

Tesis de Posgrado

Cálculo del coeficiente de transferencia de masa en una torre de enfriamiento a circulación forzada

López Musi, Juan Carlos

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:

López Musi, Juan Carlos. (1959). Cálculo del coeficiente de transferencia de masa en una torre de enfriamiento a circulación forzada. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_1035_LopezMusi.pdf

Cita tipo Chicago:

López Musi, Juan Carlos. "Cálculo del coeficiente de transferencia de masa en una torre de enfriamiento a circulación forzada". Tesis de Doctor. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 1959.

http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_1035_LopezMusi.pdf

EXACTAS UBA

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales



UBA

Universidad de Buenos Aires

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES.

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES.

CALCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE MASA
EN UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO A CIRCULACIÓN FORZADA.

Juan Carlos López Musi.

Resumen

R. de Tesis. N.º 2050

--- BUENOS AIRES ---

1959


CALCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE MASA EN UNA
TORRE DE ENFRIAMIENTO A CIRCULACION FORZADA

El enfriamiento en cualquier tipo de torre se obtiene, por fenómenos de naturaleza termodinámica, bien conocidos y estudiados; transmisión de calor del agua al aire, y evaporación parcial del agua

En el año 1925 F.Merkel, desarrolló sobre estas consideraciones la ecuación básica diferencial de las torres de enfriamiento, que hoy forman la base de la ejecución de las mismas.

$$L \cdot dt_w = K (i'' - i) a \cdot dV \quad \text{en donde:}$$

i'' = Entalpía del aire saturado en contacto con el agua a la temperatura de ésta.

i = Entalpía de la masa de aire a su temperatura

Kichtenstein en base a los estudios de Merkel llega a una expresión:

$$\int_{t_2}^{t_1} \frac{dT}{i'' - i} = \frac{K \cdot a \cdot V}{L}$$

La parte izquierda contiene las condiciones termodinámicas para el proceso de enfriamiento, la parte derecha es la llamada característica de la torre.

En este trabajo se adoptó para determinar, la característica de la torre, $(K \cdot a)$ y K la resolución propuesta por Boelter y Hori, es decir con los datos de bulbo seco y húmedo a la entrada y salida de la torre y temperaturas del agua en los mismos puntos se obtuvieron en el diagrama psicrométrico los valores de las humedades absolutas y así calculamos $\frac{K \cdot a \cdot V}{L}$, de la siguiente manera.

F. C. N. G. M. A.

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

en donde K es el coeficiente de transferencia de masa, a es la superficie de contacto aire-agua por unidad de volumen V de la torre, L es el caudal de agua, G el caudal de aire y X_1, X_2 las humedades absolutas del aire a la salida y entrada de la torre respectivamente.

Desafortunadamente no existe todavía una teoría que permita calcular $K \cdot a$ o K con el diseño solamente.

Para calcular K , coeficiente de transferencia de masa, en el presente trabajo, asignamos a a el valor de la superficie de las tablas (m^2), suponiendo que es el valor más aproximado a el verdadero.

$K \cdot a$ se obtiene del dato experimental de la característica de la torre. Las variables que inciden sobre $K \cdot a$ son numerosas.

Para un caudal dado de aire, el coeficiente de transferencia de masa, depende del tipo de superficie provista en la torre, que en este caso se considera una combinación de películas y gotas.

Los datos obtenidos de K no se pueden comparar por ahora, ya que no existen valores con este mismo tipo de torre, en idénticas condiciones de trabajo. Como los valores de K son aparentes, se hizo necesario aplicar la teoría de los errores, para poder tener así el valor más probable. Se utilizó un método analítico, porque el método gráfico no es aconsejable para tan pocas determinaciones.

En realidad, nunca se acostumbra a determinar solamente el coeficiente de transferencia de masa, sino el producto de $K \cdot a$, que los ingleses denominan coeficiente de transferencia de volumen.

Las determinaciones prácticas se realizaron en una torre de enfriamiento de tiro inducido ubicada en la fábrica ATANOR S.A. (Munro) (F.C.N.G.M.A.)

Las modificaciones que se hicieron en la torre permitieron mejorar la exactitud de los valores, tales como controles de temperatura, en la velocidad del aire y en el control del caudal.

De todas las observaciones hechas, fueron desechadas aquellas cuyo caudal no se mantenía constante (agua), al efectuar las lecturas por duplicado. De todos los caudales elegidos, 5000 6000, 7000, 8000 y 9000 litros/hs. el más difícil de obtener fué el de 9000 litros/hora, debido a razones de uso en la fábrica.

Los gráficos obtenidos con los datos experimentales, dan una idea general del trabajo realizado, que permite llegar a las siguientes conclusiones :

a).- Los valores del coeficiente de transferencia de masa en función del caudal de agua horario, resulta ser una función lineal creciente, similar a la experiencia realizada en la Universidad de California con una torre de tipo forzado.

b).- La curva obtenida con los valores de las características disponible en función del caudal de agua horario, demuestra lo previsto en la teoría, ya que al aumentar el caudal disminuye la característica.

c).- En las planillas de cálculo puede observarse que la discrepancia porcentual entre G_{Ai} y $L\Delta t_w$ apenas es superior al 10%. En cuanto al grado de enfriamiento, vemos que al aumentar el caudal, disminuye dicho grado.



UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

CALCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE MASA
EN UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO A CIRCULACION FORZADA

Tesis presentada por Juan Carlos López Musi
para optar al título de Doctor en Química.-

Tesis: 2000

--- BUENOS AIRES ---

1959

**Agradezco al Profesor Ingeniero José María Bados,
por la dirección de este trabajo, al igual que
por las facilidades brindadas para su realización.**

A MI MADRE

Colaboraron en la construcción de la torre, donando los elementos necesarios, las siguientes firmas:

ALBA S.A.

ARMCO ARGENTINA S.A. IND. Y COM.

COMPañIA SUDAMERICANA S.A.

ETERNIT ARGENTINA S.A.

INDUSTRIAS TECNICAS AIRE

LUTZ FERRANDO Y CIA. S.A.

PIGNI Y CIA. S.A.

SIAM DI TELLA LTDA.

S.K.F. S.A. COM. E IND.

Quedo agradecido al SERVICIO METEREOLÓGICO NACIONAL, por el aporte y asesoramiento de aparatos.

Merece un párrafo aparte, mi reconocimiento a ATANOR S.A. MIXTA, que no sólo permitió la construcción de la torre en su establecimiento en Munro (F.N.G.M.B.) y facilitó todas las herramientas, además de personal especializado, sino que me brindó múltiples atenciones, haciendo de este modo agradable la labor realizada.

**ESTE TRABAJO SE DESARROLLA DE ACUERDO A LOS SIGUIENTES
PUNTOS:**

- 1.- INTRODUCCION TEORICA Y ANTECEDENTES .**
- 2.- DETERMINACIONES PRACTICAS EFECTUADAS .**
- 3.- DISCUSION Y EJECUCION DEL CALCULO DEL COEFICIENTE
DE TRANSFERENCIA DE MASA .**

--. INTRODUCCION TEORICA Y ANTECEDENTES .--

El enfriamiento en cualquier tipo de torre se obtiene, por fenómenos de naturaleza termodinámica, bien conocidos y estudiados; transmisión de calor del agua al aire, y evaporación parcial del agua. (1)

La principal forma de transmisión del calor que se produce en las torres, es por convección, la transferencia va a estar dada por:

$$Q_s = \alpha S (t_w - t_a) \quad \text{en Cal/h.} \quad \text{donde;}$$

S = Superficie de contacto de los dos medios.

t_w = Temperatura del agua.

t_a = Temperatura del aire.

α = Coeficiente de convección.

En cuanto a la evaporación, si suponemos que una gota de agua está rodeada de aire no saturado de humedad, comenzará a evaporarse, y la cantidad de agua será, en la unidad de tiempo, proporcional a la superficie de contacto agua-aire, y a la diferencia entre la tensión del vapor saturado en equilibrio con el líquido y la presión parcial del vapor de agua en el aire (1)

$$dL = f(p_{ws} - p_w) dS. \quad \text{en Kg/h.}$$

pero dL se puede expresar en función de las humedades absolutas, y

así tendremos: $dL = K (K_s - K) dS.$ siendo:

K_s = Humedad absoluta del aire saturado.

K = Humedad absoluta del aire en un estado determinado.

K = Coeficiente de evaporación para el potencial de humedades absolutas.

En el año 1925 F.Merkel desarrolló, sobre las consideraciones anteriores, la ecuación básica diferencial de las torres de enfriamiento, que hoy forma la base de la ejecución de las mismas.

Si reemplazamos en la fórmula anterior dS por $a.dV$, y considerando que a Superficie de contacto aire-agua por unidad de volumen V de torre

será: $dL = K (X_g - X) a.dV$ y si admitimos la siguiente presunción:

a) $\frac{K.Cah}{\alpha} = 1$ Grupo adimensional denominado Relación de Lewis deducida para torres de enfriamiento.

b) La entalpía del aire $i = Cah.t + X.r$

de esta manera Merkel llega a la ecuación básica diferencial:

$$L.dt_w = K (i'' - i) a.dV \quad \text{en donde:}$$

$i'' =$ Entalpía del aire saturado en contacto con el agua a la temperatura de ésta.

$i =$ Entalpía de la masa de aire a su temperatura.

Lichtenstein llega a una ecuación básica adimensional (2) si integramos la expresión:

$$\frac{dt_w}{i'' - i} = \frac{K.a.dV}{L}$$

entre la temperatura de entrada y salida del agua y la entalpía del aire, obtenemos:

$$\int_{t_2}^{t_1} \frac{dT}{i'' - i} = \frac{K.a.V}{L}$$

La parte izquierda (la integral) contiene las condiciones termodinámicas para el proceso de enfriamiento, la parte derecha es la llamada "característica" de la torre.

Por el momento únicamente ensayando puede determinarse la característica de una torre.

La integral puede ser resuelta por métodos gráficos (2) pero resulta fastidiosa para trabajos de rutina, tampoco el cálculo aproximado usando el potencial medio logarítmico dá resultado, porque el campo de aplicación es limitado a grados de enfriamiento pequeños.

Lichtenstein sostiene que la única solución a este problema sería construir "Libros de Curvas" de integración gráfica.

En este trabajo se adoptó para determinar, la característica de la torre (K , a) y K la resolución propuesta por Boelter y Hori (1), es decir con los datos de bulbo seco y húmedo a la entrada y salida de la torre y temperaturas del agua en los mismos puntos, se obtuvieron en el diagrama psicrométrico los valores de las humedades absolutas y así calculamos $\frac{K \cdot aV}{L}$ de la siguiente manera:

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

siendo:

$$X_m = \frac{(X_{i1} - X) - (X_{i2} - X_2)}{\lg_e \frac{(X_{i1} - X_1)}{(X_{i2} - X_2)}}$$

siendo:

X_1 = Humedad absoluta de la masa de aire a la salida.

X_2 = Humedad absoluta de la masa de aire a la entrada.

X_{i1} = Humedad absoluta del aire saturado en la superficie de contacto con el agua a la temperatura de ésta en la entrada.

X_{i2} = Humedad absoluta del aire saturado en la superficie de contacto con el agua a la temperatura de ésta en la salida.

Desafortunadamente no existe todavía una teoría que permita calcular $\frac{K \cdot a}{L}$ o $\frac{K}{L}$ con el diseño solamente.

Para calcular $\frac{K}{L}$, coeficiente de transferencia de masa, en el presente trabajo, asignamos a (a) superficie de contacto agua-aire, por unidad de volumen de torre ocupado por el relleno, el valor de las superficies de las tablas (m^2), suponiendo que es el valor más aproximado a el verdadero.

$K_{,a}$ se obtiene del dato experimental de la característica de la torre. Las variables que inciden sobre $K_{,a}$ son numerosas, y si tenemos en cuenta además que actualmente no se posee una información útil sobre cada tipo de superficie, el valor de K debe considerarse bastante empírico. (5).

Para un caudal dado de aire, el coeficiente de transferencia de masa, depende del tipo provista en la torre, que en este caso se considera una combinación de películas y gotas.

Los datos obtenidos de K , no se pueden comparar por ahora, ya que no existen valores con este mismo tipo de torre, en idénticas condiciones de trabajo.

Como antecedente de la determinación del coeficiente de transferencia de masa, existe un trabajo realizado en la Universidad de California, sobre un tipo de torre distinta, donde dan como resultado de los ensayos experimentales, valores absolutos de K en función de G (caudal del aire), encontrando que K varía como $G^{0,48}$.

Como los valores de K son aparentes, se hizo necesario aplicar la "Teoría de los errores", para poder tener así el valor más probable,

Se utilizó un método analítico, porque el método gráfico no es aconsejable para tan pocas determinaciones.

A continuación figuran los planos de la torre, detalles de la construcción figuran en los trabajos (3 y 4).

Tesis de Posgrado

Página no digitalizada

Tipo de material: Lámina

Alto: 51

Ancho: 34

Descripción: Plano A

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: 32

Descripción: Plano B

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.

Tesis de Posgrado

Página no digitalizada

Tipo de material: Lámina

Alto: 30

Ancho: 47

Descripción: Plano C

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.

Tesis de Posgrado

Página no digitalizada

Tipo de material: Lámina

Alto: 30

Ancho: 25

Descripción: Plano D

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

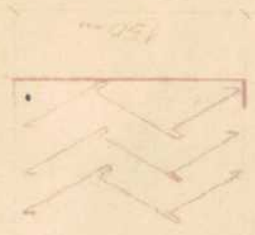
Universidad de Buenos Aires

ENTRIFIC LAMA 1000 x 1000

MARCO CHAMBA

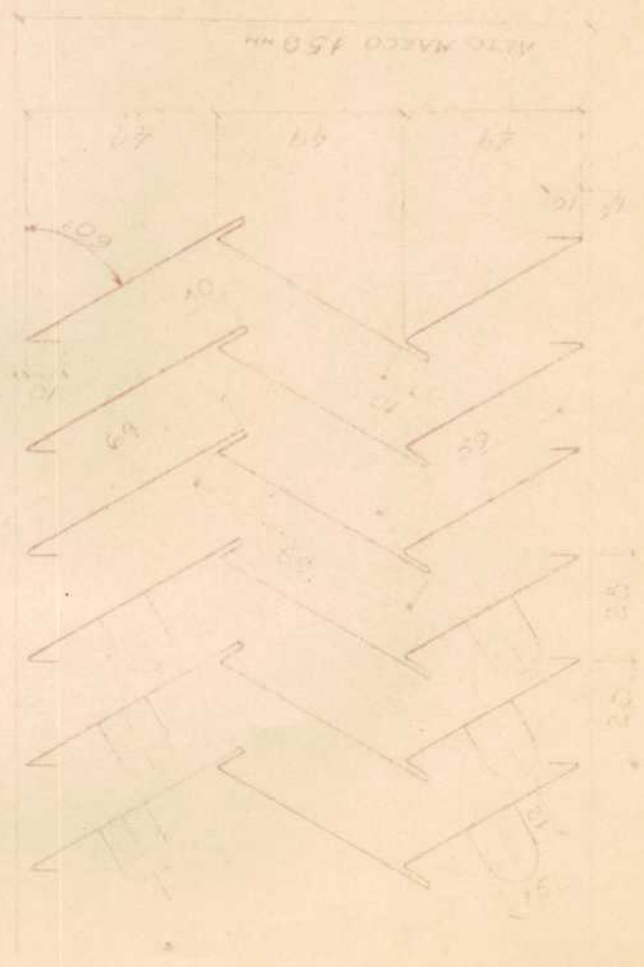


ELIMINADOR DE CUBA #28 SALVATICA



4 ENFACOS DE 20 x 150 mm

PLANCHUELA FIJADA CON REMACHE Y TORNILLO # 4/16"



ELIMINADOR de GOTAS

DETERMINACIONES PRACTICAS EFECTUADAS

Las determinaciones prácticas se realizaron en una torre de enfriamiento de tiro inducido ubicada en la fábrica ATANOR S.A. en la localidad de Munro (F.C.N.G.M.B.), es la misma que utilizaron (4) (5), pero con las mejoras propuestas en dichos trabajos y algunas que surgieron con el estudio de las distintas etapas de mediciones y controles.

Se aprovechó en lo posible la época calurosa, no trabajando la torre los días lluviosos, inclusive se trabajó feriados para no perder la continuidad y tener el mayor número posible de datos, ya que a veces fué difícil trabajar en condiciones debido a ciertas anomalías que se citan y que escapaban de nuestras posibilidades de control.

Antes de comenzar a funcionar diariamente la torre, se verificaban los siguientes detalles:

a) Subiendo por los andamios laterales, se llega a la ventana de vidrio que posee la chimenea en donde se ve a través del vidrio si gotea el agua en la termoresistencia de la temperatura de bulbo húmedo.

El goteo se standardizó a razón de 1 gota cada 20 segundos aproximadamente, para ello se regulaba la llave del recipiente que contenía el agua.

Dicho recipiente se limpiaba y cargaba con agua todos los días, porque de lo contrario existía la posibilidad de que se obstruyese el capilar con los inconvenientes del caso.

b) Abriendo la llave de salida del agua, se prueba la bomba centrífuga de desagote de la batea, cebándola por el embudo que tiene en la parte superior. Esta precaución se toma, debido a que si la bomba no trabaja bien, la batea se inunda y rebalsa.

c) Al psicrómetro de onda se le colocaba el pañito de muselina atado con hilos de algodón (previo lavado para eliminar el apresto del tejido), en el termómetro del bulbo húmedo. Las modificaciones que permitieron mejorar la exactitud de los valores obtenidos fueron hechas en los controles de temperatura, en la velocidad del aire y en el control del caudal. (

Controles de temperatura:

Aire entrada: Psicrómetro de onda

Aire salida: Pirómetro sensible-termo-resistencia (Pt.)

Agua entrada: Pirómetro sensible-termo-resistencia (Pt.)

Agua salida: Termómetro calibrado.

Control del caudal:

Manómetro calibrado.

Control de la velocidad de aire:

Anemómetro -tipo OTTO HESS calibrado para uso eje horizontal.

Una vez verificados (a), (b), (c) se procedía a poner en régimen la torre de acuerdo a la siguiente forma:

- 1º) Apretando un interruptor se pone en funcionamiento el ventilador.
- 2º) Luego se procede a abrir la llave de entrada del agua, hasta que el caudal (medido por el manómetro) sea el elegido para la determinación.
- 3º) Después de 10 minutos, tiempo considerado por la experiencia, como el de estabilización de la torre se realizan las lecturas

de bulbo húmedo, bulbo seco de la entrada del aire y temperatura de entrada del agua, con el pirómetro ubicado en el tablero de control.

- 4º) - A los 15 minutos se vuelve a comprobar el caudal de agua y se repite (3º), se mide la velocidad del aire.
- 5º) - Con el psicrómetro de onda tomamos la temperatura del aire de entrada bulbo húmedo y seco.
- 6º) - Finalmente se constata la temperatura del agua de salida.
- 7º) - Todos los datos se pasan inmediatamente a un cuaderno para su posterior cálculo.
- 8º) - De todas las observaciones hechas fueron desechadas, aquéllas cuyo caudal no se mantenía constante, al efectuar las lecturas por duplicado.

De todos los parámetros a medir, tal vez el más importante desde el punto de vista práctico, sea el de la medición del caudal. Esta afirmación se basa en el hecho, de que había momentos en que las fluctuaciones del caudal eran muy grandes.

Para estar seguro de la invariabilidad de este dato, durante el tiempo de cada determinación se controlaba visualmente el manómetro que se encuentra a un costado de la torre.

Indudablemente que de todos los caudales elegidos, el que mayor inconvenientes produjo fué el de 9000 Kg/h., ya que por razones de uso en la fábrica, fueron muchos los días en que no pudo alcanzarse dicha cifra en la entrada del agua.

Para el manejo del psicrómetro onda se requieren tomar ciertas precauciones, con el fin de obtener los datos de temperatura de una manera uniforme, además de evitar accidentes por roturas.

Todos estos detalles prácticos fueron proporcionados por el Laboratorio de Mediciones del Servicio Meteorológico Nacional.

La uniformidad en la presentación de los datos se consigue; colocando siempre el mismo tipo de tejido en la envoltura del bulbo húmedo, previa eliminación del apresto con un lavado intenso.

El operador al hacer girar el psicrómetro debe de hacerlo con el mango en posición vertical, a la sombra y a una velocidad de giro aproximada de 120 revoluciones por minuto, durante 3 minutos, así no habrá influencias de radiaciones y se reduce la probabilidad de rotura del aparato por el roce accidental, con la vestimenta del operador.

Antes de cada medición, conviene constatar que los 2 termómetros que tiene ^{el} psicrómetro estén bien fijos, pues a veces se aflojan y al entrar en revolución ocurre que se rompen. Este fenómeno se observó en dos oportunidades, pese a las precauciones tomadas.

La temperatura de bulbo húmedo tiene considerable importancia en el diseño de las torres de enfriamiento, de ahí que existan métodos standard de mediciones. (5)

El que se usó aquí es similar al que utilizan los americanos, también se conoce el método de la Standard British Meteorological llamado Stevensen Screen, pero no es recomendable, porque los valores acusan un 8% de error menor, que los encontrados con el Stan-American Method.

Algunos ingenieros fabricantes de torres utilizan para el diseño, un diagrama de frecuencias de temperaturas de bulbo húmedo.

Estas curvas se construyen con los datos promedios de la temperatura de bulbo húmedo, obtenidos diariamente durante un año, en el lugar donde se construirá la torre.

Durante la serie de determinaciones efectuadas, una sola vez hubo necesidad de limpiar el sistema de distribución del agua, para ello se sacó una ventanita de vidrio lateral y se eliminó las incrustaciones que tenían los agujeros.

También fué modificada la colocación de los platillos de chapa, que sirven para romper los chorros provenientes de los agujeros, haciéndolo coincidir justo en el medio de la caída del chorro de agua con la torre funcionando con un caudal de 7000 litros/hora.

La temperatura del agua de salida se comprobó con un termómetro calibrado A.S.T.M. al décimo de grado, para que el dato fuera correcto se medía la temperatura al final de cada operación, de esta manera la bomba de desagote alcanzaba a eliminar bien toda el agua que pudiese quedar en el fondo de la batea proveniente de la determinación anterior.

Con un recipiente de capacidad de 2 litros, se tomaba una muestra representativa de toda la masa de agua de la batea, previa agitación con el mismo e inmediatamente se leía la temperatura.

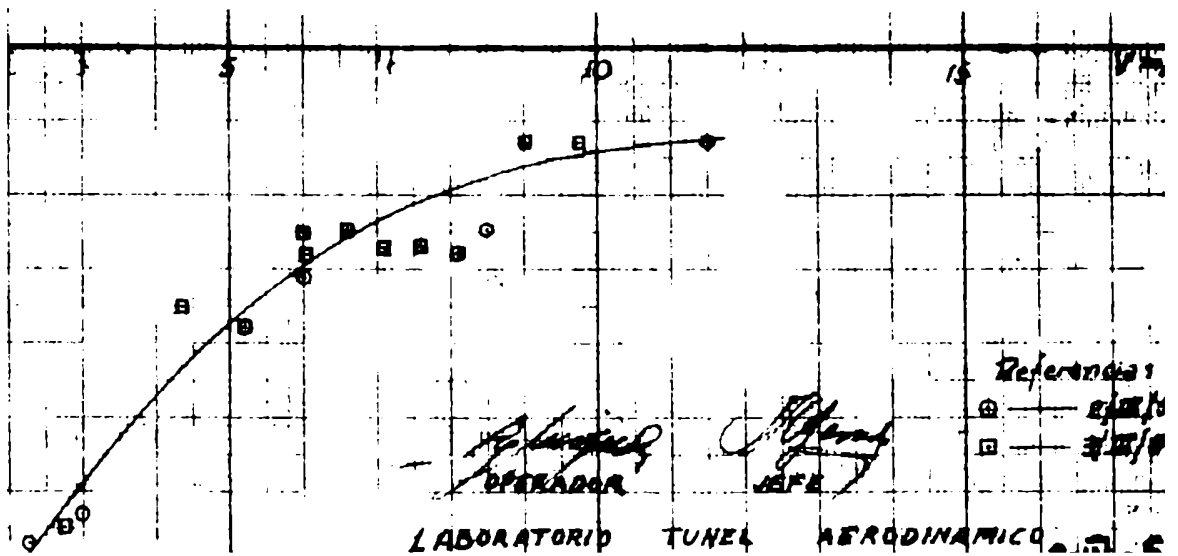
Con respecto al relleno se utilizó la disposición denominada "B" en los trabajos (4) (3) en donde además puede apreciarse detalladamente el diseño de la torre.

Finalmente cabe destacar que fué necesario realizar la corrección del nuevo anemómetro instalado para medir la velocidad del aire, para su uso en posición horizontal, tarea que estuvo a cargo de técnicos del Servicio Meteorológico Nacional, en el Laboratorio de Tunnel Aerodinámico, único existente en el país y recientemente instalado.

En la página siguiente se encuentra el diagrama de error utilizado, cuyo dato sirve para calcular el caudal de aire en cada determinación.

Diagrama de Errores

Anemómetro Otto Hess N°25 Contraste 2021
. Eje en posición horizontal.



Tesis de Posgrado

Página no digitalizada

Tipo de material: Tabla

Alto: 24

Ancho: 46

Descripción: (Sin 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: Tabla

Alto: 24

Ancho: 46

Descripción: (Sin 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: Tabla

Alto: 24

Ancho: 46

Descripción: (Sin 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: Tabla

Alto: 24

Ancho: 46

Descripción: (Sin 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: Tabla

Alto: 24

Ancho: 46

Descripción: (Sin 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

DISCUSION Y EJECUCION DEL CALCULO DEL COEFICIENTE
DE TRANSFERENCIA DE MASA

NOMENCLATURA USADA PARA LOS CALCULOSUNIDADES

L = Caudal del agua que circula por la torre	Kg./h.
a = Superficie de contacto agua-aire, por unidad de volumen de torre ocupada por el relleno.	m^2/m^3
V = Volumen ocupado por el relleno	m^3
K = Coeficiente de transmisión de masa.	Kg./h.m ²
G = Caudal de aire que circula por la torre	Kg./h.
X_1 = Humedad absoluta del aire a la salida de la torre	Kg (agua)/Kg. aire
X_2 = Humedad absoluta del aire a la entrada de la torre.	Kg (agua)/Kg. aire
i'' = Entalpía del aire saturado de humedad en contacto con el agua a la temperatura de ésta.	Cal/Kg.
i = Entalpía de la masa de aire, a su temperatura	Cal/Kg.
dV = Diferencial volumen comprendido entre 2 secciones infinitamente próximas.	
dt = Diferencia en la temperatura del agua entre 2 secciones infinitamente próximas.	
$v.$ = Velocidad media de la corriente gaseosa en la chimenea.	m/h.
S = Sección transversal de la chimenea en	m^2
γ = Peso específico del aire saliente en	Kg/m ³
X_{i1} = Humedad absoluta del aire saturado en la superficie de contacto con el agua a la temperatura de ésta en la entrada.	Kg (agua)/Kg. aire
X_{i2} = Humedad absoluta del aire saturado en la superficie de contacto con el agua a la temperatura de ésta en la salida.	Kg (aire)/Kg. aire)
$th.$ = Temperatura de bulbo húmedo	°C.
$ts.$ = Temperatura de bulbo seco.	°C.
$We.$ = Temperatura de entrada del agua.	°C.
$Ws.$ = Temperatura de salida del agua.	°C.

DEFINICIONES Y FORMULAS USADAS EN EL CALCULO ESTADISTICO
DE LOS VALORES

N = Número de determinaciones efectuadas.

D.F. = Grados de libertad.

x = Determinación Individual.

\bar{X} = Valor promedio

S^2 = Variancia o Cuadrado de las desviaciones standard.

S = Desviación standard o raíz cuadrada de la variancia.

$$S^2 = \frac{(x_1 - \bar{X})^2 + (x_2 - \bar{X})^2 + \dots + (x_n - \bar{X})^2}{N - 1} = \frac{\sum (x - \bar{X})^2}{N - 1}$$

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{N} = \frac{\sum x}{N}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

Frecuentemente el valor de la desviación standard es expresado en unidades absolutas, sin embargo también se puede dar como valor relativo, usando la siguiente fórmula:

$$S\% = \frac{S \cdot 100}{\bar{X}}$$

Esta aclaración de las definiciones y fórmulas es necesaria porque en el estudio de las estadísticas existe una tendencia un poco confusa de expresar lo mismo de diversas maneras, de ahí que antes de efectuar el planteo a una serie de valores dados conviene puntualizar que método se va a utilizar (7)

DISCUSION DEL CALCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE MASA

No se puede formular ninguna comparación o estudio, si a los valores empíricos del coeficiente de transferencia de masa, obtenidos, no se aplica un criterio matemático, lógico, que permita obtener el valor más reproducible.

Ya hemos dicho que el coeficiente de transferencia de masa, depende de muchos factores que aumentan la inseguridad en el cálculo.

Cuando se busca extraer el máximo posible de información de los resultados experimentales de que se dispone, existen métodos estadísticos que permiten llegar a ese resultado. (8) (9)

En este trabajo se usó el llamado método analítico, que a continuación se describe con algunas nociones elementales para su mayor comprensión en su aplicación práctica.

PRECISION DE LOS DATOS OBTENIDOS UTILIZANDO METODOS ESTADISTICOS.

Se llama "población", a un conjunto tal de valores que son las estimaciones hechas por un mismo ^{método del mismo} valor verdadero. Se puede trazar una curva de las frecuencias de x ; para ello se representan en las abscisas los valores experimentales x , y en ordenadas las frecuencias, es decir el número de veces que los valores experimentales se presentan en el intervalo de la medición.

Si los valores experimentales corresponden a lo que se llama "distribución" "normal", caso que se encuentra a menudo en la práctica, al menos en una forma aproximada, se obtendrá una curva conocida por el nombre de curva de Gauss (Figura 1).

La frecuencia es máxima para el valor $x = \mu$, y decrece simétricamente a uno y otro lado; el verdadero valor de μ es entonces la media aritmética de todos los valores hallados. La curva presenta

dos puntos de inflexión. La distancia horizontal que los separa del valor promedio de μ mide lo que se llama la desviación standard. (en el gráfico la llamamos σ).

Este valor caracteriza la dispersión de las mediciones, o mejor la Precisión del método; cuanto más pequeño es σ , más preciso es el método.

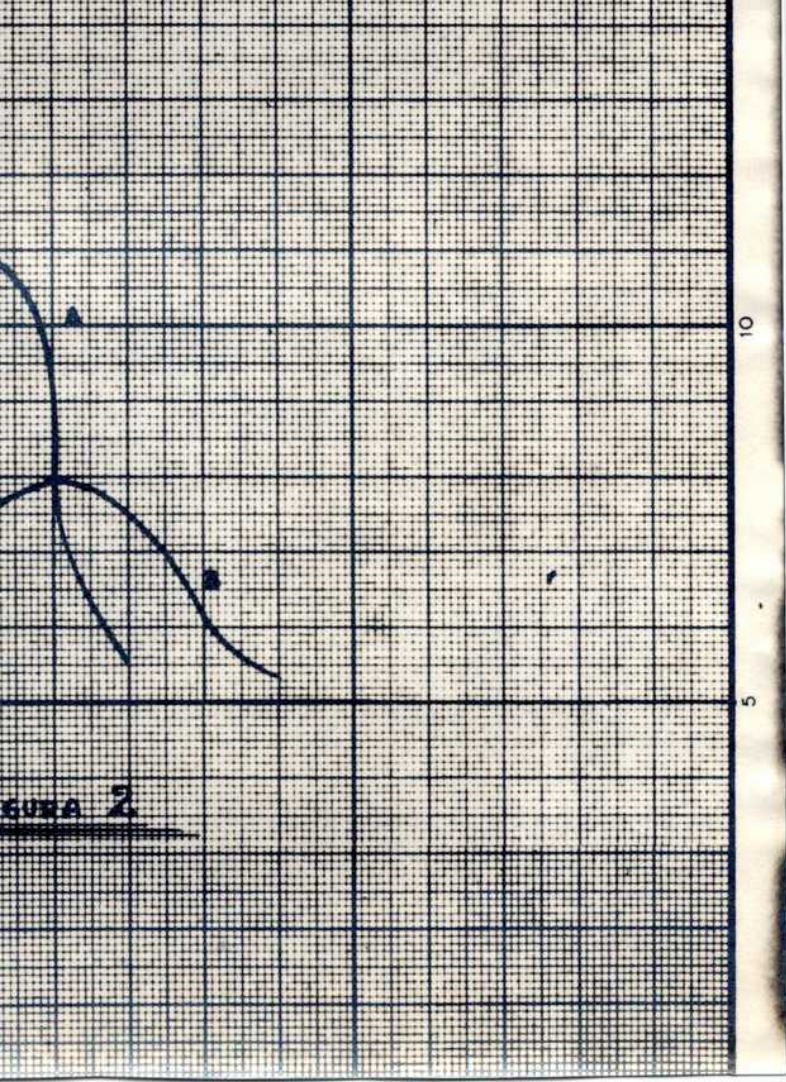
Cualquiera sea la distribución media que se considere, hay alrededor de un 30% de datos que tienen un comportamiento $e = (x - \mu)$, superior a σ , un 5% superior a 2σ , y un 0,3% superior a 3σ . Un comportamiento mayor a 2σ puede considerarse como muy poco probable.

Si se pudiera efectivamente realizar un número infinito de mediciones y por lo tanto conocer μ , se podrían definir así los intervalos de confianza, para toda medición x_1 . Existe 95% de probabilidades, para que $x_1 - 2\sigma < \mu < x_1 + 2\sigma$ y 99,7% de probabilidad para que $x_1 - 3\sigma < \mu < x_1 + 3\sigma$.

La figura (2) muestra comparativamente, cual sería la repartición de resultados con un método de medición preciso (σ pequeño) o menos preciso (σ grande).

Valores estimados del promedio y de la desviación.

En la práctica nunca se hace, sino un número finito de mediciones N , con ayuda de esos N resultados se puede calcular su promedio, $\bar{x} = \sum x/N$. Esto es: que con la información de que se dispone, \bar{x} es la mejor estimación posible del verdadero valor μ . Los datos obtenidos del coeficiente de transferencia de masa son aparentes, si hubiese existido una teoría que determinara K , entonces sí conoceríamos el verdadero valor.



Por otra parte, la mejor estimación posible de la desviación standard (C en la figura 1) esta dada por:

$$s = \sqrt{\frac{\sum(\bar{x}-x)^2}{N-1}}$$

Grados de libertad.

Se puede decir que el número de grados de libertad es el número de elementos, de que se dispone para evaluar la dispersión de un conjunto de resultados. Por ejemplo, si se hace una única medición de una magnitud, no hay ninguna probabilidad de apreciar la precisión de la medida, el número de grados de libertad es nulo. Con dos mediciones se tiene un elemento de apreciación y en consecuencia un grado de libertad, considerando su diferencia.

Con N mediciones de la misma magnitud, puede decirse que una medición es necesaria para tener una idea del valor verdadero y que N-1 mediciones sirven para estimar la dispersión, es decir N-1 grados de libertad.

Desviación standard estimada sobre el promedio.

Si se hace un gran número de mediciones de \bar{x} , los valores de \bar{x} se agrupan alrededor del verdadero valor de μ , según una nueva curva de Gauss, cuya desviación standard es

$$S_{\bar{x}} \text{ desv.st. de } \bar{x} = \frac{s}{\sqrt{N}} = \sqrt{\frac{\sum \epsilon^2}{N(N-1)}}$$

Es muy importante tener bien en cuenta el hecho, de que los resultados precedentes no son válidos, sino cuando las N mediciones utilizadas han sido tomadas al azar entre las infinitas mediciones posibles, es decir que todas las causas de error han sido puestas en acción independiente unas de las otras.

CALCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE MASA

Se determinó la característica de la torre, para caudal en base a la fórmula de la página (2)

$$\frac{K.a.V}{L} = \frac{G.(X_1 - X_2)}{L x_m}$$

siendo x_m la media aritmética de la diferencia de potencial de humedades absolutas.

Luego se multiplicó este valor por L/V (distinto para cada caudal) siendo:

V Volumen de la torre ocupado por el relleno 3,254 m³

L Caudal del agua.

Así determinamos K.a, y dividiendo por a superficie de contacto agua/aire por unidad de volumen de torre ocupada por el relleno, obtenemos K.

Cálculo de S (Superficie de relleno)

Cada bandeja contiene 34 chapas de fibrocemento de 1,05 m. de largo por 0,28 m de ancho, y como la torre tiene 4 bandejas, S será igual a:

$$S = 1,05 \cdot 0,28 \cdot 34 \cdot 4 = 79,97 \text{ m}^2$$

Cálculo de a

$$a = \frac{S}{V}$$

$$a = \frac{79,97}{3,25}$$

$$a = 24,6 \text{ m}^2/\text{m}^3.$$

Valores obtenidos prácticamente trabajando la torre con un caudal de 5000 l./h.

<u>K</u>			
<u>Determinacion</u>	<u>Valor</u>	<u>(x-\bar{x})</u>	<u>(x-\bar{x})²</u>
1	105,0	5,97	35,64
2	103,6	3,97	15,76
3	95,6	3,43	2,65
4	97,4	1,63	0,94
5	100,0	0,97	2,16
6	100,5	1,47	61,30
7	91,2	7,83	81,54
8	90,0	9,03	1,06
9	98,0	1,03	4,97
10	96,8	2,23	34,45
11	104,9	5,87	27,77
12	104,3	5,27	8,58
13	96,1	2,93	4,97
14	96,8	2,23	91,58
15	108,6	9,57	1,06
16	98,0	1,03	4,97
17	96,8	2,23	11,76
	1.683,60		391,16

N = 17

D.F. = 16

\bar{x} = 99,03

$s^2 = \frac{391,16}{16} = 24,44$

s = ±4,9

K = 99,03 ± 4,9

<u>K a V</u>			
	<u>L</u>	<u>CARACTERISTICA</u>	
1	1,68	0,10	0,010
2	1,66	0,08	0,006
3	1,53	0,05	0,002
4	1,56	0,02	0,000
5	1,60	0,02	0,000
6	1,61	0,08	0,001
7	1,46	0,12	0,014
8	1,44	0,14	0,020
9	1,57	0,01	0,000
10	1,55	0,03	0,000
11	1,68	0,10	0,010
12	1,67	0,09	0,009
13	1,54	0,04	0,002
14	1,55	0,03	0,001
15	1,74	0,16	0,026
16	1,57	0,01	0,000
17	1,55	0,03	0,001
	26,96		0,102

$\bar{x} = 1,58$

$s^2 = \frac{0,102}{16} = 0,006$

s = ± 0,07

$\bar{x} = 1,58 \pm 0,07$

Valores obtenidos prácticamente trabajando la torre con un caudal de 6000 l./h.-

<u>Determinacion</u>	<u>Valor</u>	<u>(x-X)</u>	<u>(x-X)²</u>	
1	118,4	11,1	123	
2	117,0	9,7	94	
3	119,1	11,8	139	N = 16
4	99,0	8,3	69	D.F. = 15
5	96,0	11,3	127	K = 107,3
6	102,7	4,6	21	
7	100,4	6,9	49	
8	86,2	21,1	445	
9	102,7	4,6	21	
10	104,2	3,1	9	S ² = $\frac{1.303}{15}$ 86,86
11	105,0	2,3	5	
12	110,2	2,7	6	
13	112,4	5,1	25	S = ± 9,3
14	112,4	5,1	25	
15	118,4	11,1	25	
16	112,4	5,1	25	
17				
	<u>1.716,5</u>		<u>1.303</u>	<u>K = 107,3 ± 9,3</u>

Característica

1	1,58	0,10	0,01	
2	1,56	0,08	0,006	
3	1,59	0,11	0,012	K, \bar{i} = 1,48
4	1,32	0,16	0,025	
5	1,28	0,20	0,04	S ² = $\frac{0,300}{17}$ 0,01
6	1,37	0,11	0,012	
7	1,34	0,14	0,019	
8	1,34	0,14	0,019	
9	1,39	0,09	0,009	S = ± 0,1
10	1,40	0,08	0,006	
11	1,47	0,01	0,000	
12	1,50	0,02	0,000	
13	1,69	0,21	0,041	
14	1,70	0,22	0,05	
15	1,69	0,21	0,041	
16	1,50	0,02	0,000	
17	1,58	0,10	0,01	
17	1,50	0,02	0,000	
	<u>26,80</u>		<u>0,300</u>	<u>i = 1,48 ± 0,01</u>

Valores obtenidos prácticamente trabajando la torre con un caudal de 7000 l./h.

K

<u>Determinación</u>	<u>Valor</u>	<u>(x-\bar{x})</u>	<u>(x-\bar{x})²</u>	
1	120,6	4,05	16,40	
2	118,9	2,35	5,52	
3	105,8	9,70	94,09	N = 17
4	128,5	11,95	142,8	D.F. = 16
4	114,5	2,05	4,2	
6	112,5	4,05	16,4	$\bar{K} = 116,55$
7	118,9	2,35	5,52	
8	111,0	5,55	30,8	
9	116,4	1,15	1,32	$s^2 = \frac{658,3}{16} = 41,12$
10	111,0	5,55	30,8	
11	113,7	2,85	8,12	
12	112,8	3,75	14,06	
13	117,1	0,55	3,02	S = $\pm 6,41$
14	129,3	12,75	162,56	
15	125,9	9,35	87,42	
16	114,5	2,05	4,20	
17	111,0	5,55	30,8	$K \pm 116,55 \pm 6,41$
	<u>1.981,4</u>		<u>658,03</u>	

CARACTERÍSTICAS

1	1,38	0,05	0,0025	
2	1,36	0,03	0,0009	
3	1,21	0,12	0,0144	$\bar{i} = 1,33$
4	1,47	0,14	0,0196	
5	1,31	0,02	0,0004	
6	1,29	0,04	0,0016	$s^2 = \frac{0,0854}{16} = 0,005$
7	1,36	0,03	0,0009	
8	1,27	0,06	0,0036	
9	1,32	0,01	0,0001	
10	1,27	0,06	0,0036	S = $\pm 0,07$
11	1,30	0,03	0,0009	
12	1,29	0,04	0,0016	
13	1,34	0,01	0,0001	
14	1,48	0,15	0,0225	$i = 1,33 \pm 0,07$
15	1,44	0,11	0,0121	
16	1,31	0,02	0,0004	
17	1,27	0,06	0,0036	
	<u>22,67</u>		<u>0,0854</u>	

Valores obtenidos prácticamente trabajando la torre con un caudal de 800 l./h.

<u>K</u>			
<u>Determinación</u>	<u>Valor</u>	<u>(x-\bar{x})</u>	<u>(x-\bar{x})²</u>
1	132	10	100
2	119	3	9
3	26	4	16
4	122	-	-
5	117	5	25
6	109	13	169
7	110	12	144
8	129	7	49
9	109	13	169
10	118	4	16
11	116	6	36
12	113	9	81
13	118	4	16
14	137	15	225
15	140	18	324
16	133	11	121
17	129	7	49
	2.077		1.450

N = 17
D.F. = 16
 \bar{K} = 122

$s^2 = \frac{1450}{16} = 90$
s = 9,5

K = 122 ± 9,5

CARACTERISTICA

1	1,32	0,10	0,0100
2	1,19	0,03	0,0009
3	1,26	0,04	0,0016
4	1,22	--	---
5	1,17	0,05	0,0025
6	1,09	0,13	0,0169
7	1,10	0,12	0,0144
8	1,29	0,07	0,0049
9	1,09	0,13	0,0169
10	1,18	0,04	0,0016
11	1,16	0,06	0,0036
12	1,13	0,09	0,0081
13	1,18	0,04	0,0016
14	1,37	0,15	0,0225
15	1,40	0,18	0,0324
16	1,33	0,11	0,0121
17	1,29	0,07	0,0049
	20,77		0,1450

$\bar{i} = 1,22$
 $s^2 = 0,009$
s = 0,09

i = 1,22 ± 0,09

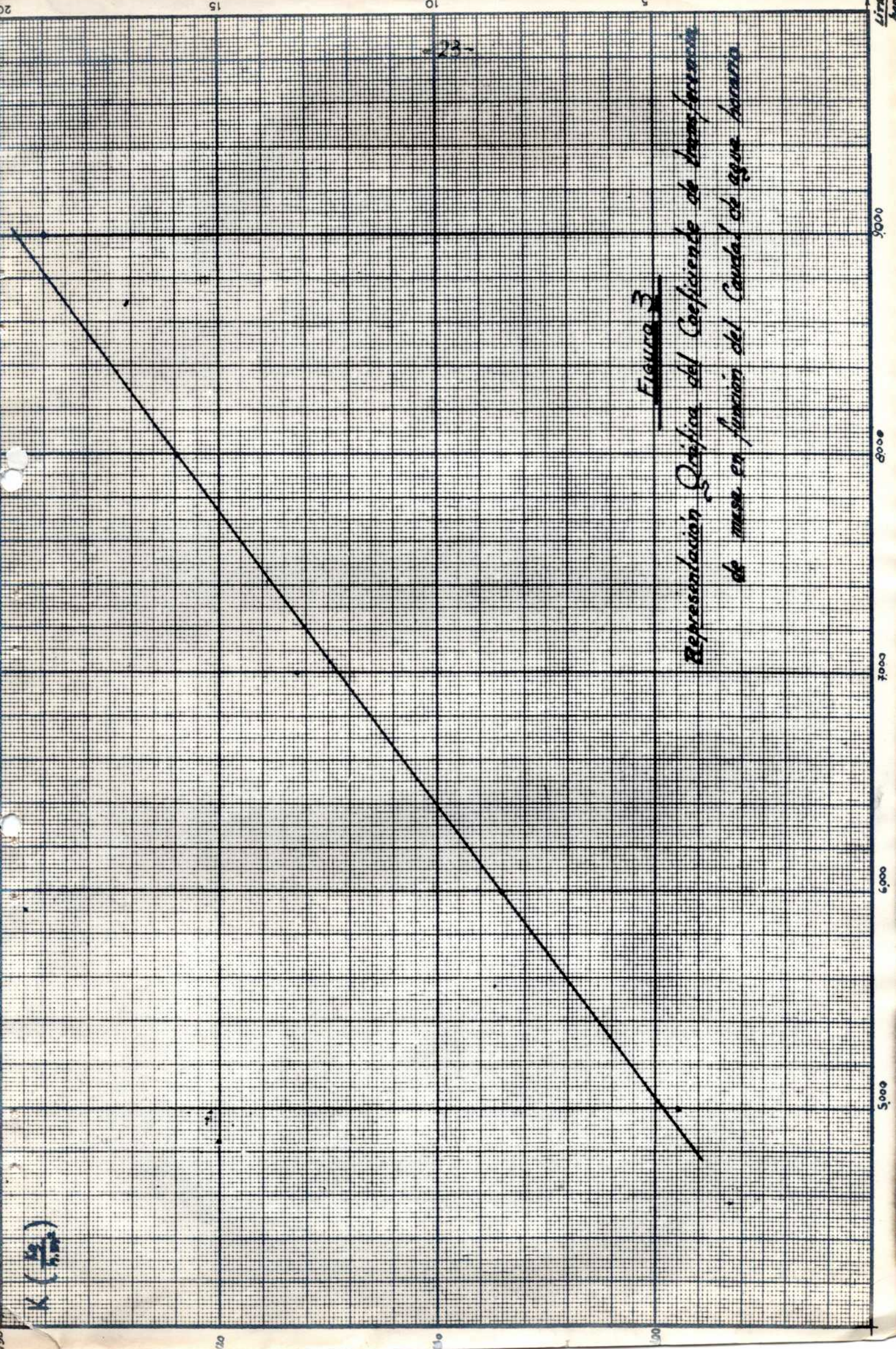
Valores obtenidos prácticamente trabajando la torre con un caudal de 9000 l./h.

<u>Determinación</u>	<u>Valor</u>	<u>(x-\bar{x})</u>	<u>(x-\bar{x})²</u>	
1	120,3	7,81	60,99	
2	131,5	3,39	11,49	
3	144,0	15,89	252,49	N = 19
4	115,8	12,31	151,53	
5	114,7	13,41	179,82	D.F. = 18
6	124,8	3,31	10,95	
7	112,4	15,71	246,80	
8	118,0	10,11	102,21	$\bar{K} = 128,11$
9	113,5	14,61	213,45	
10	118,0	10,11	102,21	
11	131,5	3,39	11,49	$s^2 = 124,35$
12	142,7	14,59	212,86	
13	140,5	12,39	153,51	
14	140,5	12,39	153,51	$s = \pm 11$
15	143,9	15,79	249,32	
16	138,3	10,19	103,83	
17	128,9	3,39	11,49	
18	131,5	0,01	0,5	$K = 128,1 \pm 11$
19	127,4	3,21	10,30	
	<hr/>	<hr/>	<hr/>	
	2.434,2		2.238,30	

CARACTERISTICA

1	1,07	0,06	0,0036	
2	1,17	0,04	0,0016	
3	1,28	0,15	0,0225	$\bar{i} = 1,13$
4	1,03	0,10	0,0100	
5	1,02	0,11	0,0121	
6	1,11	0,02	0,0004	$s^2 = 0,01$
7	1,00	0,13	0,0169	
8	1,05	0,08	0,0064	$s = \pm 0,1$
9	1,01	0,12	0,0144	
10	1,05	0,08	0,0064	
11	1,17	0,04	0,0016	
12	1,27	0,14	0,0196	
13	1,26	0,13	0,0169	$i = 1,13 \pm 0,1$
14	1,25	0,12	0,0144	
15	1,28	0,15	0,0225	
16	1,23	0,10	0,0100	
17	1,11	0,02	0,0004	
18	1,16	0,03	0,0009	
18	1,09	0,04	0,0016	
	<hr/>	<hr/>	<hr/>	
	21,61		0,1822	

$K \left(\frac{m^3}{s} \right)$



23-

Figura 3

Representación Gráfica del Coeficiente de transformación de masa en función del Caudal de agua bruta

Líneas
Azules

3000

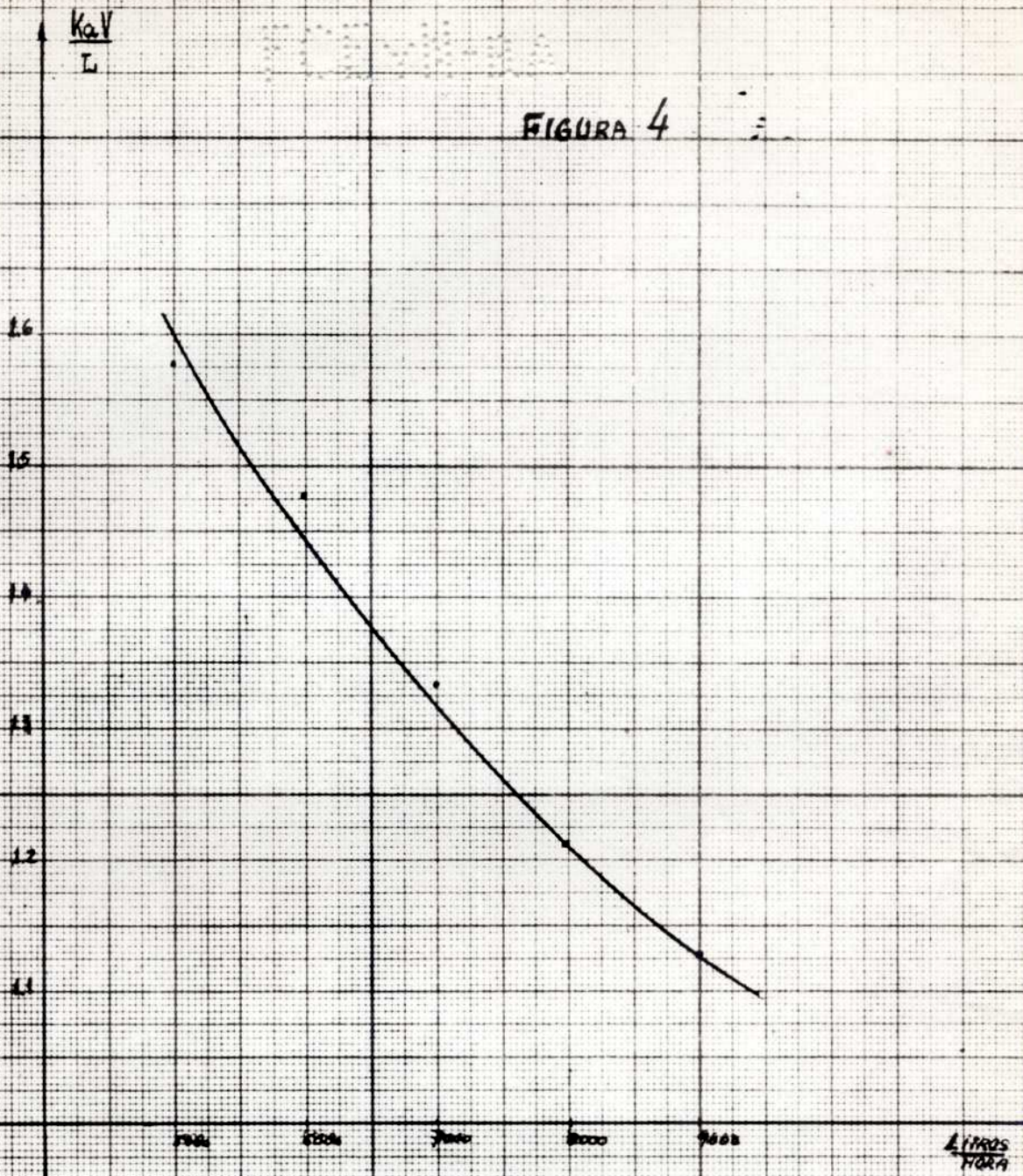
6000

9000

3000

6000

9000



Representación Gráfica de la Característica de la Torre
en función del Caudal.

DISCUSION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100

En realidad nunca se acostumbra, a determinar solamente el coeficiente de transferencia de masa, sino el producto K_a que los ingleses denominan coeficiente de transferencia de volumen.

Los gráficos obtenidos con los datos experimentales, dan una idea general del trabajo realizado, que permite llegar a las siguientes conclusiones:

- a) Los valores del coeficiente de transferencia de masa en función del caudal de agua horario, resulta ser una función lineal eficiente. (Figura 3), similar a la experiencia realizada en la Universidad de California, con una torre de tiro forzado (12).
- b) La curva obtenida con los valores de la característica disponible en función del caudal de agua horario, demuestra lo previsto en la teoría ya que al aumentar el caudal disminuye la característica dando un gráfico representado en la figura 4.
- c) En las planillas de cálculos puede observarse que la discrepancia porcentual entre G_{41} y L_{41} apenas es superior al 10%. En cuanto al grado de enfriamiento, vemos que al aumentar el caudal disminuye, siendo muy similares los datos obtenidos a (6).

Handwritten signature

Handwritten signature

BIBLIOGRAFIA:

- 1 - José M. Bados. Torres de enfriamiento - Centro Estudiantes de Ingeniería
- 2 - Linchtenstein J.-"Performance and selection of mechanically draft cooling Towers" AFME - Trans. 1943.
- 3 - Torre H.- "Sobre ensayo de una torre de enfriamiento y discusión de los resultados obtenidos". Tesis para optar al título de Dr. en Química-F.C.E.y N.-Universidad de Bs.As. 1958.
- 4 - Zimmerman L.- "Sobre construcción de una torre de enfriamiento y determinación de su característica disponible". Tesis para optar al título de Dr. en Química F.C. E.y N. Universidad de Bs.As. 1958.
- 5 - Jackson J.- Cooling Towers. "With special reference to mechanical-draugh systems.- Published by Butterworths Scientific Publications. Año 1951.
- 6 - Ravera A.J.- Determinación de la característica disponible de una torre de enfriamiento y cálculo de coeficiente de transferencia de calor por convección. Tesis para optar al título de Doctor en Química.- F.C.E. y N.- Universidad de Buenos Aires. 1959.
- 7 - Martorell R. Teoría de los errores de observación. 1945.
- 8 - Youden W.J.- Statistical Methods for Chemists. Wiley, New York, 1951.
- 9 - TID- 7015 (section) United States Atomic Energy Commission. Technical Information Service Extension, Oak Ridge Tennessee.
- 10 - De Flon J.- Cooling Towers Studies. District Engineer for The Fluor Corporation, Ltd. February 8, 1950.
- 11.- De Flon J. -Cooling Towers Maintenance. District Engineer for the Fluor Corporation, Ltd. May, 1948.
- 12.- Niederman H., Howe L. Longwell J. Seban R. y Boelter L. "Performance characteristics of a forced draft counterflow, spray cooling towers" H.P. y A.C. 1941.