1 y n_2 son mayores que 20 se puede usar una aproximación a la normal, y puede usarse como estadístico Z_c .

Donde: n_1 y n_2 : número de eventos de cada clase

$$Z_c = \frac{T - \mu_r}{\sigma_r}$$

$$\sigma_r = \sqrt{\frac{2 n_1 n_2 (2 n_1 n_2 - n_1 - n_2)}{(n_1 + n_2)^2 (n_1 + n_2 - 1)}}$$

$$\mu_r = \frac{2 n_1 n_2}{n_1 + n_2} + 1$$

Se escoge un nivel de significancia (5%) y se ve en tablas estadísticas el valor de $\pm Z_{\alpha/2}$, que va a ser el que se compara con Z_c .

La regla de decisión será entonces: se rechaza la - hipótesis nula si Z_c es mayor que $Z_{\alpha/2}$ o Z_c es menor que $-Z_{\alpha/2}$.
Ejemplo de la aplicación de la prueba:

- 1.- Se calcula las diferencias entre E_o teo y E_o exp
- 2.- Las observaciones menores de cero serán n_1 , y las mayores o igual que cero serán n_2 .
- 3.- Se cuenta el número de veces que cambio de signo y ésto será el número de rachas (T).
- 4.- Se calcula Z_c y se compara con $Z_{\alpha/2}$ visto en tablas, el nivel de significancia que escogimos es $\alpha = 5\%$.
- 5.- Se hacen comparaciones entre la corrida 1-3 y la 4-6, - Se calculan las diferencias entre E_o exp. de cada prueba, los demás pasos son iguales a los anteriores.

CUADRO DE RESULTADOS.

Prueba	n_1	n_2	T	Z_c	$Z_{\alpha/2}$
1	58	20	9	-6.53	± 1.96
2	71	7	3	-7.71	± 1.96
3	47	31	15	-5.56	± 1.96
4	59	19	5	-7.69	± 1.96
5	52	25	5	-7.80	± 1.96
6	74	4	3	-6.94	± 1.96
1-3	59	19	15	-4.58	± 1.96
4-6	30	48	11	-6.49	± 1.96

En el cuadro anterior se puede observar que el valor de Z_c es menor que el valor de $Z_{\alpha/2}$ localizando en tablas estadísticas y por lo tanto se rechaza la hipótesis nula, es decir las diferencias entre las DTR experimentales y la del modelo de mezcla completa, no son aleatorias. Tampoco son aleatorias las diferencias entre las pruebas hechas a la misma velocidad de agitación, pero con deflectores de diferente anchura.

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Al hacer un análisis de los resultados se puede decir lo siguiente:

1.- En el capítulo V en la prueba del rango de confiabilidad de las medias, los valores de las concentraciones promedio están dentro de los límites de confiabilidad, y, por lo tanto, se puede decir que son estadísticamente iguales.- En el caso de que alguna concentración promedio diera fuera de los límites, se tendría que checar que el colorante que se estuvo utilizando no se fuera haciendo viejo, o ver si el agua que estuviera entrando al tanque de alimentación es de la misma fuente.

2.- En el capítulo de métodos estadísticos, en la prueba de Kolmogorov-Smirnov, hay un cuadro de resultados el cual fue obtenido al aplicar esta prueba a la distribución de tiempos de residencia, para cada una de nuestras pruebas, comparadas con el modelo de mezcla completa teórico.

Se observa que el valor de "D exp" es menor que el valor de "D tab", por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula de igualdad entre la distribución de tiempos de residencia experimental y la teórica, con esto se puede afirmar que para todas las pruebas a un nivel de significancia del 5% no hay una diferencia significativa entre ambos modelos.

3.- Al aplicar la prueba de Wald-Wolfowitz a las distribuciones de tiempo de residencia obtenidas en cada una de

nuestras pruebas, comparada con la del modelo teórico de mezcla completa, se observa que en todas las pruebas el valor absoluto de Z_0 es mayor que el valor de $Z_{\alpha/2}$ localizado en tablas estadísticas, ésto quiere decir que se rechaza la hipótesis nula de que las diferencias entre la distribución de tiempos de residencia experimental y teóricas son aleatorias, o sea que, a un nivel de significancia del 5%, hay una diferencia significativa entre la distribución de tiempos de residencia experimental y teórica para todas las pruebas.

4.- Hay que tomar en cuenta que la prueba de Kolmogorov-Smirnov, se trata de una prueba de bondad de ajuste y la prueba de Wald-Wolfowitz, se trata de conocer si, en una población dada, las observaciones son una muestra aleatoria, por lo tanto, no hay que confundirse de que en la primera prueba se acepta la hipótesis nula y en la segunda prueba se rechaza la hipótesis nula, o sea que, son diferentes pruebas.

La prueba de Kolmogorov-Smirnov nos dice que nuestras diferencias no son suficientemente grandes para rechazar la hipótesis de igualdad, pero la de Wald-Wolfowitz nos dice que, aunque pequeñas, no son debidas al azar, sino a una tendencia bien definida que es, sin duda, la formación de volúmenes muertos indicada por los tiempos promedio menor que el tiempo espacial.

5.- Se puede observar en las gráficas realizadas con la mig ma mampara, que al aumentar la velocidad de agitación se acerca más al modelo teórico, esto se vio también al estar realizando las pruebas, porque se observó una mayor turbulencia en el reactor, debido a que había un mayor movimiento vertical dentro del tanque, y esto dio como resultado una mejor agitación.

6.- En las seis gráficas se observan partes en las que hay altas y bajas, esto sin duda se debe a las obstrucciones que le pusimos, y por lo tanto, se lleva a cabo el fenómeno de volúmenes muertos.

7.- Las gráficas 4-6 y 4-2, son las que se ajustan más al modelo teórico de mezcla completa, aún cuando se puede observar una tendencia a la no idealidad.

8.- La gráfica 4-5 presenta una tendencia al fenómeno de By-passing más notoria que las demás gráficas.

R E S U M E N

RESUMEN

En este trabajo se hizo un estudio, sobre la influencia de la anchura de los deflectores en la distribución del tiempo de residencia en un tanque agitado con una hélice de flujo axial.

El tanque consta de cuatro deflectores arreglados en forma radial a intervalos de 90° alrededor de la pared del tanque, además, dicho tanque tiene siete entradas y siete salidas, se usaron la entrada seis y la salida dos, se utilizó una turbina de 15 cm de diámetro con cuatro aspas inclinadas.

Los deflectores que se usaron fueron de: 4.5 cm de ancho ($AD/D = 0.1286$) para la primera y cuarta prueba, 3.5 cm de ancho ($AD/D = 1/10$) para la segunda y quinta prueba, 2.5 cm de ancho ($AD/D = 1/14$) para la tercera y sexta prueba.

Se trabajó a una velocidad de agitación de 249 rpm para las tres primeras pruebas, y 496 rpm para las tres últimas pruebas.

A los resultados se le aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov y se llegó a la conclusión de que la anchura de los deflectores no influye significativamente en la distribución del tiempo de residencia en un tanque agitado con una hélice de flujo axial, ya que en todos los casos, no se rechaza la hipótesis de igualdad con el modelo de mezcla completa.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Se aplicó también la prueba de Wald-Wolfowitz y se concluye que las diferencias entre la distribución de tiempos de residencia experimental y teórica no son debidas al azar y, - por lo tanto, hay una tendencia de alejarse el modelo experimental de la idealidad, aunque en las condiciones en que trabajamos, las diferencias sean de pequeña magnitud.

En general la gráfica 4-6 y 4-2, son en las que se observa una mayor similitud al modelo teórico de mezcla completa.

En todas las gráficas se observa el fenómeno de volúmenes muertos.

CONCLUSIONES.

CONCLUSIONES.

Al término del trabajo se alcanzó el objetivo que se había fijado, que era el de analizar la influencia de la anchura de los deflectores en la distribución de tiempos de residencia en un reactor de mezcla completa.

Al observar los resultados obtenidos se concluye:

- 1.- Mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, se acepta la hipótesis de que ambos modelos son estadísticamente iguales para todas las pruebas realizadas, a un nivel de significancia del 5%.

Con ésto se puede afirmar que no hay una influencia significativamente grande de la anchura de los mandos en la distribución de tiempos de residencia del reactor de mezcla completa empleado, para las condiciones de operación probadas.

- 2.- Con la prueba de Wald-Wolfowitz, se rechaza la hipótesis de que las diferencias entre las distintas DTR sean aleatorias y se concluye que las diferencias entre la distribución de tiempos de residencia experimental y teórica muestran una tendencia de alejarse, el modelo experimental, de la idealidad.
- 3.- En las seis gráficas se observa el fenómeno de volúmenes muertos y se corrobora al calcular el tiempo promedio.

dio y el % de volumen muerto.

APÉNDICES.

APÉNDICE I

CALIBRACIÓN DEL MEDIDOR DE FLUJO: La calibración consiste en relacionar la diferencia de presión en el medidor de flujo, con el caudal del líquido fluyendo.

Se toman caudales del líquido saliendo (Q) a diferentes alturas en el medidor de flujo (h), con el fin de aplicar los datos a la ec:

$$Q = a(\Delta h)^b$$

Aplicando logaritmos en la ec. anterior tenemos:

$$\ln Q = \ln a + b \ln (\Delta h)$$

Se hace una gráfica de $\ln (\Delta h)$ vs. $\ln Q$, para verificar que los puntos calculados se encuentren todos, en la curva trazada, o en caso contrario, usar un criterio propio para eliminar datos.

Los valores que obtuvimos de las constantes de orificio fueron los siguientes:

$$a = 17.454$$

$$b = 1.0352$$

CALIBRACION DEL ESPECTROFOTOMETRO: Inicialmente se le toma un ultravioleta al colorante que vayamos a utilizar, con el fin de saber a qué longitud de onda, da la mayor absorban - cia y trabajar con ésta. Se enciende el aparato durante 15 - min, se toman dos celdas especiales y se les llena con el - agua que estamos trabajando, se meten al espectrofotómetro y estas tienen que dar cero, se sacan y se miden las muestras.

APÉNDICE II

EJEMPLO DE UNA RUTINA DE CÁLCULO: A partir de los datos experimentales obtenidos en cada una de nuestras corridas, se procedió de la manera siguiente, para hacer los cálculos - del capítulo IV.

Se calcula:

- 1.- La absorbancia promedio (Abs prom)
- 2.- El parámetro adimensional "Teta" (θ), ec. 1.5
- 3.- E_e experimental (E_e exp), ec. 1.8
- 4.- E_e teórica (E_e teo), ec. 1.12
- 5.- El incremento de teta ($\Delta\theta$)
- 6.- La función de distribución acumulada de E_e exp que es igual a F_e exp., ec. 1.11
- 7.- La distribución acumulada E_e teórica que es igual a F_e teórica, ec. 1.13
- 8.- D exp. que es la diferencia entre F_e teo y F_e exp
- 9.- El tiempo promedio (\bar{t}), ec. 1.14
- 10.- Se hace una relación con el tiempo espacial y el tiempo promedio para calcular el % de volumen muerto.

APÉNDICE II

DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA EMPLEADA: La técnica empleada para la obtención de datos experimentales fue la siguiente:

- 1.- Se calibra el medidor de flujo (ver apéndice I).
- 2.- Se calibra el Espectrofotómetro (ver apéndice I).
- 3.- Se escoge la polea deseada y se le coloca al agitador.
- 4.- Se escogen las boquillas de entrada y salida, y se conectan las mangueras que provienen del tinaco de alimentación.
- 5.- Se llena el tinaco de alimentación y se pone el reactor al nivel deseado.
- 6.- Se pone el medidor de flujo a la altura con la cual vamos a trabajar.
- 7.- Se prende el motor y a la polea se le miden las rpm con el tacómetro electrónico.
- 8.- Se procede a establecer el estado estacionario de la manera siguiente: se abre la válvula de paso(7) y se abre la salida en la cual tenemos una llave tipo prensa con la que vamos a abrir o a cerrar dependiendo del nivel que tengamos en el reactor, cuando este permanezca constante hemos logrado el estado estacionario.
- 9.- Se lavan perfectamente suficientes tubos de ensayo.
- 10.- Se miden 35 ml de la solución de colorante, (ésta, preparada previamente con 33 g de colorante aforado a un litro).

APÉNDICE II

- 11.- Se inyectan los 35 ml de la solución, mediante una jeringa hipodérmica, en la manguera conectada a la entrada del reactor, En el instante en que se inyecta la solución se pone en marcha el cronómetro y se toma la primera muestra en un tiempo ($t=0$).
- 12.- Se toman 12 muestras cada 5 s
- 13.- Se toman 10 muestras cada 10 s
- 14.- Se toman 10 muestras cada 20 s
- 15.- Se toman 10 muestras cada 30 s
- 16.- Se toman 10 muestras cada 1 min
- 17.- Se toman 10 muestras cada 2 min
- 18.- Se toman 10 muestras cada 3 min
- 19.- Se siguen tomando muestras cada 5 min hasta que no se detecte trazador.
- 20.- Se toma una muestra del reactor para comprobar que ya no haya trazador en el mismo
- 21.- Se procede a hacer las lecturas de concentración (absorbancia) de trazador en las muestras, que después se estudiarán.
- 22.- Al terminar cada prueba se debe de lavar el reactor, la hélice y las cámaras con mucha agua para que éste quede completamente limpio.
- 23.- Cada prueba se hace por duplicado.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA.

- 1.- KIRK-OTTMER, Enciclopedia de Tecnología Química, Vol. 10
Unión Tipográfica editorial hispano-americana.
- 2.- PERRY-CHILTON, Manual del Ingeniero Químico, 2a. ed.,
McGraw-Hill, México, 1982
- 3.- LEVENSPIEL, Octave, Ingeniería de las Reacciones Químicas, 2a. ed., Editorial Reverté, Barcelona, 1975.
- 4.- SMITH J.M., Ingeniería de la Cinética Química, 2a. ed.,
C.E.C.S.a., México, 1977.
- 5.- TREYBAL, Robert E., Transferencia de Masa, 2a. ed.,
McGraw-Hill, México, 1984.
- 6.- KREYSZIG, Erwin, Introducción a la Estadística Matemática, 1a. ed., LIMUSA, México, 1978.
- 7.- WILLARD-MERRITT-DEAN, Métodos Instrumentales de Análisis
4a. ed., C.E.C.S.A., México, 1981.
- 8.- MILLER, Irwin, F.E. John, Probabilidad y Estadística para Ingenieros, 1a. ed., Reverté, México, 1980.
- 9.- INFANTE, S., Apuntes del curso Métodos Estadísticos no Paramétricos, cuarta escuela de verano, IPN(1979)
- 10.- RAMIREZ, Zeferino I., Influencia de la posición del agitador en la distribución del tiempo de residencia. Parte I: Alimentación del tanque cercana a la mitad del nivel del líquido, (tesis), U.A.G., 1981.

- 11.- MANZO, Fontes, Estudio de la distribución de los tiempos de residencia en un reactor continuo de mezcla completa con un trazador como componente no reactivo, (tesis), U.A.G., 1980.
- 12.- RODELO, Pérez L. Guillermo, Influencia de la excentricidad del agitador en la distribución de tiempos de residencia en un reactor de mezcla completa. - Parte 3: ángulo de 135° entre la boca de entrada y salida, (tesis), U.A.G., 1986.
- 13.- MADRIGAL, Rodríguez A., Influencia de la posición del agitador en la distribución de tiempos de residencia, (tesis), U.A.G., 1985.