

Tesis de Posgrado

Sobre construcción de una torre de enfriamiento y determinación de su característica disponible

Zimmermann, Leonardo Lionel

1958

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:

Zimmermann, Leonardo Lionel. (1958). Sobre construcción de una torre de enfriamiento y determinación de su característica disponible. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.
http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_0964_Zimmermann.pdf

Cita tipo Chicago:

Zimmermann, Leonardo Lionel. "Sobre construcción de una torre de enfriamiento y determinación de su característica disponible". Tesis de Doctor. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 1958.
http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_0964_Zimmermann.pdf

EXACTAS UBA

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales



UBA

Universidad de Buenos Aires

~~-UNIVERSIDAD D BUENOS AIRES-~~

~~-FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES-~~

Sobre construcción de una torre de enfriamiento
y determinación de su característica disponible.

Tesis presentada por Leonardo Lionel Zimmermann
para optar al título de Doctor en Química.

Orientación: Química Tecnológica

TESIS: 964

-- BUENOS AIRES --

-- 1958 --

1 19 3

RESUMEN DE TESIS: CONSTRUCCION DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO Y DETERMINACION DE SU CARACTERISTICA DISPONIBLE.

La tesis consta de cuatro puntos, que son los siguientes:

- 1) Introducción teórica.
- 2) Descripción de la torre.
- 3) Parte experimental.
- 4) Discusión de los resultados.

El primer punto se detalla sencillamente y sirve para dar una base o introducción al trabajo práctico. Se explica el uso y la importancia de las torres de enfriamiento en la industria, así como las causas del efecto de enfriamiento, que son dos y generalmente superpuestas: por transmisión de calor del agua al aire, y por evaporación parcial de aquella. Se da a continuación una breve noción de psicrometría, se define lo que se entiende por humedad absoluta del aire y por grado de saturación o humedad relativa del aire. Luego la teoría de temperaturas de bulbo seco y de bulbo húmedo, el uso de los psicrómetros honda y la interpretación de los resultados por medio de un diagrama psicrométrico, y finalmente a que se llama punto de rocío.

A continuación se da la forma en que puede producirse la transmisión de calor y cual es la forma que reviste mayor importancia para el estudio de las torres de enfriamiento.

Siguiendo el tema se da una reseña de los tipos de enfriadores y su clasificación en dos grandes grupos, (las fuentes y las torres de enfriamiento) así como ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos en sus distintos tipos, especialmente en lo que se refiere a torres atmosféricas y mecánicas.

Se especifica a que se llama grado de enfriamiento y a que aproximación a la temperatura de bulbo húmedo.

Luego entrando en el problema se hace un planteo con las distintas hipótesis, y se da la relación fundamental del balance energético ////

//////

CONFIDENTIAL

entre la cantidad de calor que pierde el agua al enfriarse y el incremento correspondiente de la entalpía del aire.

Mas adelante se dá el metodo a seguir para el cálculo de la magnitud $\frac{K.E.V}{L}$ de acuerdo a lo propuesto por Lichtenstein, y que hemos denominado "característica disponible", este calculo se realiza facilmente con los datos obtenidos en la práctica y con la ayuda del diagrama psicrométrico.

El segundo punto detalla la construcción de la torre, la que se puede dividir en tres secciones, que son, batea, cuerpo y chimenea, se explica detalladamente las partes constitutivas de cada una de ellas como asimismo los aparatos usados en las mediciones de temperaturas y para la velocidad del aire.

El tercer punto describe la parte experimental, el número de determinaciones y los tipos de distribución de relleno que se han usado, así como el caudal de aire que se mantuvo constante a lo largo de todo el trabajo, y los caudales de agua que fueron 10.000, 7.850 y 6.250 litros/hora. Se adjuntan tablas con todos los valores obtenidos para cada caudal y los cálculos efectuados para hallar la característica disponible, el balance energético y el porcentaje que representa la diferencia.

Se añaden a continuación fotos sobre temas y detalles de la torre con leyendas explicativas para cada una de ellas.

También se pueden ver ilustraciones detalladas del ventilador, del motor y del eliminador de gota, corte de la torre y el corte en perspectiva de la misma.

En el cuarto y último punto se hace una breve discusión de los resultados obtenidos, conclusiones a que se puede llegar y por último mejoras aconsejables para una mayor exactitud de los resultados.

Quedo muy agradecido al Ingeniero José
María Bados, bajo cuya dirección fué
realizado el presente trabajo.

Asimismo quiero testimoniar mi agradecimiento a la firma Atanor S.A. mixta por la gran ayuda que he recibido de ésta.

A las casas que han colaborado con la construcción de la torre por medio de amables donaciones, muy agradecido.

Industrias técnicas Aire.

Compañía Sudamericana de Bombas S.A.

Alba S.A.

Armco Argentina S.A. Ind y Com.

Siam Di Tella Ltda.

S.K.F. S.A.

Eternit Argentina S.A. Cía Ind y Com.

Este trabajo constará de cuatro puntos, a saber:

1) Introducción teórica.

2) Descripción de la torre.

3) Parte experimental.

4) Discusión de los resultados.

INTRODUCCION

Introducción Teórica.

El problema del enfriamiento del agua mediante torres presenta una importancia creciente con el correr del tiempo, a medida que se perfeccionan las operaciones y los procesos industriales, ya sea desde el punto de vista técnico o económico.-

El estudio teórico es complicado debido a la gran cantidad de variables que aparecen en el problema, así como por la imposibilidad de prescindir de coeficientes cuyos valores sólo la experimentación puede suministrar.-

En este trabajo se resume inicialmente las nociones de psicrometría, difusión y transmisión del calor necesarias para la comprensión de las teorías de funcionamiento de torres.-

Además, el conocimiento de los fenómenos físicos que se producen es de fundamental importancia tanto para los que deban proyectar dichas torres como para aquellos que estarán a cargo de ellas.-

Humedad Absoluta, relativa y grado higrométrico.-

En el estudio físico del aire húmedo, se considera a éste como una mezcla de los gases perfectos aire y vapor de agua, prescindiendo de los demás componentes, por ser su influencia despreciable.-

El agua sólo puede mezclarse con el aire en cantidades limitadas; su presión parcial no puede superar a la que corresponde al vapor saturado a la misma temperatura. Si se agrega vapor en estas condiciones a la mezcla, precipitará éste en estado líquido.-

Se llama humedad absoluta del aire, (X) a la cantidad de agua en peso que hay en la unidad de peso de aire seco.-

La aplicación de las leyes de Dalton y de Avogadro permite obtener X como función de las presiones total P_t y parcial del ///

vapor en la mezcla, P_w :

$$X = \frac{18}{29} \frac{P_w}{P_T - P_w} = 0,622 \frac{P_w}{P_T - P_w}$$

Si el aire está saturado de humedad, se obtiene expresión.-

$$X_s = 0,622 \frac{p_{ws}}{P_t - p_{ws}}$$

donde P_{ws} es función únicamente de la temperatura del sistema, siendo por lo tanto también X_s .

Se llama grado de saturación o humedad relativa del aire a la relación

$$\varphi = \frac{X}{X_s}$$

ocionde entre la cantidad en peso de vapor de agua que tiene el aire en un estado determinado, y la que tendría si estuviera saturado a la misma temperatura.-

Temperaturas de bulbo seco y húmedo.-

Sea dos termómetros comunes, y envuelto el bulbo de uno de ellos en un paño mojado con agua. Si se agita, se producirá la evaporación del agua del paño, siempre, que el aire del ambiente no esté saturado de humedad.-

La temperatura que indica ese termómetro, llamada de bulbo húmedo, va disminuyendo a medida que transcurre el tiempo, hasta que más o menos al minuto de agitación, queda fija en un valor menor al inicial, la lectura del termómetro de bulbo seco permanece invariable.-

El equilibrio se debe a dos causas incidentes, evaporación y transmisión del calor, que producen distintos efectos: enfriamiento y calentamiento, respectivamente.-

Para producirse la evaporación del agua del paño, esta debe /

recibir una cierta cantidad de calor del medio adyacente, o sea del aire y del bulbo del termómetro: la lectura de éste deberá por lo tanto disminuir.-

Pero desde que comienza esa disminución de temperatura, como la del bulbo seco permanece constante, habrá transmisión de calor de aire al bulbo, la que tendrá a calentarlo.-

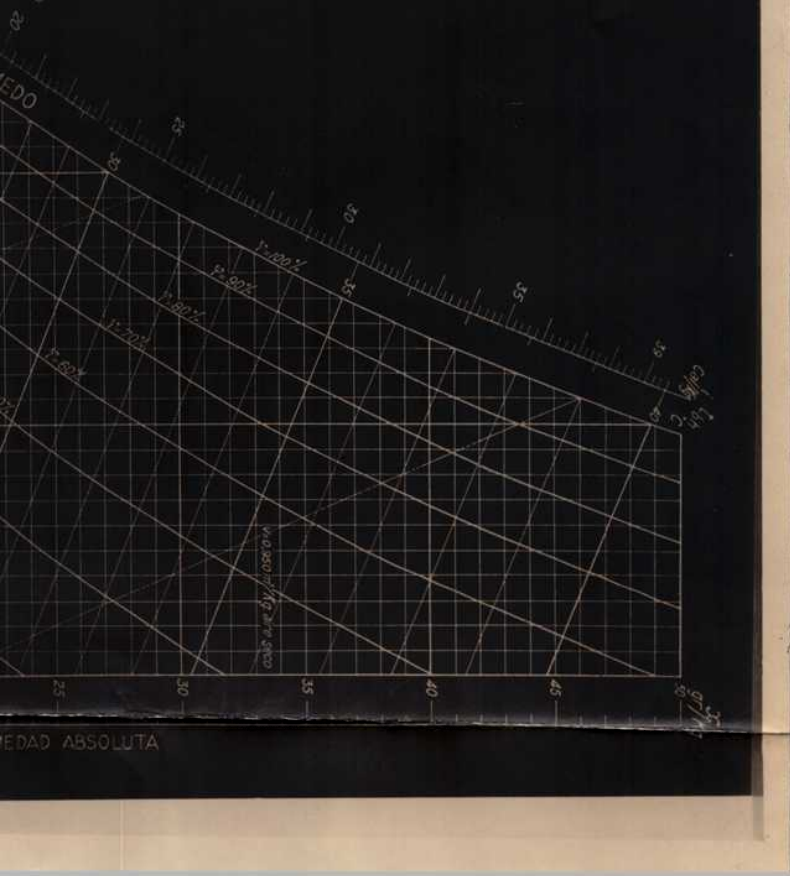
A la indicación del termómetro con el paño húmedo que se obtiene por efecto del equilibrio a que se llega en un instante dado por las razones citadas, se denomina, temperatura de bulbo húmedo (t_{bh}).-

Lógicamente esta indicación de equilibrio dinámico depende de la temperatura t_a de bulbo seco del aire y de su humedad relativa:

$$t_{bh} = f(t_a, f)$$

Causas de enfriamiento: El efecto de enfriamiento en las torres se obtiene por dos causas distintas y generalmente superpuestas; por transmisión de calor del agua al aire, y por evaporación parcial de aquella. El primer fenómeno se produce cuando la temperatura del agua es mayor que la del aire, y el segundo cuando éste no está saturado de humedad, vaporizándose por lo tanto parcialmente el agua a través de su superficie de contacto con el aire; para producirse esta vaporización exige una cierta cantidad de calor, la que proviene de la misma masa de agua, operándose en esas condiciones una disminución de la temperatura.-

La influencia de ambas causas de enfriamiento es cuantitativamente muy distinta, pues el enfriamiento por transmisión del calor es generalmente del 10% del obtenido por difusión.-



Psicrometros. Diagrama psicrométrico

Conociendo la temp de bulbo seco (t_{bs}) y la temp de bulbo húmedo (t_{bh}) permite obtener la humedad relativa del ambiente.-

En la práctica se uso un psicrómetro honda para tal fin. Consiste en dos termómetros con un soporte común, uno de ellos tiene el bulbo rodeado con un paño humedecido; el conjunto se revolea mediante un mango que posee en la parte superior.-

La agitación es necesaria para evitar la influencia de la radiación del ambiente al paño, con lo que el proceso no sería absolutamente adiabático.-

El diagrama psicrométrico proporciona las características físicas del aire húmedo y es de extraordinaria importancia en cualquier proceso relacionado con este.(13)

Este diagrama nos ubica los distintos datos, necesarios para la realización del trabajo presente. Con el se determina la humedad relativa conociendo t_{bs} y t_{bh} , además la humedad absoluta, - entalpías, volumene específicos y con ellos los pesos específicos.

Si el aire a una determinada temperatura cercana al punto de saturación es enfriada sin variar su contenido de agua, el punto representativo se desplaza sobre una recta paralela al eje de abscisas, aumentando su hemedad relativa, hasta llegar al estado de saturación. Si se sigue enfriando, comenzará a precipitar agua, es decir que ha alcanzado el punto de roció. Es la menor temperatura a que puede llevarse una masa de aire húmedo no saturada. a contenido de agua constante, sin que se produzca condensación.-

Transmisión del calor.-La transmisión de calor de un cuerpo a otro se realiza en forma espontánea siempre que exista una diferencia de temperaturas entre ambos. Dicha transmisión puede producirse en las tres formas conocidas, conductibilidad, radiación y con

vección. Esta última es la que reviste más importancia en el estudio de las torres de enfriamiento.(14)

En los procesos en que se producen fenómenos de convección, la transmisión del calor es siempre más efectiva que cuando solamente se efectúa por conductibilidad.-

Tipos de enfriadores.- El método generalmente empleado para el enfriamiento del agua consiste en ponerla en contacto con el aire ambiente, que usualmente estará a temperatura menor que aquella y no saturada de humedad.-Los distintos tipos de enfriadores que se emplean tienden todos a facilitar las transmisiones de calor y de masa entre el agua y el aire, aumentando al mismo tiempo la superficie de contacto entre ambos.-Se dividen en dos grandes grupos: las fuentes y las torres de enfriamiento.-

Las fuentes poseen gran superficie horizontal y pequeña altura, las hay de dos tipos, el primero consiste en un lago de poca profundidad; la superficie de contacto agua-aire es por lo tanto muy pequeña comparada con el volumen de agua y su rendimiento es bajo, pero los gastos de funcionamiento son prácticamente nulos.-

El otro tipo es la fuente de rocío, en el que el agua es repartida mediante pulverizadores, aumentándose así la superficie de contacto agua-aire.-Estas fuentes requieren lógicamente una menor superficie horizontal que los lagos; pero en cambio hay un consumo de carga de agua, generalmente del orden de los 8 metros, el que implica gastos de bombeo y de reposición de agua que es eliminada por arrastre del viento.-

Se llama grado de enfriamiento a la diferencia entre las tempera-

$$\Delta t_w = t_{w1} - t_{w2}$$

turas del agua a la entrada t_{w1} y a la salida t_{w2} de la torre o fuente.-

Se llama aproximación a la temperatura de bulbo húmedo a la

$$\Delta t_{bh} = t_{w2} - t_{bh}$$

diferencia entre las temperaturas del agua a la salida del dispositivo de enfriamiento t_{w2} y de bulbo húmedo del aire a la entrada del mismo t_{bh} .

En el estudio de torres de enfriamiento, se admite como regla práctica que debe verificarse la igualdad

$$\Delta t_w = \Delta t_{bh}$$

Torres de enfriamiento; Las hay de distintas formas y tamaños.-Por la parte superior se distribuye el agua, ya sea mediante pulverizadores, caños perforados o canaletas de desborde, formando gotas ó películas líquidas que se deslizan a lo largo de superficies sólidas.- El aire entra por la parte inferior en algunos casos, y lateralmente en otros; en el primero la circulación es a contracorriente, en el segundo es cruzada.-

Las torres de enfriamiento suelen clasificarse en atmosféricas y mecánicas.-En las primeras, el enfriamiento se produce por contacto del agua que cae desde la parte superior con el aire que circula naturalmente; en las segundas, la circulación de éste es provocada mediante ventiladores o extractores.-Las mecánicas aventajan a las atmosféricas en:

- 1) funcionamiento independiente de la velocidad y dirección del viento.-
- 2) un mayor coeficiente de enfriamiento, lo que se traduce en un volumen menor.-
- 3) pueden colocarse en interiores o exteriores.-
- 4) no hay arrastre de agua por el viento

Por su parte las atmosféricas las aventajan en:

- 1) menor costo de funcionamiento
- 2) el único equipo mecánico es la bomba de agua
- 3) menores vibraciones de la estructura resistente

El rendimiento de una torre será tanto mayor cuanto más fácilmente se efectúen las transmisiones de calor y de masa del agua al aire, o bien cuanto menor sea la resistencia que a ellas opongan las capas límite líquida y gaseosa, y mayores el tiempo y la superficie de contacto.-Estos son los factores básicos que gobiernan el proyecto de torres de enfriamiento.-

Los sistemas fundamentales de distribución a lo largo de la torre, que se emplean para obtener los máximos efectos de transmisión son dos; las gotas y las láminas de agua.-Las gotas presentan la mayor superficie y disminuyen también el espesor de la capa límite gaseosa, facilitando las transmisiones; pero el tiempo de contacto es relativamente breve. Además ofrecen dificultades al análisis experimental o al estudio teórico.- En efecto; la superficie de contacto y el coeficiente de transmisión de masa, valores que intervienen en el proyecto y estudio de funcionamiento de torres, no puede conocerse del proyecto solamente, y aún para una torre en funcionamiento, la precisión con que pueden calcularse es bastante dudosa, pues depende de muchos factores, tales como caudal de agua, número y tamaño de las gotas, forma de distribución de las mismas en el interior de la torre y tiempo de caída, cuya influencia no puede determinarse con seguridad.-Sólo puede llegarse, y no teóricamente sino mediante expresiones, al valor del producto $K.a$ del coeficiente de transmisión de masa para el potencial de humedades absolutas por la superficie de contacto agua aire por unidad de volumen de la torre.-

La ruptura del agua en gotas se efectúa mediante pulverizadores trabajando bajo una cierta presión; esta energía de presión es la que se consume para romper la masa de agua y arrojar las gotas a distancia.-

Las gotas al salir de los pulverizadores se enfrían primero rápidamente, y luego, llegando a una cierta temperatura, distante para cada caso particular, ésta varía más lentamente; en este instante, se ha establecido en el interior de la gota un gradiente de temperatura, con valor máximo en el centro.- El efecto de enfriamiento se podría aumentar rompiendo las gotas inicialmente formadas, o sea también dicho gradiente, y formando otras nuevas, que presentarían una superficie a mayor temperatura en contacto con el aire.-

Para llevar a la práctica esa idea, se coloca en el interior de la torre chicanas horizontales; al golpear las gotas contra ellas, se dividen y mezclan, formando otras nuevas que caen por gravedad, presentando una nueva superficie de contacto; repitiendo este proceso, que aumenta también el tiempo de caída, en cada chicana, se crea una transmisión adicional de calor y de masa.-

La distribución del agua, puede ser por pulverizadores a presión, o por canaletas de desborde o caños perforados.-En el primer caso el enfriamiento es mayor por las pequeñas gotas surgiendo a alta velocidad, pero los gastos de bombeo son también mayores, pues la presión de agua más conveniente a la salida de los pulverizadores es de 2 a 3 atmósferas. En el caso de distribución a baja presión, mediante canaletas o caños perforados, las condiciones son inversas; menor enfriamiento y menores gastos de bombeo.-La economía de funcionamiento ha de fijar el tipo más conveniente para cada caso.-

En las torres con material de relleno en su interior, este relleno puede ser de las más diversas formas, a los efectos de obtener una gran superficie de contacto entre aire y agua mediante láminas de ésta que resbalan sobre dicho relleno. Se reemplaza así la superficie de gota. La distribución ya no se hace con pulverizadores, sino generalmente mediante canaletas de desborde, pues en este caso desaparece la ventaja de la pequeña gota; estas torres requieren una repartición lo más uniforme posible del agua en su parte superior. Son más costosas que las de rocío puro, no solo por el material de relleno en sí, sino por el recargo en la estructura resistente que debe soportarlo y por la mayor potencia consumida por el ventilador. La ventaja es la de funcionar mejor para cargas fluctuantes de agua, pues en las de rocío los pulverizadores no trabajan bien cuando trabajan con cargas inferiores a aquella para la que se han adoptado; de esta forma se producen las gotas grandes que son menos convenientes a los efectos del enfriamiento.-

La circulación de aire en las torres atmosféricas se produce naturalmente, y que puede ser por efecto del viento ó por tiro natural.-

Las primeras, más comunes, tienen entrada lateral del aire, y poseen protectores para impedir que éste al salir de la torre, arrastre mucha agua.- La corriente de aire es normal a la del agua; pero en ciertos casos se establece también una corriente de convección ascendente, aunque muy inferior en intensidad a la anterior.-

Esta corriente se produce no sólo por el aumento de temperatura del aire, como es el caso común de un fluido que se calienta, sino también por la disminución del peso específico al aumentar su humedad absoluta.-

Dentro de las atmosféricas se hallan incluidas las torres del tipo chimenea, en las que la circulación de aire se produce por tiro natural.-Son más altas que las de cualquier otro tipo y también más costosas. La ventaja es que su funcionamiento es independiente del viento, y de admitir una carga unitaria de agua mayor que cualquier otra.-

Torres mecánicas: Son de forma generalmente prismáticas, rara vez cilíndricas, cerradas en todo su perímetro, salvo en las partes inferior, para entrada del aire, y en la parte superior donde va la salida del aire. La circulación se asegura prácticamente constante mediante ventiladores (ó extractores).-

Las torres mecánicas se clasifican de acuerdo a la posición que ocupa el ventilador, cuando está en la parte inferior se llama de tiro forzado, y cuando ocupa la parte superior, de tiro inducido.-

Este último tiene el inconveniente de que el ventilador es menos accesible, y además está en contacto con aire generalmente saturado de humedad, lo que hace que se deteriore más rápidamente.-

La ventaja de este tipo es que se obtiene una mayor uniformidad en la distribución del aire, que penetra por todo el perímetro de la torre. La velocidad de descarga es bastante mayor que en el de circulación forzada, pero aunque implica mayor consumo de potencia, tiene la ventaja de eliminar con más eficacia de las proximidades de la torre el aire saturado que sale de ella, impidiendo su recirculación parcial por el interior, que suele ocurrir debido a condiciones desfavorables de los vientos, siendo importante para valores de temperatura de salida del agua próximas a las de bulbo húmedo del ambiente, pues la recirculación eleva esta última y por lo tanto la de salida del agua.-

En estos casos se justifica la utilización de torres de tiro inducido.-

Teoría de las torres de enfriamiento mecánicas.

Planteo del problema:

Existen un gran número de estudios teóricos y experimentales sobre torres de enfriamiento.-

El rendimiento de una torre y especialmente de una torre de aire inducido es interesante en muchos de los campos del aire acondicionado. Merkel (1925) estableció los fundamentos para un análisis del proceso termodinámico involucrado en la transferencia de masa en la torre. Nottage, Mickley, Lichtenstein y otros han contribuido a este análisis y han mostrado que el rendimiento de la torre puede ser relacionado con esta ecuación adimensional(4)

$$\frac{KaV}{L}$$

Una relación fundamental se obtiene del balance energético entre la cantidad de calor que pierde el agua al enfriarse y el incremento correspondiente de la entalpía del aire:

$$L \cdot dt_w = -G \cdot di$$

o sea, para toda la torre

$$L (t_{w2} - t_{w1}) = G (i_1 - i_2) \quad (1)$$

si se admite la constancia de L y G. También puede escribir

$$i_1 - i_2 = \frac{L}{G} \Delta t_w$$

Siendo L el caudal de agua en Kg/h, G el caudal de aire en las mismas unidades, t_{w2} (ó t_{we}) la temperatura del agua a la entrada, t_{w1} (ó t_{ws}) la temperatura a la salida, i_1 (ó i_s) la entalpía del aire a la salida en cal/Kg, i_2 (ó i_e) la entalpia a la entrada en cal/kg

Habría que incluir en la ecuación (1) el calor específico del agua, pero por ser muy aproximadamente igual a 1 cal/kg °C se prescinde de él.-

Lichtentein ha llamado característica de la torre a la expresión vista $\frac{K.a.V}{L}$ y que se adoptará en lo sucesivo.-

Este miembro no depende de las condiciones termodinámicas del sistema, pero sí depende de las características constructivas de la torre: K varía según el tipo de la superficie de contacto agua-aire; a es la magnitud de dicha superficie por metro cúbico de volumen de torre y V depende de la forma y dimensiones de la misma.-

Muchas experiencias han sido realizadas, para distintos tipos de torres, determinándose en base a ellas las características correspondientes; pero no se ha encontrado aún una teoría general que permita la generalización de los ensayos; no se puede calcular $\frac{K.a.V}{L}$ con el proyecto de la unidad solamente.- Su valor debe determinarse en forma empírica para cada grupo de torres semejantes.-

En los casos particulares de enfriamiento de agua que se presentan en la práctica, generalmente son datos la temperatura de bulbo húmedo del ambiente y las de entrada y salida del agua del sistema, así como también la cantidad horaria de ésta que circula por la instalación.- El cálculo del caudal de aire se determina fácilmente conociendo el peso específico que se halla en el diagrama psicrométrico (su inversa el vol. esp), la sección de la chimenea, y la velocidad del aire, por medio de la ecuación de continuidad

$$G = W.S.V$$

Si se desea encarar un procedimiento que permita el estudio de las torres de enfriamiento, debe buscarse de acuerdo a lo propuesto por Lichtenstein, la obtención del valor de la magnitud $\frac{K_a a V}{L}$, que depende del tipo de torre, y a la que se llamara "característica disponible", relacionándolo con algunas de las otras variables que aparecen en estos problemas.-

El procedimiento actualmente empleado para la selección de torres de enfriamiento depende del ensayo de cada uno de los tipos para encontrar su característica disponible.-

El método adoptado en el presente trabajo para determinar el valor de la "característica disponible" es el siguiente: con los datos que aparecen en el trabajo, temperaturas de bulbo seco y húmedo del aire a la entrada y salida de la torre y temperaturas del agua en los mismos puntos para las diversas experiencias, se ha obtenido mediante el diagrama psicrométrico los valores de las humedades absolutas necesarias para el cálculo de $\frac{K_a a V}{L}$ mediante la expresión.

$$\frac{K_a a V}{L} = \frac{G (X_1 - X_2)}{L \Delta X_m} \quad (2)$$

deriva del balance de masa de agua

$$K_a a V \Delta X_m = G (X_1 - X_2)$$

donde

$$\Delta X_m = \frac{(X_{i1} - X_1) - (X_{i2} - X_2)}{\lg \frac{X_{i1} - X_1}{X_{i2} - X_2}} \quad (3)$$

siendo X_1 y X_2 las humedades absolutas de la masa de aire a su salida y entrada respectivamente de la torre, y X_{i1} y X_{i2} las del aire saturado en la superficie de contacto con el agua a la temperatura de esta.-

Generalmente un método empírico dado por los proyectistas de torres de nefrimiento, es decir que podríamos llamarlo "rendimiento comercial" es el siguiente cociente:

$\frac{t_{w1} - t_{w2}}{t_{w1} - t_{bh}}$ Siendo t_{w1} y t_{w2} respectivamente la temperatura de entrada y de salida del agua y la torre y t_{bh} la temperatura del aire a la entrada de la torre, generalmente se calcula para una relación de L/G igual a 1.

Con respecto a los trabajos experimentales, la tendencia en U.S.A. se ha orientado hacia la determinación de los coeficientes de transmisión del calor, mientras que los investigadores en Gran Bretaña han dado importancia a la determinación conjunta de los coeficientes de transmisión del calor y de fricción de los rellenos, ya que el coeficiente de transmisión del calor, en sí mismo, no lo consideran como indicación suficiente del mérito de un relleno.- Efectivamente, la correlación entre los valores de ambos coeficientes determinados por Margen sugiere que es fácil obtener elevados coeficientes de transmisión del calor a expensas también de coeficientes de fricción elevados, seleccionando un relleno que induzca vientos torbellinos, debiendo entonces los proyectistas tratar de alcanzar un compromiso económico entre las formas de los rellenos de - excesiva fricción y aquellos de coeficientes de transmisión del calor insuficientes.(3).

-- DESCRIPCION DE LA TORRE --

DESCRIPCION DE LA TORRE:

La torre usada para nuestro trabajo tiene una altura de operación de 6.40 metros y mide 1.10 m por 1.10 m en su interior.

Ha sido construída de chapadur y colocada apoyando su base, sobre un tanque ó batea de inmersión de chapa de 3 mm. de espesor y 300 mm de altura. Dicha batea está provista de 3 orificios, uno va conectada a la bomba centrífuga y los otros dos son para nivel de desborde y limpieza respectivamente (ver croquis adjunto).-

La torre fué construída en Atanor Industrias Químicas (Munro) proveyendo ésta el agua necesaria para las determinaciones. Fué innecesario por lo tanto la conexión de la bomba centrífuga al intercambiador y de ahí a la torre, cumpliendo la bomba sólo la misión de tomar el agua de la batea y mandarla al desagüe.-

La entrada de agua se efectúa por un costado de la torre mediante caños perforados, es decir, simplemente por gravedad (ver foto).- Estos caños, tres en total, poseen 3 agujeros cada uno, de 12 mm de diámetro, y distanciados unos 300 mm. entre sí.- Los tres caños van soldados a un caño de mayor diámetro que actúa como "receiver", este a su vez tiene otro, que es el caño maestro y que va soldado al centro del "receiver".-

Los chorros de agua caen sobre unos platillos de chapa de 120 mm ^{de diámetro cuya misión es romper dicho chorro y transformarlos} en gotas para así aumentar la superficie agua-aire de contacto, la distancia entre platillo y orificio de salida del agua es de 300 mm. y se puede observar la caída del chorro por una ventanita practicada en un panel del chapadur.- El caudal de agua se gradúa mediante una válvula exclusiva, la regulación se efectúa por medio de un disco de estrangulamiento y manómetro.-

Sobre el sistema de distribución del agua, se colocó un eliminador de gota, hecho en chapa galvanizada. El corte de éste puede verse en el croquis adjunto, mide 1 m por 1 m. y 0.15 m. de altura, está formado por 35 hojas de tres dobleces cada una y separadas entre sí 28 mm. La misión del eliminador es, como su nombre lo indica, la de eliminar las gotas de agua que arrastra el aire hacia la salida, pues chocan contra él y se reintegran así, al caer, a la corriente líquida.-

El ventilador, o mejor dicho el extractor va colocado sobre el eliminador, tiene un diámetro de 700 mm. y una altura de 400 mm. en total(ventilador y eje), es accionado por un motor de 1,5 HP y 925 r.p.m.

Sobre el extractor se instaló la chimenea de 700 mm. de diámetro y 2750 mm. de altura(ver esquema), posee una puerta de 1000 mm. por 600 mm para facilitar la revisión, en caso de necesidad ó para cambio de poleas del ventilador, también tiene una ventanita de vidrio(250 por 100 mm) para poder observar el interior, y las dos entradas para las termoresistencias destinadas a la toma de la temperatura de bulbo seco y húmedo.-

En el tope de la chimenea y atravesándola diametralmente se instaló un anemómetro para medir la velocidad del aire que es expulsado, este aparato está conectado a un transmisor de velocidad donde se hace la lectura correspondiente.-

Conocida la velocidad, y peso específico del aire y la sección de la chimenea se calcula fácilmente el caudal de aire, es decir, lo que llamamos G, en Kg/hora.-

Sobre la batea y hasta una altura de 2.10 m está la entrada lateral de aire, en los espacios correspondientes se han colocado listones de madera convenientemente ubicados de manera de impedir el arrastre de agua por el viento.- El extractor es el responsable de reforzar el tiraje natural y por lo tanto de producir un mayor régimen.-

El empaquetamiento o relleno de la torre consiste en una serie de cuatro bandejas o hileras sostenidas con listones de madera abujonadas a las paredes de la torre, encontrándose el relleno en la sección central de la torre.-

Cada bandeja contiene 35 chapas de fibrocemento de 1.05 m por 0,28 m. y de un espesor de aproximadamente 9 mm. El ángulo de la chapa de fibrocemento respecto de la vertical es de 20°.

La posición de cada bandeja fué rotada 180° alrededor de un eje vertical con respecto a la bandeja inferior para efectuar una serie de 100 determinaciones y para otra serie de igual número fué rotada sólo en 90°, esto se hace para ver la eficiencia que se obtiene con distintas posiciones del relleno y ver así cual es la mejor y adaptarlo de acuerdo a la característica disponible.-

Para la medición de temperaturas se usaron termoresistencias, se colocaron en total cuatro de ellas distribuidas en la siguiente forma.- En la batea se colocó una para la temperatura del agua a la salida de la torre, para el agua a la entrada de la torre se ubicó una en la cañería maestra, unos dos metros antes de la entrada a la torre.-

Para la medición de la temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo del aire a la salida se instalaron las termoresistencias en la chimenea (ver foto), la segunda posee una mecha de algodón en la punta que se mantiene constantemente humedecida mediante un dispositivo de goteo.-

Las diferencias entre las temperaturas de bulbo húmedo y bulbo seco del aire a la salida se mantuvo constante a lo largo de toda experiencia, y fué de $0,3^{\circ}\text{C}$, es decir con una humedad relativa de 96%, por lo tanto se omitió la t_{bh} en los cuadros experimentales.-

Las termoresistencias van protegidas en una vaina de 8 mm. de cobre y llenas de aceite para evitar así el aire que actuaría como aislante. Las lecturas se efectúan en un pirómetro "Landis", provisto de una llave selectora.-

Para evitar el deslizamiento del agua por las paredes de la torre, pués de este modo disminuiría el rendimiento debido a que es menor el contacto aire-agua (y además ya no existiría la gota sino el film) se colocaron debajo de cada bandeja y aplicada a las cuatro paredes laterales de la torre unas chapas y metal que actúan como separadores del film de agua que corre adherida a la pared de la torre, y que miden aprox. 1.10 m por 0.10 m.-

La colocación de las bandejas y relleno se hizo por medio de puertas practicadas en un costado de la torre, lo mismo para el eliminador de gota, facilitándose de este modo el cambio de posición en el relleno.-

Tesis de Posgrado

Página no digitalizada

Tipo de material: Lámina

Alto: 49

Ancho: 33

Descripción: Torre de enfriamiento

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: 50

Ancho: 31

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: 28

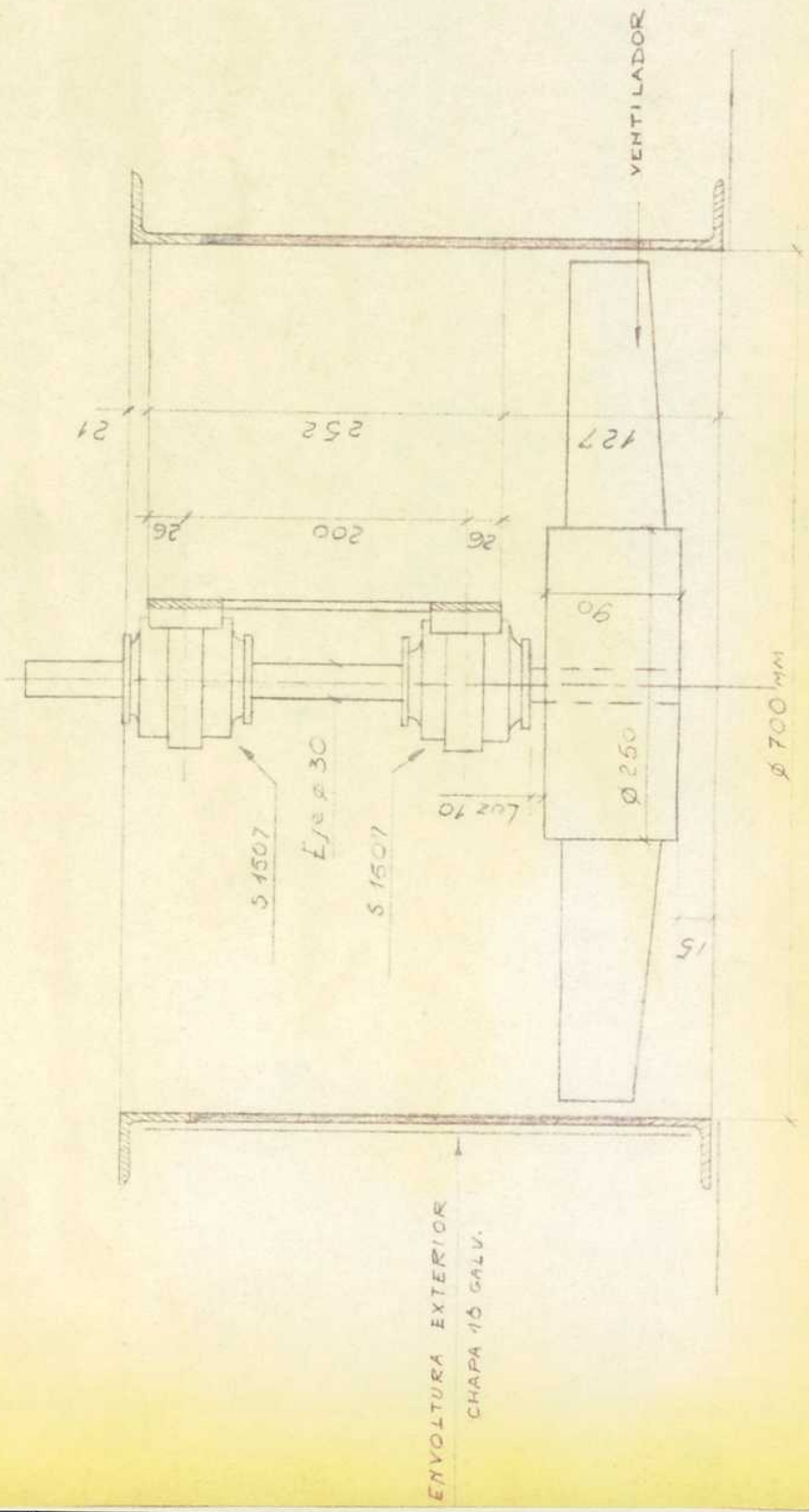
Ancho: 24

Descripción: Detalle del motor y eje del ventilador

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.

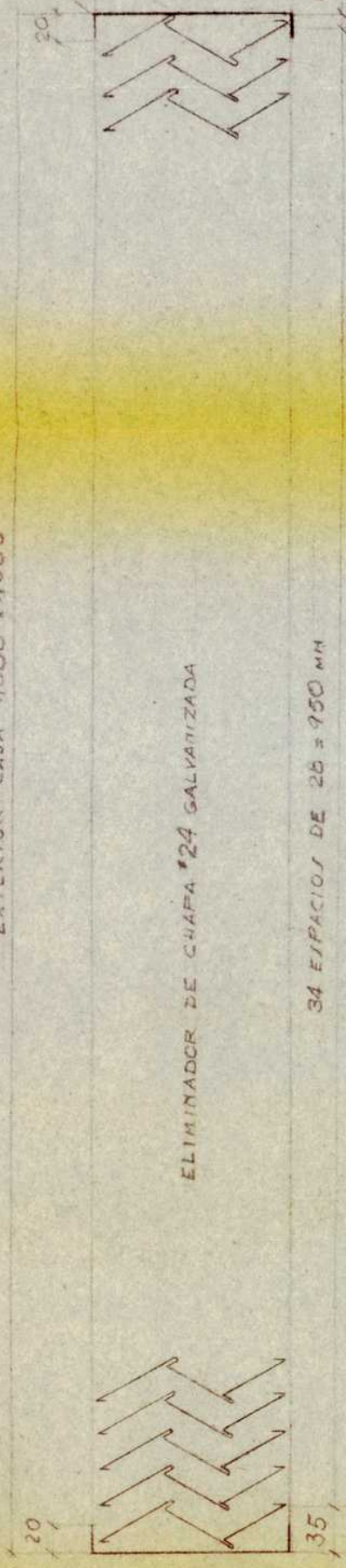
This page could not be scanned because it did not fit in the scanner. You can see a paper copy in person in the Central Library Dr. Luis Federico Leloir.

DETALLE DEL VENTILADOR



EXTERIOR CAJA 1000 x 1000

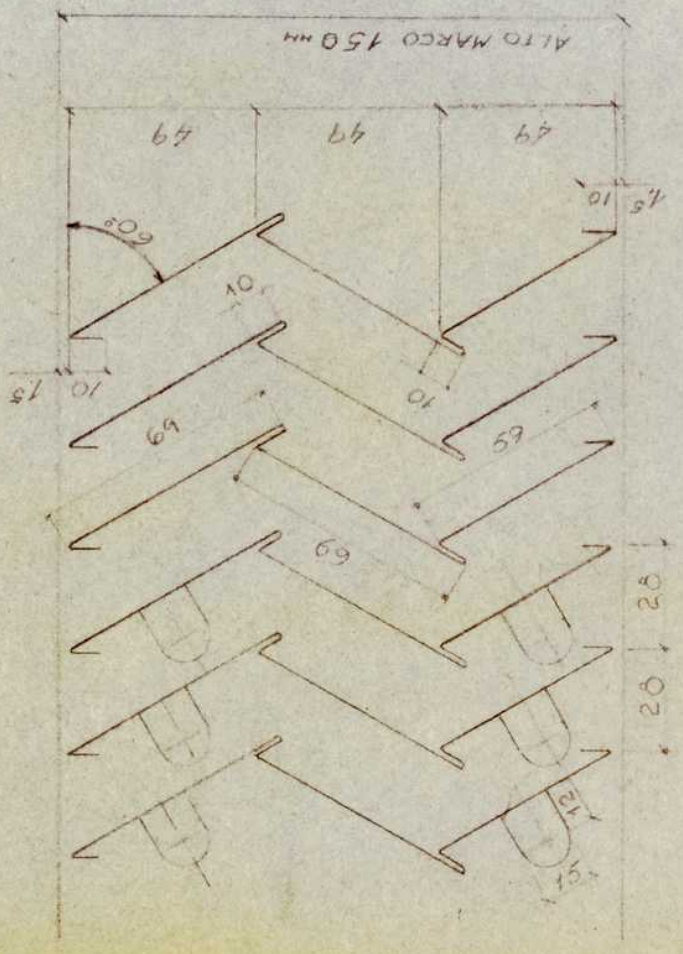
MARCO CHAPATE



ELIMINADOR DE CHUFA #24 GALVANIZADA

34 ESPACIOS DE 26 = 950 MM

PLANCHUELA FIJADA CON REMACHES DE CORRE ϕ 5/16"



ELIMINADOR de GOTAS

PART E EXPERIMENTAL

PARTE EXPERIMENTAL

Se efectuaron 200 determinaciones en total, distribuidos en dos series de 100 determinaciones cada una, la primera serie de 100 determinaciones cada una, la primera serie se llevó a cabo girando las bandejas en 180° , y la segunda en 90°

El intervalo entre dos determinaciones fué de aproximadamente 30 minutos y consistieron en tomar las temperaturas de bulbo seco y húmedo del aire a la salida, las temperaturas de entrada y de salida del agua, y finalmente las de bulbo seco y húmedo del aire a la entrada lo que se realizó con un psicrómetro honda.-

Finalmente se hizo un cuadro completo de valores tomados y calculados, para cada disposición del relleno y para los distintos caudales que se usaron en la práctica, que fueron los siguientes: para el tipo de relleno y que llamaremos tipo "A" - los caudales fueron de 10.000, 7.850, y 6250 litros/hora, para el segundo tipo de relleno o tipo "B" se usaron los mismos caudales de agua. El caudal de aire no se varió durante la duración de la prueba, es decir que siempre se mantuvo alrededor de los 8.000 - Kg/hora de modo que el cociente L/G fué aproximadamente 1,2 para L 10.000, 1 para L 7850, y 0,8 para L 6.250 litros/hora.-

Los distintos cuadros pueden verse a continuación, como se ve cada cuadro tiene varias divisiones verticales correspondientes a otros tantos valores, necesarios para la aplicación de las formulas (1) (2) y (3)

Tesis de Posgrado

Página no digitalizada

Tipo de material: Tabla

Alto: 33

Ancho: 47

Descripción: "L" caudal: 1000 Kg/hora - Relleno 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.

Tesis de Posgrado

Página no digitalizada

Tipo de material: Tabla

Alto: 33

Ancho: 46

Descripción: "L" caudal 7850 Kg/hora - Relleno 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: Tabla

Alto: 33

Ancho: 46

Descripción: "L" caudal 6250 Kg/hora - Relleno 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.

Tesis de Posgrado

Página no digitalizada

Tipo de material: Tabla

Alto: 33

Ancho: 46

Descripción: "L" caudal: 10000 Kg/hora - Relleno 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: Tabla

Alto: 33

Ancho: 46

Descripción: "L" caudal: 7850 Kg/hora - Relleno 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: Tabla

Alto: 33

Ancho: 46

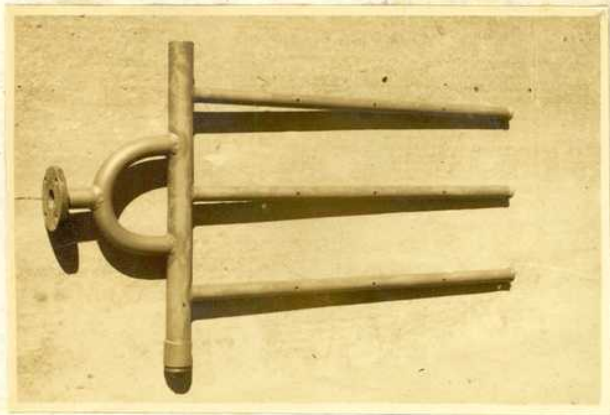
Descripción: "L" caudal: 6250 Kg/hora - Relleno B

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.

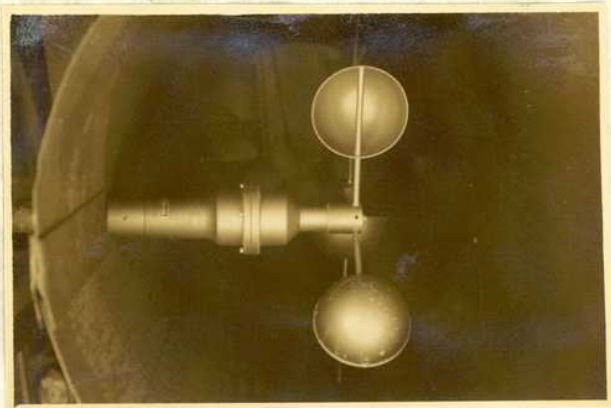
This page could not be scanned because it did not fit in the scanner. You can see a paper copy in person in the Central Library Dr. Luis Federico Leloir.

Las siguientes fotos muestran algunos detalles de construcción de la torre.-

- (1) Detalle del sistema de distribución de agua.**
- (2) " " anemómetro instalado en el tope de la chimenea.-**
- (3) Detalle de uno de los marcos o bandejas que soportan las chapas de fibrocemento.-**
- (4) Detalle del ventilador y motor.-**
- (5) " de una de las entradas laterales de aire.-**
- (6) " del eliminador de gota.-**
- (7) " de la chimenea, en la que se aprecian las dos salidas de las termoresistencias, la puerta, y un recipiente que es el que mantiene húmedo el bulbo del termómetro.**
- (8) Uno de los tableros con los dispositivos de arranque de los dos motores (bomba y ventilador), tapones, amperímetro para controlar el consumo del ventilador y el cuentakilómetros que me dá la velocidad del aire a la salida.-**
- (9) Detalle de bomba centrífuga.-**
- (10) Detalle del ventilador.**



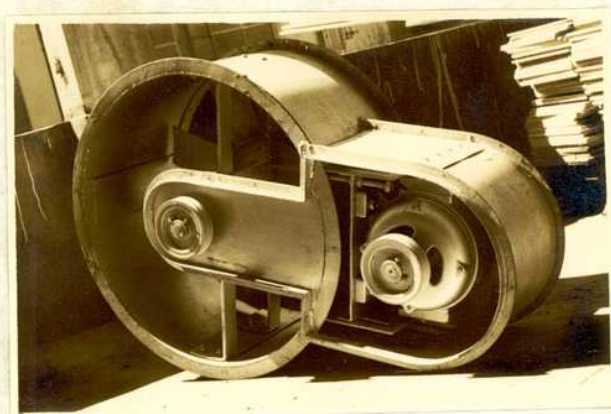
1



2



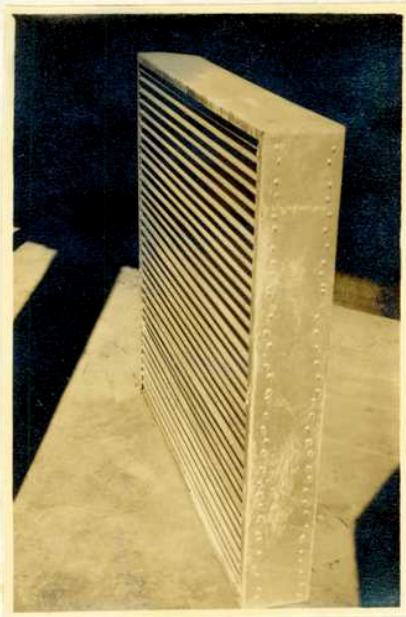
3



4



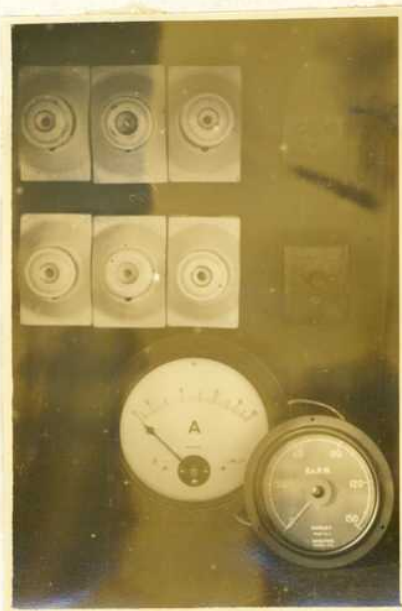
5



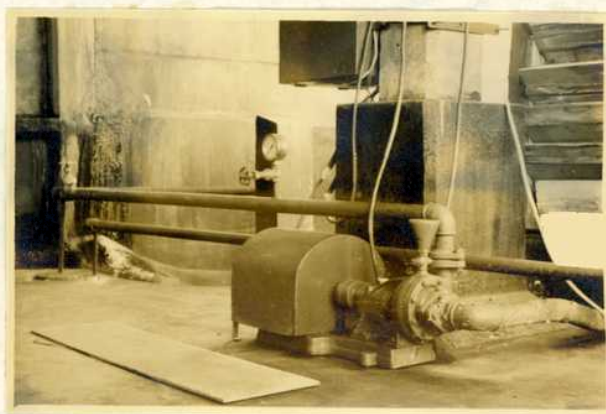
6



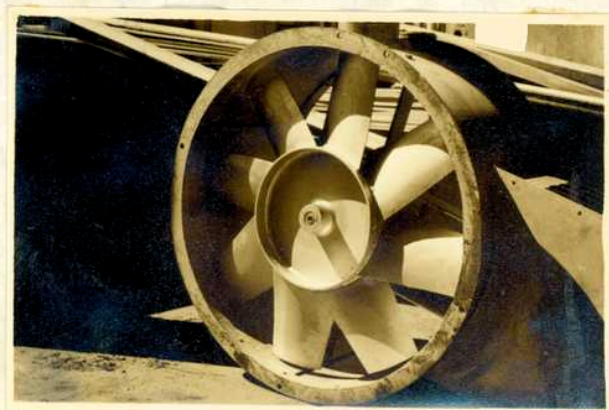
7



8



9



10

_____ DISCUSION DE LOS RESULTADOS _____

Discusión de los resultados:

La parte experimental nos deja una serie de resultados aceptables, como podemos apreciar en las tablas de valores.-

Vemos en estas las diferencias entre $L \Delta t_w$ y $G \Delta i$ y a continuación el % que representa esa diferencia, se aprecia que salvo excepciones este valor no es muy del 10%, valor perfectamente aceptable de acuerdo a las condiciones de trabajo.-

En cuanto a los valores de Δt_w se observa en general un aumento a medida que disminuye el caudal de agua, consecuencia perfectamente lógica.-

Finalmente, los valores de la "característica disponible", varían en pequeño grado, es decir entre 0.90 y 1.70 para la mayoría de los valores, estas cifras están de acuerdo con la teoría de Lichtenstein.-

Conclusiones: No se puede llegar a conclusiones definitivas por el pequeño número de observaciones y por haberse trabajado en un lapso relativamente corto.-

Cuando se disponga de resultados de experiencias realizadas en otros períodos del año y con distintas cantidades y distintas distribución del relleno así como variando caudales de agua y aire se podrá recién obtener conclusiones definitivas.-

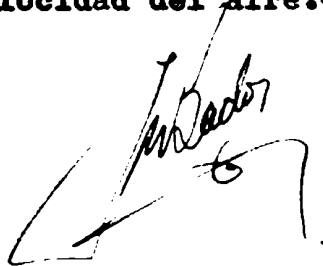
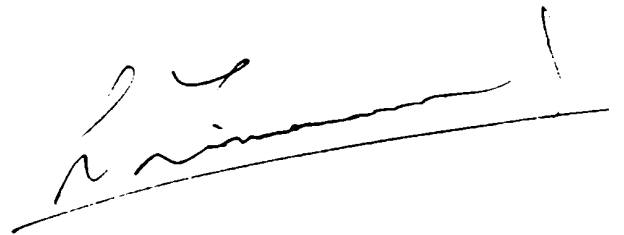
Así mismo podrá completarse el trabajo con gráficos que nos suministren tipos, cantidades y distribución del relleno de acuerdo a la característica o a la relación de L/G.

Mejoras posibles: Los resultados obtenidos pueden mejorarse introduciendo algunos arreglos en la torre que nos llevarían a datos más exactos. Por ejemplo: para la medida de las temperaturas se podría poner otro instrumento, como ser un pirómetro termo-eléctrico

en el cual el indicador del pirómetro es el instrumento eléctrico denominado milivoltímetro.- Los cuatro componentes del aparato son: el indicador, la llave selectora, los conductores y las termocuplas.-

La diferencia de voltaje que se obtiene entre los dos alambres de la termocupla es transmitida por los conductores hasta el indicador midiendo este su valor.- La caída de tensión producida por la temperatura es proporcional a la diferencia de temperatura entre la junta fría y la junta caliente.- Manteniendo constante la temperatura de la junta fría se puede graduar la escala del indicador directamente en grados de temperatura en vez de volts.

Otra mejora que podría introducirse es ajustar la medida realizada para determinar la velocidad del aire a la salida (para calcular el caudal), para ello se debe cambiar el anemómetro por un tubo Pitot que permite obtener directamente los valores de $(p_T - p)$, mediante un manómetro diferencial, y aplicando una fórmula se obtiene la velocidad. Para poder instalar el Pitot se debe reducir el diámetro de la chimenea, pues de lo contrario el manómetro no acusaría casi diferencia, debido a la baja velocidad del aire.-

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'J. J. J.' with a large flourish underneath.A handwritten signature in black ink, appearing to read 'L. J. J.' with a large flourish underneath.

1. Bados, J.M. "Torres de enfriamiento". 1948.
2. Jackson, J. - "Cooling Towers". 1951
3. Estrada, A. - "Apuntes de química industrial". 1946.
4. "Calor". Publicación editada por Mellor Goodwin S.R.L. Abril-Mayo 1957.
5. Spurlock, B.H., Jr. - "Performance of a Forced-Draft Cooling Tower". 1953.
6. "Cooling Towers-Foster Wheeler Corporation" Bulletin CT-52-4. 1952.
7. Prithard, J.F. & Company of California. - "Prithard induced Draft Cooling towers for industrial and air conditioning applications".
Bulletin 4.9.080. 1955.
8. Derek, J. - "Induced Draught Cooling Towers for Atomic Plants. 1957.
9. Fluor Products Company. - "Induced Draft Cooling Towers, Series 3.
10. " " " . - "Fluor Induced Draft Cooling Towers."
Bulletin FPC-G158.
11. Perry, J.H. - "Chemical Engineers Handbook". 1950.
12. Brown, G.G. - "Operaciones Básicas de la Ingeniería Química". 1956.
13. Bados, J.M., Estrada, A. de, - "Transmisión del calor". 1956.
14. "Asoc. Arg. de técnicos de refrigeración y acondicionamiento del aire". - Mayo 1957-1953.
15. Lichtenstein, J. - "Performance and selection of mechanically draft cooling towers". - ASME, trans. 1943.