

## Tesis de Posgrado

# Medidas de la viscosidad de vapor de H<sub>2</sub>O y D<sub>2</sub>O y cálculo de constantes moleculares

Gerhardt de Wappner, Blanca

1957

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

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

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

**Cita tipo APA:**

Gerhardt de Wappner, Blanca. (1957). Medidas de la viscosidad de vapor de H<sub>2</sub>O y D<sub>2</sub>O y cálculo de constantes moleculares. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. [http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis\\_0951\\_GerhardtdeWappner.pdf](http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_0951_GerhardtdeWappner.pdf)

**Cita tipo Chicago:**

Gerhardt de Wappner, Blanca. "Medidas de la viscosidad de vapor de H<sub>2</sub>O y D<sub>2</sub>O y cálculo de constantes moleculares". Tesis de Doctor. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 1957.  
[http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis\\_0951\\_GerhardtdeWappner.pdf](http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_0951_GerhardtdeWappner.pdf)

**EXACTAS** UBA

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales



**UBA**

Universidad de Buenos Aires

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

"MEDIDAS DE LA VISCOSIDAD DE VAPOR DE  $H_2O$  Y  $D_2O$  Y  
CALCULO DE CONSTANTES MOLECULARES"

(Tesis para optar al título de Doctor en Química)

RESUMEN

Blanca Gerhardt de Wappner

1957

# FENÓMENA.

Cuando en un gas binario se produce un gradiente de alguna o de todas las variables que determinan su estado, es decir, P, T y N, se originan en el gas, fenómenos de transporte totales o parciales. Así para un gradiente de N, se produce un transporte parcial de masa, caracterizado por un coeficiente de difusión. Para un gradiente de T se origina un transporte de calor, que está relacionado con un coeficiente de conductividad térmica.

Para un gradiente de P, se produce un transporte de masa total, el cual tiene relación con el coeficiente de viscosidad de un gas. Se observa que un gas que fluye a lo largo de un capilar experimenta una resistencia al flujo, la cual aumenta del centro, hacia las paredes del tubo, llegando a ser cero la velocidad de la capa del gas en contacto con estas. La fuerza que se opone al movimiento es proporcional al gradiente de velocidad transversal, siendo el coeficiente de proporcionalidad, la viscosidad específica del gas. Se puede explicar la existencia del coeficiente de viscosidad específica, como debido al intercambio de impulso entre moléculas de una capa mas lenta y una mas rápida del gas, durante el choque. Esta viscosidad se designa con  $\eta$ .

Para la primera aproximación sólo se consideran choques binarios.

El coeficiente de viscosidad resulta así función de los parámetros de choque, y de las fuerzas intermoleculares. Tanto los primeros como estas últimas dependen del modelo molecular elegido; por lo tanto obtendremos expresiones distintas para la viscosidad según el tipo de moléculas consideradas. Inversamente, según los valores de la viscosidad obtenidos a distintas temperaturas, será posible calcular los parámetros de choque y el potencial intermolecular, que definen un modelo.

En este trabajo se ha medido el coeficiente de viscosidad por el método de transpiración. Este consiste en medir el tiempo (t) que tarda un gas en escurrir a través de un capilar. Se verifica que el cociente  $\frac{\eta}{t}$  es igual a una constante, si el gas se puede considerar ideal. De no ser así, será necesario multiplicar este producto por un factor de corrección ( $\gamma$ ) que depende del segundo coeficiente virial del gas.

Comparando dos gases en iguales condiciones experimentales se verifica que:

$$\frac{\eta}{\eta'} = \frac{t \cdot (1 + \xi)}{t'} \quad ( )$$

El método de transpiración resulta así un método relativo ya, que conocida la viscosidad de un gas, y medidos los tiempos de escurrimiento, puede calcularse la viscosidad desconocida del "gas-problema".

Se imponen sin embargo algunas precauciones en las condiciones de trabajo, para que la aplicación de la fórmula anterior sea válida.

Estas son:

- a) el flujo debe ser isotermo
- b) el flujo debe ser laminar. Esto significa que la velocidad lineal del gas, debe ser tal que, el valor del número de Reynolds calculado a partir de la misma, debe ser inferior a 2100.
- c) El flujo debe ser suficientemente pequeño como para no hacer necesarias correcciones por pérdida de energía cinética a la salida del capilar.
- d) La presión no debe ser tan baja, como para que el libre camino medio de las moléculas sea del orden del diámetro del tubo y predominen así los choques con las paredes, en lugar de los choques binarios.

Habiéndose comprobado que ninguna de estas condiciones adversas a la aplicación de la fórmula (\*) se cumple, se determinaron los tiempos de escurrimiento del vapor de H<sub>2</sub>O y de D<sub>2</sub>O a 74,4 °C; 80,4 °C y 89,9 °C tomándose como viscosidad standard la del aire a 23°C. Se hicieron dos series de 60 medidas cada una, para cada sustancia y cada temperatura.

Se tomó el valor mas probable del tiempo de escurrimiento, t, como el promedio de cada serie de 60 determinaciones.

Para todas las series de medidas se calculó el error cuadrático medio, el error medio del promedio y el error mas probable del promedio, y se estudió la distribución de los errores, en base a los momentos primero, segundo, tercero y cuarto de la función de distribución.

Calculando el factor de corrección (1 + ξ) se comprobó, que su omisión introduce un error, inferior al error experimental, por lo que se despreció. Con la fórmula (\*) se calculó la viscosidad de los vapores citados a las temperaturas indicadas.

Si la sustitución isotópica en las dos moléculas no cambia fundamentalmente el modelo molecular, debe cumplirse, aún aproximadamente

que:

TEMA

$$\frac{\eta_{D_2O}}{\eta_{H_2O}} = \sqrt{\frac{M_{D_2O}}{M_{H_2O}}} = 1,054 \quad (**)$$

siendo  $M_{D_2O}$  y  $M_{H_2O}$  pesos moleculares.

Otros experimentadores han medido esta relación para las moléculas  $H_2$  y  $D_2$ ; y para el  $H_2O$  y  $D_2O$  a temperaturas levemente superiores a las nuestras. ( ver citas <sup>(1)(25)</sup>)

Para el  $H_2$  y  $D_2$  la relación (\*\*\*) se cumple al estado gaseoso y al estado líquido. Para el  $H_2O$  y  $D_2O$  ésta se cumple al estado gaseoso sólo de una forma aproximada, obteniéndose valores diferentes de 1,054 para el estado líquido.

Los valores de la relación (\*\*\*) calculados en base a los datos experimentales obtenidos, confirman que esta se cumple aproximadamente para los vapores estudiados a todas las temperaturas experimentadas.

Sin embargo, se observa que a los 80°C esta relación se cumple exactamente, obteniéndose en esta zona de temperaturas, un valor mínimo difícil de explicar en base a la teoría. La falta de datos en la región de temperaturas inferiores, impide hacer un estudio mas detallado de la curva. Debido a las dificultades experimentales esto puede ser objeto de otro trabajo.

Se ha intentado el cálculo del diámetro de colisión ( $\sigma$ ) y del potencial de atracción ( $\lambda_{12}$ ) para el modelo de Lennard-Jones, sin éxito, con lo cual puede asegurarse, que el comportamiento de estas 2 moléculas no se puede describir con este modelo.

Una expresión que permite obtener valores correctos para el 2º coeficiente virial del vapor de  $H_2O$ , fué calculada por Rowlinson <sup>(3)</sup> a partir del potencial de Stockmayer para moléculas polares. Por falta de datos numéricos en la literatura para moléculas de la polaridad del  $H_2O$ , fué imposible calcular constantes moleculares, para este potencial. Por lo antedicho se supone, sin embargo que este potencial puede describir correctamente el comportamiento de las 2 moléculas estudiadas.

Se han calculado los valores de los diámetros de colisión ( $\sigma$ ) del potencial de atracción ( $\lambda_{12}$ ) y de la constante S, para el potencial de Sutherland, obteniéndose valores que pueden considerarse iguales para ambas moléculas.

*Rosa Gerhardt de Wappner*

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

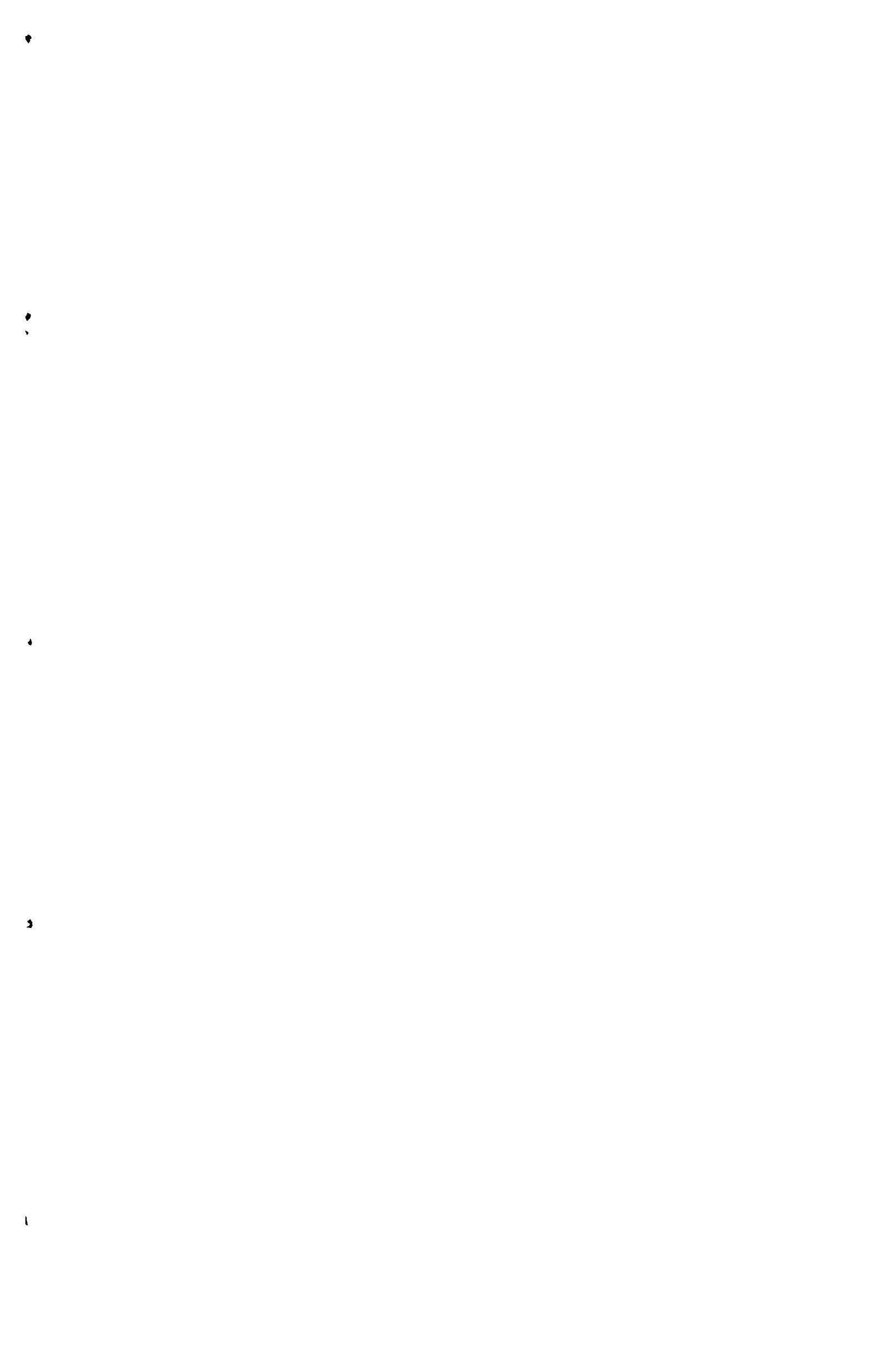
"MEDIDAS DE LA VISCOSIDAD DE VAPOR DE  $H_2O$  Y  $D_2O$  Y  
CÁLCULO DE CONSTANTES MOLECULARES"

(TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE DOCTOR EN QUÍMICA)

BLANCA GERHARDT DE WAPPNER

Director: JUAN A. MAC MILLAN

1957



Agradezco al Dr. T.A. Mac.Millan la dirección de este trabajo y la sugerencia del tema. Al Ing. E. Silberman, Jefe de la Dirección de Isótopos Estables de la C.N.E.A. donde se llevó a cabo este trabajo, agradezco el interés demostrado y los consejos prestados, así como la lectura de la redacción final y la discusión de los errores.

De la misma manera, agradezco a todos los que, en alguna forma, hicieron posible estas investigaciones.



## INDICE

Objeto del trabajo	pag.1
Antecedentes	p " 1
<u>INTRODUCCION TEORICA</u>	" 3
Consideraciones generales sobre la medición de viscosidades ...	" 15
Principio del método	" 15
<u>DESCRIPCION DE LA PARTE EXPERIMENTAL</u>	" 22
<u>CALCULO DE ERRORES</u>	" 38
<u>CALCULO DE VISCOSIDADES</u>	" 51
<u>CALCULO DE CONSTANTES MOLECULARES</u>	" 58
<u>RESULTADOS</u>	" 70
<u>CONCLUSIONES</u>	" 73
<u>DATOS EXPERIMENTALES</u>	" 75
<u>APENDICE I</u> (parametros de choque)	" 136
<u>APENDICE II</u> (potenciales intermoleculares)..	" 137
<u>APENDICE III</u> (nomenclatura)	" 138
<u>TABLA</u> de resultados	" 70
<u>TABLA</u> DE ERRORES	" 66

OBJETO DEL TRABAJO

Se han determinado experimentalmente diferentes valores de la viscosidad del vapor de H<sub>2</sub>O y D<sub>2</sub>O como función de la temperatura con el objeto de :

- 1) verificar si se cumple la relación

$$\frac{\eta_{D_2O}}{\eta_{H_2O}} = \sqrt{\frac{M_{D_2O}}{M_{H_2O}}}$$

es decir, si el intercambio isotópico en la molécula de H<sub>2</sub>O no cambia las fuerzas intermoleculares, por lo menos en el estado vapor.

- 2) Con los valores de  $\eta = f(T)$  obtenidos, asignar modelo molecular al H<sub>2</sub>O y D<sub>2</sub>O en estado de vapor y calcular las correspondientes constantes.

ANTECEDENTES

Después de revisar la literatura, se encontró como contribución al estudio de la viscosidad de vapores de H<sub>2</sub>O y D<sub>2</sub>O, las determinaciones efectuadas por J.S. Rowlinson (1); mediante el método de transpiración, a temperaturas próximas a 100°C. y presión de vapor saturado para esa temperatura. Los resultados obtenidos por este experimentador se transcriben en la tabla III. pág. 50

Habiendo estudiado la viscosidad de H<sub>2</sub>O y D<sub>2</sub>O, tanto al estado líquido como al estado vapor, Rowlinson llegó a la conclusión que la relación

$$\frac{\eta_{D_2O}}{\eta_{H_2O}} = \sqrt{\frac{M_{D_2O}}{M_{H_2O}}} \quad (I)$$

se cumple sólo para el estado vapor. Para el estado líquido esta relación es mayor que I

(1) J.S. Rowlinson: Physica 19 303 (Marzo 1953)

$$\sqrt{\frac{M_{D_2O}}{M_{H_2O}}}$$

indicando que para este estado hay asociaciones moleculares distintas que en el estado gaseoso.

La publicación citada anteriormente carece de descripciones experimentales y no se ha hecho en ella ningún intento de determinar constantes moleculares o de asignar un modelo.

Este resultado ha sido discutido por J.A. Poole en una carta al editor de "Physica" (2). Según este autor no se cumplen las condiciones que harían aplicable la teoría a estos dos tipos de moléculas. (Ver página 7).

J.S. Rowlinson (3) calculó los valores de las constantes moleculares de H<sub>2</sub>O correspondientes al potencial de Stockmayer, para moléculas polares mediante el segundo coeficiente virial del vapor de H<sub>2</sub>O y su variación con la temperatura.

La constante de Sutherland para el H<sub>2</sub>O fué calculada a partir de datos de viscosidad por J.O. Hirschfelder, R. E. Bird y E. Spotz (4), los cuales obtuvieron un valor de 459. Estos intentaron también un cálculo de constantes moleculares para el potencial de Lennard-Jones, sin encontrar ningún valor que describiera el comportamiento de dichas moléculas.

C.J. Smith (5), calculó la misma constante y obtuvo S=650, a partir de datos de viscosidad del vapor a temperaturas poco mayores de 100°C.

Datos de la viscosidad de H<sub>2</sub>O de composición isotópica normal, a temperaturas mucho mayores que 100°C. y presiones desde una, hasta aproximadamente 400 atmósferas se

(2) J.A. Poole. Physica 19 (1953) 668

(3) J.S. Rowlinson. Trans. Farad. Soc. 45 (1949) 975

encontraron (6).

### INTRODUCCION TEORICA

Las variables independientes que definen el estado termodinámico de un gas binario son tres, a saber:

Presión =  $P$

Temperatura =  $T$

Fracción molar =  $N$

Cuando en el gas aparece un gradiente de todas o cualquiera de ellas el gas es inhomogéneo. Se originan entonces fenómenos de transporte.

El  $\Delta T$  da origen a la conductividad térmica (transporte de calor) y a la difusión térmica (transporte de masa parcial). El  $\Delta N$  origina la difusión ordinaria con transporte de masa parcial. El gradiente de presión,  $\Delta P$ , da origen a un transporte de masa total, con el cual se halla asociado el coeficiente de viscosidad.

Un gas que fluye a lo largo de un capilar experimenta una resistencia al flujo de manera que su velocidad decrece uniformemente desde el centro hacia el exterior del tubo, para alcanzar el valor cero, cerca de las paredes.

Se produce así un gradiente transversal de velocidades y hay transporte de impulso a través del gas.

Cada capa de gas paralela a la dirección del flujo ejerce una fuerza tangencial sobre la capa adyacente, retardadora para la más rápida y aceleradora para la más lenta.

La resistencia al flujo por unidad de superficie de

(4) J.C. Hirschfelder, R.E. Bird y E.L. Spotz. Chem. Rev. 44 (1949) 205.

(5) C.J. Smith. Proc. Roy. Soc. London A. 106; pag. 83 (1924)

(6) R. Hawkins, L. Sibbitt y A. Solberg. Trans. Am. Soc. Mech. Engrs. (1949) 70 N°1 pag. 19.

bida a la fricción entre capas, es proporcional al gradiente de velocidad transversal (7);

$$F_x = -\eta \frac{dv}{dy} \quad (II)$$

donde  $\eta$ : coeficiente de viscosidad.

El signo (-) indica que la fuerza se opone al movimiento.

La  $\eta$  de gases puros puede calcularse en primera aproximación con la fórmula III en la cual sólo se consideraron choques binarios.

$$\eta = \frac{5}{8} \frac{kT}{\Omega_{(2,2)}} \quad (III)$$

donde  $\Omega_{(2,2)}$  Integral de colisión  $\eta^{1/2} \int_0^{\infty} e^{-a^2 u^2} a^{2u+2} \Phi^{(h)} da$

$$a = \left[ \frac{m_1 m_2}{2m_0 kT} \right]^{1/2} g$$

$$\Phi^{(h)}(12) = \int_0^{\pi} (1 - \cos^h \chi) g \cdot b \cdot db$$

en la cual  $\chi$  ángulo de desviación,  $g$  velocidad relativa de ambas moléculas,  $b$  distancia característica del choque y  $h$  y  $u$  enteros. (Ver diagrama de choque en Apéndice II)

El valor de la integral de colisión depende del modelo molecular elegido para el gas en estudio. Si se conoce la  $\eta$  de un gas, puede calcularse el valor de  $\Omega_{(2,2)}$  y mediante éste, los valores de las constantes moleculares para un determinado modelo.

Dichas constantes pueden calcularse a partir de otros coeficientes propios del gas. Sin embargo por ser la viscosidad el coeficiente de transporte más fácilmente determinable, los valores de las constantes determinadas mediante

(7) J.O. Hirschfelder, R.B. Bird y C.F. Curtiss: "Molecular Theory of gases and Liquids" (J. Wiley Inc. 1954)

ésta, se consideran los más exactos.

Los modelos mas importantes que pueden asignarse a una molécula son las siguientes:

- 1) Esfera rígida (E.R.)
- 2) Potencia inversa (P.I.)
- 3) Modelo de Sutherland (S)
- 4) Potencial de Lennard Jones (12-6) (L.J.)
- 5) Modelo de caja cuadrada (C.C.)
- 6) Potencial de Stockmayer para moléculas polares (St.)

Estos potenciales se caracterizan por dos parámetros  $\zeta$  y  $\xi$  y son de la forma

$$\psi(r) = \xi f\left(\frac{\sigma}{r}\right)$$

$\zeta$  = diam. de colisión  
 $\xi$  = prof. del pozo de energía  
 $r$  = distancia entre los centros.

Los fenómenos de transporte de moléculas con campos de fuerza esfericamente simétricos han sido estudiados y se conocen bien,

No sucede lo mismo para las moléculas sin este tipo de simetría, por ejemplo, moléculas polares, moléculas largas, iones, etc., para las cuales las fórmulas que describen su comportamiento son muy complicadas y las constantes difíciles de determinar.

Consideraremos cada uno de los modelos (3) separadamente y su relación con la viscosidad:

(Ver representación gráfica de los distintos potenciales en Apéndice I)

1) Esferas rígidas elásticas:

Se considera como el caso general y todos los demás

(\*) Chapman y Cowling: "Mathematical Theory of nonuniform gases" (Cambridge University Press 1952)

proviene de introducir correcciones en este modelo.

El potencial queda:

$$\varphi(r) = \infty \quad \text{para} \quad r = 0$$

$$\varphi(r) = 0 \quad \text{"} \quad r > 0$$

Las únicas fuerzas que actúan son las fuerzas de repulsión.

El coeficiente de viscosidad para un gas puro, tiene la siguiente expresión:

$$\eta_{E.R} = \frac{5}{16} \frac{(kT)^{1/2}}{\eta^{1/2} \sigma^2}$$

Entre  $\eta_{E.R}$  y  $K_{E.R}$  (coeficiente de conductividad térmica) y entre  $\eta_{E.R}$  y  $D_{E.R}$  (coeficiente de autodifusión), existen las siguientes relaciones:

$$\eta_{E.R} = \frac{5}{2} \frac{K_{E.R}}{C_v}$$

$$\eta_{E.R} = \frac{5}{6} D_{E.R} \rho$$

donde  $C_v$  calor específico a volumen constante, y  $\rho$  densidad. La expresión más general  $K_{mod.} = \frac{5}{2} \eta_{mod.} C_v$ , se cumple para todas las moléculas de simetría esférica.

Según este modelo el coeficiente de viscosidad varía con  $T^{1/2}$  y es independiente de la presión del gas.

La relación entre los coeficientes de viscosidad de dos gases con  $\sigma$  semejantes, debe ser igual a la relación de las raíces cuadradas de sus masas moleculares a igual temperatura:

$$\frac{\eta}{\eta'} = \sqrt{\frac{m}{m'}} \quad (I')$$

Para moléculas poliatómicas se llega a la misma re-

lación, mediante análisis dimensional de las ecuaciones de movimiento:

$$m \frac{dv}{dt} = F \qquad I \frac{d\omega}{dt} = G$$

donde  $F$  = fuerza

$G$  = cupla

$I$  = tensor inercia

Esto es posible siempre que ambas moléculas pertenezcan al mismo modelo ya que  $F$  y  $G$  no cambian en ese caso.

En el caso de sustituciones isotópicas la relación (I') se cumple solo si: a)  $m$  e  $I$  son alteradas en igual relación, es decir, todas las masas atómicas cambian por igual ej.  $D_2$  y  $H_2$ ; b) si el potencial intermolecular es del tipo de fuerza central, en cuyo caso  $G=0$  y no desempeña ningún papel en el mecanismo de la viscosidad, ejemplo,  $CD_4$  y  $CH_4$ .

Según J.A. Poble (cita 2), estas condiciones no se cumplen para  $D_2O$  y  $H_2O$  pues

$$\frac{M_{D_2O}}{M_{H_2O}} = \frac{20}{18}$$

mientras la relación de 2.

$$\frac{I_{D_2O}}{I_{H_2O}} \text{ se altera en un factor}$$

Según J.A. Poble (9), el campo intermolecular del  $H_2O$ , tampoco es central, luego  $G$  no es igual a cero, y la relación (I'), no debería cumplirse para el  $H_2O$  y  $D_2O$ .

La relación de viscosidades ha sido estudiada para el  $H_2$  y el  $D_2$  por A.V. Itterbeek<sup>(25)</sup>, confirmándose los resultados previstos. El trabajo de J.S. Rowlinson sobre el mismo tema ya fué citado. (Ver tabla III pag. 50 )

2) Potencia Inversa: como en el caso de la esfera rígida, en

(9) J.A. Poble: Proc. Roy. Soc. London A. 205 (1953) Pag.163



este modelo sólo actúan fuerzas de repulsión.

El potencial varía según la  $\nu$  a potencia negativa de  $r$ :

$$\phi(r) = K r^{-\nu}$$

Según los valores de  $\nu$  las moléculas pueden clasificarse en :

- Esfera rígida  $\nu = \infty$
- Blandas  $\nu = 5$
- Maxwellianas  $\nu = 5$
- Duras  $\nu = 5$

$\nu=5$  fué elegido por primera vez por Maxwell por razones de simplicidad matemática.

La integral de colisión queda:

$$\Delta \Omega_{(u)}^{(h)} = \int_0^{\infty} -a^2 a^{2u+2} \phi_{12}^h da$$

$$= \frac{\int_0^{\infty} A_h K^{\frac{2}{\nu-1}} (2kT)^{\frac{-5}{2(\nu-1)}} \left( r + 2 - \frac{2}{\nu-1} \right)}{2(M_1 M_2 m_0)^{\frac{1}{2}}}$$

donde

$$A_h(\nu) = \int_0^{\infty} (1 - \cos^h \chi) \nu_0 d\nu_0$$

$$\nu_0 = b \left( \frac{m_1 m_2 s^2}{m_0 K} \right)^{1/(\nu-1)}$$

Para gases diluidos, la expresión de  $\eta$  toma la forma:

$$\eta = \frac{\frac{2}{3} \sqrt{\frac{kT}{\pi}} \left( \frac{2kT}{K} \right)^{2/(\nu-1)}}{\int_0^{\infty} \left( 4 - \frac{2}{\nu-1} \right) A_2(\nu)}$$

$\eta$  resulta proporcional a  $T^s$  siendo  $s = \frac{\nu+3}{2(\nu-1)}$

Para moléculas maxwellianas  $\eta$  es función lineal de T, pues  $s=1$ . Para los demás valores de  $\nu$  hay una dependencia lineal de los logaritmos de  $\eta$  y T:

$$\log \eta = s \log T + \log A$$

con  $s=1$  para esfera rígida y

$s=\frac{1}{2}$  para potencia inversa no maxwelliana.

### 3) Modelo de Sutherland:

Este modelo se obtiene agregando al modelo de esfera rígida, un término de corrección debido a fuerzas atractivas. El potencial que actúa; entre las moléculas son:

$$\begin{aligned} \psi &= -\infty & \text{para } r &= \sigma_{12} \\ \psi &= -\xi \left(\frac{\sigma}{r}\right)^u & r &> \sigma_{12} \end{aligned}$$

Las moléculas consisten en esferas rígidas de diámetro  $\sigma$ , rodeadas por un campo de fuerzas atractivas de potencia inversa, con máxima energía de atracción =  $\xi$ .

La determinación de las integrales de colisión y parámetros de choque, presenta mayores dificultades que los modelos anteriores.

Despreciando potencias superiores de  $\xi$  se llega a la fórmula de la viscosidad:

$$\eta = \frac{\eta_{E.R}}{1 + \frac{S}{T}} \frac{5 \left( \frac{k_m T}{\eta} \right)^{\frac{1}{2}}}{16 (1 + S/T) \sigma^2} \quad (IV)$$

Siendo  $S =$  constante de Sutherland

$$S = \frac{i(u) \lambda_{12}}{(u-1) \sigma^{u-1} k}$$

$$i(u) = \frac{4}{\pi} \int_0^{\infty} v_{\infty}^{3-u} (2v_{\infty}^2 - 1) \left( 1 - \frac{v_{\infty}^2}{v_0^2} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{v_0^{u-1} (1-v^2)^{-3/2}}{v^2} dv$$

$\lambda_{12} =$  energía de atracción a la dist. unidad.

$$D_{00} = b/\sigma \quad \text{y} \quad \bar{v} = b/r$$

Los valores de  $i_2(u)$  se encuentran tabulados.

En este caso  $\eta$  varía con  $\frac{T^{1/2}}{(1+S/T)}$  y  $\frac{T^{3/2}}{\eta}$  es función lineal de T.

La constante de Sutherland puede determinarse si se conoce la viscosidad de un gas a dos temperaturas:

$$\frac{\eta_T}{\eta_0} = \left( \frac{T}{T_0} \right)^{1/2} \frac{1 + S/T_0}{1 + S/T} = \frac{C T^{3/2}}{S T} \quad (\text{VI})$$

donde  $C = \eta_0 (S + T_0) T_0^{-3/2}$

#### 4) Potencial de Lennard-Jones:

Se obtiene agregando un término atractivo a la fórmula de la fuerza en el modelo de Potencia Inversa.

El potencial  $\psi(r)$  adquiere en este caso la forma:

$$\psi(r) = 4\epsilon \left[ \left( \frac{\sigma}{r} \right)^{12} - \left( \frac{\sigma}{r} \right)^6 \right]$$

donde

$\sigma$  = diámetro de colisión.

Para  $\psi(r) = 0, \sigma = r$ : es decir, cuando se igualan las energías potenciales atractivas y repulsivas del campo, tomando ambas el valor de  $4\epsilon$ .

Debiendo el término repulsivo predominar para el caso de r pequeño, se deduce que  $\bar{v}$  debe ser menor que u.

Tanto para el modelo de Sutherland como para éste, las fuerzas atractivas son del tipo de fuerzas de Van der Waals, es decir fuerzas de largo alcance <sup>(10)</sup>, en las cuales se toma en cuenta la interacción de dipolos inducidos.

(10) F.C. Rice y E. Teller. "Structure of Matter".

Cap. 6. (J. Wiley and Sons 1940).

Los potenciales de atracción toman entonces la forma:

$$\psi(r) = \psi_1 r^{-6} + \psi_2 r^{-9} \dots$$

El término en  $r^{-6}$  corresponde a la interacción dipolo-dipolo, y el término en  $r^{-9}$  a la interacción dipolo-cuadrupolo.

Lennard-Jones calculó una expresión de  $\eta$  con  $u > v = 2$ .

La fórmula, que interpreta los resultados para numerosos gases, queda:

$$\eta = \frac{\frac{5}{9} \left( \frac{kT}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \left( \frac{2kT}{\chi} \right)^{\frac{2}{v-1}}}{A_2(v) \left( 4 - \frac{2}{v-1} \right) \left( 1 + ST - \frac{v-3}{v-1} \right)}$$

Para el caso de  $u > v$ , tomando  $v$  cualquier valor,

$$\eta = \frac{5 \left( \frac{kT}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}}}{16 r_0^2} \approx \frac{kT}{\xi}$$

A temperaturas altas predomina el término repulsivo del potencial y :

$$\xi \approx \frac{kT}{\xi} \text{ es proporcional a } \frac{kT}{\xi}^{2/3}$$

$\xi$  puede determinarse para valores de  $u$  y  $v$  prefijados, mediante métodos de aproximaciones sucesivas. El caso de  $(u, v) = (12, 6)$ , es el mas importante de los resueltos, ya que  $r^{-6}$  tiene significado físico.

### 5) Caja cuadrada:

Este potencial depende de tres constantes y es el mas sencillo de este tipo para el cual se hayan encontrado expresiones de los coeficientes de transporte.

El potencial toma valores:

$$\begin{aligned} \psi(r) &= \infty && \text{para } r = 0 \\ \psi'(r) &= -E && \text{para } 0 < r \leq R_0, \quad R > 1 \\ \psi(r) &= 0 && \text{para } r > R_0 \end{aligned}$$

Este modelo se aplica a gases ionizados en un gran porcentaje, cuando las fuerzas electrostáticas desempeñan un papel importante en los choques moleculares. La fuerza toma la forma:

$$F(r) = e_1 \cdot e_2 \cdot r^{-2}$$

siendo

$e_1$  y  $e_2$  las cargas eléctricas de la molécula ionizada.

La fórmula de  $\eta$  queda:

$$\eta = \frac{\frac{5}{2} \left( \frac{kT}{\eta} \right)^{\frac{1}{2}} \left( \frac{2kT}{e^2} \right)^2}{A_2^{(2)}}$$

siendo:

$$A_2^{(2)} = 2 \left[ \ln \left( 1 + \gamma_{01}^2 \right) - \frac{\gamma_{01}^2}{1 + \gamma_{01}^2} \right]$$

Para las moléculas cuya relación entre la viscosidad y la temperatura, no cumple con las fórmulas vistas en los potenciales anteriores, se han estudiado otros, de los cuales el más importante, en nuestro caso, es el:

#### 6) Potencial de Stockmayer:

Que se aplica a moléculas polares, para las cuales los potenciales esféricos simétricos no interpretan la naturaleza de las fuerzas intermoleculares.

Mediante este modelo se ha conseguido interpretar el comportamiento de varios gases polares.

Este se obtiene agregando al potencial de Lennard-Jones (12-6), un término angular proporcional a la inversa de la tercera potencia de la separación intermolecular.

El potencial es:

$$\Psi(r, \theta_1, \theta_2, \phi_2 - \phi_1) = 4 \epsilon \left[ \left( \frac{\sigma}{r} \right)^{12} - \left( \frac{\sigma}{r} \right)^6 \right] - \frac{\mu^2}{r^3} f(\theta_1, \theta_2, \phi_2 - \phi_1)$$

donde  $\mu$  momento dipolar

$$f(\theta_1, \theta_2, \phi_2 - \phi_1) = 2 \cos \theta_1 \cos \theta_2 - \sin \theta_1 \sin \theta_2 \cos(\phi_2 - \phi_1)$$

siendo  $\theta$  y  $\phi$  ángulos que determinan la dirección del choque. El término dependiente del ángulo y proporcional a  $r^{-3}$ , representa la interacción de dos dipolos puntuales, ya existentes en la molécula.

La expresión de  $\Psi$  puede simplificarse para colisiones de alta energía, donde predominan las fuerzas de repulsión. En este caso  $f(\theta_1, \theta_2, \phi_2 - \phi_1)$ , se hace = 2 y el potencial se independiza de la dirección del choque

$$\Psi(r) = 4 \epsilon \left[ \left( \frac{\sigma}{r} \right)^{12} - \left( \frac{\sigma}{r} \right)^6 \right] - \frac{2 \mu^2}{r^3}$$

Las fórmulas de los coeficientes de transporte para este potencial son las obtenidas para el potencial de Lennard-Jones (12-6), en las cuales  $C_{ij}^{(2,2)}$  además de ser función de las constantes moleculares ya vistas, lo es de una cantidad sin dimensiones

$$\delta^* = \frac{1}{2} \mu^{*2} = \frac{1}{2} \frac{\mu^2}{\epsilon \sigma^3} \quad \text{(VII)}$$

que puede interpretarse como una medida del comportamiento polar del gas.

Conocidas las relaciones entre la viscosidad y el potencial intermolecular, trataremos con los datos obtenidos, de asignar un modelo molecular al vapor de  $D_2O$  y de calcular

las constantes correspondientes.

Por ser las moléculas de  $D_2O$  y  $H_2O$ , polares, se ensayará primero el cálculo de constantes para el potencial de Stockmayer. De no ser esto posible el modelo a ensayar seguidamente será el de Lennard-Jones (12-6), y en último caso el potencial de Sutherland.

Este punto se desarrollará en la sección cálculos.

CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA MEDICION DE VISCOSIDADES.

Para la medición de viscosidades hay dos métodos importantes: (9) (10) (4)

1) medida de la fuerza que se opone al movimiento de un disco en el gas generalmente colocado muy próximo a otro fijo. Es el llamado método de reacción viscosa. Una modificación consiste en medir la fuerza que se opone al movimiento de un cilindro que gira sumergido en el fluido en estudio. Muchos aparatos de medidas industriales se basan en este sistema.

2) para mediciones de precisión el más usado es el llamado método de transpiración. En este método se hace escurrir el gas a través de un capilar conociéndose la diferencia de presión entre los extremos del mismo y midiéndose el tiempo de escurrimiento. Si se conocen las características del aparato puede emplearse como un método absoluto, según lo hizo J. A. SMITH. (5)

PRINCIPIO DEL METODO

Dentro de cierto intervalo de presiones, que estudiaremos más adelante, el flujo viscoso se caracteriza por satisfacer la ecuación diferencial de Poiseuille:

$$dm = \rho \frac{\eta r^4}{2 \eta} \frac{dp}{dx} dt \quad (\text{VIII})$$

donde

$dm$  = dif masa

$\rho$  = densidad

(9) R. Partington: An advanced Treatise on Phys. Chem Longmans Green and Co. 1949 - London.

(10) Myerson y E;cherr J. Am. chem. Soc. 74 2752 (1952)



- $r$  = radio del tubo
- $\eta$  = viscosidad
- $dp$  = dif presión
- $dx$  = dif longitud
- $dt$  = " tiempo

Introduciendo las condiciones de contorno:

$$X = 0 \qquad P = P_a$$

$$X = 1 \qquad P = P_b$$

e integrando en  $X$  e introduciendo las condiciones de contorno

$$t = 0 \qquad P_a = P_{a,1}$$

$$t = t \qquad P_a = P_{a,2}$$

e integrando en  $t$ , la solución formal de la ecuación (VIII) de Poiseuille conduce a

$$\frac{t}{\eta} = \frac{\int_{P_{a,1}}^{P_{a,2}} m'(P_a) dp}{\int_{P_a}^{P_b} dp} \quad (IX)$$

que, para los gases ideales es igual a una constante, en igualdad de condiciones (Límites de integración).

Si se comparan dos gases, para uno de los cuales utilizaremos las variables acentuadas, resulta:

$$\eta = \eta' \frac{t}{t'} \quad (X)$$

igualdad que es la base del método de escurrimiento capilar, que es en esencia un método relativo.

Una última consideración permite acotar suficientemente los errores en la determinación experimental de viscosidades.

La solución formal (IX)

$$\frac{t}{\eta} = \frac{\int_{P_{a,1}}^{P_{a,2}} m'(P_a) dp}{\int_{P_a}^{P_b} dp}$$

conduce a la ecuación

$$\eta = \eta' \frac{t}{t'}$$

sólo si ambos gases son ideales. En caso de ser reales, de ecuaciones viriales del tipo (11)

$$PV = RT \left( 1 + BP \right)$$

resulta:

$$\eta = \eta' \frac{t}{t'} \gamma \quad (XI)$$

donde

$$\gamma = 1 + (B' - B) \frac{P_1 \cdot P_2}{P_1 - P_2} \ln \frac{P_1}{P_2} \quad (XII)$$

y en donde las presiones son las  $P_{a,1}$  y  $P_{a,2}$  de la ecuación formal.

Por lo tanto es necesario conocer los valores de  $B'$  y  $B$  al menos aproximadamente, para realizar la corrección, si no es despreciable. Este punto se considerará en la evaluación de errores a priori.

#### Límites de aplicabilidad de la ecuación de Poiseuille

La medición de  $\eta$  mediante la fórmula de Poiseuille, solo es válida mientras se cumplan las siguientes condiciones:

- 1) El gas debe moverse bajo pequeños gradientes de presión, el caudal debe ser pequeño.
- 2) El gas no debe ser tan enrarecido como para que el libre camino medio sea del orden del diámetro del tubo y el flujo sea por lo tanto molecular.
- 3) El flujo debe ser laminar, ya que de otra manera el deslizamiento de las capas de gas no se produciría paralelamente.

(11) J.A. Mc. Millan y T. Buch - Comunicación personal.

te a sí mismo, sino que se formarían torbellinos.

4) El flujo debe ser isoterma, por la ecuación general de gases aplicada.

1) Si la condición primera no se cumple, debe introducirse un término que corrija por la pérdida de energía cinética del gas, a la salida del capilar. La distribución de velocidades se abre allí en forma de abanico.

En esta parte la viscosidad tiene poca influencia sobre el movimiento del fluido. A la salida del capilar se forman torbellinos, con producción de calor y la ecuación de Poiseuille, ya no se cumple.

La corrección a introducir disminuye con la temperatura y es proporcional al cuadrado del caudal.

2) Para gases a presiones muy bajas M. Knudsen, A. Kundt y E. Warburg <sup>(14)</sup>, estudiaron las condiciones de escurrimiento, dando a este flujo el nombre de molecular

Observaron que la fuerza tangencial F que se opone al movimiento del gas, es menor que la prevista, como si se hubiera producido un aumento del diámetro del tubo.

$$F = \eta \frac{v}{d + 2\zeta}$$

donde v y d tienen el significado indicado anteriormente y  $\zeta$  factor de corrección

$$\zeta = \left(2 - \frac{z}{2}\right) \frac{\eta}{p} \sqrt{\frac{\eta R T}{2^{1/4}}} \quad (\beta) L$$

con  $\beta \approx 1$ , llamado coeficiente de slip

L = libre camino medio

z = coeficiente numérico que puede alcanzar el valor

(14) Dushman "Vacuum Technique" (J.Wiley and Sons New York 1949)

máximo de 1 y que es igual a la relación de transferencia de impulso.

Según E.H. Kennard,  $z$  depende de la interacción entre las moléculas del gas y la superficie del tubo, y de la temperatura. Según B. Baule,  $z$  guarda relación con el libre camino medio de las moléculas que es función del diámetro molecular del gas y de las moléculas que forman la superficie.

Con esta corrección el flujo  $\psi$  toma la forma:

$$\psi = \frac{0.5236}{\eta} \frac{r^4}{l} p_m + 3.049 \cdot 10^4 \mathcal{K} \frac{r^3}{l} \sqrt{\frac{T}{M}} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{seg}^{-1}$$

donde

$$\mathcal{K} = \text{es función de } \left( 1 / \frac{r p_m}{l} \right)$$

Este flujo, medido en vol/tiempo, representa una conductancia. Aparece aquí como la suma de dos: una debida al flujo de Poiseuille, laminar o viscoso y otra debida al flujo Knudsen o molecular.

Para presiones pequeñas y,  $r/L$  chico  $\mathcal{K} \sim 1$  y la fórmula se transforma en :

$$\psi = 3.049 \cdot 10^4 \frac{r^3}{l} \sqrt{\frac{T}{M}}$$

independiente de la viscosidad del gas. Es el término correspondiente al flujo molecular.

La fuerza

$$F = \frac{v}{3} P \sqrt{\frac{M}{RT}}$$

es proporcional a la velocidad y a la presión del gas.

A estas presiones se producen deslizamientos de las moléculas del gas sobre las paredes. No hay capa de velocidad cero en contacto con las mismas.

A presiones mayores,  $r p_m / l$  aumenta  $\mathcal{K}$  se hace pequeño y el flujo toma la expresión:

$$\psi = \frac{5.236 \cdot 10^{-4}}{\eta} - \frac{r^4}{l} \quad p_a$$

el término de corrección se hace despreciable y se obtiene la ecuación de Poiseuille.

Se verifica que para valores de  $r/L > 100$  predomina el término de Poiseuille, mientras que para  $r/L$  menor que 1 predomina el de Knudsen.

En resumen, cuando el radio del capilar es mucho mayor que el camino libre medio, predominan los choques intermoleculares, siendo despreciables los choques contra las paredes. En estas condiciones el flujo es viscoso.

En caso contrario los únicos choques que tienen importancia son aquellos contra las paredes, siendo además los únicos responsables por el cambio de impulso de las moléculas. El flujo resultante es molecular.

Un cálculo aproximado del valor de  $r/L$  para aire y vapor de  $H_2O$  en las condiciones de la experiencia nos indica que para esas condiciones,  $r/L > 100$ , luego no es necesario introducir corrección por slip.

3) El flujo del gas cuya  $\eta$  se quiere medir debe encontrarse dentro de la zona viscosa y no en la zona turbulenta.  
(15,16)

Los criterios que permiten establecer esto son los siguientes: se define un número sin dimensiones, llamado número de Reynold. (Re), que representa la relación entre las fuerzas de inercia ( $F = m \cdot a$ ), medidas en  $L^2 v^2$  y las fuerzas de fricción, medidas en  $\eta l v$ .

(15) Coulson y Richardson "Chemical Engineering" Vol. I,  
(Pergamon Press. London 1954)

(16) Perry "Chemical Engineers' Handbook" Tercera Edición  
Sección 5. Pág. 302 (Mac Graw - Hill 1950)

$$Re = \frac{L^2 \rho v^2}{\eta} = \frac{v \rho d}{\eta} \quad \text{(XIII)}$$

Donde:

d = diámetro del tubo

L = longitud

$\rho$  = densidad

$\eta$  = viscosidad

$\nu = \eta / \rho$  = viscosidad cinemática

v = velocidad lineal del gas

Para gases, se establece que debajo de un valor del Re de 2100 el flujo es en todos los casos laminar e independiente de la rugosidad del tubo.

Para un gas determinado en condiciones experimentales prefijadas, el valor de Re, es función de la velocidad solamente. Para el valor del Re debajo del cual hay flujo laminar, se define una velocidad lineal, que es la máxima para la cual se está seguro de tener este tipo de flujo. Esta se llama velocidad crítica  $v_c$ . Para toda velocidad  $v < v_c$ , el flujo del gas será laminar, el  $Re < 2100$  y la ecuación de Poiseuille se cumple. Para valores de  $v > v_c$ , el flujo no será turbulento,  $Re > 2100$  y no será aplicable la ecuación de Poiseuille.

Se ha calculado el Re para nuestras condiciones experimentales como 952 aproximadamente.

P A R T E   E X P E R I M E N T A L

1º).- Descripción del aparato.

El aparato consiste en un recipiente (1) (vol. 504 cm<sup>3</sup>), unido mediante un capilar en espiral a un segundo recipiente (2).

La espiral es de capilar de vidrio de 2 mm de diámetro. Tiene 54 vueltas de 11,5 cm de diámetro, totalizando un largo de 20,88 mts. El recipiente (2) consiste en un tubo usado comunmente como trampa fría previa a la bomba de vacío. Para evitar la condensación del vapor solidificado dentro del caño de introducción del vapor, este caño no llega más que hasta la mitad del tubo. La salida de los gases se produce por un tubo situado en la parte superior, conectado mediante gomas para vacío, al sistema de evacuado del gas. Todo el recipiente (2) se ha introducido en un vaso Dewar, con CO<sub>2</sub> sólido en polvo, en cual sólo llega hasta la boca del caño de entrada de los gases. Dimensiones del recipiente (2): aproximadamente 17 cm de altura por 4 cm de diámetro; diámetro de los tubos de entrada y salida del gas: aproximadamente 2 mm.

El recipiente (1) puede conectarse mediante una llave de 3 vías al generador de vapor. Este consiste en 1 baloncito de aproximadamente 3 cm de diámetro, calentado mediante inmersión en el baño termostatizado.

La llave de 3 vías y la parte de conducto de vidrio no sumergidos, son calentados mediante resistencia de calentamiento enrollada, de aproximadamente 60Ω.

La experiencia que nos permitirá medir la velocidad de escurrimiento a través del capilar, consiste en medir el tiempo en que la presión en el depósito de gas cae de un va-

lor  $P_1$  a un valor  $P_2$ .

El recipiente (1) está conectado a un manómetro en U de rama cerrada, de mercurio, de aproximadamente 6 mm de diámetro.

El tiempo de escurrimiento del gas a través del capilar se mide en un cronómetro al  $\frac{1}{50}$  de segundo.

Este tiempo se mide con dos puntas de platino que hacen contacto con el mercurio del manómetro. La punta superior pone en funcionamiento un instrumento de medida cuando se abre el contacto entre ella y el mercurio, la punta inferior detiene el instrumento de medida cuando se separa del mercurio.

El manómetro está munido de 2 contactos que marcan el pasaje del mercurio a 2 alturas fijas. La distancia entre los 2 es de 75 mm, encontrándose el 1º a una altura de 5 mm, sobre el nivel de presión cero. Un tercer pasante, sirve de contacto común. La conexión exterior de los pasantes se hace mediante tubos de vidrio de 6 mm de diámetro en los cuales se introducen los cables y el mercurio que hace contacto entre estos y los pasantes.

Todo el aparato, excepto el sistema de vacío y el recipiente (2) está sumergido en el baño termostático (16)

La termostatización se efectúa mediante:(16)

- 1) Una resistencia auxiliar de 2KW para llevar el líquido del baño a temperatura.
  - 2) Dos resistencias de 500 W cada una actuadas por un relays conectado a un termoregulador a vapor.
  - 3) El termoregulador se describe en el circuito eléctrico .
- La sensibilidad del termostato depende de

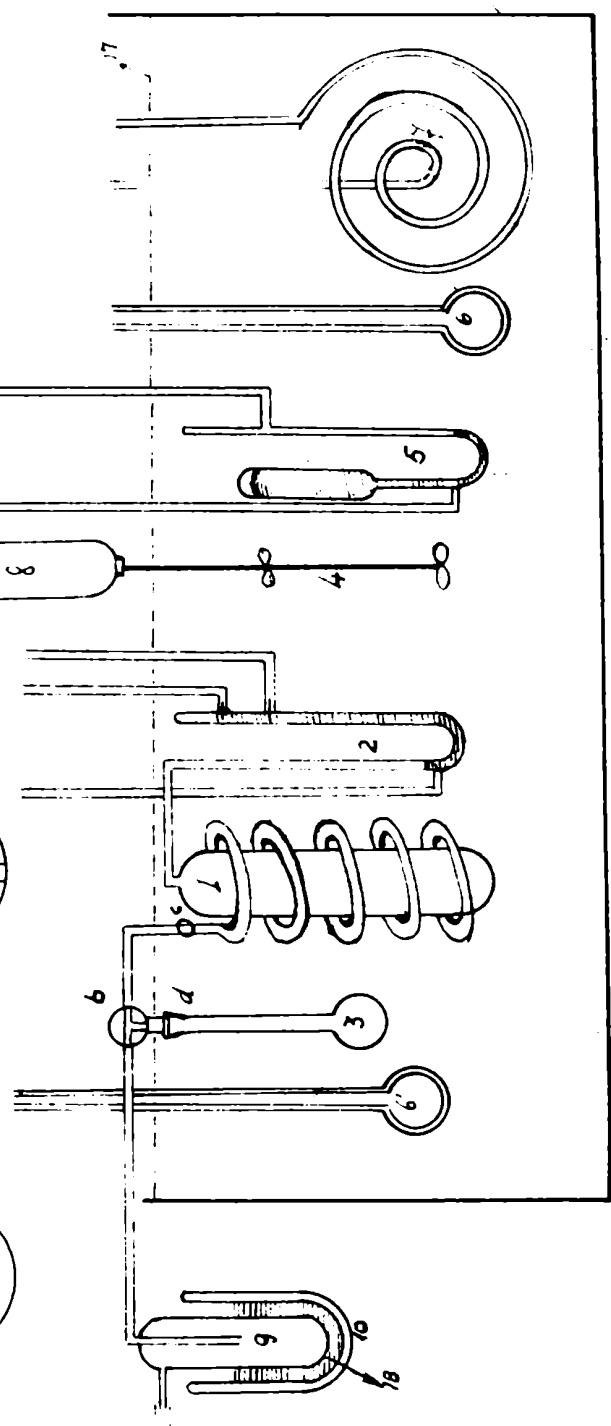
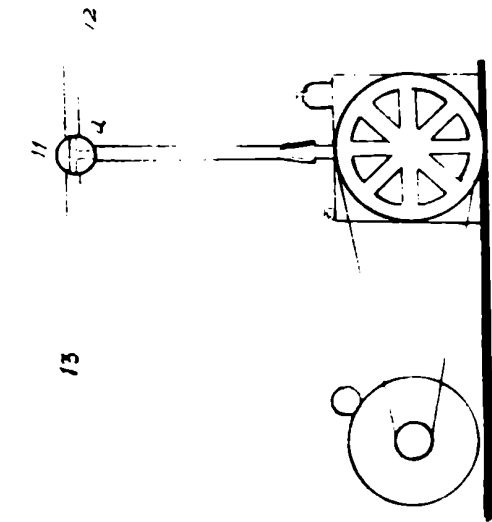
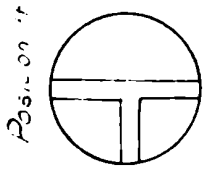
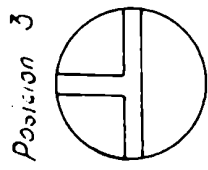
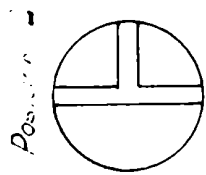
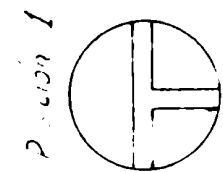
(16) Suruzue: Reglage de la Temperature - Vol III. Centre National de la Recherche Scientifique Paris 1947.



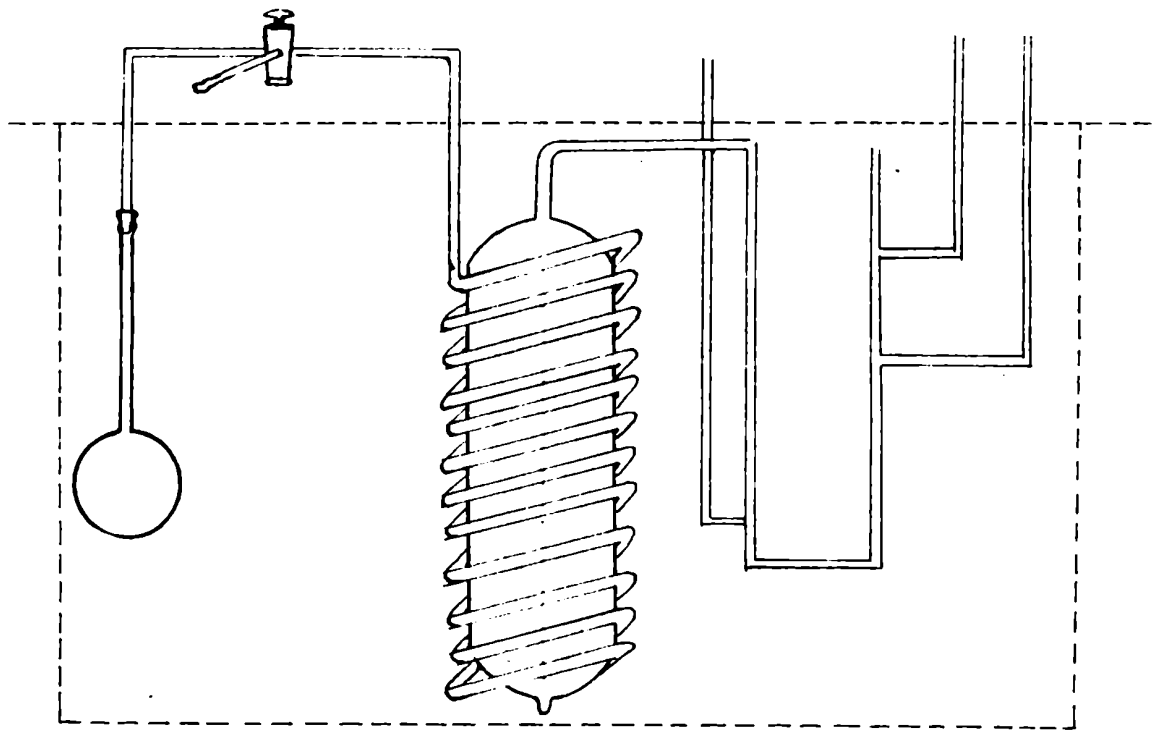
$$dh = C \frac{dp}{dT} \quad \text{donde } p = P_v = f(T).$$

Las precauciones necesarias para el llenado del tubo son: una limpieza perfecta del vidrio para evitar que el mercurio se pegue, para lo cual se lava con mezcla sulfocrómica caliente, agua y alcohol y se seca en estufa a 150°C. La aguja de tungsteno debe ser lo más puntiaguda posible y las proporciones de la aguja al diámetro del tubo tales que aseguren una sensibilidad suficiente.

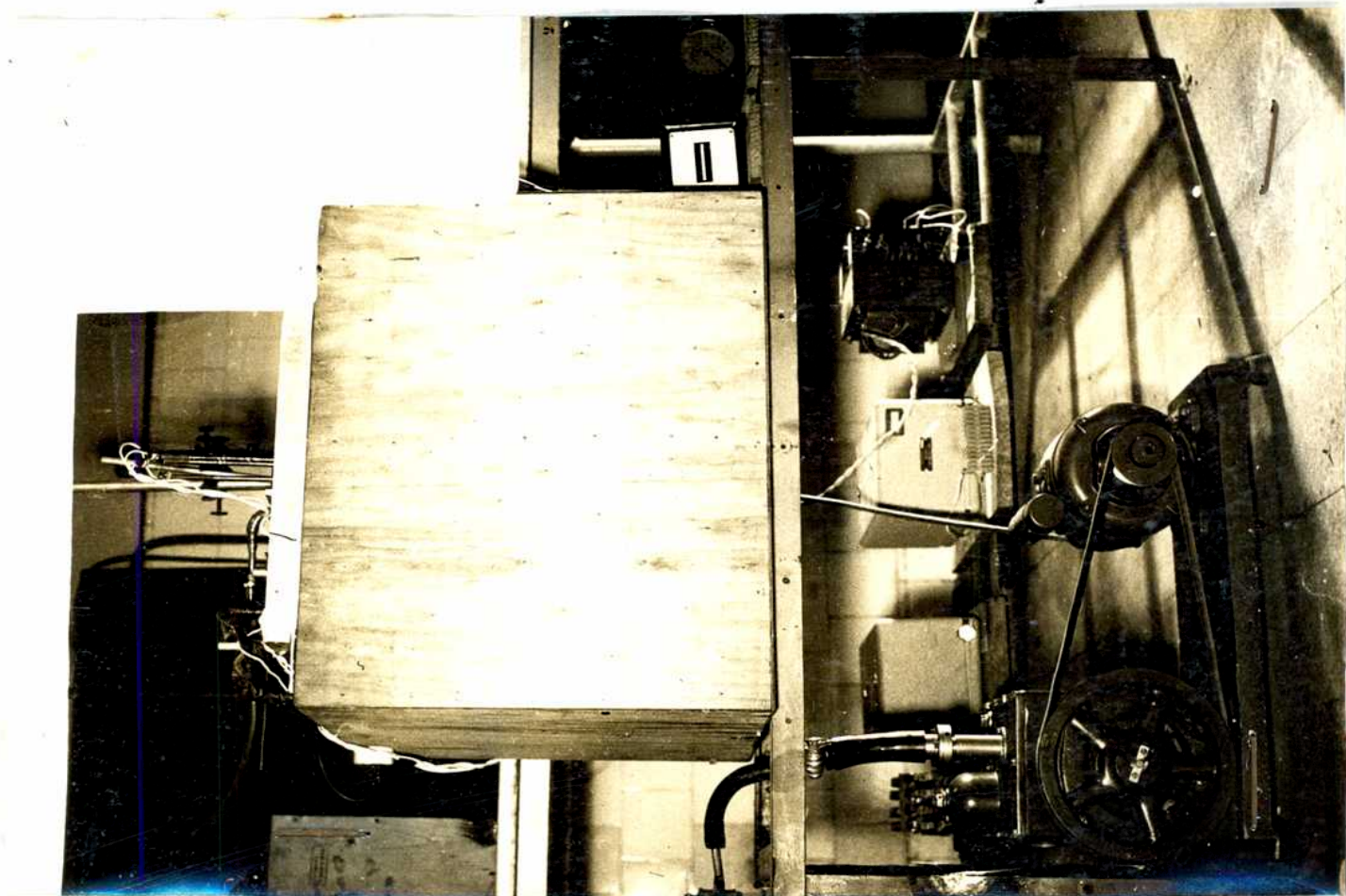
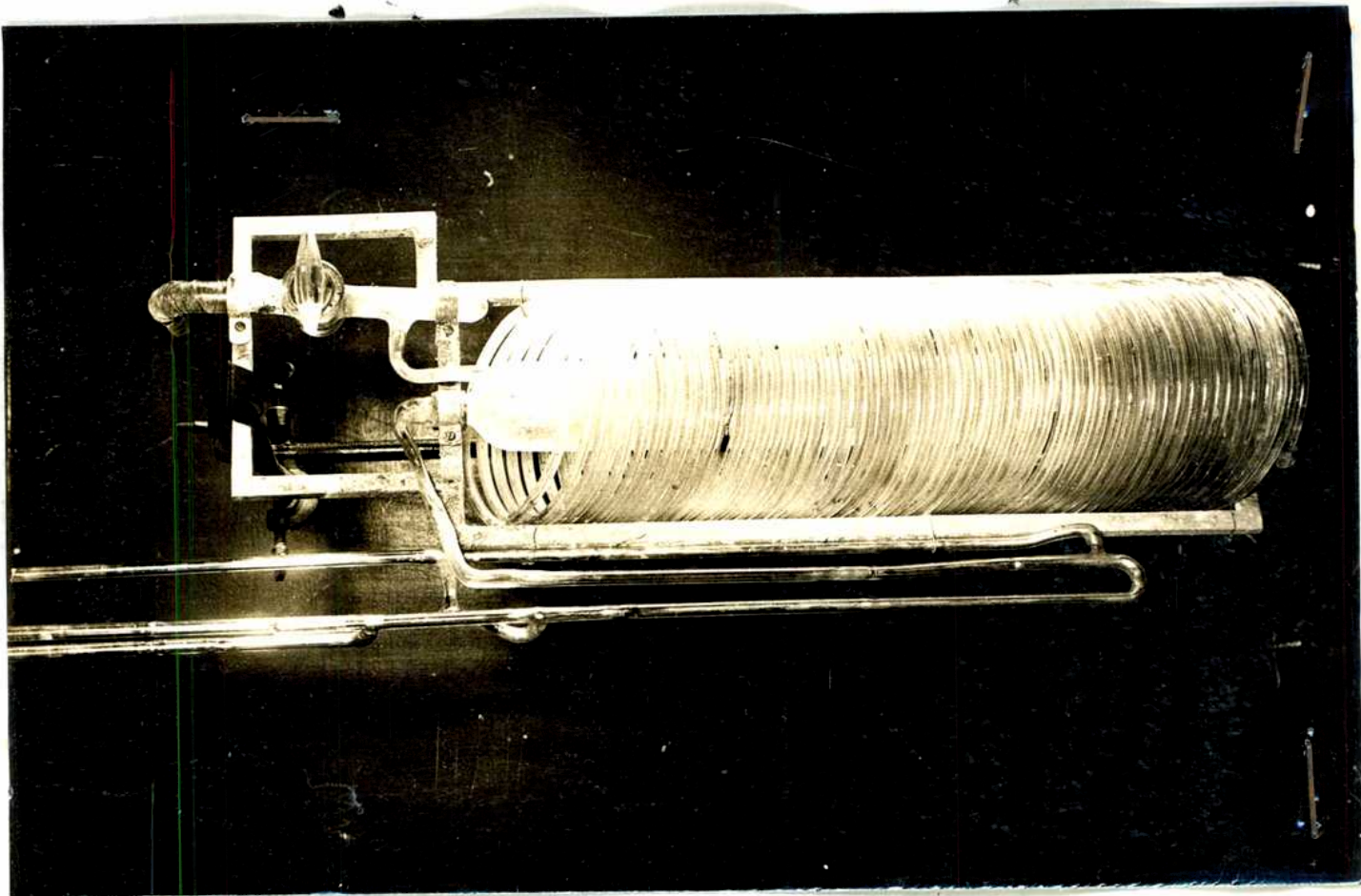
- 4) La uniformidad de temperatura se asegura mediante un agitador rotatorio.
- 5) El sistema de vacío consta de una bomba rotativa, de una etapa y velocidad de bombeo igual a 144 litros por minuto.
- 6) La conexión entre el recipiente (C) y la bomba se efectúa mediante tubo de goma rojo de 10 mm. de diámetro interno y 7 mm. aproximadamente de espesor de pared. Una llave de tres vías permite conectar el aparato y/o la bomba al aire.
- 7) La cubeta del baño termostático consiste en una cuba de aluminio, revestida exteriormente por un cajón de madera. Entre la pared de aluminio y la pared de madera hay un espesor de aproximadamente 5 cm. relleno con vermiculita que produce una aislación térmica.



Ver referencias pag 28



Ver referencias en pag. 28



DISPOSICION GENERAL DEL APARATO

- 1) Aparato para det. de viscosidad de gases por transpiración: espiral de salida y depósito.
- 2) Manómetro medidor de tiempos de escurrimientos.
- 3) Generador de vapor.
- 4) Agitador.
- 5) Termoregulador del baño.
- 6) Resistencias de regulación de temperatura (calentamiento).
- 7) Resistencia auxiliar de calentamiento.
- 8) Motor del agitador.
- 9) Reservorio a presión cero.
- 10) Vaso de Dewar.
- 11) Llave de 3 vías.
- 12) Línea de vacío de goma
- 13) Toma de aire.
- 14) Cuerpo de la bomba de vacío
- 15) Motor " " " " "
- 16) Baño termostato.
- 17) Nivel del agua de termostatación.
- 18) Sustancia refrigerante  $CO_2$  sólido.
  - c) Llave de 1 vía
  - d) Esmeril.

2º.- Descripción de la parte eléctrica y circuitos

La parte eléctrica consta de dos circuitos principales:

b) Circuito medidor del tiempo.

d) Circuito de termoregulación.

Las demás partes constituyen distintas conexiones de motores, etc. Todos salen de una fuente de tensión de 220V común.

b) Circuito medidor del tiempo.

El tiempo de escurrimiento del gas a través del capilar se conoce midiendo cuántos segundos tarda el mercurio del manómetro en bajar de un nivel A a otro nivel B. Estos niveles están marcados mediante pasantes de platino en el vidrio. Cuando el mercurio se separa del contacto superior A deja de pasar corriente en la bobina del relay A', y éste, conectado al revés, es decir de posición normal abierta, se cierra dejando pasar corriente en el circuito en el cual está intercalado un contador de pulsos. Cuando el mercurio se separa del contacto medio B, deja pasar corriente por la bobina del relay B', y éste, conectado en forma directa, es decir, con posición normal cerrada, abre el circuito del contador, deteniéndose el timer. El contacto inferior C, es común a A y B y cierra ambos circuitos.

El contador de pulsos trabaja con corriente rectificad a media onda. Para esto se ha intercalado un rectificador de corriente de  $Cu_2O$ , con lo cual se obtienen 50 pulsos/segundo y una tensión de 55 Volt, obtenida de un transformador con bornes de salida múltiples.

En la práctica se usó un relay electrónico múltiple con una Thyatron cuyo retardo de respuesta se considera despreciable, con respecto a la sensibilidad del conta

dor.

d) Circuito termoregulador:

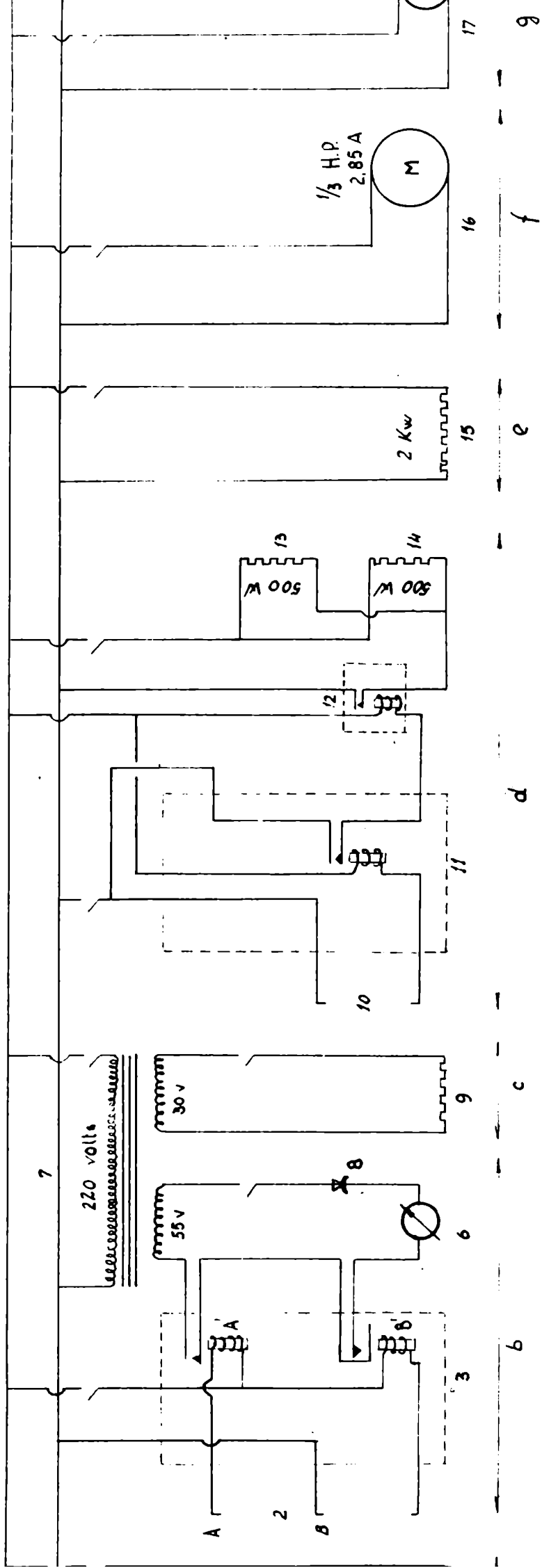
La termoregulación del baño termostático se hace mediante un tubo en U que actúa como un manómetro de rama cerrada. Una de las ramas consta de un bulbo, en el cual se encuentra encerrado un líquido en equilibrio con su vapor. Al variar la presión de vapor del líquido, debido a variaciones en la temperatura del baño, sube o baja la columna de mercurio en la rama opuesta, abriendo o cerrando el contacto con un pasante de platino.

En la parte inferior del tubo en U se encuentra un pasante de tungsteno que hace contacto constantemente y cierra el circuito.

Al abrir o cerrarse el contacto entre el pasante y el mercurio, se abre o se cierra un relay, el cual interrumpe la corriente en la bobina de una segunda llave magnética, que permite el paso de corriente de alta intensidad (aproximadamente 10 A). Esta, a su vez maneja el circuito de dos resistencias de 500 W c/u. conectadas en paralelo.

Las demás partes eléctricas son:

- a) Frecuencímetro para 220V. necesario para corregir las variaciones de frecuencia de la línea. Permite apreciar 0,1% de variación de la frecuencia de la línea.
- c) Resistencia de calentamiento enrollada en los tubos de vidrio no sumergidos en el baño. La tensión de 30 V se obtiene del transformador a bornes múltiples, del circuito B). La intensidad de corriente es alrededor de 0,5 Amp., totalizando una potencia de 15 W.
- e) Resistencia auxiliar para llevar el agua a temperatura. Se usó una resistencia comprada en el comercio de 2KW.
- f) Conexión del motor de la bomba de vacío de 1/3 HP y 2,85 Amp.
- g) Conexión del motor del agitador, etc.



Parte eléctrica - Circuitos

(ver referencias en pag 32)



Circuito : referencias

- a) circuito frecuencímetro
  - 1: medidor de frecuencia de línea
  
- b) circuito medidor del tiempo de escurrimiento
  - 2: contactos del manómetro
  - 3: relav electrónico (circuito equivalente)
  - 4:  $\frac{1}{2}$  cierre del relay, conectado al revés
  - 5: 2º " " " " " directo
  - 6: reloj al  $\frac{1}{50}$  seg.
  - 7: transformador de múltiples salidas (entrada 220V)
  - 8: rectificador de corriente a CCu<sub>2</sub>
  
- c) circuito calentamiento
  - 9: resistencia calefactora tubos de vidrio
  
- d) circuito control temperatura
  - 10: contactos termoregulador
  - 11: relays electrónico (circuito equivalente para 1 solo contacto)
  - 12: llave magnética
  - 13 y 14: resistencias de calentamiento del baño termostático
  
- e) circuito auxiliar de calentamiento
  - 15: resistencia auxiliar de calentamiento de 2KW
  
- f) circuito bomba de vacío
  - 16: motor de la bomba
  
- g) circuito agitador
  - 17: conexión al motor del agitador

22.- Parte práctica

Mediante el método de transpiración se determina la relación entre las viscosidades del vapor no saturado de  $H_2O$  y del vapor de  $D_2O$  a temperaturas debajo de  $100^{\circ}C$ .

Temperaturas elegidas en  $^{\circ}C$ . Presiones de vapor: mm.Hg. (17)

74,4 ~ 74	281,9
80,5 ~ 80	361,0
89,9 ~ 90	533,8

Como viscosidad standard se tomó la viscosidad del aire a  $23^{\circ}C$ , igual a  $1822,6 \cdot 10^{-7}$ .

En todos los casos la presión inicial ( $P_1$ ) en el depósito de gas fué de 80 mm y la final ( $P_2$ ) fué de 5 mm.

Los vapores se obtuvieron de un depósito conteniendo la fase líquida del vapor a medir, termostatzado a la temperatura de la experiencia. Para la producción de vapor de  $H_2O$  se usó  $H_2O$  bidestilada, de composición isotópica normal, igual a 0,0156 moles % de  $D_2O$ .

Para la producción de vapor de  $D_2O$  se usó  $D_2O$  líquido de concentración 99,99%.

El manejo del aparato indicado en el esquema consiste en lo siguiente:

- 1) Estando la llave a en la posición 2, que conecta el aparato con el sistema de vacío, y la llave b en la posición 3, que aísla el depósito de vapor, se deja evacuar el aparato durante aproximadamente una hora, mientras el baño termostático llega a la temperatura de la experiencia. La llave c está siempre abierta excepto cuando se desea aislar el serpentín del tren de vacío y del aire. Con esta operación se considera todo el aparato suficientemen-

(17) Manual Hodgman: Edición Nº 23 (1951-1952) Chem. Rubber Publising Co. New York.

te degasado.

- 2) Estando el aparato en vacío, la llave b se pone en posición 2, con lo que el vapor producido en el balón 3 pasa al depósito 1. El manómetro 2 indica cuando la presión ha llegado a 1 cm. encima del contacto superior. Entonces se vuelve la llave b a la posición 3, con lo que el vapor empieza a salir del recipiente 1 a través del serpentín. Cuando el menisco de mercurio se separa del contacto superior del manómetro se pone automáticamente en funcionamiento un cronómetro al 1/50 de segundo. Este se detiene cuando la presión es tal que el menisco del mercurio se separa del contacto inferior del manómetro. Este segundo contacto está fijado a una altura de 5 mm.

Estando todo el aparato sumergido en el baño termostático se supone que la termostatización del gas en 1) es instantánea. Ensayos con mayores tiempos de termostatización, así lo confirmaron, pues no se obtuvieron valores distintos.

- 3) Terminado un escurrimiento del gas, debe llenarse de nuevo el recipiente 1, con el mismo vapor para repetir la medición.

Para esto se vuelve la llave b a la posición 2, con lo que el aparato se llena con vapor a una presión de aproximadamente 90 mm. de Hg.

Hecho esto se inicia una nueva medida del tiempo de escurrimiento.

- 4) Cuando las medidas se suspenden durante algunas horas, el aparato se deja en vacío, aislado del depósito de vapor mediante la llave b en posición 3, la llave c cerrada y la llave a en posición 4, que lo aísla del aire,, permitiendo al mismo tiempo la conexión de la bomba a la atmósfera, mientras está detenida.

El objeto de esta precaución es que el aparato se encuentra solamente en contacto con el gas que se está midiendo. Previo al cambio de gas a medir, el aparato se evacúa durante algunas horas con el objeto de eliminar cualquier traza de gas medido anteriormente. Hecho esto se lava con el gas a medir por lo menos dos veces.

5) La trampa 9) con hielo seco, evita el pasaje de humedad al acéite de la bomba.

6) Preparación del generador de vapor con el líquido cuyo vapor se desea medir:

Para esto se llena el baloncito, previamente secado en estufa a 110°C. durante 1½ hora, con H<sub>2</sub>O o D<sub>2</sub>O hasta la mitad.

Se conecta al esmeril d) y se coloca la llave b) en posición 4). Con esto el baloncito 3) se conecta al vacío y se aísla del depósito 1). Se lo rodea con CO<sub>2</sub> sólido molido y se evacúa estando la llave a en la posición 2. Mediante sucesivas congelaciones y fusiones del agua en el baloncito y en vacío, se considera el líquido completamente exento de aire disuelto, con lo que se cierra la llave b) a la posición 3 y el generador de vapor queda listo para el uso.

7) Cuidado del sistema de vacío:

El vacío producido por la bomba a la salida de la misma se midió con un vacuómetro Pirani el cual indicó luego de 15 minutos de funcionamiento aproximadamente una presión residual de 30 micrones. La misma medida se efectuó al final de la serie de mediciones, obteniéndose igual valor.

8) Las llaves y esmeriles del aparato fueron engrasadas en su parte más alejada del conducto de vapor, con grasa para vacío de silicona dura.

9) Preparación del baño termostático:

Para el calentamiento inicial del baño se conectaron todas las resistencias incluida la resistencia de 2 KW. Al llegar la temperatura del baño al vapor deseado, esta resistencia se desconecta, permitiendo al sistema de termoregulación, descrito en el circuito eléctrico regular la temperatura, mediante las resistencias auxiliares y el termoregulador 5.

10) Llenado del aparato con aire:

Para esto, estando el aparato evacuado y la llave b en posición 2), se coloca la llave a en posición 3) también. El aire que entra de esta manera, pasa por la trampa 2, y llega al aparato seco. También en este caso el aparato se llena con aire a una presión de 90 mm. Esto tiene por objeto que la presión inicial en la cámara 1) sea la misma en todas las medidas.

Medidas efectuadas:

En el laboratorio se hicieron dos series de medidas del tiempo de escurrimiento, de 60 lecturas cada una para cada temperatura, de cada una de las siguientes sustancias a la presión media de 42,5 mm. de Hg. ( $P_1=80$  mm;  $P_2=5$  mm)

Aire seco: a las temperaturas de

23 °C	dos series de 60 medidas c/u
74,4°C	" " " " " "
80,5°C	" " " " " "
89,9°C	" " " " " "

Vapor de  $H_2O$  (composición isotónica 0,0156% moles  $D_2O$ ).

74,4°C	dos series de 60 medidas c/u
80,5°C	" " " " " "
89,9°C	" " " " " "

Vapor de  $D_2O$  ( 99,98% moles de  $D_2O$ ).

74,4°C	dos series de 60 medidas c/u
80,5°C	" " " " " "

89,9°C            dos series de 60 medidas c/u

11) Lectura del cronómetro:

Como el cronómetro no tiene puesta a cero, fué necesario hacer una lectura inicial  $L_i$  y una final. El valor del tiempo de escurrimiento se obtuvo por la diferencia  $L_f - L_i$ .

12) La lectura efectuada se corrigió por la variación de frecuencia de línea.

13) Estando el manómetro sumergido en el baño termostático es necesario introducir una corrección por el cambio de densidad del mercurio a las distintas temperaturas de trabajo

CALCULOS

APRECIACION DE ERRORES A PRIORI.

La viscosidad de un gas aumenta con la temperatura y es independiente de la presión y de la densidad del gas.

Tendrán por lo tanto, que evaluarse los siguientes errores:

Error por variación de temperatura del termostato:

Para aire a 23,0°C

Para 0,1 °C se produce una variación de  $0,5 \cdot 10^{-7}$  noj ses. Sobre  $1822,6 \cdot 10^{-7}$  n. esto representa 0,030%.

Para 0,3 °C de variación 0,09% — 0,1%

Este error se propaga al tiempo de escurrimiento del aire también con un valor de 0,1%

Para vapor de H<sub>2</sub>O a 70°C.

A esa temperatura 0,1°C de variación significan  $0,4 \cdot 10^{-7}$  n. 0,03% sobre  $130 \cdot 10^{-6}$  n.

Para 0,3°C de variación — 0,1%

Este error se propaga al tiempo de escurrimiento del vapor de H<sub>2</sub>O con un valor de 0,1%, aproximadamente igual que para el aire.

Error por variación de la frecuencia de línea:

La frecuencia de línea varía en valores que oscilan entre 0,1% a 2%. Esta variación se midió con un frecuencímetro, que permite apreciar el 0,1%.

Siendo la velocidad del cronómetro proporcional a la frecuencia, es necesario corregir los tiempos leídos. El error cometido menor 0,1% queda evaluado en 0,05%.

Error por variación de densidad del mercurio del manómetro, a las distintas temperaturas de la experiencia.

Las presiones leídas en el manómetro son distintas a las diferentes temperaturas, luego es necesario corregir la

velocidad de escurrimiento del gas para este error, el cual es del orden del 1% y ha sido calculado.

Error por la medición del tiempo:

Para medir los tiempos de escurrimiento se empleó un cronómetro al 50 avo. de segundo.

Sobre 5150 seg/50 (valor menor para H<sub>2</sub>O a 74,4°C ) esto representa: 0,20%.

Error por diferencia de los coeficientes viriales del vapor de H<sub>2</sub>O y del aire: se calculó en 0.45 y es despreciable.

Sumando los errores:

Error por temp;	0,10%
" " var. frec.	0,05%
" " med. tiempo	0,20%
<hr/>	
Error total	0,35%

Luego cada tiempo de escurrimiento estará afectado por un error de 0,25%

Aplicando la fórmula, las viscosidades estarán afectadas por un error:

$$\frac{\eta}{\eta'} = \frac{t}{t'} \qquad \eta = \eta' \frac{t}{t'}$$

donde t = tiempo de escurrimiento del gas-problema

t' = " " " del gas standard

$\eta$  = viscosidad a medir

$\eta'$  = " standard ( vap. H<sub>2</sub>O a 23 °C). Se conoce al 0,1.10<sup>-7</sup> p. lo cual representa un 0,01% diez veces menor que el cometido en la lectura.

Luego se considera como valor exacto.

$$\Delta \eta \% = \Delta \% t + \Delta \% t' + \Delta \% \eta'$$

$$\Delta \eta \% = 0,25\% + 0,25\% + 0,20\%$$

$$\Delta \eta \% = 0,72\% \approx < 1\%$$

Comparando con los resultados se observa que el error



experimental de los tiempos de escurrimiento es del orden del error evaluado a priori y a veces levemente mayor.

Se considera que esto es debido a que, un tipo de error quedó sin evaluar. Este, es la variación del tiempo que tarda el menisco de Hg en separarse de los contactos superior e inferior del manómetro. Los resultados experimentales indican, sin embargo, que el orden de este error es pequeño, ya que no modifica mucho el valor del error experimental.

CALCULO DE ERRORES A POSTERIORI

Para decidir la confianza merecida por los resultados obtenidos, se estudiaron los errores y su distribución de la siguiente manera. (20) (21)

1) Se determinó el valor medio:

$$t_m = \frac{\sum t_1}{N}$$

que se tomó como valor

mas probable.

2) Se determinó el error de cada determinación  $t_1$  con respecto al promedio  $t_m$

$$\xi = t_1 - t_m$$

3) Se calculó el error medio cuadrático

$$S = \sqrt{\frac{\sum \xi^2}{N-1}}$$

de la serie de determinaciones, con respecto al promedio.

Se calculó también el error medio cuadrático porcen-

(20) S.S. Wilks: "Análisis estadístico elemental.

Consejo Sup. de Invest. Científ. Madrid 1952.

(21) B. Baule: Trat. de mat. Sup. para Ing. y Fís. Labor Barcelona 1949.

tual con respecto al promedio:

$$S\% = \frac{S.100}{t_m}$$

4) Se determinó el error medio del promedio como:

$$S_{t_m} = \sqrt{\frac{\sum \epsilon_i^2}{N(N-1)}}$$

así como el error medio más probable del promedio

$$r_{t_m} = 0,6745 S_{t_m}$$

Los resultados de cada serie de lecturas de tiempos de escu  
rrimiento se expresan como el valor más probable más la des  
viación cuadrática media:

$$t = t_m \pm (r_{t_m} S) \quad (r_{t_m} = \dots)$$

Para cada serie se agrega el error más probable del promedio.  
Para asegurar la ausencia de errores sistemáticos que puedan  
invalidar los resultados, se estudió la distribución de los  
errores. De ser ésta normal, es válida la aplicación de las  
fórmulas obtenidas por la estadística.

Se empleará el siguiente método:

1º) Se denomina momento de la distribución a la integral (XIII)

$$m_n = \int_{-\infty}^{\infty} \epsilon^n \psi(\epsilon) d\epsilon = 2 \int_0^{\infty} \epsilon^n \psi(\epsilon) d\epsilon$$

donde

$\epsilon$  = desviación de c/determinación respecto del promedio

$\psi(\epsilon)$  = función de distribución de la forma  $e^{-k^2 \epsilon^2}$

siendo  $e$  base de log. naturales

Para valores de  $n = 1, 2, 3, 4$ , etc, tenemos los momentos de 1º,  
2º, 3º, 4º orden etc.

Se demuestra que las integrales (XIII) equivalen a

$$(XVI) \left\{ \begin{array}{l} \int_0^{\infty} \frac{1}{\sqrt{\eta}} \varphi(\epsilon) d\epsilon = m_1 = \frac{1}{k \sqrt{\eta}} = \bar{\epsilon} = \frac{\sum \epsilon_1}{N} \\ \int_0^{\infty} \frac{\epsilon^2}{\sqrt{\eta}} \varphi(\epsilon) d\epsilon = m_2 = \frac{1}{2 k^2} = \frac{\sum \epsilon_1^2}{N} \\ \int_0^{\infty} \frac{\epsilon^3}{\sqrt{\eta}} \varphi(\epsilon) d\epsilon = m_3 = \frac{1}{k^3 \sqrt{\eta}} = \frac{\sum \epsilon_1^3}{N} \\ \int_0^{\infty} \frac{\epsilon^4}{\sqrt{\eta}} \varphi(\epsilon) d\epsilon = m_4 = \frac{3}{4 k^4} = \frac{\sum \epsilon_1^4}{N} \end{array} \right.$$

Con el valor de  $\bar{\epsilon} = 0,7978.S$  (XIV), se calcula en cada serie la  $k$  correspondiente con:

$$k = \frac{1}{\bar{\epsilon} \sqrt{\eta}} \quad (XV)$$

y con este valor se determinan los momentos  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$  y  $m_4$ , iguales a los segundos miembros de las ecuaciones (XVI)

Comparando los resultados en los terceros miembros de las mismas ecuaciones, se determina la desviación de la distribución. Se acepta que la distribución es normal si los momentos primeros difieren en menos de 10%. En nuestro caso los valores de los momentos primeros calculados con el segundo y tercer miembro de las igualdades (XVI), difieren en menos del 6%, por lo que la distribución se puede considerar normal.

CALCULO DE LA RELACION r/L PARA:

Aire

Temperatura 23,4 °C = 296 °K

$P_2 =$  presión 80 mm

$M = 29$

$\eta = 1,8226 \cdot 10^{-4}$  poises (19) I.C.T.. Vol 5

Para el cálculo de L se usará la fórmula:

$$L = 3,589 \frac{\eta \text{ poise}}{P \text{ mm}} \sqrt{\frac{T^{\circ}K}{M}} \quad (\text{XVII})$$

$$L_{\text{Aire } 23,4^{\circ}C} = \frac{3,589 \cdot 1,822 \cdot 10^{-4}}{80} \sqrt{\frac{296}{29}}$$

$$L = 6,33 \cdot 10^{-5} \text{ cm}$$

$$\left[ \frac{r}{L} \right]_{80}^{23} = \frac{1}{6,33} \cdot 10^{-1} \cdot 10^5 = 0,1579 \cdot 10^{-4} = 1579$$

Aire

Temperatura 23,4 °C = 296 °K

Presión =  $P_1 = 5$  mm

$M = 29$

$\eta = 1,822 \cdot 10^{-4}$  poise

$$L_{\text{Aire } 23,4^{\circ}C} = \frac{3,589 \cdot 1,822 \cdot 10^{-4}}{5} \sqrt{\frac{296}{29}} = 10,13 \text{ cm} \cdot 10^{-4} = 1,013 \cdot 10^{-3}$$

$$\left[ \frac{r}{L} \right]_5^{23} = 10^{-1} \cdot 10^4 \cdot \frac{1}{10,13} = 0,098 \cdot 10^3 = 98$$

Vapor H<sub>2</sub>O

Temperatura 74,4 °C = 347,4 °K

$P_2 = 80$  mm

$\eta = 1,141 \cdot 10^{-4}$  poise

$M = 18$

$$L_{\text{H}_2\text{O } 74} = \frac{3,589 \cdot 1,141 \cdot 10^{-4}}{80} \sqrt{\frac{347,4}{18}} = 5,39 \cdot 10^{-5} \text{ cm}$$

$$\left[ \frac{r}{L} \right]_{20}^{74} = 10^{-1} \cdot 10^5 \cdot \frac{1}{5,30} \approx 0,1855 \cdot 10^4 = 1855$$

Vapor H<sub>2</sub>O      Temperatura 74,4 °C = 347,4 °K

Presión P<sub>1</sub> = 5 mm

$\eta = 1,141 \cdot 10^{-4}$  poise

M = 18

$$L_{\text{H}_2\text{O}}^{74} = \frac{8,529 \cdot 1,141 \cdot 10^{-4}}{5} \sqrt{\frac{347,4}{18}} = 8,62 \text{ cm} \cdot 10^{-4}$$

$$\left[ \frac{r}{L} \right]_5^{74} = \frac{0,1}{8,62 \cdot 10^{-4}} \approx \frac{10^{-1}}{10^{-4}} \cdot \frac{1}{8,62} = 116$$

Los valores calculados para r/L representan los valores mínimos extremos. Para todos los otros vapores medidos, esta relación es mayor que las calculadas.

El menor valor para r/L es el del aire a 23,4 °C y 5 mm, que nos da 20. Aún para este valor se puede suponer flujo viscoso y no molecular.

Valores de L para aire y vapor de H<sub>2</sub>O encontrados en tablas (14.)

Temo.	Aire 760 mm	1 mm	Vapor H <sub>2</sub> O 23 mm
25 °C	6,69 · 10 <sup>-5</sup>	5,09 · 10 <sup>-3</sup>	1,99 · 10 <sup>-4</sup>
100 °C	2,78 · 10 <sup>-6</sup>		

Cálculo del Re para nuestro aparato.

Se hace para el momento inicial del escurrimiento ya que es cuando  $v$  es mayor.

Condiciones experimentales: aire a 23 °C

Presión  $p_1 = 80$  mm

$$\rho_{\text{Aire}} = \frac{0,001293}{1 - 0,00267 t} \cdot \frac{p}{760}$$

donde:

$t =$  °C temperatura.

$p =$  presión mm de Hg

$$\rho_{\text{Aire}} = \frac{0,001293}{1 - 0,00267 \cdot 23} \cdot \frac{80}{760} = 0,0001254$$

$$\eta_{\text{aire } 23} = 182,4 \cdot 10^{-6} \text{ poise}$$

$$d = 0,2 \text{ cm}$$

Velocidad lineal media del gas:

$$\frac{126 \text{ cm}^3/\text{min.}}{\text{sec. tubo}} = \frac{126 \text{ cm}^3/\text{min.}}{60} = 6200 \text{ cm/min.}$$

$$\text{Form. XII} = \text{Re} = \frac{6,2 \cdot 10^3 \cdot 1,254 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 10^{-1}}{1,824 \cdot 10^{-4}} = 852$$

Corrección de la presión por variación de la densidad del Hg, con la temperatura:

$$23,5^\circ\text{C}) \quad \rho_{\text{Hg}} = 13,5399$$

$$p_1 = 80 \text{ mm}$$

$$p_2 = 5 \text{ " } \quad p_1 - p_2 = 75 \text{ mm}$$

$$p_m = 42,5 \text{ "}$$

$$74,5) \quad \rho_{\text{Hg}} = 13,4149$$

Se aplica la fórmula:

$$p_{74^\circ\text{C}} \cdot \rho_{23^\circ\text{C}} = p_{23^\circ\text{C}} \cdot \rho_{74^\circ\text{C}} \quad (\text{XVIII})$$

$$P_{74^{\circ}\text{C}} = \frac{80 \cdot 13,4148}{13,5389} = 5,91 \cdot 13,4148 = 79,28 \text{ mm Hg}$$

$$\Delta P_1 = 80 \text{ mm} - 79,28 = 0,72 \text{ mm Hg} \approx 1\%$$

$$P_2 74^{\circ}\text{C} = \frac{5 \cdot 13,4148}{13,5389} = 4,96$$

$$\Delta P_2 = 5 \text{ mm} - 4,96 \text{ mm} = 0,04 \text{ mm} \approx 1\%$$

$$P_1 - P_2 = 74,32 \text{ mm}$$

$$\underline{\Delta P\% \text{ sobre } 75 \text{ mm} = 0,9\%}$$

$$P_m = 42,12 \text{ mm} \approx 42,1 \text{ mm}$$

$$\underline{\Delta P_m = 0,4 \text{ mm} \approx 0,95\%}$$

20,5)  $\rho_{\text{Hg}} = 13,4003$

$$P_1 = \frac{80 \cdot 13,4003}{13,5389} = 79,19 \text{ mm}$$

$$\Delta P_1 = 80 \text{ mm} - 79,19 \text{ mm} = 0,81 \text{ mm} \approx 1\%$$

$$P_2 = 0,37 \cdot 13,4003 = 4,95 \text{ mm Hg}$$

$$\Delta P_2 = 0,05 \approx 1\%$$

$$P_1 - P_2 = 79,19 \text{ mm} - 4,95 \text{ mm} = 74,24 \text{ mm}$$

$$\underline{\Delta P \text{ sobre } 75 \text{ mm} = 0,95\%}$$

$$P_m = 42,07 \approx 4,21$$

$$\underline{\Delta P_m \approx 0,95\%}$$

20,3)  $\rho_{\text{Hg}} = 13,3762$

$$P_1 = 5,91 \cdot 13,3762 = 79,05 \text{ mm}$$

$$\Delta P_1 = 0,95 \text{ mm} \approx 1,2\%$$

$$P_2 = 0,37 \cdot 13,3762 = 4,94 \text{ mm}$$

$$\Delta P_2 = 0,06 \approx 1,2\%$$

$$P_1 - P_2 = 74,11 \text{ mm}$$

$$\underline{\Delta P\% = 1,2}$$

$$P_m = 42,0 \text{ mm}$$

$$\underline{\Delta P_m \approx 1,1\%}$$

$$v = K \Delta P \cdot P_n$$

$$\xi \%v = \xi \%v + \xi \% \Delta P + \xi \% P_n$$

Siendo las presiones menores que las consideradas experimentalmente, la velocidad también será menor, luego la velocidad correspondiente a 20 mm Hg a 23 °C, será igual a la velocidad a la temperatura T, mas el porcentaje correspondiente a la disminución de presión, ya que el error de la constante de proporcionalidad se considera nulo.

Cálculo de la corrección  $\gamma$  en la fórmula para comparación de viscosidades de gases: (22).

$$\eta = \eta' \frac{t}{t'} \gamma$$

$$B_0 = b - \frac{a}{RT}$$

donde  $B_0 = 2^o$  coef. virial

$b =$  covolumen de V. der Waals

$a =$  constante de la ec. de V. der Waals

Para aire  $B_0 = 0,00016$  ( $\approx 100^\circ\text{C}$ )

Para vapor de  $\text{H}_2\text{O}$

$$a = 5,464 \text{ moles}^2$$

$$P_1 = 0,1 \text{ atm}$$

$$b = 0,03049 \text{ lts/mol}$$

$$P_2 = 0,006 \text{ atm}$$

$$R = 0,08206 \frac{\text{lts atm}}{\text{moles}^\circ\text{K}}$$

$$T = 373 \text{ }^\circ\text{K} = 100^\circ\text{C}$$

$$B_0 = 0,03049 - \frac{5,464}{0,08206 \cdot 373} = -0,149 \approx -0,15$$

$$\gamma = 1 + \left[ (B_1 - B) \frac{P_1 \cdot P_2 \ln \frac{P_1}{P_2}}{P_1 - P_2} \right] = 1 + \left[ (0,00016 - 0,149) \times \frac{1}{0,1 - 0,006} \cdot \frac{1}{2,3} \log \frac{0,1}{0,006} \right]$$

$$= 1 + 0,1492 \cdot 0,0062 \cdot \frac{1}{2,3} \log 16,6 = 1 + 0,0005$$

(22) I.C.T. Vol III. Mac Graw Hill. N. York. 1930



$$\Delta = 5 \text{ } ^{\circ} / 1000$$

Siendo la corrección del orden de 5 en 10.000, es decir mucho menor que el error experimental, puede despreciarse.

TABLA I

Valores de viscosidades de aire y vapor de agua encontrados en tablas: (23) .

$^{\circ}\text{C}$	$\eta$	$\Delta \eta$
0	1700	50
10	1750	49
20	1800	48
30	1856	48
40	1904	47
50	1951	46
60	1997	46
70	2043	46
80	2090	45
90	2137	44
100	2175	

Viscosidad del aire a distintas temperaturas en  $10^{-7}$  poise  
Valor standard:

Se toma el de la viscosidad del aire a 23  $^{\circ}\text{C}$   
 $1822,6 \cdot 10^{-7}$  p. dado en I.C.T. con error  $1/18226 = 0,017\%$  (24).

TABLA II

Valores de viscosidad para vapor de  $\text{H}_2\text{O}$ , como función de la temperatura T en  $^{\circ}\text{C}$ ,  $\eta$  en  $10^{-6}$  poise (I.C.T.): p.4. Vol.V

T en $^{\circ}\text{C}$	0 $^{\circ}\text{C}$	15 $^{\circ}\text{C}$	20,6 $^{\circ}\text{C}$	28,9 $^{\circ}\text{C}$	69,95 $^{\circ}\text{C}$	100 $^{\circ}\text{C}$	151,2 $^{\circ}\text{C}$
$\eta \cdot 10^{-6}$ med.	90,4	97,5	97,5	100,6	132	Hodgman	
$\eta \cdot 10^{-6}$ calc.	98	93	96,-	100	127	127	145

(23) I.C.T. Vol 5. Mac Graw Hill 1930

(24)(Harrington) Phys. Rev. 2 728 (16)

Diferencia entre valores medidos y calculados:

$$20,6 \text{ } ^\circ\text{C}) = 27,5 - 26 = 1,5 = 1,5\%$$

$$23,2 \text{ } ^\circ\text{C}) = 100,6 - 100 = 0,6 = 0,52\%$$

$$99,25 \text{ } ^\circ\text{C}) = 122 - 127 = 5 = 3,78\%$$

TABLA III

Resultados obtenidos por Rowlinson <sup>(1)</sup> para el  $\eta_{\text{H}_2\text{O}}$  y el  $\eta_{\text{D}_2\text{O}}$   
 y por C. van Paemel y A. van Itterbeek <sup>(25)</sup> para el  $\eta_{\text{D}_2}$  y  $\eta_{\text{H}_2}$

$\eta_{\text{D}_2}/\eta_{\text{H}_2}$			$\eta_{\text{D}_2\text{O}}/\eta_{\text{H}_2\text{O}}$		
T <sup>o</sup> K	Vapor	Líquido	T <sup>o</sup> K	Vapor	Líquido
20	1,24	2,9	273 52C		1,305
20	1,32		313		1,202
293	1,40		353 800C	1,05	1,164
			373,1000C	1,066	1,154
			393 1252C		1,146
			405 1320C	1,074	
$\left(\frac{\eta_{\text{D}_2}}{\eta_{\text{H}_2}}\right)^{\frac{1}{2}} = 1,414$			$\left(\frac{\eta_{\text{D}_2\text{O}}}{\eta_{\text{H}_2\text{O}}}\right)^{\frac{1}{2}} = 1,054$		

(25) A. van Itterbeek y C. van Paemel. Physica 7 (1940) 265

CALCULOS DE VISCOSIDADES

1<sup>ra</sup> Serie

Fórmula empleada:

$$\frac{\eta}{\eta'} = \frac{t}{t'} \quad \eta = \eta' \frac{t}{t'}$$

S% error cuadrático porcentual.

Valor standards = viscosidad del aire a

23,3 °C = 182,41 · 10<sup>-6</sup> poise con error 0,019%  
(Ver apreciación de errores).

Tiempos de escurrimientos y viscosidades de:

Aire

23,3 °C) Standard:

$$t' = 3225 \pm 2^*$$

$$S\% = 0,23$$

$$r_t = 2,02$$

$$\eta' = (182,41 \pm 0,18\%) \cdot 10^{-6}$$

74,5 °C)

$$t = 9295 + \text{correcc. } \Delta \text{ Pres.}$$

$$= 9295 + 0,95\% + 0,90\% = 9465 \pm 18$$

$$S\% = 0,20$$

$$r_t = 1,6^*$$

$$\text{Error en } \eta = \Delta\% \eta = \Delta\% \eta + \Delta\% t + \Delta\% t$$

$$\Delta\% \eta = 0,02 + 0,23 + 0,20 = 0,50\%$$

$$\eta = 200,17 \cdot 10^{-6} \pm 0,50\%$$

90,5 °C)

$$t = 9451 + \text{correcc. } \Delta \text{ Pres.}$$

$$= 9451 + 0,95\% + 0,95\% = 9451 + 89 + 89$$

$$= 9629 \pm 22$$

$$S\% = 0,25$$

$$r_t = 1,89$$

$$\text{Error en } \eta = \Delta \% \eta + \Delta \% \eta' + \% t + \Delta \% t$$

$$\Delta \% \eta = 0,02 + 0,28 + 0,25 + 0,55\%$$

$$\eta = 212,8 \cdot 10^{-6} \text{ p} \pm 0,95\%$$

39,9 °C)

$$t = 9640 + \text{corrección } \Delta \text{ Pres}$$

$$= 9640 + 1,2\% + 1,1\% = 9640 + 115,2 = 9755$$

$$\pm 9860 \pm 18$$

$$S\% = 0,20$$

$$r_t = 1,68$$

$$\text{Error en } \eta = \Delta \% \eta + \Delta \% \eta' + \% t + \Delta \% t$$

$$\Delta \% \eta = 0,02 + 0,28 + 0,20 = 0,50\%$$

$$\eta = 217,9 \cdot 10^{-6} \text{ p} \pm 0,50\%$$

Vapor de H<sub>2</sub>O:

74,4 °C)

$$t = 5150 + \text{correcc. } \Delta \text{ Pres.}$$

$$5150 + 0,95\% + 0,20\% + 0,20\% = 5244 \pm 20$$

$$S\% = 0,40$$

$$r_t = 1,00$$

$$\text{Error en } \eta = \Delta \% \eta' + \% t + \Delta \% t$$

$$= 0,02 + 0,28 + 0,40 + 0,70\%$$

$$\eta = 115,9 \cdot 10^{-6} \text{ p} \pm 0,70\%$$

80,5 °C)

$$t = 5551 + \text{correcc. } \Delta \text{ Pres.}$$

$$= 5551 + 0,25\% + 0,25\% = 5655 \pm 18$$

$$S\% = 0,34$$

$$r_t = 1,68$$

$$\text{Error en } \eta = \Delta \% \eta + \Delta \% \eta' + \% t + \Delta \% t$$

$$= 0,02 + 0,28 + 0,34 + 0,64\%$$

$$\eta = 124,9 \cdot 10^{-6} \text{ p} \pm 0,64\%$$

89,9 °C)

$$t = 5244 + \text{correcc. } \Delta \text{ Pres.}$$

$$t = 5944 + 1,2\% + 1,1\% = 5977 \pm 18$$

$$S\% = 0,30$$

$$r_t = 1,62$$

$$\text{Error en } \eta = \Delta \eta = \Delta \eta' + \Delta t' + \Delta \eta t \\ = 0,02 + 0,28 + 0,30 = 0,60\%$$

$$\eta = 132,1 \cdot 10^{-6} \text{ p } \pm 0,50\%$$

Vapor de D<sub>2</sub>O

74,4 °C)

$$t = 5538 + \text{correcc. } \Delta \text{ Pres.}$$

$$5538 \quad 0,95\% \quad 0,90\% \quad 5639 \quad \underline{23}$$

$$S\% = 0,39 \sim 0,40$$

$$r_t = 1,95$$

$$\text{Error en } \eta = \Delta \eta = \Delta \eta' + \Delta t' + \Delta \eta t \\ = 0,02 + 0,28 + 0,40 = 0,70\%$$

$$\eta = 124,6 \cdot 10^{-6} \text{ p } \pm 0,70\%$$

80,4 °C)

$$t = 5866 + \text{correcc. } \Delta \text{ Pres}$$

$$5866 + 0,95\% + 0,95\% = 5976 \pm 20$$

$$S\% = 0,36$$

$$r_t = 1,55$$

$$\text{Error en } \eta = \Delta \eta = \Delta \eta' + \Delta t' + \Delta \eta t \\ = 0,02 + 0,28 + 0,36 = 0,66\%$$

$$\eta = 132,0 \cdot 10^{-6} \text{ p } \pm 0,66\%$$

89,8 °C)

$$t = 6255 + \text{correcc. } \Delta \text{ Pres}$$

$$= 6255 + 1,2\% + 1,1\% = 6398 \pm 18$$

$$S\% = 0,30\%$$

$$r_t = 1,68$$

$$\text{Error en } \eta = \Delta \eta = \Delta \eta' + \Delta t' + \Delta \eta t \\ = 0,02 + 0,28 + 0,30 = 0,60\%$$

$$\eta = 141,4 \cdot 10^{-6} \text{ p } \pm 0,60\%$$

Relación de las viscosidades

$$\begin{array}{l}
 74,4 \text{ } ^\circ\text{C}) \quad \frac{\eta_{D_2O}}{\eta_{H_2O}} = \frac{124,62}{115,99} = 1,075 \text{ con error } 1,4\% \\
 \\
 80,5 \text{ } ^\circ\text{C}) \quad \frac{\eta_{D_2O}}{\eta_{H_2O}} = \frac{132,06}{124,97} = 1,056 \text{ " " } 1,3\% \\
 \\
 89,9 \text{ } ^\circ\text{C}) \quad \frac{\eta_{D_2O}}{\eta_{H_2O}} = \frac{141,41}{132,09} = 1,070 \text{ " " } 1,4\%
 \end{array}$$

2<sup>a</sup> Serie

Valor standard viscosidad del aire a

$$23,4 \text{ } ^\circ\text{C} \quad 182,46 \cdot 10^{-6} \text{ poise con error de } 0,020\%$$

Tiempos de escurrimientos y viscosidades de:

Aire

23,4 °C) Standard

$$t = 9223 \pm 18$$

$$S\% = 0,22$$

$$r_t = 1,55$$

$$\eta = 182,46 \pm 0,020\%$$

74,4 °C)

$$t = 9292 \pm \text{correcc. } \Delta \text{ Pres}$$

$$= 9292 \pm 0,95\% + 0,90\% = 9462 \pm 20$$

$$S\% = 0,20\%$$

$$r_t = 1,89$$

$$\text{Error en } \eta = \Delta \eta \% = \Delta t' \% + \Delta t \% + \Delta r_t \%$$

$$= 0,02 + 0,22 + 0,20 = 0,44\%$$

$$\eta = 209,1 \cdot 10^{-6} \pm 0,44$$

80,4 °C)

$$t = 9447 \pm \text{correcc. } \Delta \text{ Pres.}$$

$$= 9447 \pm 0,95\% + 0,95\% = 9625 \pm 18$$

$$S\% = 0,26$$

$$r_t = 1,62$$

$$\text{Error en } \eta = \Delta \eta \% = \Delta \eta' \% + \Delta \% t' + \Delta \% t$$

$$= 0,02 + 0,22 + 0,26 = 0,50\%$$

$$\eta = 212,7 \cdot 10^{-6} \text{ p } \pm 0,50\%$$

22,2 2C)

$$t = 9622 + \text{correcc. } \Delta \text{ Pres.}$$

$$= 9622 + 1,2\% + 1,1\% = 9852 \pm 16$$

$$S\% = 0,16\%$$

$$r_t = 1,22$$

$$\text{Error en } \eta, \Delta \eta \% = \Delta \eta' \% + \Delta \% t' + \Delta \% t$$

$$= 0,02 + 0,22 + 0,16 = 0,40$$

$$\eta = 217,8 \cdot 10^{-6} \text{ p } \pm 0,40\%$$

Vapor de H<sub>2</sub>O:

74,4 2C)

$$t = 5124 \text{ correcc. } \Delta \text{ Pres}$$

$$5154 \cdot 0,95\% + 0,90\% = 5248 \pm 16$$

$$S\% = 0,30\%$$

$$r_t = 1,28$$

$$\text{Error en } \eta = \Delta \% \eta = \Delta \% \eta' + \Delta \% t' + \Delta \% t$$

$$= 0,02 + 0,22 + 0,30 = 0,54$$

$$\eta = 115,2 \cdot 10^{-6} \text{ p } \pm 0,54\%$$

20,5 2C)

$$t = 5549 + \text{correcc. } \Delta \text{ Pres.}$$

$$= 5549 + 0,95\% + 0,95\% = 5653 \pm 16$$

$$S\% = 0,34\%$$

$$r_t = 1,48$$

$$\text{Error en } \eta = \Delta \% \eta = \Delta \% \eta' + \Delta \% t' + \Delta \% t$$

$$= 0,02 + 0,22 + 0,34 = 0,58\%$$

$$\eta = 124,9 \cdot 10^{-6} \text{ p } \pm 0,58\%$$

22,2 2C)

$$t = 5232 + \text{correcc. } \Delta \text{ Pres.}$$



$$t = 5839 + 1,2\% + 1,1\% = 5972 \pm 20$$

$$r_t = 1,75$$

$$S\% = 0,24\%$$

$$\begin{aligned} \text{Error en } \eta &= \Delta \eta = \Delta \eta' + \Delta \eta'' + \Delta \eta''' + \Delta \eta'''' \\ &= 0,02 + 0,22 + 0,34 + 0,58\% \end{aligned}$$

$$\eta = 131,7 \cdot 10^{-6} \text{ p} \pm 0,58\%$$

Vapor D<sub>2</sub>O

74,4 °C)

$$t = 5531 + \text{correcc. Pres.}$$

$$= 5531 + 0,25\% + 0,20\% = 5632 \pm 18$$

$$S\% = 0,32\%$$

$$r_t = 1,55$$

$$\begin{aligned} \text{Error en } \eta &= \Delta \eta = \Delta \eta' + \Delta \eta'' + \Delta \eta''' + \Delta \eta'''' \\ &= 0,02 + 0,20 + 0,32 + 0,56\% \end{aligned}$$

$$\eta = 124,4 \cdot 10^{-6} \text{ p} \pm 0,56\%$$

80,4 °C)

$$t = 5866 + \text{correcc. Pres.}$$

$$\eta = 5866 + 0,25\% + 0,25\% = 5971 \pm 22$$

$$S\% = 0,36\%$$

$$r_t = 1,82$$

$$\begin{aligned} \text{Error en } \eta &= \Delta \eta = \Delta \eta' + \Delta \eta'' + \Delta \eta''' + \Delta \eta'''' \\ &= 0,02 + 0,22 + 0,36 = 0,60\% \end{aligned}$$

$$\eta = 131,9 \cdot 10^{-6} \text{ p} \pm 0,60\%$$

89,8 °C)

$$t = 6254 + \text{correcc. Pres.}$$

$$= 6254 + 1,2\% + 1,1\% = 6396 \pm 18$$

$$S\% = 0,34\%$$

$$r_t = 1,62$$

$$\begin{aligned} \text{Error en } \eta &= \Delta \eta = \Delta \eta' + \Delta \eta'' + \Delta \eta''' + \Delta \eta'''' \\ &= 0,02 + 0,22 + 0,34 = 0,58\% \end{aligned}$$

$$\eta = 141,3 \cdot 10^{-6} \text{ p} \pm 0,58\%$$

Relación de viscosidades:

$$74,4 \text{ } ^\circ\text{C}) \quad \frac{\eta_{D_2O}}{\eta_{H_2O}} = \frac{124,4}{115,9} = 1,073 \text{ con error } 1,10\%$$

$$80,4 \text{ } ^\circ\text{C}) \quad \frac{\eta_{D_2O}}{\eta_{H_2O}} = \frac{131,9}{124,9} = 1,056 \quad " \quad " \quad 1,18\%$$

$$89,8 \text{ } ^\circ\text{C}) \quad \frac{\eta_{D_2O}}{\eta_{H_2O}} = \frac{141,3}{131,9} = 1,070 \quad " \quad " \quad 1,16\%$$

Cálculo de constantes para potencial de Sutherland:

Se despeja S de : (VI)

$$\eta = \eta_0 \frac{T_0 + S}{T + S} \left( \frac{T}{T_0} \right)^{3/2}$$

$$S = \frac{\frac{\eta}{\eta_0} \left( \frac{T}{T_0} \right)^{-3/2} T - T_0}{1 - \frac{T}{T_0} \left( \frac{T}{T_0} \right)^{-3/2}}$$

H<sub>2</sub>O

$$\eta = 132,1 \quad T = 363$$

$$\eta_0 = 115,9 \quad T_0 = 347$$

$$\log 132,1 = 2,12090$$

$$\text{colog } 115,9 = \bar{3},93592$$

$$\log 363 = 2,55991$$

$$\text{colog } \frac{T}{T_0}^{3/2} = \bar{1},97063$$

$$\log = 2,58736$$

$$\text{antilog} = 386,7$$

$$\log 132,1 = 2,12090$$

$$\text{colog } 115,9 = \bar{3},93592$$

$$\text{colog } \frac{T}{T_0}^{3/2} = \bar{1},97063$$

$$\log = 0,02745$$

$$\text{antilog} = 1,0653$$

$$S = \frac{386,7 - 347}{1 - 1,0653} = - 626.^\circ\text{K.}$$

D<sub>2</sub>O

$$\eta = 141,3 \quad T = 363$$

$$\eta_0 = 124,5 \quad T_0 = 347$$

$$S = \frac{\frac{141,3}{124,5} \left(\frac{363}{247}\right)^{-3/2} 363 - 347}{1 - \frac{141,3}{124,5} \left(\frac{363}{247}\right)^{-3/2}}$$

log 141,3 = 2,15014

colog 124,5 = 3,90482

colog  $\frac{T}{T_0}^{3/2}$  = 1,27062

log 363 =  $\frac{2,55991}{2,52551}$

antilog = 285,4

log 141,3 = 2,15014

colog 124,5 = 3,90482

colog  $\frac{T}{T_0}^{3/2}$  =  $\frac{1,27062}{0,02560}$

antilog = 1,0607

$$S = \frac{285,4 - 347}{1 - 1,0607} = \frac{38,4}{-0,0607} = -639.^\circ K.$$

Cálculo de  $\bar{S}$  y  $\Lambda$  para potencial de Sutherland.

$$\bar{S} = \frac{5}{16} \frac{\left(\frac{kmT}{\eta}\right)^{1/2}}{\sigma^2 (1 + S/\pi)} \quad (IV)$$

$$S = \frac{1}{2(u)} \frac{\Lambda}{\sigma} \frac{12}{u-1} \quad (V)$$

$$i_2(u) = 4 \int_0^1 \frac{1-u}{(2u^2-1)(1-u^2)^{1/2}}$$

$$\int_0^1 \frac{u-1}{(1-u^2)^{3/2}} du$$

$$D_{\infty} = \frac{b}{a}$$

$$D = \frac{b}{r}$$

u	$i_2(u)$
3	0,2337
4	0,2118
5	0,1956
7	0,1722
9	0,1556

Valores de  $i_2(u)$  para el potencial de Sutherland.

Cálculo de  $\bar{\sigma}$  y  $\lambda_{12}$  para  $D_2O$ :

$$k = (1,280 + 0,00026) \cdot 10^{-6} \text{ erg./}^{\circ}\text{K}$$

$$m = \text{masa molecular} = M / 6,023 \cdot 10^{23} \text{ g.}$$

$$T = 363^{\circ}\text{K} = 90^{\circ}\text{C.}$$

$$\eta_{\text{T}} = 141,3 \cdot 10^{-6} \text{ g.cm}^{-1} \text{ seg.}^{-1}$$

$$S = 639 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

$$\bar{\sigma}^2 = \frac{5 \left( \frac{1,28 \cdot 20 \cdot 363 \cdot 10^{-23} \cdot 10^{-16}}{6,14 \cdot 6,023} \right)^{\frac{1}{2}} \left( \frac{\text{g cm}^2 \text{ seg}^{-2}}{\text{g cm}^{-1} \text{ seg}^{-1}} \right)^{\frac{1}{2}}}{16 \cdot 141,3 \left( 1 + \frac{639}{363} \right) \cdot 10^{-6}}$$

$$\bar{\sigma} = 2,225 \cdot 10^{-8} \text{ cm. } 2,40 \text{ \AA.}$$

$$\lambda_{12} = \frac{(u-1) \bar{\sigma}^{u-1} k S}{i_2(u)} \quad (V)$$

$$u = 7$$

$$i_2(u) = 0,1722$$

$$\lambda_{12} = \frac{6 \cdot 10^3 \cdot 1,28 \cdot 639 \cdot 10^{-49} \cdot 10^{-16} \cdot 10}{1,722}$$

$$5,88.10^{-52} \text{ erg/cm}^6$$

Cálculo de  $\sigma$  v  $\lambda_{12}$  para el H<sub>2</sub>O :

$$\eta_{\text{T}} = 132,1.10^{-6} \text{ g. cm}^{-1} \cdot \text{seg}^{-1}$$

$$m = \frac{1^2 \cdot 10^{-23}}{6,023} \text{ g.}$$

$$\sigma^2 = \frac{5}{16.132,1.2,72.10^{-6}} \left( \frac{1,381.18.363.10^{-23} \cdot 10^{-16}}{3,14.6,023} \right)^2$$

$$\sigma^2 = 0,0052.10^{-13} \text{ A}$$

$$\sigma = 2,43.10^{-9} \text{ cm. } 2,43 \text{ A}$$

$$\lambda_{12} = \frac{6(2,43.10^{-9})^6 \cdot 1,38.10^{-16} \cdot 626}{0,1722}$$

$$\lambda_{12} = 6,21.10^{-52} \text{ erg. cm}^6$$

Cálculo de constantes de Stockmayer y Lennard-Jones  
para la molécula de D<sub>2</sub>O y H<sub>2</sub>O

Para potencial de Lennard-Jones:

De

$$k_{\eta} = \frac{f_{\eta}^{(2)}(T_2)}{f_{\eta}^{(2)}(T_1)} \left( \frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{1}{2}} = \frac{141,38}{124,54} \left( \frac{347,4}{362} \right)^{\frac{1}{2}} = 1,13$$

a) se calcula  $k = 1,13$

Con:

$$k = 1,13 = \frac{\Omega_{(2,2)^*}(T_1^*)}{\Omega_{(2,2)^*}(T_2^*)} \frac{f_{\eta}^{(3)}(T_2^*)}{f_{\eta}^{(3)}(T_1^*)}$$

b) Se buscan valores de :

$$\Omega_{(2,2)^*}(T_1^*) \quad \Omega_{(2,2)^*}(T_2^*)$$

$$f^{(3)}(T_2^*) \quad f^{(3)}(T_1^*)$$

tales que se cumpla:

1)  $k = 1,13$

2)  $\frac{T_1}{T_2} = \frac{T_1^*}{T_2^*} = \frac{k}{\xi} = 0,954$

c) Con el valor de  $T_1$  hallado se calcula  $\xi$  con

$$T_1^* = \frac{kT_1}{\xi}$$

donde  $k$  constante de Boltzman

d) Con los valores de  $\Omega_{(2,2)^*}(T_1^*)$  y  $f_{\eta}^{(3)}(T_1^*)$  se

calcula  $\delta^2$  con:

$$\delta^2 = \frac{2,66,93 \sqrt{M T_1} f_{\gamma}(T_1^*)}{\eta(T_1) \cdot 10^7 \Omega(T_1^*)}$$

Para el potencial de Stockmayer el procedimiento es el mismo. La diferencia consiste en que  $\mu$  <sup>(2,2)\*</sup> debe ser <sup>mu-</sup> ~~abbeser~~ función, no solo de la temperatura  $T_1$ , sino también de un valor sin dimensiones

$$\delta^* = \mu^2 = \frac{\mu^2}{\epsilon \sigma^2}$$

donde  $\mu$  momento dipolar.

Para el  $H_2O$  y  $D_2O$ ,  $\delta$  y  $\mu$  se toman iguales con error mucho menor que el error del valor encontrado en tablas.

Para  $\mu$  la precisión es de  $10^{-22}$  u.e.

La diferencia entre  $\mu_{D_2O}$  y  $\mu_{H_2O}$  sería aproximadamente  $1 \cdot 10^{-24}$  u.e.s. luego, no afecta los cálculos.

$$\mu_{H_2O} = 1,831 \text{ debyes } (1 \cdot 10^{-18} \text{ u.e.s})$$

$$\delta^* = 2,223$$

Para este potencial no se encuentran en tablas valores de las integrales de colisión para  $\delta^* > 2$ .

Luego será necesario ensayar el cálculo de constantes solo para el potencial de Lennard-Jones.

Para iniciar el método de aproximaciones sucesivas se toma el valor de



$$\frac{\xi}{k} = 1,15 \quad T_{bD_2O} = 1,15 \cdot 374,4 \text{ } ^\circ\text{K} \quad T_{bD_2O} = 101,4 \text{ } ^\circ\text{C} = 374,4 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$\frac{\xi}{k} = 420 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_1^* = \frac{T_1}{\frac{\xi}{k}} = \frac{347,4}{420} = 0,827$$

$$T_2^* = \frac{T_2}{\frac{\xi}{k}} = \frac{362,2}{420} = 0,862$$

Se ensavarán valores de las integrales de colisión para  $T_1$  cercanas a los valores encontrados.

Las  $f(T_1)$  toman valores

T	f
0,50	1,0002
0,75	1,0000
1,00	1,0000

luego

$$\frac{f^{(3)}(T_2^*)}{f^{(3)}(T_1^*)} = 1$$

Para todos los valores de  $T_1$  ensayados

TABLA IV

$T_1^*/T_2^*$	$T_1^*$	$\Omega_{(2,2)^*}(T_1^*)$	$f^{(3)}(T_1^*)$	$T_2^*$	$\Omega_{(2,2)^*}(T_2^*)$	$f^{(3)}(T_2^*)$	$k_{(2,2)^*} = 1,13$
0,564	0,702	1,752	1	0,386	0,741	1	1,03
0,956	0,750	1,841		0,784	1,805		1,02
0,956	0,760	1,820		0,795	1,786		1,025
0,787	0,680	2,006		0,800	1,780		1,13
0,572	0,400	2,480		0,700	1,900		1,13
0,955	0,806	1,774		0,845	1,730		1,025

Después de intentar 6 valores en el rango de los  $\xi/k$  posibles, se llega a la conclusión que no hay valores de la integral de colisión para el potencial de Lennard-Jones que cumplan:

con la condición 1) y 2). Luego este modelo no permite encontrar constantes para la molécula de  $D_2O$

Cálculo de constantes para la molécula de  $H_2O$ :

$$\eta_1 = 115,0$$

$$T_1 = 347,4$$

$$\eta_2 = 132,0$$

$$T_2 = 362,8$$

$$k_{\eta} = \frac{132,0}{115,0} = \left( \frac{347,4}{362,8} \right)^2 = 1,031$$

$$\epsilon/k = 1,15 T_{b_{H_2O}} = 1,15 \cdot 373 = 426$$

$$T_1^* = \frac{347,4}{426} = 0,803$$

$$T_2^* = \frac{362,8}{426} = 0,846$$

Debiéndose cumplir las condiciones 1) y 2) de la página anterior, también en este caso y dada la semejanza de valores obtenidos, puede asegurarse para la molécula de  $H_2O$ , tampoco se encontrarán valores de las integrales de colisión para el potencial de Lennard-Jones

---

TABLA-V-

Resultados del Estudio de distribución de errores en los tiempos de escurrimiento (1<sup>ra</sup> Serie).

Sust.	Aire			
Temp.	23,2	74,5	20,5	20,2
$t_m$	3225	9295	2451	2640
$S_{\%}$	24	12	22	19
$S_{\%} / t_m$	0,23	0,20	0,25	0,20
$R_{\%} / t_m$	3	2,5	2,2	2,5
$r_{\%} / t_m$	2,02	1,62	1,22	1,62
$\frac{\sum C^2}{N}$	12,14	15,15	17,55	15,16
$m_1$	21,15	15,90	16,52	14,72
$\frac{\sum C^3}{N}$	5	4,25	5,5	2,8
$m_2$	550,8	266	470	367
$\frac{\sum C^2}{N}$	544,6	260	422	265
$m_3$	12579	11212	122222	15662
$\frac{\sum C^3}{N}$	20296	10222	172022	11122
$m_4$	722502	422222	4715052	<del>322222</del>
$\frac{\sum C^4}{N}$	207221	200421	6255575	401069
k	0,030	0,027	0,022	0,027

1ª Serie

Sust.	Vapor H <sub>2</sub> O			Vapor D <sub>2</sub> O		
	Temp.	74,4	80,5	89,9	74,4	80,4
t <sub>m</sub>	5150	5551	5244	5559	5366	6255
S	21	19	13	22	20	17
S %	0,40	0,21	0,30	0,40	0,36	0,30
S <sub>tm</sub>	2,8	2,5	2,4	2,9	2,3	2,5
r <sub>tm</sub>	1,99	1,68	1,62	1,95	1,55	1,68
Σ v	16,75	15,15	14,86	17,55	13,56	15,15
m <sub>1</sub>	17,26	14,85	14,81	17,80	13,51	15,51
Δ %	3	1,98	0,3	1,4	0,3	2,37
m <sub>2</sub>	441	360	380	421	297	360
Σ <sub>1/N</sub> 2	440	261	323	485	299	361
m <sub>3</sub>	14040	12475	10297	17604	8340	9251
Σ <sub>1/N</sub> 3	14757	10969	10759	12063	7249	10969
m <sub>4</sub>	473559	615193	399060	758263	289701	263607
Σ <sub>1/N</sub> 4	532750	334799	314597	706880	250826	392054
k	0,33	0,037	0,032	0,032	0,0416	0,037

TABLA-VI-

Estudio de la distribución de errores en los tiempos de escurrimiento. (Serie 2<sup>a</sup>).

Sust.	Aire			
$t_{em.} \text{ } ^\circ\text{C}$	23,1	74,1	80,4	80,3
$t_m$	3223	9292	2447	2622
S	12	20	12	15
$S \%$	0,22	0,20	0,26	0,16
$S \cdot t_m$	2,3	2,2	2,4	1,9
$r_{tm}$	1,55	1,22	1,62	1,22
$\epsilon \text{ } \sigma$	14,36	15,95	14,75	11,2
$m_1$	13,2	16,25	14,55	12,23
$\Delta \%$	2,2	2,5	1,2	2,7
$m_2$	325	404	332	202
$\sum \epsilon \frac{2}{1} / N$	322	400	347	226
$m_3$	9573	14303	9721	4714
$\sum \epsilon \frac{3}{1} / N$	9370	12772	10312	5425
$m_4$	350116	693607	350122	116613
$\sum \epsilon \frac{4}{1} / N$	317796	420769	360222	153767
k	0,032	0,025	0,032	0,017

2<sup>a</sup> Serie

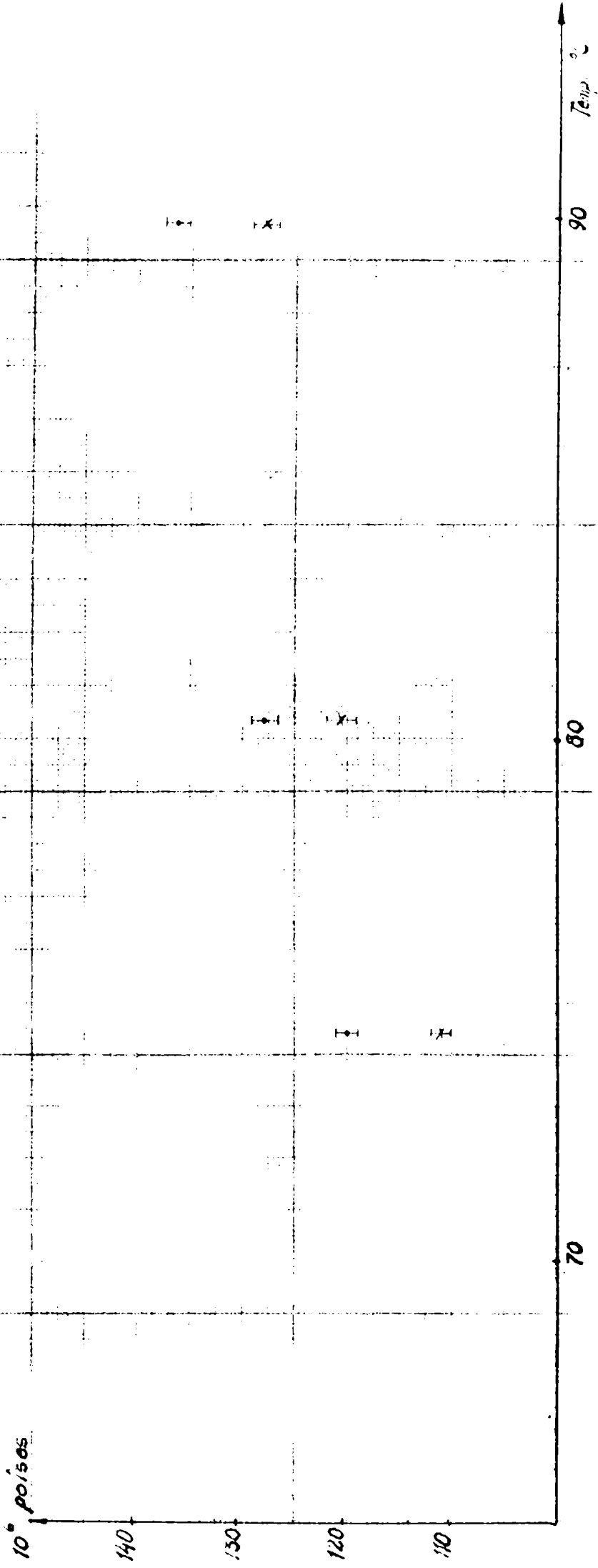
Sust.	Vapor H <sub>2</sub> O			Vapor D <sub>2</sub> O		
Tempo.	74,4	80,5	89,2	74,4	80,4	89,2
t <sub>m</sub>	5154	5540	5920	5521	5866	6254
S	15	17	20	18	21	18
S $\frac{1}{N}$	0,20	0,24	0,24	0,22	0,26	0,24
S: t <sub>m</sub>	1,9	2,2	2,6	2,3	2,7	2,4
r <sub>t<sub>m</sub></sub>	1,23	1,42	1,75	1,55	1,92	1,62
$\xi^D$	11,96	12,56	13,95	14,26	16,75	14,75
m <sub>1</sub>	11,62	12,56	14,36	13,62	17,12	14,35
$\Delta^1$	2,3	0	2,5	5	2,2	2,7
m <sub>2</sub>	216	225	226	227	440	239
$\sum \xi^2 / N$	225	229	299	224	442	247
m <sub>3</sub>	5027	88291	11210	11270	14411	105699
$\sum \xi^3 / N$	5405	73402	12722	10755	14827	102145
m <sub>4</sub>	95376	3215218	222220	456490	538222	3622178
$\sum \xi^4 / N$	152522	2505246	477707	314597	529042	3605769
k	0,047	0,041	0,035	0,039	0,033	0,038

Visco- sidad	Sust.	Aire			
	Temp.	23,2	74,5	80,5	89,5
	1ª Serie	182,4	209,1	212,0	217,9
	2ª Serie	182,4	209,1	212,7	217,9
	Prom.	182,4	209,1	212,7	217,9

$\eta$	Sust.	Vapor H <sub>2</sub> O			Vapor D <sub>2</sub> O		
	Temp.	74,4	80,5	89,9	74,4	80,4	89,9
	1ª Serie	115,9	124,9	132,1	124,6	132,0	141,4
	2ª Serie	115,9	124,9	131,9	124,4	131,9	141,3
	Prom.	115,9	124,9	132,0	124,5	132,0	141,3
Rela- ción $\frac{\eta_{D_2O}}{\eta_{H_2O}}$	1ª Serie				1,075	1,056	1,070
	2ª Serie				1,073	1,056	1,070
	Prom.				1,074	1,056	1,070
Mode- lo mole- cular de Su- ther- land	$S_{H_2O}^{0K}$	626 entre 74,4 °C y 90 °C					
	$S_{D_2O}^{0K}$	622 entre 74,4 °C y 90 °C					
	$\delta_{H_2O}^{\text{Å}}$	2,43					
	$\delta_{D_2O}^{\text{Å}}$	2,40					
	$\lambda_{12H_2O}$	$6,21 \cdot 10^{-58}$ erg. cm <sup>6</sup> .					
	$\lambda_{12D_2O}$	$5,22 \cdot 10^{-5}$ erg. cm <sup>6</sup> .					

TABLA VII - RESULTADOS

GRAFICO I



RESULTADOS EXPERIMENTALES

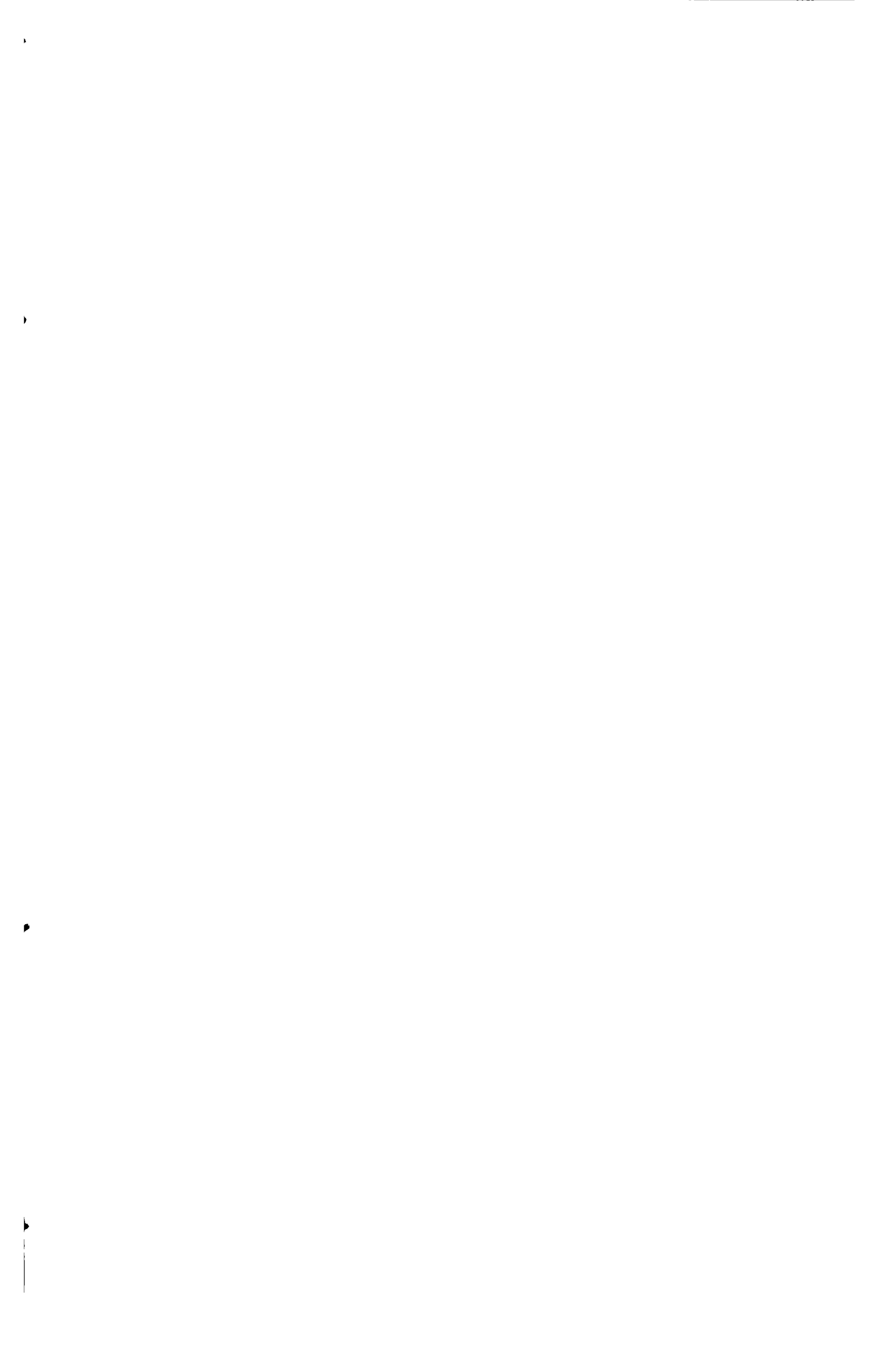
$\eta = f(T^{\circ}C)$

- Datos para D<sub>2</sub>O
- x Datos para H<sub>2</sub>O

Viscosidades: 5 cm. 25.10<sup>6</sup> p.  
Temperaturas: 5 cm. 5°C

Escala:





CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos aparecen en las tablas VII pág. 71 y en los gráficos I y II págs. 72 y 73. Los cálculos detallados pueden verse en las páginas 51 a 70.

De las medidas de las viscosidades de los vapores de H<sub>2</sub>O y D<sub>2</sub>O, efectuadas a distintas temperaturas puede llegarse a las siguientes conclusiones:

1ª) la relación 
$$\frac{\eta_{D_2O}}{\eta_{H_2O}} = \sqrt{\frac{M_{D_2O}}{M_{H_2O}}} = 1,054 \quad (I),$$
 que se

cumple para gases isotónicos del tipo H<sub>2</sub> y D<sub>2</sub>, solo se cumple aproximadamente para los valores estudiados, ya que en todos los casos menos uno, la diferencia entre los valores obtenidos y el valor dado por (I) es mayor que el error experimental.

2ª) Un análisis mas detallado de los valores obtenidos para esta relación, indica que en la zona de 80°C, (I) alcanza un mínimo, igual al valor previsto, de 1,054.

Esta temperatura aparece entonces como una zona particular en el comportamiento de los 2 vapores estudiados.

3ª) Se observa que a la temperatura de 74,4 °C la relación (I), alcanza su valor máximo 1,075. Sería interesante estudiar esta zona de temperaturas con mas detalle, para decidir si el aumento de  $\eta_{D_2O}$ , no puede ser debido a asociaciones moleculares, que aparecerían disminuyendo la temperatura. Debido a dificultades experimentales esto puede ser objeto de otro trabajo.

4ª) Con la fórmula VI pág. 52 y los datos obtenidos, se han calculado los valores de la constante de Sutherland, S, para la molécula de H<sub>2</sub>O y D<sub>2</sub>O.

Los valores obtenidos aparecen en la tabla VII pág. 70. Pueden considerarse iguales para ambas moléculas. Los valores de los diámetros de colisión  $\bar{\sigma}$  para ambas moléculas y este modelo, fueron calculados con la fórmula IV pág. 61 y son semejantes. (ver cálculos pág. 5º a 61.)

Los valores del potencial  $\lambda_{12}^{H_2O}$  y  $\lambda_{12}^{D_2O}$  se han calculado con la fórmula V pág. 60, y con los datos de viscosidad y diámetros de colisión.

5º) Se ha ensayado el cálculo de las constantes  $\lambda_{12}$  y  $\bar{\sigma}$  para las dos moléculas; según el potencial de Stockmayer (ver pág. 62 a 62). Las integrales de colisión necesarias para la resolución de este potencial en las condiciones de trabajo dadas, no han sido calculadas y no se encuentran en las tablas. Por lo tanto ha sido imposible obtener los valores citados.

6º) Se ha intentado el cálculo de las constantes para el potencial de Lennard-Jones (6-12) (ver pág. 63-65)

No se ha encontrado ningún valor de las integrales de colisión para este potencial, que satisfaga las condiciones impuestas para el cálculo.

7º) De los puntos 3, 4 y 5, se deduce que en el rango de temperaturas estudiado, el comportamiento de las moléculas de  $D_2O$  y  $H_2O$ , no se puede describir mediante el potencial de Lennard-Jones. El potencial de Stockmayer, es posiblemente el que mejor pueda describir las propiedades de estos 2 vapores, pero por falta de datos no se pudo estudiar.

El reemplazo de los átomos de H por 2 de Deuterio, no parece modificar apreciablemente el modelo molecular del  $H_2O$ , que cumple en forma aproximada, con un modelo de Sutherland

DATOS EXPERIMENTALES

1ª Serie

Aire

Fecha 28-2-57

Temperatura 23,3°G

N = 60

$L_i$	$L_f$	t	frec.	$\frac{\Delta}{\text{frec.}}$	t	$\xi$	$\xi^2$	T	$\xi_T$	$\xi_T^2$
9837	18103	8266	50,05	0,1	8258	33	1089	23,9	0,6	0,36
2735	10908	8173	50,05	0,1	8165	60	3600	23,9	0,6	0,36
3400	11676	8276	50,05	0,1	8268	43	1849	23,9	0,6	0,36
2527	10771	8244	50,05	0,1	8236	11	121	23,7	0,4	0,16
1522	9753	8231	50,05	0,1	8223	-2	4	23,8	0,5	0,25
831	9112	8287	50,10	0,2	8265	40	1600	23,8	0,5	0,25
9921	18182	8261	50,15	0,3	8237	12	144	23,9	0,6	0,36
1905	10126	8221	50,10	0,2	8205	-20	400	23,5	0,2	0,04
1122	9373	8251	50,05	0,1	8243	18	324	23,5	0,2	0,04
9957	18172	8215	50,-	-	8215	-10	100	23,6	0,3	0,09
9434	17635	8201	50,-	-	8201	-24	576	23,6	0,3	0,09
8072	16272	8200	50,-	-	8200	-25	625	23,6	0,3	0,09
7147	15347	8230	50,-	-	8236	5	25	23,6	0,3	0,09
6431	14660	8229	50,-	-	8229	4	16	23,5	0,2	0,04
4898	13130	8232	50,-	-	8232	7	49	23,5	0,2	0,04
4020	12235	8215	50,-	-	8215	-10	100	23,5	0,2	0,04
3237	11475	8238	50,-	-	8238	13	169	23,4	0,1	0,01
2861	11095	8234	50,15	0,3	8219	15	225	23,4	0,1	0,01
1999	10272	8273	50,20	0,4	8241	16	256	23,4	0,1	0,01
937	9205	8268	50,20	0,4	8236	11	121	23,4	0,1	0,01
9741	18040	8299	50,25	0,5	8259	34	49	23,3	0	0
7830	16088	8258	50,25	0,5	8218	-7	49	23,3	0	0
5469	13722	8253	50,25	0,5	8213	-12	144	23,3	0	0
2041	10291	8250	50,25	0,5	8210	-15	225	23,2	-0,1	0,01
105	8360	8255	50,25	0,5	8215	-10	100	23,2	-0,1	0,01
3	8266	8263	50,30	0,6	8215	10	100	23,1	0,2	0,04
9072	17382	8310	50,30	0,6	8262	37	1369	23,1	0,2	0,04
8123	16411	8288	50,30	0,6	8240	15	225	23,1	0,2	0,02
7860	16155	8295	50,25	0,5	8255	30	900	23,1	0,2	0,02
6515	14764	8249	50,35	0,7	8193	32	1024	23,-	0,3	0,09
53,22	13563	8241	50,35	0,7	8185	40	1600	23,-	0,3	0,09
4201	12433	8232	50,20	0,4	8200	25	625	23,-	0,3	0,09

$L_i$	$L_f$	$t'$	fr.c.	$\frac{A}{fr. \%$	$t$	$\epsilon$	$\epsilon^2$	$T$	$\epsilon_T$	$\epsilon_T^2$
3333	11555	8222	50,20	0,4	8190	35	1225	22,9	0,4	0,16
2824	11098	8274	50,15	0,3	8250	25	625	22,9	0,4	0,16
1506	9772	8266	50,30	0,6	8218	7	49	22,9	0,4	0,16
972	9252	8280	50,30	0,6	8232	7	49	22,9	0,4	0,16
1237	9484	8247	50,35	0,7	8191	34	1156	23,2	0,1	0,01
9003	17284	8281	50,35	0,7	8225	0	0	23,2	0,1	0,01
4840	13163	8323	50,35	0,7	8267	42	1764	23,1	0,2	0,04
9891	18167	8276	50,35	0,7	8220	5	25	23,1	0,2	0,04
7705	15979	8274	50,15	0,3	8250	28	625	23,2	0,1	0,01
6661	14929	8268	50,10	0,2	8252	27	729	23,3	0,0	0
6009	14275	8266	50,10	0,2	8250	25	625	23,4	0,1	0,01
5999	14283	8284	50,10	0,2	8268	43	1849	23,4	0,1	0,001
5027	13267	8240	50,05	0,1	8232	7	49	23,4	0,1	0,01
4811	13006	8195	50,-	-	8195	30	900	23,5	0,2	0,04
3718	11914	8196	50,-	-	8196	29	841	23,5	0,2	0,04
3122	11323	8201	50,-	-	8201	24	576	23,4	0,1	0,01
2845	11040	8195	50,-	-	8195	30	900	23,6	0,3	0,09
1793	10015	8222	50,-	-	8222	3	9	23,7	0,4	0,16
1081	9305	8224	50,-	-	8224	1	1	23,8	0,5	0,25
975	9189	8214	50,-	-	8214	11	121	23,7	0,4	0,16
9653	17869	8216	50,-	-	8216	9	81	23,5	0,2	0,04
8448	16669	8221	50,05	0,1	8213	12	144	23,3	0	0
8002	16237	8235	50,-	-	8235	10	100	23,2	0,1	0,01
7076	15276	8200	50,-	-	8200	25	625	23,-	0,3	0,09
6615	14827	8212	50,-	-	8212	13	169	23,-	0,3	0,09
5371	13592	8221	50	-	8221	-4	16	23,1	0,2	0,04
4721	12951	8230	50	-	8230	5	25	23,3	0	0
3543	11759	8216	50	-	8216	-9	81	23,5	0,2	0,04

$$t_m = 8225$$

$$S = \sqrt{\frac{33.049}{59}} \approx 24$$

$$S\% = 0,2\%$$

$$\xi_0 = 0,7979 \cdot S = 19,14$$

$$d_0 = \frac{\sum \xi_1}{N} = 21,15$$

$$\Delta = 1 \approx 5\%$$

$$s_{tm} = \sqrt{\frac{33.049}{2540}} = \sqrt{9,33} \approx 3$$

$$r_{tm} = 0,6745 \cdot 3 = 2,02$$

$$k = \frac{1}{\xi_0 \sqrt{\eta}} = 0,0303$$

$$k^2 = 0,000918 \quad k^3 = 0,000278 \quad k^4 = 0,0000842$$

$$m_1 = \frac{\sum \xi_1}{N} = d_0 = 21,15 \cdot \frac{1}{k \sqrt{\eta}} = 18,62$$

$$m_2 = \frac{\sum \xi_1^2}{N} = \frac{33.049}{60} = \frac{1}{2} \frac{1}{k^2} = 544,66$$

$$m_3 = \frac{\sum \xi_1^3}{N} = \frac{1.114.747}{60} = 18.579 = \frac{1}{k^3} = 20.296$$

$$m_4 = \frac{\sum \xi_1^4}{N} = \frac{43.710.528}{60} = 728.508 = \frac{3}{4} \frac{1}{k^4} =$$

$$= 907.221$$

$$T_m = 23,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Aire

Fecha 14-2-57

Temperatura 74,5

N = 60

$L_i$	$L_f$	$t'$	frec.	$\Delta$ frec.	t	$\epsilon$	$\epsilon^2$	T	$\epsilon T$	$\epsilon^2 T$
7156	16542	9386	50,35	0,7	9323	28	784	74,5	0,5	0,25
3123	12448	9325	50,35	0,7	9262	-33	1089	74,5	0	0
9073	<del>18358</del>	9385	50,35	0,7	9320	-24	625	74,1	0,4	0,16
5040	14344	9304	50,05	0,1	9295	0	0	74,4	0,1	0,01
998	10359	9361	50,45	0,9	9280	115	225	74,7	0,2	0,04
6889	16258	9369	50,50	1	9276	-19	361	74,-	0,5	0,25
2820	12188	9368	50,35	0,7	9304	9	81	73,8	0,3	0,09
8754	18089	9335	50,4	0,8	9263	-32	1024	74,5	0	0
4683	14056	9373	50,4	0,8	9301	6	36	74,8	0,3	0,09
556	9934	9378	50,4	0,8	9306	11	121	74,5	0	0
6491	15850	9359	50,4	0,8	9285	10	100	74,1	0,4	0,16
2424	11796	9372	50,45	0,9	9289	6	36	74,9	0,4	0,16
8394	17729	9335	50,45	0,9	9252	43	1849	74,9	0,4	0,16
4299	13650	9351	50,45	0,9	9270	25	625	74,1	0,4	0,16
231	9590	9359	50,45	0,9	9276	19	361	74,4	0,1	0,01
6170	15541	9371	50,50	1	9278	17	289	74,8	0,3	0,09
2111	11473	9362	50,50	1	9269	26	676	74,8	0,3	0,09
8051	17444	9393	50,50	1	9300	5	25	74,7	0,2	0,04
4002	13426	9424	50,50	1	9330	35	1225	74,7	0,2	0,04
9932	19308	9376	50,50	1	9283	12	144	74,4	0,1	0,01
5484	15265	9381	50,50	1	9288	7	49	74,6	0,1	0,01
1830	11199	9369	50,50	1	9276	19	361	74,7	0,2	0,04
7668	17026	9358	50,50	1	9265	30	900	74,3	0,2	0,04
3630	13000	9370	50,50	1	9277	18	324	74,7	0,2	0,04
9577	18987	9410	50,50	1	9316	21	441	74,5	0	0
5555	14956	9301	50,50	1	9307	12	144	74,3	0,2	0,04
1518	10911	9393	50,45	0,9	9312	17	289	74,3	0,2	0,04
7468	16870	9402	50,50	1	9309	14	196	74,7	0,2	0,04
3442	12837	9395	50,45	0,9	9312	17	289	74,8	0,3	0,09
9409	18840	9431	50,55	1,10	9329	34	1156	74,3	0,2	0,04
8075	17463	9388	50,50	1	9295	0	0	74,8	0,3	0,09
3887	13269	9382	50,45	0,9	9299	4	16	74,7	0,2	0,04
9704	19087	9383	50,45	0,9	9300	25	625	74,4	0,3	0,09



$L_i$	$L_f$	$t'$	freq.	$\frac{\Delta}{\text{freq.}}$	$t$	$\xi$	$\xi^2$	$T$	$\xi_T$	$\xi_T^2$
5529	14923	9394	50,45	0,9	9313	18	324	74,5	0	0
1335	10717	9382	50,40	0,8	9310	25	225	74,5	0	0
7102	16480	9378	50,40	0,8	9304	9	81	74,8	0,3	0,09
3048	12428	9380	50,54	0,9	9299	4	16	74,7	0,2	0,04
9016	18397	9381	50,40	0,8	9309	14	196	74,4	0,1	0,01
4992	14376	9384	50,45	0,9	9301	6	36	74,5	0	0
971	10332	9361	50,45	0,9	9280	15	225	74,3	0,2	0,04
6956	16348	9392	50,40	0,8	9280	25	625	74,2	0,3	0,09
2935	12322	9387	50,50	1	9294	1	1	74,1	0,4	0,16
8898	18275	9377	50,45	0,9	9294	1	1	74,4	0,1	0,01
4860	14219	9359	50,40	0,8	9285	10	100	74,5	0	0
806	10192	9386	50,40	0,8	9312	17	289	74,6	0,1	0,01
6784	16160	9376	50,40	0,8	9302	7	49	74,8	0,3	0,09
2767	12154	9387	50,45	0,9	9304	9	81	74,6	0,1	0,01
8760	18160	9400	50,45	0,9	9319	24	576	74,3	0,2	0,04
4760	14091	9331	50,50	1	9238	57	2249	74,2	0,3	0,09
766	10167	9401	50,50	1	9308	13	169	74,1	0,4	0,16
6782	16171	9389	50,50	1	9296	1	1	74,-	0,5	0,25
2804	12202	9388	50,50	1	9305	10	100	74,5	0	0
8829	18229	9400	50,50	1	9507	12	144	74,3	0,2	0,04
4717	1411	9394	50,45	0,9	9311	16	256	74,6	0,1	0,01
708	10114	9406	50,50	1	9313	18	324	74,7	0,2	0,04
6721	16106	9385	50,40	0,8	9311	16	256	74,2	0,3	0,09
6727	12130	9403	50,40	0,8	9329	34	1156	74,5	0	0
8744	18114	9370	50,40	0,8	9298	3	9	74,9	0,4	0,16
4611	13983	9372	50,50	0,8	9300	5	25	74,3	0,2	0,25
586	9944	9358	50,35	0,7	9295	0	0	74,1	0,4	0,16

$$t_m = 9205$$

$$S = \sqrt{\frac{21.986}{59}} \approx 19$$

$$s\% = 0,20$$

$$\varepsilon_0 = 0,7072 \cdot 19 = 15,15$$

$$d_0 = 15,00$$

$$\Delta = 0,75 = 4,95\%$$

$$s_{tm} = \sqrt{\frac{\varepsilon_1^2}{N(N-1)}} = 2,5$$

$$r_{tm} = 0,6745 \cdot s = 1,68$$

$$k = \frac{1}{\varepsilon_0 \sqrt{\eta}} = 0,0072$$

$$k^2 = 0,001326 \quad k^3 = 0,0000516 \quad k^4 = 0,00000192$$

$$m_1 = \frac{\sum \varepsilon_i}{N} = d_p = 15,00 \cdot \frac{1}{k} = 15,15$$

$$m_2 = \frac{\sum \varepsilon_i^2}{N} = \frac{21.986}{60} = 366 = \frac{1}{2 k^2} = 260,7$$

$$m_3 = \frac{\sum \varepsilon_i^3}{N} = \frac{708.739}{60} = 11.912 = \frac{1}{k^3} = 10.932$$

$$m_4 = \frac{\sum \varepsilon_i^4}{N} = \frac{25.999.498}{60} = 433.324 = \frac{3}{4 k^4}$$

$$= 390.421$$

$$T_m = 74,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Aire

Fecha 7-2-57

Temperatura 80,5

N = 60

$L_i$	$L_f$	$t'$	frec.	$\frac{\Delta}{f} \%$	$t$	$\epsilon$	$\epsilon^2$	$T$	$\epsilon T$
1855	11356	9501	50,50	1	9406	45	2025	80,5	0
1481	11026	9545	50,50	1	9450	1	1	80,7	0,2
1120	10667	9547	50,50	1	9453	2	4	80,1	0,4
796	10362	9566	50,50	1	9471	20	400	80,5	0
432	9995	9563	50,50	1	9468	17	289	80,6	0,1
93	9629	9536	50,50	1	9441	10	100	80,2	0,3
9720	19280	9560	50,50	1	9465	14	196	80,6	0,1
9372	18937	9565	50,50	1	9470	19	361	80,2	0,1
9014	18517	9503	50,50	1	9408	43	1849	80,6	0
8607	18166	9559	50,50	1	9464	13	169	80,6	0,1
8294	17831	9537	50,50	1	9442	9	81	80,5	0
7573	17124	9551	50,50	1	9452	5	25	80,6	0,1
7210	16810	9600	50,75	1,5	9456	5	25	80,5	0
6909	16473	9564	50,60	1,2	9450	1	1	80,6	0,3
6570	16138	9568	50,60	1,2	9454	3	9	80,5	0,1
6238	15774	9536	50,50	1	9441	10	100	80,2	0,2
5861	15382	9521	50,50	1	9427	34	1156	80,6	0,1
5478	15035	9557	50,50	1	9462	11	121	80,3	0,2
5117	14604	9587	50,60	1,2	9472	21	441	80,4	0,3
4699	14261	9562	50,50	1	9467	16	256	80,7	0,2
4350	13904	9554	50,50	1	9459	8	64	80,2	0,2
4031	13585	5554	50,50	1	9459	8	64	80,3	0,3
3638	13153	9515	50,50	1	9420	21	441	80,7	0,1
3242	12743	9501	50,30	0,6	9444	7	49	80,4	0,1
2822	12316	9494	50,20	0,4	9457	6	36	80,9	0,4
2406	11818	9412	50,-	-	9412	39	1521	80,3	0,2
272	9728	9456	50,-	-	9450	5	25	80,6	0,1
9893	19315	9432	50,-	-	9432	12	361	80,5	0
9434	18883	9449	50,-	6	9449	2	4	80,8	0,3
8994	18421	9427	50,-	-	9427	24	576	80,7	0,2
8511	17943	9432	50,-	-	9432	19	361	80,5	0
8117	17554	9437	50,-	-	9437	14	196	80,3	0,2

$L_1$	$L_f$	$t'$	freq.	$\Delta$ freq. %	$\tau$	$\xi$	$\xi^2$	$\tau$	$\xi_T$
7663	17109	9446	50,-	-	9446	5	25	80,2	0,3
7175	16619	9444	50,-	-	9444	7	49	80,1	0,4
6717	16143	9426	50,-	-	9426	25	625	80,3	0,2
6238	15668	9430	50,-	-	9430	21	441	80,4	0,1
5764	15182	9418	49,95	0,1	9427	24	576	80,6	0,1
5282	14695	9413	49,90	0,2	9431	20	400	80,7	0,2
4806	14217	9411	49,90	0,2	9429	22	484	80,4	0,1
4309	13716	9407	49,90	0,2	9425	26	676	80,2	0,3
3840	13325	9485	29,85	0,2	9458	7	49	80,3	0,2
5802	15235	9433	50,-	-	9433	18	324	80,4	0,1
5326	14826	9498	50,-	-	9498	47	2209	80,5	0
4906	14374	9468	50,-	-	9468	17	289	80,7	0,2
4460	13918	9458	50,-	-	9458	7	49	80,9	0,4
4013	13498	9485	50,-	-	9485	34	1156	80,6	0,1
4910	14383	9473	49,90	0,2	9492	41	1681	80,4	0,1
4472	13945	9473	50,-	-	9473	22	484	80,3	0,2
4040	13498	9458	50,-	-	9458	7	49	80,1	0,4
3659	13116	9457	50,-	-	9457	6	36	80,-	0,5
3239	12736	9497	50,20	0,4	9459	8	64	80,2	0,2
2989	12493	9504	50,-	-	9504	3	9	80,3	0,2
2589	12113	9524	50,20	0,4	9486	35	1225	80,4	0,1
2312	11755	9443	50,-	-	9443	8	64	80,7	0,2
1856	11299	9443	50,-	-	9443	8	64	80,8	0,3
1357	10837	9480	50,-	-	9480	29	841	80,6	0,1
939	104442	9503	50,-	-	9503	2	4	80,6	0,1
540	10036	9496	50,-	-	9496	45	2025	80,5	0
167	9603	9436	50,-	-	9436	15	225	80,3	0,2
9280	18784	9504	50,20	0,4	9486	15	225	80,1	0,4

$$t_m = 9451$$

$$s = \sqrt{470} \approx 22$$

$$s\% = 0,25$$

$$\varepsilon_0 = 0,7970 \cdot 22 = 17,55$$

$$d_n = 16,59$$

$$\Delta = 0,97 = 5,5\%$$

$$s_{tm} = \sqrt{\frac{29.256}{3540}} \approx 2,9$$

$$r_{tm} = 0,6745 \cdot 2,9 = 1,99$$

$$k = \frac{1}{\varepsilon_0 \sqrt{T_1}}$$

$$k^2 = 0,001024 \quad k^3 = 0,0000329 \quad k^4 = 0,00001049$$

$$m_1 = \frac{\sum \varepsilon_1}{N} = d_n = 16,59 = \frac{1}{k} = 17,63$$

$$m_2 = \frac{\sum \varepsilon_1^2}{N} = \frac{29.256}{60} = 470 = \frac{k \sqrt{T_1}}{2 k^2} = 488$$

$$m_3 = \frac{\sum \varepsilon_1^3}{N} = \frac{0.297.320}{60} = 4955,33 = \frac{1}{k^3 \sqrt{T_1}} = 172.028$$

$$m_4 = \frac{\sum \varepsilon_1^4}{N} = \frac{292.903.530}{60} = 4.881.725,5 = \frac{3}{4 k^4} = 6.955.575$$

$$T_m = 30,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Temperatura 89,8° G

$L_i$	$L_f$	$t'$	frec.	$\Delta$ frec.	$\%$ frec.	$t$	$\xi$	$\xi^2$	$T$	$\xi_T$
9522	19259	9737	50,45	0,9		9651	11	121	90,-	0,2
9292	19010	9718	50,50	1		9622	18	329	89,5	0,3
8998	18721	9723	50,45	0,9		9640	0	0	89,6	0,2
9710	19438	9728	50,45	0,9		9642	2	4	89,8	0
8394	18112	9718	50,50	1		9621	19	361	89,8	0
7891	17594	9703	50,40	0,8		9626	14	196	89,9	0,1
7376	17081	9705	50,35	0,7		9638	2	4	90,-	0,2
7106	16809	9703	50,35	0,7		9636	4	16	90,2	0,4
6793	16486	9693	50,35	0,7		9626	14	196	89,5	0,3
6468	16185	9717	50,30	0,6		9660	20	400	89,4	0,4
6175	15853	9678	50,30	0,6		9621	19	361	89,6	0,2
5833	15547	9714	50,40	0,8		9637	3	9	89,7	0,1
5531	15219	9688	50,30	0,6		9631	9	81	89,9	0,1
5199	14888	9689	50,30	0,6		9632	8	64	90,-	0,2
4875	14584	9709	50,35	0,7		9642	2	4	90,2	0,4
4431	14158	9727	50,30	0,6		9669	29	841	89,2	0,6
4046	13741	9695	50,30	0,6		9638	2	4	89,4	0,5
3689	13365	9676	50,35	0,7		9609	31	961	89,6	0,2
4345	13741	9645	50,-	-		9645	5	25	89,9	0,1
3027	12701	9701	50,35	0,7		9634	6	36	90,1	0,7
2689	12366	9677	50,35	0,7		9610	30	900	89,7	0,1
2247	11939	9692	50,30	0,6		9635	5	25	89,3	0,5
1882	11618	9736	50,30	0,6		9679	39	1521	89,6	0,2
1601	11287	9686	50,25	0,5		9639	1	1	90,-	0,2
1171	10604	9695	50,25	0,5		9647	7	49	89,9	0,1
7095	16802	9707	50,40	0,8		9631	9	81	90,1	0,3
6789	16503	9714	50,50	1		9617	23	529	88,8	1
6482	16160	9678	50,30	0,6		9621	19	361	90,1	0,3
6140	15824	9684	50,20	0,4		9646	6	36	89,9	0,1
5856	15502	9646	50,15	0,3		9618	22	484	89,6	0,2
5487	15168	9681	50,25	0,5		9633	7	49	89,4	0,4
5110	14776	9666	50,25	0,5		9618	22	484	89,2	0,6

$L_i$	$L_e$	$t'$	frec.	$\frac{L_i}{frec.}$	$t$	$\epsilon$	$\epsilon^2$	$T$	$\epsilon_T$
4763	14432	9667	50,30	0,6	9698	32	2400	90,2	0,6
4412	14078	9666	50,25	0,5	9618	22	484	90,-	0,2
4062	13748	9686	50,20	0,4	9648	8	64	89,9	0,1
3691	13373	9682	50,30	0,6	9625	15	225	89,7	0,1
3254	12930	9676	50,15	0,3	9647	7	49	89,6	0,2
2838	12508	9670	50,20	0,0	9632	8	64	89,4	0,4
2556	12247	9681	50,25	0,5	9633	7	49	89,5	0,3
2187	11875	9688	50,30	0,6	9631	9	81	90,2	0,4
1828	11519	9691	50,20	0,4	9653	13	169	90,-	0,2
1439	11284	9745	50,50	1	9648	8	64	89,9	0,1
1129	10874	9745	50,50	1	9648	8	64	89,8	0
813	10538	9725	50,50	1	9628	12	144	89,8	0
526	10289	9753	50,50	1	9656	16	256	89,8	0,2
202	9922	9720	50,45	0,9	9635	5	25	89,6	0,1
2	9731	9729	50,50	1	9632	8	64	89,7	0,1
9478	19999	9721	50,50	1	9624	16	256	89,9	0,2
9145	18914	9769	50,50	1	9672	32	1024	90,-	0,3
9004	18721	9717	50,50	1	9621	19	361	90,1	0,1
8505	18263	9758	50,50	1	9661	21	441	89,9	0,1
8278	17988	9710	50,45	0,9	9624	16	256	89,7	0,2
8053	17733	9680	50,30	0,6	9623	17	289	89,6	0
7609	7289	9680	50,30	0,6	9623	17	289	89,8	0,1
7267	16938	9671	50,30	0,6	9614	26	676	89,7	0,2
7025	16711	9686	50,35	0,7	9619	21	441	89,6	0,4
6470	16236	9761	50,35	0,7	9694	54	2916	89,5	0,7
6214	15927	9713	50,40	0,8	9636	4	16	89,9	0,1
684	10439	9755	50,35	0,7	9688	48	2304	90,2	0,4
425	10176	9710	50,40	0,8	9633	7	49	90,3	0,5

$$t_m = 9640$$

$$s = \sqrt{\frac{22,052}{50}} \approx 1^{\circ}$$

$$s\% = 0,20$$

$$\epsilon_n = 0,7278 \cdot 20 = 15,16$$

$$d_0 = 14,73$$

$$\Delta = 0,43 = 2,9\%$$

$$s_{t_m} = \sqrt{\frac{22,052}{3540}} \approx 2,5$$

$$r_{t_m} = 0,6745 \cdot 2,5 = 1,68$$

$$k = \frac{1}{\epsilon_n \sqrt{\pi}} = 0,037$$

$$k^2 = 0,00137 \quad k^3 = 0,0000507 \quad k^4 = 0,00000187$$

$$m_1 = \frac{\sum \epsilon_1}{N} = d_0 = 14,73 = 15,25$$

$$m_2 = \frac{\sum \epsilon_1^2}{N} = \frac{22052}{60} = 367 = \frac{1}{2k^2} = 365$$

$$m_3 = \frac{\sum \epsilon_1^3}{N} = \frac{630.767}{60} = 10.512,78 = \frac{1}{k^3} = 11.128$$

$$m_4 = \frac{\sum \epsilon_1^4}{N} = \frac{23.294.108}{60} = 388.235,13 = \frac{\sqrt{\pi}}{4 k^4} = 4.010.691$$

$$T_m = 99,9 \text{ OC}$$



L <sub>i</sub>	L <sub>f</sub>	t'	freq.	$\Delta$ freq.	t	$\epsilon$	$\epsilon^2$	T	$\epsilon_T$	$\epsilon_T^2$
104	5282	5178	50,75	1,5	5113	47	2209	74,-	0,4	0,16
5700	10938	5238	50,70	1,4	5168	18	324	74,-	0,4	0,16
1354	6592	5238	50,70	1,4	5168	18	324	74,-	0,3	0,09
7005	12117	5112	50,75	1,5	5188	38	1444	74,4	0	0
2646	7865	5219	50,70	1,4	5149	1	1	74,7	0,3	0,09
8270	13458	5188	50,65	1,3	5123	27	729	74,10	0,4	0,16
3887	9078	5191	50,65	1,3	5126	24	576	73,8	0,4	0,16
9507	4732	5225	50,60	1,2	5165	15	225	74,5	0,1	0,01
5131	10366	5235	50,60	1,2	5175	25	625	74,8	0,4	0,16
763	5963	5200	50,65	1,3	5134	16	256	74,5	0,1	0,01
6380	11582	5202	50,65	1,3	5137	13	169	74,1	0,3	0,09
2002	7242	5240	50,75	1,5	5165	15	225	74,9	0,5	0,25
7641	12865	5224	50,75	1,5	5149	1	1	74,9	0,5	0,25
3265	8465	5200	50,75	1,5	5125	25	625	74,1	0,3	0,09
8886	14084	5198	50,75	1,5	5123	27	729	74,4	0	0
4501	9750	5249	50,75	1,5	5174	24	576	74,8	0,4	0,16
151	5264	5213	50,75	1,5	5138	12	144	74,8	0,4	0,16
5777	10984	5207	50,75	1,5	5135	15	225	74,7	0,3	0,09
1393	6615	5222	50,75	1,5	5147	3	9	74,2	0,3	0,09
7027	12221	5194	50,75	1,5	5119	31	961	74,4	0,4	0,16
2649	7870	5221	50,75	1,5	5146	4	16	74,6	0,2	0,04
8287	13511	5224	50,75	1,5	5149	1	1	74,7	0,3	0,09
3923	9108	5185	50,70	1,4	5115	35	1225	74,3	0,1	0,01
8536	13758	5222	50,70	1,4	5152	2	4	74,7	0,3	0,09
5179	10394	5215	50,70	1,4	5145	5	25	74,5	0,1	0,01
806	5997	5191	50,70	1,4	5121	29	841	74,3	0,1	0,01
6430	1612	5182	50,70	1,4	5112	38	1444	74,3	0,1	0,01
2046	7271	5225	50,70	1,4	5155	5	25	74,7	0,3	0,09
7688	12899	5211	50,75	1,5	5136	14	196	74,8	0,4	0,16
3337	8517	5180	50,70	1,4	5110	40	1600	74,3	0,1	0,01
8968	14186	5218	50,75	1,5	5143	7	49	74,8	0,4	0,16
4609	9826	5217	50,75	1,5	5142	8	64	74,7	0,3	0,09
253	5429	517	50,65	1,3	5111	39	1521	74,4	0	0

$L_i$	$L_f$	$t^*$	freq.	$\Delta$ freq.	$t$	$\epsilon$	$\epsilon^2$	$T$	$\epsilon_T$	$\epsilon_T^2$
6763	11973	5210	50,60	1,2	5150	0	0	74,3	0,1	0,01
2386	7607	5221	50,65	1,3	5155	5	25	74,1	0,3	0,09
8021	<del>13221</del>	5200	50,55	1,10	5145	5	25	74,3	0,1	0,01
3646	8894	5248	50,75	1,5	5170	20	400	74,-	0,4	0,16
9312	14561	5249	50,65	1,3	5183	33	1089	74,-	0,4	0,16
4966	10207	5241	50,70	1,4	5171	21	441	74,2	0,2	0,04
604	5804	5200	50,45	0,9	5154	4	16	74,3	0,1	0,01
6225	11448	5223	50,49	0,9	5177	27	729	74,6	0,2	0,04
7507	12747	5240	50,75	1,5	5165	15	225	74,4	0	0
3129	8316	5187	50,80	0,6	5157	7	49	74,2	0,2	0,04
8737	13973	5236	50,45	0,9	5181	31	961	74,5	0,4	0,6
4377	9612	5235	50,50	1	5183	33	1089	74,4	0	0
5	5208	5203	50,45	0,9	5158	8	64	74,5	0,1	0,01
5598	10780	5182	50,40	0,8	5141	9	81	74,8	0,4	0,16
1186	6392	5206	50,45	0,9	5161	11	16	74,9	0,5	0,25
6794	12020	5226	50,45	0,9	5180	30	900	74,6	0,2	0,04
2392	7614	5222	50,45	0,9	5176	26	676	74,3	0,1	0,01
7994	13199	5205	50,45	0,9	5159	9	81	74,-	0,4	0,16
3600	8815	5215	50,65	1,3	5150	1,3	5150	74,1	0,3	0,09
9219	14448	5229	50,75	1,5	5151	1	1	74,5	0,1	0,01
4833	10050	5217	50,70	1,4	5145	5	25	74,7	0,3	0,09
447	5642	5195	50,65	1,3	5129	21	441	74,2	0,2	0,04
6049	11271	5222	50,65	1,3	5156	6	36	74,3	0,1	0,01
1675	6899	5224	50,65	1,3	5158	8	64	74,7	0,3	0,09
7286	12473	5186	50,50	1	5135	15	225	74,4	0	0
3219	8447	5228	50,50	1	5176	26	676	74,3	0,1	0,01
7000	12269	5263	50,75	1,5	5188	38	1444	74,4	0	0

$$t_m = 5150$$

$$S = \sqrt{\frac{26.468}{50}} \approx 21$$

$$S\% = 0,40$$

$$\xi_0 = 0,7978 \cdot 21 = 16,75$$

$$d_0 = 17,26$$

$$\Delta = 0,51 = 3\%$$

$$S_{tm} = \sqrt{7,47} \approx 2,8$$

$$r_{tm} = 0,6745 \cdot 2,8 = 1,8886$$

$$k = \frac{1}{\xi_0 \sqrt{\pi}} = \frac{1}{16,75 \cdot 1,77245} = 0,0337$$

$$k^2 = 0,001135 \quad k^3 = 0,0000382 \quad k^4 = 0,000001287$$

$$m_1 = \frac{\sum \xi_1}{N} = d_0 = 17,26 = \frac{1}{k \sqrt{\pi}} = 16,74$$

$$m_2 = \frac{\sum \xi_1^2}{N} = \frac{26.468}{60} = 441 = \frac{1}{2 k^2} = 440$$

$$m_3 = \frac{\sum \xi_1^3}{N} = \frac{942.420}{60} = 14.040 = \frac{1}{k^3} = 14.757$$

$$m_4 = \frac{\sum \xi_1^4}{N} = \frac{20.413.572}{60} = 473.559 = \frac{\sqrt{\pi}}{4 k^4} =$$

$$= 582.750$$

$$T_m = 74,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Vapor de H<sub>2</sub>O

Fecha 13- 3- 57

Temperatura 80,5° G

N = 60

L <sub>i</sub>	L <sub>f</sub>	t'	frec.	$\Delta$ frec. %	t	$\epsilon$	$\epsilon^2$	T	$\epsilon_T$	$\epsilon_T^2$
8415	4015	5600	50,30	0,6	5567	16	256	80,5	0	0
4237	9836	5599	50,20	0,4	5577	26	676	80,6	0,1	0,01
47	5639	5592	50,20	0,4	5570	19	361	80,9	0,4	0,16
5843	11396	5553	50,15	0,3	5536	15	225	80,3	0,2	0,04
1614	7202	5588	50,20	0,4	5566	15	225	80,2	0,3	0,09
7423	3020	5597	50,20	0,4	5575	14	196	80,5	0	0
3227	8790	5563	50,25	0,5	5536	15	225	80,5	0	0
8999	4577	5578	50,30	0,6	5545	6	36	80,3	0,2	0,04
4793	10397	5604	50,25	0,5	5577	16	256	80,7	0,2	0,04
600	6155	5555	50,25	0,5	5528	23	529	80,4	0,1	0,01
6367	1934	5567	50,15	0,3	5550	1	1	80,3	0,2	0,04
2152	7742	5590	50,15	0,3	5573	72	5184	80,7	0,2	0,04
7947	3507	5560	50,10	0,7	5549	2	4	80,5	0	0
3715	9285	5570	50,10	0,2	5559	8	64	80,5	0	0
9499	5091	5592	50,10	0,2	5581	30	900	80,7	0,2	0,04
5295	10885	5530	50,10	0,2	5519	22	484	80,3	0,2	0,04
1035	6598	5563	50,10	0,2	5552	1	1	80,3	0,2	0,04
6809	12472	5593	50,10	0,2	5582	31	961	80,7	0,2	0,04
2604	8155	5591	50,15	0,3	5534	17	289	80,3	0,2	0,04
8367	13955	5588	50,10	0,2	5577	26	676	80,5	0	0
4168	9754	5586	50,10	0,2	5575	24	576	80,8	0,3	0,09
9958	15520	5562	50,05	0,1	5557	6	36	80,7	0,2	0,04
5723	11270	5547	50,-	-	5547	4	16	80,4	0,1	0,01
1491	7069	5578	50,-	-	5578	27	729	80,6	0,1	0,01
7277	12828	5551	50,05	0,1	5546	5	25	80,5	0	0
3039	8598	5559	50,05	0,1	5554	3	9	80,4	0,1	0,01
884	14392	5581	50,15	0,3	5564	13	169	80,6	0,1	0,01
4594	10138	5544	50,10	0,2	5533	18	324	80,4	0,1	0,01
346	5915	5569	50,05	0,1	5564	13	169	80,5	0	0
6126	11702	5576	50,15	0,3	5560	9	81	80,7	0,2	0,04
1922	7473	5551	50,20	0,4	5529	22	484	80,3	0,2	0,04
7684	3254	5570	50,15	0,3	5553	2	4	80,2	0,3	0,09

Li	L <sub>f</sub>	t'	frec.	$\frac{\Delta}{\text{frec.}}$	t	$\epsilon$	$\epsilon^2$	$\tau$	$\epsilon_{\tau}$	$\epsilon_{\tau}^2$
3470	9073	5603	50,25	0,5	5576	15	225	80,8	0,3	0,09
9277	4855	5578	50,30	0,6	5545	6	36	80,8	0,3	0,09
5058	10612	5554	50,30	0,6	5521	30	900	80,2	0,3	0,09
830	6417	5587	50,30	0,6	5554	3	9	80,5	0	0
6630	2216	5586	50,30	0,6	5553	2	4	80,7	0,2	0,04
2420	7980	5560	50,20	0,4	5538	13	169	80,4	0,1	0,01
8191	3767	5576	50,20	0,4	5554	3	9	80,5	0	0
3985	9573	5588	50,20	0,4	5566	15	225	80,7	0,2	0,04
9779	5330	5551	50,20	0,4	5529	22	484	80,4	0,1	0,01
5544	11103	5559	50,15	0,3	5543	8	64	80,6	0,1	0,01
1328	6887	5559	50,15	0,3	5543	8	64	80,8	0,3	0,09
7107	2646	5539	50,-	-	5539	12	144	80,4	0,1	0,01
2856	8409	5553	50,-	-	5553	2	4	80,3	0,2	0,04
8622	4196	5574	50,-	-	5574	23	529	80,7	0,2	0,04
4401	9928	5527	50,-	-	5527	24	576	80,3	0,2	0,04
141	583	5542	50,-	-	5542	9	81	80,4	0,1	0,01
5900	1463	5563	50,-	-	5563	12	144	80,7	0,2	0,04
1670	7205	5535	50,-	-	5535	16	256	80,5	0	0
7411	2927	5516	50,-	-	5516	35	1225	80,1	0,4	0,16
3150	8683	5533	50,-	-	5533	18	324	80,3	0,2	0,04
8907	4465	5557	50,-	-	5557	6	36	80,4	0,1	0,01
4678	10239	5561	50,-	-	5561	10	100	80,6	0,1	0,01
442	5961	5519	50,-	-	5519	32	1024	80,1	0,4	0,16
6172	1706	5534	49,85	0,3	5551	0	0	80,3	0,2	0,04
1919	7452	5533	49,95	0,1	5538	13	169	80,3	0,2	0,04
7654	3170	5516	49,90	0,2	5527	24	576	80,6	0,1	0,01
3380	8906	5526	49,85	0,3	5543	8	64	80,3	0,2	0,04
9432	14984	5552	50,-	-	5552	1	1	80,4	0,1	0,01

$$t_m = 5551$$

$$S = \sqrt{\frac{21.613}{60}} = \approx 19$$

$$S\% = \frac{1900}{5551} = 0,34\%$$

$$d_n = 14,85$$

$$\xi_0 = 0,7073 \cdot 19 = 13,44$$

$$\Delta = 0,30 = 1,990\%$$

$$S_{tm} = \sqrt{\frac{21.613}{3540}} = 2,5$$

$$r_{tm} = 0,6745 \cdot 2,5 = 1,6862$$

$$k = \frac{1}{\sqrt[10]{\pi}} = 0,0372$$

$$k^2 = 0,001376 \quad k^3 = 0,00005144 \quad k^4 = 0,000001913$$

$$m_1 = \frac{\sum \xi_i}{N} = d_n = 14,85 \cdot \frac{1}{k} = 15,168$$

$$m_2 = \frac{\sum \xi_i^2}{N} = \frac{21.613}{60} = 360 = \frac{1}{2 k^2} = 361$$

$$m_3 = \frac{\sum \xi_i^3}{N} = \frac{749.527}{60} = 12.475 = \frac{1}{k^3} = 10.968$$

$$m_4 = \frac{\sum \xi_i^4}{N} = \frac{36.011.593}{60} = 600.193 = \frac{1}{4 k^4} =$$

$$= 884.799$$

$$T_m = 30,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tiempos de escurrimiento de

Vapor de H<sub>2</sub>O

Fecha 19- 3- 57

Temperatura 89,9

N = 60

$L_i$	$L_f$	$t'$	froc.	$\Delta$ froc. %	$t$	$\epsilon$	$\epsilon^2$	$\tau$	$\epsilon_T$	$\epsilon_T^2$
7276	13188	5912	50,30	0,6	5876	13	169	90,-	0,1	0,01
3323	9237	5914	50,40	0,8	5866	22	484	90,-	0,1	0,01
9365	5288	5923	50,35	0,7	5881	17	289	90,2	0,3	0,09
5412	1358	5946	50,40	0,8	5898	54	2916	90,3	0,4	0,16
1484	7418	5934	50,35	0,7	5892	48	2304	90,4	0,5	0,25
7540	4312	5872	50,35	0,7	5830	-14	196	89,5	0,4	0,16
3539	9398	5859	50,30	0,6	5823	-21	441	88,9	1,-	1,-
9530	5413	5883	50,25	0,5	5853	9	81	89,3	0,6	0,36
6194	2126	5932	50,60	1,2	5860	16	256	89,7	0,2	0,04
2255	8160	5910	50,60	1,2	5838	-6	36	89,8	0,1	0,01
8296	4215	5919	50,55	1,1	5853	9	81	89,9	0	0
4345	10279	5934	50,55	1,1	5868	24	576	89,9	0	0
412	6338	5926	50,55	1,1	5860	16	256	90,-	0,1	0,01
6479	2420	5941	50,55	1,1	5875	31	961	90,1	0,2	0,04
2549	8459	5910	50,50	1	5851	7	49	90,2	0,3	0,09
8592	4476	5884	50,50	1	5826	-18	324	89,6	0,3	0,09
4607	10507	5900	50,45	0,9	5846	2	4	89,8	0,1	0,01
3642	9543	5901	50,45	0,9	5847	3	9	90,-	0,1	0,01
6673	12574	5901	50,30	0,6	5866	22	484	90,-	0,2	0,04
2699	8599	5890	50,25	0,5	5860	16	256	90,2	0,3	0,09
8717	4622	5905	50,35	0,7	5863	19	361	90,3	0,4	0,16
4753	10612	5859	50,20	0,4	5835	-9	81	90,-	0,1	0,01
746	6622	5876	50,30	0,6	5840	-4	16	89,7	0,2	0,04
6759	2646	5887	50,35	0,7	5845	1	1	89,9	0	0
2781	8675	5894	50,30	0,6	5858	14	196	90,-	0,1	0,01
8806	14700	5894	50,35	0,7	5852	8	64	90,2	0,3	0,09
4832	10683	5851	50,30	0,6	5815	-29	841	89,5	0,4	0,16
816	6672	5856	50,35	0,7	5814	30	900	89,6	0,3	0,09
6808	12684	5876	50,30	0,6	5828	16	256	89,8	0,1	0,01
2805	8675	5870	50,30	0,6	5834	10	100	90,-	0,1	0,01
8808	4686	5878	50,30	0,6	5842	2	4	90,-	0,1	0,01

$L_i$	$L_f$	$t'$	frec.	$\Delta$ frec.	$t$	$\epsilon$	$\epsilon^2$	$T$	$\epsilon_T$	$\epsilon_T^2$
4820	10693	5873	50,30	0,6	5837	7	49	90,-	0,1	0,01
824	6709	5885	50,30	0,6	5849	5	25	90,-	0,1	0,01
6843	2727	5881	50,35	0,7	5839	5	25	90,-	0,1	0,01
2855	8736	5881	50,40	0,8	5833	11	121	90,-	0,1	0,01
8868	4760	5892	50,35	0,7	5852	8	64	90,1	0,2	0,04
4092	10770	5878	50,35	0,7	5837	7	49	90,2	0,3	0,09
906	6806	5900	50,40	0,8	5852	8	64	90,2	0,3	0,09
6936	2834	5898	50,40	0,8	5850	6	36	89,8	0,1	0,01
2962	8819	5857	50,40	0,8	5809	5	25	89,6	0,3	0,09
8951	4816	5865	50,35	0,7	5823	21	441	89,6	0,3	0,09
4952	10819	5867	50,35	0,7	5825	19	361	89,8	0,1	0,01
951	6818	5867	50,35	0,7	5825	19	361	89,8	0,1	0,01
6948	12828	5880	50,30	0,6	5844	0	0	89,9	0	0
2957	8844	5887	50,30	0,6	5851	7	49	90,0	0,1	0,01
8973	4855	5882	50,30	0,6	5846	2	4	90,1	0,2	0,04
4985	10876	5891	50,35	0,7	5849	5	25	90,2	0,3	0,09
1002	6895		50,35	0,7	5851	7	49	90,2	0,3	0,09
7021	2869	5948	50,30	0,6	5812	32	1024	89,5	0,4	0,16
2999	8853	5854	50,35	0,7	5812	32	1024	89,7	0,2	0,04
8983	4855	5872	50,40	0,8	5824	20	400	89,8	0,1	0,01
4986	10870	5884	50,50	0,8	5836	8	64	89,9	0	0
997	6875	5878	50,35	0,7	5836	8	64	89,9	0	0
7003	2876	5873	50,30	0,6	5837	7	49	90,-	0,1	0,01
3003	8910	5907	50,35	0,7	5865	21	441	90,-	0	0
1610	7517	5907	50,50	0,8	5859	15	225	90,1	0,2	0,04
7903	3787	5884	50,40	0,8	5836	8	64	90,2	0,3	0,09
4167	10069	5902	50,50	1	5842	2	4	89,8	0,1	0,01
464	6407	5943	50,50	1	5883	38	1521	89,7	0,2	0,04
2968	8887	5919	50,50	1	5859	15	225	89,5	0,4	0,16



$$t_m = 5944$$

$$s = \sqrt{386} = 19$$

$$s\% = \frac{1900}{5944} = 0,32\%$$

$$d_n = 14,31$$

$$\sum v = 0,7978 \cdot 19 = 14,36$$

$$\Delta = 0,05 = 0,3\%$$

$$s_{tm} = \sqrt{\frac{19 \cdot 945}{2540}} = 2,4$$

$$r_{tm} = 0,6745 \cdot 24 = 1,61$$

$$k = \frac{1}{\sqrt[10]{11}} = 0,0393$$

$$k^2 = 0,001544 \quad k^3 = 0,00006067 \quad k^4 = 0,000002384$$

$$m_1 = \frac{\sum \varepsilon_1}{N} = d_n = 14,31 = \frac{1}{k} = 14,35$$

$$m_2 = \frac{\sum \varepsilon_1^2}{N} = \frac{19 \cdot 945}{60} = 330 = \frac{\sqrt{11}}{2 k^2} = 323$$

$$m_3 = \frac{\sum \varepsilon_1^3}{N} = \frac{617 \cdot 836}{60} = 10.297 = \frac{1}{k^3} = 10.753$$

$$m_4 = \frac{\sum \varepsilon_1^4}{N} = \frac{23 \cdot 342 \cdot 645}{60} = 399.060 = \frac{\sqrt{11} \cdot 3}{4 k^4} = 314.597$$

$$T_m = 39,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Temperatura 74,4° G

L <sub>i</sub>	L <sub>f</sub>	t'	frec.	A <sup>5</sup> frec.	t	ε	ε <sup>2</sup>	T	ε <sub>T</sub>	ε <sub>T</sub> <sup>2</sup>
5005	10603	5598	50,25	0,5	5570	32	1024	74,5	0,1	0,01
1055	6645	5590	50,20	0,4	5568	30	900	74,2	0,2	0,04
7100	12714	5614	50,30	0,6	5580	42	1764	74,3	0,1	0,01
3170	8813	6543	50,40	0,8	5598	60	3600	74,6	0,2	0,04
9270	14901	5631	50,40	0,8	5586	48	2304	74,7	0,3	0,09
8234	13816	5582	50,35	0,7	5544	6	36	74,4	0	0
4321	9874	5552	50,30	0,6	5519	19	361	74,2	0,2	0,04
367	5906	5539	50,30	0,6	5505	33	1089	74,-	0,4	0,16
6305	11931	5625	50,35	0,7	5588	90	2500	74,1	0,3	0,09
2336	7969	5633	50,35	0,7	5594	56	3136	74,2	0,24	0,04
2741	8297	5556	50,35	0,7	5518	20	400	74,5	0,1	0,01
8818	14381	5563	50,35	0,7	5520	18	324	74,6	0,2	0,02
4900	10458	5558	50,40	0,8	5514	24	576	74,28	0,4	0,16
965	6552	5587	50,45	0,9	5537	1	1	74,5	0,1	0,01
7053	12612	5559	50,40	0,8	5515	23	529	74,3	0,1	0,01
3133	8707	5574	50,40	0,8	5534	4	16	74,5	0,4	0,16
9232	14815	5583	50,50	1	5528	10	100	74,3	0,1	0,01
5326	10902	5576	50,50	1	5521	17	289	74,4	0	0
1418	6987	5569	50,45	0,9	5520	18	324	74,5	0,1	0,01
7508	13032	5579	50,45	0,9	5525	13	168	74,6	0,2	0,04
3606	9162	5556	50,35	0,7	5518	20	400	74,7	0,3	0,09
9603	15258	5565	50,35	0,7	5527	11	121	74,4	0	0
1860	7418	5558	50,25	0,5	5530	8	16	74,5	0,4	0,16
7943	13502	5559	50,30	0,6	5525	13	169	74,5	0,1	0,01
4030	9589	5559	50,30	0,6	5525	13	169	70,8	0,09	0,09
104	5678	5574	50,30	0,6	5540	2	4	74,3	0,1	0,01
6192	11755	5563	50,25	0,5	5535	3	9	74,-	0,4	0,16
2270	7834	5564	50,25	0,5	5536	2	4	74,2	0,2	0,04
8352	13925	5573	50,30	0,6	5539	3	9	74,3	0,1	0,01
4442	10018	5576	50,30	0,6	5542	4	16	74,5	0,1	0,01
548	6130	5582	50,40	0,8	5537	1	1	74,6	0,2	0,04
6659	12232	5573	50,30	0,6	5539	2	4	74,8	0,4	0,16

$L_i$	$L_f$	$t'$	frac.	$\Delta$ frac. %	$t$	$\varepsilon$	$\varepsilon^2$	$\tau$	$\varepsilon_{\tau}$	$\varepsilon_{\tau}^2$
2762	8332	5570	50,20	0,4	5548	10	100	74,5	0,1	0,01
8850	14417	5567	50,25	0,5	5539	1	1	74,-	0,4	0,16
4938	10502	5564	50,20	0,4	5542	4	16	74,-	0,4	0,16
1033	6608	5575	50,20	0,4	5553	15	225	74,1	0,3	0,09
7126	12703	5577	50,20	0,4	5555	17	289	74,2	0,2	0,04
8226	13772	5546	50,-	-	5546	8	64	74,5	0,1	0,01
5260	10780	5520	48,80	0,4	5544	6	36	74,5	0,4	0,16
263	5770	5507	49,85	0,3	5523	15	225	74,1	0,3	0,09
6260	11794	5528	49,85	0,3	5550	12	144	74,3	0,1	0,01
2279	7808	5529	49,75	0,5	5557	19	361	74,4	0	0
8323	13861	5538	49,75	0,5	5566	28	784	74,6	0,2	0,04
4379	9922	5543	49,80	0,4	5565	27	729	74,7	0,3	0,09
460	5997	5537	49,80	0,4	5559	21	441	74,5	0,1	0,01
6532	12068	5536	49,75	0,5	5564	26	676	74,3	0,1	0,01
2588	8165	5577	50,30	0,6	5543	5	25	74,2	0,2	0,04
8696	14269	5573	50,30	0,6	5539	1	1	74,1	0,3	0,09
4802	10360	5558	50,40	0,8	5511	27	729	74,-	0,4	0,16
903	6466	5563	50,40	0,8	5516	22	484	74,2	0,2	0,04
7014	12580	5566	50,40	0,8	5522	16	256	74,3	0,1	0,01
3134	8700	5566	50,40	.	5522	16	256	74,5	0,1	0,01
9257	14818	5561	50,45	0,9	5511	27	729	74,7	0,3	0,09
5376	10940	5564	50,40	0,8	5520	18	324	74,8	0,4	0,16
7586	13149	5560	50,25	0,5	5532	6	36	74,4	0	0
3698	9260	5562	50,40	0,8	5515	23	529	74,3	0,1	0,01
9772	15344	5572	50,50	1	5517	21	.	74,5	0,1	0,01
5864	11443	5579	50,50	1	5524	14	196	74,4	0	0
1956	7536	5580	50,50	7	5524	14	196	74,2	0,2	0,04
8064	13643	5579	50,50	1	5525	13	169	74,9	0,4	0,16

$$t_m = 553^{\circ}$$

$$S = \sqrt{400} \approx 20$$

$$S\% = 0,29\% \approx 0,10$$

$$d_n = 17,20$$

$$C_n = 0,7978 \cdot 22 = 17,55$$

$$\Delta = 0,25 = 1,4\%$$

$$S_{\text{pm}} = \sqrt{\frac{22 \cdot 274}{3540}} \approx 2,7$$

$$r_{\text{pm}} = 0,6745 \cdot 2,7 = 1,95^{\circ}$$

$$k = \frac{1}{\varepsilon_n \sqrt{\eta}} = 0,0321$$

$$k^2 = 0,001030 \quad k^3 = 0,00003306 \quad k^4 = 0,000001061$$

$$m_1 = \frac{\sum \varepsilon_1}{N} = d_n = 17,20 = \frac{1}{k} = 17,57$$

$$m_2 = \frac{\sum \varepsilon_1^2}{N} = \frac{22 \cdot 274}{60} = 101 = \frac{1}{2 k^2} = 485$$

$$m_3 = \frac{\sum \varepsilon_1^3}{N} = \frac{1 \cdot 056 \cdot 200}{60} = 17,604 = \frac{1}{k^3} = 17,068$$

$$m_4 = \frac{\sum \varepsilon_1^4}{N} = \frac{45 \cdot 495 \cdot 910}{60} = 758,268 = \frac{1}{4 k^4} =$$

$$= 706,820$$

$$T_m = 74,4^{\circ} \text{C}$$

$L_i$	$L_f$	$t'$	freq.	$\Delta$ freq. %	$\varepsilon$	$\varepsilon$	$t$	$T$	$\varepsilon_T$	$\varepsilon_T^2$
1679	7562	5883	50,05	0,1	5877	11	121	80,8	0,4	0,16
7793	13664	5871	50,-	-	5871	5	25	80,6	0,2	0,04
6188	12082	5894	50,-	-	5894	28	784	80,5	0,1	0,01
2320	8293	5873	50,-	-	5873	7	49	80,4	0	0
8448	4345	5897	50,-	-	5897	31	961	80,2	0,2	0,04
4578	10446	5868	50,-	-	5868	2	4	80,3	0,1	0,01
674	6532	5858	50,-	-	5858	8	64	80,6	0,2	0,04
6785	12633	5848	50,10	0,2	5836	30	900	80,7	0,3	0,09
2923	3836	5913	50,05	0,1	5908	42	1764	80,4	0	0
9073	4977	5903	50,05	0,1	5898	32	1024	80,2	0,2	0,04
5212	1121	5909	50,10	0,2	5898	32	1024	80,-	0,4	0,16
1352	7239	5887	50,-	-	5887	21	441	80,1	0,3	0,09
3627	9591	5964	50,75	1,5	5874	8	64	80,3	0,1	0,01
9823	15774	5951	50,75	1,5	5861	5	25	80,5	0,1	0,01
6003	1982	5979	50,80	1,6	5883	17	289	80,7	0,3	0,09
2206	8170	5964	50,80	1,6	5868	2	4	80,8	0,4	0,16
8399	4362	5963	50,80	1,6	5867	1	1	80,7	0,3	0,09
4594	10554	5960	50,80	1,6	5864	3	9	80,6	0,2	0,04
783	6747	5966	50,80	1,6	5870	3	9	80,-	0	0
4988	12935	5947	50,75	1,5	5860	6	36	80,1	0,3	0,09
3180	9133	5953	50,75	1,5	5863	3	9	80,2	0,2	0,04
9363	5332	5969	50,75	1,5	5879	13	169	80,4	0	0
5562	11536	5974	50,75	1,5	5884	18	324	80,6	0,2	0,04
1771	7748	5977	50,75	1,5	5887	21	441	80,5	0,1	0,01
7982	13924	5942	50,70	1,4	5861	5	25	80,3	0,1	0,01
4171	10126	5955	50,70	1,4	5874	8	64	80,2	0,2	0,04
344	6314	5970	50,75	1,5	5880	14	196	80,-	0	0
2426	8300	5872	50,10	0,2	5857	9	81	80,-	0,4	0,16
4854	10789	5935	50,55	1,1	5871	5	25	80,1	0,3	0,09
1067	6892	5825	50,-	-	5875	9	81	80,2	0,2	0,04
7294	3180	5886	50,-	-	5886	20	400	80,3	0,1	0,01
9346	15293	5947	50,65	1,3	5872	6	36	80,6	0,2	0,04
5568	11522	5954	50,75	1,5	5868	2	4	80,9	0,5	0,25
1725	7700	5865	50,75	1,5	5876	10	100	80,7	0,2	0,09

Li	L <sub>r</sub>	t	freq.	Δ% prop.	t	ε	ε	T	εT
7929	3903	5974	50,85	1,7	5873	7	49	80,3	0,1
5176	11145	5969	50,85	1,7	5857	1	1	80,1	0,3
446	6423	5977	50,90	1,8	5873	7	49	80,2	0,2
6688	12664	5976	50,80	1,6	5882	16	256	80,3	0,1
2663	8607	5844	50,80	1,6	5850	16	256	80,5	0,1
8904	14851	5947	50,85	1,7	5845	21	441	80,5	0,1
5182	11120	5938	50,80	1,6	5844	22	484	80,6	0,2
1448	7422	5974	50,85	1,7	5874	8	64	80,8	0,4
7712	13668	5956	50,85	1,7	5854	12	144	80,4	0
6754	12653	5899	50,35	0,7	5857	9	81	80,2	0,2
3042	8949	5907	50,35	0,7	5865	1	1	80,1	0,3
9340	15257	5917	50,35	0,7	5875	9	81	80,-	0,4
5644	11560	5916	50,25	0,5	5886	20	400	80,1	0,3
1943	7861	5918	50,30	0,6	5822	16	256	80,7	0,3
8234	14138	5904	50,30	0,6	5868	2	4	80,3	0,1
4534	10452	5918	50,35	0,7	5876	10	100	80,4	0
837	6746	5909	50,30	0,6	5873	7	49	80,6	0,2
7131	13031	5900	50,35	0,7	5858	8	64	80,5	0,1
3428	9315	5887	50,40	0,8	5839	27	729	80,3	0,1
9693	15597	5904	50,45	0,9	5850	16	256	80,2	0,2
5932	1828	5896	50,45	0,9	5842	24	576	80,-	0
2199	8098	5899	50,45	0,9	5845	21	441	80,2	0,2
8483	4381	5898	50,45	0,9	5844	22	484	80,1	0,3
4646	10518	5872	50,50	1	5813	53	2809	80,3	0,1
878	6792	5914	50,50	1	5854	12	144	80,4	0
7158	13084	5926	50,50	1	5866	0	0	80,5	0,1
3560	9433	5872	50,-	-	5873	7	49	80,4	0

$$t_m = 5866$$

$$s = \sqrt{\frac{173921}{59}} \approx 20$$

$$s\% = 0,36$$

$$\xi_0 = 0,7978 \cdot 17 = 13,56$$

$$d_0 = \frac{\xi_1}{N} = 13,51$$

$$\Delta = 0,05 = 0,3\%$$

$$s_{tm} = \sqrt{\frac{173921}{3540}} = 2,3$$

$$r_{tm} = 0,6745 \cdot 2,3 = 1,55$$

$$k = \frac{1}{\xi_0 \sqrt{\pi}} = 0,0416$$

$$k^2 = 0,00173 \quad - \quad k^3 = 0,0000719 \quad k^4 = 0,00000299$$

$$m_1 = \frac{\sum \xi_1}{N} = d_0 = 13,51 = \frac{1}{k} = 13,56$$

$$m_2 = \frac{\sum \xi_1^2}{N} = \frac{17.921}{60} = 297 = \frac{\sqrt{\pi} k}{2k^2} = 299$$

$$m_3 = \frac{\sum \xi_1^3}{N} = \frac{500.400}{60} = 8340 = \frac{1}{k^3} = 7849$$

$$m_4 = \frac{\sum \xi_1^4}{N} = \frac{17.922.060}{60} = 298.701 = \frac{k^3 \sqrt{\pi}}{4k^4} = 250.826$$

$$T_m = 90,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tiempos de escurrimiento de

Vapor de D<sub>2</sub>O

Fecha 11- 3- 57

Temperatura 89,8

N = 60

L <sub>1</sub>	L <sub>F</sub>	t'	fr.c.	fr.c. <sup>o</sup>	t	ε	ε <sup>2</sup>	T	$\frac{T}{t}$	$\frac{ε^2}{T}$
8157	4347	6190	49,5	-1	6251	-4	16	89,9	0,1	0,01
4438	10614	6176	49,5	-1	6237	18	324	89,8	0	0
10894	7081	6187	49,5	±1	6248	7	49	90,-	0,2	0,04
7178	3367	6189	49,6	-0,8	6237	18	324	90,1	0,2	0,04
3479	9789	6310	50,75	1,5	6216	39	1521	90,2	0,4	0,16
9883	6215	6232	50,75	1,5	6238	17	289	89,9	0,1	0,01
6203	2625	6322	50,75	1,5	6228	27	729	89,8	0	0
2709	9050	6341	50,70	1,4	6253	2	4	89,7	0,1	0,01
318	6651	6233	50,70	1,4	6245	10	100	89,6	0,2	0,04
6768	3077	6309	50,70	1,4	6221	34	1156	89,8	0	0
3173	9479	6306	50,60	1,2	6232	23	529	89,9	0,1	0,01
9564	5860	6316	50,60	1,2	6241	14	196	89,8	0	0
5943	12252	6309	50,60	1,2	6234	21	441	89,7	0,1	0,01
2373	8684	6311	50,60	1,2	6236	19	361	89,8	0	0
8769	5060	6292	50,40	0,8	6243	12	144	90,-	0,2	0,04
5147	11439	6292	50,40	0,8	6242	12	169	90,-	0,2	0,04
1524	7810	6286	50,45	0,9	6232	23	529	90,1	0,3	0,09
7893	4159	6266	50,35	0,7	6224	31	961	90,1	0,3	0,09
4295	10508	6263	50,25	0,5	6233	22	484	89,9	0,1	0,01
584	6854	6270	50,25	0,5	6236	19	361	89,8	0	0
1899	8195	6296	50,-	-	6296	41	2031	90,-	0,2	0,04
8952	15188	6236	50,-	-	6236	19	361	90,1	0,3	0,09
7043	13239	6246	50,15	0,3	6228	27	729	90,-	0,2	0,04
4114	10400	6286	50,-	-	6286	31	961	89,3	0	0
1282	7598	6316	50,20	0,4	6292	36	1296	89,7	0,1	0,01
4340	10660	6320	50,40	0,8	6267	12	144	89,9	0,1	0,01
333	6648	6315	50,35	0,7	6273	18	324	89,8	0	0
6320	12618	6298	50,20	0,4	6273	18	324	90,-	0,2	0,04
2298	8695	6297	50,35	0,7	6255	0	0	90,-	0,2	0,04
3270	14562	6292	50,35	0,7	6250	5	25	90,2	0,4	0,16
4201	10502	6301	50,15	0,3	6280	25	625	89,6	0,2	0,04



$L_i$	$L_f$	$t'$	freq.	$\Delta\%$ freq.	$t$	$c$	$\epsilon^2$	$T$	$\epsilon_T$	$\epsilon_T^2$
163	6450	6237	50,35	0,7	6245	10	100	89,5	0,3	0,09
6099	12417	6318	50,35	0,7	6276	21	441	89,8	0	0
2064	8371	6307	50,40	0,8	6254	1	1	89,7	0,1	0,01
8002	14264	6262	50,-	-	6262	7	49	89,6	0,2	0,04
3890	10144	6254	50,-	-	6254	1	1	89,4	0,4	0,16
9799	16051	6252	50,05	0,10	6246	9	81	89,7	0,1	0,01
5708	11998	6290	50,05	0,10	6284	29	841	89,5	0,3	0,09
1664	7935	6271	50,05	0,10	6265	10	100	89,8	0	0
7594	13857	6263	50,05	0,10	6258	3	9	89,9	0,1	0,01
3515	9784	6269	50,05	0,10	6264	9	81	90,-	0,2	0,04
9443	15723	6280	50,05	0,10	6275	20	400	90,1	0,3	0,09
5373	11634	6261	50,15	0,3	6241	14	196	90,2	0,4	0,16
1236	7586	6300	50,20	0,4	6274	19	361	90,-	0,2	0,04
7236	13512	6276	50,20	0,4	6250	5	25	89,9	0,1	0,01
3176	9451	6275	50,15	0,3	6254	1	1	89,8	0	0
9130	15418	6288	50,20	0,4	6262	7	49	89,7	0,1	0,01
5102	11384	6282	50,20	0,4	6256	1	1	89,6	0,2	0,04
1063	7348	6285	50,20	0,4	6259	4	16	89,5	0,3	0,09
7021	13312	6291	50,20	0,4	6265	10	100	89,4	0,4	0,16
2980	9274	6294	50,25	0,4	6268	13	169	89,6	0,2	0,04
8956	15242	6286	50,20	0,4	6260	5	25	89,7	0,1	0,01
4908	11197	6289	50,20	0,4	6263	8	64	89,8	0	0
876	7174	6298	50,20	0,4	6272	17	289	89,5	0,3	0,09
6894	13164	6300	50,25	0,5	6268	13	169	89,4	0,4	0,16
2851	9171	6321	50,25	0,5	6284	29	841	89,7	0,1	0,01
7848	14161	6313	50,25	0,5	6281	26	676	89,9	0,1	0,01
4839	1145	6306	50,35	0,7	6264	9	81	90,-	0,2	0,04
841	7143	6302	50,25	0,5	6270	15	225	90,1	0,3	0,09
6833	13130	6297	50,25	0,5	6205	10	100	89,9	0,1	0,01

$$t_m = 6255$$

$$s = \sqrt{\frac{21649}{59}} \approx 19$$

$$d_p = 15,51$$

$$\epsilon_p = 0,7978 \cdot 19 = 15,15$$

$$\Delta = 0,36 = 2,37 \%$$

$$St_m = \sqrt{\frac{21649}{3540}} = 2,5$$

$$r_{t_m} = 0,6745 \cdot 2,5 = 1,68$$

$$k = \frac{1}{\epsilon_p \sqrt{\pi}} = 0,0372$$

$$k^2 = 0,001383 \quad k^3 = 0,00005144 \quad k^4 = 0,000001913$$

$$m_1 = \frac{\sum_{i=1}^1 \epsilon_i}{N} = d_p = 15,51 = \frac{1}{k \sqrt{\pi}} = 15,17$$

$$m_2 = \frac{\sum_{i=1}^2 \epsilon_i^2}{N} = \frac{21649}{60} = 360 = \frac{1}{2 k^2} = 361$$

$$m_3 = \frac{\sum_{i=1}^3 \epsilon_i^3}{N} = \frac{555098}{60} = 9251 = \frac{1}{k^3 \sqrt{\pi}} = 10968$$

$$m_4 = \frac{\sum_{i=1}^4 \epsilon_i^4}{N} = \frac{16116453}{60} = 268607 = \frac{3}{4 k^4} = 392054$$

$$T_m = 89,8^{\circ}\text{C}$$

Aire

Fecha 13- 2- 57

Temperatura 23,4

N = 60

$L_i$	$L_f$	$t'$	freq.	$\frac{\Delta C}{\text{freq.}}$	$t$	$\varepsilon$	$\varepsilon^2$	$T$	$\frac{\varepsilon}{T}$	$\frac{\varepsilon^2}{T}$
9317	17590	8273	50,-	-	8273	50	2500	23,-	0,4	0,16
9196	17447	8251	50,-	-	8251	28	784	23,-	0,4	0,16
9089	17300	8211	50,-	-	8211	-12	144	23,-	0,4	0,16
8993	17207	8214	50,-	-	8214	-9	81	23,4	0	0
8919	17144	8223	50,-	-	8223	0	0	23,4	0	0
9907	18128	8221	50,-	-	8221	-2	4	23,8	0,4	0,16
9887	18133	8246	49,95	0,1	8254	31	961	23,9	0,5	0,25
9861	18053	8192	49,95	0,1	8200	-23	529	23,9	0,5	0,25
9839	18065	8226	49,95	0,1	8234	11	121	23,9	0,5	0,25
9739	17936	8202	49,95	0,1	8210	-13	169	23,9	0,5	0,25
9675	17872	8197	49,95	0,1	8205	-18	324	23,9	0,5	0,25
9521	17786	8165	50,-	-	8165	-42	1764	23,5	0,1	0,01
9563	17706	8233	50,-	-	8233	10	100	23,5	0,1	0,01
9586	17828	8242	50,-	-	8242	19	361	23,7	0,3	0,09
9633	17874	8241	50,-	-	8241	18	324	23,8	0,4	0,16
9686	17910	8228	50,05	0,1	8212	-11	121	23,9	0,5	0,25
9649	17880	8231	50,10	0,2	8215	-8	64	23,9	0,5	0,25
9654	17828	8174	50,05	0,1	8166	-43	1849	23,9	0,5	0,25
9861	17917	8236	50,10	0,2	8220	-3	9	23,9	0,5	0,25
9638	17922	8234	50,10	0,2	8218	-5	25	23,6	0,2	0,04
9105	17359	8254	50,10	0,2	8238	15	225	23,6	0,2	0,04
9006	17246	8240	50,-	-	8240	17	289	23,5	0,1	0,01
9802	18038	8236	50,-	-	8236	13	169	23,4	0	0
8838	17059	8251	50,-	-	8251	28	784	23,3	0,1	0,01
8902	17105	8203	50,-	-	8203	-20	400	23,2	0,2	0,04
8850	17069	8219	50,-	-	8219	-4	16	23,1	0,3	0,09
9800	18020	8220	50,-	-	8220	-3	9	23,4	0	0
9774	18028	8254	50,2	0,4	8222	-1	1	23,2	0,2	0,04
9754	18002	8248	50,2	0,4	8216	-7	49	23,2	0,2	0,04
9648	17893	8245	50,2	0,4	8213	-10	100	23,3	0,1	0,01
9590	17836	8246	50,2	0,4	8214	-9	81	23,5	0,1	0,01
9534	17795	8261	50,2	0,4	8229	6	36	23,4	0	0

$L_i$	$L_f$	$t'$	freq.	freq.	$t$	$E^2$	$T$	$C_T$	$C_T^2$	
9481	17744	8263	50,2	0,4	8231	8	64	23,4	0	0
9498	17757	8259	50,2	0,4	8227	4	16	23,3	0,1	0,01
9543	17831	8288	50,2	0,4	8256	33	1089	23,2	0,2	0,04
9598	17878	8280	50,2	0,4	8248	25	625	23,2	0,2	0,04
8567	16784	8217	50,1	0,2	8201	-22	484	23,1	0,3	0,09
8569	16790	8221	50,1	0,2	8205	-18	324	23,1	0,3	0,09
7588	15808	8220	50,1	0,2	8204	-19	361	23,9	0,5	0,25
6605	14837	8232	50,1	0,2	8216	7	49	23,-	0,4	0,16
6706	14939	8233	50,1	0,2	8217	6	36	23,-	0,4	0,16
6651	14876	8225	50,15	0,3	8201	-22	484	23,-	0,4	0,16
5638	13872	8234	50,15	0,3	8210	-13	169	23,1	0,3	0,09
5649	13893	8244	50,15	0,3	8220	-3	9	23,8	0,4	0,16
5694	13942	8248	50,15	0,3	8224	1	1	23,6	0,2	0,04
5657	13838	8231	50,10	0,2	8215	-8	64	23,5	0,1	0,01
5838	14079	8241	50,10	0,2	8225	2	4	23,5	0,1	0,01
4721	12964	8243	50,10	0,2	8227	4	16	23,4	0	0
9863	18107	8244	50,10	0,2	8228	5	25	23,4	0	0
1093	9329	8236	50,10	0,2	8220	-3	9	23,6	0,2	0,04
1474	9721	8249	50,10	0,2	8233	10	100	23,7	0,3	0,09
9876	18127	8251	50,10	0,2	8235	12	144	23,7	0,3	0,09
8761	16999	8238	50,-	-	8238	15	225	23,1	0,3	0,09
5670	13870	8200	50,-	-	8200	-23	529	23,5	0,1	0,01
5752	13970	8218	50,-	-	8218	-5	25	23,3	0,09	0,01
3830	12095	8265	50,-	-	8265	42	1764	23,5	0,1	0,01
3711	11948	8237	50,-	-	8237	14	196	23,5	0,1	0,01
1003	9834	8231	50,-	-	8231	9	81	23,5	0,1	0,01
1560	9780	8220	50,-	-	8220	-3	9	23,1	0,4	0,16
4901	13136	8235	50,1	0,2	8219	-4	16	23,3	0,1	0,01

$$t_m = 0,23$$

$$S = \sqrt{\frac{19311}{59}} = 18$$

$$S\% = 0,22$$

$$S_{t_m} = 2,3$$

$$r_{tm} = 0,7978 \cdot 2,3 = 1,5513$$

$$c_p = 0,7978 \cdot S = 14,36$$

$$d_p = 13,8$$

$$\Delta = 0,56 = 3,9\%$$

$$k = \frac{1}{p \sqrt{\pi}} = 0,0392 \quad k^2 = 0,001536 \quad k^3 = 0,00006021$$

$$k^4 = 0,000002360$$

$$m_1 = \frac{\sum \epsilon_1}{N} = 13,8 \cdot \frac{1}{k} = 14,28$$

$$m_2 = \frac{\sum \epsilon_2}{N} = 325 = \frac{1}{2 k^2} = 322$$

$$m_3 = \frac{\sum \epsilon_3}{N} = 9578 = \frac{1}{k^3 \sqrt{\pi}} = 9370$$

$$m_4 = \frac{\sum \epsilon_4}{N} = 350116 = \frac{3}{4 k^4} = 317796$$

$$T_m = 23,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tiempos de escurrimiento de:

Aire

Fecha 20- 2- 57

Temperatura 74,4° G

N = 60

$L_1$	$L_2$	$t'$	frac.	frac. <sup>2</sup>	$t$	$\epsilon$	$\epsilon^2$	$T$	$\epsilon_T$	$\epsilon_T^2$
1206	10485	9279	50,-	-	9279	-13	169	74,6	0,2	0,04
283	9574	9291	50,-	-	9291	-1	1	74,4	0	0
7383	16701	9318	50,-	-	9318	26	676	74,3	0,1	0,01
5482	14811	9329	50,-	-	9329	37	1369	74,-	0,4	0,16
3558	12878	9320	50,-	-	9320	28	784	74,8	0,4	0,16
9283	18599	9316	50,-	-	9316	24	576	74,9	0,5	0,25
1631	10938	9307	50,00	-	9307	15	225	74,4	0	0
9709	19023	9314	50,-	-	9314	22	484	74,3	0,1	0,01
7848	17142	9294	50,1	0,2	9294	2	4	74,7	0,3	0,09
6058	15349	9291	50,1	0,2	9273	-19	361	74,6	0,2	0,04
4113	13409	9296	50,1	0,2	9278	-14	196	74,3	0,1	0,01
2281	11568	9287	50,15	0,3	9269	-23	529	74,8	0,4	0,16
1341	10659	9318	50,15	0,3	9291	-1	1	74,2	0,2	0,04
9420	18733	9313	50,15	0,3	9286	-6	36	74,1	0,3	0,09
3698	13031	9333	50,15	0,3	9306	14	196	74,7	0,3	0,09
3280	12611	9331	50,15	0,3	9304	12	144	74,8	0,4	0,16
6515	14957	9342	50,20	0,4	9315	23	529	74,5	0,1	0,01
7991	17324	9333	50,20	0,4	9297	5	25	74,3	0,1	0,01
420	9754	9334	50,20	0,4	9298	6	36	74,2	0,2	0,04
4250	13581	9331	50,20	0,4	9295	3	9	74,-	0,4	0,16
8560	17889	9329	50,20	0,4	9293	1	1	74,1	0,3	0,09
2818	12153	9335	50,25	0,5	9290	-3	9	74, 2	0,2	0,04
934	10270	9336	50,25	0,5	9291	-2	4	74,3	0,1	0,01
9000	18334	9334	50,25	0,5	9289	-3	9	74,6	0,2	0,04
1706	11030	9324	50,15	0,3	9299	4	16	74,8	0,4	0,16
68	9405	9337	50,20	0,4	9301	9	81	74,5	0,1	0,01
152	9458	9306	50,20	0,4	9270	-22	484	74,4	0	0
5231	14574	9343	50,25	0,5	9288	6	36	74,5	0,1	0,01
3360	12630	9270	50,25	0,5	9225	-57	4489	74,6	0,2	0,04
1881	10753	9272	50,20	0,4	9236	-56	3136	74,4	0	0
9615	18929	9314	50,20	0,4	9278	14	196	74,3	0,1	0,01

$L_i$	$L_f$	$t'$	frac.	frac.	$t$	$\epsilon$	$\epsilon^2$	$T$	$\epsilon_T$	$\epsilon_T^2$
7766	17088	9322	50,20	0,4	9286	-6	36	74,2	0,2	0,04
7766	17057	9291	50,20	0,4	9255	-37	1369	74,6	0,2	0,04
5882	15208	9326	50,20	0,4	9290	-2	4	74,8	0,4	0,16
4011	13353	9342	50,15	0,3	9315	23	529	74,5	0,1	0,01
2125	11423	9298	50,15	0,3	9271	-21	441	74,5	0,1	0,01
274	9612	9338	50,15	0,3	9311	19	361	74,3	0,1	0,01
133	9459	9326	50,10	0,2	9308	16	256	74,2	0,2	0,04
1148	10471	9323	50,10	0,2	9305	13	169	74,-	0,4	0,16
1588	10926	9338	50,10	0,2	9320	28	784	74,3	0,1	0,01
1401	10734	9333	50,10	0,2	9315	23	529	74,5	0,1	0,01
1212	10510	9298	50,-	-	9298	6	36	74,6	0,2	0,04
1027	10287	9260	50,-	-	9260	-32	1024	74,8	0,4	0,16
274	9581	9307	50,10	0,2	9289	-3	36	74,9	0,5	0,25
837	10118	9281	50,10	0,2	9263	-29	841	74,6	0,2	0,04
1772	11049	9277	50,10	0,2	9259	-33	1089	74,5	0,1	0,01
5888	15205	9317	50,10	0,2	9299	7	49	74,5	0,1	0,01
7720	17005	9285	50,-	-	9285	-8	64	74,4	0	0
798	10091	9293	50,-	-	9293	1	1	74,6	0,2	0,04
766	10068	9302	50,-	-	9302	10	100	74,4	0	0
481	9827	9346	50,20	0,4	9310	18	324	74,3	0,1	0,01
1523	10868	9345	50,20	0,4	9309	-17	289	74,6	0,2	0,04
1706	11047	9341	50,15	0,3	9314	22	484	74,7	0,3	0,09
135	9463	9328	50,15	0,3	9301	9	81	74,8	0,4	0,16
1093	10394	9301	50,05	0,1	9292	0	0	74,7	0,3	0,09
7935	17238	9303	50,05	0,1	9294	2	4	74,3	0,1	0,01
8032	17307	9275	50,-	-	9275	-17	289	74,1	0,3	0,09
6023	15303	9280	50,-	-	9280	-12	144	74,-	0,4	0,16
3987	13286	9299	50,-	-	9299	7	49	74,2	0,2	0,04
227	9512	9285	50,-	-	9285	-7	49	74,-	-	-

$$t_m = 9292$$

$$S \sqrt{\frac{24242}{59}} \approx 20$$

$$S\% = \frac{2000}{9292} = 0,20\%$$

$$S_{t\bar{n}} \sqrt{\frac{24242}{3540}} \approx 2,8$$

$$r_{t_m} = 0,6745 \cdot 2,8 = 1,88$$

$$d_p = \frac{981}{N} = 16,35$$

$$e_p = 0,7978 \cdot 20 = 15,956$$

$$\Delta = 0,4 = 2,5\%$$

$$k = \frac{1}{60} = 0,03535 \quad k^2 = 0,001249 \quad k^3 = 0,00004415 \quad k^4 = 0,000001560$$

$$m_1 = \frac{\sum \epsilon_i^p \sqrt{\eta}}{N} = \frac{981}{60} = d_p = 16,35 = \frac{1}{k \sqrt{\eta}} = 15,96$$

$$m_2 = \frac{\sum \epsilon_i^2}{N} = \frac{24242}{60} = 404 = \frac{1}{2 k^2} = 400,3$$

$$m_3 = \frac{\sum \epsilon_i^3}{N} = \frac{894496}{60} = 14908 = \frac{1}{k^3 \sqrt{\eta}} = 12779$$

$$m_4 = \frac{\sum \epsilon_i^4}{N} = \frac{41616446}{60} = 693607 = \frac{3}{4k^4} = 480769$$

$$T_m = 74,4$$



Aire

Fecha 26- 2- 27

Temperatura 80,4° G

N = 60

$L_i$	$L_f$	$t'$	frcc.	$\frac{\Delta}{frcc.}$	$t$	$\epsilon$	$\epsilon^2$	$T$	$\epsilon_T$	$\epsilon_T^2$
9712	19144	9432	50,-	0	9432	15	225	80,5	0,1	0,01
9280	18808	9528	50,20	0,4	9490	43	1849	80,6	0,2	0,04
8940	18427	9487	50,20	0,4	9449	2	4	80,7	0,3	0,09
8589	18079	9490	50,20	0,4	9452	5	25	80,5	0,1	0,01
8764	18305	9541	50,40	0,8	9465	18	324	80,1	0,3	0,09
8405	17943	9538	50,45	0,9	9454	7	49	80,2	0,2	0,04
8083	17633	9550	50,50	1	9455	8	64	80,5	0,1	0,01
7892	17394	9502	50,20	0,4	9464	17	289	80,6	0,2	0,04
7514	17057	9543	50,50	1	9448	1	1	80,3	0,1	0,01
7174	16708	9534	50,50	1	9439	-8	64	80,2	0,2	0,04
6385	15924	9539	50,50	1	9444	-3	9	80,7	0,3	0,09
6044	15607	9563	50,50	1	9463	21	441	80,6	0,2	0,04
5693	15179	9486	50,25	0,5	9436	-11	121	80,5	0,1	0,01
4895	14391	9496	50,30	0,6	9440	-7	49	80,4	0	0
9787	19009	9222	49,-	-2	9406	-39	1521	80,7	0,3	0,09
9101	18413	9312	49,-	-2	9424	-23	529	80,8	0,4	0,16
9703	19059	9356	49,5	-1	9449	2	4	80,3	0,1	0,01
9078	18421	9343	49,5	-1	9435	-12	144	80,1	0,3	0,09
8406	17831	9425	49,7	-0,6	9479	32	1024	80,-	0,4	0,16
7809	17207	9398	49,7	-0,6	9452	5	25	80,4	0	0
7192	16590	9398	49,75	-0,05	9445	-2	4	80,3	0,1	0,01
6590	15977	9387	49,70	-0,6	9442	-5	25	80,2	0,2	0,04
5952	15350	9398	49,70	-0,6	9453	6	36	80,1	0,3	0,09
5348	14697	9349	49,50	-1	9442	-5	25	80,3	0,1	0,01
4659	13999	9340	49,50	-1	9433	-14	196	80,6	0,2	0,04
4042	3364	9322	49,50	-1	9423	-24	576	80,7	0,3	0,09
2639	11947	9308	49,3	-1,4	9438	-9	81	80,3	0,1	0,01
1868	11187	9319	49,15	1,7	9477	30	900	80,5	0,1	0,01
1304	10510	9306	49,25	1,5	9445	2	4	80,6	0,2	0,04
400	9711	9311	49,30	1,4	9441	6	36	80,4	0	0
9893	9205	9312	49,35	1,3	9431	16	256	80,7	0,3	0,09
9200	18445	9245	48,85	2,3	9456	89	81	80,3	0,1	0,01

$L_i$	$L_f$	$t'$	freq.	$\frac{A_i}{\text{freq.}}$	$t$	$\xi$	$\xi^2$	$\tau$	$\xi \tau$	$\frac{\xi^2 \tau}{T}$
8355	7667	9213	49,35	1,3	9433	14	196	80,8	0,4	0,16
7784	17050	9366	49,35	1,3	9485	38	1444	80,2	0,2	0,04
3659	13085	9426	50,-	-	9426	21	441	80,1	0,3	0,09
2312	11767	9455	50,-	-	9455	8	64	80,6	0,2	0,04
1856	11319	9463	50,-	-	9463	16	256	80,5	0,1	0,01
1357	10798	9441	50,-	-	9441	6	36	80,4	0	0
167	9622	9455	50,-	-	9455	8	64	80,6	0,2	0,04
6460	16028	9568	50,60	1,2	9454	7	49	80,7	0,3	0,09
5128	14664	9536	50,50	1	9441	6	36	80,3	0,1	0,01
4751	14301	9550	50,50	1	9456	9	81	80,5	0,1	0,01
4368	13925	9557	50,50	1	9462	15	225	80,15	0,1	0,01
3907	13460	9553	50,60	1,2	9439	8	64	80,2	0,2	0,04
3589	13108	9519	50,50	1	9424	23	529	80,8	0,4	0,16
3240	12734	9494	50,50	1	9400	47	2209	80,6	0,2	0,04
2921	12455	9534	50,50	1	9439	8	64	80,4	0	0
2528	12054	9526	50,50	1	9431	16	256	80,3	0,1	0,01
2132	11645	9513	50,25	0,5	9466	19	361	80,6	0,2	0,04
1712	11192	9480	50,20	0,4	9463	16	256	80,9	0,5	0,25
1296	10708	9412	50,-	-	9412	32	1024	80,1	0,3	0,09
5258	14781	9523	50,40	0,8	9447	0	0	80,-	0,4	0,16
4965	14458	9493	50,40	0,8	9417	30	900	80,7	0,2	0,04
4649	14179	9528	50,40	0,8	9451	4	16	80,6	0,2	0,04
4363	13856	9493	50,35	0,7	9426	21	441	80,2	0,2	0,04
4064	13560	9496	50,30	0,6	9439	8	64	80,3	0,1	0,01
3749	13262	9513	50,25	0,5	9466	19	361	80,7	0,3	0,09
3035	12500	9465	50,20	0,4	9427	20	400	80,5	0,1	0,01
2683	12130	9447	50,10	0,2	9428	19	361	80,4	0	0
2307	11754	9447	50,15	0,3	9419	28	784	80,2	0,2	0,04

$$t_m = 9447$$

$$S = \sqrt{388} = 18,5$$

$$S\% = 0,26$$

$$s_{t_m} = \sqrt{\frac{19930}{3540}} \cdot \sqrt{5,62} \approx 2,4$$

$$r_{t_m} = 0,6745 \cdot 2,4 = 1,618$$

$$k = \frac{1}{\sqrt{\pi}} = 0,038 - k^2 = 0,00144 - k^3 = 0,0000547 - k^4 = 0,000002078$$

$$m_1 = \frac{\sum \epsilon_1}{N} = d_p = 14,55 = \frac{1}{k \sqrt{\pi}} = 14,92$$

$$m_2 = \frac{\sum \epsilon_2}{N} = \frac{19930}{60} = 332 = \frac{1}{2 k^2} = 347$$

$$m_3 = \frac{\sum \epsilon_3}{60} = \frac{5838830}{60} = 97314 = \frac{1}{k^3 \sqrt{\pi}} = 103142$$

$$m_4 = \frac{\sum \epsilon_4}{N} = \frac{198080390}{60} = 3301339 = \frac{3}{4 k^4} = 3\ 609239$$

$$T_m = 80,4^{\circ}$$

Tiempos de escurrimiento de:

Aire

Fecha 22- 2- 57

Temperatura 89,8

N = 60

$L_i$	$L_f$	$t'$	fr. c.	fr. c. %	t	$C$	$C^2$	T	$C_T$	$C_T^2$
153	9880	9727	50,40	0,8	9650	12	144	89,9	0,1	0,01
9862	19561	9699	50,40	0,8	9627	11	121	89,8	0	0
9585	19295	9710	50,45	0,9	9625	13	169	89,8	0	0
9297	19024	9727	50,40	0,8	9650	12	144	89,7	0,1	0,01
9006	18727	9721	50,40	0,8	9644	6	36	89,5	0,3	0,09
8710	18409	9699	50,35	0,7	9627	11	121	89,4	0,4	0,16
8423	18148	9725	50,40	0,8	9648	9	81	89,6	0,2	0,04
8132	17853	9721	50,40	0,8	9644	6	36	89,7	0,1	0,01
7838	17568	9730	50,40	0,8	9653	15	225	89,6	0,2	0,04
7551	17273	9722	50,50	1	9626	12	144	89,8	0	0
7257	16995	9738	50,50	1	9642	4	16	89,7	0,1	0,01
7077	16810	9733	50,50	1	9637	1	1	89,8	0	0
7053	16717	9664	50,25	0,5	9619	369	361	89,8	0	0
6653	16322	9669	50,30	0,6	9615	23	529	89,9	0,1	0,01
6329	16002	9673	50,30	0,6	9619	69	361	89,9	0,1	0,01
6031	15799	9710	50,30	0,6	9661	23	529	89,9	0,1	0,01
6784	16490	9706	50,30	0,6	9649	11	12	89,9	0,1	0,01
5469	15193	9664	50,25	0,5	9619	19	361	90,-	0,2	0,04
5172	14864	9662	50,25	0,5	9644	5	25	90,-	0,2	0,04
4853	14555	9702	50,25	0,5	9654	16	256	90,-	0,2	0,04
4540	14247	9707	50,35	0,7	7640	2	4	90,-	0,2	0,04
3450	13201	9751	50,50	1	9655	17	289	90,2	0,4	0,16
3200	12966	9766	50,60	1,20	9650	12	144	90,2	0,4	0,16
3047	12753	9711	50,50	1	9614	24	576	90,-	0,2	0,04
2704	12437	9733	50,50	1	9637	1	1	90,-	0,2	0,04
2421	12149	9728	50,50	1	9632	6	36	89,9	0,1	0,01
2131	11382	9751	50,50	1	9655	17	289	89,8	0	0
1869	11615	9746	50,50	1	9650	12	144	89,9	0,1	0,01
1599	11338	9739	50,50	1	9643	5	25	89,8	0	0
1321	11069	9748	50,50	1	9652	14	196	89,7	0,1	0,01
1055	10786	9731	50,45	0,9	9645	7	49	89,6	0,2	0,04
774	10497	9723	50,45	0,9	9637	-2	4	89,8	0	0

$L_i$	$L_f$	$t'$	freq.	freq.	$t$	$\epsilon$	$\epsilon^2$	$T$	$\epsilon_T$	$\epsilon_T^2$
484	10209	9725	50,40	0,8	9648	10	100	89,7	0,1	0,01
297	10020	9723	50,40	0,8	9648	10	100	89,9	0,1	0,01
6433	16096	9663	50,35	0,7	9600	-38	1444	89,5	0,3	0,09
6078	15727	9648	50,20	0,4	9618	-25	625	89,4	0,4	0,16
5810	15570	9760	50,50	1	9664	26	676	89,7	0,1	0,01
5556	15266	9710	50,50	1	9613	-25	625	89,9	0,1	0,01
5416	15072	9656	50,-	0	9656	18	324	90,1	0,3	0,09
5058	14785	9727	50,40	0,8	9650	12	144	90,2	0,4	0,16
4765	14458	9603	50,40	0,8	9617	-21	441	90,-	0,2	0,04
4449	14177	9728	50,40	0,8	9651	13	169	90,2	0,4	0,16
4183	13876	9693	50,35	0,7	9626	-12	144	90,-	0,2	0,04
3864	13560	9696	50,30	0,6	9639	1	1	89,9	0,1	0,01
3549	13232	9683	50,25	0,5	9639	-2	4	89,8	0	0
2835	12500	9665	50,20	0,4	9627	-11	121	89,7	0,1	0,01
2483	12123	9640	50,15	0,2	9622	-16	256	89,3	0,5	0,25
2107	11754	9647	50,15	0,3	9619	-19	361	89,6	0,2	0,04
1741	11408	9667	50,10	0,2	9648	10	100	89,7	0,1	0,01
1391	11029	9638	50,15	0,3	9611	-27	729	89,8	0	0
1087	10760	9673	50,15	0,3	9645	7	49	89,9	0,1	0,01
751	10387	9636	50,05	0,1	9627	-11	121	89,7	0,1	0,01
406	10052	9646	50,-	-	9646	8	64	89,6	0,2	0,04
38	9668	9630	50,-	-	9630	-8	64	89,5	0,2	0,04
9697	19330	9633	49,95	0,1	9645	7	49	89,9	0,1	0,01
9316	18934	9618	49,90	0,2	9637	-1	1	90,-	0,2	0,04
9015	18645	9630	49,95	0,1	9639	1	1	90,-	0,2	0,04
8528	18160	9636	49,95	0,1	9645	7	49	90,2	0,4	0,16
8245	17887	9642	49,95	0,1	9651	3	9	90,2	0,4	0,16
7768	17435	9667	50,-	-	9667	29	841	89,8	-	-

$$t_m = 9638$$

$$s = \sqrt{\frac{12498}{59}} \approx 15$$

$$s \% = \frac{1500}{9638} = 0,16 \%$$

$$d_p = 12,23$$

$$p = 0,7978 \cdot 15 = 11,9$$

$$\Delta = 0,33 = 2,7\%$$

$$s_{t_m} = \frac{12498}{3540} = 1,9$$

$$r_{t_m} = 0,6745 \cdot 1,9 = 1,2815$$

$$k = \frac{1}{\xi_p \sqrt{\pi}} = 0,047$$

$$k^2 = 0,002209 \quad k^3 = 0,000103823 \quad k^4 = 0,000004878$$

$$m_1 = \frac{\sum \xi_i}{N} = d_p = 12,23 = \frac{1}{k \sqrt{\pi}} = 12,00$$

$$m_2 = \frac{\sum \xi_i^2}{N} = \frac{12498}{60} = 208 = \frac{1}{2 k^2} = 226$$

$$m_3 = \frac{\sum \xi_i^3}{N} = \frac{282801}{60} = 4714 = \frac{1}{k^3 \sqrt{\pi}} = 5435$$

$$m_4 = \frac{\sum \xi_i^4}{N} = \frac{6996862}{60} = 116613 = \frac{3}{4 k^4} = 153767$$

$$T = 89,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tiempos de escurrimiento de

Vapor D<sub>2</sub>O

Fecha 27- 3- 57

Temperatura 74,4° G

N = 60

L <sub>i</sub>	L <sub>f</sub>	t'	frec.	frec.	t	ε	ε <sup>2</sup>	T	ε <sub>T</sub>	ε <sub>T</sub> <sup>2</sup>
540	5985	5445	48,7	2,6	5575	44	1936	74,5	0,1	0,01
6820	12226	5406	48,55	2,9	5580	49	2401	74,4	0	0
9378	14770	5392	48,7	2,6	5554	23	529	74,6	0,2	0,04
6374	11781	5407	48,65	2,7	5569	38	1444	74,7	0,3	0,09
3267	8715	5448	48,70	2,6	5578	47	2209	74,2	0,2	0,04
183	5628	5445	48,75	2,5	5570	39	1521	74,8	0,4	0,16
7713	13132	5419	48,65	2,7	5581	50	2500	74,1	0,3	0,09
6494	11883	5389	48,60	2,8	5529	2	4	74,7	0,3	0,09
6384	11725	5341	48,55	2,9	5515	-16	256	74,2	0,2	0,04
763	6139	5376	48,55	2,8	5516	-15	225	74,3	0,1	0,01
3520	8872	5352	48,55	2,9	5522	-9	81	74,5	0,1	0,01
6965	12538	5543	50,25	0,5	5518	-13	169	74,6	0,2	0,04
3258	8823	5565	50,25	0,5	5535	4	16	74,2	0,2	0,04
9516	15075	5559	50,30	0,6	5529	-2	4	74,8	0,4	0,16
4536	10085	5549	50,25	0,5	5524	-7	49	74,-	0	0
810	6347	5537	50,25	0,5	5512	-19	361	74,5	0,1	0,01
7074	12624	5550	50,25	0,5	5520	-11	121	74,3	0,1	0,01
2090	7626	5536	50,15	0,3	5518	-13	169	74,6	0,2	0,04
4614	10155	5541	50,10	0,2	5529	-2	4	74,5	0,1	0,01
876	6408	5532	50,10	0,2	5520	-11	121	74,3	0,1	0,01
7151	12689	5538	50,05	0,1	5532	1	1	74,2	0,2	0,04
3412	8941	5929	50,-	-	5529	-2	4	74,7	0,3	0,09
9681	15218	5539	50,10	0,2	5527	-4	16	74,7	0,2	0,04
6978	12508	5530	50,05	0,1	5524	-7	49	74,3	0,1	0,01
1510	7112	5602	50,50	1	5547	16	256	74,5	0,1	0,01
7803	13382	5579	50,50	1	5524	-7	49	74,8	0,4	0,16
4067	9664	5597	50,50	1	5542	11	121	74,1	0,3	0,09
5554	11137	5583	50,50	1	5528	-3	9	74,3	0,1	0,01
3178	8733	5555	50,40	0,8	5515	-16	256	74,5	0,1	0,01
4479	10012	5533	50,25	0,5	5508	-23	529	74,7	0,3	0,09
737	6274	5537	50,30	0,6	5507	-24	576	74,5	0,1	0,01
6504	12030	5526	50,15	0,3	5511	20	400	74,3	0,4	0,16
2707	8242	5541	50,10	0,2	5531	0	0	74,3	0,2	0,04

$L_i$	$L_f$	$t'$	freq.	$\Delta$ freq.	$t$	$\epsilon$	$\epsilon^2$	$T$	$\frac{\epsilon}{T}$	$\frac{\epsilon^2}{T}$
2707	8248	5541	50,10	0,2	5531	0	0	74,2	0,2	0,04
8937	11479	5542	50,10	0,2	5532	1	1	74,4	0	0
1443	7020	5577	50,50	1	5522	9	81	74,5	0,1	0,01
257	5798	5541	50,20	0,4	5521	-10	100	74,7	0,3	0,09
6506	12056	5550	50,15	0,3	5535	4	16	74,6	0,2	0,04
2760	8318	5558	50,10	0,2	5548	17	289	74,4	0	0
9025	14554	5529	50,10	0,2	5519	-12	144	74,3	0,1	0,01
5259	10809	5550	50,10	0,2	5540	9	81	74,5	0,1	0,01
1503	7057	5554	50,10	0,2	5544	13	169	74,6	0,2	0,04
7759	13309	5550	50,10	0,2	5540	9	81	74,7	0,3	0,09
4009	9546	5537	50,20	0,5	5517	14	196	74,8	0,4	0,16
246	5788	5542	50,20	0,4	5522	9	81	74,3	0,1	0,01
2739	8312	5573	50,40	0,8	5533	2	4	74,1	0,3	0,09
5172	10738	5566	50,50	1	5511	220	400	74,2	0,2	0,04
7717	13289	5572	50,50	1	5517	-14	196	74,3	0,1	0,01
2013	7580	5567	50,30	0,6	5537	6	36	74,4	0	0
8268	13807	5539	50,15	0,3	5524	-7	49	74,3	0,1	0,01
4491	10030	5539	50,-	-	5539	8	64	74,5	0,1	0,01
718	6234	5516	50,-	-	5516	-15	225	74,6	0,2	0,04
6928	12441	5513	50,-	-	5513	-18	324	74,4	0	0
3134	8656	5522	50,-	-	5522	-9	81	74,3	0,1	0,01
9344	14900	5556	50,10	0,2	5546	15	225	74,6	0,2	0,04
5591	11138	5547	50,15	0,3	5532	1	1	74,7	0,3	0,09
1823	7381	5558	50,15	0,3	5543	2	4	74,8	0,4	0,16
8071	13619	5548	50,15	0,3	5533	2	4	74,4	0	0
4308	9822	5514	50,-	-	5514	-17	289	74,3	0,1	0,01
517	6038	5521	50,-	-	5521	-10	100	74,2	0,2	0,09



$$t_m = 5531$$

$$S = \sqrt{\frac{19660}{59}} = 18$$

$$S\% = 0,32$$

$$d_p = 13,63$$

$$\epsilon_p = 0,7978 \cdot 18 = 14,36$$

$$\Delta = 0,73 = 5\%$$

$$S_{t_m} = \sqrt{\frac{19660}{3540}} \approx 2,3$$

$$r_{t_m} = 0,6745 \cdot 2,3 = 1,55$$

$$k = \frac{1}{\sum PV \pi} = 0,0393$$

$$k^2 = 0,001544 \quad k^3 = 0,00006068 \quad k^4 = 0,000002384$$

$$m_1 = \frac{\sum_{i=1}^1 \frac{i}{N}}{k} = \frac{d_p}{k} = \frac{13,63}{0,0393} = 14,36$$

$$m_2 = \frac{\sum_{i=1}^2 \frac{i^2}{60}}{2k^2} = \frac{327}{2 \cdot 0,001544} = 329$$

$$m_3 = \frac{\sum_{i=1}^3 \frac{i^3}{60}}{k^3 \sqrt{\pi}} = \frac{11273}{0,00006068 \cdot \sqrt{\pi}} = 10755$$

$$m_4 = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{i^4}{60}}{4k^4} = \frac{27589456}{4 \cdot 0,000002384} = 314597$$

$$T_m = 74,4^\circ\text{C}$$

Tiempos de escurrimiento de:

Vapor de D<sub>2</sub>O

Fecha 17- 3- 57

Temperatura 80,4

N = 60

L <sub>i</sub>	L <sub>f</sub>	t'	frec.	frec.	t	f	S	T	$\frac{S}{T}$	$\frac{S^2}{T}$
9812	5713	5906	50,45	0,9	5841	15	225	80,-	0,4	0,16
2113	7986	5873	50,30	0,6	5837	29	841	80,4	0	0
8368	4210	5842	50,-	-	5842	24	576	80,6	0,2	0,04
4591	10430	5839	50,-	-	5839	25	625	80,6	0,2	0,04
818	6634	5816	50,-	-	5816	50	2500	80,3	0,1	0,01
6928	12841	5913	50,25	0,5	5883	17	289	80,6	0,2	0,04
3134	9056	5922	50,30	0,6	5886	20	400	80,7	0,3	0,09
9544	5402	5858	50,10	0,2	5846	20	400	80,2	0,2	0,04
5591	1541	5850	50,-	-	5850	16	256	80,4	0	0
1823	7684	5861	50,-	-	5861	5	25	80,-	0,4	0,16
8171	4022	5851	50,-	-	5851	15	225	80,1	0,3	0,09
4308	10122	5814	50,-	-	5814	52	2704	80,7	0,3	0,09
517	6438	5921	50,50	1	5862	4	16	80,8	0,4	0,16
6727	2653	5926	50,50	1	5867	1	1	80,6	0,2	0,04
2951	8860	5909	50,30	0,6	5872	7	49	80,5	0,1	0,01
9156	15052	5896	50,-	-	5896	30	900	80,3	0,1	0,01
5340	11274	5934	50,50	1	5875	9	81	80,2	0,2	0,04
1570	7490	5920	50,50	1	5861	5	25	80,4	0	0
7786	3729	5943	50,50	1	5884	18	324	80,5	0,1	0,01
266	6127	5861	50,05	0,1	5855	11	121	80,6	0,2	0,04
6504	2433	5929	50,50	1	5870	4	16	80,8	0,4	0,16
2707	8550	5845	50,-	-	5845	21	441	80,2	0,2	0,04
8937	4781	5844	50,-	-	5845	21	441	80,3	0,1	0,01
5172	11042	5870	50,-	-	5870	4	16	80,1	0,3	0,09
1651	7514	5863	50,-	-	5863	3	9	80,4	0	0
7817	3693	5876	50,10	0,2	5864	2	4	80,5	0,1	0,01
3985	9858	5873	50,15	0,3	5855	11	121	80,3	0,1	0,01
257	6202	5945	50,50	1	5886	20	400	80,-	0,6	0,36
6506	2459	5853	50,-	-	5853	13	169	80,3	0,1	0,01
2860	8720	5860	50,-	-	5842	18	324	80,5	0,1	0,01
9025	4956	5931	50,50	1	5872	6	36	80,7	0,3	0,09
5259	11211	5952	50,75	1,5	5862	4	16	80,4	0	0

$L_i$	$L_f$	$t'$	freq.	freq. %	$t$	$t^2$	$T$	$\frac{C}{T}$	$\frac{C^2}{T^2}$	
1503	7459	5956	50,70	1,4	5872	6	36	80,5	0,1	0,01
7759	13721	5952	50,70	1,4	5868	2	4	80,1	0,3	0,09
4009	9950	5941	50,75	1,5	5851	15	225	80,3	0,1	0,01
246	6198	5946	50,70	1,4	5862	4	16	80,2	0,2	0,04
6575	12462	5887	50,05	0,1	5881	15	225	80,4	0	0
2739	8620	5881	50,40	0,8	5833	33	1089	80,5	0,1	0,01
8996	4942	5946	50,40	0,8	5898	32	1024	80,7	0,3	0,09
5322	11222	5900	50,40	0,8	5852	14	196	80,3	0,1	0,01
1510	7417	5907	50,40	0,8	5859	7	49	80,2	0,2	0,04
7803	13687	5884	50,10	0,2	5872	6	36	80,1	0,3	0,09
4067	9969	5902	50,50	1	5842	24	576	80,1	0,3	0,09
364	6307	5943	50,50	1	5883	17	289	80,-	0,4	0,16
6700	2658	5958	50,50	1	5899	33	1089	80,5	0,1	0,01
2968	8887	5919	50,50	1	5859	7	49	80,4	0	0
9306	5248	5942	50,50	1	5883	17	289	80,6	0,2	0,04
5654	11541	5887	50,50	1	5828	38	1444	80,7	0,3	0,09
1847	7801	5954	50,50	1	5894	28	784	80,6	0,2	0,04
8202	14093	5891	50,50	1	5832	34	1156	80,3	0,1	0,01
4409	10353	5944	50,50	1	5885	19	361	80,4	0,1	0,01
667	6602	5935	50,45	0,9	5881	15	225	80,2	0,2	0,04
6916	12853	5937	50,45	0,9	5883	17	289	80,1	0,3	0,09
3178	9141	5963	50,40	0,8	5915	51	2601	80,6	0,2	0,04
9465	15388	5923	50,35	0,7	5881	15	225	80,4	0	0
5717	11629	5912	50,45	0,9	5864	2	4	80,3	0,1	0,01
1969	7903	5934	50,35	0,7	5892	26	676	80,3	0,2	0,04
8230	4153	5923	50,35	0,7	5881	15	225	80,1	0,3	0,09
4479	10417	5938	50,50	1	5879	13	169	80,2	0,2	0,04
737	6580	5843	50,-	-	5843	23	529	80,5	0,1	0,01

$$t_m = 5866$$

$$S = \sqrt{\frac{26456}{59}} = 21$$

$$S_p = 0,36$$

$$c_p = 17,13$$

$$\Delta = 0,38 = 2,2\%$$

$$S_{t_m} = \frac{26456}{3540} = 7,5$$

$$r_{t_m} = 0,6745 \cdot 2,7 = 1,8$$

$$k = \frac{1}{c_p \sqrt{\pi}} = 0,0336$$

$$k^2 = 0,001128 \quad k^3 = 0,00003790 \quad k^4 = 0,0000012736$$

$$m_1 = \frac{h t}{k} = c_p = 17,13 = \frac{1}{k} = 16,79$$

$$m_2 = \frac{h^2 c^2}{N} = \frac{26456}{60} = 440 = \frac{1}{2 k^2} = 443$$

$$m_3 = \frac{h^3 c^3}{N} = \frac{303370}{60} = 5056,17 = \frac{1}{k^3} = 14887$$

$$m_4 = \frac{h^4 c^4}{N} = \frac{30300300}{60} = 505005 = \frac{3}{4 k^4} = 589043$$

$$T_{11} = 30,4^\circ\text{C}$$

Vapor de D<sub>2</sub>O

Ficha 10-3-57

Temperatura 89,3° G

N = 60

L <sub>i</sub>	L <sub>f</sub>	t'	frec.	% frec.	t	c <sup>2</sup> T	T	c <sub>T</sub>	c <sup>2</sup> T	
2757	9060	6303	50,30	0,6	6267	13	169	89,9	0,1	0,01
8683	4977	6294	50,25	0,5	6264	10	100	89,8	0	0
4660	10956	6296	50,25	0,5	6266	12	144	90,-	0,2	0,04
612	6907	6295	50,25	0,5	6265	11	121	90,1	0,3	0,09
6571	12847	6276	50,20	0,4	6252	2	4	90,2	0,4	0,16
2500	8800	6300	50,25	0,5	6270	16	256	90,-	0,2	0,04
367	14757	6300	50,30	0,6	6264	10	100	89,8	0	0
367	6656	6289	50,50	1	6227	27	729	89,7	0,1	0,01
6333	12634	6301	50,40	0,9	6237	17	289	89,7	0,1	0,01
8261	14559	6297	50,30	0,6	6260	6	36	89,8	0	0
4231	10542	6311	50,35	0,7	6269	15	225	89,7	0,1	0,01
203	6502	6299	50,35	0,7	6257	17	289	89,5	0,3	0,09
6157	12452	6293	50,30	0,6	6257	3	9	89,6	0,2	0,04
2145	8446	6301	50,35	0,7	6259	5	25	89,9	0,1	0,01
8109	14415	6306	50,35	0,7	6264	10	100	89,4	0,4	0,16
4101	10404	6303	50,35	0,7	6261	7	49	89,9	0,1	0,01
93	6399	6306	50,30	0,6	6270	16	256	89,8	0	0
6070	12381	6311	50,35	0,7	6269	15	225	89,7	0,1	0,01
8023	14330	6307	50,30	0,6	6276	22	484	89,8	0	0
4020	10355	6315	50,35	0,7	6273	19	361	89,9	0,1	0,01
2051	8351	6300	50,35	0,7	6263	9	81	89,7	0,1	0,01
5178	12523	6345	49,60	0,8	6297	43	1849	89,8	0	0
1709	8055	6346	50,70	1,4	6262	8	64	89,9	0,1	0,01
3073	9379	6306	50,60	1,2	6232	22	484	90,1	0,3	0,09
2363	8674	6311	50,60	1,2	6236	18	324	90,2	0,4	0,04
357	6654	6297	50,40	0,4	6249	5	25	90,-	0,2	0,04
6089	12407	6318	50,40	0,4	6276	22	484	90,-	0,2	0,04
5037	1329	6292	50,50	1	6230	24	576	89,9	0,1	0,01
12	6329	6317	50,30	0,6	6275	21	441	89,8	0	0
6008	12291	6283	50,30	0,6	6247	7	49	89,9	0,1	0,01
1997	8285	6288	50,29	0,5	6258	4	16	89,7	0,1	0,01
7953	14245	6292	50,25	0,5	6262	8	64	89,6	0,2	0,04

$L_i$	$L_i$	$t'$	freq.	freq.	$t$	$\Sigma$	$\Sigma^2$	$T$	$\Sigma_T$	$\Sigma^2$
5451	11758	6307	50,30	0,6	6270	16	256	89,4	0,4	0,16
2192	8471	6279	50,15	0,3	6261	7	49	89,5	0,3	0,09
9119	15404	6285	50,15	0,3	6272	18	324	89,8	0	0
5744	12002	6258	50,10	0,2	6246	8	64	89,9	0,1	0,01
2438	8679	6241	50,10	0,2	6229	25	625	89,8	0	0
6233	12530	6297	50,-	-	6297	42	1849	89,7	0,1	0,01
3089	9352	6263	50,-	-	6263	9	81	89,8	0	0
9829	16675	6246	50,-	-	6246	8	64	89,6	0,2	0,04
6552	12799	6247	50,-	-	6247	7	49	89,5	0,3	0,09
2	6240	6238	50,-	-	6238	16	256	89,7	0,1	0,01
6725	12981	6258	50,-	-	6258	4	16	89,9	0,1	0,01
3595	9830	6235	50,-	-	6235	19	361	90,-	0,2	0,04
280	6538	6258	50,-	-	6258	4	16	90,2	0,4	0,16
7013	13272	6259	50,-	-	6259	5	25	90,2	0,4	0,16
3752	10014	6262	50,-	-	6262	8	64	90,-	0,2	0,04
602	6348	6246	50,-	-	6246	8	64	90,1	0,3	0,09
2213	8459	6246	50,10	0,2	6234	20	400	90,2	0,4	0,16
6512	12772	6260	50,05	0,1	6254	0	0	89,9	0,1	0,01
4003	10207	6204	49,85	0,3	6222	32	1024	89,8	0	0
2651	8854	6203	50,-	-	6203	51	2601	89,9	0,1	0,01
9270	15537	6247	50,05	0,1	6241	13	169	89,7	0,1	0,01
2654	8914	6260	50,-	0,1	6260	6	36	89,6	0,2	0,04
6404	12645	6241	49,95	0,1	6247	7	49	89,5	0,3	0,09
3185	9398	6213	49,95	0,1	6219	35	1225	89,7	0,1	0,01
790	7054	6264	49,80	0,4	6288	34	1156	89,9	0,1	0,01
7602	13881	6279	50,15	0,3	6261	7	49	89,9	0	0
4820	11070	6250	50,-	-	6250	4	16	89,8	0	0

$$t_m = 6254$$

$$s = \sqrt{\quad} = 18,5$$

$$s\% = 0,34$$

$$d_p = 14,35$$

$$\varepsilon_p = 0,7978 \cdot 18,5 = 14,75$$

$$\Delta = 0,40 = 2,7\%$$

$$s_{t_m} = \sqrt{\frac{20340}{3540}} = 2,4$$

$$r_{t_m} = 0,6745 \cdot 2,4 = 1,62$$

$$k = \frac{1}{\varepsilon_p \sqrt{\eta}} = 0,038$$

$$k^2 = 0,00144 \quad k^3 = 0,0000547 \quad k^4 = 0,00000208$$

$$m_1 = \frac{\sum \varepsilon_i}{N} = d_p = 14,35 = \frac{1}{k \sqrt{\eta}} = 14,84$$

$$m_2 = \frac{\sum \varepsilon_i^2}{N} = \frac{20340}{60} = 339 = \frac{1}{2k^2} = 347$$

$$m_3 = \frac{\sum \varepsilon_i^3}{N} = \frac{6341960}{60} = 105699 = \frac{1}{k^3 \sqrt{\eta}} = 103145$$

$$m_4 = \frac{\sum \varepsilon_i^4}{N} = \frac{221290680}{60} = 3688178 = \frac{3}{4 k^4} = 3605769$$

$$T_{1a} = 89,8^\circ\text{C}$$

Tiempos de escurrimiento de

Vapor de H<sub>2</sub>O

Fecha 14- 3- 57

Temperatura = 74,4° G

N = 60

$L_i$	$L_f$	$t'$	frec.	frec.	$t$	$\epsilon$	$\epsilon^2$	$T$	$\epsilon_T$	$\epsilon_T^2$
3890	9109	5219	50,4	0,8	5179	25	625	74,-	0,4	0,16
2043	7196	5153	50,25	0,5	5123	-26	676	74,3	0,1	0,01
9202	14401	5199	50,20	0,4	5179	25	625	74,7	0,3	0,09
7334	12497	5163	50,20	0,4	5143	-11	121	74,8	0,4	0,16
5450	10595	5145	50,20	0,4	5125	-29	841	74,4	0,	0
3607	8753	5146	50,10	0,2	5136	-18	324	74,-	0,4	0,16
1773	6948	5175	50,10	0,2	5165	11	121	74,1	0,3	0,09
6946	12113	5165	50,10	0,2	5155	1	1	74,-	0,4	0,16
8119	13259	5140	50,-	-	5140	-14	196	74,3	0,1	0,01
6295	11453	5158	50,-	-	5158	4	16	74,5	0,1	0,01
2551	7730	5179	50,-	-	5179	25	625	74,7	0,3	0,09
700	5840	5140	50,-	-	5140	-14	196	74,5	0,1	0,01
8880	14025	5145	50,-	-	5145	-9	81	74,8	0,4	0,16
7007	12144	5137	50,-	-	5137	-17	289	74,7	0,3	0,09
5158	10326	5168	50,-	-	5168	14	196	74,3	0,1	0,01
3308	8502	5194	50,-	-	5194	40	1600	74,-	0,4	0,16
1503	6684	5181	50,05	0,1	5176	22	484	74,1	0,3	0,09
9652	14817	5165	50,10	0,2	5155	1	1	74,2	0,2	0,04
7800	12960	5160	50,10	0,2	5150	-4	16	74,3	0,1	0,01
5908	11061	5153	50,10	0,2	5143	-11	121	74,5	0,1	0,01
4019	9181	5162	50,10	0,2	5152	-2	4	74,4	0,	0
2159	7295	5136	50,-	-	5136	-18	324	74,5	0,1	0,01
349	5486	5138	50,-	-	5138	-16	256	74,-	0,4	0,16
8398	13534	5136	50,-	-	5136	-18	324	74,3	0,1	0,01
6450	11593	5143	50,-	-	5143	-11	121	74,4	0	0
4519	9667	5148	50,-	-	5148	-6	36	74,7	0,3	0,09
2717	7857	5150	50,-	-	5150		16	74,8	0,4	0,16
930	6100	5170	50,1	0,2	5160	6	36	74,5	0,1	0,01
9138	14330	5293	50,1	0,2	5183	29	841	74,3	0,1	0,01
7365	12537	5172	50,1	0,2	5162	8	64	74,4	0	0
5600	10762	5162	50,1	0,2	5152	-2	4	74,3	0,1	0,01
2332	9000	5168	50,1	0,2	5158	4	16	74,3	0,1	0,01



$L_i$	$L_T$	$t'$	Desc.	$\Delta\%$	$t$	$e$	$e^2$	$T$	$\epsilon_T$	$\epsilon_T^2$
2074	7263	5189	50,1	0,2	5179	25	625	74,6	0,2	0,04
271	5426	5155	50,1	0,2	5145	-9	81	74,7	0,3	0,09
8472	13652	5180	50,1	0,2	5170	16	256	74,8	0,4	0,16
6665	11838	5173	50,1	0,2	5163	9	81	74,9	0,5	0,25
4829	9974	5145	50,1	0,2	5135	-19	361	74,8	0,4	0,16
3280	8430	5150	50,1	0,2	5140	-14	196	74,7	0,3	0,09
1341	6489	5148	50,1	0,2	5138	-16	256	74,5	0,1	0,01
9420	14573	5153	50,1	0,2	5143	-11	121	74,3	0,1	0,01
7516	12675	5159	50,1	0,2	5149	-5	25	74,1	0,3	0,09
5615	10782	5167	50,1	0,2	5157	3	9	74,1	0,3	0,09
3698	8862	5164	50,1	0,2	5154	0	0	74,-	0,4	0,16
1769	6936	5167	50,15	0,3	5152	-2	4	74,2	0,2	0,04
9846	15016	5170	50,15	0,3	5155	1	1	74,4	0	0
7991	13179	5188	50,15	0,3	5173	19	361	74,6	0,2	0,04
6096	11298	5202	50,2	0,4	5182	28	784	74,8	0,4	0,16
4250	9438	5188	50,2	0,4	5168	14	196	74,9	0,5	0,25
2417	7607	5190	50,25	0,5	5165	11	121	74,4	0	0
558	5743	5185	50,25	0,5	5160	6	36	74,2	0,2	0,04
4876	10059	5183	50,25	0,5	5158	4	16	74,3	0,1	0,01
2954	3130	5176	50,20	0,4	5156	2	4	74,5	0,1	0,01
1068	6243	5175	50,20	0,4	5155	1	1	74,6	0,2	0,04
9135	14285	5150	50,-	-	5150	-4	16	74,7	0,3	0,09
7201	12353	5152	50,-	-	5152	-2	4	74,3	0,1	0,01
5370	10518	5148	50,-	-	5148	-6	36	74,5	0,1	0,01
3498	8642	5144	50,-	-	5144	-10	100	74,6	0,2	0,04
1616	6763	5147	50,-	-	5147	-7	49	74,8	0,4	0,16
9751	14901	5150	50,-	-	5150	-4	16	74,8	0,4	0,16
9751	14901	5150	50,-	-	5150	-4	16	74,5	0,1	0,01
7325	12487	5162	50,-	-	5162	8	64	74,-	-	-

$$s_m = 11,68$$

$$s = \sqrt{\frac{13017}{59}} = 11,9$$

$$s_p = \frac{1500}{51,4} = 0,303$$

$$a_p = 11,68$$

$$e_p = 0,7978 \cdot 15 = 11,96$$

$$\Delta 0,28 = 2,33$$

$$s_{tm} = \frac{13017}{3540} = 1,9$$

$$r_{tm} = 0,6745 \cdot 1,9 = 1,2815$$

$$k = \frac{1}{e_p \sqrt{\eta}} = \frac{1}{11,9 \cdot 1,772} = 0,0471$$

$$k^2 = 0,002218 \quad k^3 = 0,0001044 \quad k^4 = 0,000004917$$

$$m_1 = \frac{\sum_{i=1}^1 \epsilon_i}{N} = e_p = 11,68 = 1498$$

$$m_2 = \frac{\sum_{i=1}^2 \epsilon_i^2}{N} = \frac{13017}{60} = 216 = \frac{1}{2 k^2} = 225$$

$$m_3 = \frac{\sum_{i=1}^3 \epsilon_i^3}{N} = \frac{301634}{60} = 5027 = \frac{1}{k^3 \sqrt{\eta}} = 5405$$

$$m_4 = \frac{\sum_{i=1}^4 \epsilon_i^4}{N} = \frac{9722617}{60} = 162043,6 = \frac{3}{4 k^4} = 152532$$

$$T_m = 74,4^\circ\text{C}$$

Vapor de H<sub>2</sub>O

Fecha 12- 3- 57

Temperatura 80,5° G

N = 60

$L_i$	$L_f$	$t'$	freq.	$\Delta$ % freq.	$t$	$\epsilon$	$\epsilon^2$	$T$	$\epsilon_T$	$\epsilon_T^2$
5346	10909	9563	50,4	0,8	5519	30	900	80,5	0	0
1155	6694	5579	50,3	0,6	5549	0	0	80,-	0,5	0,25
6874	12470	5596	50,35	0,7	5554	22	484	80,6	0,1	0,01
2635	8227	5592	50,35	0,7	5554	5	25	80,1	0,4	0,16
8384	3965	5581	50,30	0,6	5548	1	1	80,6	0,1	0,01
4171	9771	5600	50,35	0,7	5561	22	484	80,7	0,2	0,04
9971	5531	5567	50,30	0,6	5534	15	225	80,9	0,4	0,16
5736	11335	5599	50,30	0,6	5566	27	729	80,5	0	0
1533	7115	5577	50,30	0,6	5544	5	25	80,5	0	0
731	12878	5559	50,30	0,6	5526	22	484	81, -	0,5	0,25
3081	8655	5574	60,30	0,6	5541	8	64	80,5	0	0
8855	14422	5567	50,25	0,5	5540	9	81	80,5	0	0
4627	10190	5563	50,30	0,6	5530	19	361	80,4	0,1	0,01
371	5868	5499	50,-	-	5499	50	2500	79,7	0,2	0,04
6080	11630	5550	50,15	0,3	5534	15	225	80,1	0,5	0,16
1839	7392	5553	50,-	-	5553	4	16	80,6	0,1	0,01
7589	13141	5552	50,-	-	5552	3	9	80,9	0,4	0,16
3338	8895	5557	50,-	-	5557	8	64	80,0	0,1	0,01
9043	14583	5540	50,-	-	5540	9	81	80,9	0,4	0,16
4779	10278	5499	49,90	0,2	5511	38	1444	80,7	0,2	0,04
1488	6969	5481	49,80	0,2	5500	49	2401	80,1	0,4	0,16
6172	11700	5528	49,85	0,3	5544	5	25	81,-	0,5	0,25
1922	7464	5542	49,85	0,3	5558	9	81	80,6	0,1	0,01
7664	13174	5510	49,80	0,2	5532	17	289	80,1	0,4	0,16
3371	8889	5518	49,80	0,2	5540	9	81	80,5	0	0
5806	11425	5619	50,50	1	5563	24	484	80,-	0,5	0,25
1652	7258	5600	50,50	1	5544	5	25	80,2	0,3	0,09
7491	3097	5600	50,50	1	5550	1	1	80,5	0	0
3307	8918	5611	50,50	1	5556	49	49	80,7	0,2	0,04
9108	4684	5576	50,35	0,7	5533	121	121	80,3	0,2	0,04
4901	10506	5605	50,40	0,8	5561	12	144	80,5	0	0
714	6317	5603	50,35	0,7	5565	16	256	80,4	0,1	0,01

$L_i$	$L_f$	$t'$	freq.	$\frac{L_i}{L_f}$ freq.	$t$	$\epsilon$	$\epsilon^2$	$T$	$\epsilon_T$	$\epsilon_T^2$
6509	12115	5606	50,35	0,7	5568	19	361	80,3	0,2	0,04
2306	7908	5602	50,30	0,6	5569	20	400	80,5	0	0
8112	13709	5597	50,30	0,6	5567	18	324	80,5	0	0
3887	9455	5568	50,25	0,5	5541	8	64	80,4	0,1	0,01
9677	15271	5594	50,25	0,5	5567	18	324	80,7	0,2	0,04
5477	1063	5586	50,25	0,5	5559	10	100	81,-	0,5	0,10
1265	6840	5575	50,20	0,4	5555	6	36	80,3	0,2	0,04
7031	12586	5555	50,20	0,4	5533	16	256	80,5	0	0
2821	8407	5586	50,15	0,3	5570	21	441	80,7	0,2	0,04
8613	4177	5564	50,20	0,4	5542	7	49	80,4	0,1	0,01
4384	9962	5578	50,25	0,5	5551	2	4	80,5	0	0
174	5778	5603	50,25	0,5	5576	27	729	81,-	0,5	0,25
5980	1554	5574	50,20	0,4	5552	3	9	80,5	0	0
1756	7334	50,20	0,4	5558	5558	9	81	80,1	0,4	0,16
7521	3100	5579	50,15	0,3	5562	13	169	80,7	0,2	0,04
3305	8873	5568	50,10	0,2	5557	8	64	80,6	0,1	0,01
9078	14644	5566	50,10	0,2	5556	7	49	80,1	0,4	0,16
4829	10405	5576	50,10	0,2	5565	16	256	80,3	0,2	0,04
631	6204	5573	50,10	0,2	5562	13	169	80,5	0	0
6417	2005	5588	50,10	0,2	5577	28	784	80,9	0,4	0,16
2207	7774	5567	50,10	0,2	5556	7	49	80,9	0,46	0,16
7976	13552	5577	50,10	0,2	5566	7	49	80,1	0,46	0,16
3743	9305	5562	50,10	0,2	5551	2	4	80,2	0,3	0,09
510	16091	5581	50,15	0,3	5564	15	225	80,5	0	0
5307	10851	5544	50,15	0,3	5528	21	441	80,8	0,3	0,09
6865	2440	5575	50,25	0,5	5548	1	1	80,4	0,1	0,01
2650	8236	5586	50,30	0,6	5556	7	49	80,6	0,1	0,01
1098	6674	5576	50,20	0,4	5556	7	49	80,7	0,2	0,04

$$t_m = 5549$$

$$s = \sqrt{\frac{17698}{59}} = 17$$

$$S\% = 0,34$$

$$\xi_p = 0,7978 \cdot 17 = 13,56$$

$$d_p = 13,56$$

$$\Delta = 0$$

$$S_{t_m} = \sqrt{\frac{17698}{3540}} \approx 2,2$$

$$r_{t_m} = 0,6745 \cdot 2,2 = 1,48$$

$$k = \frac{1}{p\sqrt{\pi}} = 0,0416$$

$$k^2 = 0,00173 \quad k^3 = 0,00007196 \quad k^4 = 0,000002993$$

$$m_1 = \frac{\sum \xi^1}{60} = d_p = 13,56 = \frac{1}{k\sqrt{\pi}} = 13,56$$

$$m_2 = \frac{\sum \xi^2}{60} = \frac{17698}{60} = 295 = \frac{1}{2k^2} = 289$$

$$m_3 = \frac{\sum \xi^3}{60} = \frac{5297510}{60} = 88291 = \frac{1}{k^3\sqrt{\pi}} = 78403$$

$$m_4 = \frac{\sum \xi^4}{60} = \frac{192919080}{60} = 3215318 = \frac{3}{4k^4} = 2505846$$

$$T_m = 80,5^\circ\text{C}$$

Tiempo de escurrimiento del

Vapor de H<sub>2</sub>O

Fecha 25- 3- 57

Temperatura 89,8° G

N = 60

L <sub>i</sub>	L <sub>f</sub>	t'	fracc.	$\frac{\Delta t}{\text{fracc.}}$	t	$\epsilon$	$\epsilon^2$	T	$\epsilon_T$	$\epsilon_T^2$
6276	12150	5874	50,35	0,7	5839	0	0	90,-	0,2	0,04
2410	8228	5818	50,-	-	5818	21	441	89,9	0,2	0,04
735	6578	5843	50,25	0,5	5814	25	625	89,9	0,1	0,01
6857	12715	5858	50,25	0,5	5833	6	36	89,8	0	0
2980	8846	5866	50,20	0,4	5842	3	9	89,7	0,1	0,01
9100	4969	5869	50,20	0,4	5846	7	49	89,6	0,2	0,04
5231	1112	5881	50,20	0,4	5858	19	361	89,7	0,1	0,01
1377	7247	5870	50,10	0,2	5859	20	400	89,6	0,7	0,04
7500	3376	5876	50,15	0,3	5859	20	400	89,5	0,3	0,09
3633	9509	5876	50,15	0,3	5859	20	400	89,4	0,4	0,16
9752	5611	5859	50,10	0,2	5848	9	81	89,3	0,5	0,25
1999	7869	5870	50,10	0,2	5859	20	400	89,5	0,3	0,09
8132	4011	5878	50,10	0,2	5867	28	784	89,6	0,2	0,04
4276	10161	5885	50,10	0,2	5874	35	1225	89,8	0	0
426	6246	5820	50,15	0,3	5805	34	1156	90,-	0,2	0,04
6584	2489	5905	50,10	0,2	5894	55	3025	90,-	0,2	0,04
2747	8598	5851	50,10	0,2	5841	2	4	90,1	0,3	0,09
5071	10879	5808	50,-	-	5808	31	961	90,2	0,4	0,16
1193	7040	5847	50,-	-	5847	8	64	90,-	0,2	0,04
7280	3089	5809	49,90	0,2	5820	19	361	89,9	0,1	0,01
3363	9183	5820	50,-	-	5820	19	361	89,8	0	0
9467	5296	5829	50,-	-	5829	10	100	89,6	0,2	0,04
5573	11398	5825	50,-	-	5825	14	196	89,5	0,3	0,09
1678	7524	5846	50,10	0,2	5836	3	9	89,7	0,1	0,01
7791	3636	5845	50,20	0,4	5822	17	289	89,8	0	0
3818	9780	5852	50,20	0,4	5842	3	9	89,9	0,1	0,01
448	6305	5857	50,15	0,3	5839	0	0	89,9	0,1	0,01
8147	14008	5861	50,10	0,2	5851	12	144	89,9	0,1	0,01
5613	12483	5870	50,20	0,4	5850	11	121	89,8	0	0
2786	8654	5868	50,20	0,4	5849	10	100	89,9	0,1	0,01
5155	11024	5869	50,25	0,5	5839	0	0	89,9	0,1	0,01
1343	7260	5917	50,30	0,6	5820	-19	361	89,8	0	0
7540	3451	5911	50,30	0,6	5830	-9	81	89,7	0,0	0,01

$L_i$	$L_f$	$t'$	fr.c.	$\Delta$ fr.c.	$t$	$\varepsilon$	$\varepsilon^2$	$T$	$\varepsilon_T$	$\varepsilon_T^2$
9965	15851	5886	50,35	0,7	5846	7	49	89,6	0,3	0,09
6153	12048	5895	50,40	0,8	5850	11	121	90,-	0,2	0,04
4852	10721	5871	50,25	0,5	5847	8	64	90,-	0,2	0,04
1106	6963	5857	50,40	0,8	5810	29	841	90,1	0,3	0,09
7411	3261	5850	50,-	-	5850	11	121	90,2	0,4	0,16
135	5991	5856	50,-	-	5856	17	289	89,9	0,1	0,01
6379	12245	5866	50,05	0,1	5856	17	289	89,8	0	0
8451	4239	5788	49,40	1,2	5857	18	324	89,9	0,1	0,01
4463	10211	5748	49,40	1,2	5820	-19	361	89,8	0	0
486	6256	5770	49,40	1,2	5842	3	9	89,7	0,1	0,01
6500	12312	5812	49,50	-1	5870	21	961	89,6	0,2	0,04
7200	13046	5846	50,25	0,5	5816	-23	529	89,8	0	0
3336	9171	5835	50,25	0,5	5805	-34	1156	89,7	0,1	0,01
9485	15324	5839	50,25	0,5	5809	-30	900	89,8	0	0
5624	11460	5836	50,25	0,5	5806	-33	1089	89,8	0	0
1778	7626	5848	50,25	0,5	5818	-21	441	89,9	0,1	0,01
7931	13805	5874	50,50	1	5815	-24	576	89,9	0,1	0,01
746	5643	5897	50,40	0,8	5851	12	144	90,-	0,2	0,04
6872	12752	5880	50,30	0,6	5845	6	36	90,2	0,4	0,16
2977	8846	5869	50,50	1	5810	-29	841	90,2	0,4	0,16
5618	11473	5855	50,10	0,2	5843	4	16	90,-	0,2	0,04
1709	7582	5873	50,20	0,4	5849	10	100	89,7	0,1	0,01
7818	13678	5860	50,-	-	5860	21	441	89,6	0,2	0,04
3895	9785	5890	50,30	0,6	5854	15	225	89,5	0,3	0,09
13	5894	5881	50,30	0,6	5846	7	49	89,8	0	0
6112	12011	5899	50,30	0,6	5863	24	576	89,8	0	0
8342	14190	5848	50,-	-	5848	9	81	89,9	0,1	0,01

$$t_m = 5839$$

$$S = \sqrt{\frac{23182}{59}} \approx 20$$

$$S\% = \frac{2000}{5839} = 0,34\%$$

$$d_p = 1636$$

$$\epsilon_p = 0,7978 \cdot 20 = 15,95$$

$$\Delta = 0,41 = 2,5\%$$

$$S_{t_m} = \sqrt{\frac{23182}{3,40}} = 2,6$$

$$r_{t_m} = 0,6745 \cdot 2,6 = 1,75$$

$$k = \frac{1}{\epsilon_p \sqrt{\pi}} = 0,0354$$

$$k^2 = 0,001253$$

$$k^3 = 0,00004435$$

$$k^4 = 0,00000157$$

$$m_1 = \frac{\sum \epsilon^1}{N} = \frac{d_p}{N} = 16,36 = \frac{1}{k \sqrt{\pi}} = 15,94$$

$$m_2 = \frac{\sum \epsilon^2}{N} = \frac{23182}{60} = 386 = \frac{1}{2 k^2} = 399$$

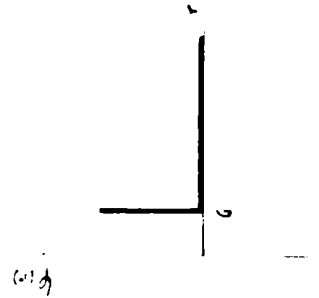
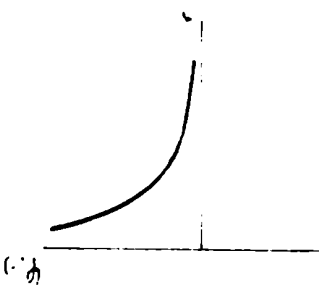
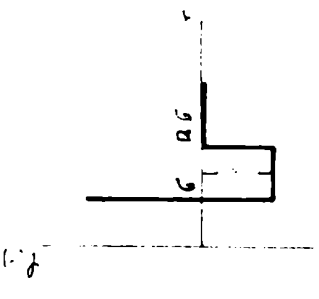
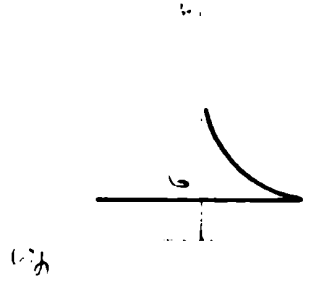
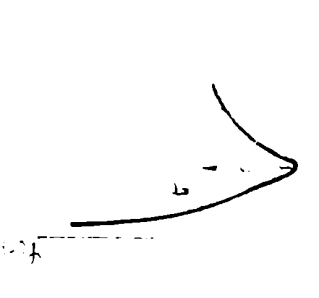
$$m_3 = \frac{\sum \epsilon^3}{N} = \frac{672616}{60} = 11210 = \frac{1}{k^3 \sqrt{\pi}} = 12722$$

$$m = \frac{\sum \epsilon^4}{N} = \frac{23003410}{60} = 383390 = \frac{3}{4 k^4} = 477707$$

$$T_m = 89,8^\circ\text{C}$$





MODELO	Esferas rígidas	Potencia inversa	POZO CUADRADO de Potencial	Sutherland	Lenard - Jones
$\psi(r) = \int_0^r F(r) dr$	$\psi(r) = \infty \quad r < \sigma$ $\psi(r) = 0 \quad r > \sigma$	$\psi(r) = \frac{A}{r^n}$ $\delta = 4 \text{ en moles. maxwellianas}$	$\psi(r) = \infty \quad r < \infty$ $\psi(r) = -\epsilon \quad \sigma < r < R$ $\psi(r) = 0 \quad r > R$	$\psi(r) = \infty \quad r < \infty$ $\psi(r) = -ar^{-n}$	$\psi(r) = \frac{d}{r^3} - \frac{c}{r^{12}}$
Representación de la Función Potencial					

APENDICE III.-. NOMENCLATURA

- $\eta$  = viscosidad  
M = peso molecular  
m = masa molecular  
m = " en general  
 $\tau$  = fuerza  
f = función  
y = coordenada transversal  
k = constante de Boltzman  
 $k_{\eta}$  = constante en la determinación de viscosidades según modelo de L. J.  
k = constante en la función de distribución de errores  
T = temperatura absoluta en  $^{\circ}K$   
 $\Omega_{L}^{(1,2)}$  = integral de colisión  
 $\phi_{12}^h$  = función del ángulo de desviación  
 $\left. \begin{array}{l} \phi_1 \\ \theta_1 \end{array} \right\}$  ángulos de choque en Stockmayer  
l = longitud  
u = exponente entero en modelo de Sutherland  
g = velocidad relativa de las moléculas  
X = ángulo de desviación  
b = distancia característica del choque  
 $\left. \begin{array}{l} h \\ u \end{array} \right\}$  enteros en integrales de colisión  
E.R. = modelo de esfera rígida  
P.I. = modelo de potencia inversa  
S = modelo de Sutherland  
S = constante de Sutherland  
S = error cuadrático medio  
L. J. = modelo de Lennard-Jones

C.C. = modelo de caja cuadrada

St = modelo de Stockmayer

$\sigma$  = diámetro de colisión

$\xi$  = energía máxima de atracción

$r$  = distancia entre centros de moléculas

$r$  = radio del tubo capilar

K = coeficiente de conductividad térmica

D = coeficiente de autodifusión

$\rho$  = densidad

$C_v$  = calor específico a volumen constante

I = momento de inercia

G = cuola

$\omega$  = velocidad angular

$\nu$  = exponente entero en P.I. y L. J.

A = función de los parámetros de choque en los modelos moleculares

$\Omega$  =  $f(m, g, b)$  característica del choque

$i_u$  = función de los parámetros de choque y de  $\nu$  en modelo de Sutherland

$\lambda_{12}$  = energía de atracción a distancia unidad

$\Psi$  = potencial intermolecular

$\chi$  = constante en L.J. y P.I.

$\Xi$  = función de  $\frac{kT}{\xi}$

R = constante universal de gases

$\mu$  = momento dinclar

$\zeta$  = función de  $(\mu, \xi, \nu)$  en modelo de Stockmayer

P = presión

X = coordenada longitudinal

t = tiempo de escurrimiento

B = 2º coeficiente virial

$\gamma$  = factor de corrección en fórmula de comparación de viscosidades

$\ln$  = logaritmo natural

$d$  = diámetro del tubo

$\beta$  = coeficiente de slip

$L$  = camino libre medio

$z$  = coeficiente numérico

$\Psi$  = flujo

$\mathcal{L} = f(r, \beta, L)$  en flujo molecular

$Re$  = Número de Reynold

$\Delta$  = diferencia

$\epsilon_i$  = desviación de cada determinación respecto del promedio

$N$  = número de determinaciones

$S_{tm}$  = error del promedio

$r_{tm}$  = error mas probable del promedio

$e$  = base de logaritmos naturales

*S. J. Weppeler*