

Tesis de Posgrado

Determinación de la característica disponible de una torre de enfriamiento y cálculo de coeficientes de transferencia de calor por convección

Ravera, Alberto Juan

1959

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

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

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

Cita tipo APA:

Ravera, Alberto Juan. (1959). Determinación de la característica disponible de una torre de enfriamiento y cálculo de coeficientes de transferencia de calor por convección. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.

http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_1013_Ravera.pdf

Cita tipo Chicago:

Ravera, Alberto Juan. "Determinación de la característica disponible de una torre de enfriamiento y cálculo de coeficientes de transferencia de calor por convección". Tesis de Doctor. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 1959.

http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_1013_Ravera.pdf

EXACTAS UBA

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales



UBA

Universidad de Buenos Aires

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

Determinación de la característica disponible
de una torre de enfriamiento y cálculo de coeficiente de transferencia de calor.

Tesis presentada por Alberto Juan Ravera
para optar al título de Doctor en Química.

-Resumen-



-- BUENOS AIRES --
1959

Res. de Tesis: 1013

Este trabajo consta de los siguientes puntos:

- 1) Teoría y descripción de la torre.
- 2) Trabajo experimental y mejoras introducidas.
- 3) Apreciación de los resultados y cálculo de coeficientes de transmisión del calor por convección.

1.- Teoría y descripción de la torre

Puede considerarse a F. Merkel como el iniciador de los estudios de los fenómenos que ocurren en una torre de enfriamiento.

Suponiendo una gota de agua rodeada de aire, se producirá una evaporación paulatina. La cantidad de agua evaporada (dL) se podrá expresar como:

$$dL = K (K_s - X) \cdot a \cdot dV$$

donde K ($\frac{\text{kg}}{\text{h} \cdot \text{m}^2}$) es el coeficiente de transmisión de masa; a la superficie por unidad de volumen V de torre y $(K_s - X)$ es el potencial de humedades absolutas. (humedad absoluta del aire que rodea a la gota como si estuviera saturado a la temperatura de ésta menos la humedad absoluta del aire circundante).

En base a esta ecuación y utilizando algunas hipótesis simplificativas Merkel obtiene la ecuación diferencial:

$$L \cdot dtw = K (i'' - i') \cdot a \cdot dV$$

Separando variables de modo que:

$$\frac{dtw}{i'' - i'} = \frac{K \cdot a \cdot dV}{L}$$

e integrando de modo que los factores del 2º miembro sean independientes de V . Lichtenstein obtiene la ecuación:

$$\int_{tw1}^{tw2} \frac{dtw}{i'' - i'} = \frac{K \cdot a \cdot V}{L}$$

El 2º miembro de ésta solo depende de las características constructivas de la torre en ensayo: K depende del material utilizado como

relleno, a de la forma del mismo, V depende de las dimensiones de la torre y L se fija de acuerdo con ciertos límites para cada tipo de torre.

Por esta razón se designa a esta expresión $\frac{K \cdot a \cdot V}{L}$ con el nombre de "característica de torre" o "característica disponible" de la torre.

Con los datos que se obtuvieron en los ensayos, a sea con la temperatura de bulbo húmedo y seco a la salida y entrada de la torre, temperatura del agua en los mismos puntos y caudal de agua y aire puede obtenerse $\frac{K \cdot a \cdot V}{L}$ mediante la expresión:

$$\frac{K \cdot a \cdot V}{L} = \frac{G (X_1 - X_2)}{L \Delta X_m}$$

donde ΔX_m (media logarítmica del potencial de humedades absolutas) es igual a:

$$\Delta X_m = \frac{(X_{i1} - X_1) - (X_{i2} - X_2)}{\ln \frac{X_{i1} - X_1}{X_{i2} - X_2}}$$

$$\text{Log}_e \frac{X_{i1} - X_1}{X_{i2} - X_2}$$

siendo $X_1 - X_2$ las humedades absolutas del aire a la salida y entrada de la torre respectivamente y X_{i1} la humedad absoluta del aire saturado en la superficie de contacto con el agua a la temperatura de ésta a su entrada y X_{i2} lo mismo a la salida.

Los valores de las humedades absolutas fueron determinados por medio del diagrama psicrométrico.

Las relaciones que permiten el cálculo de α figuran en el punto Nº 3.

La torre en ensayo fué construída en chapadur y se utilizó como relleno chapas de fibrocemento con una inclinación de 20° con respecto a la vertical. Estas chapas van colocadas en bandejas y cada una de es-

tas se colocó rotada en 90° con respecto a la anterior.

Tiene una altura útil (sin chimenea) de 6,40 m. y una sección de 1,10 x 1,10 m. Posee un ventilador en la parte superior y en la inferior una batea recolectora de la cual se extrae el agua por medio de una bomba. El caudal de agua se mide mediante un manómetro y el de ~~agua~~^{aire} utilizado un anemómetro colocado en la chimenea.

2.- Trabajo experimental y mejoras introducidas.

La temperatura de bulbo húmedo y bulbo seco del aire a la entrada se midió con un psicrómetro onda cuyos termómetros permitían apreciar la décima de grado.

Temperatura del agua a la salida: se tomó una muestra para cada determinación (aproximadamente 2 litros) en lugar de la termorresistencia que se usó en trabajos anteriores ya que ésta solo daba la temperatura del agua a una altura fija en la batea. La temperatura de la muestra se midió con un termómetro con la misma exactitud que los anteriores.

También se mejoraron las lecturas de la temperatura de entrada del agua y de bulbo húmedo y seco del aire a la salida utilizando un pirómetro más sensible donde se apreciaba la décima de grado.

La temperatura de bulbo húmedo del aire a la salida se medía por medio de una termorresistencia de platino sumergida en un baño de aceite contenido en una vaina de bronce y ésta estaba envuelta en un paño húmedo. De esta manera había dificultad en registrar las escasas diferencias de temperaturas existentes lo que se solucionó envolviendo directamente la termocoupla con el paño y calibrando con el psicrómetro.

Para permitir una lectura cómoda y efectuar un control constante sobre el caudal de agua se bajó la válvula y el manómetro a 1,60 m. de altura (se encontraban a 5,45m.). Esto es muy importante si se tiene en cuenta que hay variaciones imprevistas de dicho caudal debido a que el agua es provista de varias plantas.

La velocidad del aire se midió con un anemómetro de paletas más pequeñas que el utilizado antes y fué calibrado por el Servicio Meteorológico Nacional para su uso en forma horizontal.

La duración de las determinaciones se fijó de acuerdo al tiempo que tardaban en estabilizarse las temperaturas de bulbo húmedo y de bulbo seco del aire a la salida, determinadas por el pirómetro. Se observó que esto ocurría en un tiempo no mayor de 15 minutos por lo que las lecturas se efectuaron entre los 15 y 20 minutos después de variar el caudal de agua.

Todas las determinaciones se efectuaron manteniendo constante el caudal de aire y variando el de agua. Este último se fijó en 5.000, 6.000, 7.000, 8.000 y 9.000 lts/hora.

3.- Apreciación de los resultados y cálculo del coeficiente de transmisión del calor por convección.

Los valores de $G \cdot \Delta i$ (aumento de entalpía del aire) son menores que los obtenidos para $L \cdot \Delta t_w$ (calorías perdidas por el agua). Las diferencias observadas son en la gran mayoría de los casos menores que el 10% y deben atribuirse a la imprecisión con que se midió el caudal de aire.

Característica disponible: $\frac{KaV}{L}$ En las planillas de cálculo puede observarse que hay 20 valores de la característica para cada caudal de agua. De estos 20 valores se obtuvo gráficamente el valor más probable y su error. El valor más probable obtenido concuerda con la teoría de las torres de enfriamiento ya que disminuye con el aumento del caudal de agua (L).

L (caudal)	$\frac{KaV}{L}$
LTS./hora	$\frac{\text{cal}}{\text{C.m}^2\text{h}}$
5.000.....	1,59 ± 0,035
6.000.....	1,44 ± 0,1
7.000.....	1,33 ± 0,1
8.000.....	1,19 ± 0,051
9.000.....	1,13 ± 0,03

α Coeficiente de transmisión del calor por convección

Se calculó en base a un balance de energía entre el calor ganado por el aire y el perdido por el agua ;

$$G \cdot \Delta i = \alpha \cdot \Delta t_s \cdot S + G \cdot (X_2 - X_1) \cdot r$$

siendo:

G: Caudal de aire.

Δi : Diferencia entre la entalpía del aire de salida y la entalpía del aire de entrada.

α .- coeficiente de transmisión del calor por convección.

Δt : diferencia media logarítmica entre el aire y el agua a la entrada y salida de la torre.

S : 81,52 m². : superficie del relleno.

X_1 : humedad absoluta del aire a la entrada.

X_2 : humedad absoluta del aire a la salida.

r : calor de vaporización del agua a 25° C : 582 Cal/Kg.

Solo pudo calcularse α cuando se mantuvo la temperatura de salida del agua mayor que la de entrada del aire ($t_{ws} > t_l$) ya que cuando esto no ocurría se obtenían valores erróneos de Δt .

Con los valores obtenidos se calculó también el valor más probable y se obtuvo:

L (caudal) lts/hora	α	
	h.°C.	m ² .
5.000	28 ±	1,56
6.000.....	29 ±	0,9
7.000	30,3 ±	0,91
8.000	33,7 ±	0,98
9.000	31,2 ±	0,74

Conclusiones: los valores obtenidos para $(\frac{K\alpha V}{L})$ deben considerarse correctos ya que concuerdan con la teoría de las torres de enfriamiento y son aproximados a los obtenidos por otros experimentadores que trabajaron en condiciones semejantes.

El cálculo de α solo puede ser aproximado ya que se efectúa tomando a S como la superficie de contacto aire-agua, sin tener en cuenta la superficie de las gotas lo que se compensa al considerar que toda la superficie del relleno es mojado por el agua.

Los valores de α están dentro del orden de magnitud de los

dados por otros experimentadores y sólo serán válidos cuando se trabaje con una torre semejante y la misma distribución del relleno.

Alberto R. R. '2

**DETERMINACION DE LA CARACTERISTICA DISPONIBLE DE UNA TORRE
DE REFRIGERAMIENTO Y CALCULO DE COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA
DE CALOR POR CONVECCION.**

**Tesis presentada por Alberto Juan Navero
para optar al título de Doctor en Química.**

Alba S.A.

Amco Argentina S.A. Ind. y Com.

Compañía Sudamericana de Bombas S.A.

Eternit Argentina S.A.

Industrias Técnicas Aire

Inte Ferrando y Cía S.A.

Pigni y Cía S.R.L.

Siam El Yalla Ltda.

S.K.F. S.A. Com. e Ind.

Y a Ataner S.A. Mirta por haber permitido la construcción de la misma en su establecimiento; también al personal directivo, técnico y obrero por la desinteresada colaboración prestada al solucionar los problemas que se presentaran.

**Dedico este trabajo al Ingeniero
José María Bados bajo cuya dirección
fue realizado.**

Este trabajo consta de los siguientes puntos:

1.- Teoría y descripción de la torre.

2.- Trabajo experimental y mejoras introducidas.

3.- Apreciación de los resultados y cálculo de coeficientes de transmisión del agua por convección.

es - TEORIA Y DESCRIPCION DE LA TORRE - es

1.- TERNIA Y DESCRIPCION DE LA TORRE.

Puede considerarse a Friedrich Merkel como el iniciador (1) (2) de los estudios, de los fenómenos que ocurren en una torre de enfriamiento.

Suponiendo una gota de agua rodeada de aire, se producirá una evaporación paulatina. La cantidad de agua evaporada podrá expresarse por

$$dM = K (X_g - X) dS$$

donde dS es la superficie de contacto agua-aire y $(X_g - X)$ es el potencial de humedades absolutas (humedad absoluta del aire que rodea a la gota como si estuviera saturado a la temperatura de ésta menos la humedad absoluta del aire circundante) y K $\left(\frac{K_g}{h \rho^2}\right)$ es el coeficiente de transmisión de masa.

Reemplazando la superficie de contacto agua-aire dS por $g dV$ donde g es la superficie por unidad de volumen V de la torre:

$$dM = K (X_g - X) \cdot g \cdot dV$$

En base a esta ecuación y considerando como hipótesis simplificadoras la validez de la relación de Lewis $K_g h$, y para torres de enfriamiento y que la entalpía del aire húmedo es $i = C_{ah} \cdot t - Xr$, Merkel obtiene la ecuación diferencial:

$$L \cdot dt_w = K_c (i'' - i') \cdot g \cdot dV$$

donde $i'' : Gch.t'' + r.Xs$; es la entalpia del aire saturado en contacto con el agua a la temperatura de ésta e $i' : Gch.ta + r$ la entalpia de la masa de aire a su temperatura ta .

Uno de los métodos para vincular los diferentes datos experimentales obtenidos de los ensayos efectuados con torres de enfriamiento es el llamado "método de las características de torres".

Dicho método fué desarrollado por Lichtenstein (3) basándose en la ecuación diferencial de Merkel. En efecto, para integrar dicha ecuación se separan variables de modo que:

$$\frac{dW}{W-1} = K_p \frac{dV}{L}$$

y si se lee integra considerando que los factores del 2º miembro son independientes de V se tiene:

$$\int_{W_1}^{W_2} \frac{dW}{W-1} = \frac{K_p g V}{L}$$

En el primer miembro intervienen la temperatura de entrada y salida del agua y la entalpia del aire en los mismos puntos, mientras el segundo miembro sólo depende de las características constructivas de la torre: K depende del material utilizado como relleno, g de la forma del mismo y V depende de las dimensiones de la torre. En cuanto a L suele fijarse dentro de ciertos límites para cada tipo de torre, siendo los valores

más utilizados los que figuran en (1) y (12).

Es por lo tanto apropiado el nombre de "características de torre" con que se lo designa y cuya determinación debe hacerse hasta ahora empíricamente, por la ausencia de una teoría general que permita dimensionar la torre sin los datos experimentales.

Con los datos que se obtuvieron en los ensayos, e sea con la temperatura de bulbo húmedo y seco a la salida y entrada de la torre, temperatura del agua en los mismos puntos y caudal de agua y aire, puede obtenerse $\frac{K_a V_a}{L}$ mediante la expresión:

(1) (5)

$$\frac{K_a V_a}{L} = \frac{G (X_{12} - X_1)}{L \Delta X_m}$$

derivada del balance de masa de agua, donde ΔX_m (media logarítmica del potencial de humedades absolutas) es igual a:

$$\Delta X_m = \frac{(X_{11} - X_1) - (X_{12} - X_2)}{\frac{X_{11} - X_1}{\log e \frac{X_{11} - X_1}{X_{12} - X_2}} - \frac{X_{12} - X_2}{\log e \frac{X_{12} - X_2}{X_{11} - X_1}}}$$

siendo $X_1 - X_2$ las humedades absolutas del aire a la salida y entrada de la torre respectivamente y X_{11} la humedad absoluta del aire saturado en la superficie de contacto con el agua a la temperatura de ésta en su entrada y X_{12} lo mismo a la salida.

Los valores de las humedades absolutas fueron determinados por medio del diagrama psicrométrico en base a las temperaturas del bulbo húmedo y bulbo seco correspondientes;

En las planillas que acompañan al trabajo figuran:
las lecturas efectuadas en cada determinación y los cálculos si-
guientes hasta llegar al valor de

$$\frac{K_0 V}{L} ; \frac{G (X_1 - X_2)}{L_0 \Delta t_{ms}}$$

En la última columna están los valores de α (coe-
ficiente de transmisión del calor por convección) para cada de-
terminación.

Las relaciones que permiten el cálculo de α figuran
en el punto N° 3.

Una descripción detallada de la misma torre figura
en los trabajos (4) y (5).

Las medidas, disposición del relleno y de los restan-
tes elementos pueden apreciarse en los planos que figuran a con-
tinuación:

- Plano N° 1 Dibujo de la torre.
" 2 Corte de la torre.
" 3 Esquema del manómetro y caja
de diafragma.
" 4 Detalle del ventilador.
" 5 Detalle del motor y su defensa
" 6 Eliminador de gotas.

Tesis de Posgrado

Página no digitalizada

Tipo de material: Lámina

Alto: 50

Ancho: 35

Descripción:

Esta página no pudo ser digitalizada por tener características especiales. La misma puede ser vista en papel concurriendo en persona a la Biblioteca Central Dr. Luis Federico Leloir.

This page could not be scanned because it did not fit in the scanner. You can see a paper copy in person in the Central Library Dr. Luis Federico Leloir.

EXACTAS UBA

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales



UBA

Universidad de Buenos Aires

Tesis de Posgrado

Página no digitalizada

Tipo de material: Lámina

Alto: 51

Ancho: 39

Descripción: Corte de la torre

Esta página no pudo ser digitalizada por tener características especiales. La misma puede ser vista en papel concurriendo en persona a la Biblioteca Central Dr. Luis Federico Leloir.

This page could not be scanned because it did not fit in the scanner. You can see a paper copy in person in the Central Library Dr. Luis Federico Leloir.

EXACTAS UBA

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales



UBA

Universidad de Buenos Aires

Tesis de Posgrado

Página no digitalizada

Tipo de material: Lámina

Alto: 33

Ancho: 47

Descripción:

Esta página no pudo ser digitalizada por tener características especiales. La misma puede ser vista en papel concurriendo en persona a la Biblioteca Central Dr. Luis Federico Leloir.

This page could not be scanned because it did not fit in the scanner. You can see a paper copy in person in the Central Library Dr. Luis Federico Leloir.

EXACTAS UBA

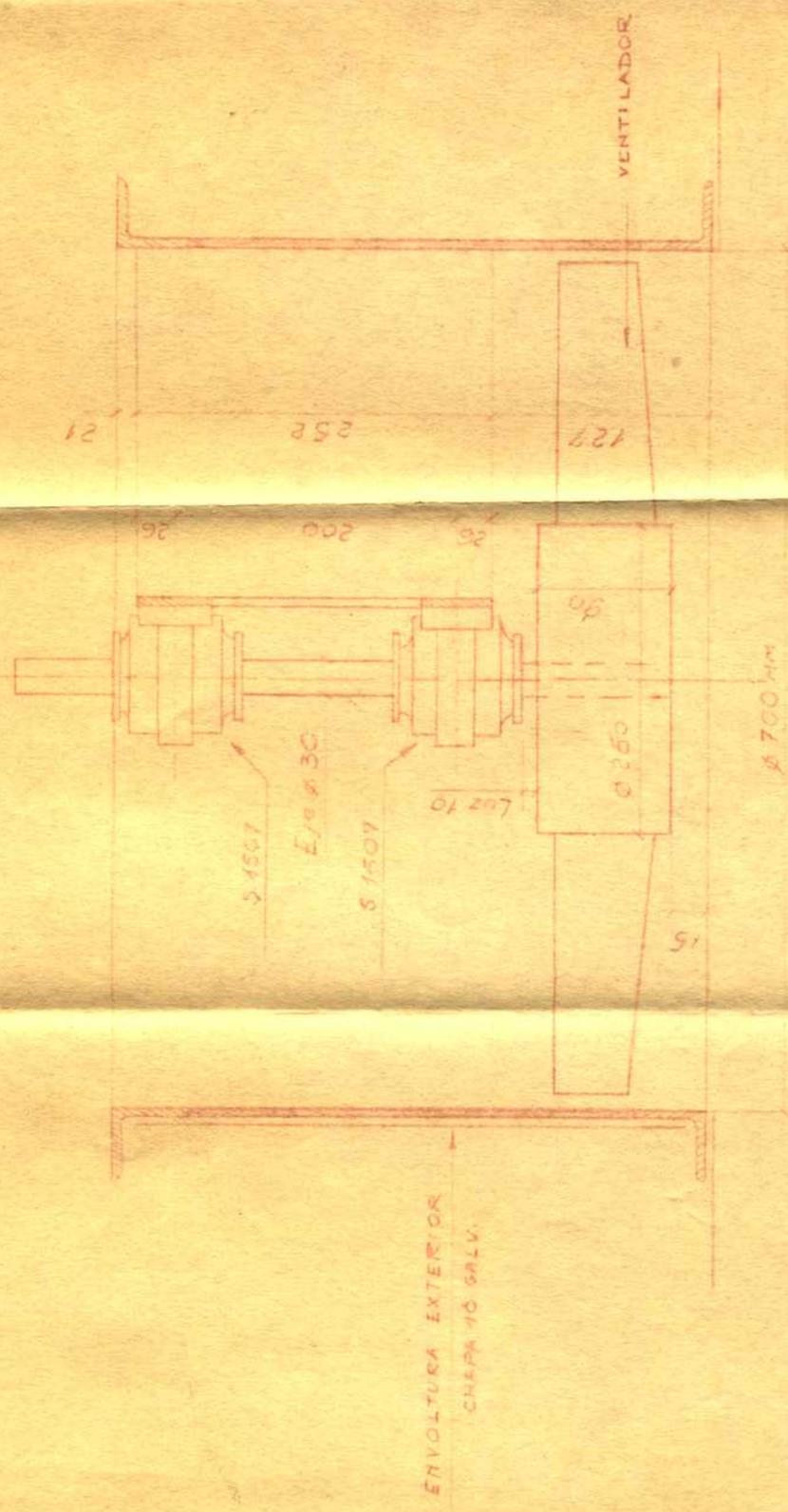
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

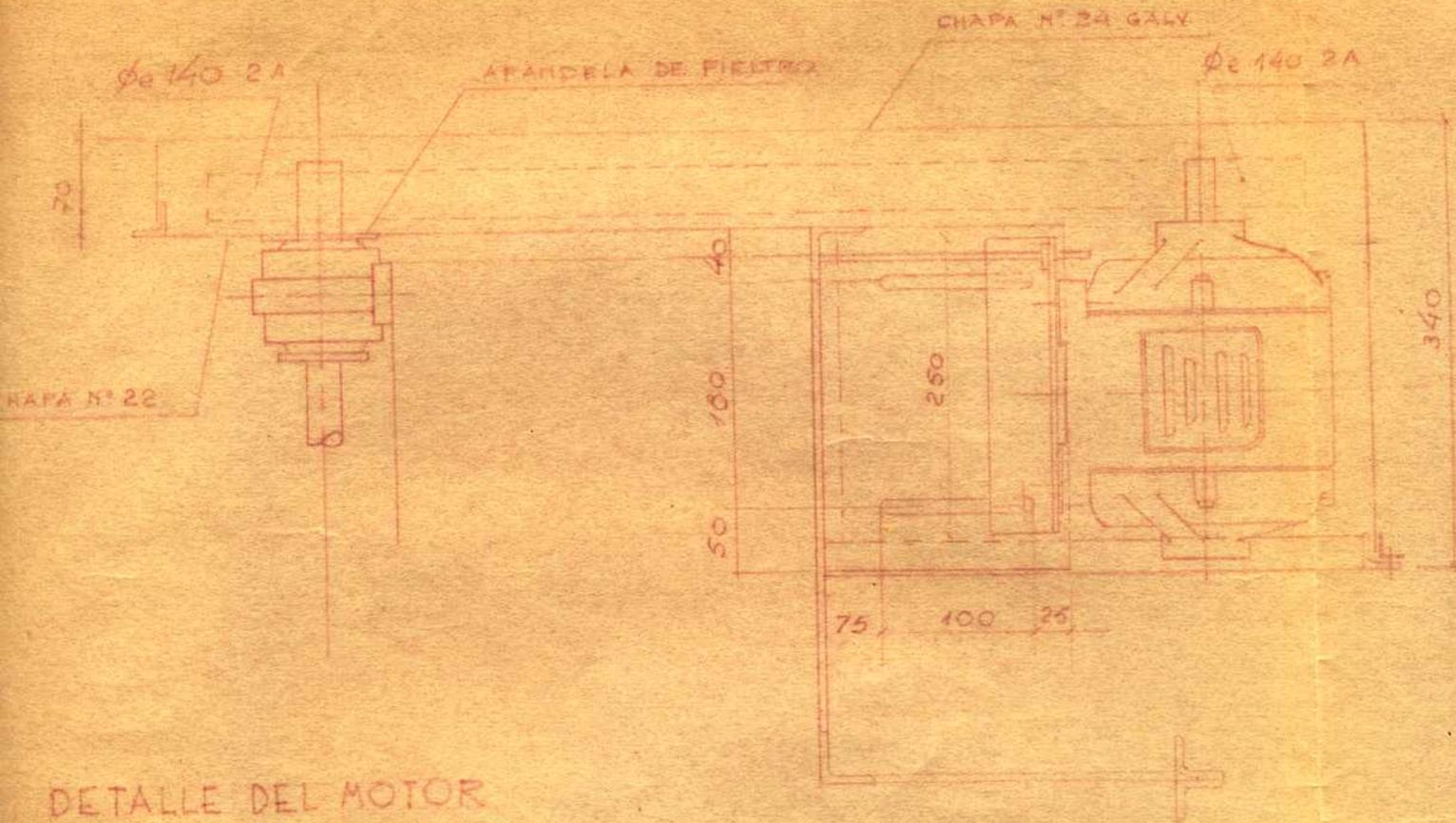


UBA

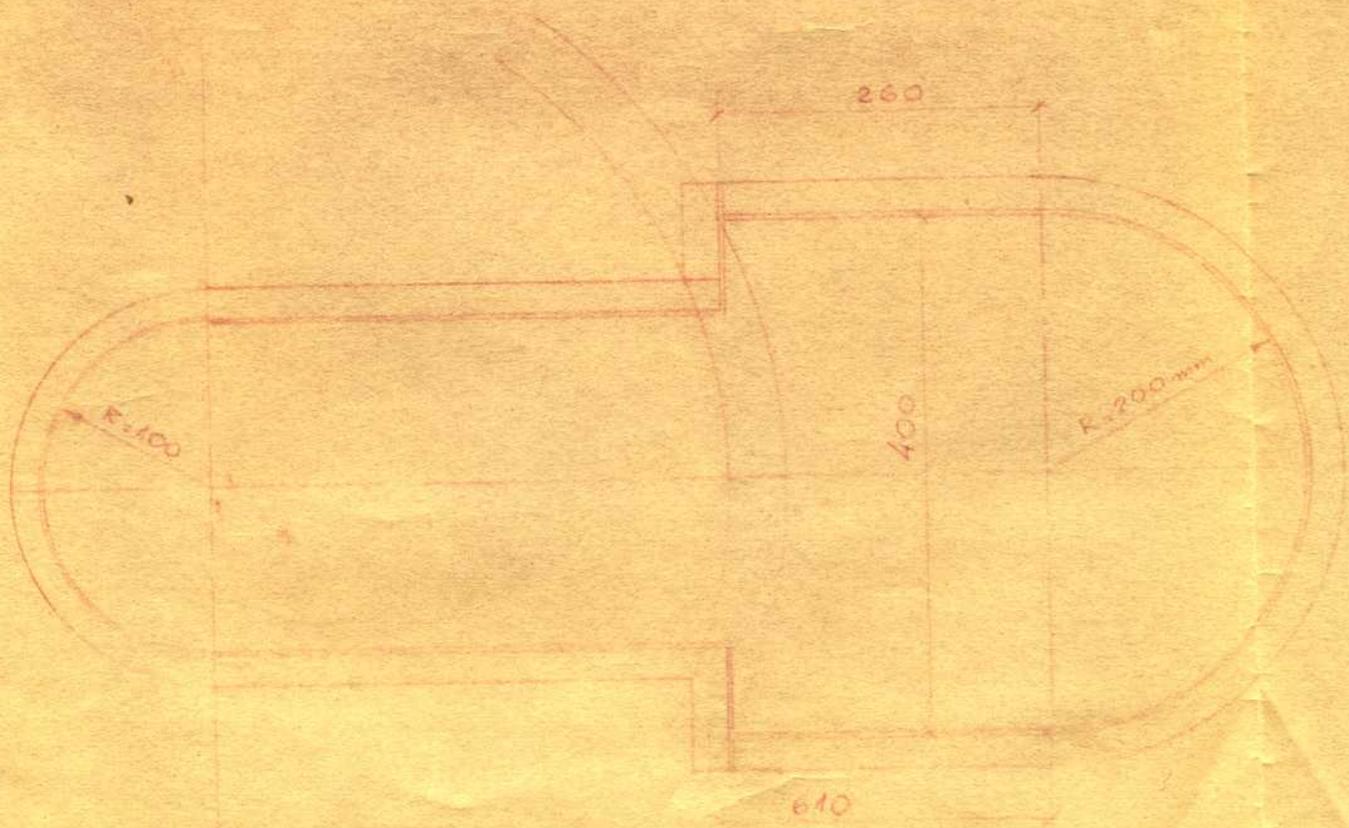
Universidad de Buenos Aires

DETALLE DEL VENTILADOR





DETALLE DEL MOTOR Y EJE DEL VENTILADOR



DETALLE DE DEFENSA

oo - TRABAJO EXPERIMENTAL Y MEJORAS INTRODUCIDAS - oo

TRABAJO EXPERIMENTAL Y MEDIDAS INTRODUCIDAS.

Las determinaciones se efectuaron en la misma torre de enfriamiento utilizada en los trabajos de tesis (4) y (5); instalada en Atener (Munro).

En cada determinación se efectuaron las siguientes lecturas: temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo del aire a la entrada y salida de la torre, temperatura del agua a la entrada y salida, caudal de agua y velocidad del aire a la salida.

La temperatura del bulbo seco y bulbo húmedo del aire a la entrada se midió con un psicrómetro cada cinco minutos; estos permiten apreciar la décima de grado.

Para medir la temperatura del agua a la salida, e incluso en la bates recolectora, se había utilizado anteriormente una termoresistencia con la cual se obtenía una temperatura a una altura dada de la bates; sin saber si dicha temperatura se medía por debajo o por encima de la vaina que contenía la termoresistencia. Este problema se resolvió tomando para cada determinación una muestra de agua de aproximadamente dos litros y cuidando que el recipiente utilizado recogiera agua desde el fondo, midió la temperatura del agua utilizando un termómetro con la misma exactitud que los del psicrómetro.

También se mejoraron las lecturas de la temperatura

de entrada del aire y la de bulbo húmedo y bulbo seco del aire a la salida, utilizando un pirómetro más sensible donde se apreciaba la décima de grado.

En los trabajos anteriormente citados las termopares de platino iban sumergidas en un baño de aceite contenido en una vaina apropiada. Donde se medía la temperatura de bulbo húmedo del aire a la salida de la torre (o sea en la chimenea) la vaina estaba envuelta con un paño húmedo sobre el cual gotecía agua. Haciendo las lecturas de esta manera no se medía bien dicha temperatura debido a la poca diferencia con la bulbo seco y a la inercia térmica del baño de aceite y de la vaina.

Para evitar estos inconvenientes se eliminó el baño de aceite para la termoresistencia de la temperatura de bulbo húmedo, envolviendo la misma directamente con el paño mojado y con el mismo sistema de gotes. La corrección de este método se confirmó haciendo lecturas simultáneas de la temperatura de bulbo húmedo y seco en la chimenea por medio del pirómetro y del psicrómetro. Este último fué colocado en la chimenea abriendo la entrada de hombre de la misma y se le dejó suspendido frente a la pequeña ventana de vidrio para efectuar las lecturas desde afuera.

Nº 2). Siendo necesario, subir escaleras para graduar la válvula. Además, esta disposición trae como consecuencia la imposibilidad de observar cualquier variación importante del caudal de agua, lo que se produce con bastante frecuencia. El manómetro y la llave se colocaron por lo tanto a 1,80 m. de altura, lo que permitió corregir inmediatamente las variaciones en el caudal y resultó más cómodo para el operador.

Finalmente de acuerdo a lo aconsejado en (4) se cambió el manómetro utilizado para medir la velocidad del aire en la chimenea, por otro de paletas de menor diámetro. Este manómetro fue calibrado en el Servicio Meteorológico Nacional, que fue quien lo facilitó, con el fin de hacer una corrección para su uso horizontal, (gráfico Nº 7), que es la forma como se lo colocó en la chimenea. De esta manera se obtenía una velocidad de aire menor que la real debido al resqueamiento del eje.

La duración de las determinaciones se fijó de acuerdo al tiempo que tardaban en estabilizarse las temperaturas de bulbo húmedo y de bulbo seco del aire a la salida, determinadas por el pirómetro. Se observó que esto ocurría en un tiempo no mayor de 15 minutos por lo que las lecturas se efectuaron entre los 15 y 20 minutos después de variar el caudal del agua.

Tampoco conviene comentar este período ya que si se alarga puede cambiar en ese intervalo la temperatura ambiente o también la temperatura del agua de entrada sobre la cual no se puede operar.

DIAGRAMAS de ERRORES

Anemometro Otto Hess N° 25. Contraste 202
Eje en posición horizontal

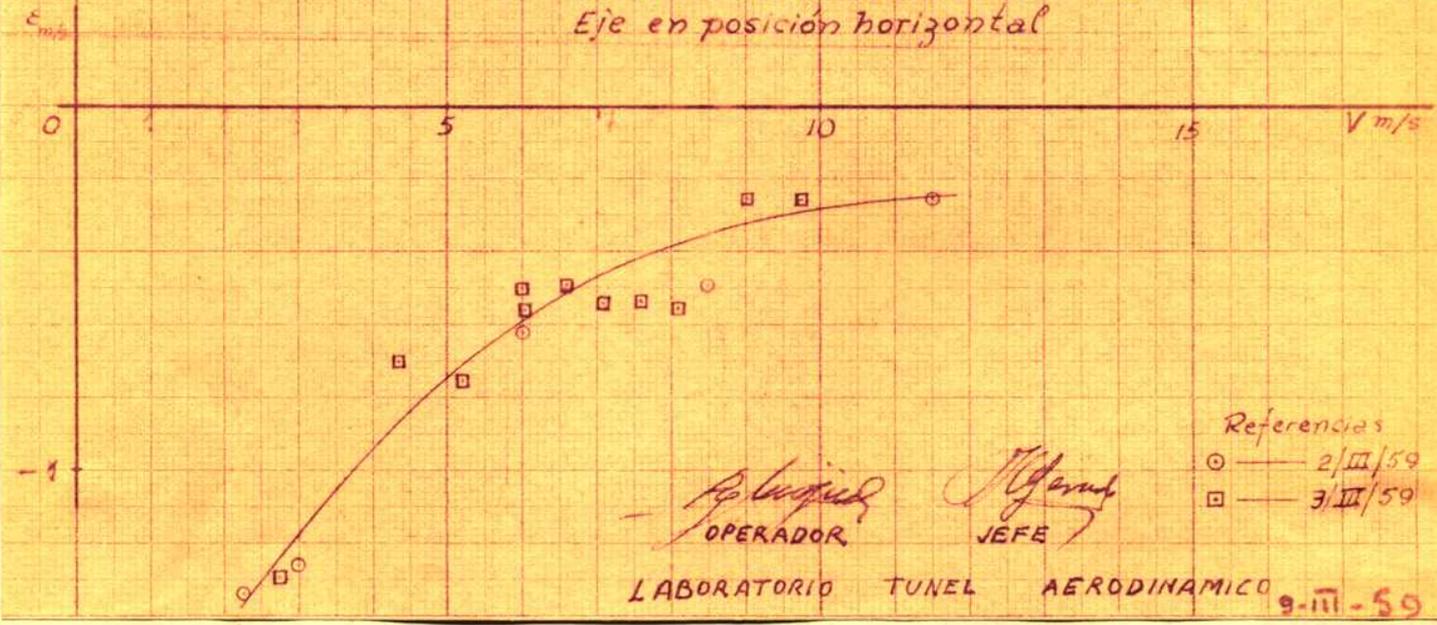


GRAFICO N°7

Ese tiempo además era suficiente como para que la boga de desagote renovara totalmente el contenido de la batea.

Todas las determinaciones se efectuaron manteniendo constante el caudal de aire y variando el del agua. Este último se fijó en 5.000 , 6.000 , 7.000 , 8.000 y 9.000 lts/h.. También se mantuvo constante la disposición de las chapas de fibra-cemento que componían el relleno. Esta disposición fue designada en los trabajos (4) y (5) como "Relleno B".

Consiste en la colocación de las chapas de fibra-cemento con una inclinación de 30° con respecto a la vertical. Estas chapas van colocadas en bandejas y cada una de éstas se colocó rotada en 90° con respecto a la anterior.

17.4	19.2	12.2	5.2	8.7	13.9	6.95	7	52.500	34.750	1.51	-
18.2	20	13.6	4.6	7.2	11.8	5.9	6.4	47.700	27.500	1.73	-
18.3	19.8	14.2	5.2	7.5	11.7	5.8	5.6	41.000	29.000	1.41	-
19.5	21.5	13.7	5.3	9.6	14.8	7.4	7.8	58.500	37.000	1.58	29
19	20.7	13.2	5.8	9.3	15.1	7.55	7.5	56.200	37.750	1.49	23
17	19.3	11	6	10.6	16.6	8.3	8.3	62.200	41.500	1.50	30
20.2	23.5	14.8	5.4	10.2	15.6	8.3	8.7	65.250	41.500	1.57	-
20.3	23.2	14.6	5.7	9.5	14.2	7.1	8.6	63.600	35.500	1.79	-
19.3	22.5	13.7	5.8	10.8	16.6	8.3	8.78	65.000	41.500	1.58	-
19.7	22	13	6.7	9.9	16.6	8.3	9	66.600	41.500	1.60	-
19	22.5	13.3	5.7	10.7	16.4	8.2	9.2	69.000	40.000	1.73	-
22.5	26.7	19	3.5	12.3	15.8	7.9	7.4	54.000	39.500	1.37	32.8
22.5	26.3	18.8	3.6	8.9	12.6	6.3	7.5	54.800	31.500	1.73	30.7
23	26.2	18.8	4.2	8.8	13	6.5	7.4	54.200	32.500	1.67	-
22.2	26.3	19.7	2.5	9.2	12.7	6.35	6.6	48.300	31.700	1.52	-
24.3	27.7	20.3	4	9.2	13.2	6.6	7.4	54.200	33.000	1.65	-
24.4	28	19.4	5	10.2	15.2	7.6	8.6	63.000	38.000	1.66	-
23.5	26.8	19.3	4.2	10.1	14.3	7.15	7.5	55.000	35.750	1.54	23.7
23.5	26.3	18.5	5	9.9	14.9	7.45	7.8	57.100	37.250	1.54	-
13.7	15.4	7.6	6.1	6.8	12.9	6.45	7.8	59.700	32.250	1.85	-

4.8	1.145	7.500	36.000	32.500	3.500	8,9	28,1	17,4
4.2	1.142	7.440	31.300	33.500	2.200	6,5	27,2	18,2
3.6	1.143	7.330	26.100	32.500	6.400	18,8	27	18,3
5.4	1.142	7.500	40.500	39.000	-1.500	3,7	31,1	19,5
5.3	1.143	7.500	39.800	38.000	-1.800	4,7	30	19
6	1.150	7.500	45.000	46.500	1.500	3,2	29,9	17
5.9	1.126	7.400	43.600	42.000	-1.400	2,5	33,7	20,2
5.7	1.130	7.400	42.200	37.000	-5.200	1,2	31,7	20,3
6.2	1.130	7.400	45.800	45.000	800	1,7	33,2	19,3
5.9	1.132	7.400	43.600	39.500	-4.100	9,4	31,9	19,7
6.2	1.143	7.400	45.800	46.000	200	0,43	33,2	19
5.4	1.146	7.500	40.500	45.500	5.000	11	30,7	22,5
5.4	1.118	7.300	39.400	37.500	-1.900	4,8	35,2	22,5
5	1.118	7.330	36.600	35.000	-1.600	4,3	35	23
4.2	1.116	7.300	30.700	39.000	8.300	21	35,5	22,2
4.8	1.116	7.300	35.000	34.500	-500	1,4	36,9	24,3
5.8	1.116	7.300	42.300	38.500	-3.800	9,0	38,2	24,4
5.2	1.118	7.300	37.900	38.500	600	1,5	36,9	23,5
5	1.116	7.300	36.500	37.000	500	1,3	36,2	23,5
5.2	1.165	7.650	39.800	40.000	200	0,43	22,2	13,7

	AIRE ENTRADA		AIRE SALIDA		A G U A		AGU
	$t_{0s}^{\circ c}$	$t_{6h}^{\circ c}$	$t_{6s}^{\circ c}$	$t_{6h}^{\circ c}$	$t_{we}^{\circ c}$	$t_{ws}^{\circ c}$	$\Delta t_w^{\circ c}$
1	25	19.5	25.5	24.5	30.5	22.6	7.9
2	25.4	20.8	25.9	25.2	30	23.3	6.7
3	25.6	21.1	25.9	25	29.8	23.3	6.5
4	23.4	20.3	26.3	26.1	32.3	24.5	7.8
5	22	19.4	25.5	25.5	31.6	24	7.6
6	21.3	17.5	24.5	24.4	31.5	22.2	9.3
7	26.2	21.9	28.2	27.7	33.6	25.1	8.5
8	26.2	21.7	27.9	27.4	32.6	25.2	7.4
9	25.4	20.8	27.8	27.1	33.2	24.2	9
10	25.8	20.4	27.4	26.6	32.7	24.8	7.9
11	25.5	20.5	27.5	27	33.2	24	9.2
12	26.7	24.6	29.8	29.5	36	26.9	9.1
13	26.9	24.6	29.5	29.3	34.4	26.9	7.5
14	27.3	24.8	29.3	29.2	34	27	7
15	29.5	25.8	30	29.5	34.5	26.7	7.8
16	29.5	26.2	30.5	30.3	35.1	28.2	6.9
17	28.8	25.5	30.6	30.5	35.8	28.1	7.7
18	27.4	25.2	30.3	29.8	35.1	27.4	7.7
19	28.8	24.9	29.7	29.5	34.8	27.4	7.4
20	20.2	14	21.6	21	26.7	18.7	8

18,1	20,2	12,8	5,3	4,9	10,2	5,1	7,4	55.500	38.100	1,46	-
19,7	20,2	14	5,7	6,1	11,8	5,9	6,2	46.500	36.000	1,29	-
18,7	20,4	13,1	5,6	6,8	12,4	6,2	7,3	54.800	37200	1,48	-
19,7	22,1	13,8	5,9	9,1	15	7,5	8,3	61.700	45000	1,37	28
18,8	20,8	12,2	6,6	7,4	16	8	8,6	64.500	48.000	1,34	30
17,8	19,8	11,2	6,6	9,4	16	8	8,6	64.500	48.000	1,34	38
20,6	24,5	14,5	6,1	9,5	15,6	7,8	10	74.500	46800	1,59	-
20,4	23,3	14,7	5,7	7,7	13,4	6,7	8,6	63.800	40.200	1,59	-
19,5	23,1	13,1	6,4	11,1	17,5	8,75	10	74.000	52.500	1,41	-
19,4	22,2	12,6	6,8	9	15,8	7,9	9,6	71000	47400	1,50	-
23,5	27	19,1	4,4	9,3	14,7	7,35	7,9	57.600	44100	1,30	31
23,5	26,5	19,4	4,7	8,7	13,4	6,7	7,1	52.540	40.200	1,31	25
23,3	26,5	18,8	4,5	8,5	13	6,5	7,7	57.000	39.000	1,46	30
13,8	15,7	7,5	6,3	6,3	12,6	6,3	8,2	62.700	37800	1,66	-
25,2	28,2	20,5	4,7	7,8	12,5	6,25	7,7	56.000	37.500	1,49	-
24,9	28,1	20,4	4,5	9,7	14,2	7,1	7,7	56.000	42.600	1,32	-
24,3	28	18,9	5,4	8,9	14,3	7,15	9,1	65.100	42900	1,52	-
24	27	18,8	5,2	9,2	14,4	7,2	8,2	59.900	43200	1,39	-
14,2	15,8	7,6	6,6	5,8	18,4	6,2	8,2	62.800	37.200	1,69	-
14,2	16,5	6,8	7,4	4,8	12,2	6,1	9,7	74.000	36.600	2,02	-

L: CAUDAL DE AGUA
6.000 KG/HORA

4.7	1,143	7.500	35.200	34.200	-1000	2.8	25,1	18,1
3.9	1,143	7.500	29.300	33.600	-4300	13	26,3	19,7
4.5	1,143	7.500	33.700	37.800	-4100	10	27,2	18,7
5.9	1,136	7.420	43.800	46.200	-2400	5,2	31,2	19,7
6.3	1,145	7.500	47.200	48.000	800	1,6	30,2	18,8
0.4	1,146	7.500	48.000	49.800	1800	3,6	29,2	17,8
6.9	1,120	7.450	51.200	49.200	-2000	4,0	34	20,6
5.8	1,130	7.400	42.800	41.400	-1400	3,2	31	20,4
6.6	1,130	7.400	48.800	49.800	1000	2,0	34,2	19,5
6.5	1,130	7.400	48.000	48.000	0	0	31,2	19,4
5.7	1,115	7.290	41.500	45.000	3500	7,8	36,3	23,5
5	1,130	7.400	37.000	42.000	5000	11,8	35,4	23,5
5.3	1,130	7.400	39.200	40.200	1000	2,4	35	23,3
5.4	1,170	7.650	41.300	46.200	4.900	10,6	22	13,8
5.1	1,110	7.280	37.100	36.000	-1100	2,7	36	25,2
5	1,110	7.280	36.400	42.600	6200	14	37,8	24,9
5.8	1,113	7.285	42.200	42.000	200	0,47	36,9	24,3
5.5	1,116	7.295	40.100	42.000	1900	4,5	36,2	24
5.3	1,169	7.600	40.600	41.400	800	1,8	21,6	14,2
6.2	1,165	7.620	47.300	42.600	-4700	10	21,3	14,2

1	24.8	19.9	25.5	25.1	28.8	23.1	5.7
2	26.1	21.3	26	25.3	29.3	23.7	5.6
3	26.8	20.7	26.6	25.5	30	23.7	6.3
4	22.9	20.2	26.7	26.6	32.4	24.7	7.7
5	21.5	18.5	25.6	25.6	31.8	23.8	8
6	21.2	17.5	25.1	24.9	31.1	22.8	8.3
7	26.2	21.6	28.7	28.3	33.7	25.5	8.2
8	26.2	21.7	28.	27.6	32.2	25.3	6.9
9	26.2	20.5	27.9	27.4	32.8	24.5	8.3
10	25.5	19.9	27.5	26.9	32.4	24.4	8
11	27.3	24.9	30.3	29.9	34.9	27.4	7.5
12	27.2	25	29.7	29.6	34.4	27.4	7
13	27.4	24.7	29.7	29.5	34	27.3	6.7
14	19.9	13.7	21.8	21.2	26.5	18.8	5.4
15	24.2	26.9	30.9	30.7	34.7	28.7	6
16	29.3	26.3	30.9	30.6	35.5	28.9	7.1
17	29.3	25.3	30.5	30.4	35.1	28.1	7.0
18	28.5	25	30.4	29.9	34.8	27.8	7.0
19	20.2	14	21.9	21.2	26.1	19.2	6.9
20	19.9	13.2	22	21.8	26.3	19.2	7.1

IDA 1: SALIDA
A 2: ENTRADA

cal
h^or.

X_i	AIRE X		a	b	a+b	$\frac{a+b}{2}$	c	d	e	f	g
X_{i2}	X_1	X_2	$X_{i2}-X_2$	$X_{i1}-X_1$		Δx_m	X_1-X_2	$\Sigma(X_1-X_2)$	$L\Delta x_m$	$\frac{K\Delta x}{L}$	α
19	20.8	13.1	5.8	6.3	12.1	6.05	7.7	57.500	42.350	1.38	-
19,1	20.8	13.6	5.5	5.7	11.2	5.6	7.2	53.900	39.200	1.36	-
19,9	22	13.2	6.7	9.2	15.9	7.95	8.8	65.000	55.700	1.17	32.4
19,2	21.2	11.5	7.7	9.1	16.8	8.4	9.7	72.000	62.300	1.16	32.4
18.3	20.2	10.5	7.8	6.8	14.6	7.3	9.7	72.800	51.100	1.42	31.8
20,3	23.7	13.2	6.1	9.3	16.4	7.7	10.5	77.500	53.900	1.44	-
21	24.9	15.1	5.9	6.4	12.3	6.15	9.8	74.800	43.750	1.62	-
20,5	23.8	12.8	7.7	8.2	15.9	7.95	11	81.500	57.400	1.42	33
20	23	12.4	7.6	8.9	16.5	8.25	10.6	74.800	57.750	1.36	-
24	28.1	19.5	4.5	9.8	14.3	7.15	8.6	82.500	50.050	1.25	35
23,9	26.9	18.8	5.1	8	13.1	6.55	8.1	58.900	45.850	1.28	35
24,5	27.7	19.7	4.8	9	13.8	6.9	8	58.100	48.300	1.21	-
26	28.5	20.7	5.3	9.1	14.4	7.2	7.8	56.800	50.400	1.12	26.3
25	28.2	19.4	5.6	8.8	14.4	7.2	8.8	64.000	50.400	1.43	-
24,9	27.9	19	5.9	9	14.9	7.45	8.9	64.800	52.150	1.24	31
24,5	27.5	18.9	5.6	8	13.6	6.8	8.6	62.800	47.600	1.32	25.4
14,6	15.8	6.9	7.7	5.3	13	6.5	8.9	68.000	45.500	1.49	-
14,7	16.2	7.7	7.2	5.1	12.3	6.15	8.5	64.900	43.050	1.50	31
14,7	16.2	6	8.7	5.8	14.5	7.25	10.2	77.900	50.750	1.54	-
23,7	26.5	18.7	5.2	7.7	12.9	6.45	7.8	56.900	50.400	1.12	29.3

L : CAUDAL DE AGUA
7.000 Kg / Hora

Cal/Kg

1: ENTRADA
2: SALIDA1: SALIDA
2: ENTRADA

AIRE Δi	AIRE SALIDA γ Kg/hor	CAUDAL AIRE G Kg/hor	Cal/ Hora $G \Delta i$	Cal/ Hora $L \Delta T_w$	e Cal, Hora $L \Delta T_w - G \Delta i$	e % $\frac{100e}{L \Delta T_w}$	AGUA Xi		AIRE X	
							X_{i1}	X_{i2}	X_1	X_2
5	1.140	7.460	37300	41300	4000	9.9	27.1	19	20.8	13.1
4.3	1.140	7.460	37300	37800	500	1.3	26.5	19.1	20.8	13.6
6.5	1.136	7.400	48000	51800	3800	7.3	31.2	19.9	22	13.2
7	1.139	7.430	52.010	53.200	1210	2.2	30.3	19.2	21.2	11.5
7	1.145	7.500	52.500	53.900	1400	2.6	29	18.3	20.2	10.5
6.8	1.127	7.380	50.200	54.600	4400	8.0	33	20.3	23.7	13.2
6.9	1.130	7.400	51000	51.800	800	1.5	31.5	21	24.9	15.1
7.4	1.130	7.400	54.700	53.200	1500	2.7	33	20.5	23.8	12.8
6.8	1.130	7.400	50.200	53.900	3.700	6.9	31.9	20	23	12.4
6.2	1.111	7.280	45.100	53.900	8.800	16	37.9	24	28.1	19.5
5.8	1.113	7.285	42.200	44.800	2.600	5.8	34.9	23.9	26.9	18.8
5.6	1.111	7.280	41.700	46.900	5.200	11	36.7	24.5	27.7	19.7
5.4	1.108	7.260	39.200	45.500	6.200	13	37.6	26	28.5	20.7
5.8	1.111	7.280	42.000	45.200	3.200	7.0	37	25	28.2	19.4
6.2	1.111	7.280	45.200	46.900	1.700	4.1	36.9	24.9	27.9	19
5.8	1.115	7.290	42.300	43.400	1.100	2.5	35.5	24.5	27.5	18.9
5.8	1.165	7.620	44.400	44.100	-300	0.68	21.1	14.6	15.8	6.9
5.9	1.165	7.620	45.000	44.800	-200	0.44	21.3	14.7	16.2	7.7
6.5	1.165	7.620	49.500	47.600	1.900	3.8	22	14.7	16.2	6
5.5	1.116	7.295	40.000	42.700	2.700	6.3	31	23.9	26.5	18.7

	AIRE ENTRADA		AIRE SALIDA		AGUA	
	tbs °C	tbn °C	tbs °C	tbn °C	twe °C	tws °C
1	24,8	20,2	26,3	25,7	29,9	24
2	26	21	26,2	25,6	29,5	24,1
3	22,6	19,5	26,6	26,5	32,3	24,9
4	21,9	18,2	26,1	26	31,8	24,2
5	21	16,9	25,3	25,1	31	23,3
6	26,8	20,9	28,4	27,8	33	25,2
7	26,1	22	28,1	27,8	32,2	25,8
8	25,7	20,2	28,3	27,9	33	25,4
9	25,9	20,2	27,9	27,4	32,7	25
10	27,1	25,1	30,5	30,5	35,6	27,9
11	27,2	24,7	30,2	29,8	34,2	27,8
12	29	26,6	30,6	30,4	35	28,3
13	28,8	26,3	31,3	30,9	35,5	29
14	29,1	25,5	30,7	30,4	35,2	28,6
15	28,9	25,2	30,4	30,7	35,1	28,4
16	28,2	25	30,4	30,1	34,5	28,3
17	19,6	13,2	21,7	21,3	25,9	19,6
18	19,3	13,6	22,2	21,6	26,3	19,9
19	20,3	12,7	23,2	21,6	26,5	19,7
20	27,5	24,7	29,7	29,6	33,9	27,8

19.3	20.9	14	5.3	6.2	11.5	5.75	6.9	51.500	46.000	1.12	—
19.7	21	13.7	6	5.6	11.6	5.8	7.3	54.600	46.400	1.17	30.8
21.3	23.4	14.5	6.8	8.1	14.9	7.45	8.9	65.900	59.600	1.13	37
20.2	22.9	13	7.2	8.4	15.6	7.9	9.7	72.200	62.400	1.15	34.7
19.3	21.9	12.7	6.6	8.4	15	7.5	9.2	68.500	60.000	1.14	36.2
21.9	24.7	15.4	6.5	7.5	14	7	9.3	68.500	56.000	1.22	33.7
21.9	24.7	15.5	6.4	7.3	13.7	6.85	9.2	67.800	54.800	1.23	33.2
21.5	24.2	14.2	7.3	7.7	15	7.5	10	74.000	60.000	1.23	29.8
20.6	23.8	12.2	8.4	8.4	14.8	8.4	11.6	85.800	65.300	1.28	37.7
20.6	24	13.2	7.4	9	16.4	8.2	10.8	80.000	65.600	1.22	32
24.8	28.2	18.8	6	7.3	13.3	6.65	9.4	68.000	53.200	1.29	38.2
24.8	27.3	18.6	6.2	7.5	13.7	6.85	8.7	64.100	55.600	1.14	47.5
25.4	27.9	19.5	5.9	8.5	14.4	7.2	8.3	60.300	57.600	1.05	41.1
26.4	29.7	20.6	5.8	7.3	13.1	6.55	9.1	66.500	52.400	1.27	28.4
25.4	28	19.7	5.7	8.9	14.6	7.3	8.3	61.300	58.400	1.05	31
25.2	28.1	18.9	6.3	8.2	14.5	7.25	9.2	68.100	58.000	1.17	—
24.9	28	19.1	5.8	7.5	13.3	6.65	8.9	65.900	53.200	1.23	—
15	16.4	7.7	7.3	5.2	12.5	6.25	8.7	61.700	49.600	1.34	—
15	16.3	7.7	7.3	5.4	12.7	6.35	8.6	65.800	50.800	1.30	30.5
24.3	27.2	18.6	5.7	7.6	13.3	6.65	8.6	62.800	53.200	1.23	33.5

L: CAUDAL de AGUA
8000 Kg/hora

24.2	5.7	14.3	19.2	4.9	1.140	7.470	36.600	45.600	9000	19	27.1	19.3	20.9	14	5.3
24.6	5	14.1	19.3	5.5	1.140	7.470	38.700	40.000	1300	3.2	26.6	19.7	21	13.7	6
26	6.2	14.6	21	6.4	1.130	7.400	47.400	49.600	2.200	4.4	31.3	21.3	23.4	14.5	6.8
25.4	6.8	13.2	20.5	7.3	1.133	7.300	53.200	54.400	1200	2.2	31.3	20.2	22.9	13	7.2
24.2	7.7	12.6	19.7	7.1	1.136	7.430	52.800	61.600	8.800	14	30.3	19.3	21.9	12.7	6.6
26.4	6.5	15.6	22.1	6.5	1.125	7.380	48.000	52.000	4.000	7.7	32.2	21.9	24.7	15.4	6.5
26.4	6.4	15.7	22.1	6.4	1.125	7.380	47.300	51.200	3.900	7.6	32	21.9	24.7	15.5	6.4
26.2	6.5	14.9	21.6	6.7	1.127	7.400	49.500	52.000	2.500	4.8	31.7	21.5	24.2	14.2	7.3
25.5	7.4	13.4	21.4	5	1.125	7.380	59.040	59.200	160	0.27	32.2	20.6	23.8	12.2	8.4
25.5	7.5	14.1	21.5	7.4	1.127	7.400	54.800	60.000	5.200	8.7	33	20.6	24	13.2	7.4
28.3	6.2	18.1	24.5	6.4	1.111	7.300	46.750	49.600	2.850	5.7	35.5	24.8	28.2	18.8	6
28.3	5.8	17.8	24.1	6.3	1.113	7.370	45.800	46.400	600	1.3	34.8	24.8	27.3	18.6	6.2
28.8	6.2	18.4	24.5	6.1	1.111	7.280	44.700	49.600	4.900	9.8	36.7	25.4	27.8	19.5	5.9
29.4	6.3	19.7	25.9	6.2	1.104	7.310	45.400	50.400	5.000	10	37	26.4	29.7	20.6	5.8
28.9	6.2	19	24.6	5.6	1.111	7.400	41.500	49.600	8.100	16	36.9	25.4	28	19.7	5.7
28.7	6.2	18.6	24.6	6.0	1.111	7.400	44.500	49.600	5.100	10	36.3	25.2	28.1	18.9	6.3
28.4	6.1	18.4	24.4	6.0	1.111	7.400	44.400	48.800	4.400	9	35.5	24.9	28	19.1	5.8
20.2	5.9	9.6	15.2	5.6	1.163	7.660	42.900	47.200	4.300	9.1	21.6	15	16.4	7.7	7.3
20.2	6.0	9.4	15.3	5.9	1.163	7.660	45.200	48.000	2.800	5.8	21.7	15	16.3	7.7	7.3
28.2	5.9	17.8	24	6.2	1.115	7.300	45.300	47.200	1.900	4	34.8	24.3	27.2	18.6	5.7

24.6	20.7	26.3	25.8	29.9	24.2	5.7
24.6	20.4	26.4	25.9	29.6	24.6	5
24.2	21	27.6	27.5	32.2	26	6.2
22.7	19.3	27.1	27.1	32.2	25.4	6.8
20.8	18.5	26.4	26.4	31.9	24.2	7.7
26.4	22.2	28.7	28.5	32.9	26.4	6.5
26.4	22.3	28.7	28.5	32.8	26.4	6.4
26.1	21.4	28.4	28.1	32.7	26.2	6.5
24.9	19.4	28.3	27.9	32.9	25.5	7.4
25.3	20.3	28.3	28	33	25.5	7.5
27.3	24.8	30.5	30.5	34.5	28.3	6.2
27.2	24.6	30.3	30.1	34.1	28.3	5.8
28.7	25.5	31.1	30.5	35	28.8	6.2
29.5	26.4	31.6	31.5	35.7	29.4	6.3
28.9	25.6	30.8	30.6	35.1	28.9	6.2
29	25.2	30.7	30.6	34.9	28.7	6.2
27.8	25	30.4	30.4	34.5	28.4	6.1
20.5	14.1	22.2	21.8	26.1	20.2	5.9
20.1	13.7	22.4	21.9	26.2	20.2	6.0
27.1	24.6	30.2	30	34.1	28.2	5.9

X_{i2}	X_1	X_2	$X_{i2}-X_2$	$X_{i1}-X_1$		Δx_m	X_1-X_2	$G(X_1-X_2)$	$L \Delta x_m$	$\frac{K \Delta x}{L}$	α
24.7	26.5	18.8	6.1	7.9	14.0	7	7.7	56.200	63.000	0.89	32.6
24.5	27.2	18.9	5.5	6.8	12.3	6.15	8.3	60.700	55.350	1.20	36.8
24.9	28	18.6	6.3	6.2	12.5	6.25	9.4	68.700	56.250	1.21	36
26.5	29.7	21	5.5	7.1	12.5	6.25	8.7	65.500	56.250	1.13	30.1
26.7	29.8	21.2	5.5	7.3	12.8	6.4	8.6	62.800	57.600	1.09	31.7
27.2	30.2	21.4	5.8	8.1	13.9	6.95	8.8	64.200	62.550	1.03	31.7
26.5	29.8	19	7.5	7.8	15.3	7.65	10.8	79.900	68.850	1.16	37.8
26.2	29.1	18.6	7.6	7.8	15.4	7.7	10.5	76.800	69.300	1.10	30.8
26.2	28.7	18.5	7.8	7.3	15.1	7.55	10.4	76.000	67.950	1.12	25.8
26.1	28.7	18.4	7.7	7.6	15.3	7.65	10.3	75.100	68.850	1.09	27.8
26	28.5	18.9	7.1	7.7	14.8	7.4	9.6	70.000	67.500	1.04	29.3
25.5	28.3	19.6	5.9	7.9	13.8	6.9	8.7	63.500	62.100	1.02	29.2
25.4	28.1	18.6	6.8	7.4	14.2	7.1	9.5	69.300	63.900	1.10	35.9
15	15.3	6.4	7.4	5.8	13.2	6.6	8.9	68.000	59.400	1.14	26.1
15	16.3	7.3	7.7	5.0	13.5	6.75	9.0	68.100	60.750	1.13	31.2
15.3	16.8	7.7	7.6	4.5	12.1	6.05	9.1	69.100	54.450	1.27	29.8
15.2	17	7.3	7.9	4.7	12.6	6.3	9.7	73.800	56.700	1.30	29.2
15.3	17.1	7	8.3	4.9	13.2	6.6	10.1	76.800	59.400	1.29	30.8
15	16.8	7.7	7.3	4.5	11.8	5.9	9.1	69.100	53.100	1.30	33.2
15	17	7	8	5.3	13.3	6.65	10	76.000	59.950	1.27	33.5

L: CAUDAL DE AGUA

9.000 KG / HORA

$t_{ws}^{\circ C}$	$\Delta t_{ws}^{\circ C}$	Entr.	Sold	Δt_i	γ Kg/m ³	G Kg/hor.	G $\cdot\Delta t_i$	L Δt_{ws}	L Δt_{ws} -G Δt_i	$\frac{1000}{L\Delta t_{ws}}$	X_{i1}	X_{i2}	X_1	X_2
28.4	5.8	18	23.4	5.4	1.111	7300	48250	52.200	3950	7.5	34.9	24.7	26.5	18.8
28.5	5.5	18.3	24	5.7	1.111	7300	42400	49.500	3500	7.1	35	24.5	27.2	18.9
28.4	5.5	18	24.4	6.4	1.111	7300	46700	49.500	2800	5.6	34.2	24.9	28	18.6
29.5	5.5	17.7	25.6	5.9	1.110	7300	43100	49.500	4900	13	36.7	26.5	29.7	21
29.7	5.5	20	26	6	1.110	7300	43800	49.500	5700	11	37.1	26.7	29.8	21.2
30	5.9	20.3	26.4	6.1	1.110	7300	44600	53100	8500	16	38.3	27.2	30.2	21.4
29.5	6.0	18.6	25.9	7.3	1.110	7300	52500	54000	1500	2.7	37.6	26.5	29.8	19
29.2	5.9	18.35	25.4	7.05	1.110	7300	51500	53100	2900	5.7	36.9	26.2	29.1	18.6
29.2	5.6	18.4	25.2	6.8	1.110	7300	49700	50400	700	13.9	36.2	26.2	28.7	18.5
29.1	5.8	18.2	25	6.8	1.111	7300	49700	52.200	2500	4.8	36.3	26.1	28.7	18.4
29	5.8	18.5	25	6.5	1.111	7300	47500	52.200	4700	9.0	36.2	26	28.5	18.9
28.9	5.9	18.8	24.8	6	1.111	7300	43800	53.100	9300	17	36.2	25.5	28.3	19.6
28.8	5.7	18.1	24.7	6.6	1.111	7300	48200	51.300	3100	6.0	35.5	25.4	28.1	18.6
20.3	5.7	9.35	15.3	5.95	1.163	7.650	45500	51.300	5800	11	21.3	15	15.3	6.4
20.3	5.7	9.2	15.3	6.1	1.163	7.650	46600	51.300	4700	9.1	21.3	15	16.3	7.3
20.6	5.4	9.4	15.6	6.2	1.160	7.600	46400	48600	2000	4.1	21.3	15.3	16.8	7.7
20.4	5.8	9.3	15.8	6.5	1.160	7.600	50200	52.200	2800	5.3	21.7	15.2	17	7.3
20.6	5.9	9.1	15.9	6.8	1.160	7.600	51800	53.100	1300	2.4	22	15.3	17.1	7
20.3	6.0	9.4	15.7	6.3	1.160	7.600	47900	54000	7100	13	21.3	15	16.8	7.7
20.3	6.5	9.0	15.8	6.8	1.160	7.600	51700	58500	6800	11.6	22.3	15	17	7

	AIRE ENTRADA		AIRE SALIDA		A G U A		AGUA
	tbs °C	tbt °C	tbs °C	tbt °C	twe °C	tws °C	Δtw °C
1	27.1	24.7	30	29.5	34.2	28.4	5.8
2	27.5	24.9	30.5	30	34	28.5	5.5
3	27.6	24.7	30.5	30.4	33.9	28.4	5.5
4	29.1	26.4	31.5	31.4	35	29.5	5.5
5	29.7	26.7	31.7	31.6	35.2	29.7	5.5
6	30	26.9	32.5	31.9	35.9	30	5.9
7	28.2	25.2	31.6	31.5	35.5	29.5	6.0
8	29	25	31.2	31.1	35.1	29.2	5.9
9	29.2	25	31.1	31	34.8	29.2	5.6
10	28.8	24.9	31	30.8	34.9	29.1	5.8
11	28.9	25.1	30.9	30.8	34.8	29	5.8
12	28.4	25.4	30.8	30.7	34.8	28.9	5.9
13	28.1	24.8	30.7	30.6	34.5	28.8	5.7
14	19.9	13.8	22.4	21.9	26	20.3	5.7
15	20.2	13.6	22.4	21.9	26	20.3	5.7
16	19.9	13.9	22.5	22.2	26	20.6	5.4
17	20.1	13.7	22.6	22.3	26.2	20.4	5.8
18	20.1	13.5	22.7	22.4	26.5	20.6	5.9
19	20.2	14	22.5	22.2	26.3	20.3	6.0
20	19.9	13.2	22.6	22.4	26.8	20.3	6.5

oo - APROXIMACION DE LOS RESULTADOS Y CALCULO DE COEFICIENTES

DE TRANSMISION DEL CALOR POR CONVECCION - oo

3.- APRECIACION DE LOS RESULTADOS Y CALCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSMISION DEL CALOR POR CONVECCION.

Los valores de $\delta \Delta i$ (aumento de la entalpia del aire) son menores que los obtenidos para $L \Delta t_w$ (calorias perdidas por el agua). Las diferencias observadas son en la gran mayoria de los casos menores que el 10% y deben atribuirse a la imprecision con que se midió el caudal de aire.

Los resultados obtenidos en las determinaciones de las características disponibles de una torre en ensayo son acordes con la teoría de las torres de enfriamiento; ya que se observa una disminución de dicha característica con el aumento del caudal de agua.

Como puede observarse en las tablas hay 20 valores por cada caudal. De esos 20 valores se obtuvo el valor más probable (ver Apéndice "A". Método gráfico para hallar el valor más probable y su error) y una vez obtenido éste para los 5 caudales utilizados se representó $K_{g,a,i}$, $f(L)$ donde se observa lo expuesto anteriormente. (1; p. 68). (Gráfico No 3)

<u>L: caudal</u> <u>lts/hora</u>	<u>$K_{g,a,i}$ (característica de torre)</u>
2,000	1,39 ± 0,035
6,000	1,44 ± 0,1
7,000	1,33 ± 0,1
8,000	1,19 ± 0,08

Característica disponible de la torre en
ensayo en función del caudal de agua.

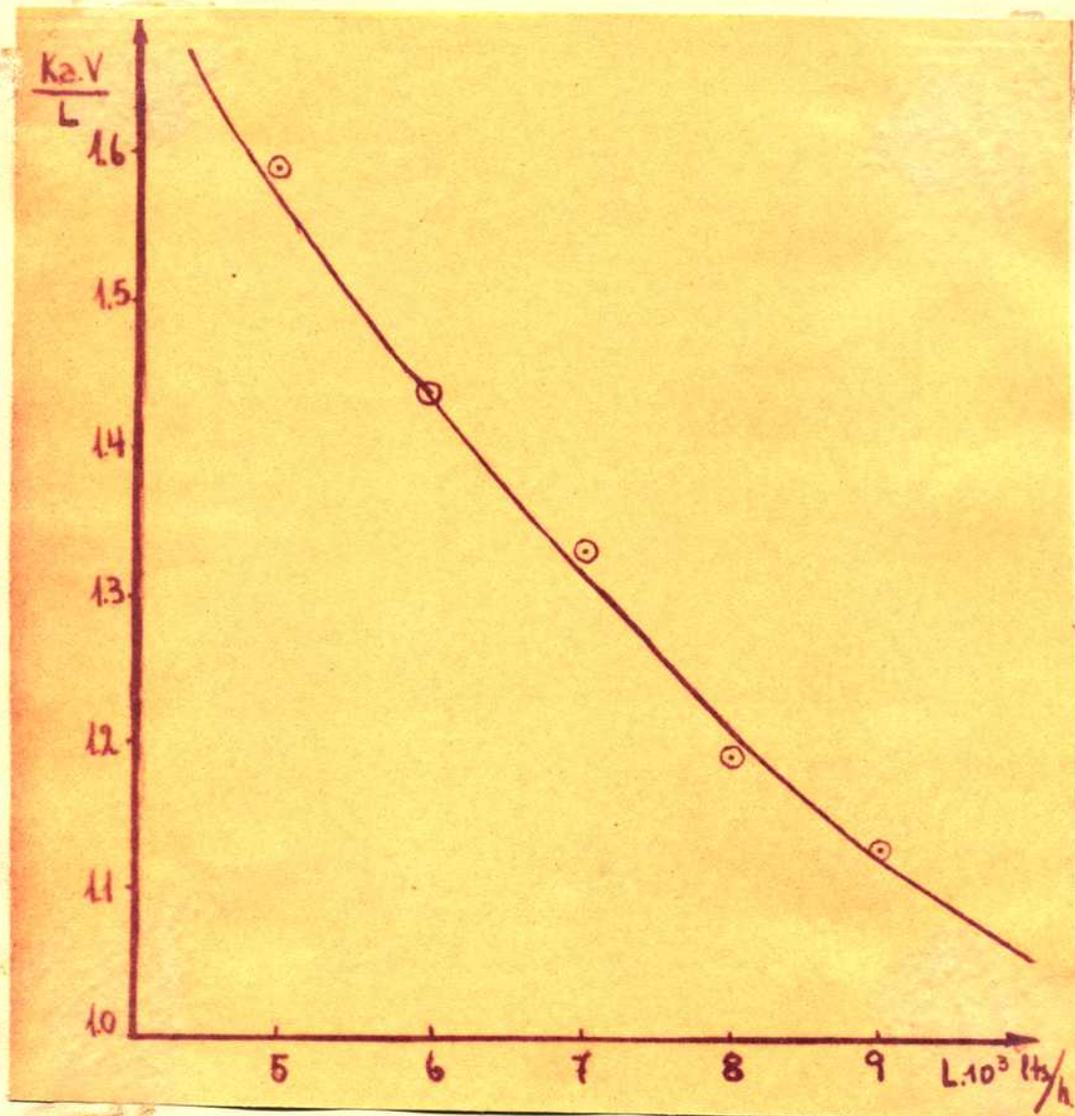


GRAFICO N°8

0,000

1,13 ± 0,03

Con respecto a los trabajos (4) y (5) se han obtenido valores más uniformes de la característica disponible, debido a las mejoras introducidas en los métodos de medición.

Eficiencia de α , (coeficiente de transmisión del calor por convección).

Se calculó en base a un balance de energía entre el calor ganado por el aire y el perdido por el agua; de donde se obtiene la fórmula:

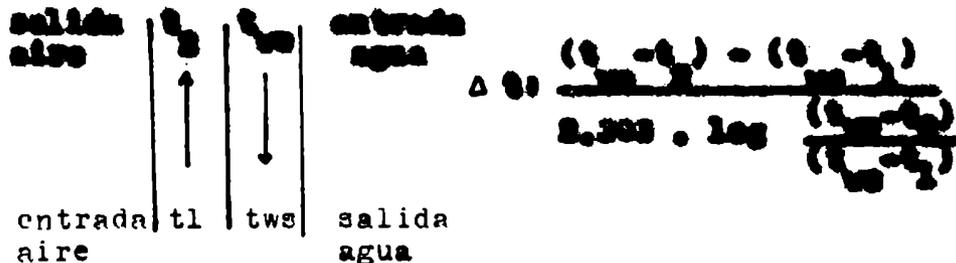
$$G_a \Delta i = \alpha \cdot \Delta t_m + G (I_1 - I_2) \cdot \tau$$

En ella es G = cantidad de agua

Δi = diferencia entre la entalpía del aire de salida y la entalpía del aire de entrada.

α = coeficiente de transmisión del calor por convección.

Δt_m = diferencia media logarítmica entre el aire y el agua a la entrada y salida de la torre, con:



entrada	t_2	t_{ws}	salida
aire		agua	agua

$S : 81,52 \text{ m}^2$: superficie del relleno

X_1 : humedad absoluta del aire a la entrada.

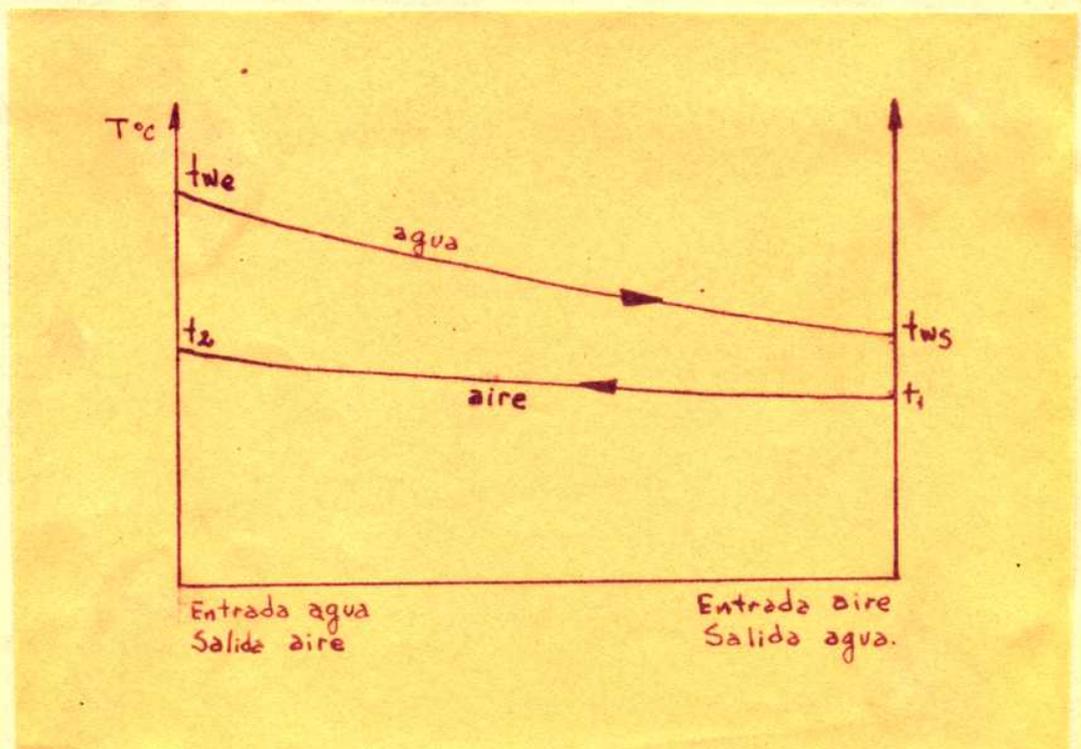
X_2 : humedad absoluta del aire a la salida.

r : calor de vaporación del agua a $25^\circ\text{C} : 582 \text{ Cal}$

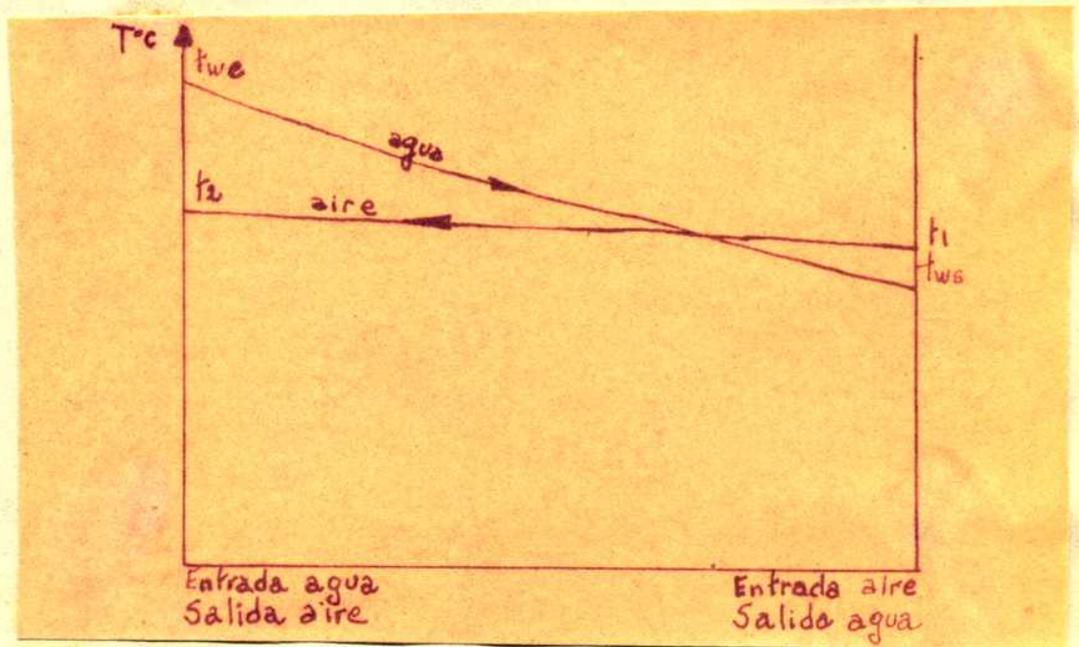
Debido a que $\frac{t_{ws} - t_2}{t_{ws} - t_1} \leq 2$ se utilizó la media aritmética en lugar de la media logarítmica o sea que Δt se calculó con:

$$\Delta t : \frac{(t_{ws} - t_2) + (t_{ws} - t_1)}{2}$$

Esta expresión para el cálculo de Δt sólo es aplicable cuando se mantiene $t_{ws} > t_1$. En este caso, representando la temperatura del agua y del aire en el interior de la torre se obtendría un gráfico como el siguiente:



Como puede observarse en las tablas de valores, el enfriamiento del agua por evaporación fué relativamente grande como para hacer que fuera $t_{ws} < t_1$; o sea que se obtendría una temperatura final para el agua menor que la temperatura de entrada del aire; fenómeno que puede representarse de la siguiente forma:



En este caso, si se aplica la fórmula para el cálculo de Δt se obtienen valores de \propto completamente dispares y discordes con la realidad. Además, no se puede calcular Δt de otra manera ya que se desconoce la variación de las temperaturas del agua y del aire a lo largo de la torre y por lo tanto el punto de intersección en el gráfico anterior.

Por este motivo sólo se tomaron como válidas para el cálculo de α las determinaciones en las que $t_{w2} > t_1$ y los valores obtenidos de acuerdo con este criterio y utilizando las fórmulas anteriormente expuestas con los consignados al final de las tablas de valores.

Como podría esperarse "a priori", el enfriamiento del agua de entrada debido a la evaporación producida tiene mayor influencia cuando el caudal de agua es menor. De acuerdo con esto, puede observarse en las planillas de cálculo que a 9.000 lts/hora (caudal máximo utilizado), se mantiene siempre la temperatura del agua de salida (t_{w2}) mayor que la del aire de entrada (t_1) y por lo tanto, en este caso, son válidas todas las determinaciones para el cálculo de α .

CONCLUSIONES

Los valores obtenidos para la característica disponible $\left(\frac{K\alpha V}{L}\right)$ deben considerarse correctos, ya que concuerdan con la teoría de los terreros de enfriamiento (págs. 13 y 14).

Dichos valores son aproximados a los obtenidos por otros experimentadores que trabajaron con terreros semejantes. Por ejemplo en (11) se utilizó una tierra de tiraje formado rullena con bandejas provistas de 28 tablas de 0,70 x 1,20 m. y 9 mm. de espesor y con ángulo variable.

De α (coeficiente de transmisión del calor por convección) se obtuvieron los siguientes valores (Apéndice "A"):

Caudal	α
litros/hora	$\frac{\text{Cal.}}{\text{h.}^2 \text{ m}^2}$
5.000	22 ± 1,20
6.000	22,9 ± 0,9
7.000	23,3 ± 0,22
8.000	23,7 ± 0,22
9.000	24,2 ± 0,71

Es necesario hacer notas que el cálculo de α (pág. 14) sólo puede ser aproximado, ya que al mismo se efectúa tomando la superficie de rullena \bar{A} como si fuera la superficie de contacto aire-agua, sin tener en cuenta la superficie de

las gotas, ya que no se conoce, con lo que se comete un error que se compensa al considerar que toda la superficie de riego se es bajada por el agua.

Los valores obtenidos son del mismo orden que los que tenemos en (6) ((1) - p. 83) y sólo serían válidos cuando se trabaja con una tierra suajante y la misma distribución y fun del riego.

ANEXICO "A"

"Método gráfico para hallar el valor más probable de una serie de mediciones y su error".

Este método se encuentra citado por ejemplo en Burnett C. y Franklin H. (7).

Se utilizó para obtener los valores de la característica disponible y del coeficiente de transmisión del calor (α) por convección, a diferentes caudales, que figuran en las planillas de cálculo.

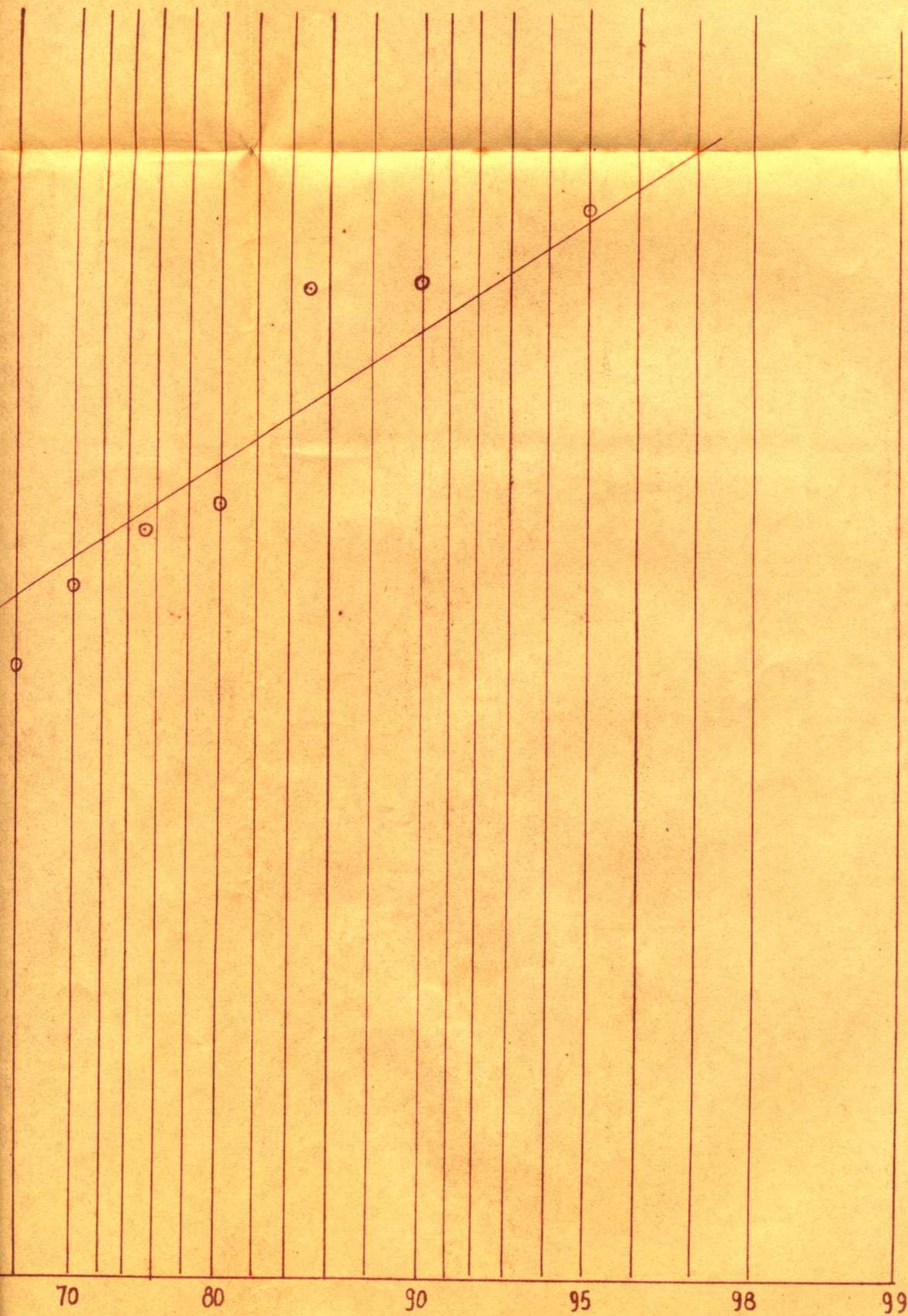
Se dará como ejemplo el cálculo del valor más probable de α a partir de los 20 valores de α obtenidos para un caudal de 9,000 lts/hora.

En un gráfico de probabilidad (gráfico N° 6) se representan en ordenadas los valores de α obtenidos, en orden creciente y decreciente al mismo. Si estos valores corresponden a una distribución gaussiana debe obtenerse un dicho gráfico una recta, lo que efectivamente ocurre. El valor más probable se lee en la intersección de dicha recta con el valor 50 % en abscisas; y leyendo en 17 % y 83 % se obtiene la dispersión de la cual se calcula el error dividiendo por la raíz cuadrada del número de determinaciones.

Este criterio es válido siempre que definamos como error σ , un valor tal que un 68 % de los valores se registren en

(caudal 5.000 y 6.000 lts/hora) se supuso que la distribución de los rines era gaussiana.

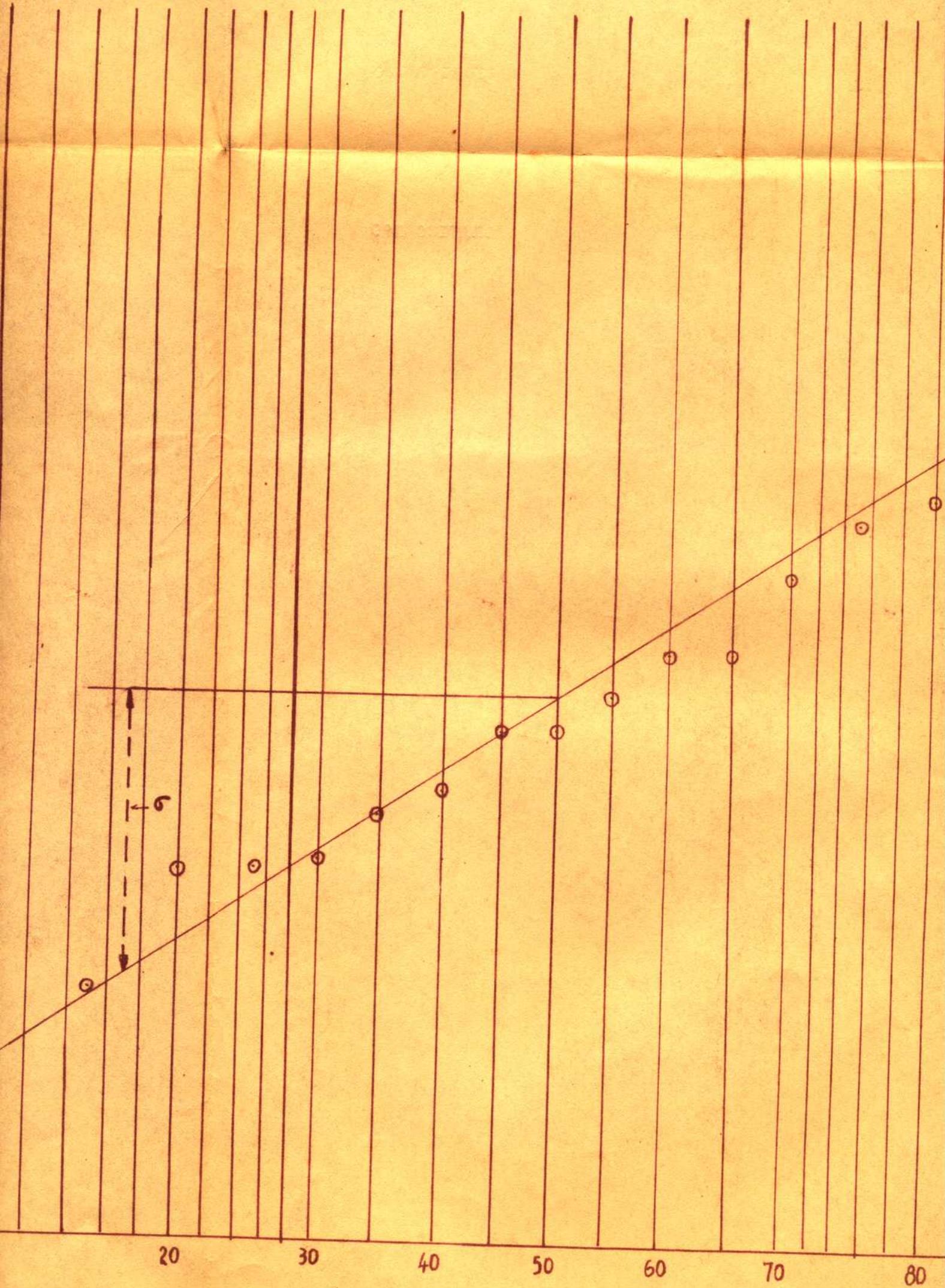
$$= 31,2 \pm \frac{3,2}{\sqrt{19}} = 31,2 \pm 0,74 \frac{\text{cal}}{\text{oc hm}^2}$$



CULO de $\alpha \frac{\text{cal}}{\text{m}^2 \text{h} \text{oc}}$ (valor más probable)

DAL: 9.000 lbs/hora

$$\alpha = 31.2 \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 31.2 \pm \frac{3.2}{\sqrt{19}} =$$



CÁLCULO de α $\frac{\text{cal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$
CAUDAL: 9.000 l/s/h

α
 $\frac{\text{cal}}{\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$

35

30

25

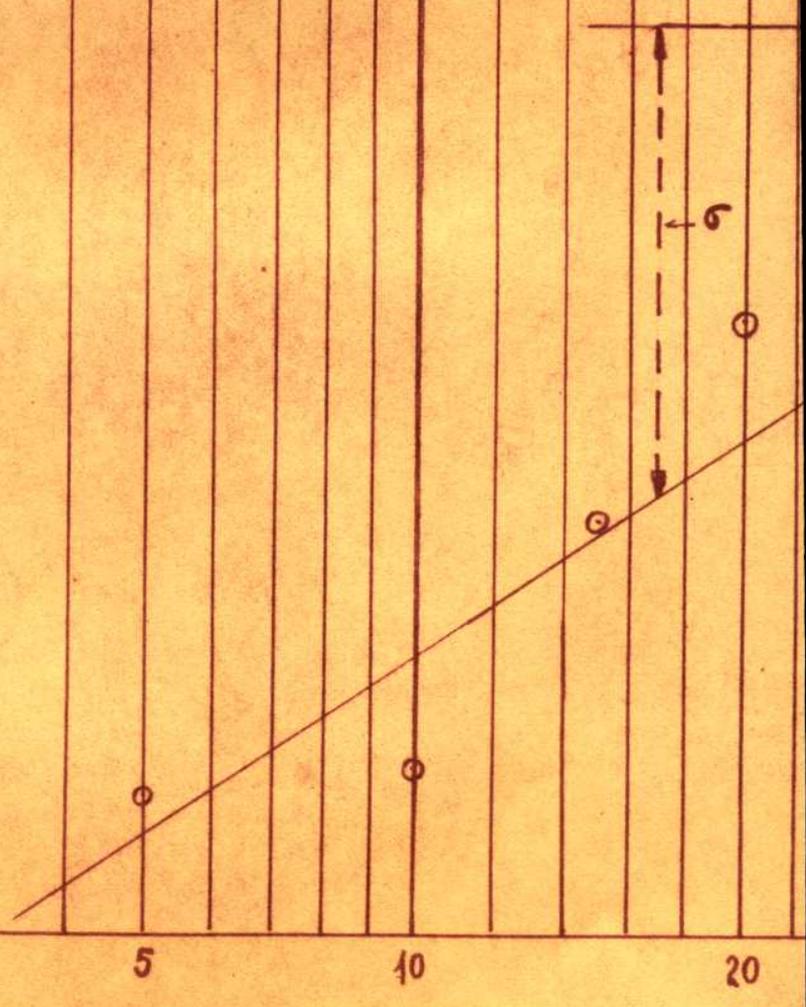
1

2

5

10

20



BIBLIOGRAFIA

- 1.- José M. Bados - Torres de enfriamiento - Centro Estudiantes de Ingeniería - 1948.**
- 2.- Merkel F. "Verdunstungshaltung". Forschungsarbeiten - 1936.**
- 3.- Lichtenstein J. "Performance and selection of mechanically draft cooling towers" ASME - Trans. 1943.**
- 4.- H. Torre - "Sobre ensayo de una torre de enfriamiento y discusión de los resultados obtenidos". Tesis para optar al título de Dr. en Química - Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - Universidad de Buenos Aires - 1938.**
- 5.- L. Zimmermann - Sobre construcción de una torre de enfriamiento y determinación de su característica disponible. Tesis para optar al título de Dr. en Química - Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - Universidad de Buenos Aires - 1938.**
- 6.- London, Mason y Bealiter - "Performance Characteristics of a mechanically induced draft, counterflow, packed cooling towers" - ASME - Trans. 1940.**
- 7.- Statistical Analysis in Chemistry and the Chemical Industry, Ernest G. and Franklin N. Wiley - New York - 1934.**
- 8.- Goulden, C.H. "Methods of Statistical Analysis" - Wiley - New York - 1935.**

9.- "Probability and its Engineering uses" - Thornton C. Fry
D. Van, Nostrand Company Inc. - 1933.

10.- Fuller, and Introduction To Probability and its applied
Values and, Wiley - New York.

11.- B.H. Sparlock, Jr. Performance of a forced-draft cooling
tower, ASHVE, Journal Section, June 1931, p.116.-

12.- Russell Hance, C. "Fundamental relationships in the
design of cooling towers" ASHVE, Trans. 1930.



W. S. Kador
Albert J. Ransick