

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERIA

"ESTUDIO DEL EFECTO DE ALGUNOS PARAMETROS  
EN LA DISTRIBUCION DE TIEMPOS DE RESIDENCIA  
EN UN TANQUE AGITADO CONTINUO"



Guatemala, noviembre de 1970

BIBLIOTECA CENTRAL-USAC  
DEPOSITO LEGAL  
PROHIBIDO EL PRESTAMO EXTERNO

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

DL  
08  
T(14)

JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DE LA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Decano:	Ing. Mauricio Castillo Contoux
Vocal Primero:	Ing. Marco Antonio Cuevas
Vocal Segundo:	Ing. Rodolfo González M.
Vocal Tercero:	Ing. Adolfo Behrens
Vocal Cuarto:	Br. Gustavo Sierra Corado
Vocal Quinto:	Br. Guido R. Cosenza
Secretario:	Ing. Héctor A. Centeno B.

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN  
GENERAL PRIVADO

Decano:	Ing. Amando Vides T.
Jefe del Departamento:	Ing. Leonel Flores E.
Examinador:	Dr. Pedro Solé
Examinador:	Ing. Miguel A. Canga Argüelles
Secretario:	Ing. Héctor A. Centeno B.

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR:

Cumpliendo con lo establecido por la Ley Universitaria,  
presento a vuestra consideración, previo a optar el Título de  
Ingeniero Químico, mi trabajo de tesis titulado:

"ESTUDIO DEL EFECTO DE ALGUNOS PARAMETROS  
EN LA DISTRIBUCION DE TIEMPOS DE RESIDENCIA  
EN UN TANQUE AGITADO CONTINUO"

tema que me fue asignado por la Junta Directiva  
de la Facultad de Ingeniería.

DEDICO ESTA TESIS:

A DIOS

A MIS PADRES:

Jorge D. Barrios R.  
Julia M. de Barrios

A MIS HERMANOS:

Jorge Mario  
José Rolando

A MI ABUELA:

Andrea v. de Barrios

A MIS TIOS Y PRIMOS EN GENERAL

Agradezco al personal del Instituto Centro Americano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI) que colaboró de alguna forma en la elaboración de este trabajo, en especial, a la señorita María Eugenia Ayala por su valiosa ayuda al pasar a máquina el original de esta tesis.

Mi reconocimiento sincero al Ing. Carlos Rolz, asesor de esta Tesis, por su valiosa orientación.

## INDICE

I.	SUMARIO	1
II.	INTRODUCCION	3
III.	DESCRIPCION DEL EQUIPO Y TECNICA USADOS	5
IV.	ALGUNAS CONSIDERACIONES PRELIMI- NARES	7
V.	PRESENTACION DE RESULTADOS Y SU DISCUSION	11
VI.	CONCLUSIONES	23
VII.	REFERENCIAS	25

## I. SUMARIO

Se hizo un estudio de la distribución de tiempos de residencia en un tanque agitado continuo. Usando un fluido de baja viscosidad, se estudió el efecto que en la distribución de tiempos de residencia podrían tener los siguientes parámetros: velocidad del agitador, tamaño del agitador y tipo de agitador. Se usaron dos velocidades, dos tamaños y cuatro tipos de agitadores diferentes. Usando un fluido medianamente viscoso, se estudió el efecto que en la distribución de tiempos de residencia pudiera tener el tipo de agitador usado.

Los datos fueron obtenidos usando la técnica de estímulo-respuesta. Se halló que en el sistema usando un fluido con baja viscosidad, no se observaba efecto apreciable de ninguno de los parámetros, excepto en el caso en que se tiene simultáneamente baja velocidad y un impulsor pequeño, en cuyo caso, el comportamiento del sistema se desvía apreciablemente del comportamiento de un tanque con mezcla perfecta, teniendo efecto apreciable el tamaño del impulsor y la velocidad del mismo. Al usar un fluido de viscosidad mediana (solución acuosa de glicerina al 35%), no se observó efecto apreciable en el tipo de impulsor usado.

## II. INTRODUCCION

Generalmente los reactores químicos son tanques agitados que se operan ya sea en forma batch o continua. Industrialmente es más común el uso de reactores continuos.

Para analizar el comportamiento de un tanque agitado continuo como reactor, además de conocer la cinética de la reacción, es necesario conocer el grado de mezcla que alcanza el fluido al pasar por el tanque agitado.

De todos los flujos posibles a través de un recipiente, hay dos modelos de flujo que se han idealizado; uno es el que supone un flujo de pistón a través de él; el otro supone que el fluido dentro del recipiente está totalmente mezclado y por lo tanto la composición es uniforme en todo éste.

Todos los otros tipos de flujo son llamados no ideales y su comportamiento se puede analizar con base a su desviación de los modelos ideales. Usando la distribución de tiempos de residencia de un reactor real puede determinarse la desviación mencionada.

Se han postulado modelos que combinan los modelos ideales mencionados y ciertos fenómenos que puedan ocurrir en el tanque que afecten el comportamiento de éste, definiendo adecuadamente ciertas variables que sean un índice de estas imperfecciones (4). En estos modelos combinados se ha estudiado el efecto que causa el cambio de alguna de las condiciones del sistema, en los parámetros del modelo propuesto (4, 5).

En el presente trabajo, se estudia el efecto que causa una variación de diferentes condiciones del sistema en la desviación que éste muestra de la idealidad, usando datos de distribución de tiempos de residencia.

### III. DESCRIPCION DE LA TECNICA Y EQUIPO USADOS

La Gráfica 1, muestra el sistema usado.

Se usaron dos tanques iguales de almacenamiento, 1, con diámetro tan grande como fue posible para minimizar el efecto que una disminución de volumen pudiera producir en la cabeza.

Se tenía un tanque cilíndrico de cristal pyrex, que estaba provisto de cuatro desviadores uniformemente distribuidos sobre la pared, 3; su diámetro interno era de 8 pulgadas y poseía un orificio de  $\frac{1}{2}$  pulgada de diámetro perforado en la pared a 8 pulgadas del fondo.

Un motor que tenía acoplado un reductor variable, 4, permitía variar la velocidad del impulsor.

Se usaron cuatro tipos diferentes de agitadores: hélice con tres aspas, turbina de 6 paletas rectas, turbina de 6 paletas curvas y turbina de 6 paletas inclinadas, con inclinación de  $45^\circ$ ; todos estaban disponibles en dos tamaños: 4 y  $2\frac{1}{2}$  pulgadas. Los agitadores se colocaron en el centro del tanque a una altura del fondo igual al tamaño del diámetro.

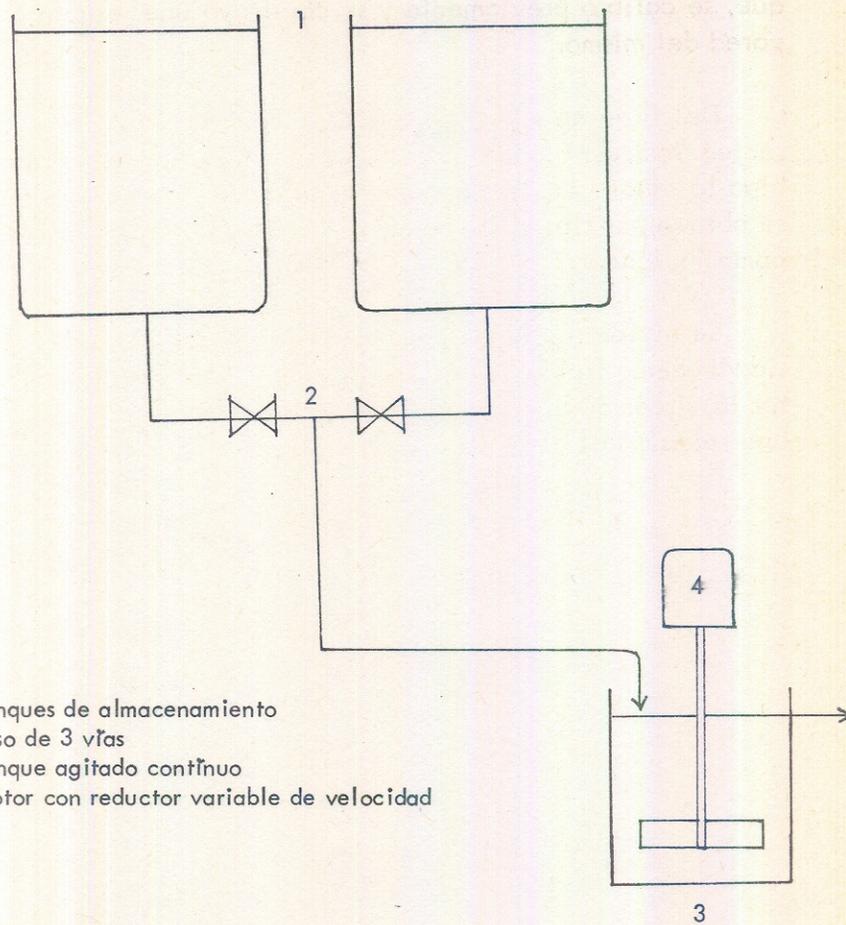
La técnica usada fue la de estímulo-respuesta. Consistió en introducir una señal grada de la siguiente manera: uno de los depósitos contenía el fluido con señuelo, el otro no contenía señuelo; se usó como señuelo NaOH; se dejaba fluir el contenido del depósito sin señuelo hasta que se alcanzaban condiciones estables, en este instante se cerraba la válvula de este depósito y, simultáneamente, se abría la válvula del fluido con señuelo en el punto de tres vías, 2. A partir de este instante, se seguía las variaciones de concentración de NaOH en el flujo de salida. El flujo se midió

para cada prueba usando una balanza y un cronómetro.

Para medir el volumen que ocupaba el fluido en el tanque, se calibró previamente y se construyó una escala en la pared del mismo.

Del flujo de salida se tomaron varias muestras a diferentes tiempos, a partir del instante en que se había introducido la señal. La concentración de NaOH en cada muestra, se obtuvo por titulación con HCl 0.1 N usando fenolftaleína como indicador.

Se hicieron pruebas con dos fluidos de diferente viscosidad: como fluido poco viscoso se usó agua y para aumentar la viscosidad, se agregó glicerina al agua hasta obtener una solución al 35% en volumen aproximadamente.



1. Tanques de almacenamiento
2. Paso de 3 vías
3. Tanque agitado continuo
4. Motor con reductor variable de velocidad

GRAFICA 1. EQUIPO USADO

#### IV. ALGUNAS CONSIDERACIONES PRELIMINARES

En el estudio de tiempos de residencia de un recipiente de procesamiento continuo, es conveniente expresar el tiempo en forma adimensional, así se define:

$$\Theta = \frac{t}{\tau}$$

donde,  $t$  = tiempo y

$$\tau = \frac{V}{q}$$

con,  $V$  = volumen del fluido en el recipiente

$q$  = flujo volumétrico del fluido a través del recipiente,

lo cual permite comparar resultados, independientemente de cuál sea el valor de  $\tau$  para una corrida particular.

En un tanque de procesamiento continuo, con condiciones estables, las partículas del fluido tienen diferentes tiempos de estar dentro del tanque. Al tiempo que tiene cualquier partícula de estar dentro del recipiente, se le denomina edad interna de la partícula. Para medir la distribución de edades internas, se define la función  $I$ , tal que,  $I \cdot d\Theta$  es la fracción del fluido dentro del tanque con edad interna comprendida entre  $\Theta$  y  $\Theta + d\Theta$ . Por definición

$$\int_0^{\infty} I \cdot d\Theta = 1$$

Consideremos, en un instante cualquiera, el flujo saliente. En este flujo las partículas que lo constituyen habrán permanecido diferentes tiempos dentro del recipiente. Al tiempo que permaneció dentro del tanque una partícula cualquiera del flujo saliente, se le llama tiempo de residencia de la partícula dentro del tanque. Para medir la distribución de tiempos de residencia, se define la función  $E$ , tal que,  $E \cdot d\theta$  es la fracción del flujo saliente con tiempo de residencia comprendido entre  $\theta$  y  $\theta + d\theta$ . Por definición

$$\int_0^{\infty} E \cdot d\theta = 1$$

Si en un recipiente de procesamiento continuo se provoca en el flujo entrante un estímulo grada, elevando la concentración del material señuelo de cero a  $C_0$ , la respuesta obtenida en el flujo saliente, a partir del instante en que se introduce el señuelo y medida adimensionalmente, se denomina función o curva  $F$ . Así,

$$F = \frac{C}{C_0}$$

donde,  $C_0$  = la concentración del señuelo en el flujo de entrada

$C$  = concentración del señuelo en el el flujo de salida.

Si en vez de usar un estímulo grada, se usa un estímulo impulso unitario idealizado, a la respuesta medida adimensionalmente se le llama curva o función  $C^*$ .

Por un balance de masa en un recipiente de procesa-

miento continuo, pueden hallarse las siguientes relaciones (1, 2):

$$F = 1 - I$$

$$C = E$$

$$E = \frac{dF}{d\Theta} = \frac{-dI}{d\Theta}$$

Estas ecuaciones muestran las relaciones existentes entre  $F$ ,  $I$ ,  $C^*$  y  $E$ , lo que permite obtener  $I$  y  $E$  a partir de  $F$  o  $C^*$ .

En un tanque continuo perfectamente mezclado, se tiene que (1, 2, 3, 6)

$$I = E = e^{-\Theta}$$

Para un recipiente que exhibe flujo de pistón, se tiene que

$$I = 1, \text{ si } 0 \leq 1$$

$$I = 0, \text{ si } 0 > 1$$

Usando estas expresiones, puede compararse la curva  $F$  de un tanque agitado real respecto a la del perfectamente mezclado o a la del que exhibe flujo de pistón.

## V. PRESENTACION DE RESULTADOS Y SU DISCUSION

Como se mencionó anteriormente, a partir de la función  $F$  se puede obtener la función  $E$  y también la función  $I$ .

A causa de la relación existente entre  $E$ ,  $I$  y  $F$ , cualquier variación que sufra la función  $F$  traerá como consecuencia una variación en  $E$  o en  $I$ .

En este trabajo se trata de establecer el efecto de algunos parámetros en la distribución de tiempos de residencia ( $E$ ); este efecto puede investigarse indirectamente, observando la variación que puedan causar en la función  $F$  los parámetros estudiados. Es por esta razón que los resultados obtenidos se expresan mediante las variables adimensionales  $F$  y  $\Theta$ .

Se realizaron veinte corridas, cuyas condiciones experimentales se presentan en el Cuadro 1.

En el cuadro se usan los siguientes símbolos para los distintos agitadores:

 : Agitador tipo hélice con tres aspas

 : Agitador tipo turbina con 6 paletas rectas

 : Agitador tipo turbina con 6 paletas curvas

 : Agitador tipo turbina con 6 paletas inclinadas 45°

Los resultados obtenidos en las veinte corridas se presentan en veinte figuras. En estas figuras se muestra el efecto que tienen en la curva F los siguientes parámetros:

Para un fluido de baja viscosidad (agua)

1. Velocidad del agitador: figuras 1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 1F, 1G y 1H.

2. Tamaño del agitador: figuras 2A, 2B, 2C, 2D, 2E, 2F, 2G y 2H.

Para el fluido de baja viscosidad y uno medianamente viscoso (solución acuosa de glicerina al 45% en volumen).

3. Tipo de agitador: figuras 3A, 3B, 3C, 3D y 3E.

El análisis de los resultados se hará tomando dos referencias ideales: el tanque agitado ideal y el que muestra flujo de pistón, y consistirá en observar si la alteración de una de las variables provoca cierto desplazamiento de la curva F hacia cualquiera de las referencias establecidas; este "desplazamiento" de la curva F, a causa del error inherente presente en los datos obtenidos por la poca exactitud y certidumbre que proveía el equipo usado, debe interpretarse más que desviación o desplazamiento de puntos, como desviación o diferencia de las tendencias de estos puntos, comparadas con las tendencias o formas de las curvas representativas de los modelos ideales.

Las figuras 1A, 1B, 1C y 1D muestran el efecto que tiene la velocidad del impulsor en las curvas F, obtenidas usando agitadores turbina de paletas rectas, tipo hélice, turbina de paletas inclinadas y turbina de paletas curvas respectivamente, todos con un diámetro de 4 pulgadas. En la figura 1A se presentan los puntos de la curva F obtenidos

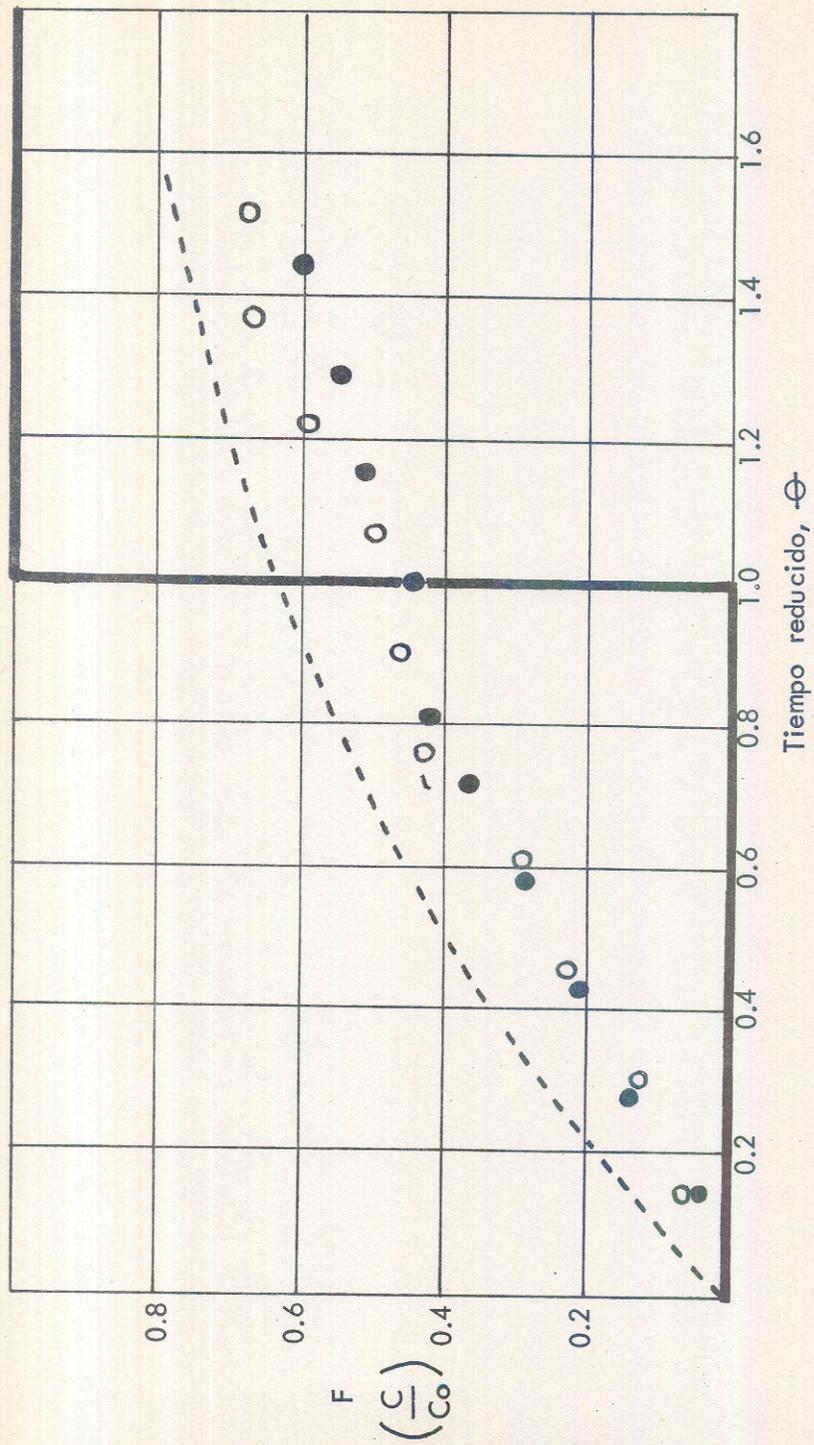
CUADRO 1

## CONDICIONES EXPERIMENTALES DE LAS VEINTE PRUEBAS REALIZADAS

Corrida	Agitador	Tamaño (plg) agitador	RPM del agitador	Fluido usado	Volumen (lt)	Flujo (lt/min)	Viscosidad del fluido (cp)	$\tau$ (min)	Señal Co(eq NaOH) lt
1		4	75	H <sub>2</sub> O	7	1.07	1	6.55	0.226
2		4	300	H <sub>2</sub> O	7	1.02	1	6.90	0.226
3		4	75	H <sub>2</sub> O	7	1.01	1	6.97	0.248
4		4	300	H <sub>2</sub> O	7	1.01	1	6.97	0.22
5		4	75	H <sub>2</sub> O	7	1.22	1	5.73	0.34
6		4	300	H <sub>2</sub> O	7	1.22	1	5.73	0.34
7		4	75	H <sub>2</sub> O	7	1.22	1	5.73	0.34
8		4	300	H <sub>2</sub> O	7	1.22	1	5.73	0.275
9		2½	75	H <sub>2</sub> O	7	1.24	1	5.63	0.33
10		2½	300	H <sub>2</sub> O	7	1.24	1	5.63	0.33
11		2½	75	H <sub>2</sub> O	7.2	1.46	1	4.93	0.14
12		2½	300	H <sub>2</sub> O	7.2	1.33	1	5.4	0.132
13		2½	75	H <sub>2</sub> O	7.2	1.51	1	4.77	0.108
14		2½	300	H <sub>2</sub> O	7.2	1.43	1	5.02	0.108
15		2½	75	H <sub>2</sub> O	7.2	1.36	1	5.3	0.196
16		2½	300	H <sub>2</sub> O	7.2	1.46	1	4.94	0.196
17		4	100	H <sub>2</sub> O-Glic 35%vol.	7.5	1.63	4.2	4.6	0.275
18		4	100	H <sub>2</sub> O-Glic 35%vol.	7.5	1.62	3.9	4.6	0.148
19		4	100	H <sub>2</sub> O-Glic 35%vol.	7.3	1.57	4.2	4.6	0.194
20		4	100	H <sub>2</sub> O-Glic	7.2	1.50	3.8	4.8	0.124

Símbolos para las Figuras 1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 1F,  
1G y 1H

- - - : tanque agitado ideal
- : tanque con flujo de pistón
- : 75 RPM
- : 300 RPM



**FIGURA 1A.** Efecto de la velocidad del impulsor usando un fluido de baja viscosidad y un agitador tipo turbina de paletas rectas de 4 pulgadas de diámetro.

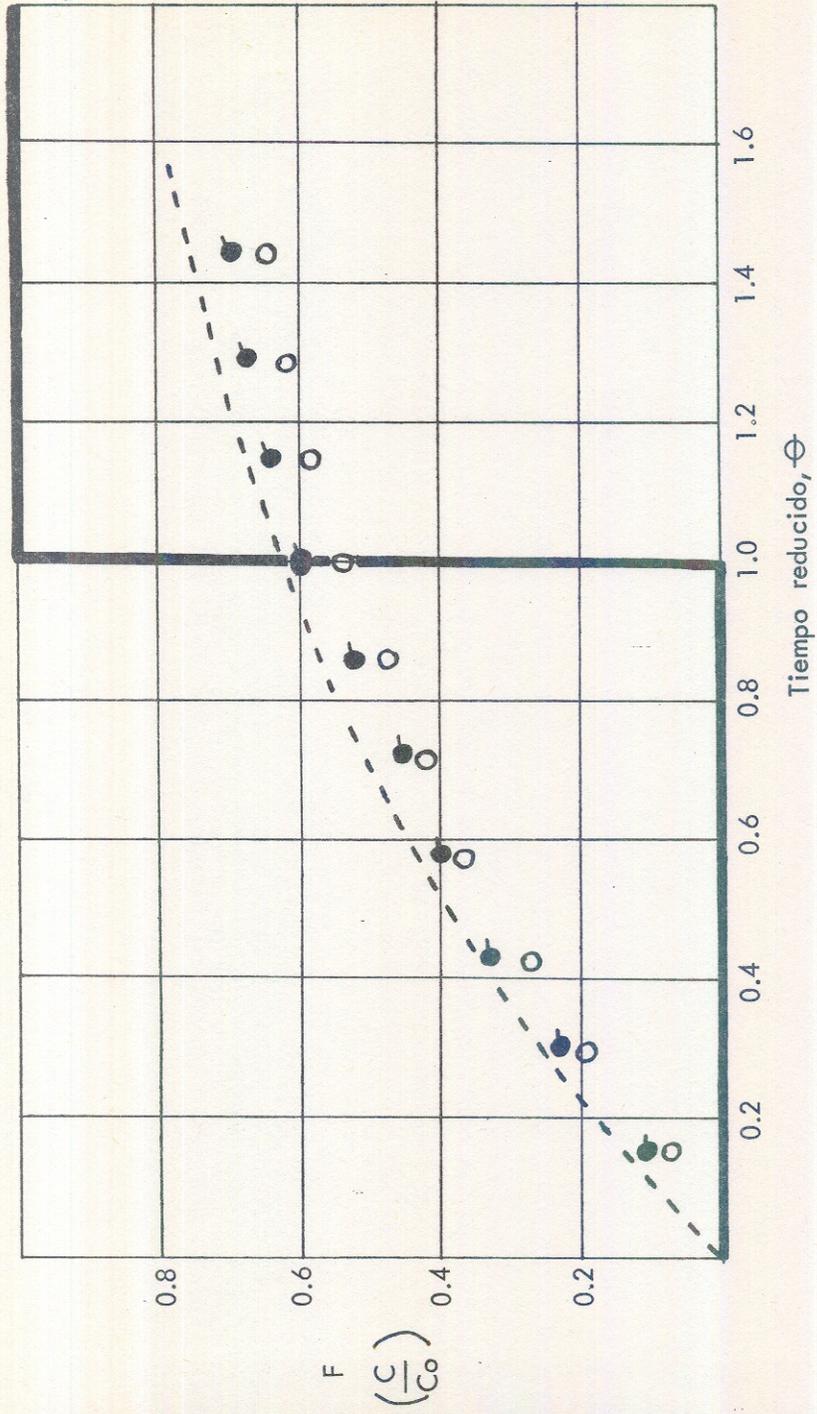
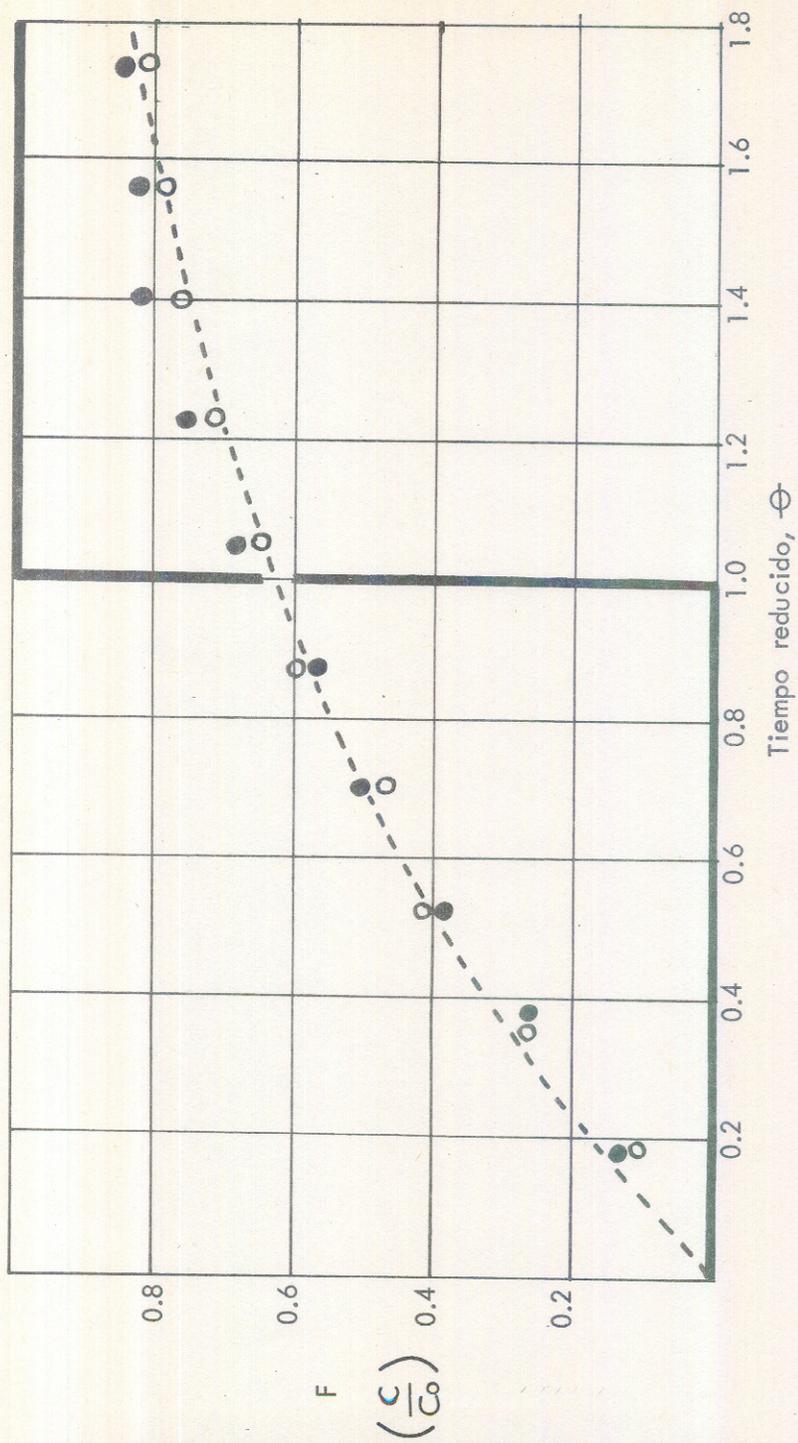


FIGURA 1B. Efecto de la velocidad del impulsor usando un fluido de baja viscosidad y un agitador tipo hélice de 4 pulgadas de diámetro.



**FIGURA 1C.** Efecto de la velocidad del impulsor usando un fluido de baja viscosidad y un agitador tipo turbina de paletas inclinadas de 4 pulgadas de diámetro.

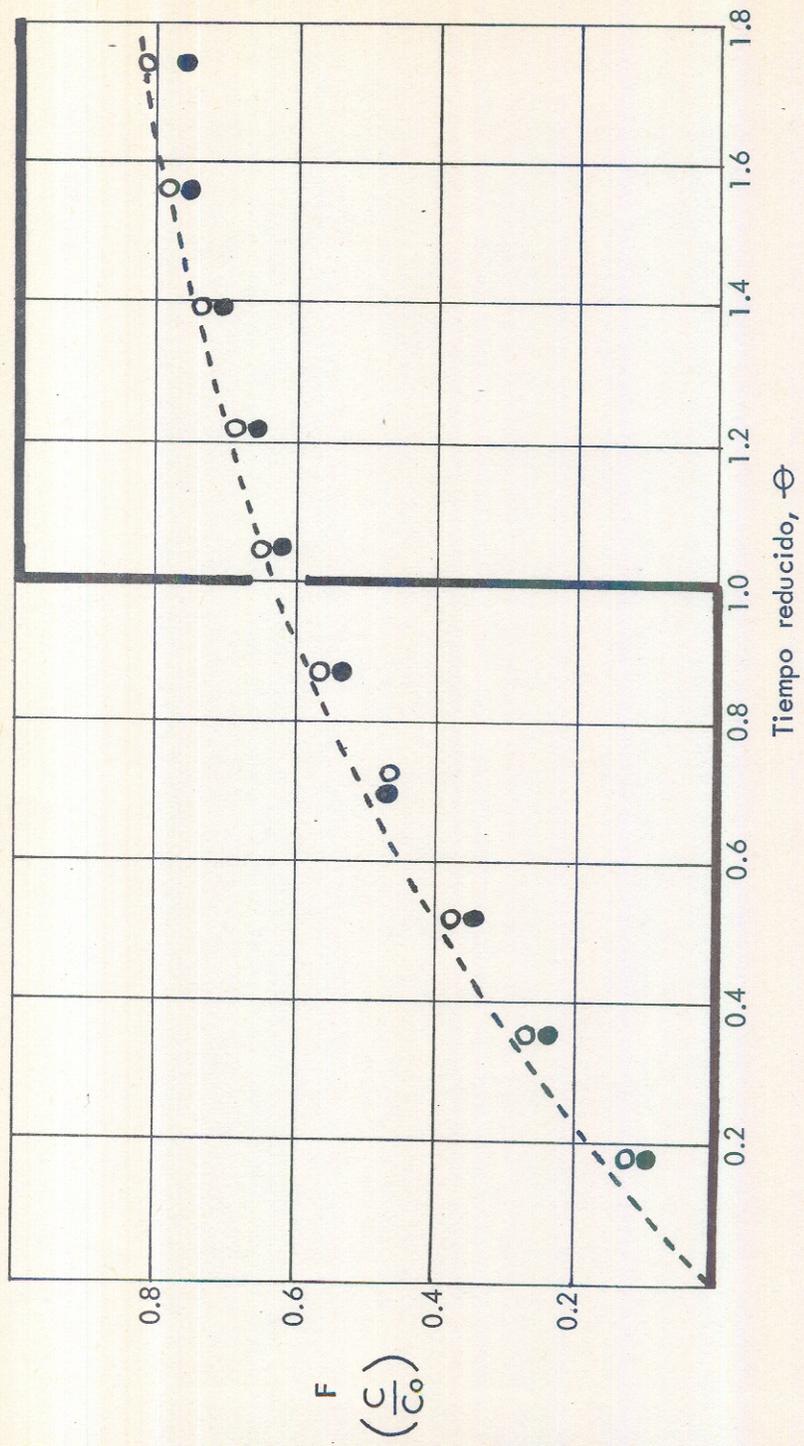


FIGURA 1D. Efecto de la velocidad del impulsor usando un fluido de baja viscosidad y un agitador tipo turbina de paletas curvas de 4 pulgadas de diámetro.

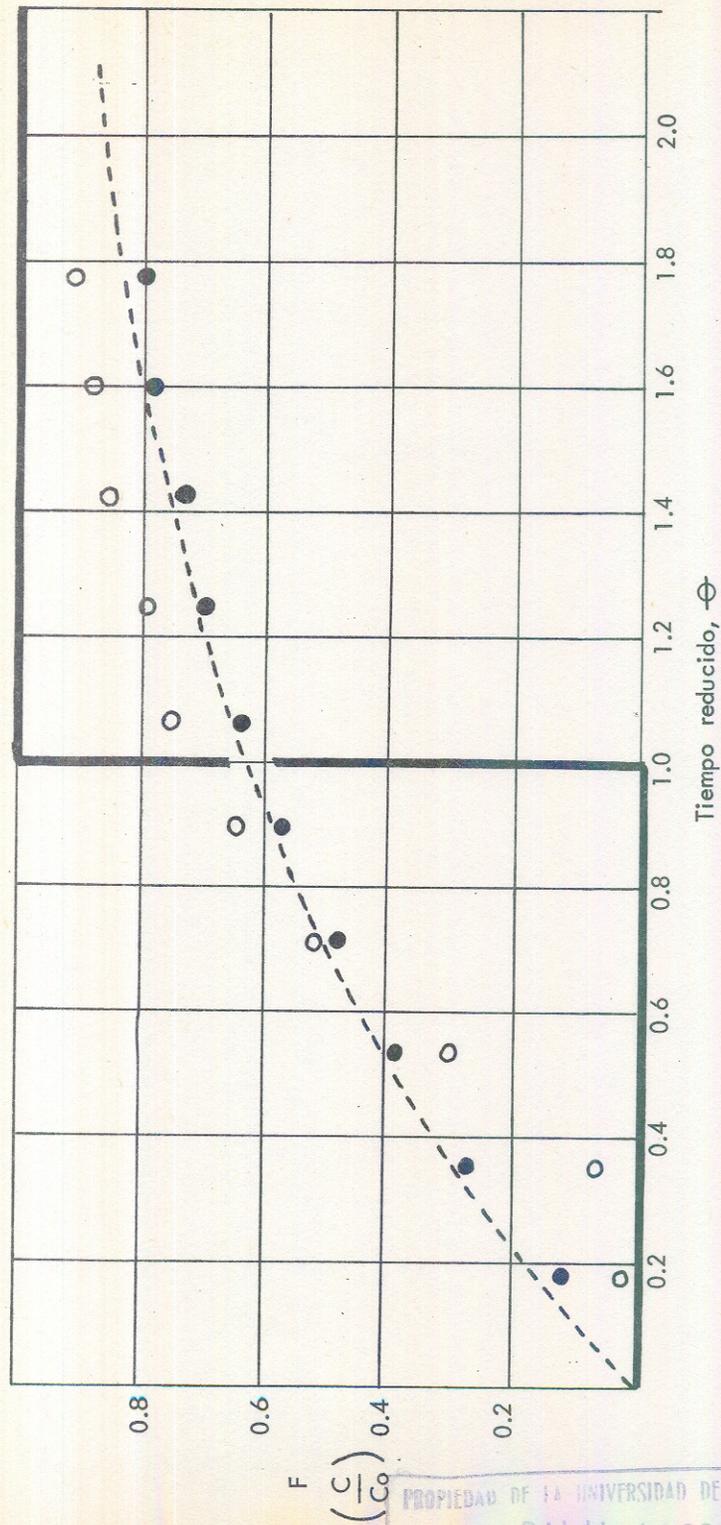
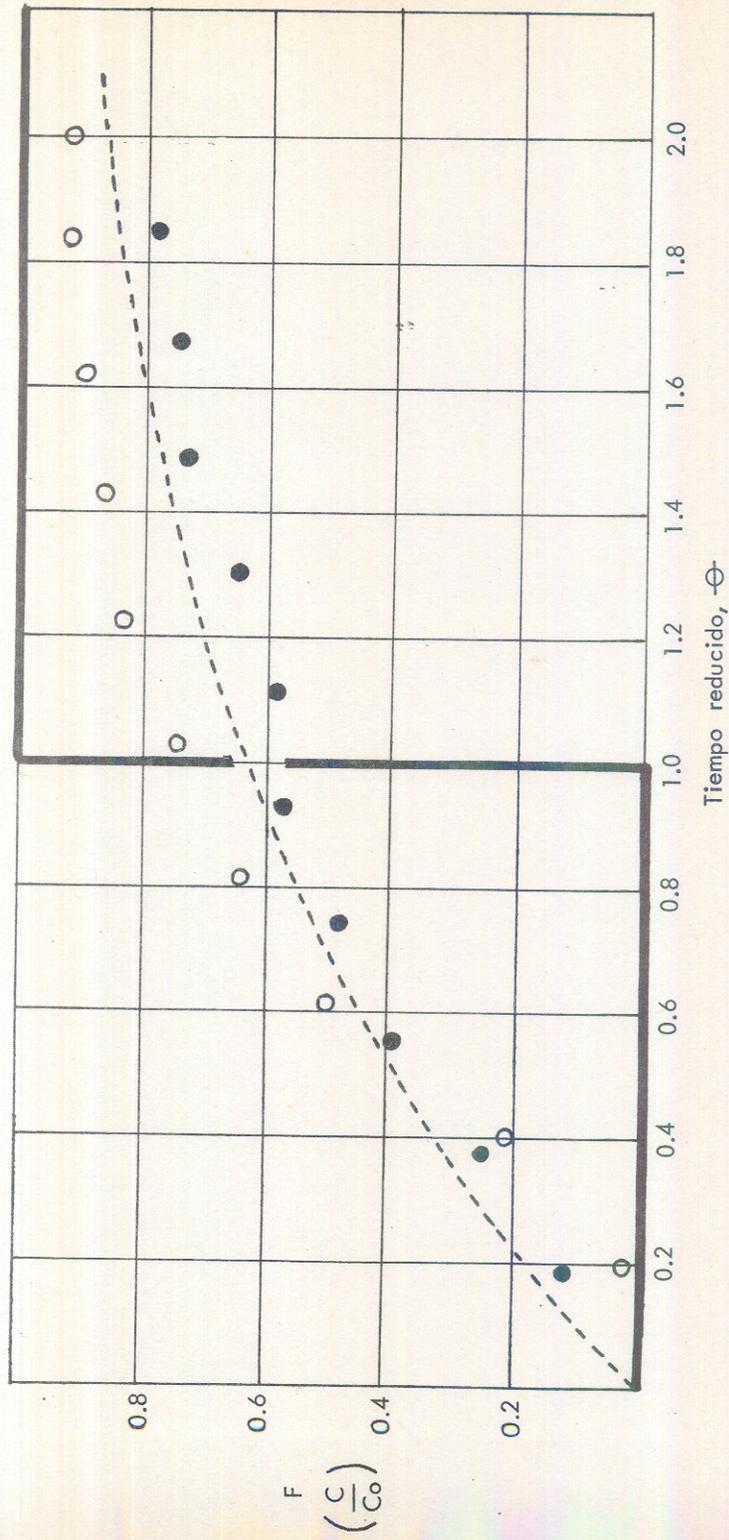


FIGURA 1E. Efecto de la velocidad del impulsor usando un flúido de baja viscosidad y un agitador tipo turbina de paletas rectas de  $2\frac{1}{2}$  pulgadas de diámetro.



**FIGURA 1F.** Efecto de la velocidad del impulsor usando un flúido de baja viscosidad y un agitador tipo hélice de  $2\frac{1}{2}$  pulgadas de diámetro.

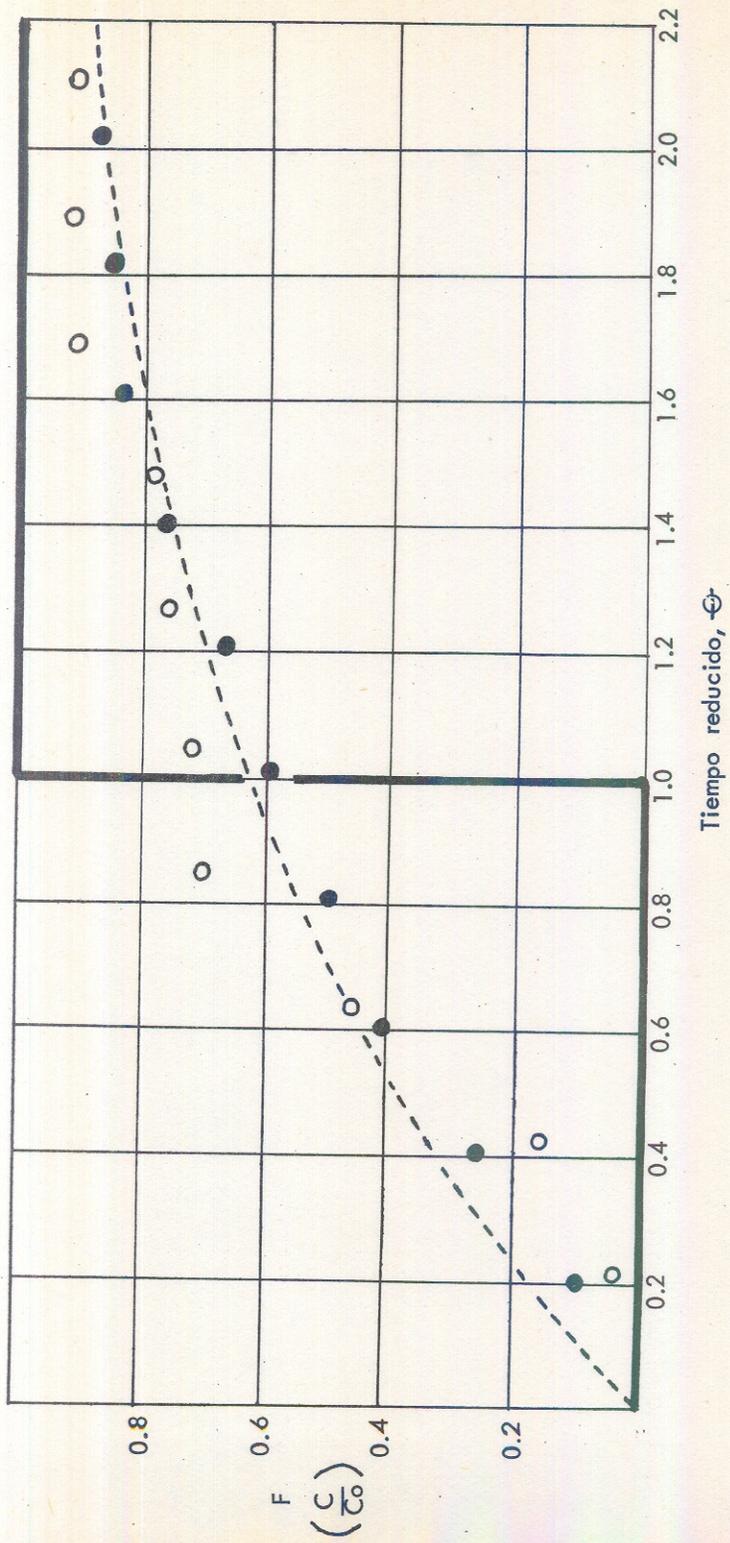


FIGURA 1G. Efecto de la velocidad del impulsor usando un fluido de baja viscosidad y un agitador tipo turbina de paletas inclinadas de  $2\frac{1}{2}$  pulgadas de diámetro.

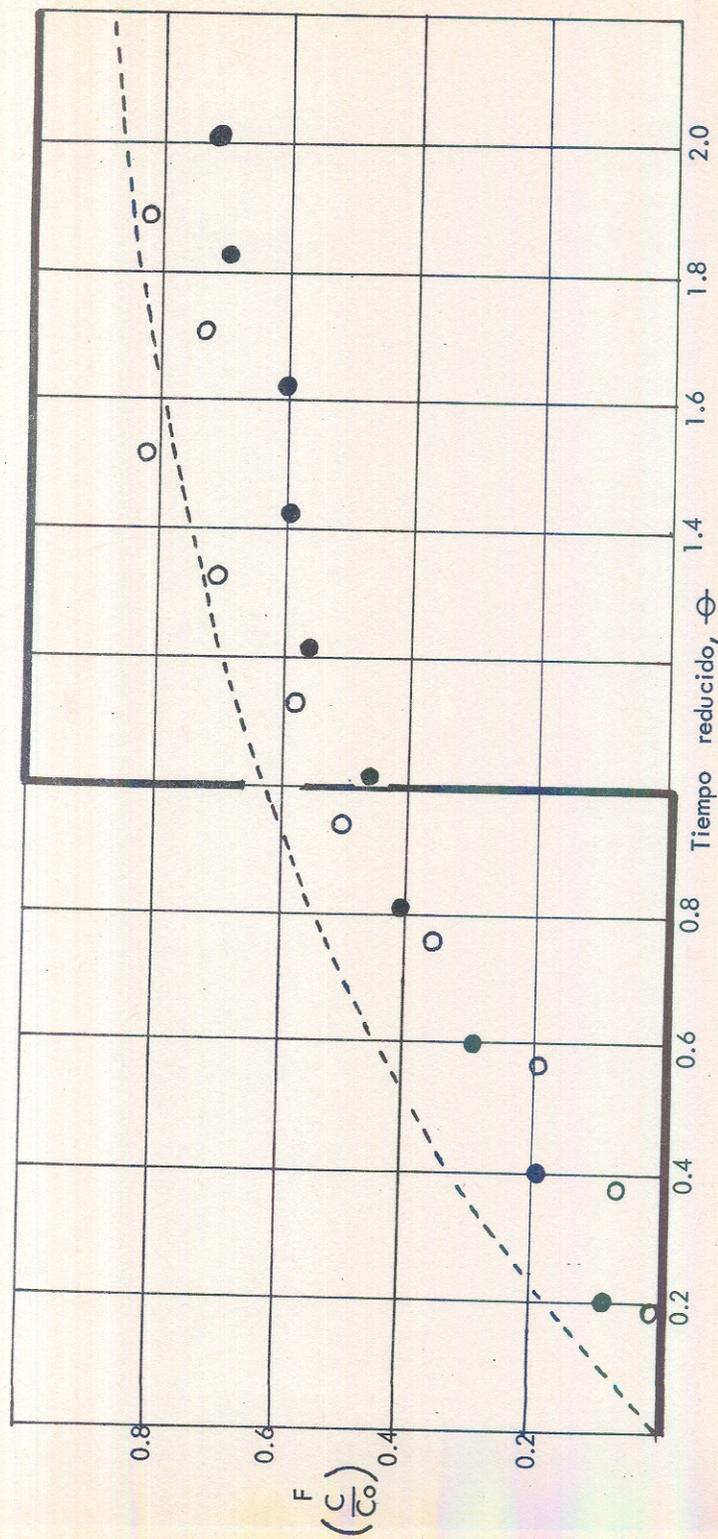


FIGURA 1H. Efecto de la velocidad del impulsor usando un fluido de baja viscosidad y un agitador tipo turbina de paletas curvas de  $2\frac{1}{2}$  pulgadas de diámetro.

en las corridas 1 y 2; en estas corridas se varió la velocidad del impulsor de 75 a 300 RPM. Puede observarse que no existe diferencia notable de tendencias entre los puntos correspondientes a ambas corridas; esto significa que la variación de velocidad no tuvo efecto apreciable en la curva F. Lo dicho se aplica en las figuras 1B, 1C y 1D, por lo que puede decirse que el cambio de velocidad de 75 a 300 RPM no afectó apreciablemente las curvas obtenidas usando los cuatro tipos de agitadores estudiados, todos con 4 pulgadas de diámetro.

Las figuras 1E, 1F, 1G y 1H también presentan el efecto que tiene la velocidad del agitador en la curva F; pero en este caso los puntos localizados en las figuras se obtuvieron usando agitadores más pequeños que los anteriores: con diámetro de  $2\frac{1}{2}$  pulgadas. En la figura 1E aparecen los puntos obtenidos de las corridas 9 y 10, en las cuales se varió la velocidad de 75 a 300 RPM; en este caso se observa que el cambio de velocidad afecta notablemente a la curva F: a 75 RPM la curva se desvía de la curva representativa del tanque agitado ideal y su forma se acerca a la del tanque con flujo de pistón, mientras que a 300 RPM la curva obtenida se acerca bastante, en su forma, a la del tanque agitado ideal.

En las figuras 1F, 1G y 1H el efecto observado es similar, por lo que puede decirse que cuando se usan agitadores de  $2\frac{1}{2}$  pulgadas de diámetro, un cambio en la velocidad de estos de 75 a 300 RPM tiene un efecto considerable en la curva F, para los cuatro tipos de agitadores estudiados.

En las figuras 2A, 2B, 2C, 2D, 2E, 2F, 2G y 2H se muestra el efecto que tiene el tamaño del impulsor en la curva F, a dos velocidades diferentes: 75 y 300 RPM.

En la figura 2A se representan los datos obtenidos para

el agitador turbina de paletas rectas a 75 RPM y se observa que una disminución del diámetro del impulsor de 4 a  $2\frac{1}{2}$  pulgadas provoca que la curva F se aleje de la forma de la curva representativa del tanque agitado ideal, desplazándose hacia la forma de la curva del tanque con flujo de pistón. La figura 2B muestra que el efecto de tal cambio del tamaño del impulsor en la curva F no es apreciable a una velocidad de 300 RPM, pues ambas curvas se acercan bastante a la del tanque agitado ideal.

Lo dicho para las figuras 2A y 2B se hace extensivo para el resto de figuras que muestran el efecto mencionado para los otros tres tipos de impulsores.

De lo dicho hasta aquí, se tiene que un cambio en la velocidad del agitador (de 75 a 300 RPM), no produce un cambio apreciable en la respuesta al estímulo grada cuando se usan agitadores de 4 pulgadas de diámetro, en cambio, al usar un diámetro menor ( $2\frac{1}{2}$  pulgadas) el cambio de velocidad sí afecta notoriamente a la respuesta obtenida. Esto hace pensar que es probable que exista una velocidad crítica para cada configuración, a partir de la cual, para velocidades mayores, no se observa efecto apreciable en la curva F al variar la velocidad, y las curvas correspondientes a estas velocidades se acercan bastante a la de un tanque agitado ideal; pero, para velocidades menores la curva se va asemejando a la presentada por un tanque con flujo de pistón.

Tomando en cuenta esta consideración, para un diámetro del agitador de 4 pulgadas la velocidad crítica estaría abajo de 75 RPM; pero, para un diámetro de  $2\frac{1}{2}$  pulgadas estaría arriba de 75 RPM, o sea, que una disminución en el diámetro causaría un aumento en esta velocidad crítica.

Algo similar ocurre con los datos que muestran el efecto del tamaño del impulsor; a 300 RPM un cambio del tama

Símbolos para las figuras 2A, 2B, 2C, 2D, 2E, 2F,  
2G y 2H

- - - : tanque agitado ideal

— : tanque con flujo de pistón

○ : 4 pulgadas de diámetro

● :  $2\frac{1}{2}$  pulgadas de diámetro

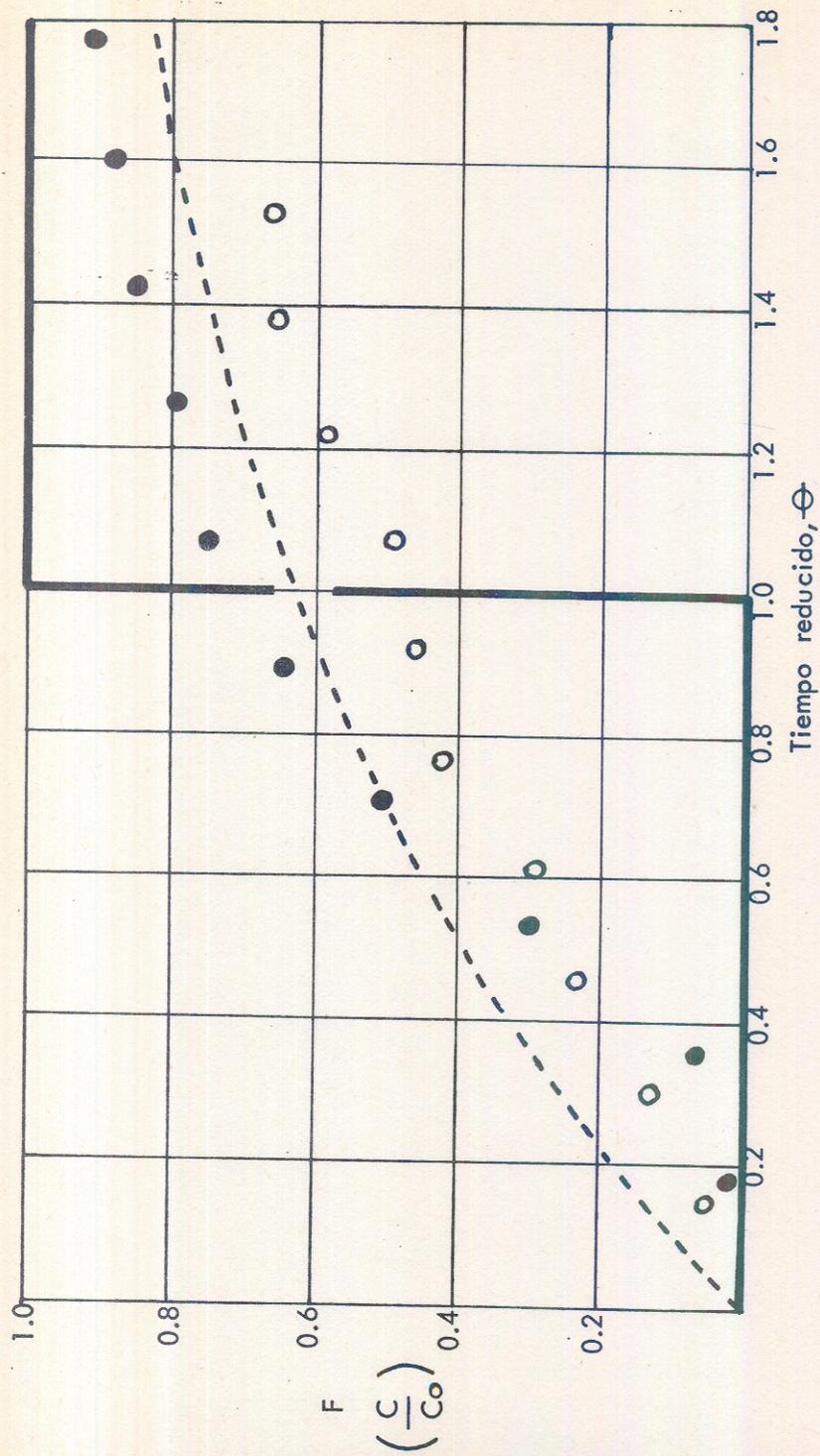


FIGURA 2A. Efecto del tamaño del impulsor usando un fluido de baja viscosidad y un agitador tipo turbina de paletas rectas a 75 RPM.

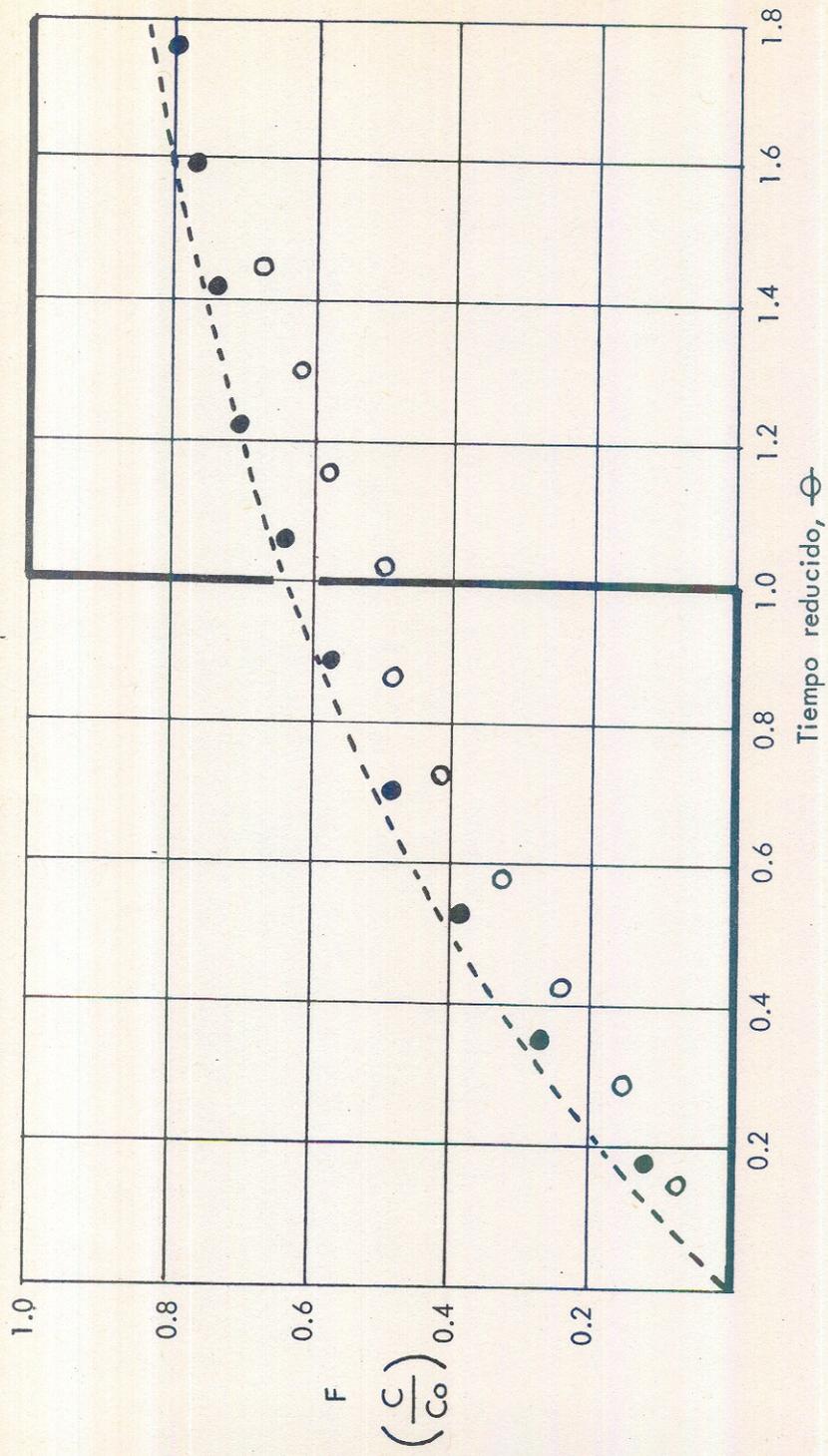


FIGURA 2B. Efecto del tamaño del impulsor usando un fluido de baja viscosidad y un agitador tipo turbina de paletas rectas a 300 RPM.

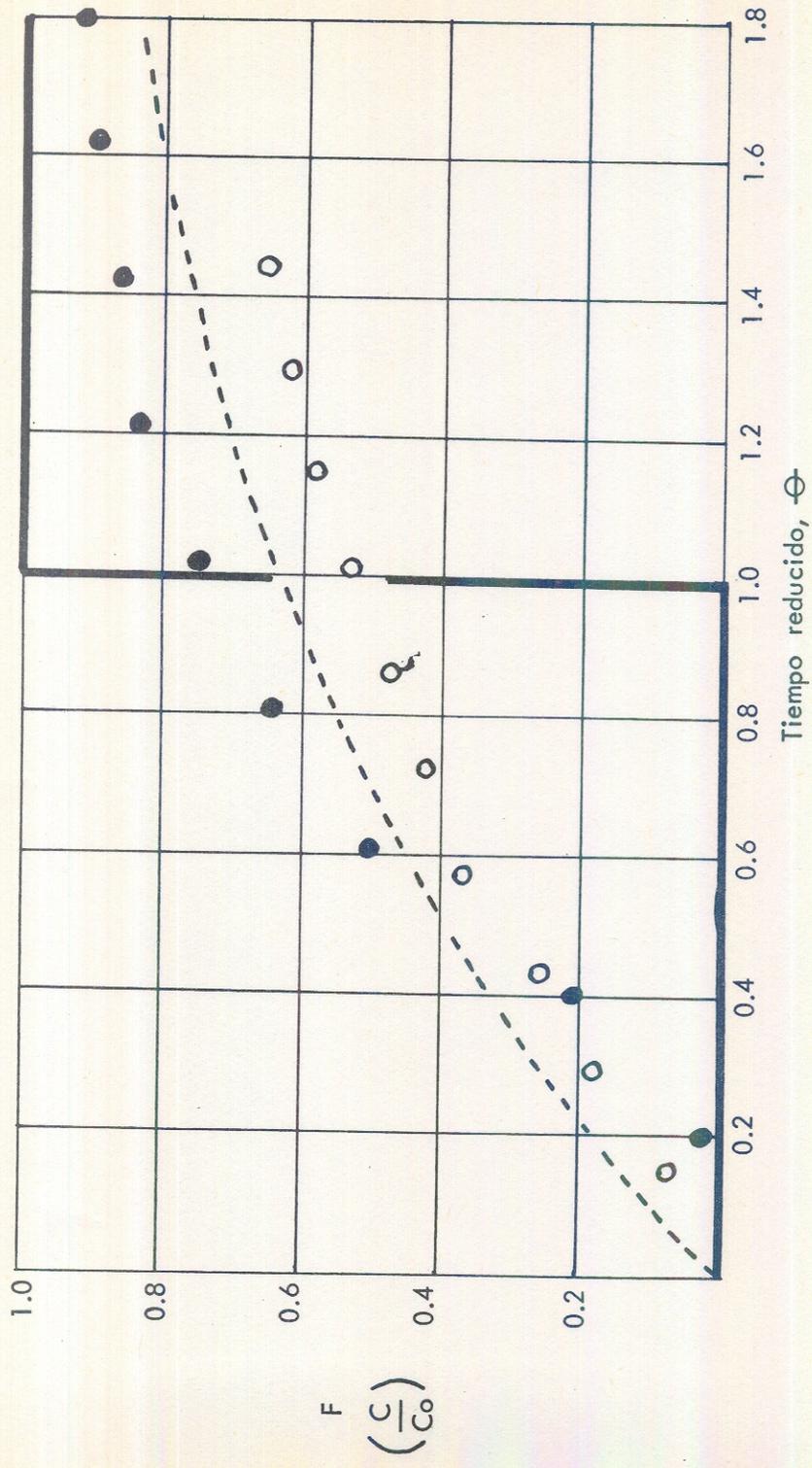


FIGURA 2C. Efecto del tamaño del impulsor usando un fluido de baja viscosidad y un agitador tipo hélice a 75 RPM.

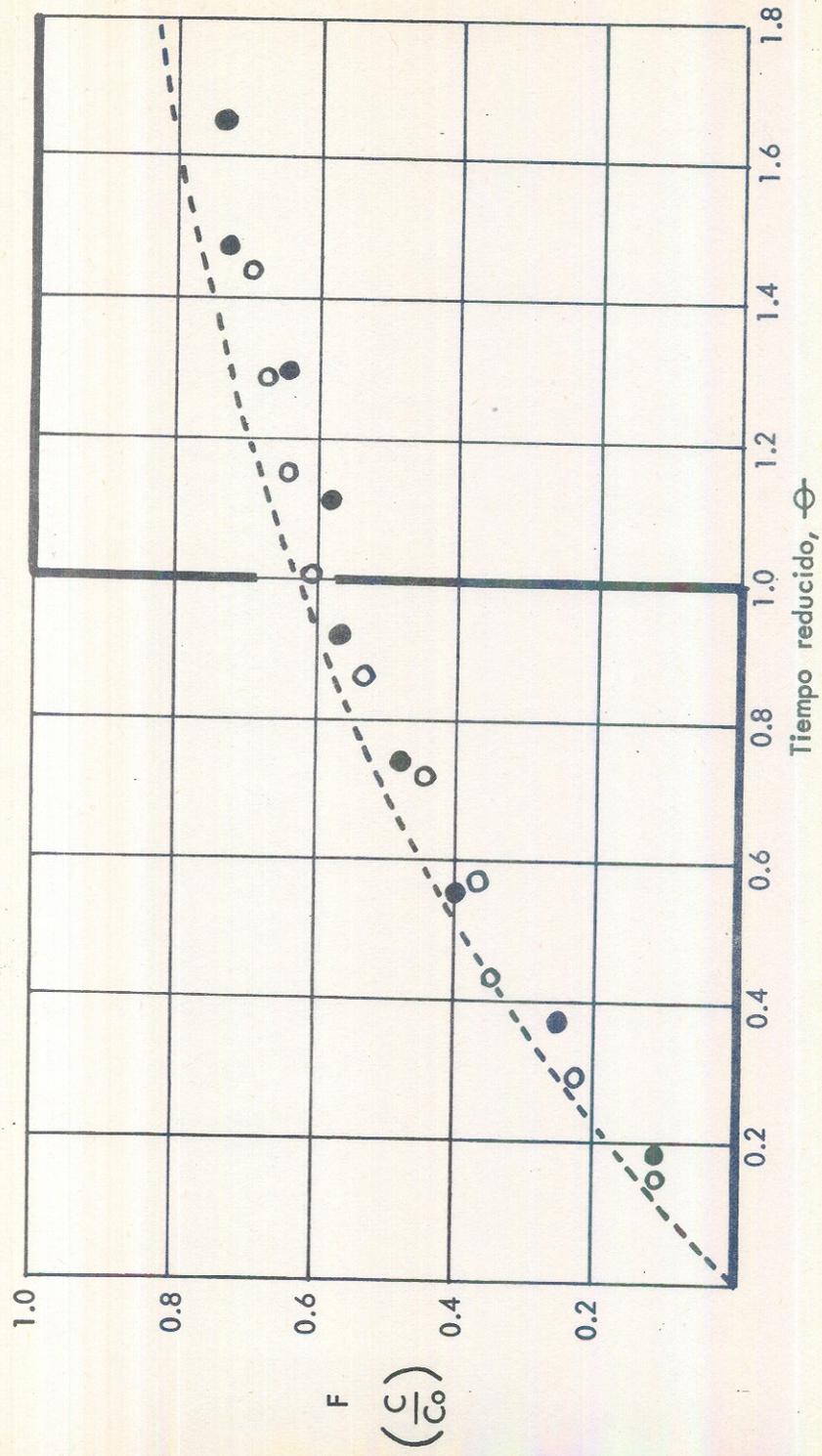


FIGURA 2D. Efecto del tamaño del impulsor usando un flúido de baja viscosidad y un agitador tipo hélice a 300 RPM.

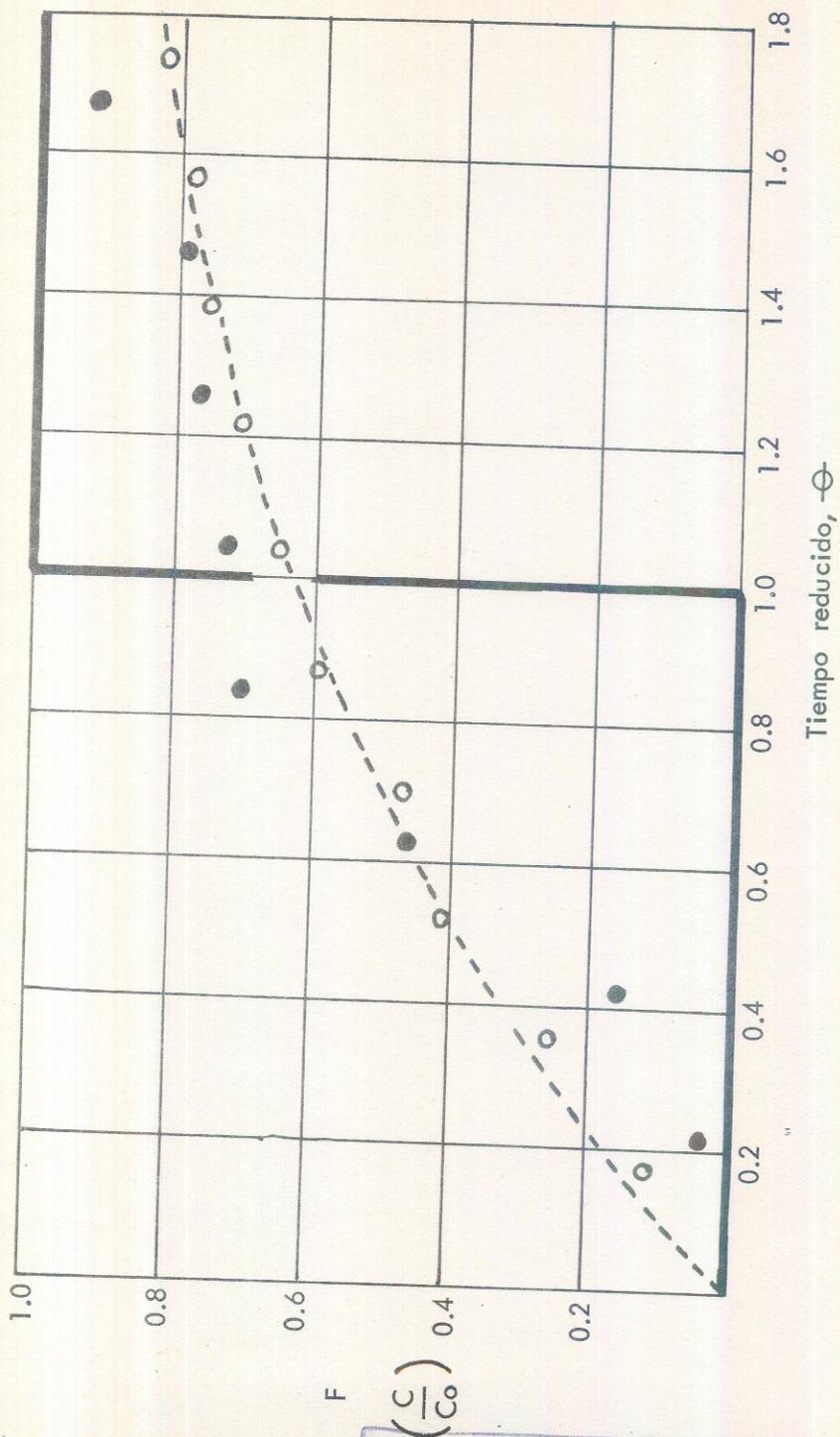


FIGURA 2E. Efecto del tamaño del impulsor usando un fluido de baja viscosidad y un agitador tipo turbina de paletas inclinadas a 75 RPM.

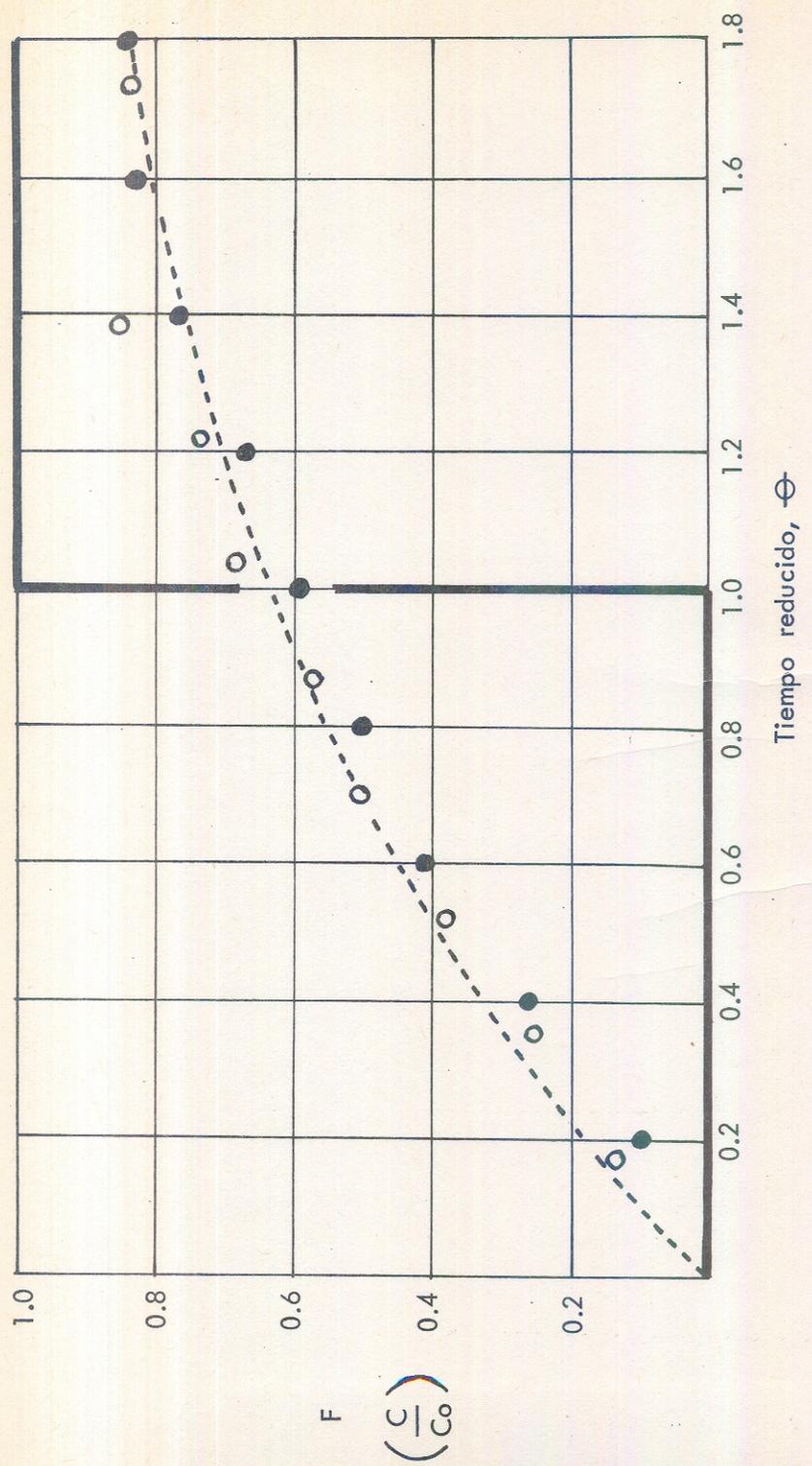


FIGURA 2F. Efecto del tamaño del impulsor usando un fluido de baja viscosidad y un agitador tipo turbina de paletas inclinadas a 300 RPM.

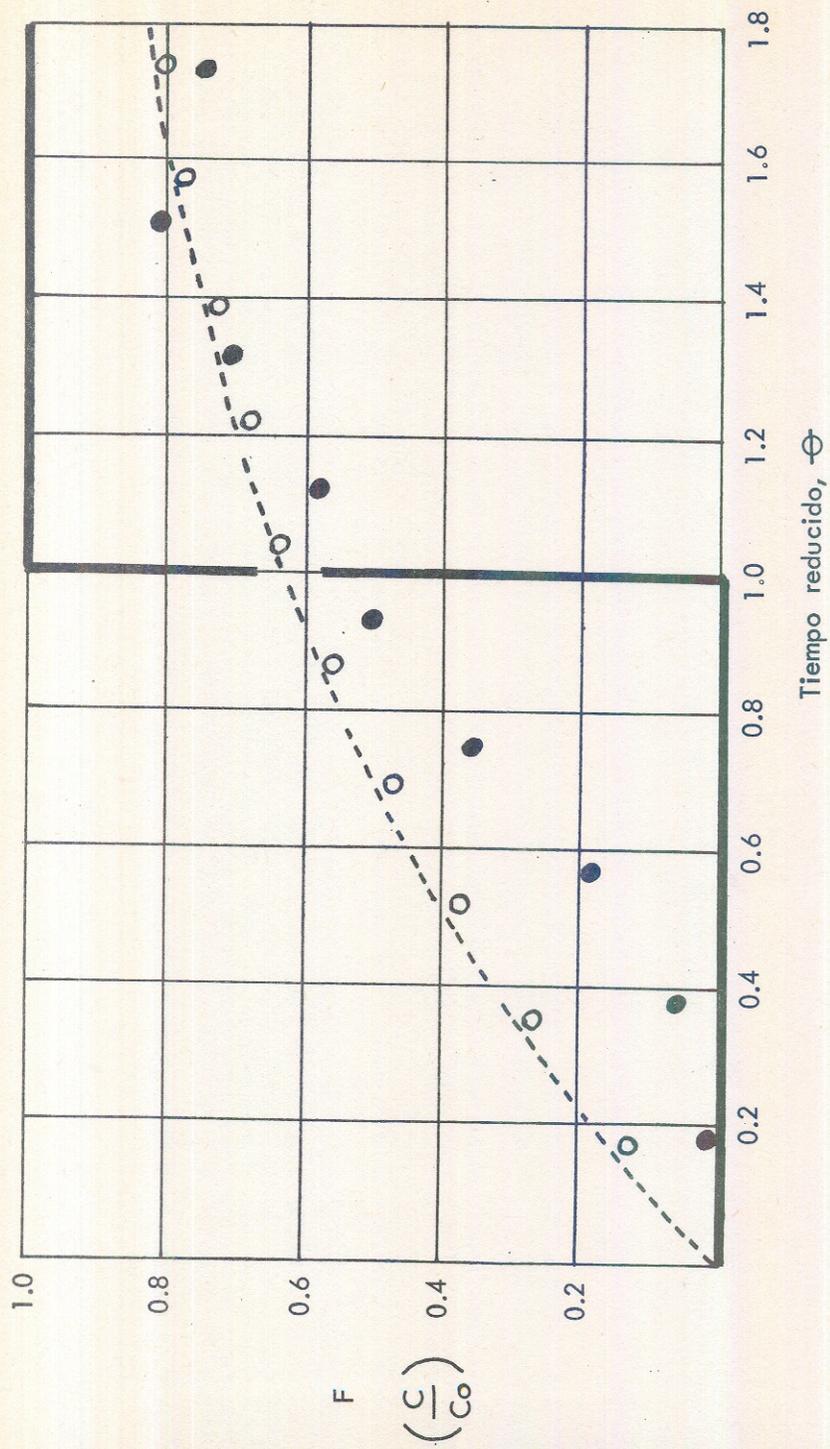


FIGURA 2G. Efecto del tamaño del impulsor usando un fluido de baja viscosidad y un agitador tipo turbina de paletas curvas a 75 RPM.

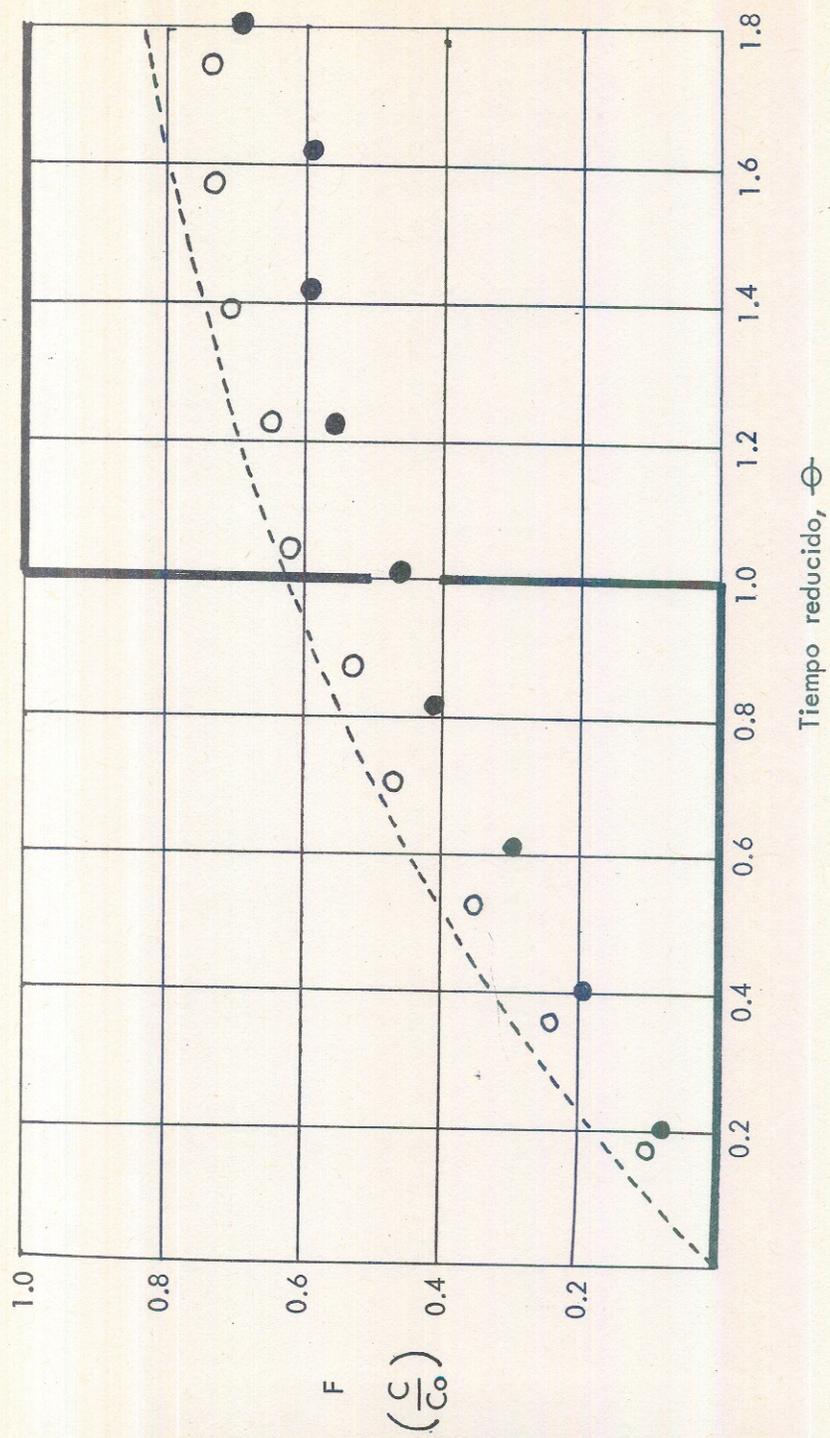


FIGURA 2H. Efecto del tamaño del impulsor usando un fluido de baja viscosidad y un agitador tipo turbina de paletas curvas a 300 RPM.

ño del agitador de 4 a  $2\frac{1}{2}$  pulgadas no produce cambio apreciable en las curvas obtenidas y ambas se aproximan bastante a la forma de la curva de un tanque agitado ideal; a 75 RPM al disminuir el tamaño del agitador de 4 a  $2\frac{1}{2}$  pulgadas, si se observa cambio notorio. Suponiendo la existencia de un tamaño crítico del impulsor para cada velocidad, a partir del cual todos los tamaños mayores dan lugar a curvas con formas bastante cercanas a la del tanque agitado ideal; pero, para tamaños menores se desvía la forma de la curva F hacia la de un tanque con flujo de pistón, tendríamos que una disminución en la velocidad del impulsor causaría un aumento del tamaño crítico, lo cual es razonable.

Las figuras 3A, 3B, 3C, 3D y 3E muestran el efecto que tiene el cambio de tipo de impulsor en la curva F. La figura 3A muestra que con un diámetro de 4 pulgadas y 75 RPM un cambio del tipo de agitador no tiene efecto notable en la curva. Lo mismo puede decirse para las figuras 3B, 3C, 3D y 3E.

Puede decirse que en las condiciones estudiadas, que fueron:

a) Fluido de baja viscosidad, usando dos tamaños de agitadores (4 y  $2\frac{1}{2}$  pulgadas) y dos velocidades (75 y 300 RPM), figuras 3A, 3B, 3C y 3D; y

b) Fluido de viscosidad mediana (4 cp), con una velocidad moderada (100 RPM) y un tamaño del agitador grande (4 pulgadas), figura 3E; no se observó efecto notorio del tipo de agitador usado en la curva F obtenida.

Probablemente con un fluido más viscoso si se observe un efecto del tipo de impulsor en la curva F; además de un fluido más viscoso, se debe usar un equipo más preciso para detectar cualquier diferencia. Por limitaciones técnicas y

económicas, no se logró satisfacer en el presente trabajo las condiciones mencionadas.

Como podrá notarse, las consideraciones aquí hechas fueron cualitativas. Se ha publicado trabajos en donde se presenta un análisis cuantitativo de los resultados obtenidos; en estos casos, se ha postulado un modelo consistente en regiones perfectamente mezcladas, regiones con flujo de pistón y regiones estancadas o muertas; además, estos modelos incluyen recirculación y corto circuito del fluido dentro del tanque.

En estos casos se ha usado un sistema en el cual se introducen intencionalmente las imperfecciones arriba mencionadas para poder apreciar el efecto que causa la variación de las condiciones del sistema en los parámetros del modelo (4).

Símbolos para las figuras 3A, 3B, 3C, 3D y 3E

▲ : turbina de paletas rectas

● : agitador tipo hélice

○ : turbina de paletas curvas

△ : turbina de paletas inclinadas

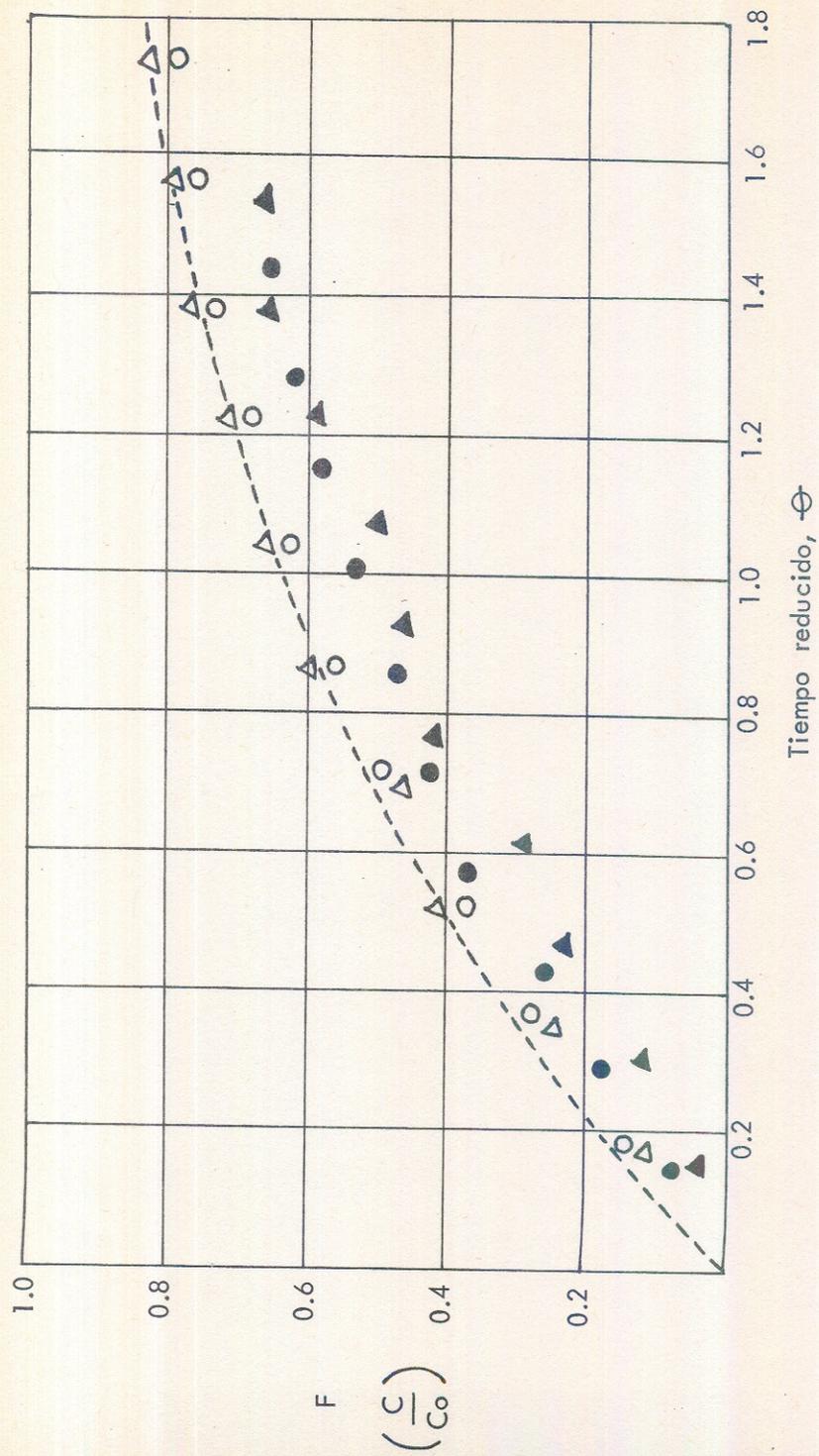


FIGURA 3A. Efecto del tipo de impulsor usando un fluido de baja viscosidad y agitadores de 4 pulgadas de diámetro a 75 RPM.

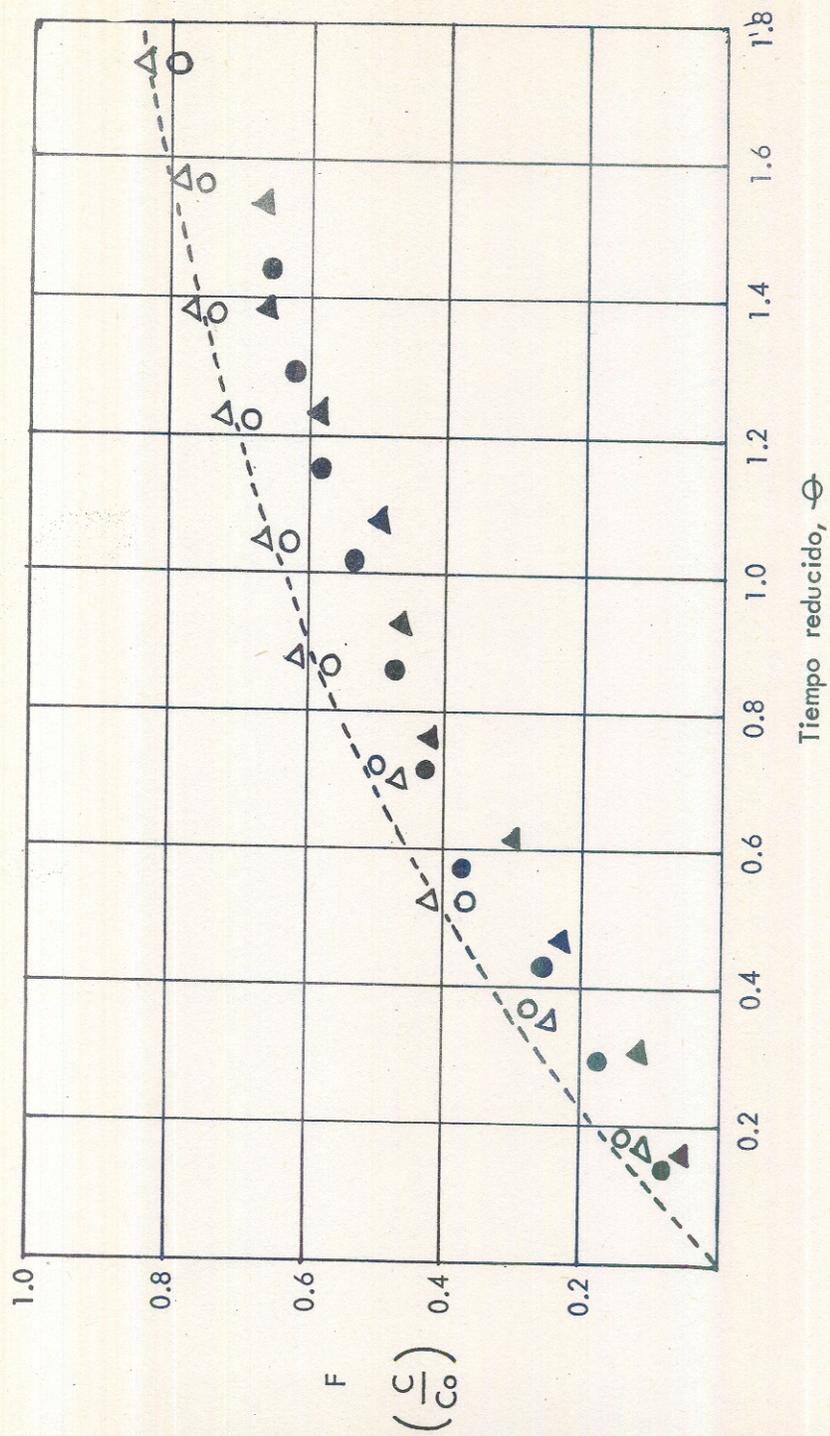


FIGURA 3B. Efecto del tipo de impulsor usando un fluido de baja viscosidad y agitadores de 4 pulsas de diámetro a 300 RPM.

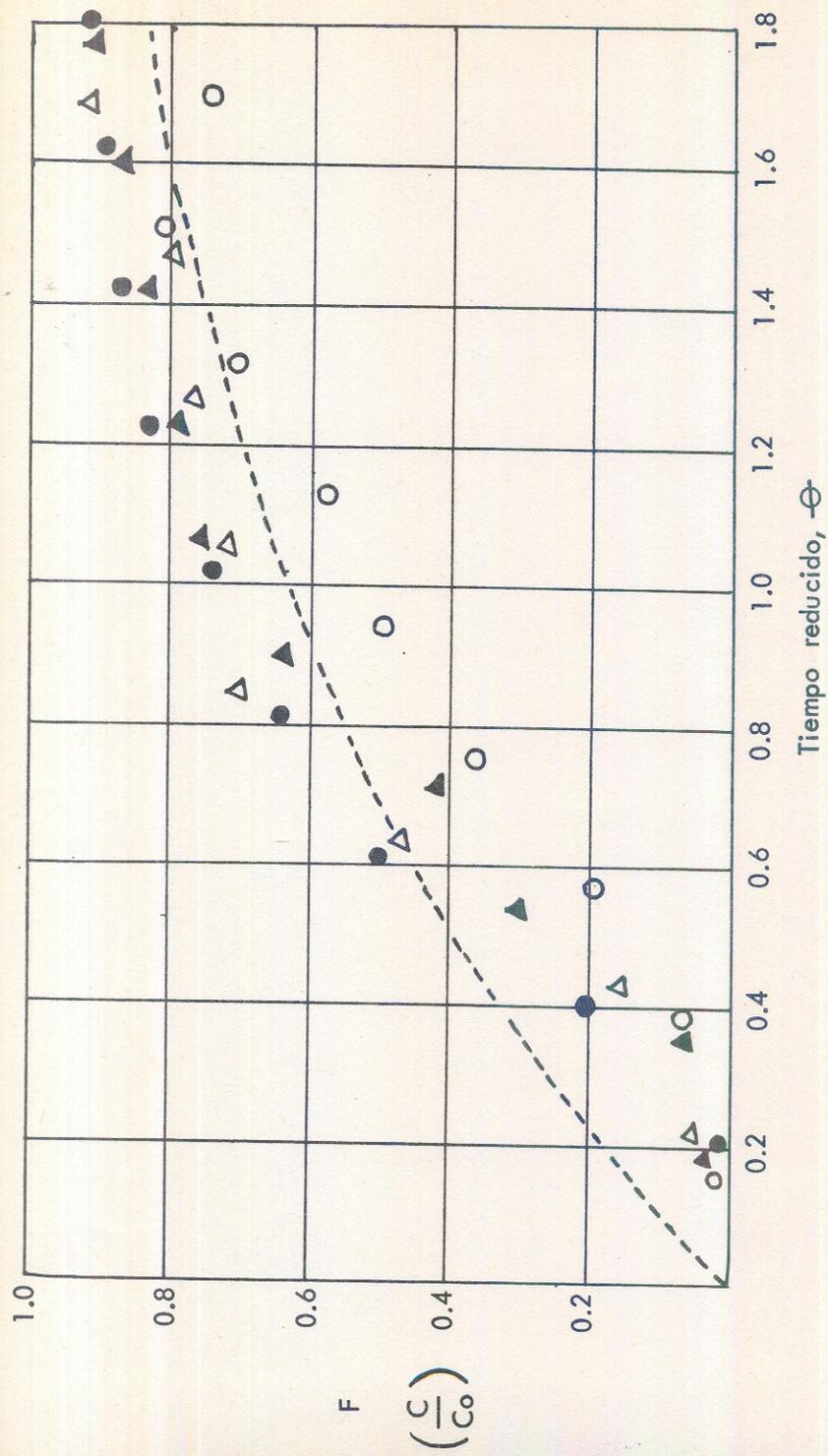


FIGURA 3C. Efecto del tipo de impulsor usando un flúido de baja viscosidad y agitadores de 2½ pulgadas de diámetro a 75 RPM.

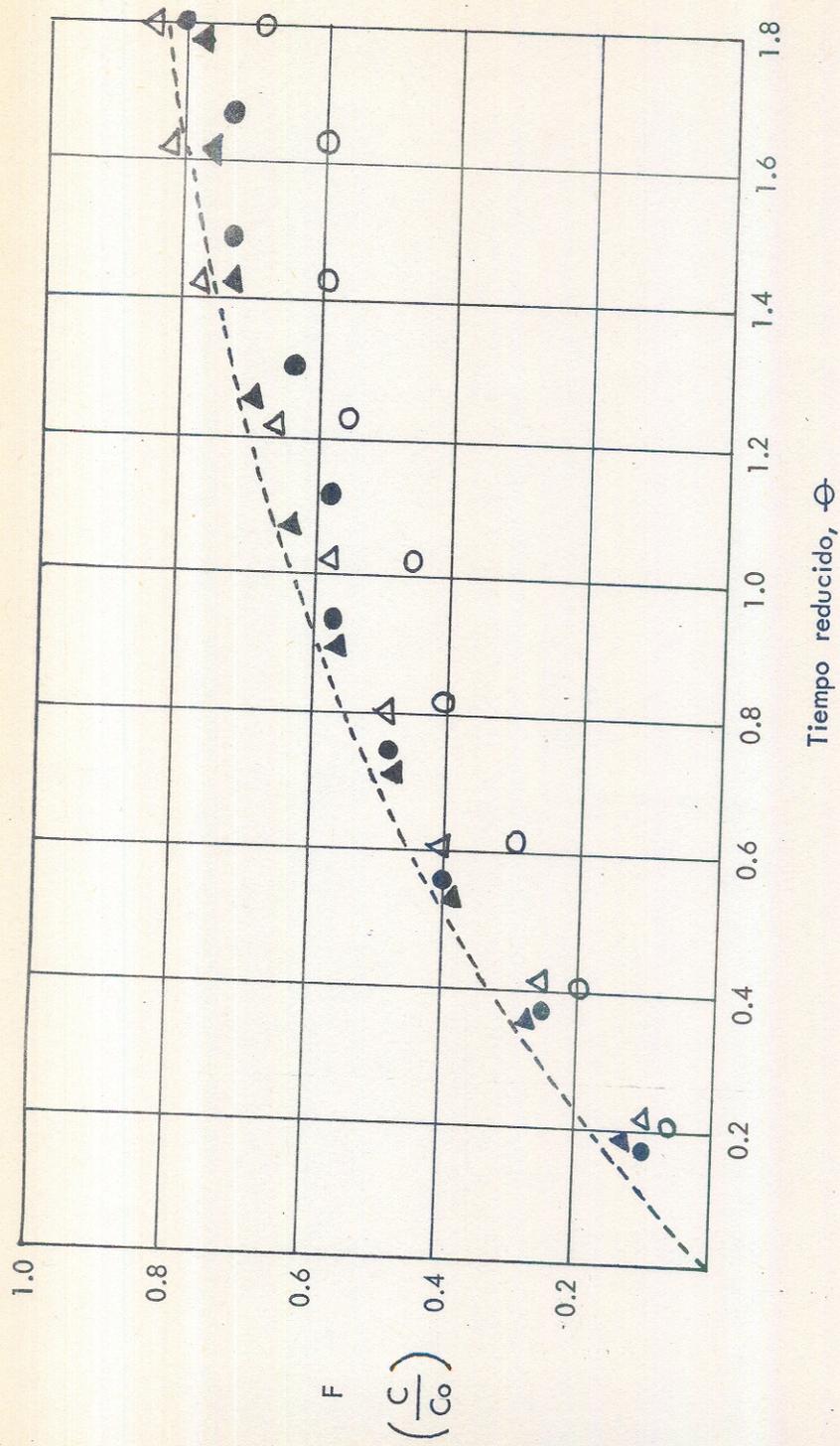


FIGURA 3D. Efecto del tipo de impulsor usando un fluido de baja viscosidad y agitadores de 2½ de diámetro a 300 RPM.

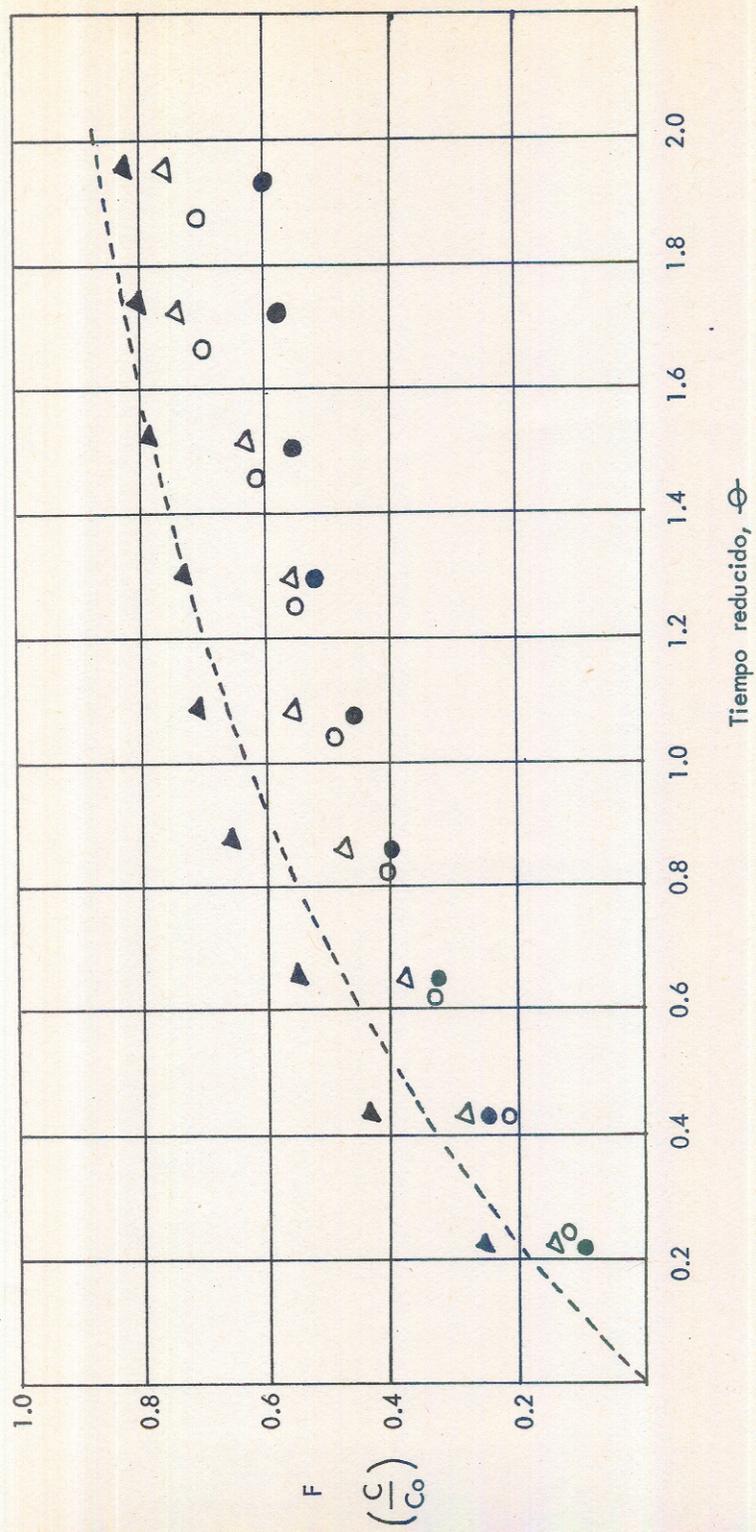


FIGURA 3E. Efecto del tipo de agitador usando un flúido de mediana viscosidad y agitadores de 4 pulgadas de diámetro a 100 RPM.

## VI. CONCLUSIONES

En el sistema consistente de un fluido de baja viscosidad (1 cp) y un impulsor de diámetro grande (4 pulgadas), se observó que a bajas revoluciones de agitación (75 RPM) la respuesta al estímulo grada se aproximó bastante a la de un tanque agitado ideal.

Para un diámetro pequeño ( $2\frac{1}{2}$  pulgadas) usando una velocidad de 75 RPM, la respuesta obtenida se desvió considerablemente de la del tanque agitado ideal. A 300 RPM la respuesta sí se acercó bastante a la del tanque perfectamente mezclado.

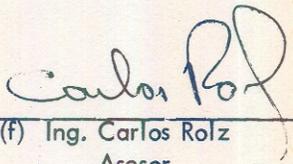
En las condiciones de trabajo para el fluido de baja viscosidad, la respuesta al estímulo grada no dependió del tipo de agitador usado. Para el fluido de mediana viscosidad (4 cp) y a las condiciones de trabajo (100 RPM y 4 pulgadas de diámetro) la respuesta también fue independiente del tipo de agitador.

## VII. REFERENCIAS

1. Levenspiel, Octave, "Chemical Reaction Engineering", Chap. IX, Wiley (1962).
2. Levenspiel, O., Bischoff, K. B., "Pattern of Flow in Chemical Process Vessels" *Advances in Chemical Engineering*, 4 (1963).
3. Bischoff, K. B., McCracken, E.A., "Tracer tests in Flow Systems" *Ind. and Eng. Ch.*, 58, 18 (1966).
4. Booth, G., Parera, J.M., "Influencia de diversos parámetros sobre la distribución de tiempos de residencia en un reactor tanque continuo agitado", *Rev. Fac. de Ing. Quím. (Argentina)* XXXVII, 381 (1968).
5. Corrigan, T. E., Betshel, R., Axline A., "The effect of changing viscosity on the transient response of a reaction Vessel", *Chem. Eng. Sci.*, 22, 1553 (1967).
6. Aris, R., "Introduction to the Analysis of Chemical Reactors", Prentice Hall Inc. New Jersey, 1965.

  
Julio Roberto Barrios Morafaya

Vo. Bo.

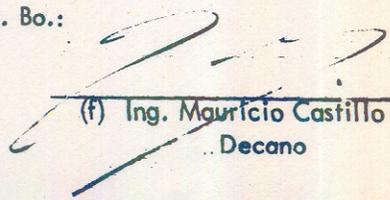
  
(f) Ing. Carlos Rolz  
Asesor

Vo. Bo.:

  
(f) Ing. Leonel Flores  
Director

IMPRIMASE:

Vo. Bo.:

  
(f) Ing. Mauricio Castillo C.  
Decano