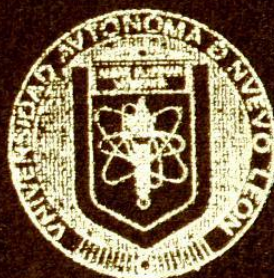


**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**  
**FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS**  
**DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES**



**"CONSTRUCCION Y PRUEBA DE UN  
VISCOSIMETRO DE ESFERA DESCENDENTE  
CON REGISTRO OSCILOSCOPICO"**

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL  
GRADO ACADEMICO DE**

**MAESTRIA EN: CIENCIAS  
ESPECIALIDAD: FISICO-QUIMICA**

**P O R**

**JESUS EDUARDO MONTAÑEZ NAVA**

**AÑO 1978**

1

2

3

4

5

6

VISCOCCOASSIMETPRO  
DE ESSTENMA OESCOEENTE

JESUIS EDUJAFROO

MONTAVREZ NAWVA



1080074509

FAC. CIENCIAS  
QUIMICAS



DIVISION DE ESTUDIOS  
SUPERIORES BIBLIOTECA

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES



"CONSTRUCCIÓN Y PRUEBA DE UN  
VISCOSIMETRO DE ESFERA DESCENDENTE  
CON REGISTRO OSCILOSCOPICO"

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL  
GRADO ACADEMICO DE

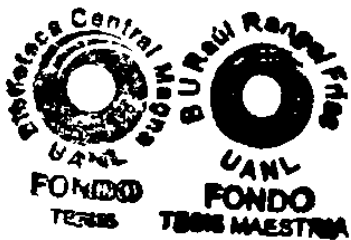
MAESTRIA EN CIENCIAS  
ESPECIALIDAD: FISICO-QUIMICA

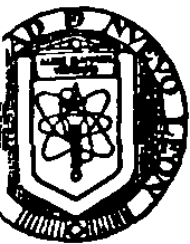
P O R

JESUS EDUARDO MONTANEZ NAVA

AÑO 1978

TM  
T 2  
R45  
M6





**FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS**  
**DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES**

Carretera Postal No. 623  
Calle de las Ciencias  
León, Méx.  
Tel. 75-66-31, 75-34-47  
y 74-61-58

Señor Coordinador de la Maestría en:

**FISICO - QUIMICA**

La Tesis elaborada por el (la): Ing. Quim. Jesús  
Eduardo Montañez Nava.

Intitulada: "CONSTRUCCION Y PRUEBA DE UN VISCOSI  
METRO DE ESFERA DESCENDENTE CON REGISTRO OSCILOSCOPICO".

Ha sido aceptada como requisito parcial para optar al

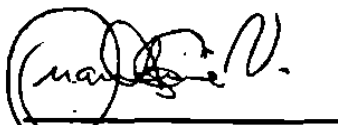
Grado académico de:

**MAESTRO EN CIENCIAS.**

Especialidad: **FISICO-QUIMICA.**

En virtud de haber cumplido integralmente con el reglamento  
de Tesis vigente y a la vez solicitamos a Ud. la aprobación  
final.

**COMITE DICTAMINADOR DE LA TESIS**

  
\_\_\_\_\_  
**ASESOR**

DR. JUAN L. AGUIRRE V.

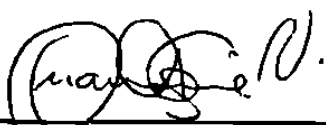
  
\_\_\_\_\_  
**SINODAL**

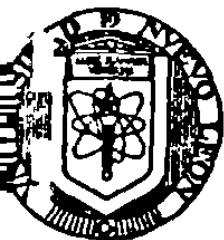
DR. REFUGIO RUIZ DIAZ

  
\_\_\_\_\_  
**SINODAL**

DR. JORGE RMI-SAUSI G.

Vo.Bo.

  
\_\_\_\_\_  
Coordinador de la Maestría  
DR. JUAN LAURO AGUIRRE VILLAFANA.



**FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS**  
**DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES**

de Postal No. 225  
calle de las Garzas.  
México D.F. México.  
Teléfonos 75-64-31. 75-34-67  
y 75-61-28

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL GRADO**  
**ACADEMICO DE**

**MAESTRIA EN: CIENCIAS.**

**ESPECIALIDAD: FISICO-QUIMICA.**

**POR:**

**JESUS EDUARDO MONTAÑEZ NAVA.**

**A Ñ O 1978.**

CON AGRADECIMIENTO AL M. EN C. JOAQUIN REMOLINA,  
SECCION DE BIOELECTRONICA DEL DEPARTAMENTO DE FARMACOLOGIA  
DEL CENTRO DE INVESTIGACION DEL INSTITUTO POLITECNICO NA--  
CIONAL, POR SU VALIOSA ASESORIA EN LA CONSTRUCCION DEL VIS  
COSIMETRO.



R E S U M E N .

## RESUMEN :

La viscosidad de un fluido es una propiedad químico-física de gran importancia en el campo de la Ingeniería Química en el caso de líquidos puros y soluciones, tiene bastante importancia teórica, por estar relacionada íntimamente con la estructura de las moléculas que lo componen y con sus interacciones y por tanto es la base de las investigaciones reológicas teórico-prácticas.

Nuestro interés surge al tratar de determinar argumentos sólidos, basados en la experimentación y la teoría, para justificar las correlaciones que se emplean con frecuencia. La viscosidad de un fluido simple o Newtoniano se puede medir por varios métodos, entre ellos:

1.-Por la velocidad de flujo a través de un tubo capilar (viscosímetro Ubbelohde, Ostwald, etc.).

2.-Por el par necesario para hacer girar uno de dos cilindros concéntricos a determinada velocidad angular (Viscosímetro de Couette).

3.-Por la velocidad de sedimentación de una esfera dentro de un fluido.

En fluidos complejos o no-Newtonianos el concepto de viscosidad se generaliza al de caracterización reológica.

En la presente investigación utilizaremos la última técnica para medir viscosidades de algunos fluidos simples.

El objetivo de esta investigación fue el diseño, construcción y prueba de un circuito electrónico que hace posible detectar el movimiento de una esfera de acero, en su caída vertical dentro de una cámara llena de fluido que se desea estudiar y a través de esto obtener valores de su viscosidad.

Como objetivo secundario se tuvo el recabar los detalles de técnicas utilizadas en un laboratorio de investigación tales como la elaboración de circuitos impresos, moldeado, curado de resinas y la utilización de un osciloscopio.

Esto se logra fijando pequeñas bobinas espaciadas regularmente sobre el exterior de la cámara del fluido, dichas bobinas conectadas en serie, forman parte de un circuito tanque, o sea un circuito compuesto por una inductancia y un condensador conectados en paralelo, del cual se saca una señal que detecta el paso de la esfera por cada una de las bobinas. La esfera de acero se sube del fondo de la cámara por un imán de herradura, se sostiene arriba y se deja caer por medio de un electro imán.

La cámara del fluido está constituida por dos tubos concéntricos de vidrio pyrex. El tubo interno tiene nueve ranuras en las cuales se fijan el mismo número de bobinas en serie, éstas constituyen parte del circuito tanque, la parte inductiva. Sólo dos terminales eléctricas se requieren, una de las cuales se saca por el extremo superior y la otra por el extremo inferior. El tubo exterior está sujeto al tubo interno por medio de dos tapones de hule, con perforaciones adecuadas, el espacio entre los dos tubos se emplea como chaqueta de agua circulante para control de la temperatura.

La señal eléctrica producida por el paso de la esfera a través de cada bobina, se registra fotográficamente, de la pantalla del osciloscopio o se introduce directamente la señal a un registrador de papel, esto último es posible solamente en soluciones muy viscosas, bajas velocidades de descenso de la esfera. La velocidad terminal  $V_t$  de una esfera de radio  $a$ , que cae a través de un fluido infinito de viscosidad  $\eta$ , se deduce, empleando la ecuación de Stokes para el arrastre hidrodinámico sobre -

una esfera:

$$V_t = \frac{k}{\eta} (P_s - P_a)$$

o bien,

$$V_t = \frac{2a^2g}{9\eta} (P_s - P_a)$$

donde:

$$k = \frac{2a^2g}{9}$$

- $V_t$  = Velocidad terminal.
- $g$  = Aceleración gravitacional.
- $a$  = Radio de la esfera.
- $\rho_s$  = Densidad de la esfera.
- $\rho_a$  = Densidad del fluido.
- $\eta$  = Viscosidad relativa del fluido.

A presión atmosférica se obtienen varios oscilogramas y la velocidad promedio de descenso de la esfera se calcula entre cada par de bobinas. Si la velocidad de descenso es, dentro de la incertidumbre del experimento, la misma— en dos pares consecutivos de bobinas, se supone que la velocidad terminal se alcanzó, de ésta se deduce la viscosidad del fluido.

Cuando la velocidad terminal no se alcanza, ésta —

puede deducirse por extrapolación gráfica de las velocidades observadas.

Las conclusiones de esta investigación son las de que los valores pronosticados de la viscosidad para cada temperatura fueron calculados empleando la ecuación de Stokes, éste experimento requiere de un movimiento laminar y esto se logra cuando el número de Reynolds es mucho menor que 0.25, por tanto las fuerzas de inercia pueden ser despreciadas.

Puesto que la esfera presenta la tendencia de resbalar por la pared de la cámara del fluido, debido a la no verticalidad de la cámara del fluido, fué necesario introducir un factor de corrección por el efecto de pared, el cual incrementa la resistencia que hace disminuir la velocidad de caída.

## INDICE TEMATICO :

	página:
I.-CONSTRUCCION DEL VISCOSIMETRO. . . . .	1
1.-Circuito Eléctrico. . . . .	1
1.1.-Descripción del Circuito Electrónico. . . . .	1
a).-Oscilador tipo Colpitts. . . . .	3
b).-Circuito Tanque. . . . .	3
c).-Amplificador Final. . . . .	4
1.2.-Dimensiones del Circuito Impreso . . . . .	4
a).-Proceso Fotográfico . . . . .	5
b).-Recubrimiento Fotosensible. . . . .	6
c).-Proceso de Rebaje. . . . .	6
d).-Preparación de la Negativa. . . . .	9
1.3.-Lista de Partes del Circuito del Visco- símetro. . . . .	11
1.4.-Técnica Empleada en el Fotograbado de - la Carátula. . . . .	11
1.5.-Sincronizador del Disparo . . . . .	13
a).-Lista de Partes . . . . .	14
1.6.-Cámara del Fluido. . . . .	14
a).-Descripción de la Cámara del Fluido. . . . .	14
b).-Técnica empleada en su construcción. . . . .	16
II.-DESCRIPCION Y MODO DE EMPLEO DEL VISCOSIMETRO . . . . .	20
1.-Viscosímetro. . . . .	20
1.1.-Cámara del Fluido . . . . .	20
1.2.-Baño Circulador del agua y controlador . de la temperatura. . . . .	20
a).-Termostato. . . . .	23
b).-Termómetro. . . . .	23
c).-Perilla de velocidad de calentamiento . . . . .	23
1.3.-Circuito del Viscosímetro . . . . .	24
1.4.-Sincronizador del Disparo . . . . .	25
1.5.-Osciloscopio. . . . .	26
2.-Modo de Empleo. . . . .	29

	página :
2.1.-Conexiones. . . . .	29
2.2.-Conexiones a la cámara del viscosímetro .	29
III.-MEDICIONES. . . . .	34
1.-Soluciones binarias . . . . .	34
2.-Líquidos puros. . . . .	45
3.-Efecto de las paredes . . . . .	50
4.-Comportamiento de partículas esféricas. . .	53
IV.-ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS. . . . .	56
CONCLUSIONES . . . . .	65
BIBLIOGRAFIA . . . . .	70
V I T A . . . . .	71

**INDICE DE GRAFICAS Y FIGURAS:**

FIGURA 1.-Diagrama del circuito electrónico del viscosímetro. . . . .	2
FIGURA 2.-Placa del circuito impreso . . . . .	10
FOTOGRAFIA 1.-Vista del viscosímetro . . . . .	13
FOTOGRAFIA 2.-Vista de la cámara del fluido. . . . .	15
FOTOGRAFIA 3.-Vista de la carátula del viscosímetro. . . . .	24
FIGURA 3.-Controles del osciloscopio . . . . .	26
FOTOGRAFIA 4.-Oscilograma. . . . .	33
FIGURA 4.-Valores medidos y reportados de la viscosidad. . . . .	51
FIGURA 5.-Viscosidad con la temperatura . . . . .	52

**CAPITULO PRIMERO.**

**"CONSTRUCCION DEL VISCOSIMETRO"**



## I.- CONSTRUCCION DEL CIRCUITO ELECTRONICO Y LA CAMARA DEL FLUIDO DEL VISCOSIMETRO.

### 1.- CIRCUITO ELECTRONICO.

#### I N T R O D U C C I O N :

Se ha diseñado el circuito electrónico basado - en un diagrama típico sin valores particulares para cada-componente electrónica (1) para el estudio de algunas propiedades de interés tanto físicas como químicas (viscosidades de líquidos puros y soluciones a presión atmosférica y presiones del orden de varios kilobar, para detectar el punto de fusión de compuestos que presentan esta particularidad cuando se les somete a presión de varios kilobar, éste es el caso del  $\text{CCl}_4$  tetracloruro de carbono para detectar la movilidad de una esfera de acero bajo la acción de un campo magnético externo). En el caso particular que nos ocupa se estudia la viscosidad de soluciones binarias y líquidos puros a presión atmosférica y a temperaturas sobre el ambiente.

#### 1.1.-DESCRIPCION DEL CIRCUITO ELECTRONICO.

La figura 1 corresponde al diagrama del circuito electrónico del viscosímetro compuesto de las siguientes secciones de izquierda a derecha:

- a) Oscilador tipo Colpitts.
- b) Circuito tanque.
- c) Amplificador final.

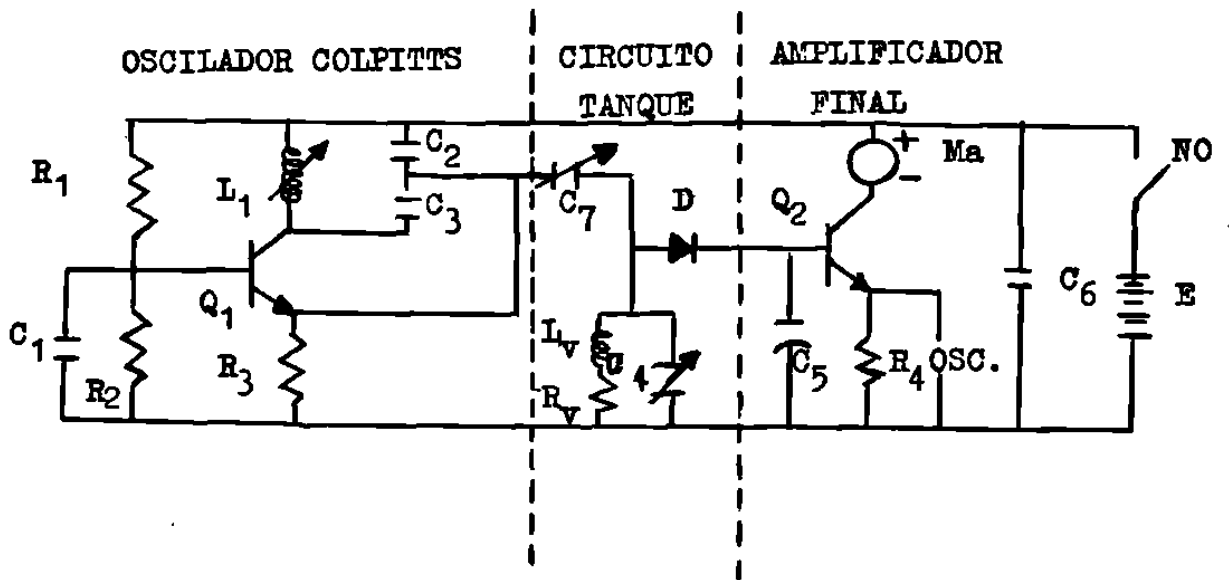


FIGURA 1. CIRCUITO DEL VISCOSIMETRO

a) OSCILADOR TIPO COLPITTS.

Cualquier circuito activo capaz de amplificar una señal, de forma que la potencia de salida sea mayor que la potencia de entrada, puede convertirse en un oscilador estable, ésto se logra si la cantidad necesaria y suficiente de señal de salida se retroalimenta en la debida fase a la señal de entrada. En nuestro caso la retroalimentación es llevada al transistor  $Q_1$  a través del circuito formado por  $L_1$ ,  $C_2$  y  $C_3$  constituyendo un oscilador del tipo Colpitts.

La condición para que la oscilación sea estable se conoce como el criterio de Barkhausen y se expresa como una relación entre  $L_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  y los parámetros internos del transistor  $Q_1$  y  $L_1$  es una inductancia variable que permite cambiar la frecuencia de oscilación manteniendo la estabilidad.

b) CIRCUITO TANQUE.

La señal producida por el oscilador es alimentada a través del condensador variable  $C_7$  a un circuito formado por las bobinas del viscosímetro que tienen una inductancia  $L_v$  y una resistencia  $R_v$  con otro condensador variable  $C_4$  en paralelo con las bobinas.-

El circuito descrito recibe el nombre de circuito tanque. Este circuito puede sintonizarse para un valor dado de la frecuencia de oscilación variando el condensador  $C_4$ , ésto último hace que el circuito tenga una impedancia puramente resistiva -resonancia- y produzca la mayor caída de voltaje posible entre sus terminales. Este

voltage es rectificado por el diodo D y alimentado al amplificador final.

### c) AMPLIFICADOR FINAL.

El circuito formado por el transistor  $Q_2$ , recibe del diodo D la señal de las terminales del circuito — tanque ya rectificada y la amplifica de tal forma que el voltage a través de la resistencia  $R_4$  sea del orden de un milivolt para efectuar las mediciones en el osciloscopio.

Para disponer el circuito para hacer mediciones se colocan en su lugar las bobinas sobre la cámara del — fluido y se varía  $L_1$ ,  $C_7$  y  $C_4$  para lograr la combinación que resulte en la mayor señal en el miliamperímetro  $Ma$ , — con ésto se logra la mejor sintonización del circuito tan que durante las mediciones, al aproximarse la esfera de — acero a cualquiera de las bobinas del viscosímetro, debido al cambio brusco de permeabilidad magnética, hace que varíe considerablemente su inductancia  $L_v$  y por consi— guiente saca de sintonía al circuito tanque disminuyendo la corriente en el miliamperímetro  $Ma$  generando un volta— ge en forma de pico a través de la resistencia  $R_4$  de la — cual se saca la señal.

Todo el circuito está alimentado por una fuente de voltage  $E$ , a través de un contacto de dos polos..

### 1.2.-DIMENSIONES DEL CIRCUITO IMPRESO.

Las dimensiones del circuito impreso se obtie— nen a partir de las dimensiones de los elementos emplea— dos en el circuito, luego se efectúa un borrador de la — distribución del circuito, colocando las entradas y sali—

das al igual que cualquier terminal que sea necesaria. -- Disponiéndose los zócalos de las válvulas y los elementos que unen o vinculan las distintas etapas entre sí (transformadores de acoplamiento o los condensadores y resistencias). Por regla general se hace necesario rediseñar los materiales varias veces, para seleccionar la mejor combinación posible.

Una vez terminado éste borrador, se dibuja en papel pasante, si el circuito va a ser reproducido por -- procedimiento fotográfico, es indispensable contar con un dibujo bien hecho en blanco y negro. El espesor de las -- líneas conductoras está en el rango 1/16-3/16 de pulgada, porque en el proceso de rebaje final, es difícil de mantener espesores de 1/32 de pulgada.

#### a) PROCESO FOTOGRAFICO.

En las casas comerciales del ramo se encargan -- del servicio de procesamiento e impresión de esta película de 35 mm., o uno mismo puede procesarlas en la oscuridad a 20°C (temperatura ambiente) agitando a intervalos -- de 30 segundos durante 8 minutos en el revelador, una buena exposición se enegrese a los 30 segundos, en seguida -- se enjuaga con agua y finalmente se pasa al fijador.

Una vez obtenida la fotografía se imprime a la -- lámina metálica recubierta con una capa protectora.

Este procedimiento consiste en colocar algún material fotosensible sobre la superficie metálica, en estas condiciones esta superficie debe de exponerse a la luz, en seguida se revela por el método convencional. El recubri--

miento es una capa homogénea de Kodak (photo-resist) que contiene eter monometílico del acetato de etilen glicol.

b) RECUBRIMIENTO FOTOSENSIBLE.

Este recubrimiento fotosensible altera su solubilidad después de haberse expuesto a la radiación de una lámpara de mercurio con haluros de sodio, escandio y torio. Luego del proceso de revelación, la parte de la capa protectora que se expone a la luz se endurece, mientras que la parte que ha sido afectada por la radiación, se disuelve en un lavado con xilol que deja la superficie del metal que forma la capa que sirve de base.

c) PROCESO DE REBAJE.

El paso final del proceso consiste en corroer hasta rebajar completamente el metal con ácido crómico o cloruro férrico.

Si este material a de dar buenos resultados, se tiene que observar algunas precauciones, en primer lugar, todo aquello que esté en contacto con la capa protectora después de haberla sensibilizado, deberá estar seco.

El recubrimiento tiene la propiedad de endurecerse al contacto con el agua, como condición fundamental. Además se tiene que mantener la substancia fotoprotectora en luz muy tenue.

Si bien es cierto que no requiere de cuarto oscuro, la luz tiene la tendencia de reducir la actividad.

Antes de sensibilizarlo se tiene que limpiar la capa de cobre con polvo para limpiar metales, del tipo — que se emplea normalmente en todas las cocinas.

Luego de que la chapa de cobre está perfectamente limpia, se tiene que tomar por los bordes o bien, por medio de un alambre enganchado en un agujero que se practica en el borde de la lámina.

El aceite o las huellas digitales provocan manchas de apariencia granulosa. Después de estar limpia la lámina, debe de seguir un lavado con agua caliente, finalmente se seca con aire.

Se coloca el material fotoprotector en un recipiente de plástico o vidrio y se sumerge en él la lámina con la capa de metal hacia arriba, para garantizar que sobre la superficie de la misma se distribuya una capa uniforme de dicho material. En seguida, se coloca ésta lámina de tal forma que esté sujeta por un borde lateral, no diagonalmente como en el secado de películas negativas, para evitar que la capa protectora pueda formar protuberancias a través de la superficie de la lámina.

Esta lámina sensibilizada se deja secar en un recinto libre de polvo. El tiempo que dura el secado es aproximadamente una hora, sin necesidad de aplicarle calor.

El procedimiento que se utilizó para corroer la parte de la capa de cobre no endurecido es muy simple, — una solución de cloruro férrico se emplea para corroer estas zonas.

Al manipular este compuesto se usan guantes de—

hule, pues es sumamente corrosiva.

El cloruro férrico viene generalmente en forma de terrones, se prepara una solución, se disuelven 180 -- gramos de cloruro férrico en 500 ml. de agua.

Si se aumenta la concentración o se calienta la solución durante el proceso de corrosión se acelera la velocidad del proceso.

El empleo de cloruro férrico se justifica, porque ofrece uniformidad en la corrosión, ya sea en cantidades muy reducidas, como en trabajos de gran escala, además se puede conseguir fácilmente en el mercado.

El cloruro férrico no desprende vapores, una -- gran ventaja que presenta este compuesto es que cada kilogramo de solución al 43% en peso disuelve 40 gr. de cobre.

A medida que el cloruro férrico disuelve más cobre, la acción corrosiva se va haciendo más lenta.

La temperatura de la acción corrosiva es un factor importante en la velocidad del proceso.

El material que se quiere rebajar se coloca en un recipiente, se le vuelca encima el corrosivo y se le -- deja en contacto con el material hasta que el proceso de rebaje ha terminado.

Después del rebaje, se quita la emulsión protectora con agua y se le seca con aire.



La placa en estas condiciones está lista para las operaciones del proceso, tales como perforarla, soldarla y montar en ella los materiales.

#### d) PREPARACION DE LA NEGATIVA.

Mediante el método que se describe a continuación se realiza una negativa y se expone a la luz y unida a la lámina sensibilizada, se emplea una lámpara ultravioleta de mercurio (de alta presión), para obtener mejores resultados, sino se tiene a la mano ésta lámpara se emplea una de las que utilizan los aficionados a la cinematografía.

Para obtener resultados satisfactorios conviene emplear las lámparas ultravioletas que se fabrican con este propósito.

El tiempo de exposición se determina experimentalmente, la imagen expuesta se revela de inmediato en solución reveladora especial para el material fotoprotector empleado.

El tiempo de revelado es de aproximadamente 3 minutos. Se agita continuamente el recipiente durante el revelado. Otra peculiaridad de este proceso es que la imagen revelada no se muestra bastante clara, aún cuando el revelador disuelva del todo la parte de la emulsión fotoprotectora que no ha sido endurecida por la radiación ultravioleta, aunque no es necesario ver la imagen, un procedimiento útil para hacerla aparecer es emplear colorantes para fotoprotector.

Otro método comunmente empleado es el de una ca  
pa protectora fotosensible, para quienes no tienen tiempo  
o comodidades para preparar sus propios sensibilizadores,  
en el comercio se encuentran ya preparados.

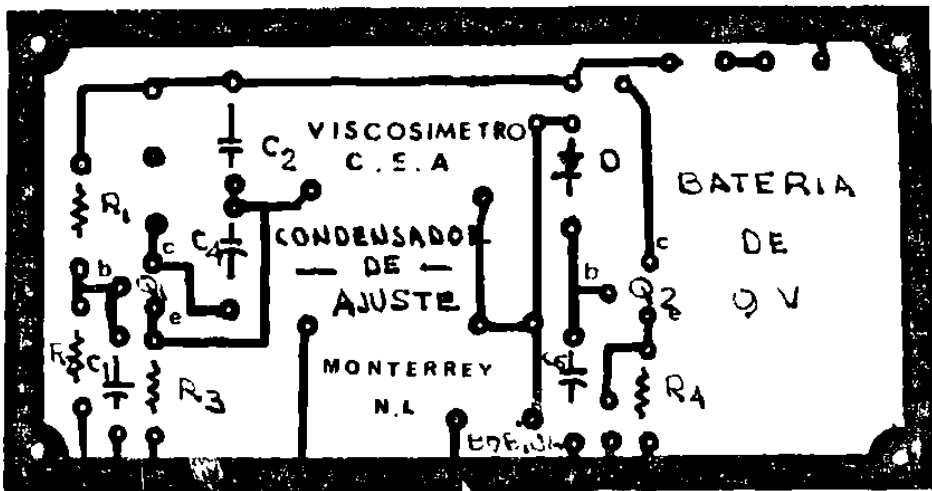


FIGURA 2.- PLACA DEL CIRCUITO IMPRESO.

1.3.-LISTA DE PARTES DEL CIRCUITO DEL VISCOSIMETRO.

- 1.- CHASIS.
- 2.- CARATULA DE ALUMINIO FOTO-GRABADA.
- 3.- BASE DE ALUMINIO.
- 4.- PLACA DE RESINA FENOLICA.
- 5.- CLAVIJA "SALIDA".
- 6.- CLAVIJA "BOBINA".
- 7.- TRANSISTORES Q<sub>1</sub> y Q<sub>2</sub>: EM4356.
- 8.- CONDENSADORES C<sub>1</sub> y C<sub>5</sub> 47 MM.
- 9.- RESISTENCIAS R<sub>1</sub> y R<sub>3</sub> 10 K.
- 10.- RESISTENCIA R<sub>2</sub> 1 K.
- 11.- CONDENSADOR C<sub>3</sub> 100 MM.
- 12.- CONDENSADOR C<sub>2</sub> 1000 MM.
- 13.- CONDENSADOR DE AJUSTE C<sub>4</sub> 2-15 MM.
- 14.- DIODO D OA81.
- 15.- BATERIA E 9V CD.
- 16.- INTERRUPTOR.
- 17.- MILIAMPERIMETRO MA 0-1 MA.
- 18.- DOS TRAMOS DE CABLE COAXIAL.

1.4.-TECNICA EMPLEADA EN EL FOTOGRAFADO DE LA CARATULA.

Debe de observarse estrictamente las siguientes instrucciones:

- 1.- Se corta la placa con un exceso de margen de 10 a 15 milímetros por lado.
- 2.- Se limpia con agua y lija de agua del # 600. -
- 3.- Se lava con hidróxido de sodio al 10% durante 5 minutos.
- 4.- Se vuelve a lavar y se lija nuevamente.
- 5.- Se ataca de nuevo con hidróxido de sodio al 10%.

6.- Se vuelve a lavar con agua.

7 - Se anodiza (se emplea como cátodo una placa de plomo y como ánodo la misma placa en la cual se imprime el fotograbado, además se emplea una solución de ácido sulfúrico al 10% como solución electrolítica, se hace burbujear).

Se le pasa una corriente de 15 volts y se controla la temperatura del baño a 15°C, ésto se logra por medio de hielo.

8.- Se enjuaga la placa.

9.- Se saca y se vuelve a secar con aire.

10.- Se expone directamente a la flama de un mechero Bunsen.

11.- Se deja enfriar.

12.- Se aplica una película delgada de metal etch-resist de Kodak. Esta solución se diluye con xilol en una relación (1:1).

13.-El vaciado de esta solución diluida se realiza en un cuarto oscuro, la placa se coloca en una centrífuga y la solución se agrega del centro hacia la periferia, se emplea un ventilador para garantizar una película homogénea.

14.- Se pasa al horno a una temperatura de 60°C durante 5 minutos.

15.- Se prensa la superficie sensible de la placa con el dibujo que se desea imprimir.

16.- Se expone a la radiación de una lámpara de mercurio de alta presión, con haluros de sodio, escandio y torio, durante tres minutos, cuando la lámpara alcanza su máxima intensidad, para esto se tiene que esperar ocho minutos aproximadamente.

17.- Se revela, empleando xilol como revelador.

18.- Se lava con agua.

19.- Se seca con aire.

20.- Se lleva la placa al horno a una temperatura no menor de 120°C.

21.- Se anodiza por un tiempo de dos horas.

22.- Finalmente se emplean colorantes para - -- (photo-resist) Kodak.

#### 1.5.-SINCRONIZADOR DEL DISPARO.

El sincronizador de disparo se diseñó y construyó de tal forma que alimente al electroimán y sincronice el disparo del barrido del osciloscopio con el instante en que inicia su caída la esfera a través de la cámara del fluido.

La fotografía siguiente muestra el conjunto de aparatos que componen el viscosímetro.



FOTOGRAFIA 1. VISTA DEL VISCOSIMETRO COMPLETO.

La sección de alimentación destinada a proporcionar corriente rectificada de onda completa al electroimán se logra a partir de la corriente alterna de la red de distribución pública de suministro.

a) LISTA DE PARTES :

- 1.- CLAVIJA.
- 2.- TRANSFORMADOR.
- 3.- CUATRO DIODOS RS600.
- 4.- INTERRUPTOR DE PASO.
- 5.- LAMPARA PILOTO.
- 6.- CHASIS.
- 7.- DOS TRAMOS DE 11/2 MT DE CABLE DEL # 14
- 8.- UN TRAMO DE 1 MT. DE CABLE del # 16.

1.6.- CAMARA DEL FLUIDO.

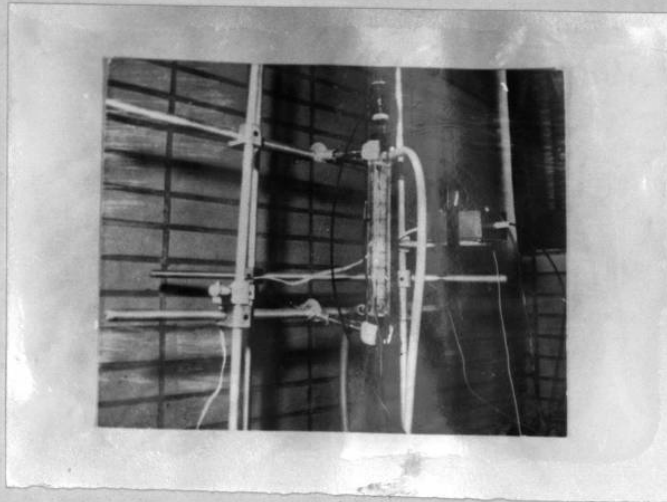
I N T R O D U C C I O N :

Se diseñó la cámara del viscosímetro buscando - que pudiera emplearse tanto para líquidos de baja como de alta viscosidad, además está provista de una chaqueta de agua circulante para el control de la temperatura.

a) DESCRIPCION DE LA CAMARA DEL FLUIDO.

La fotografía 2 muestra la cámara del fluido, - que consta de las siguientes partes:

- 1.- Depósito de fluido.
- 2.- Chaqueta del agua circulante para control - de la temperatura.



FOTOGRAFIA 2.-VISTA DE LA CAMARA DEL FLUIDO.

El depósito está construido por un tubo de vidrio pyrex de 10 mm. de diámetro interno por 290 mm. de longitud, el cual tiene nueve ranuras espaciadas regularmente en la superficie exterior del tubo.

En estas ranuras se fijan las bobinas del circuito tanque. En el extremo superior del tubo se coloca un electroimán, éste está provisto de un asiento cónico, de tal manera que la esfera se centre antes de soltarse.

El extremo inferior se coloca simplemente un tapón de teflón ajustado al diámetro interno del tubo:

Se requieren unicamente dos conexiones eléctricas, una de estas terminales se saca por el extremo superior y la otra por el extremo inferior.

La chaqueta de agua circulante para control de la temperatura está constituida por el espacio anular formado por el depósito del fluido y un tubo de vidrio pyrex cuyas dimensiones son 22 mm. de diámetro interno por 240 mm. de largo. Este tubo se fija al depósito por medio de dos tapones de hule.

#### b) TECNICA EMPLEADA EN SU CONSTRUCCION.

La primera cámara que se diseñó, es análoga a la descrita anteriormente, pero lo interesante surge al emplear una resina epoxi la cual se utiliza como relleno en el espacio anular formado por el depósito y el tubo exterior.

Esto fija en forma rígida las bobinas del viscosímetro pero no provee del espacio necesario para circular agua para el control de la temperatura, que se observó esencialmente importante para la consistencia de los valores medidos experimentalmente.

Sin embargo fué instructivo el trabajo desarrollado con éstas resinas y por lo tanto lo describiremos.

El nombre de esta resina en el mercado es ARALDIT D, que es una resina epoxi sin disolvente que endurece con la adición de cualquiera de los endurecedores que a continuación se indican: HY 951, HY 956 y al HY 960.

Sus propiedades tanto mecánicas como eléctricas y adhesivas, son excelentes, ésto nos motivó para indicar nos su aplicación en la colada, además, sus moldeados pre



sentan una buena característica debida a su transparencia y a su resistencia al envejecimiento, permiten una fácil-mecanización y conservan una buena estabilidad dimensional no teniendo prácticamente contracciones internas.

Con el endurecedor HY 951 o el HY 956, se obtienen mezclas con características similares, es poco más rápida su reacción con el endurecedor HY 951, si bien el HY 956 por su especial naturaleza, provoca una reacción exotérmica más débil y por lo tanto menor contracción.

El endurecedor HY 960, dá una mezcla de propiedades similares, pero con una reacción más lenta y un tiempo de estabilización más largo. Es recomendable endurecer a 40-50°C.

Con endurecedores del tipo HY 842, HY 843, HY 845 y HY 846, se obtienen moldes flexibles. Estas mezclas son especialmente útiles para el encapsulado eléctrico y electrónico.

Para el empleo correcto de Araldit D, se siguen las siguientes instrucciones:

- a) Dosificación y mezcla íntima de los componentes.
- b) No debe de colarse masas superiores a los 500 grs.
- c) Adecuada preparación de piezas a colar.
- d) Endurecimiento correcto en función del tiempo

y temperatura.

e) Adición de cargas de cuarzo o sílice, cuando se crea conveniente reducir la reacción exotérmica y mejorar su coeficiente de estabilidad.

LAS RELACIONES DE LAS MEZCLAS SON LAS SIGUIENTES:

MEZCLA DE LA  
RESINA CON LOS  
ENDURECEDORES.

PARTES POR PESO.

	100	100	100	100	100	100	100
ARALDIT	100	100	100	100	100	100	100
ENDURECEDOR HY 951	8-10	-	-	-	-	-	-
ENDURECEDOR HY 956	-	1820	-	-	-	-	-
ENDURECEDOR HY 960	-	-	8-10	-	-	-	-
ENDURECEDOR HY 842	-	-	-	40	-	-	-
ENDURECEDOR HY 843	-	-	-	-	55	-	-
ENDURECEDOR HY 845	-	-	-	-	-	45	-
ENDURECEDOR HY 846	-	-	-	-	-	-	45
CARGA HCB (HARINA DE CUARZO)	100-150	100-150	100-150	100-150	100-150	100-150	100-150

Se recomienda calentar la resina a 60-80°C antes de adicionar las cargas minerales, se deja enfriar y se añade el endurecedor posteriormente.

Todas estas mezclas pueden ser coloreadas mediante pastas colorantes de la serie: ARALDIT DWOI a ARALDIT DWO10.

El tiempo de empleo depende de la naturaleza del endurecedor y de la temperatura.

Influencia de las cargas, la incorporación de - cargas tales como la harina de cuarzo, harina de pizarra, porcelana triturada, caolín, etc., tiene como misión:

- 1.-Limitar la reacción exotérmica.
- 2.-Reducir el coeficiente de dilatación.
- 3.-Evitar la formación de fisuras debidas a --- tensiones internas.
- 4.-Mejorar la conductividad eléctrica.
- 5.-Disminuir el costo de la mezcla.

Es conveniente desgasificar la masa mediante va cío con el fin de obtener buenas piezas coladas.

## II.-DESCRIPCION Y MODO DE EMPLEO DEL VISCOSIMETRO.

### 1.-DESCRIPCION:

El viscosímetro está constituido por las siguientes partes:

1.1.-Cámara del fluido.

1.2.-Baño circulador y controlador de temperatura.

1.3.-Circuito del viscosímetro.

1.4.-Sincronizador del disparo.

1.5.-Osciloscopio.

Los componentes en su mayoría aparecen con sus respectivos mandos e indicadores.

#### 1.1.-CAMARA DEL FLUIDO.

Respecto de la descripción y funcionamiento de la cámara del fluido, éstos quedaron debidamente establecidos en el capítulo precedente.

#### 1.2.-BAÑO CIRCULADOR DE AGUA Y CONTROLADOR DE LA TEMPERATURA.

Este instrumento posee un termoregulador construido con serpentines de calentamiento con relevador electrónico y un supresor de interferencias.

CAPITULO SEGUNDO.

"DESCRIPCION Y MODO DE EMPLEO DEL VISCOSIMETRO"

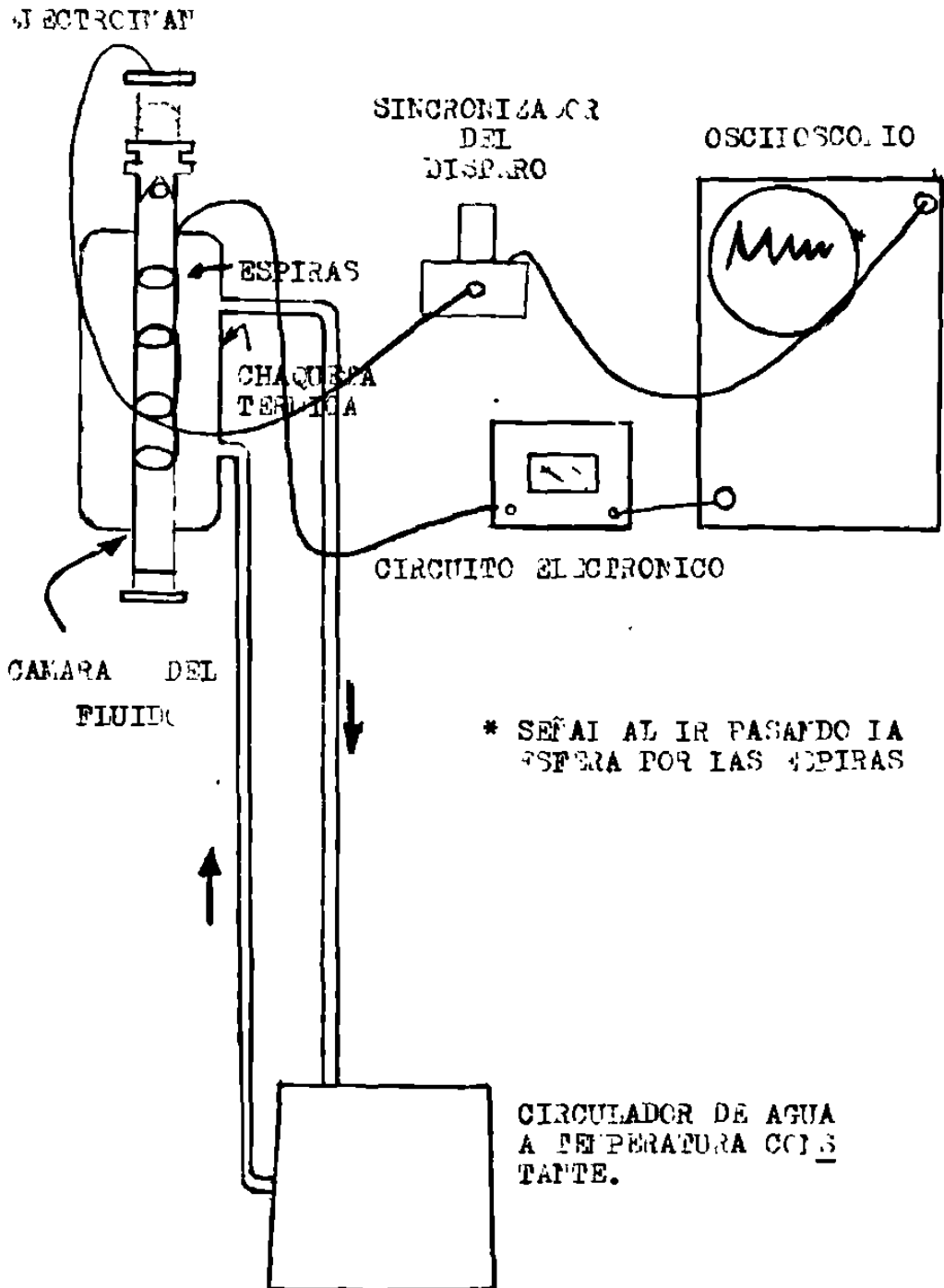


DIAGRAMA I. VISCOSIMETRO

La temperatura preseleccionada del agua circulante se controla en el interior del instrumento y la recircula del depósito que también está ubicado en el interior, - al sistema en que se desea controlar la temperatura (cámara del fluido).

Este circulador está construido de acero inoxidable o materiales plásticos resistentes al calor y a la oxidación.

La bomba centrífuga está equipada de un enfriador de aire, el motor no requiere lubricación, éste opera sin ruido y vibración, opera con corriente de 115 volts - 50/60 ciclos.

Este modelo de circulador posee las siguientes características:

Marca HAAKE	Capacidad 3 litros.
Rango de temperatura	0°C a 100°C.
Capacidad calorífica	0-1000 watts.
Capacidad de la bomba:	
Gasto	10 lts./min.
Altura de la columna hidrostática	4.5 pies.
Dimensiones del circulador	10 1/4 x 4" x 7".

Las lámparas pilotos situadas en la vecindad al interruptor de encendido, una es de color rojo (a la izquierda) y la otra de color amarillo (a la derecha). Al encender el circulador ambos indicadores se encienden a la vez, una vez que la temperatura de trabajo deseada se alcanzó el indicador de color rojo parpadea (prende y se apaga),

inicialmente, terminando por apagarse.

Además de los elementos mencionados antes, el circulador está constituido por:

a) TERMOSTATO:

El termostato está colocado en la sección media-posterior de la cara superior del circulador, permite seleccionar la temperatura en el rango de 0-100°C. Esto se logra haciendo girar manualmente la terminal del termostato.

b) TERMOMETRO:

El termómetro se localiza en la sección anterior a la del termostato, permite comprobar la temperatura deseada e indicada en la escala del termostato.

c) PERILLA DE VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO:

La perilla colocada en la sección posterior de la llave de encendido, permite seleccionar la velocidad para alcanzar la temperatura deseada.

La escala del rango de 1-10, en la posición "1", la velocidad es extremadamente lenta mientras que en la posición "10" la velocidad es demasiado rápida.



### 1.3.-CIRCUITO DEL VISCOSIMETRO.

El medidor marcado "Miliamperímetro" colocado en la porción media de la cara anterior del chasis, nos indica cuando el circuito tanque está en sintonía.

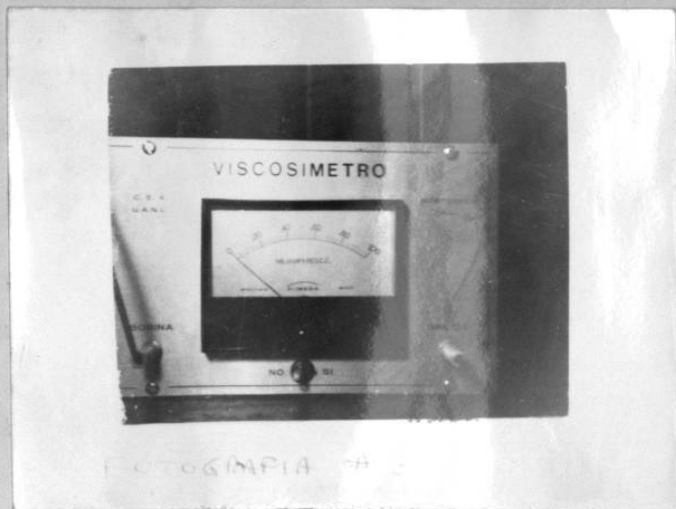
Cuando la aguja o el indicador permanece en cero nos indica que no se ha alcanzado dicha sintonía.

La llave en la parte inferior del medidor permite encender el instrumento en la posición "SI" o apagarlo en la posición "NO".

El enchufe colocado en el extremo inferior izquierdo bajo el letrero "BOBINA" corresponde a la conexión del circuito tanque con la entrada del circuito del viscosímetro.

El enchufe colocado bajo el letrero "SALIDA" en el extremo inferior derecho, corresponde a la conexión del circuito del viscosímetro con el osciloscopio.

Cuando no están conectadas tanto la "SALIDA" como la "ENTRADA", la entrada del miliamperímetro queda conectada a tierra internamente. Ver fotografía 3.



FOTOGRAFIA 3.-VISTA DE LA CARATULA DEL VISCOSIMETRO.

#### 1.4.-SINCRONIZADOR DEL DISPARO.

En el extremo superior de la cámara del -- flúido se coloca un electroimán, el cual está provisto de un asiento cónico, de tal manera que la esfera se centre\_ antes de soltarse. La sincronización del disparo está con\_ certado con el instante en que la esfera inicia su viaje\_ a través de la cámara del flúido.

Para hacer el disparo del barrido por medio de una señal externa a tiempos definidos se conecta el ca\_ ble del sincronizador del disparo a la entrada "TRIGGER - INPUT".

### 1.5.-OSCILOSCOPIO (TIPO 502, DOBLE HAZ) TEKTRONIX.

Este osciloscopio proporciona doble haz de barrido con amplio rango de velocidad, combinado con alta sensibilidad de entrada, éste instrumento tiene dos amplificadores diferenciales verticales idénticos, para cada uno de los haces.

El panel frontal de este osciloscopio se muestra en la figura 3.

El botón marcado "TRIGGERING LEVEL" situado en el extremo superior derecho del panel, permite seleccionar el voltage, según la forma de la onda, donde el disparo del barrido se inicia. También selecciona operaciones automáticas o recurrentes.

El botón marcado "TRIGGER SELECTOR" situado en la porción inferior del triggering level, permite determinar si el disparo se presenta en el máximo (pendiente positiva) o en el mínimo (pendiente negativa) de la onda de disparo.

También permite seleccionar corriente alterna "AC" o corriente directa "DC".

La llave marcada "MODE" situada a la derecha del trigger selector permite obtener un sólo barrido a través de la pantalla.

El botón marcado "TIME/CM" colocado abajo del trigger selector, permite seleccionar la velocidad de barrido.

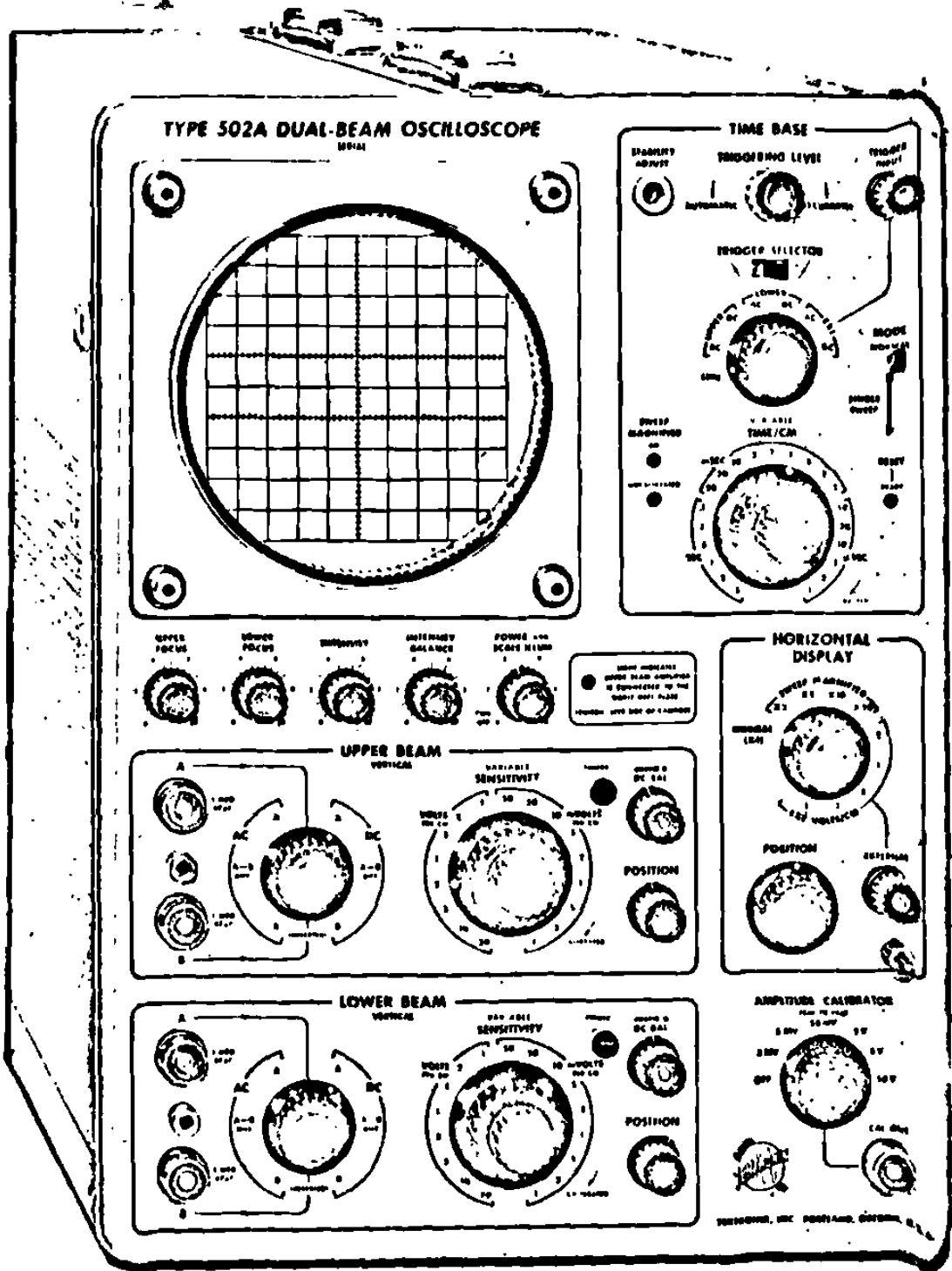


FIGURA 3. CONTROLES DEL OSCILOSCOPIO

El botón marcado "INTENSITY" permite controlar la intensidad del trazo de ambos haces, situado en la posición inferior de la pantalla.

Los botones marcados "FOCUS" situados a la izquierda del botón INTENSITY permiten enfocar el haz superior o inferior.

El botón marcado "POWER AND SCALE ILLUM" colocado a la derecha de la perilla INTENSITY BALANCE permite controlar la iluminación de la retícula de la pantalla, además enciende el instrumento en la posición "POWER" y se apaga en la posición "OFF".

El botón marcado "INTENSITY BALANCE" permite igualar la intensidad de ambos haces.

El botón marcado "INPUT SELECTOR" colocado a la derecha de los conectores o clavijas de entrada, permite seleccionar la señal deseada entre dos posibles, A y B, así como efectuar la resta de dichas señales. El botón marcado "SENSITIVITY" colocado a la derecha del INPUT SELECTOR, permite seleccionar la sensibilidad de los amplificadores verticales.

Los botones marcados "POSITION" colocados en el extremo inferior izquierdo del recuadro del canal superior y del canal inferior permiten seleccionar la posición horizontal del trazo.

Los botones marcados "DC BALANCE" colocados arriba de las perillas POSITION, permiten balancear los amplificadores verticales en los rangos de alta sensibilidad.

El botón marcado "AMPLITUDE CALIBRATOR" colocado en el extremo inferior izquierdo del panel frontal, permite seleccionar o controlar la amplitud del calibrador de onda cuadrada.

El botón marcado "HORIZONTAL DISPLAY" colocado abajo de la perilla Time/CM, permite seleccionar la amplificación horizontal de la señal 1, 2, 5, 10 ó 20 veces.

El botón marcado "POSITION" colocado abajo de la perilla HORIZONTAL DISPLAY permite variar el punto donde se inicia el barrido.

## 2.-MODO DE EMPLEO.

### 2.1.-CONEXIONES.

Conexión a la línea. El osciloscopio está provisto de una clavija o conector de tres patas con el objeto de que éste instrumento esté conectado a la línea de corriente alterna de la red de distribución pública de suministro y a tierra.

El resto de conexiones del circuito del viscosímetro y del sincronizador del disparo están provistos de clavija de dos patas. Se presenta el caso de que las clavijas (enchufes) disponibles de la red son de dos entradas por lo tanto se emplea un adaptador.

### 2.2.-CONEXIONES A LA CAMARA DEL VISCOSIMETRO.

Esta se hace al circuito tanque, la disposición de las bobinas como el número de éstas dependen de las necesidades particulares del proyecto de investigación, es indispensable el empleo de cable blindado para eliminar --

la interferencias externas.

Conexión al instrumento de registro osciloscopio, polígrafo, etc. Al igual que en el caso anterior se hace uso de cable blindado.

Se toma el blindaje como la conexión a tierra — del registrador y el cable central para la entrada de se--ñal del mismo. En cualquier caso es indispensable el empleo de registradores de alta sensibilidad.

Además de la conexión a tierra ya mencionada se hace necesaria una conexión a tierra extra para hacer desaparecer el trazo del barrido al emplear el disparo automá-tico.

Es necesario el empleo del cable blindado y evi-tar hasta donde sea posible el uso de alambre no blindado.

Se conecta el enchufe del cable procedente del - circuito tanque a la clavija del circuito del viscosímetro.

Para encender, se lleva el mando a la posición - "SI".

La conexión a los dispositivos de registro, se - enchufa la clavija del cable a la salida del circuito del- viscosímetro con la entrada al registrador.

El indicador del miliamperímetro debe de marcar- un valor diferente de "CERO".

Se ajusta la bobina de inductancia  $L_1$ . Este ajus

te se logra cambiando la posición del núcleo de la bobina.

Este núcleo aparece en la cara posterior del cha  
sis que contiene el circuito del viscosímetro.

Para obtener la sincronización del disparo se de  
ben de observar las instrucciones siguientes:

a) Encendido del osciloscopio. Se lleva el mando  
"POWER AND SCALE ILLUM" de la posición "OFF" a la posición  
"POWER".

El trazo del barrido que aparece en la pantalla  
puede graduarse a la intensidad deseada, para hacer ésto -  
el botón indicado se pone en cualquiera de las posiciones-  
2, 4, 6, 8 y 10.

b) Para obtener la sincronización se hace neces  
ario iniciar el barrido horizontal al tiempo correcto. En -  
el caso particular, el disparo está concertado con el ins-  
tante en que la esfera inicia su viaje a través de la cáma  
ra del fluido.

Esto se logra de manera que el trazo del barrido  
se inicie al caer la esfera.

Para disparar el barrido el mando del "TRIGGER -  
SELECTOR" se lleva a la posición "AC".

c) Para hacer el disparo del barrido por medio -  
de una señal externa a tiempos definidos, se conecta el ca  
ble del sincronizador del disparo externo a la clavija - -  
"TRIGGER INPUT".



Esta señal externa introduce desventajas definidas al introducir la configuración de onda del voltage de la corriente.

No obstante, con el disparo externo se obtienen algunas ventajas. La señal de disparo generalmente permanece constante en amplitud y forma.

d) Para desaparecer el barrido en la pantalla se logra girando el botón "TRIGGERING LEVEL" además se emplea la conexión a tierra extra.

e) Para acoplar la corriente, se logra poniendo el botón "TRIGGER SELECTOR" en la posición "AC EXT". Este acoplamiento proporciona barridos estables.

f) Para amplificar la forma de la onda. Para extender una porción particular de la onda, se emplea el control de "POSICION" horizontal para fijar la porción deseada del oscilograma en la sección central de la pantalla, - para esto se gira el botón del desplazamiento horizontal, - hasta la amplificación deseada.

La porción del oscilograma en el centro de la pantalla puede amplificarse 2, 5, 10 ó 20 veces dependiendo de la posición seleccionada.

Al mismo tiempo el foco piloto (SWEEP MAGNIFIER ON) se enciende indicando con ésto que la porción del oscilograma se amplificó.

Con ésto la velocidad de barrido se amplifica. - Lo cual significa que en el tiempo por centímetro indicado

por el botón "TIME/CM" debe de dividirse por la amplificación para obtener el tiempo correcto.

Por ejemplo: si el botón del "TIME/CM" se fija - en 20 M<sup>3</sup> SEG/CM y la amplificación empleada es 20. El tiempo correcto por centímetro es 20 milisegundos dividido por 20, o sea, 1 milisegundo por centímetro.

g) Para controlar la intensidad de los trazos de los disparos, la perilla "INTENSITY BALANCE" se gira hasta la intensidad requerida.

h) Para el control de la iluminación de la pantalla se gira el botón marcado "POWER AND SCALE ILLUM" hasta obtener la iluminación requerida.

La retícula de la carátula puede hacerse desaparecer girando dicho botón en la dirección de las manecillas de reloj.

**CAPITULO TERCERO.**

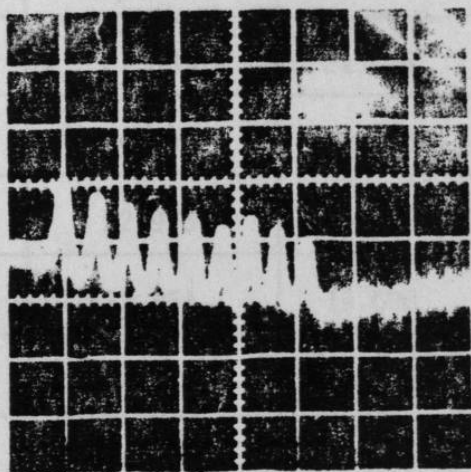
**" M E D I C I O N E S "**

### III.-MEDICIONES.

#### 1.-SOLUCIONES BINARIAS.

Se intentó obtener la dependencia de la viscosidad relativa con la concentración del soluto en soluciones poco viscosas. Se preparan soluciones acuosas 0.2, 0.4, -- 0.6, 0.8 y 1.0 M., de urea y tíourea, con el objeto de estudiar el comportamiento del peso molecular con la viscosidad, ya sea por cambio de grupo funcional o por sustituciones alquílicas.

A continuación se dan algunos resultados experimentales:



FOTOGRAFIA 4. -Oscilograma obtenido con urea 0.4 molal a temperatura de 30°C. Los nueve picos indican el paso de la esfera a través de las bobinas, la velocidad de barrido fué de 50 M-SEG./CM.

1.1.- ALGUNOS RESULTADOS:

TIO-UREA 0.2 M.

NUMERO DE ESPACIO	$\Delta L_{OSC.}^*$ (mm)	$\Delta T_{REAL} = \frac{\Delta L_{OSC.} \times 2.08}{v_t}^{**}$ (mseg)	$\Delta L_{REAL}^{***}$ (mm)	$v_t = \frac{\Delta L_{REAL}}{\Delta T_{REAL}}$ (m/seg.)
1	13.0	27.083	20.500	0.7577
2	13.0	27.083	20.125	0.7430
3	12.0	24.999	19.625	0.7850
4	13.0	27.083	21.675	0.8003
5	12.0	24.999	20.425	0.8170
6	11.0	22.916	20.000	0.8727
7	10.5	21.874	19.000	0.8685
8	11.0	22.916	20.325	0.8685

\*  $\Delta L_{OSC.}$  se obtiene del oscilograma.

\*\* 2.08 es el inverso de la velocidad de barrido en m/seg.

$\Delta T_{REAL}$  es el tiempo para pasar de una espira a la siguiente.

\*\*\*  $\Delta L_{REAL}$  es la distancia entre dos espiras consecutivas.

TIO-UREA 0.4 M.

NUMERO DE ESPACIO	$\Delta L_{OSC.}$ (mm.)	$\Delta T_{REAL} =$ $\Delta L_{OSC.} \times 2.08$ (mseg.)	$\Delta L_{REAL}$ (mm.)	$v_t = \frac{\Delta L_{REAL}}{\Delta T_{REAL}}$ (m/seg.)
1	13.1	27.292	20.500	0.7511
2	13.0	27.083	20.125	0.7430
3	12.5	26.042	19.625	0.7536
4	13.0	27.083	21.675	0.8003
5	11.8	24.583	20.425	0.8308
6	11.8	24.583	20.000	0.8136
7	11.0	22.917	19.000	0.8290
8	11.0	22.917	20.325	0.8869

TIO-URTA 0.6 M.

NUMERO DE ESPACIO	$\Delta L_{OSC.}$ (mm.)	$\Delta T_{REAL} = \Delta L_0 \cdot$ $\times 2.08$ (mseg.)	$\Delta L_{REAL}$ (mm.)	$v_t = \frac{\Delta L_{REAL}}{\Delta T_{REAL}}$ (m/seg.)
1	14.2	29.583	20.500	0.6929
2	13.2	27.499	20.125	0.7318
3	12.4	25.833	19.625	0.7596
4	13.7	28.541	21.675	0.7594
5	11.8	24.583	20.425	0.8308
6	12.0	24.999	20.000	0.8000
7	10.2	21.249	19.000	0.8941

TIO-UREA 0.8 M.

NUMERO DE ESPACIO	$\Delta L_{OSC.}$ (mm.)	$\Delta T_{REAL} = \Delta L_{O.}$ $\times 2.08$ (mseg.)	$\Delta L_{REAL}$ (mm.)	$v_t = \frac{\Delta L_{REAL}}{\Delta T_{REAL}}$ (m/seg.)
1	13.0	27.083	20.500	0.7569
2	13.5	28.124	20.125	0.7115
3	12.6	26.249	19.625	0.7476
4	14.8	30.833	21.675	0.7029
5	11.5	23.958	20.425	0.8525
6	10.5	21.875	20.000	0.9143
7	12.5	26.042	19.000	0.7296



TIO-UREA 1.0 M.

NUMERO DE ESPACIO	$\Delta L_{OSC.}$ (mm.)	$\Delta T_{REAL} = \Delta L_0$ $\times 2.08$ (mseg.)	$\Delta L_{REAL}$ (mm.)	$v_t = \frac{\Delta L_{REAL}}{\Delta T_{REAL}}$ (m/seg.)
1	14.2	29.583	20.500	0.6929
2	12.8	26.667	20.125	0.7547
3	13.0	27.083	19.625	0.7246
4	13.5	28.125	21.675	0.7707
5	12.0	24.999	20.425	0.8170
6	12.0	24.999	20.000	0.8000
7	11.0	22.916	19.000	0.8290

UREA 0.2 M.

NUMERO DE ESPACIO	$\Delta L_{OSC.}$ (mm.)	$\Delta T_{REAL} = \Delta L_0 \times 1.25$ * (mseg.)	$\Delta L_{REAL}$ (mm.)	$v_t = \frac{\Delta L_{REAL}}{\Delta T_{REAL}}$ (m/seg.)
1	23.5	29.375	20.500	0.6978
2	21.0	26.250	20.125	0.7667
3	20.9	26.125	19.625	0.7512
4	23.6	29.500	21.675	0.7347
5	20.0	25.000	20.425	0.8170
6	19.8	24.750	20.000	0.8081
7	16.1	20.125	19.000	0.9441
8	21.8	27.250	20.325	

\* Ahora se cambió la velocidad de barrido a  $(1/1.25)$  m/seg. es igual a .8 m/seg.

UREA 0.4 M.

NUMERO DE ESPACIO	$\Delta L_{OSC.}$ (mm.)	$\Delta T_{REAL} = \Delta L_0.$ $\times 1.25$ (mseg.)	$\Delta L_{REAL}$ (mm.)	$v_t = \frac{\Delta L_{REAL}}{\Delta T_{REAL}}$ (m/seg.)
1	22.8	28.500	20.500	0.7192
2	23.0	28.750	20.250	0.7000
3	19.0	23.750	19.625	0.8263
4	21.0	26.250	21.675	0.8257
5	20.8	26.000	20.125	0.7856
6	18.5	23.125	20.000	0.8648
7	17.2	21.500	19.000	0.8837
8	19.0	23.750	20.325	

UREA 0.6 M.

NUMERO DE ESPACIO	$\Delta L_{OSC.}$ (mm.)	$\Delta T_{REAL} = \Delta L_{O.}$ $\times 1.25$ (mseg.)	$\Delta L_{REAL}$ (mm.)	$v_t = \frac{\Delta L_{REAL}}{\Delta T_{REAL}}$ (m/seg.)
1	23.5	29.375	20.500	0.6979
2	22.0	27.500	20.125	0.7318
3	20.5	25.625	19.625	0.7658
4	22.5	28.125	21.675	0.7706
5	20.0	25.000	20.425	0.8170
6	20.0	25.000	20.000	0.8000
7	17.2	21.500	19.000	0.8837
8	22.0	27.500	20.325	

UREA 0.8 M.

NUMERO DE ESPACIO	$\Delta L_{OSC.}$ (mm.)	$\Delta T_{REAL} = \Delta L_{O.}$ $\times 1.25$ (mseg.)	$\Delta L_{REAL}$ (mm.)	$v_t = \frac{\Delta L_{REAL}}{\Delta T_{REAL}}$ (m/seg.)
1	21.5	26.875	20.500	0.7627
2	22.0	27.500	20.125	0.7318
3	19.0	23.750	19.625	0.8263
4	22.0	27.500	21.675	0.7881
5	22.0	27.500	20.425	0.7427
6	18.0	22.500	20.000	0.8888
7	17.5	21.875	19.000	0.8685
8	18.0	22.500	20.325	

UREA 1.0 M.

NUMERO DE ESPACIO	$\Delta L_{OSC.}$ (mm.)	$\Delta T_{REAL} = \Delta L_{O.}$ x 1.25 (mseg.)	$\Delta L_{REAL}$ (mm.)	$v_t = \frac{\Delta L_{REAL}}{\Delta T_{REAL}}$ (m/seg.)
1	23.0	28.750	20.500	0.7130
2	21.0	26.250	20.125	0.7666
3	19.5	24.375	19.625	0.8051
4	22.0	27.500	21.675	0.7882
5	21.0	26.250	20.425	0.7781
6	21.0	26.250	20.000	0.7619
7	19.0	23.750	19.000	0.8000
8	22.0	27.500	20.325	0.8000

Al analizar éstos resultados se encontraron condiciones experimentales adversas.

Esto sucede cuando el movimiento de la esfera no se encuentra en la región de flujo laminar.

Cuando el número de Reynolds es mayor de 0.25 según Happel y Roberto Pfefer. (6).

El número de Reynolds para la urea 1.0 molal a 20°C es:

$$\frac{Dv\rho}{\eta} = 0.3175 \times 0.8 \times 1.017 / 1.005 = 0.257.$$

Según Badger y Bancharo (7), la Ley de Stokes no es válida para números de Reynolds mayores de 0.1.

El provecho de lo anterior fué dominar los aspectos experimentales del empleo del viscosímetro y el análisis de los resultados.

## 2.- LIQUIDOS PUROS:

Con la experiencia anterior, se intentó ahora obtener la dependencia de la viscosidad relativa con la temperatura de líquidos de alta viscosidad.

A continuación se dan algunos resultados experimentales:

GLICERINA 20°C

NUMERO DE ESPACIO.	$\Delta L_{OSC.}$ (mm.)	$\Delta T_{REAL} = \Delta L_{O.}$ $\times 0.322$ (seg.)	$\Delta L_{REAL}$ (mm.)	$V_t = \frac{\Delta L_{REAL}}{\Delta T_{REAL}}$ (m/seg.)
1	7.5	2.416	20.500	0.0084
2	6.0	1.933	20.125	0.0104
3	7.1	2.287	19.625	0.0086
4	6.5	2.094	21.675	0.0103
5	6.7	2.158	20.425	0.0095
6	6.8	2.191	20.000	0.0091
7	7.0	2.255	19.000	0.0084
8	7.5	2.416	20.325	0.0084

VELOCIDAD PROMEDIO = 0.0091 m/seg.

\* Ahora la velocidad de barrido fué de  $1/.322 = 3.106$  mm/seg.  
(ver págs. 66-67).



GLICERINA 25°C

NUMERO DE ESPACIO.	$\Delta L_{OSC.}$ (mm.)	$\Delta T_{REAL} = \Delta L_{O.}$ $\times 0.322$ (seg.)	$\Delta L_{REAL}$ (mm.)	$v_t = \frac{\Delta L_{REAL}}{\Delta T_{REAL}}$ (m/seg.)
1	4.5	1.449	20.500	0.0141
2	4.1	1.321	20.125	0.0152
3	3.9	1.256	19.625	0.0156
4	4.6	1.482	21.675	0.0146
5	4.5	1.449	20.425	0.0141
6	4.5	1.449	20.000	0.0138
7	4.0	1.288	19.000	0.0147
8	5.0	1.611	20.325	0.0126

VELOCIDAD PROMEDIO = 0.0143 m/seg.

GLICERINA 30°C

NUMERO DE ESPACIO	$\Delta L_{OSC.}$ (mm.)	$\Delta T_{REAL} = \Delta L_{O.}$ $\times 0.322$ (seg.)	$\Delta L_{REAL}$ (mm.)	$V_{\bar{t}} = \frac{\Delta L_{REAL}}{\Delta T_{REAL}}$ (m/seg.)
1	2.8	0.902	20.500	0.0227
2	3.0	0.967	20.125	0.0208
3	2.8	0.902	19.625	0.0217
4	2.8	0.902	21.675	0.0240
5	2.5	0.805	20.425	0.0253
6	2.5	0.805	20.000	0.0248
7	3.0	0.967	19.000	0.0196
8	4.0	1.289	20.325	0.0158

VELOCIDAD PROMEDIO = 0.0218 m/seg.

GLICERINA 35°C

NUMERO DE ESPACIO	$\Delta L_{OSC.}$ (mm.)	$\Delta T_{REAL} = \Delta T_0$ $\times 0.322$ (seg.)	$\Delta L_{REAL}$ (mm.)	$v_t = \frac{\Delta L_{REAL}}{\Delta T_{REAL}}$ (m/seg.)
1	3.0	0.967	20.500	0.0212
2	1.5	0.483	20.125	0.0416
3	1.5	0.483	19.625	0.0401
4	2.0	0.644	21.675	0.0336
5	2.0	0.644	20.425	0.0317
6	2.2	0.708	20.000	0.0282
7	2.0	0.644	19.000	0.0294
8	2.0	0.644	20.325	0.0315

VELOCIDAD PROMEDIO = 0.0322 m/seg.

### 3.- EFECTO DE LAS PAREDES (FACTOR DE CORRECCION).

Si el fluido está contenido en un cilindro, o de tal modo - que no pueda considerarse como una extensión infinita, el área proyectada de la partícula que se sedimenta hace disminuir el área de la sección transversal del recipiente, obligando a que el fluido se desplace con una velocidad mayor que si fuera infinitamente extenso, de esta -- acción resulta, como consecuencia, un aumento de la resistencia que ha ce disminuir la velocidad media. Para recipientes cilíndricos, los si guientes coeficientes semiempíricos permiten corregir la velocidad ter minal, teniendo en cuenta el llamado efecto de pared.

Otra manera de visualizar el mismo efecto, es darnos cuenta que es mucho más difícil para una esfera de 0.9 cms. de diámetro, caer a través de un fluido contenido en un tubo de 1.0 cms. de diámetro y - 100 cm. de longitud ya que el fluido será desplazado por la esfera.

Varias correcciones han sido propuestas (ver página 54), el cálculo del factor de corrección para nuestro caso en que el diámetro de la partícula es aproximadamente 5 mm y el diámetro interior de la cámara de fluido es de aproximadamente 10 mm y por lo tanto el cociente de esos valores es aproximadamente .5, requiere de la fórmula dada al fondo de la pag. 55; el resultado obtenido es:

$$K = .363$$

A continuación se muestran los cálculos de la viscosidad a partir de la velocidad terminal experimental, según la ecuación (ver -- pag. 55)

$$\eta = \frac{2 g a}{9 v_t} (\rho_s - \rho_e) K$$

$$\eta = \frac{2 \times 981 \times 0.252 \times 0.363}{9 \times 0.091} (7.759 - 1.310)$$

$$= 1413 \text{ centipoises (Glicerina a } 20^\circ\text{C)}$$

(reportado 1490 cp)

$$\eta = \frac{2 \times 981 \times 0.252 \times 0.363}{9 \times 0.143} (7.759 - 1.158)$$

$$= 917 \text{ centipoises (Glicerina a } 25^\circ\text{C)}$$

(reportado 954 cp)

$$\eta = \frac{2 \times 981 \times 0.252 \times 0.363}{9 \times 0.218} (7.759 - 1.255)$$

$$= 588 \text{ centipoises (Glicerina a } 30^\circ\text{C)}$$

(reportado 629 cp)

Para calcular la viscosidad a 35°C y 40°C tomamos la densidad de la glicerina a 30°C (por no tener a la mano los valores para 35°C y 40°C).

$$\eta = \frac{2 \times 981 \times 0.252}{9 \times 0.321} (7.759 - 1.255) (0.363)$$

$$= 399 \text{ centipoises (Glicerina a } 35^\circ\text{C)}$$

(Reportado )

$$\eta = \frac{2 \times 981 \times 0.025012}{9 \times 0.0411956} \quad (7.759 - 1.0256) (0.363)$$

= 312 centipoises (Glicerina a 40°C)  
(Reportado )

Estos resultados se grafican en las figuras # 4 y 5.

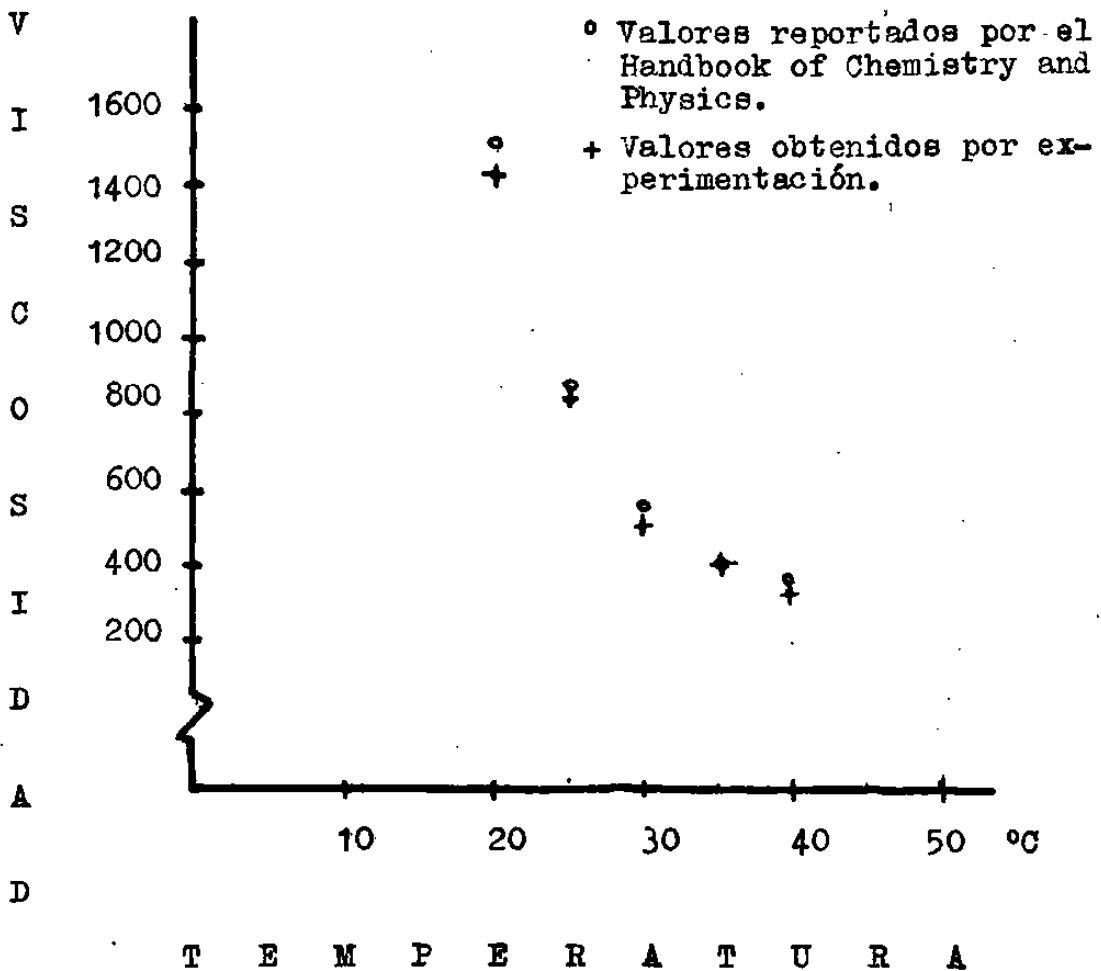


FIGURA 4. VALORES MEDIDOS Y REPORTADOS DE LA VISCOSIDAD.

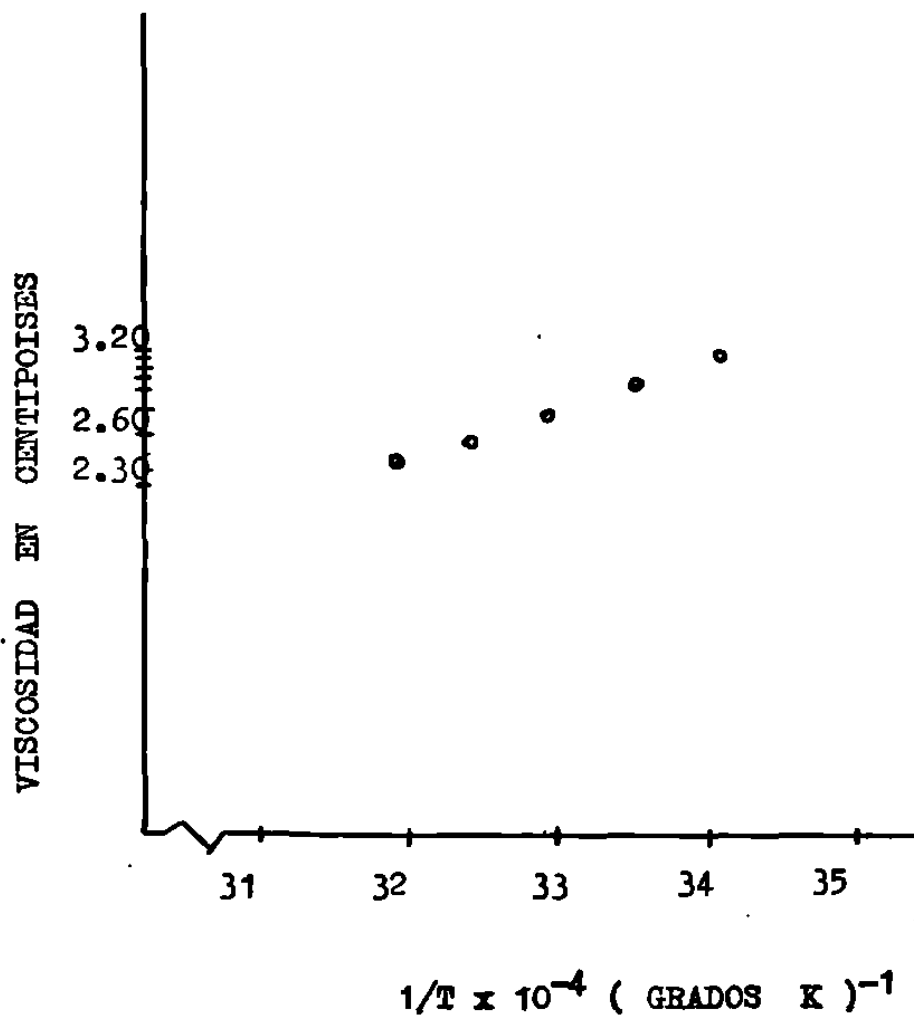


FIGURA 5. VISCOSIDAD CON LA TEMPERATURA.

4.-COMPORTAMIENTO DE PARTICULAS ESFERICAS EN UN FLUIDO VISCOSO.

El comportamiento de partículas esféricas en un fluido viscoso es de importancia fundamental en la solución de problemas de viscosidad.

Sin embargo el análisis matemático y observaciones experimentales son extremadamente difíciles cuando de seamos introducir las condiciones de frontera.

Estas complicaciones se presentan rápidamente en partículas que se mueven con un número de Reynolds mayor de 0.25.

Los términos de inercia en éstos casos no pueden despreciarse.

Los valores experimentales de las velocidades a las temperaturas deseadas se calcularon por la ecuación (1). Los experimentos realizados para el caso de la glicerina tienen un número de Reynolds menor de 0.25. El efecto de fuerzas de inercia se despreció.

El error promedio entre las velocidades calculadas y medidas muestran los efectos terminales y de inercia.

La velocidad de una esfera que cae a lo largo del eje de la columna fué medida por John Happel y Robert Pfeffer (6). Para líquidos de alta viscosidad, ésta determinación se efectuó a temperaturas ligeramente diferentes (entre 24° y 27°C).

La velocidad medida se hizo con esferas de diferente material y se encontró que son reproducibles, algunas de las propiedades más importantes de las esferas son:



MATERIAL :	COLOR :	DIAMETRO : (Pulgadas)	DENSIDAD : (gr./cc)
NYLON	BLANCO	0.250	1.1586
LUCITA	ROJO	0.234	1.1919
MARBELETA	NEGRO	0.241	1.3249

La relación del diámetro de la esfera al diámetro de la columna es de 0.1, para una esfera de 1/4 de pulgada que cae en una columna que tiene un diámetro de 5 11/32. Corrección por efecto de la pared cilíndrica (4).

La Ley de Stokes combinada con la de Faxen introduce un factor de corrección por efecto de frontera.

La velocidad experimental es:

$$V_{tc} = \frac{V_t}{K} = \frac{2a^2g}{9\eta} (\rho_s - \rho_a) \left[ 1 - 2.105 \frac{d}{D} \right]$$

DONDE :

$$K = \frac{1}{1 - 2.105 \frac{d}{D}} \quad (\text{FACTOR DE CORRECCION})$$

UNA MEJOR CORRECCION ES :

$$K_1 = \frac{1}{1 - 2.10433(d/D) + 2.08877(d/D)^3 - 6.94813(d/D)^5 - 1.372(d/D)^6 + 3.87(d/D)^8 - 4.19(d/D)^{10}}$$

CAPITULO CUARTO.

"ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS"

#### IV.-ANALISIS DE LOS RESULTADOS.

Cuando una esfera se desplaza en el interior de un fluido viscoso en reposo, se ejerce una fuerza hidrodinámica sobre la esfera (naturalmente, sucede lo mismo sobre un cuerpo de forma cualquiera, pero la fuerza sólo -- puede calcularse fácilmente en el caso de que aquel tenga forma esférica). Esta fuerza de arrastre está dada por:

$$F = 6\pi a \eta v$$

①

Esta relación fué deducida por primera vez por Sir George Stokes en 1845 y se denomina "Ley de Stokes".- Vamos a interpretarla brevemente aplicándola al caso de una esfera que cae dentro de un fluido viscoso. Si la esfera se abandona partiendo del reposo, la resistencia debida a la fuerza de viscosidad es nula al principio. Las otras fuerzas que actúan sobre la esfera son su peso y el empuje del fluido:

$$\text{PESO} = \frac{4}{3}\pi a^3 \rho_s g$$

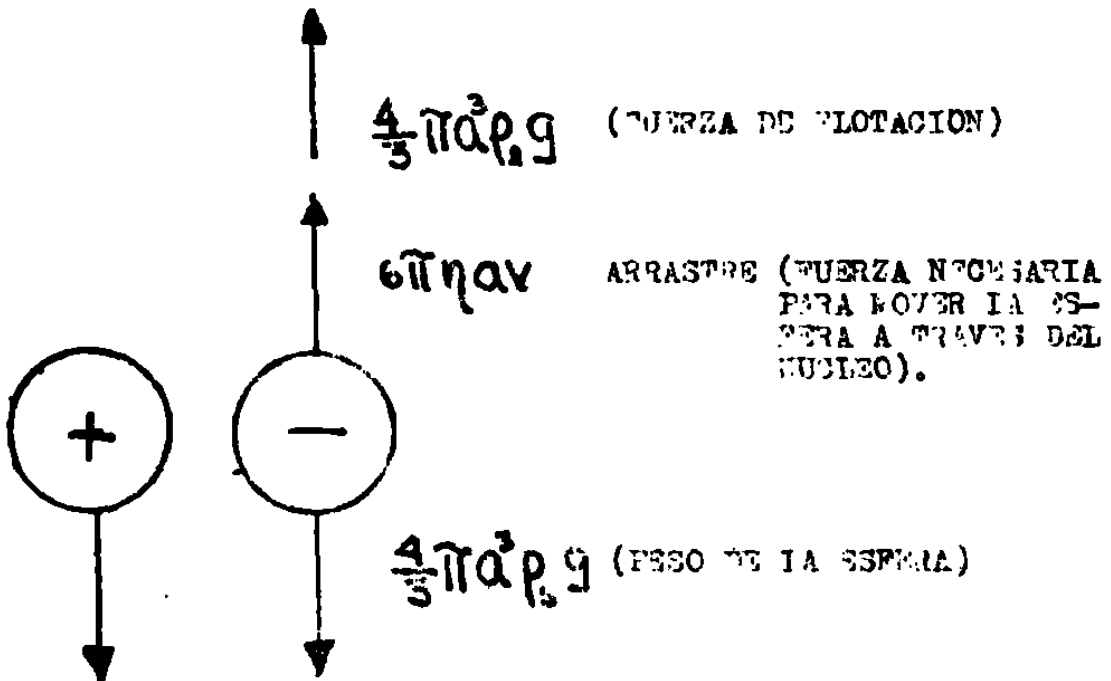
②

$$\text{EMPUJE o FLOTACION} = \frac{4}{3}\pi a^3 \rho_f g$$

③

Puesto que la fuerza resultante sobre la esfera es igual al producto de la masa por su aceleración, la esfera adquiere una velocidad dirigida hacia abajo y, por consiguiente experimenta una resistencia que puede calcularse por la Ley de Stokes puesto que la velocidad aumenta, la resistencia aumenta también en proporción directa, y se alcanzará con el tiempo una velocidad tal que la --

fuerza dirigida hacia abajo y la resistencia sean iguales. En este momento deja de aumentar su velocidad y se mueve con velocidad constante, llamada velocidad terminal. Esta velocidad puede calcularse escribiendo que la fuerza dirigida hacia abajo es igual a la resistencia, como se demuestra en el desarrollo matemático siguiente:



- DONDE:
- $V_t$  = VELOCIDAD TERMINAL DE LA ESFERA.
  - $\rho_1$  = DENSIDAD DE LA ESFERA.
  - $\rho_2$  = DENSIDAD DEL LIQUIDO.
  - $g$  = ACELERACION DE LA GRAVEDAD.
  - $a$  = RADIO DE LA ESFERA.

ENTONCES LA ECUACION DE MOVIMIENTO ES:

$$\frac{4}{3}\pi a^3 \rho_2 g - 6\pi\eta a v - \frac{4}{3}\pi a^3 \rho_1 g = \frac{4}{3}\pi a^3 \rho_1 \frac{dv}{dt}$$

(4)

DESPEJANDO DE ESTA ECUACION  $\frac{dv}{dt}$ ; TENEMOS:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\frac{4}{3}\pi a^3 \rho_s g - \frac{4}{3}\pi a^3 \rho_f g - 6\pi \eta a v}{\frac{4}{3}\pi a^3 \rho_s} = \frac{\frac{4}{3}\pi a^3 g (\rho_s - \rho_f) - 6\pi \eta a v}{\frac{4}{3}\pi a^3 \rho_s}$$

$$= \frac{\frac{4}{3}\pi a^3 g (\rho_s - \rho_f)}{\frac{4}{3}\pi a^3 \rho_s} - \frac{6\pi \eta a v}{\frac{4}{3}\pi a^3 \rho_s} = g \left( \frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_s} \right) - \frac{9}{2} \left( \frac{\eta}{a^2 \rho_s} \right) v \quad (5)$$

SEPARANDO VARIABLES TENEMOS:

$$\frac{dv}{-g \left( \frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_s} \right) + \frac{9}{2} \left( \frac{\eta}{a^2 \rho_s} \right) v} = - dt \quad (6)$$

E INTEGRANDO:

$$\int_0^v \frac{dv}{-g \left( \frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_s} \right) + \frac{9}{2} \left( \frac{\eta}{a^2 \rho_s} \right) v} = \int_0^t dt \quad (7)$$

$$\text{si } u = -g \left( \frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_s} \right) + \frac{9}{2} \left( \frac{\eta}{a^2 \rho_s} \right) v \therefore \quad (8)$$

$$du = \frac{g}{2} \left( \frac{\eta}{a^2 P_s} \right) \frac{dv}{dv} = \frac{g}{2} \left( \frac{\eta}{a^2 P_s} \right) \quad \textcircled{9}$$

$$\frac{1}{\frac{g}{2} \left( \frac{\eta}{a^2 P_s} \right)} \int_0^v \frac{\frac{g}{2} \left( \frac{\eta}{a^2 P_s} \right) du}{u} = \frac{1}{\frac{g}{2} \left( \frac{\eta}{a^2 P_s} \right)} \ln u \Big|_0^v$$

$$\frac{2}{g} \left( \frac{a^2 P_s}{\eta} \right) \ln \left[ -g \left( \frac{P_s - P_e}{P_s} \right) + \frac{g}{2} \left( \frac{\eta}{a^2 P_s} \right) v \right] \Big|_0^v =$$

$$\frac{2}{g} \left( \frac{a^2 P_s}{\eta} \right) \ln \left[ \left\{ -g \left( \frac{P_s - P_e}{P_s} \right) + \frac{g}{2} \left( \frac{\eta}{a^2 P_s} \right) v \right\} + g \left( \frac{P_s - P_e}{P_s} \right) \right]$$

$$-t = \frac{2}{g} \left( \frac{a^2 P_s}{\eta} \right) \ln \left\{ \frac{g \left( \frac{P_s - P_e}{P_s} \right) - \frac{g}{2} \left( \frac{\eta}{a^2 P_s} \right) v}{g \left( \frac{P_s - P_e}{P_s} \right)} \right\} =$$

$$= \frac{2}{g} \left( \frac{a^2 P_s}{\eta} \right) \ln \left\{ 1 - \frac{\frac{g}{2} \frac{\eta}{a^2} v}{g (P_s - P_e)} \right\} \quad \textcircled{10}$$

$$-\frac{g}{2} \left( \frac{\eta}{a^2 P_s} \right) t = \ln \left\{ 1 - \frac{\frac{g}{2} \frac{\eta}{a^2} v}{g (P_s - P_e)} \right\}$$

FORMANDO EL ANTILOGARITMO:

$$1 - \frac{g}{2} \frac{\eta}{\alpha^2 g (P_3 - P_2)} v = e^{-\frac{g}{2} \left( \frac{\eta}{\alpha^2 P_3} \right) t} \quad (11)$$

DESPEJANDO DE ESTA ULTIMA ECUACION  $v(t)$ ; TENEMOS:

$$-1 + \frac{g}{2} \frac{\eta}{\alpha^2 g (P_3 - P_2)} v = - e^{-\frac{g}{2} \left( \frac{\eta}{\alpha^2 P_3} \right) t}$$

$$\left( \frac{g}{2} \frac{\eta}{\alpha^2 g (P_3 - P_2)} \right) v = 1 - e^{-\frac{g}{2} \left( \frac{\eta}{\alpha^2 P_3} \right) t}$$

$$\therefore v(t) = \frac{2\alpha^2 g}{g\eta} (P_3 - P_2) \left[ 1 - e^{-\frac{g}{2} \left( \frac{\eta}{\alpha^2 P_3} \right) t} \right] \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \text{si } t=0 \Rightarrow v(0) &= \frac{2\alpha^2 g}{g\eta} (P_3 - P_2) \left[ 1 - e^{-\frac{g}{2} \left( \frac{\eta}{\alpha^2 P_3} \right) (0)} \right] \\ &= \frac{2\alpha^2 g}{g\eta} (P_3 - P_2) [1 - 1] = 0 \end{aligned}$$

$$\text{si } t=\infty \Rightarrow v(\infty) = \frac{2\alpha^2 g}{g\eta} (P_3 - P_2)$$

SE DESEA ENCONTRAR LA DEPENDENCIA DEL DESPLAZAMIENTO EN FUNCION DE LA VELOCIDAD:

$$v(t) = \frac{dz(t)}{dt} = \frac{2\alpha^2 g}{g\eta} (P_3 - P_2) \left[ 1 - e^{-\frac{g}{2} \left( \frac{\eta}{\alpha^2 P_3} \right) t} \right]$$

SEPARANDO VARIABLES E INTEGRANDO NUEVAMENTE; TENEMOS:

$$z(t) = \int_0^z dz = \frac{2\alpha^2 g}{g\eta} (P_3 - P_2) \int_0^t \left[ 1 - e^{-\frac{g}{2} \left( \frac{\eta}{\alpha^2 P_3} \right) t} \right] dt \quad (13)$$

$$z(t) = \frac{2a^2g}{9\eta} (P_3 - P_2) \left[ t - \frac{2a^2P_3}{9\eta} + \frac{2a^2P_3}{9\eta} e^{-\frac{9}{2} \left( \frac{\eta}{a^2P_3} \right) t} \right] \quad (14)$$

PARA OBTENER  $v(z)$ , DE LA ECUACION (10) TENEMOS:

$$+ t = \frac{-2a^2P_3}{9\eta} \ln \left[ 1 - \frac{9}{2} \frac{\eta v}{a^2g(P_3 - P_2)} \right] \geq 0$$

DE LA ECUACION (12) TENEMOS:

$$e^{-\frac{9}{2} \left( \frac{\eta}{a^2P_3} \right) t} = 1 - \frac{9}{2} \frac{\eta v}{a^2g(P_3 - P_2)}$$

SUSTITUYENDO ESTAS ECUACIONES (10) Y (12) EN (14) TENEMOS:

$$z(v) = \frac{2a^2g}{9\eta} (P_3 - P_2) \left\{ -\frac{2a^2P_3}{9\eta} \ln \left[ 1 - \frac{9\eta v}{2a^2g(P_3 - P_2)} \right] - \frac{2a^2P_3}{9\eta} + \frac{2a^2P_3}{9\eta} \left[ 1 - \frac{9\eta v}{2a^2g(P_3 - P_2)} \right] \right\}$$

SIMPLIFICANDO:

$$z(v) = -\frac{4a^4P_3g}{81\eta^2} (P_3 - P_2) \left\{ \ln \left[ 1 - \frac{9\eta v}{2a^2g(P_3 - P_2)} \right] + \frac{9\eta v}{2a^2g(P_3 - P_2)} \right\} \quad (15)$$

$$\text{si } \alpha = \frac{1}{\sqrt{2}} \therefore z(v) = -\frac{4a^4P_3g}{81\eta^2} (P_3 - P_2) \left\{ \ln(1 - \alpha v) + \alpha v \right\}$$

$$\text{si } \beta = -\frac{4a^4P_3g}{81\eta^2} (P_3 - P_2) \therefore z(v) = -\beta \left\{ \ln \left( 1 - \frac{v}{\sqrt{2}} \right) + \frac{v}{\sqrt{2}} \right\}$$



Las relaciones anteriores son válidas únicamente cuando la velocidad de la esfera a través del fluido no sea tan grande que se origine un régimen turbulento. Cuando esto ocurre la resistencia es mucho mayor que la dada por la fórmula de Stokes.

Respecto a la velocidad terminal de una esfera de acero que tiene un diámetro de 3.175 mm., de radio y cae dentro de la cámara con glicerina, utilizamos los siguientes datos:

$$\text{DENSIDAD DE LA ESFERA} = \rho_{\text{ACERO}} = 7.759 \frac{\text{gr.}}{\text{cm}^3} \text{ REF. (3)}$$

DENSIDAD DE LA GLICERINA A DIFERENTES TEMPERATURAS:

TEMPERATURA : °C	DENSIDAD <sub>3</sub> : gr./cm <sup>3</sup>
20	1.26108
25	1.15802
30	1.25495

VISCOSIDAD DE LA GLICERINA A DIFERENTES TEMPERATURAS. REFERENCIA 8 :

TEMPERATURA : °C	VISCOSIDAD : Centipoises
20	1490
25	954
30	629

Esta velocidad se alcanza a una distancia muy próxima al punto de partida. Como se demuestra a continuación:

$$z(v) = -\beta \left\{ \ln\left(1 - \frac{v}{v_t}\right) + \frac{v}{v_t} \right\}$$

$$\text{si } v \doteq 0.99 v_t \quad \therefore$$

$$\begin{aligned} z(0.99 v_t) &= -\beta \left\{ \ln\left(1 - \frac{0.99 v_t}{v_t} + \frac{0.99 v_t}{v_t} \right) \right\} \\ &= -\beta \{ 5.395 - 10.000 + 0.990 \} \\ &= 3.615 \beta \end{aligned}$$

DONDE:

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{4a^4 \rho_s g}{81\eta} (\rho_s - \rho_e) \\ \beta &= \frac{4(1.5875)^2 \times 1.158 \times 981}{81 (9.25)^2} (7.759 - 1.158) \\ &= 276.642 \times 10^{-5} \text{ cm.} \end{aligned}$$

POR LO TANTO:

$$z(0.99 v_t) = 3.615 \times 276.642 \times 10^{-5} \text{ cm.}$$

$$z(0.99 v_t) = 0.01 \text{ cm.}$$

Esto nos indica que  $0.99 v_t$  se alcanza prácticamente en el instante en que la esfera se suelta del electroimán.

La Ley de Stokes se ha visto que es válida para números de Reynolds menores de 0.1. Cuando el movimiento de la partícula esférica no se encuentra en la región laminar, no es posible expresar  $Dv_p/\eta$  como una función sencilla. Se hace necesario introducir un coeficiente dado por la ecuación:

$$C = \frac{24\eta}{Dv_p}$$

Si graficamos  $Dv_p/\eta$  contra el coeficiente (C) de arrastre, se puede obtener la siguiente información. Para números de Reynolds entre 0.1 y 1.000, el flujo cambia de laminar a completamente turbulento. Aunque no hay cambio brusco en su valor en la región entre 1.000 y 200.000 no es absolutamente constante, pero puede utilizarse un valor de 0.44 como buena aproximación. En la región por encima de 200.000 el coeficiente de arrastre disminuye bruscamente y toma un valor constante alrededor de 0.20, realmente el descenso brusco puede presentarse a cualquier número de Reynolds comprendido entre 100.000 y 400.000 dependiendo de la magnitud de la turbulencia en la corriente principal y de la rugosidad de la superficie. La disminución del coeficiente de arrastre se atribuye al hecho de que la estela que sigue a la esfera se reduce en esta región.

" C O N C L U S I O N E S "

## CONCLUSIONES.

Esta investigación requiere de un movimiento laminar máximo, ésto se presenta cuando las fuerzas de inercia pueden ser despreciadas completamente y el número de Reynolds tiende a cero, entonces la relación entre los gradientes de presión, fuerzas sobre el cuerpo y la velocidad está gobernada únicamente por la transmisión de la fuerza tangencial desde la frontera hacia dentro y a través del propio fluido.

El descenso de esferas de diámetro muy pequeño a través de un fluido denso justifica lo establecido anteriormente.

La primera dificultad se presenta al conseguir dichas esferas en el comercio y la segunda se presenta al detectar el paso de éstas esferas a través de las bobinas de la cámara del fluido, para ésto también se tiene que reducir el diámetro de la esfera.

La naturaleza de estos movimientos es tal que, por ser las fuerzas tangenciales relativamente altas, ejercen una mayor influencia a través de todo el espacio del fluido, así que, en el caso de la esfera que cae, el fluido experimenta una deformación cuantificable debido a la acción de la viscosidad, la cual se extiende desde la esfera y en todas direcciones hasta una distancia considerable.

Debe de evitarse al máximo que la esfera tenga la tendencia de resbalar por la pared cilíndrica de la cámara, ésto se debe en gran parte, por la no verticalidad de la cámara. Con ésto se aumenta la complejidad del análisis matemático, en éste caso se emplea el factor de corrección por el efecto de pared cilíndrica correspondiente cuando la esfera no cae por el centro de un cilindro.

El problema que se presentó en la cámara del fluido fué que las nueve ranuras no están exactamente espaciadas.

En la tabla siguiente se muestran los espacios reales:

BOBINA NUMERO :	ESPACIO (mm.) :
1	20.500
2	20.125
3	19.625
4	21.675
5	20.425
6	20.000
7	19.000
8	20.325

El osciloscopio que se empleó en esta investigación no cumplía con las condiciones de trabajo requeridas, por ejemplo, calibración, el tiempo de barrido que se empleó para el caso de la glicerina era de supuestamente de 2 mm/seg., y en realidad correspondía a aproximadamente —

3.106 mm/seg. Por ésto no se intentó una mayor comparación - de los valores experimentales obtenidos con los reportados por otros autores.

Pero se hace incapié en ésto, debido a la importancia que tienen estas características del aparato en la reproductibilidad y medición de los resultados.

Forma de obtener los mejores resultados experimentales:

1.- Calibración del osciloscopio.

2.- El trazo del barrido debe de estar perfectamente definido.

3.- Construir la cámara del fluido de un material fácil de maquinar para obtener las ranuras deseadas a espacios iguales.

4.- Controlar la no verticalidad y el descenso de la esfera por el centro de la cámara.

5.- Emplear reactivos de calidad tipo primario.

6.- Emplear agua bidestilada.

Los diferentes productos químicos que se emplean poseen grado analítico (tambien denominados R. A.: reactivos para análisis) son del tipo que se recomienda para el trabajo analítico, pero no cumplen con los requisitos que exige la investigación, ya que ésta requiere substancias - calidad tipo primario, no sólo cumplen con las condiciones

de los productos químicos de calidad reactivo sino que además contienen una cantidad conocida (generalmente próxima al 100%) de la sustancia principal, en nuestro caso trabajamos con sustancias con grado analítico, esto introduce error en la exactitud de las mediciones, debido a la presencia de impurezas.

Existen sólo pocas sustancias que cumplen con las condiciones de tipo primario.

Algunas de éstas sustancias pueden obtenerse del Bureau of Standards of EE. UU. Muchas casas suministradoras de productos químicos venden algunos reactivos de alta calidad destinados a ser empleados como tipos primarios.

Una sustancia tipo primario debe de cumplir las siguientes condiciones:

1.- Se tiene que encontrar en el comercio en forma pura. Se tiene que purificar fácilmente en el caso de alcoholes y aminas líquidas, se recomienda destilarlas antes de usarse, empleando la fracción intermedia.

Las aminas sólidas se recristalizan con etanol caliente y se secan en vacío.

El agua es el producto químico que se emplea para obtener las soluciones de urea y tiourea.

Dado que aún pequeñas cantidades de impurezas son causa de grandes errores debe de emplearse agua bidestilada.



2.- Las sustancias tienen que ser estables para que sea posible su purificación y no deben de absorber agua ni reaccionar con el dióxido de carbono ni con el oxigeno al ser expuestas a la atmósfera.

3.- El tipo primario debe de poseer un elevado-peso equivalente (es la cantidad de material que reacciona con un peso de hidrógeno).

" B I B L I O G R A F I A "

BIBLIOGRAFIA:

1.- AMERICAN JOURNAL OF PHYSICS, VOL. 36, N° 4, pp. 340-343, (1967)

2.- AMERICAN JOURNAL OF PHYSICS, VOL. 35, pp. - 29, (1967).

3.- HANDBOOK OF CHEMISTRY AND PHYSICS, ED. 52,- 1971-1972.

4.-BOHLIN, T., TRANS. ROY INST. TECHNOL, (STOCKHOLM) N° 155, (1960).

5.- FAXEN H. KOLLOID Z., 167 VOL., (1959).

6.-JOHN HAPPEL AND ROBERT PFEFFER, A.I.C.H.E. — JOURNAL? VOL. 6, N° 1, pp. 129-133, (1959).

7.- BADGER Y BANCHERO, INTRODUCCION A LA INGENIERIA QUIMICA, MCGRAW-HILL.

8.- ROBERT C. REID Y THOMAS K. SHERWOOD, PROPIEDADES DE LOS GASES Y LIQUIDOS, pp. 495, (1968).

" V I T A "

**V I T A :**

**NOMBRE :** Montañez Nava Jesús Eduardo.

**DIRECCION PERMANENTE:** Genaro Codina # 708, Zacatecas, Zac.

**LUGAR DE NACIMIENTO:** Zacatecas, Zac.

**FECHA DE NACIMIENTO:** 6 de Agosto de 1946.

**CEBULA PROFESIONAL:** 223211

**REG. FED. DE CAUSANTES:** MONJ-460806

**CARTILLA:** S. M. N. 3569536

**NOMBRE DE LOS PADRES:** DR. JESUS E. MONTAÑEZ H. y LUZ MA. NAVA

<b>ESCOLARIDAD:</b>	<b>LUGAR:</b>	<b>FECHA:</b>
PREFARATORIA	UNIVERSIDAD AUTONOMA DE ZACATECAS.	1963-1964
PROFESIONAL	UNIVERSIDAD AUTONOMA DE ZACATECAS.	1965-1969
POSTPROFESIONAL	UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON.	1972-1974

**AREA POSTPROFESIONAL FISICO QUIMICA.**

**ACTIVIDADES PROFESIONALES:**

- 1.-INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO, Contrato-Beca N° 1731-B /69, para realizarlo en cualquier lugar de la República o del extranjero que el Instituto determinara, designandome en ésta ocasión al Centro de Investigación en el Complejo Petroquímico de Cosoleacaque, Ver.
- 2.-PETROLEOS MEXICANOS, oficio GPQ-123370 de 22 de Junio de 1970 de la Gerencia de Petroquímica, mediante el que se autorizó mi contratación, dentro del personal de confianza adscrito a la Superintendencia de Elaboración de Proyectos del Complejo Petroquímico señalado.

**ACTIVIDADES DOCENTES:**

- 1.-UNIVERSIDAD AUTONOMA DE ZACATECAS, Maestro de Tiempo Completo en la Escuela de Ciencias Químicas de 1975-78; materias impartidas: Química Inorgánica y Jefe del Laboratorio de Ingeniería Química. Maestro Hora-Clase en la Escuela de Contabilidad y Administración, de 1977-78; materias impartidas: Métodos Probabilísticos.
- 2.-INSTITUTO TECNOLOGICO REGIONAL DE ZACATECAS.-Materias Impartidas: Control de Producción, Propiedad de los Materiales. 1978.

**YAC. CIENCIAS  
QUIMICAS**



**DIVISION ESTUDIOS  
SUPERIORES BIBLIOTECA**

