

Tesis de Posgrado

Sobre ensayo de una torre de enfriamiento y discusión de los resultados obtenidos

Torre, Humberto

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:

Torre, Humberto. (1958). Sobre ensayo de una torre de enfriamiento y discusión de los resultados obtenidos. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_0972_Torre.pdf

Cita tipo Chicago:

Torre, Humberto. "Sobre ensayo de una torre de enfriamiento y discusión de los resultados obtenidos". Tesis de Doctor. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 1958. http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_0972_Torre.pdf

EXACTAS UBA

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales



UBA

Universidad de Buenos Aires

y discusión de los resultados obtenidos

En los procesos de una gran industria, por razones económicas, no es posible desechar el agua que ha sido utilizada como agente refrigerante. El calor que ha adquirido al actuar como tal, debe ser eliminado para así poderla utilizar en un nuevo ciclo. El enfriamiento de ese líquido es posible efectuarlo por intermedio de torres de enfriamiento. El proceso consiste en dejar caer el agua, mediante una distribución adecuada, por el interior de la torre y haciendo incidir sobre ella una corriente de aire ambiente, que generalmente estará a menor temperatura que el agua y no saturado de humedad. En estas condiciones se producirá la vaporización parcial del agua, con el consiguiente incremento en la humedad absoluta del aire; el calor necesario para la evaporación, proviene de su propia masa, con lo que disminuye su temperatura. Hay además un efecto de enfriamiento por transmisión de calor si el agua está más caliente que el aire, lo que sucede casi siempre, pero este efecto es pequeño en comparación con el anterior y recién toma importancia para diferencias considerables de temperaturas.-

Con el objeto de poder dimensionar las torres analíticamente, Merkel ⁽¹⁾, en base a los principios de transmisión de calor y de masa, desarrolló una teoría que lo condujo a una ecuación diferencial en la que se encuentran vinculadas las diversas variables que inciden en el proceso. Posteriormente Lichtenstein ⁽²⁾, a partir de esa ecuación diferencial, obtuvo una vinculación de parámetros, adimensional, que llamó "característica" de la torre y que fué tomada como una medida de la eficiencia de funcionamiento:

$$\frac{K.a.V}{L}$$

donde L, es el caudal horario de agua que circula por la torre, en Kg/hr.; a, es la superficie de contacto agua-aire por unidad de volumen de torre ocupada por el relleno, en m²/m³.; V, es dicho volumen, en m³. En cuanto a K, es un coeficiente empírico que prevée la influencia de "factores de inseguridad", llamado coeficiente total de transmisión de masa, en Kg/hr.m². Debido a la presencia de este coeficiente, o mejor, debido a la presencia del producto K.a, no es posible aún dimensionar las torres prescindiendo de los resultados experimentales.-

El objeto del presente trabajo, consiste en aportar una contribución experimental, analizar el efecto de la distribución del relleno, de las condiciones de trabajo, sobre la característica.-

R972

A partir de un balance de masas de agua se llega a la siguiente expresión:

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

que permite la determinación experimental de la característica. G, es el caudal horario de aire, en Kg/hr.; X_1 , es la humedad absoluta del aire a la salida de la torre; X_2 , ídem a la entrada, en gr (vapor de agua)/Kg (aire seco); ΔX_m , es la media logarítmica del potencial de humedades absolutas en las secciones extremas de la torre.

Recurriendo al diagrama psicrométrico, en base a las temperaturas del agua a la entrada y salida, temperaturas de bulbo seco y húmedo del aire entrante y saliente, es posible conocer los distintos valores de X. Mediciones de caudal permiten completar los datos necesarios para la aplicación de la ecuación anterior.-

La torre construída, que es del tipo inducido, fué instalada en ATANOR. Se sacó una derivación del agua que esa empresa envía a sus torres, y luego de someterla a proceso, fué enviada a canales colectores. De su ensayo se sacaron las siguientes conclusiones:

1º) La variación continua (sin poder actuar sobre ella) de la temperatura del agua a la entrada, motivó gran número de balances energéticos anormales.

2º) Para valores de ΔX_m de hasta dos unidades, puede reemplazarse, a los efectos de simplificar el cálculo, la media logarítmica por la media aritmética.

3º) Debido a las condiciones de trabajo, para llegar a conclusiones concretas deberán efectuarse aún gran número de determinaciones. Momentáneamente los resultados muestran lo previsible: La característica aumenta cuando disminuye el caudal de agua o cuando disminuye la humedad relativa del aire ambiente.

4º) Se sugieren algunas modificaciones en los instrumentos de control, que contribuirán a la mayor precisión de los resultados.-

Bibliografía

- 1) Merkel F.- "Verdunstungskuhling". Forschungsarbeiten, 1925.-
- 2) Lichtenstein J.- "Performance and selection of mechanically draft cooling towers". ASME Trans., 1943.-




Universidad de Buenos Aires
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
F.C.E.N.A.

**Sobre ensayo de una torre de enfriamiento
y discusión de los resultados obtenidos**

**Tesis presentada por Humberto Torre
para optar al título de Doctor en Química.
Orientación: Química Tecnológica.**

TESIS: 972

- Buenos Aires -

1958

no 972

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

Muy en particular debo mi reconocimiento a ATANOR S.A. Mixta, por permitir la realización de las experiencias en su establecimiento y poner a mi entera disposición sus talleres y depósitos.-

Asimismo, deseo testimoniar mi agradecimiento a INDUSTRIAS TECNICAS AIRE, por su aporte material y por la valiosa información técnica que me ha suministrado.-

No menos agradecido me encuentro a las firmas:
ALBA S.A.

ARMCO ARGENTINA S.A. Ind. y Com.

COMPANIA SUD AMERICANA DE BOMBAS S.A.

ETERNIT ARGENTINA S.A. Ind. y Com.

PIGNI S.R.L.

SIAM DI TELLA LTDA.

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

por sus significativas donaciones.-

Este trabajo consta de cuatro puntos a saber:

- I) Fundamentos teóricos.**
- II) Detalles constructivos.**
- III) Determinación Experimental.**
- IV) Discusión e Interpretación.**

1

Ensayo de una Torre de Enfriamiento
y discusión de los resultados obtenidos

I) Fundamentos Teóricos

Introducción:

En plantas generadoras de energía, en grandes instalaciones de refrigeración y aire acondicionado, en la industria química en general, es frecuente el problema de tener que eliminar grandes cantidades de calor que se originan en los procesos. Generalmente, por intermedio de dispositivos adecuados se hace entrega de ese calor a una cierta cantidad de agua que circula por ellos. Debido a la gran cantidad de ese líquido que suele utilizarse para lograr tal fin, conjuntamente con el costo derivado de su posible tratamiento, es en la mayoría de los casos, decididamente antieconómica su posterior eliminación por el hecho de poseer un estado térmico superior al ordinario. Es necesario reacondicionar esa agua y disipar el calor que anteriormente tomó en aquellos dispositivos, para así poderla utilizar nuevamente como agente refrigerante. Tal reacondicionamiento es posible efectuarlo por intermedio de las torres que nos ocupan.-

Principio de las torres de enfriamiento:

El enfriamiento del agua se logra dejándola caer mediante una distribución adecuada por el interior de la torre y haciendo incidir sobre ella una corriente de aire ambiente, que generalmente estará a menor temperatura que el agua y no saturado de humedad. En estas condiciones se producirá la vaporización parcial del agua, con el consiguiente incremento en la humedad absoluta del aire; el calor necesario para la evaporación proviene de su propia masa, con lo que disminuye su temperatura. Hay además un efecto de enfriamiento por transmisión de calor si el agua está más caliente que el aire, lo que sucede casi siempre, pero este efecto es pequeño con respecto al producido por evaporación y recién toma importancia para diferencias considerables de temperaturas entre el agua y el aire.

El enfriamiento del agua depende de una serie de factores: caudal y temperatura de la misma, extensión y naturaleza de la superficie de contacto agua-aire, cantidad de éste en contacto con aquélla, condiciones higrométricas del aire, etc.

Sobre problemas relacionados con la naturaleza y propiedades de las superficies de contacto agua-aire (lluvias, compartimiento térmico y dinámico de las gotas, películas formadas por intermedio de algún relleno, influencia de chicanas, etc) pueden consultarse trabajos de Boelter y Hottel^{1, 2)}, Flower³⁾, Bisehoff⁴⁾ y Niederman⁵⁾ entre otros.

Teoría de las torres de enfriamiento mecánicas:

Con la creciente evolución de la técnica y el consecuente incremento en la demanda de torres, se hizo sentir la necesidad de encarar el problema de su construcción en base a alguna teoría que involucrara el principio físico que rige el proceso, para de esta manera posibilitar la generalización de su cálculo en contraposición a los métodos puramente empíricos utilizados hasta entonces, que obligaban a un tanteo experimental cada vez que se imponían modificaciones a las condiciones de trabajo.

F. Merkel, en base a los principios de transmisión de masa y transmisión de calor, dedujo una ecuación diferencial⁶ que vincula las distintas variables que inciden en el proceso. Es de hacer notar que como en las expresiones de transferencia de masa y calor aparecen coeficientes empíricos que proveen la influencia de "factores de inseguridad", también en la ecuación diferencial de Merkel deberán estar presentes, bien como tales o incluidos dentro de otras variables que son función de esos coeficientes. De esto se deduce que no obstante haberse formulado una teoría, aún no es posible dimensionar las unidades prescindiendo de los resultados experimentales. Sin embargo, el valor de ésta y otras teorías que derivan de la misma fuente, reside en el hecho de que permiten unificar criterios de comparación entre distintos tipos de unidades y bajo diferentes condiciones de trabajo, como así también permitir formarse una idea de la magnitud de un problema.

Merkel obtuvo la ecuación diferencial luego de introducir en el desarrollo ciertas hipótesis simplificadoras que le permitieron llegar a una expresión fácilmente integrable de la cual obtuvo una vinculación de parámetros que constituía una magnitud adimensional. Posteriormente otros autores^{7, 8, 9} a partir de la ecuación de Merkel original o ligeramente modificada, han obtenido otros grupos adimensionales que fueron tomados como una medida de la eficiencia del funcionamiento de torres.-

De las teorías propuestas, la de Lichtenstein⁹ es quizás la que permite mostrar en forma más general y directa la vinculación e influencia de las diversas variables que intervienen en el proceso y de dar valores indicativos de orden magnitud, para torres semejantes a la ensayada.

En el presente trabajo se expresarán los resultados por el método de las "características de torres" propuesto por Lichtenstein. Hubiera podido expresarse en base a los otros planteos existentes, si bien la discusión de los mismos nos conduciría siempre a análogas conclusiones.

Método de las características de torres

La ecuación diferencial de Merkel expresa:

$$L \cdot dtv = K(i'' - i) a \cdot dV \quad (1)$$

donde L representa el caudal de agua que circula por la torre, en Kg/hr.; K, el coeficiente de transmisión total de masa, de naturaleza empírica, en Kg/hr.m²; (i''-i) representa la diferencia de potencial energético que motiva las transmisiones de masa y calor, donde i'', es la entalpía del aire saturado de humedad en contacto con el agua a la temperatura de ésta, es decir define el estado de la capa límite gaseosa que rodea a la gota o película de agua; i, es la entalpía de la masa de aire a su temperatura, en Cal/Kg.; a.dV, es la superficie de contacto aire-agua, en m², donde a, se define como dicha superficie por metro cúbico de torre, en m²/m³, y dV es el volumen diferencial comprendido entre dos secciones infinitamente próximas. En forma inmediata podemos ver que si dtv, que expresa la diferencia en la temperatura del agua entre dos secciones infinitamente próximas fuera expresado en unidades de temperatura, °C, la (1) no sería dimensionalmente correcta; en cambio si adoptamos como unidad Cal/Kg, se cumpliría el principio de homogeneidad. Este puede ser comprendido fácilmente recordando la conocida relación termodinámica di = Cp.dt, donde Cp es el calor específico a presión constante, que se toma como unidad para el agua, y que por ello fué eliminado su símbolo antes de llegar a la (1); pero es necesario tener presente su unidad: Cal/°C.Kg, con lo que la "medida" de dtv es en realidad la medida de la variación de entalpía del agua. Así el primer miembro representa el calor total liberado por el agua por convección y evaporación (transmisión del

calor y de masa) y el segundo miembro nos indica que ese calor liberado es una función de la extensión y naturaleza de la superficie de contacto agua-aire ($K_a \cdot dV$), y también función de la temperatura del agua, del estado de saturación inicial del aire y de su temperatura, ya que $(i^s - i)$ depende de esas variables.

Lichtenstein separó variables en la (1) a los efectos de su integración, obteniendo

$$\frac{dt_w}{i^s - i} = \frac{K_a \cdot dV_a}{L}$$

Integrando, en la hipótesis de la independencia de los diversos factores del segundo miembro de V , se obtiene:

$$(2) \int_{t_w}^{t_w} \frac{dt_w}{i^s - i} = \frac{K_a \cdot V_a}{L}$$

El primer miembro de la (2) contiene las condiciones termodinámicas del proceso de enfriamiento, determinados por los estados del agua y del aire a la entrada y salida de la torre, y la variación de la entalpía del aire con la temperatura del agua. El segundo miembro no depende de dichas condiciones y sí de las características constructivas de la torre. Se justifica así el nombre de característica de torre, con que Lichtenstein ha designado a la expresión:

$$\frac{K_a \cdot V}{L} \quad (3)$$

En una torre de enfriamiento mecánica, el agua cae en contracorriente con el aire, es decir que el agua entra por la parte superior saliendo por la inferior y el aire entra por la inferior saliendo por la superior. Es conveniente esquematizar el proceso, imaginando una sección superior que llamaremos "1" y una sección inferior que llamaremos "2". Los parámetros que definen los estados del agua y aire a la entrada y salida quedarán definidos por sub-índices adecuados; éste es el significado de los sub-índices en los símbolos que definen los límites de integración de la (2). Con sub-índices "1" se caracterizará las condiciones del agua a la entrada y del aire a la salida; con "2" se individualizará el estado del agua a la salida y del aire a la entrada.

Lichtenstein definió al primer miembro de la (2) como "característica necesaria", ya que su valor puede hallarse en base a las exigencias termodinámicas del problema mediante una resolución gráfica.⁹ El problema reside en el hecho de que, conocida la característica necesaria, no es posible despejar de la (2) la magnitud V que

... determinar el dimensionamiento de la unidad, puesto que no se sabe el valor de $K \cdot a$ que podría proporcionarnos un determinado relleno. El valor de "a" se incluye con K puesto que también "a" es un factor de inseguridad. En efecto, "a" no representa la superficie prevista por el material de relleno; ello sería en el supuesto caso de formarse sobre él una película de líquido infinitamente delgada; pero como no es así, y por otra parte el espesor de la película depende de numerosos factores que hace inseguro su cálculo, es preferible agrupar "a" con K y proceder a su determinación experimental conjunta.

El segundo miembro de la (2), o sea el grupo (3), fué denominado por Lichtenstein "característica disponible", ya que es el valor que toma la característica deducida del ensayo de la unidad.

A partir de la expresión del balance de masas de agua (Incremento en la humedad absoluta del aire = cantidad de agua perdida por evaporación) es posible llegar a expresar la característica disponible de la unidad ensayada en función de datos fácilmente determinables:

$$\frac{K \cdot a \cdot V}{L} = \frac{G(X_1 - X_2)}{L \cdot \Delta X_m} \quad (4)$$

donde K , a , V , L , tienen su significado habitual; G es el caudal de aire, en Kg/hr. ; X_1 y X_2 , son las humedades absolutas del aire a la salida y entrada respectivamente. La humedad absoluta se define como el peso de vapor de agua contenido en la unidad de peso de aire seco, en gr. o $\text{Kg. (agua)/kg. (aire)}$. ΔX_m es la media logarítmica del potencial de humedades absolutas en las secciones extremas y se define por:

$$\Delta X_m = \frac{(X_{12} - X_2) - (X_{11} - X_1)}{L \cdot \log \frac{X_{12} - X_2}{X_{11} - X_1}} = \frac{a - b}{2.3 \log \frac{a}{b}} \quad (5)$$

donde X_{11} y X_{12} , expresan las humedades absolutas de las capas límites gaseosas en las respectivas secciones, es decir del aire saturado a la temperatura que el agua pesée en esas secciones.

El motivo del presente trabajo es aportar una contribución experimental, determinando la característica disponible de la terre bajo diversas condiciones de trabajo mediante la (4), según se detalla en la tercera parte de este trabajo. De los resultados obtenidos se trató de observar aquellas situaciones que puedan permitir generaliz-

zar conceptos.

Para finalizar con esta introducción teórica sobre la que sé fundamenta el presente trabajo, se incluye dos definiciones que necesitaremos luego: 1ª) Temperatura de bulbo húmedo, t_{bh}: Es la temperatura estacionaria que se logra cuando, agitando en el ambiente un termómetro que posee un bulbo rodeado por un paño húmedo, se alcanza un régimen estacionario en el cual el calor tomado al bulbo por efecto de la evaporación es contrarrestado por el calor que el ambiente le entrega por convección, como resultado de la diferencia de temperaturas que se ha establecido. 2ª) Humedad relativa: razón entre el peso de vapor de agua que posee el aire en un estado determinado y el que tendría si estuviera saturado a la misma temperatura.

II) Detalles Constructivos

La torre construida es del tipo inducido y los delineamientos generales de la construcción pueden observarse en los gráficos 1 y 2. Su estructura es de madera (Pino Brasil) y se ha utilizado Chapadur como revestimiento; ambos materiales fueron preservados con aceite y pintura adecuada, no obstante lo cual no pudo evitarse hinchamientos y ligeras deformaciones en el revestimiento. La sección interior de la torre es un cuadrado de 1,10 m. de lado. Instalada en ATANOR, se sacó una derivación del agua que esa firma envía a sus torres; luego de distribuirse por el interior de la torre experimental, es recogida en una batea y mediante una bomba enviada a los canales colectores de agua en friada de la empresa.-

Batea:

Fué construida con chapa negra de 3 mm. y reforzada con hierro L en todo su perímetro superior. Es de sección cuadrada, con 1,15 m. de lado y una altura de 0,30m. Posee cuatro orificios; 1ª) Para el drenaje del agua con la bomba; 2ª) Para desagote; fué utilizado también para introducir la termo-resistencia que permite controlar la temperatura del agua a la salida de la torre; 3ª) Un orificio colocado en la parte superior para desborde; 4ª) Un orificio para adaptar una válvula de flotación con objeto de permitir la reposición adecuada del agua que se pierde por evaporación en el caso de que el circuito fuera cerrado, es decir, si el agua enfriada que cae a la batea fuera impulsada por la bomba nuevamente a la parte superior de la torre previo calentamiento.-

Cuerpo de la Torre:

El cuerpo de la torre podemos dividirlo para su descripción en tres partes:

1ª) Parte inferior: Comprende desde el borde superior de la batea hasta una altura de 2,17 m. (ver gráfico 1). Su única finalidad es permitir el acceso de aire a la torre a través de las chicanas. Por ser la unidad del tipo inducido, ese aire es aspirado desde la parte superior de la torre por un ventilador. Las chicanas evitan el arrastre de agua por el viento.-

2ª) Parte media: Entre 2,17 m y 4,85 m, que comprende la zona de relleno. Este está constituido por cuatro bandejas conteniendo cada una 34 chapas de fibrocemento de 1,05 m. de largo, 0,28 m. de ancho y aproximadamente 0,009 m. de espesor. Las chapas están inclinadas 20 grados con respecto a la vertical y las bandejas son intercambiables, lo que se puede hacer por intermedio de puertas de aproximadamente 0,50 metros de alto colocadas a la altura de las mismas; un andamio permite el desplazamiento del operador. Se ha distribuido las bandejas de dos formas: 1ª) Cada bandeja fué rotada 180 grados con respecto a la inmediata superior. En el gráfico 2 puede observarse este tipo de distribución que denominaremos tipo A; 2ª) Cada bandeja se colocó rotada 90 grados con respecto a la inmediata superior. Relleno B.-

Las bandejas fueron apoyadas sobre listones de madera abulonados a la estructura de la torre. Debajo de cada bandeja se ha colocado chapas adosadas a las paredes de manera de evitar el escurrimiento de agua por las mismas, para así poder considerar al relleno como única superficie formadora de película.-

3ª) Parte Superior: Contiene los dispositivos para la distribución del agua y eliminadores. A los 6,40 metros termina el cuerpo de la torre y sobre su plataforma asienta el ventilador y chimenea.

La alimentación de agua se efectúa a través de tres caños paralelos de 37,1 mm. de diámetro, cuyos ejes sucesivos se encuentran separados 300 mm. Cada caño posee tres orificios de 12 mm. separados 300 mm. entre centros. Como los tres caños deben ser alimentados por una sola cañería, se ha adoptado la forma indicada en el gráfico 2 para el distribuidor de agua, a los fines de que ingresen iguales volúmenes a los tres caños y así uniformar la distribución.

Para romper el chorro de agua, logrando así una mayor superficie de intercambio, se lo hace incidir sobre un plato de 100 mm. de

diámetro (Visualizar en el gráfico 2).-

Los eliminadores tienen por finalidad retener las partículas de agua que son arrastradas por la corriente de aire. Detalles de su construcción puede observarse en el gráfico 3.-

Ventilador:

Las palas del ventilador son accionadas por un motor trifásico de 1,5 CV y 925 v.p.m. La transmisión se efectúa con poleas de dos acanaladuras las que conjuntamente con las correas se hallan protegidas de la acción del aire húmedo saliente. Detalles de la defensa, así como otras características del ventilador, se encuentran claramente expresados en los gráficos 4 y 5. La relación de transmisión es 1:1. El ventilador fué proyectado para hacer circular un caudal de 10.000 Kg/hr de aire a 10 mm. de agua, pero como puede verse por las anotaciones del gráfico 1, la torre con chimenea (originalmente estaba destinada a funcionar sin ésta) posee una altura de 9,55 m. Tomando un valor de 1,14 para el peso específico del aire, fácilmente vemos que sólo la columna de aire que debe vencer el ventilador supera los 10 mm. considerados, sin contar las pérdidas de carga por fricción. Como era de esperar, el caudal real oscila en los 8000 Kg/hr.

Chimenea:

Construida en chapa de dos milímetros, tiene 0,70 m. de diámetro y 2,90 m. de alto. En ella se ha instalado dos termoresistencias para el control de las condiciones del aire saliente. Una se encuentra rodeada por un paño que es mantenido húmedo por un dispositivo de gómba.

En primera instancia se pensó en colocar un tubo Pitot para deducir de sus indicaciones el caudal de aire que circula, pero un ligero cálculo indicó que se obtendría un desnivel de 2 mm. de agua para el caudal proporcionado por el ventilador; entre crear un abocinamiento en el interior de la chimenea, con el objeto de que el Pitot registre un marcado desnivel en el manómetro diferencial, o adoptar un anemómetro, por comodidad se ha utilizado este último. El instrumento fué cedido por la Oficina Meteorológica Nacional. El tipo de dispositivo utilizado no resultó ser muy adecuado.

Medición del caudal de agua:

Se ha provocado un estrangulamiento en la cañería de alimenta-

ción mediante un diafragma. Los dispositivos para la toma de presiones antes y después del disco, dimensiones del diafragma, etc. pueden observarse en el gráfico 6.

El estrangulamiento se ha calculado de manera que produzca un desnivel máximo, compatible con las dimensiones del manómetro, para el máximo caudal de trabajo. El instrumento registrador es del tipo indicado en el gráfico 6, de una sola rama (de 300 mm).

A partir de la expresión matemática del teorema de Bernoulli, se puede llegar a la siguiente ecuación, previa introducción de ciertos factores correctivos;¹⁰

$$L = 0,01252 \cdot C \cdot e \cdot d^2 \cdot \sqrt{(P_1 - P_2) \cdot \gamma} \quad (6)$$

donde L es el caudal de fluido, en Kg/hr; el factor 0,01252 depende de las unidades empleadas; C, es el coeficiente de flujo del diafragma, que tiene en cuenta: 1º) Velocidad de entrada antes del diafragma, 2º) Rozamiento del fluido antes del diafragma y en el interior de éste, 3º) Contracción de la vena fluida a través del diafragma, 4º) Presión antes y después del diafragma; e, Coeficiente de compresibilidad, en nuestro caso es la unidad (indica incompresibilidad); $(P_1 - P_2)$; Diferencia de presión antes y después del diafragma, expresada en mm. de agua (Los mm. de Hg de desnivel multiplicados por 12,6 por emplearse agua como líquido de cierre); d; diámetro del orificio del diafragma, en mm; γ ; peso específico del fluido, en Kg/m³.

Llamando "m" a la relación de estrangulamiento dada por $(d/D)^2$ donde D es el diámetro interno de la cañería, la (6) puede ser escrita:

$$L = 0,01252 \cdot m \cdot C \cdot D^2 \cdot \sqrt{(P_1 - P_2) \cdot \gamma} \quad (7)$$

Para el cálculo del orificio del diafragma, se reemplaza en la (7) L por el caudal que se desea pasar, D y γ , por sus valores y $(P_1 - P_2)$ por el desnivel que se desea lograr en el manómetro.

De esta manera se puede despejar m.C y recurriendo a un gráfico de $e = f(m, C, D)$ se encuentra C, que sustituido en la (6) permite hallar el valor de d, para producir el desnivel máximo.

Observando la (6) ó (7), vemos que la disminución de caudal

de presión está unívocamente relacionada con el caudal, o mejor, el caudal es proporcional a $\sqrt{(P_1 - P_2)}$, lo que permite calibrar rápidamente el manómetro para indicar directamente caudales.-

Bomba:

El drenaje de agua de la batea se efectúa con una bomba centrífuga de 10.000 Kg/hr a 15 m. Es accionada por un motor trifásico de 1,5 CV. En la cañería de impulsión se colocó una válvula para regular el caudal de líquido extraído a la batea.

Control del manómetro diferencial:

Una vez instalado el manómetro, se comprobó su funcionamiento por pesada de la cantidad de agua drenada por la bomba en un determinado tiempo. Se controlaba que el nivel de la batea permaneciera constante durante el ensayo, mediante un "hilo de agua" mantenido en el desborde y que permitía visualizar indirectamente la constancia de nivel.-

III) Determinación Experimental

Como es sabido, un diagrama psicrométrico proporciona las características físicas del aire húmedo. En el diagrama adjunto pueden observarse líneas que expresan valores constantes de la temperatura del bulbo húmedo, temperatura de bulbo seco, humedad absoluta, humedad relativa, volumen específico (o su inversa peso específico) y de entalpías que se han hecho coincidir con las de temperatura de bulbo húmedo. Entrando al diagrama por dos condiciones, temperaturas de bulbo húmedo y de bulbo seco por ejemplo, o este último y condición de saturación, queda fijado un punto en el mismo que posibilita la determinación de los restantes parámetros que correspondan a ese determinado estado.

Ese es el mecanismo que se ha adoptado para, en base a las temperaturas de bulbo húmedo y seco dadas por un psicrómetro honda, individualizar las restantes magnitudes que permitan la aplicación de la (4). En el caso de las condiciones del aire saliente, se ha tabulado sólo la temperatura de bulbo seco, ya que la particularidad de salir casi a saturación permite, junto con aquella, ubicar el punto. Para las condiciones de interfase gaseosa, una es la temperatura de bulbo seco (dada por la del agua) y la otra condición es su estado de saturación, que permite fijar el punto en la intersección temperatura-curva de saturación.-

Para el cálculo de G , se utilizó la ecuación de continuidad;

$G = v.S.\gamma$, donde v es la velocidad media de la corriente gaseosa en la chimenea, en m/hr, su valor se lee directamente en el medidor del anemómetro; S , es la sección transversal de la chimenea, en m^2 , calculada en base a su diámetro de 0,70 m. γ , es el peso específico del aire saliente, en Kg/m^3 .

También se ha efectuado un balance térmico entre el calor cedido por el agua y el incremento observado en el aire, mediante la expresión $G.d_i = L.d_{tv}$, con la conocida salvedad para la unidad de d_{tv} . Se incluye también la diferencia porcentual respecto de $L.d_{tv}$.

Calculadas las características aplicando (5) y (4), se procedió luego a encontrar los correspondientes valores de $K.a$, multiplicando la característica por L/V , donde V , volumen de torre ocupado por el relleno, puede calcularse en base a las anotaciones del gráfico 1 y considerando una sección transversal cuadrada de 1,10 m. de lado. A

partir del valor encontrado, $3,243 \text{ m}^3$, se calcularon los L/V para los tres caudales de agua utilizados, para pasar luego al cálculo de los K.a.-

IV) Discusión e interpretación

El 14% de las determinaciones, condujeron a balances térmicos que pusieron en evidencia discrepancias superiores al 10% entre el calor cedido por el agua y el tomado por el aire. Esto se puede atribuir, en parte, a la variabilidad en la temperatura del agua de entrada, variabilidad que si bien puede conocerse, no es posible conducir. Es decir, le falta al operador el dominio sobre esa variable, no puede fijar arbitrariamente su valor, puesto que el agua utilizada proviene de plantas.

El porqué de esas discrepancias, se explicará por el hecho de que la variación brusca de temperaturas en el agua de entrada, es puesta de manifiesto inmediatamente por el dispositivo de control respectivo, mientras que en la batea, debido a la inercia térmica de la masa de agua contenida en ella, la variación puede no ser acusada en forma inmediata, trayendo esto como consecuencia irregularidades en el balance energético.-

Puede observarse que los valores de la media logarítmica entre los potenciales de transferencia de masa ($X_1 - X_2$) en las secciones extremas de la torre, difieren poco de las correspondientes medias aritméticas. La adopción de esta última en lugar de aquella, simplificaría enormemente los cálculos. Puede observarse que cuando esa diferencia de potenciales no sobrepasa las dos unidades, el error que se comete en el cálculo de la característica disponible, adoptando la media aritmética en lugar de la logarítmica, es despreciable. Para diferencias de cuatro unidades el error puede variar entre 2% y 5%, según el valor de la característica.-

Debido a la variación conjunta de las condiciones psicrométricas del aire y de la temperatura del agua entrante, resulta prácticamente imposible aún poner en evidencia conclusiones cuantitativas.

Realizando un gran número de experiencias y escogiendo grupos de determinaciones que manifiesten la variabilidad de un solo parámetro, a todos los demás constantes, será posible la obtención de aquellas informaciones.

Cualitativamente podemos observar lo previsible; la característica disponible aumenta cuando disminuye la rigurosidad del trabajo, es decir, cuando disminuye L a G constante, y cuando el aire entrante disminuye su humedad relativa.-

Los valores de K_a obtenidos son muy disímiles y no permiten poner de manifiesto ninguna tendencia de variación.-

En cuanto a la influencia sobre los resultados motivada por la distinta distribución de las bandejas de relleno, no ha sido puesta de manifiesto, ya que las condiciones tan distintas de aire entrante con que se trabajó en sendas oportunidades, enmascararon cualquier posible efecto.-

Modificaciones aconsejadas para próximas experiencias:

- 1º) Cambiar el anemómetro atmosférico colocado en el interior de la chimenea por uno más adecuado.-
- 2º) Sería conveniente el remplazo de las termo-resistencias por termocuplas, con el objeto de poder utilizar un aparato de mayor precisión en el control de las temperaturas.-
- 3º) Es bueno que en la batea, en vez de un solo acusador de temperatura, se ubiquen dos a distintas profundidades. Esto se justifica por la enorme influencia que tal temperatura tiene en los resultados finales.-
- 4º) En Bados ⁽¹¹⁾, pueden encontrarse compendiadas las razones por las cuales no es conveniente trabajar con un caudal específico de aire (G/S') superior a $6.500 \text{ Kg/hr. m}^2. S'$, es la sección efectiva de pasaje de aire.

Las experiencias fueron realizadas con valores de G/S' , que sobrepasan bastante ese límite. Será conveniente en futuros trabajos, actuar sobre la relación de transmisión del ventilador a los efectos de no sobrepasar ese valor tope.-




Bibliografía

- (1) Boelter L.M.K.- "Cooling tower performances studies. H.P. y A.C. 1939.-
- (2) Nottage H.B. y Boelter L.M.K.- "Dinamic and thermal behavior of water drops in evaporative cooling processes". H.P. y A.C. 1940.-
- (3) Flower.- Proc. of the Ph. Soc. of London. 1928.-
- (4) Bischof G.- "Cooling towers fundamentals and their application to cooling Diesel and gas engines". ASME, Trans. 1939.-
- (5) Niederman H.H., Howe E.D., Longwell J.P., Seban R.A. y Boelter L.M.K.- Performance characteristics of a forced draft counter-flow, spray cooling tower". H.P. y A.C. 1941.-
- (6) Merkel F.-"Verdunstungskuhling". Forschungsarbeiten, 1925.-
- (7) Boelter L.M.K., Seban R.A., y Longwell H.P.- "Cooling tower design" ASHVE. Guido of Heating, Ventilating and Air Condit. 1935.-
- (8) Backer.- "Grafical method of determining NTU". Ind. and Eng.Chem. 1935.-
- (9) Lichtenstein J.- "Performance and selection of mecanically draft cooling towers". ASME, Trans. 1943.
- 10) ATANOR.- Recopilación de procedimientos para medición de caudales.
- (11) Bados J.M.- "Torres de enfriamiento". Centro de Estudiantes de Ingeniería. 1948.-

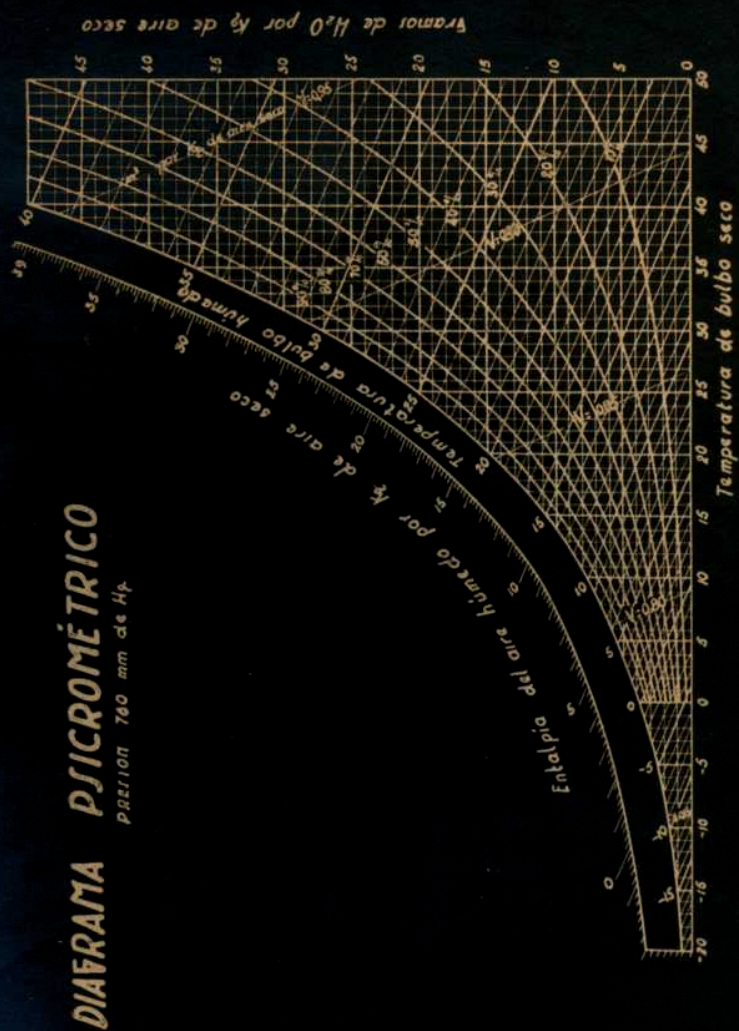


FIG. 270 a

▽ 9.55 m PARTE SUPERIOR CHIMENEA

CHIMENEA

Ø 0.70 m

▽ 6.80 m BASE de la CHIMENEA
Y PARTE SUP. VENTILADOR

MOTOR VENTILAD.

▽ 6.40 m

PIVO SUP. SOPORTE MOTOR
VENTILADOR Y CHIMENEA

▽ 6.00 m NIVEL SUPERIOR DEL ELIMINADOR

▽ 5.85 m NIVEL INFERIOR DEL ELIMINADOR

▽ 5.45 m DISTRIBUIDOR DE AGUA

▽ 5.05 m ROMPE-CHORRO/

▽ 4.85 m NIVEL SUPERIOR 4ª BANDEJA

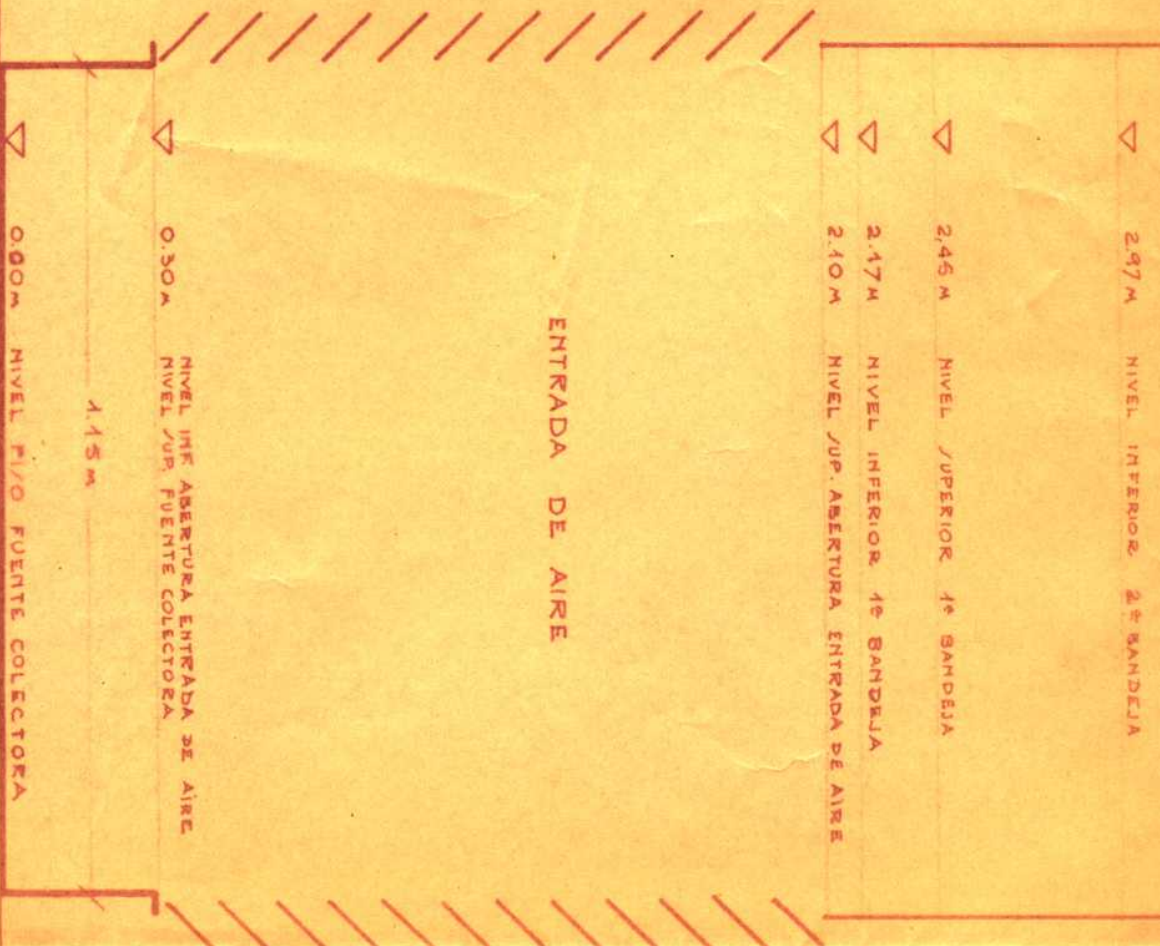
▽ 4.57 m NIVEL INFERIOR 4ª BANDEJA

▽ 4.05 m NIVEL SUPERIOR 3ª BANDEJA

▽ 3.77 m NIVEL INFERIOR 3ª BANDEJA

▽ 3.25 m NIVEL SUPERIOR 2ª BANDEJA

▽ 2.97 m NIVEL INFERIOR 2ª BANDEJA



CORTE DE
LA TORRE

Tesis de Posgrado

Página no digitalizada

Tipo de material: Lámina

Alto: 48

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

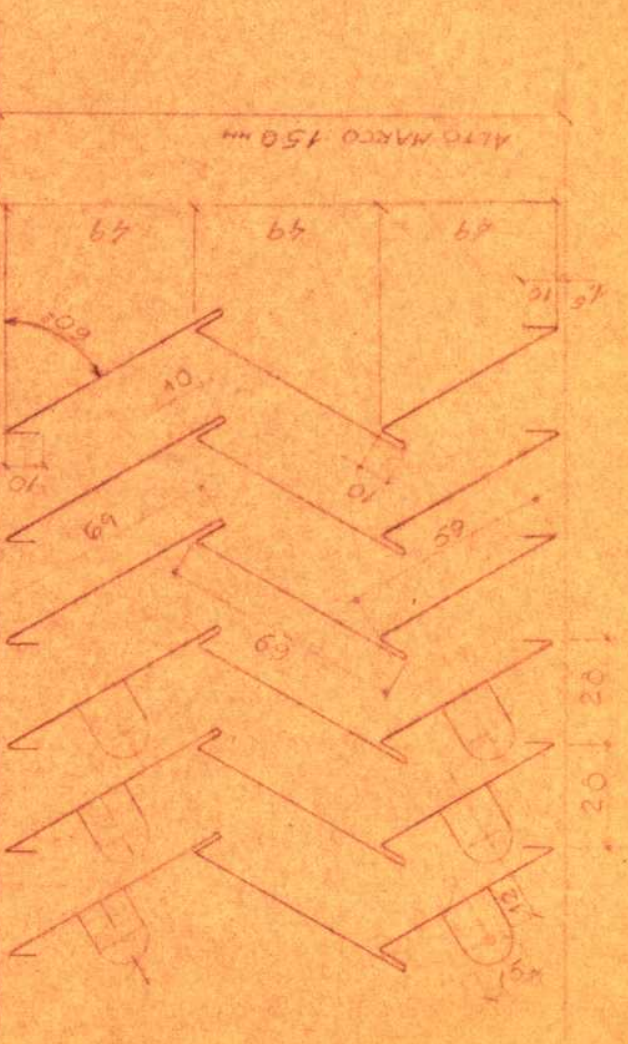
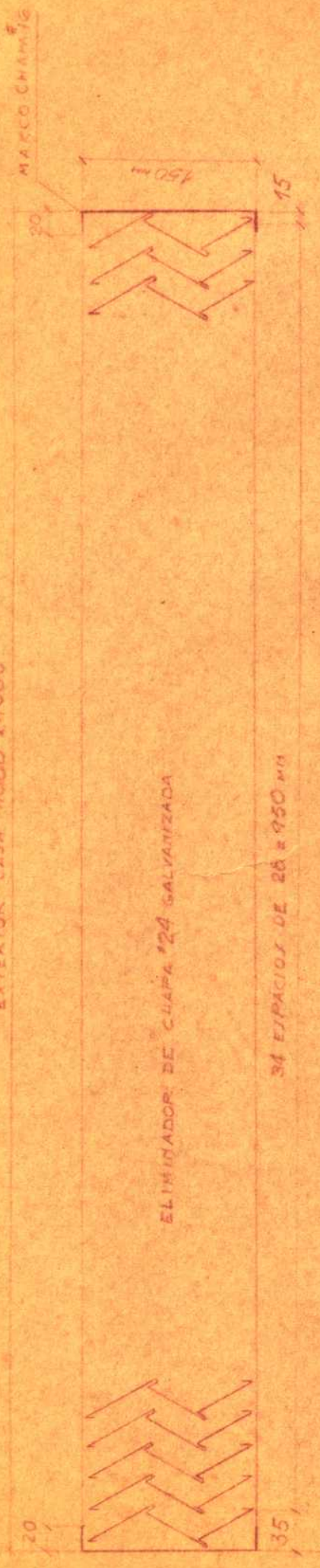
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales



UBA

Universidad de Buenos Aires

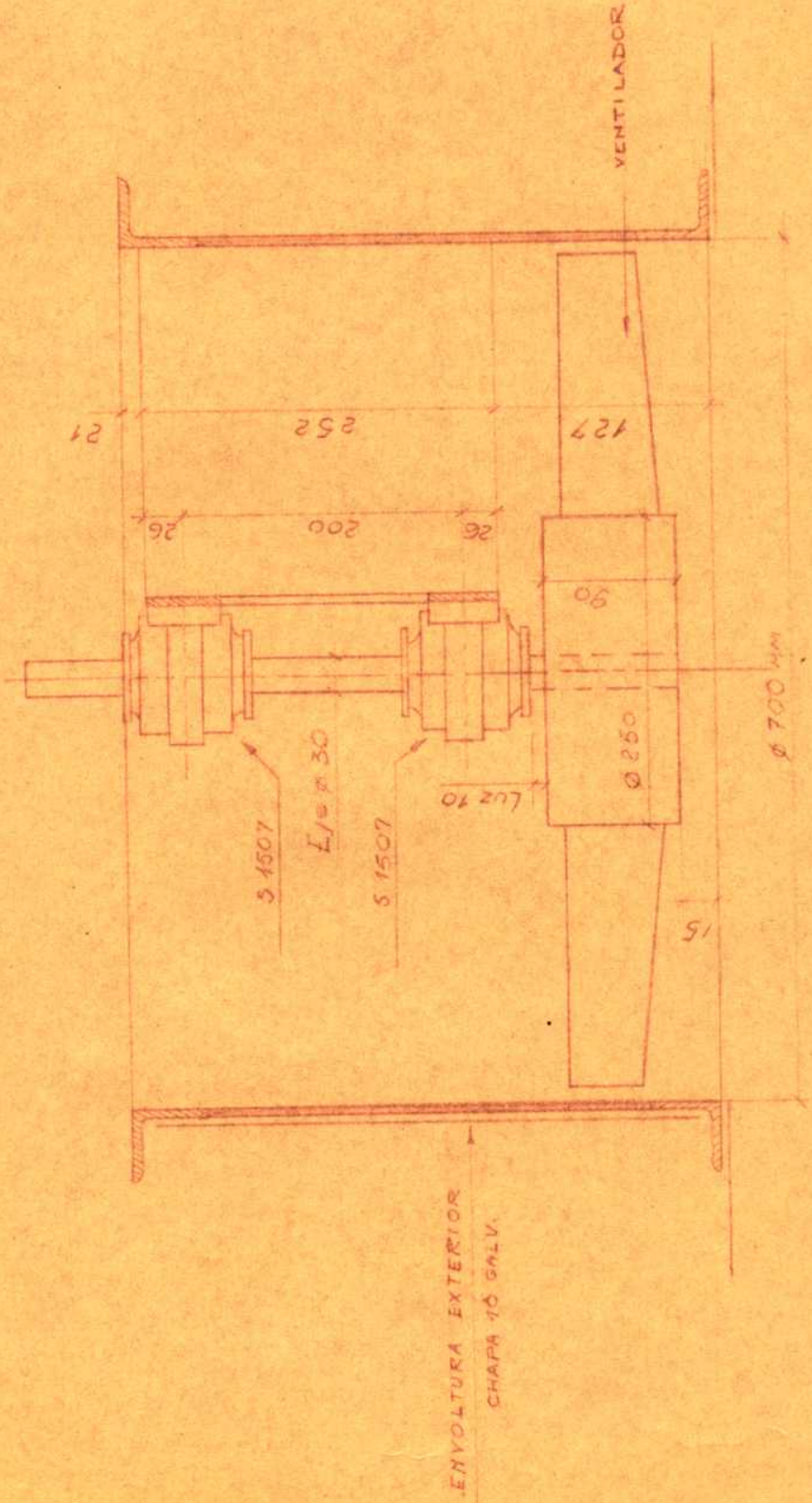
EXTERIOR CAJA 1000 X 1000

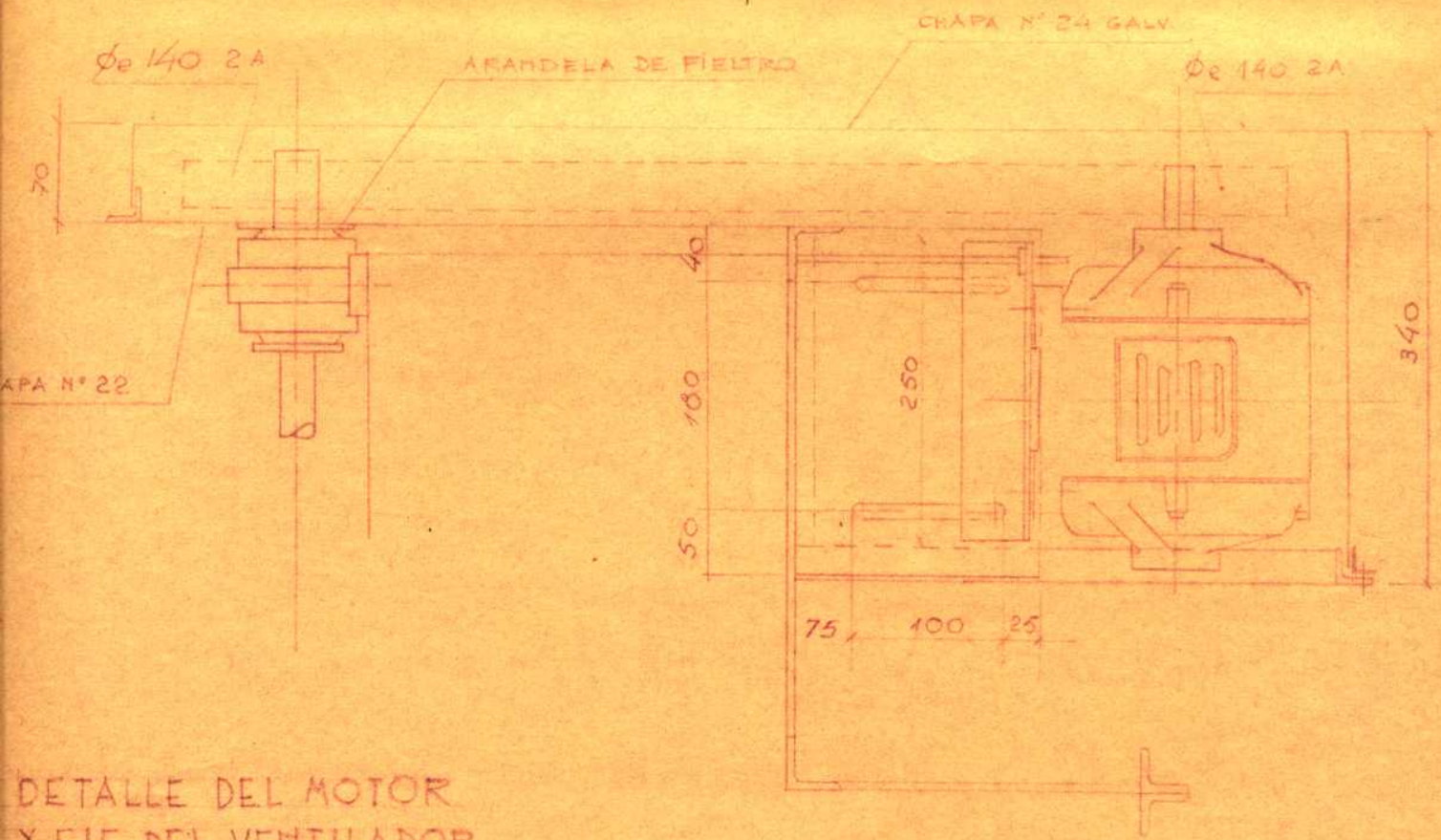


PLANCHUELA FIJADA CON REMACHE/ DE COBRE Ø 5/16"

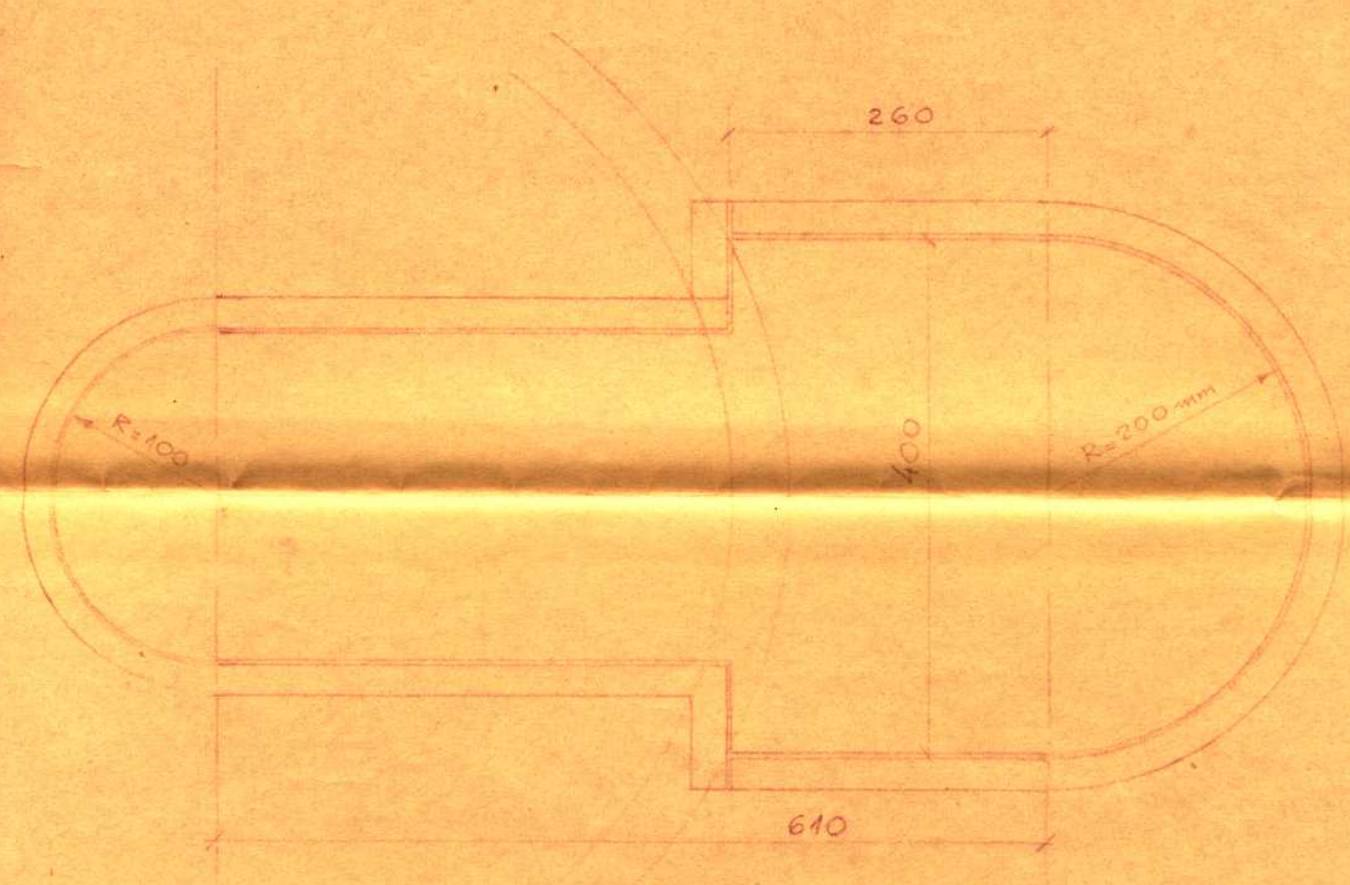
ELIMINADOR de GOTAS

DETALLE DEL VENTILADOR





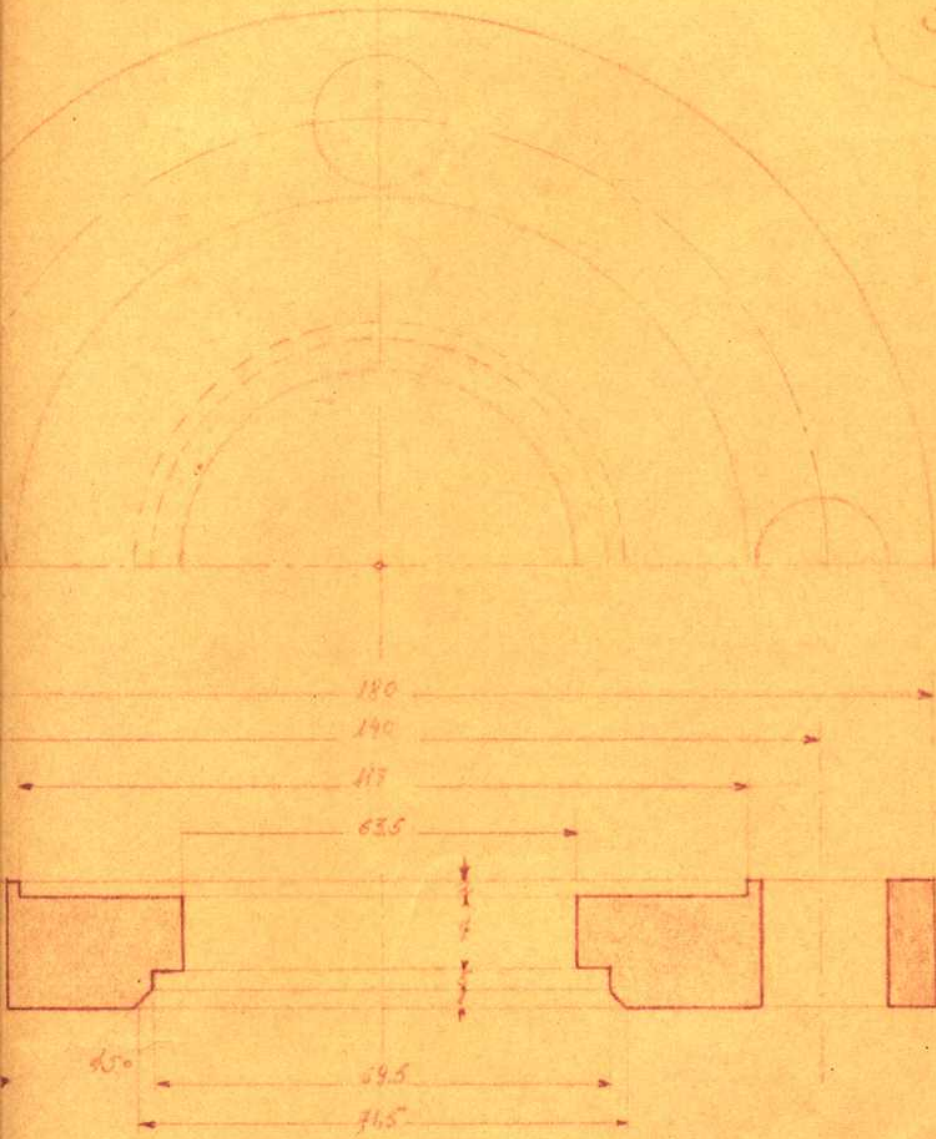
DETALLE DEL MOTOR Y EJE DEL VENTILADOR



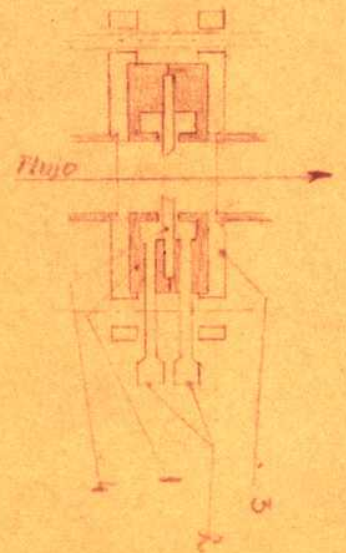
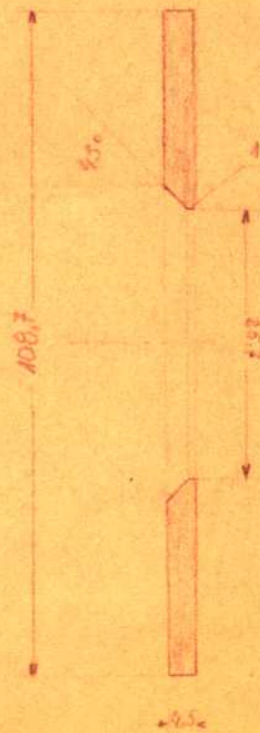
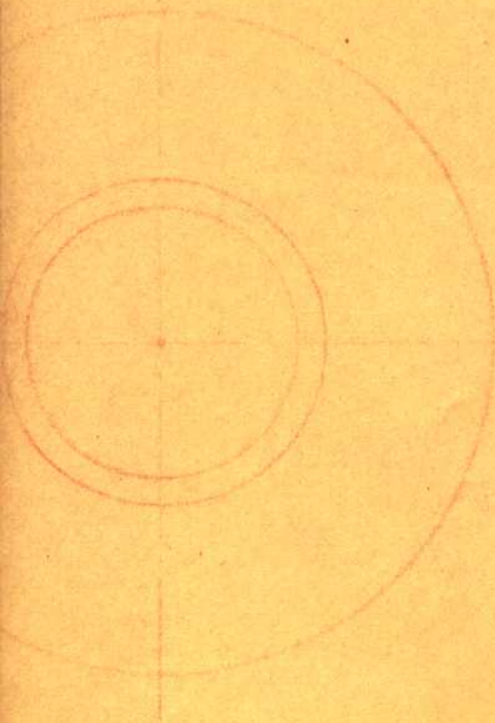
DETALLE DE DEFENSA

3

Esquema Manómetro

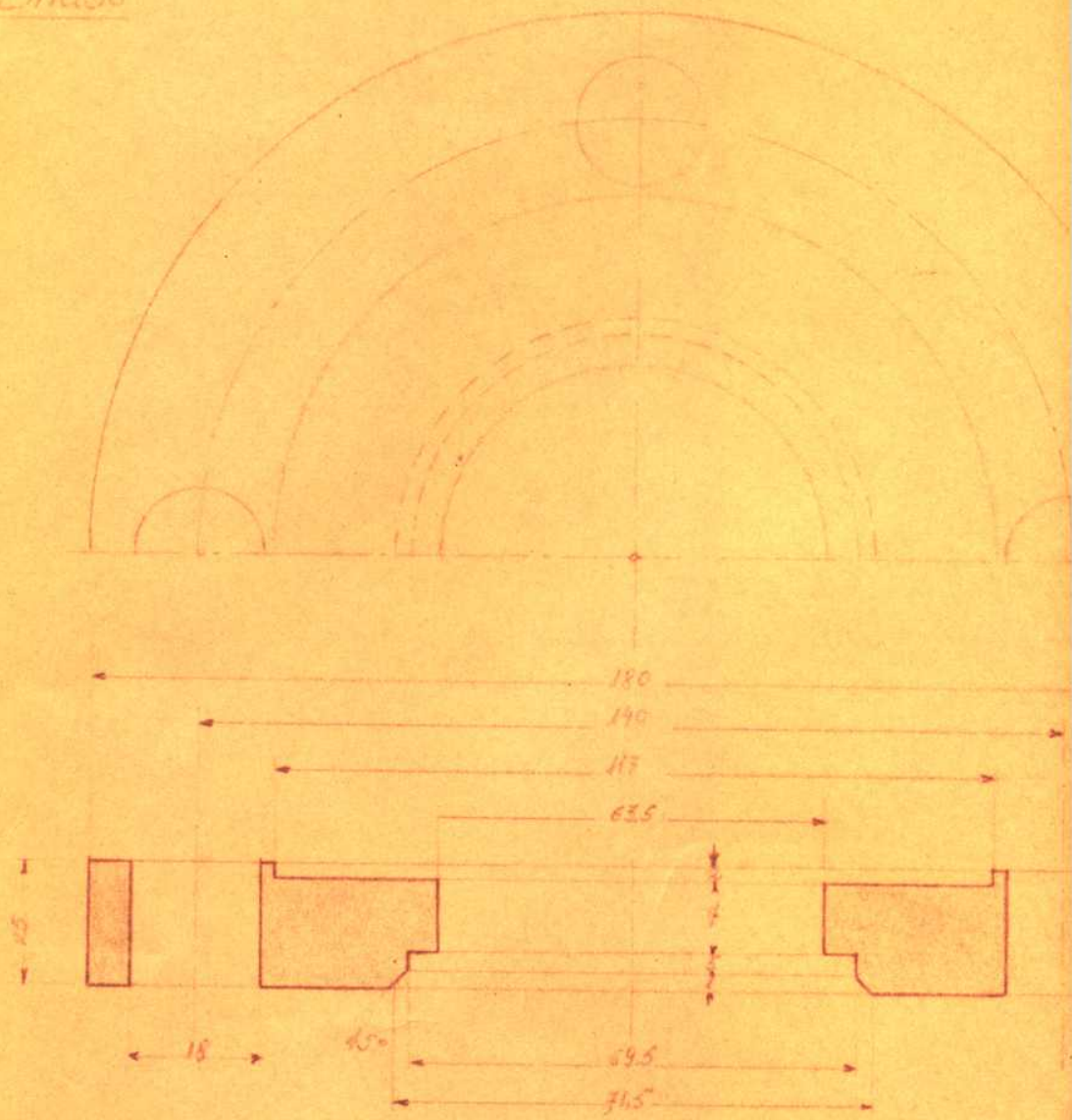


Diaphragma



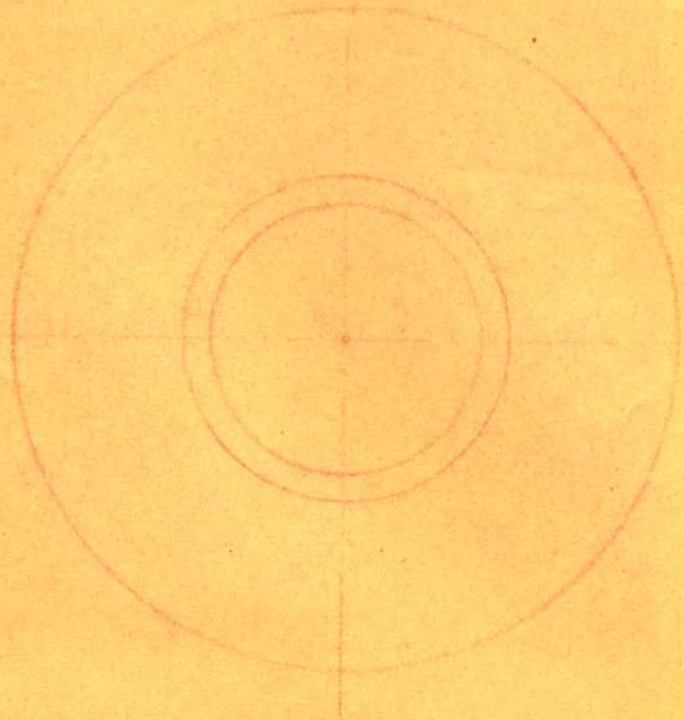
Disposicion de Cajas, Bidas, Picos y Diaphragma

Bridas

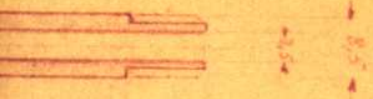


Diaphragma

4

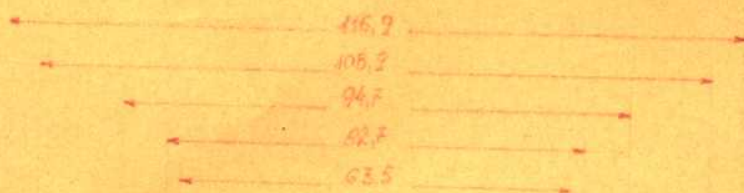
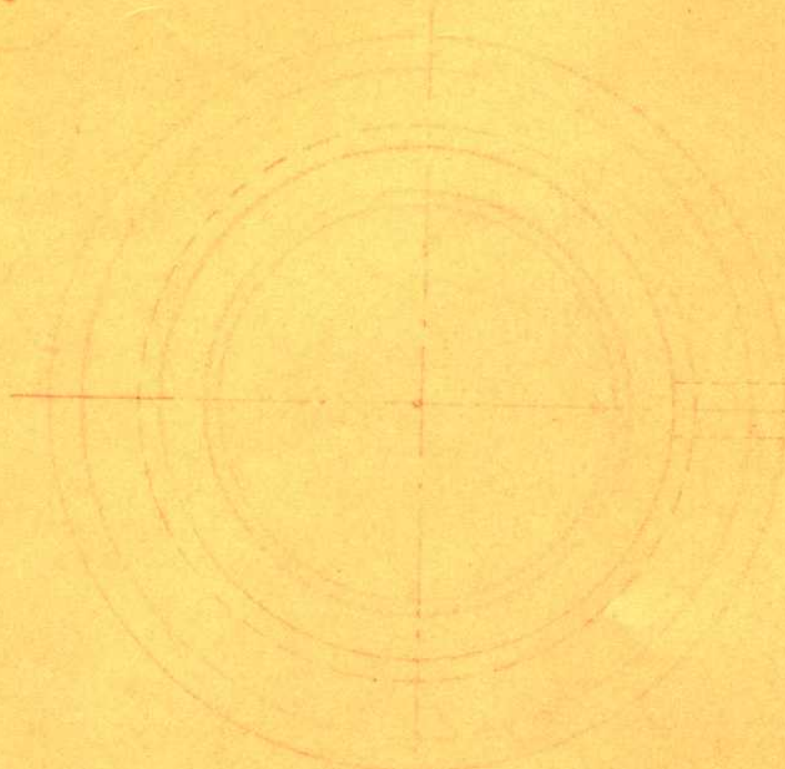


5/16 W



5 -> 10 ->

1

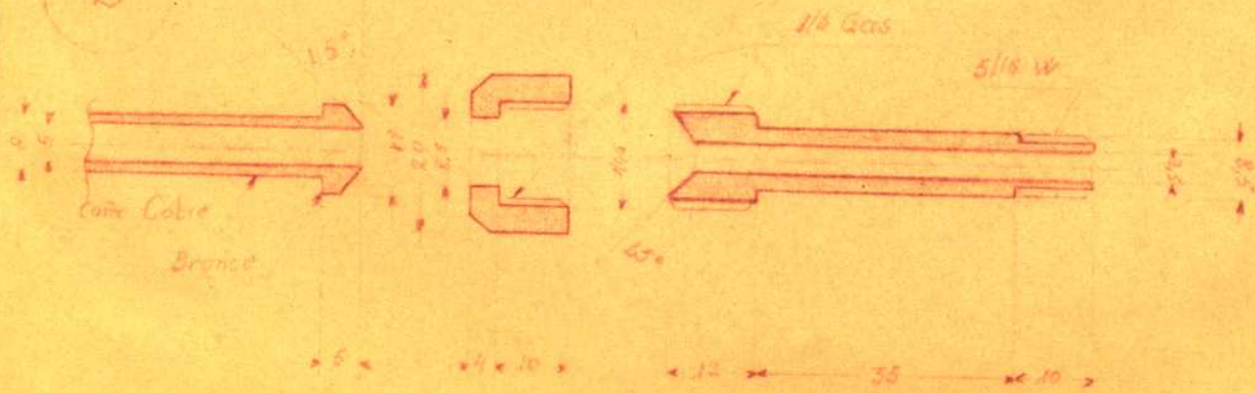


95.8

w 9/16

2

Picos



Kg/hr

$L/V = 3080 \text{ hr}^{-1} \text{ m}^3$

X_{i1}	X_{i2}	X_1	X_2	$\alpha = X_{i2} - X_2$	$\beta = X_{i1} - X_1$	$\alpha - \beta$	$2.3 \log \alpha/\beta$	ΔX_m	$X_1 - X_2$	$K \cdot V/L$	L/F	K.D
22,0	16,2	13,6	6,8	9,4	8,4	1,0	0,1150	8,86	6,8	0,630	1,220	1940
22,7	16,7	13,8	6,8	9,9	8,9	1,0	0,1070	9,35	7,0	0,615	1,220	1850
22,7	16,7	13,8	7,0	9,7	8,9	0,8	0,0862	9,25	6,8	0,603	1,220	1860
22,7	16,7	14,8	7,7	9,0	7,9	1,1	0,1310	8,40	7,1	0,693	1,220	2130
23,3	17,2	15,2	7,5	9,7	8,1	1,6	0,1820	8,80	7,7	0,712	1,227	2370
23,3	17,2	16,0	7,5	9,7	7,3	2,4	0,2850	8,40	8,5	0,820	1,233	2520
42	17,2	17,1	7,2	10,0	7,1	2,9	0,3440	8,45	9,9	0,955	1,242	2940
4,8	17,8	18,3	7,5	10,3	6,5	3,8	0,4660	8,31	10,8	1,080	1,250	3320
4,8	17,2	18,6	7,4	9,8	6,2	3,6	0,4560	7,89	11,2	1,140	1,250	3520
5,6	17,8	19,2	7,6	10,2	6,4	3,8	0,4650	8,17	11,6	1,135	1,250	3480
5,6	17,8	18,6	7,5	10,3	7,0	3,3	0,3880	8,51	11,1	1,092	1,250	3210
5,6	17,8	18,6	7,4	10,4	7,0	3,4	0,3960	8,59	11,2	1,045	1,250	3220
5,6	17,8	19,2	7,5	10,3	6,4	3,9	0,4740	8,10	11,7	1,158	1,250	3480
6,6	18,3	19,9	7,6	10,7	6,7	4,0	0,4740	8,45	12,3	1,158	1,258	3480
7,3	18,3	20,3	8,1	10,2	7,0	3,2	0,3760	8,49	12,2	1,141	1,258	3520
7,3	18,3	20,3	7,8	10,5	7,0	3,5	0,4050	8,04	12,5	1,150	1,258	3540
7,3	18,3	20,3	7,9	10,5	7,0	3,5	0,4050	8,64	12,5	1,150	1,258	3540
6,6	17,8	20,3	7,8	10,0	6,3	3,7	0,4600	8,03	12,5	1,239	1,258	3810
6,6	17,8	19,9	7,8	10,0	6,7	3,3	0,4010	8,24	12,1	1,170	1,258	3600
6,6	17,8	19,9	8,1	9,7	6,7	3,0	0,3700	8,10	11,8	1,161	1,258	3580

Relleno Tipo A

Aire Entrada		Aire Salida		Agua		Insalpia Aire		$\Delta t_w = t_{w1} - t_{w2}$	$\Delta t = L_1 - L_2$
t_{b1}	t_{b2}	t_{s1}	t_{s2}	t_{w1}	t_{w2}	L_2	L_1		
12,4	10,2	19,0	26,5	21,5	11	12,6	5,0	5,5	8
13,5	10,8	19,5	27,0	22,0	7,4	13,0	5,0	5,6	8
15,0	11,4	19,5	27,0	22,0	7,8	13,0	5,0	5,5	8
16,5	12,6	20,5	27,0	22,0	8,5	13,9	5,0	5,4	8
18,4	13,2	21,0	27,5	22,5	9,0	14,5	5,0	5,5	8,1
19,1	13,5	21,5	27,5	22,5	9,2	14,7	5,0	5,5	8,1
20,6	13,8	22,5	28,0	22,5	9,3	15,5	5,5	6,2	8,0
22,0	14,6	23,5	28,5	23,0	9,8	16,5	5,5	6,7	8,0
22,8	14,8	24,0	28,5	22,5	9,9	17,2	6,0	7,3	8,0
23,0	15,0	24,5	29,0	23,0	10,1	17,6	6,0	7,5	8,0
23,8	15,1	24,5	29,0	23,0	10,2	17,2	6,0	7,0	8,0
24,6	15,2	24,0	29,0	23,0	10,2	17,2	6,0	7,0	8,0
25,0	15,6	24,5	29,0	23,0	10,5	17,6	6,0	7,1	8,0
24,6	15,6	25,0	29,5	23,5	10,5	18,0	6,0	7,5	7,95
25,2	16,1	25,5	30,0	23,5	10,9	18,6	6,5	7,7	7,95
24,6	15,8	25,5	30,0	23,5	10,6	18,6	6,5	8,0	7,95
24,6	15,8	25,5	30,0	23,5	10,6	18,6	6,5	8,0	7,95
24,5	15,8	25,5	29,5	23,0	10,6	18,6	6,5	8,0	7,95
24,0	15,6	25,0	29,5	23,0	10,5	18,0	6,5	7,5	7,95
23,0	15,5	25,0	29,5	23,0	10,4	18,0	6,5	7,6	7,95

hr

$$L/V = 2480 \text{ Kg/hr}\cdot\text{m}^3$$

X_{i1}	X_{i2}	X_1	X_2	$\alpha = X_{i2} - X_2$	$\beta = X_{i1} - X_1$	$\alpha - \beta$	$2,3 \log \alpha/\beta$	ΔX_m	$X_1 - X_2$	K.a.V/L	L/G	K.a
7,3	17,2	21,0	8,9	8,3	6,3	2,0	0,2850	7,26	12,1	1,680	0,994	4160
9,0	18,3	21,7	9,1	9,2	7,3	1,9	0,2320	8,20	12,6	1,549	0,994	3840
9,8	18,3	21,7	9,1	9,2	8,1	1,1	0,4280	8,60	12,6	1,475	0,994	3660
9,8	18,3	21,7	9,1	9,2	8,1	1,1	0,4280	8,60	12,6	1,475	0,994	3660
10,7	18,9	22,7	9,2	9,7	8,0	1,7	0,1930	8,80	13,5	1,531	1,000	3780
10,7	18,9	22,7	9,1	9,8	8,0	1,8	0,2030	8,85	13,6	1,535	1,000	3800
10,8	18,9	22,7	8,9	10,0	7,1	2,9	0,3401	8,48	13,8	1,622	1,000	1020
9,0	18,3	21,0	8,8	9,5	8,0	1,5	0,1735	8,68	12,2	1,405	0,994	3480
9,8	18,3	21,7	8,9	9,4	8,1	1,3	0,1500	8,68	12,8	1,405	0,994	3480
9,8	18,3	21,7	8,9	9,4	8,1	1,3	0,1500	8,68	12,8	1,405	0,994	3480
6,6	17,2	18,6	8,8	8,4	8,0	0,4	0,10411	8,18	11,8	1,472	0,981	3650
6,6	17,2	19,2	8,8	8,4	7,4	1,0	0,1280	7,80	10,4	1,360	0,981	3370
6,6	17,2	19,9	8,9	8,3	6,7	1,6	0,2160	7,41	11,0	1,505	0,990	3730
6,6	17,2	19,9	9,6	7,6	6,7	0,9	0,1270	7,08	10,3	1,472	0,990	3650
6,6	17,2	20,3	9,6	7,6	6,3	1,3	0,1890	6,89	10,7	1,579	0,990	3900
7,3	17,8	20,3	9,6	8,2	7,0	1,2	0,1590	7,54	10,7	1,440	0,990	3570

Tipo A

$L = 7050 \text{ Kg/hr}$

$L/V = 2480$

	$\Delta l_w = l_{w1} - l_{w2}$	$\Delta l = l_1 - l_2$	$G \times 10^{-3}$	$G \cdot \Delta l \times 10^{-3}$	$L \cdot \Delta l_w \times 10^{-3}$	$(L \cdot \Delta l_w - G \cdot \Delta l) / 10^{-3}$	Discrepancia %	X_{i1}	X_{i2}	X_1	X_2	$\alpha = X_{i2} - X_2$	$\beta = X_{i1} - X_1$	$\gamma - \rho$
0	7,5	7,8	7,90	61,6	58,9	-2,7	4,58	27,3	17,2	21,0	8,9	8,3	6,3	2,0
6	7,5	8,3	7,90	65,5	59,9	-6,6	11,50	29,0	18,3	21,7	9,1	9,2	7,3	1,9
6	8,0	8,3	7,90	65,5	62,8	-2,7	4,29	29,8	18,3	21,7	9,1	9,2	8,1	1,1
6	8,0	8,3	7,90	65,5	62,8	-2,7	4,29	29,8	18,3	21,7	9,1	9,2	8,1	1,1
2	8,0	8,7	7,85	68,4	62,8	-5,6	8,91	30,7	18,9	22,7	9,2	9,7	8,0	1,7
2	8,0	8,7	7,85	68,4	62,8	-5,6	8,91	30,7	18,9	22,7	9,1	9,8	8,0	1,8
2	7,5	9,0	7,85	70,6	58,9	-11,7	20,10	29,8	18,9	22,7	8,9	10,0	7,1	2,9
0	7,5	7,8	7,90	61,6	58,9	-2,7	4,56	29,0	18,3	21,0	8,8	9,5	8,0	1,5
6	8,0	8,4	7,90	65,4	62,8	-3,6	5,72	29,8	18,3	21,7	8,9	9,4	8,1	1,3
6	8,0	8,5	7,90	67,1	62,8	-4,3	6,85	29,8	18,3	21,7	8,9	9,4	8,1	1,3
2	7,0	6,7	8,00	53,6	55,0	1,4	2,54	26,6	17,2	18,6	8,8	8,4	8,0	0,4
6	7,0	6,8	8,00	54,5	55,0	0,5	0,91	26,6	17,2	19,2	8,8	8,4	7,4	1,0
0	7,0	6,9	7,95	54,8	55,0	0,2	0,36	26,6	17,2	19,9	8,9	8,3	6,7	1,6
0	7,0	6,5	7,95	51,6	55,0	3,4	6,18	26,6	17,2	19,9	9,6	7,6	6,7	0,9
6	7,0	6,9	7,95	54,8	55,0	0,2	0,36	26,6	17,2	20,3	9,6	7,6	6,3	1,3
6	7,0	6,8	7,95	54,0	55,0	1,0	1,84	27,3	17,8	20,3	9,6	8,2	7,0	1,2

Relleno Tipo A

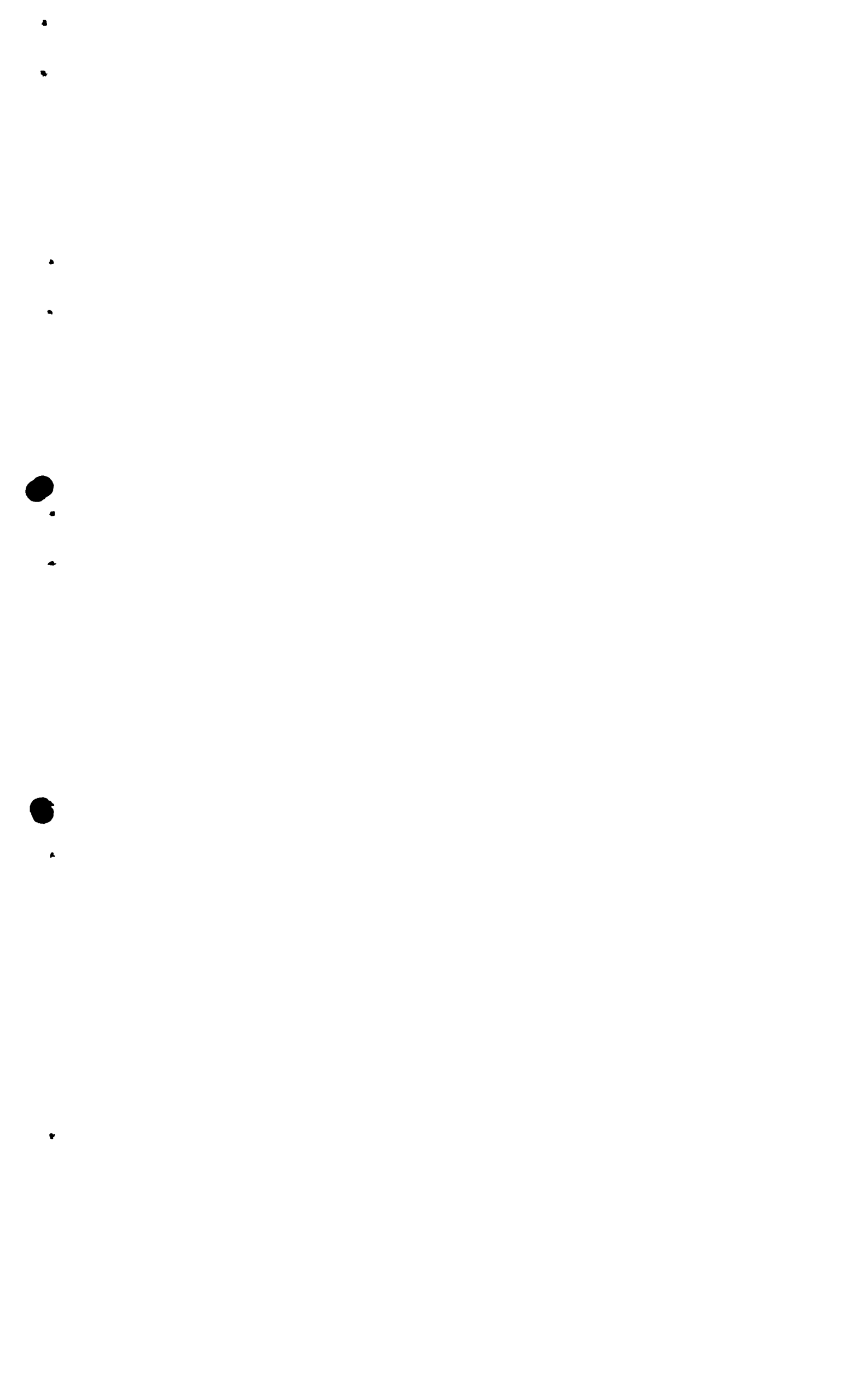
Aire Entrada		Aire Salida	Agua		Entalpia Aire		$\Delta h_w = h_{w2} - h_{w1}$	$\Delta i = i_1 - i_2$	$G \times 10^3$
lbs ₂	lbh ₂	lbs ₁	h_{w1}	h_{w2}	i_2	i_1			
24,0	16,6	26,0	30,0	22,5	11,2	19,0	7,5	7,8	7,90
24,4	16,9	26,5	31,0	23,5	11,3	19,6	7,5	8,3	7,90
24,4	16,9	26,5	31,5	23,5	11,3	19,6	8,0	8,3	7,90
24,4	16,8	26,5	31,5	23,5	11,3	19,6	8,0	8,3	7,90
24,4	17,0	27,0	32,0	24,0	11,5	20,2	8,0	8,7	7,85
24,8	17,0	27,0	32,0	24,0	11,5	20,2	8,0	8,7	7,85
24,6	16,7	27,0	31,5	24,0	11,2	20,2	7,5	9,0	7,85
24,4	16,6	26,0	31,0	23,5	11,2	19,0	7,5	7,8	7,90
24,2	16,6	26,5	31,5	23,5	11,2	19,6	8,0	8,4	7,90
24,0	16,5	26,5	31,5	23,5	11,1	19,6	8,0	8,5	7,90
24,6	15,6	24,0	29,5	22,5	10,5	17,2	7,0	6,7	8,00
22,4	16,0	24,5	29,5	22,5	10,8	17,6	7,0	6,8	8,00
23,2	16,2	25,0	29,5	22,5	10,9	18,0	7,0	6,9	7,95
23,7	17,0	25,0	29,5	22,5	11,5	18,0	7,0	6,5	7,95
24,2	17,2	25,5	29,5	22,5	11,7	18,6	7,0	6,9	7,95
24,7	17,4	25,5	30,0	23,0	11,8	18,6	7,0	6,8	7,95

$$L/V = 1920 \text{ Kg/hr.m}^3$$

X_{i1}	X_{i2}	X_1	X_2	$\alpha = X_{i2} - X_2$	$\beta = X_{i1} - X_1$	$\alpha - \beta$	$2,3 \log \alpha/\beta$	ΔX_m	$X_1 - X_2$	K.a.V/L	L/G	K.a
8,0	17,2	20,3	9,6	7,6	7,7	0,1	0,0131	7,64	10,7	1,780	0,786	3420
8,0	17,2	20,3	9,6	7,6	7,7	0,1	0,0131	7,64	10,7	1,780	0,786	3420
8,0	17,2	20,3	9,6	7,6	7,7	0,1	0,0131	7,64	10,7	1,780	0,786	3420
7,3	16,7	20,3	9,6	7,1	7,0	0,1	0,0142	7,04	10,7	1,950	0,786	3740
7,3	16,7	20,3	9,6	7,1	7,0	0,1	0,0142	7,04	10,7	1,950	0,786	3740
8,0	17,2	20,3	9,7	7,5	7,7	0,2	0,0264	7,58	10,6	1,795	0,786	3450
8,0	17,2	20,3	9,8	7,4	7,7	0,3	0,0396	7,53	10,5	1,805	0,786	3460
8,0	17,8	21,7	9,8	8,0	7,3	0,7	0,0920	7,62	11,9	1,975	0,791	3790
8,0	17,2	21,0	9,9	7,3	7,0	0,3	0,0420	7,13	11,1	1,910	0,791	3720
8,0	17,2	21,7	11,2	6,0	6,3	0,3	0,0486	6,13	10,5	2,160	0,791	4150
7,3	17,2	21,0	11,6	5,6	6,3	0,7	0,1182	5,91	9,4	2,015	0,791	3870
7,3	17,2	20,3	11,0	6,2	7,0	0,8	0,1220	6,55	9,3	1,740	0,786	3340
6,6	16,7	20,3	11,4	5,3	6,3	1,0	0,1740	5,75	8,9	1,975	0,786	3790
7,3	17,2	20,3	11,3	5,9	7,0	1,1	0,1719	6,40	9,0	1,785	0,786	3810

Relleno Tipo A

Aire Entrada		Aire Salida	Agua		Entalpia Aire		$\Delta t_w = t_{w1} - t_{w2}$	$\Delta t_r = t_{r1} - t_{r2}$
t_{bs2}	t_{bh2}	t_{bs1}	t_{w1}	t_{w2}	i_2	i_1		
24,7	17,4	25,5	30,5	22,5	11,8	18,6	8,0	6,8
24,6	17,4	25,5	30,5	22,5	11,8	18,6	8,0	6,8
24,8	17,2	25,5	30,5	22,5	11,8	18,6	8,0	6,9
24,8	17,4	25,5	30,0	22,0	11,8	18,6	8,0	6,8
25,0	17,5	25,5	30,0	22,0	11,9	18,6	8,0	6,8
25,2	17,8	25,5	30,5	22,5	12,1	18,6	8,0	6,5
24,8	17,8	25,5	30,5	22,5	12,1	18,6	8,0	6,5
24,4	17,7	26,0	30,0	23,0	12,0	19,6	8,0	7,6
	17,8	26,0	30,5	23,5	12,1	19,0	8,0	6,9
23,8	18,5	26,5	30,5	22,5	12,6	19,6	8,0	7,0
24,0	18,7	26,0	30,0	22,5	12,7	19,0	7,5	6,3
23,6	18,2	25,5	30,0	22,5	12,4	18,6	7,5	7,95
23,4	18,4	25,5	29,5	22,0	12,6	18,6	7,5	6,0
23,2	18,4	25,5	30,0	22,5	12,6	18,6	7,5	6,0



hr.

$$L/V = 2450 \text{ K}_p / \text{hr.}^2$$

X_{i1}	X_{i2}	X_1	X_2	$\alpha = X_{i2} - X_2$	$\beta = X_{i1} - X_1$	$\alpha - \beta$	$2.3 \log \alpha / \beta$	ΔX_m	$X_1 - X_2$	$K \cdot \alpha / L$	L/G	$K \cdot \alpha$
26,6	19,4	21,7	14,9	4,5	4,9	0,4	0,0852	4,68	6,9	1,461	0,994	3620
24,6	19,4	21,7	15,0	4,4	4,9	0,5	0,1081	4,61	6,7	1,461	0,994	3620
27,3	19,4	22,7	15,0	4,4	4,6	0,2	0,0450	4,46	7,7	1,725	1,000	4270
27,3	19,4	22,7	15,0	4,4	4,6	0,2	0,0450	4,46	7,7	1,725	1,000	4270
28,0	20,3	23,4	15,4	4,9	4,6	0,3	0,0699	4,71	8,0	1,700	1,000	4220
28,0	20,3	23,4	15,6	4,8	4,6	0,2	0,0439	4,68	7,9	1,690	1,000	4180
28,0	20,3	23,4	15,4	4,9	4,6	0,3	0,0638	4,71	8,0	1,700	1,000	4220
29,0	20,8	23,4	15,4	5,4	5,6	0,2	0,0366	5,48	8,0	1,460	1,000	3620
29,0	20,8	23,4	15,1	5,7	5,6	0,1	0,0177	5,64	8,3	1,475	1,000	3660
29,0	20,8	23,4	15,1	5,7	5,6	0,1	0,0177	5,64	8,3	1,475	1,000	3660
29,8	21,4	24,0	15,2	6,2	5,8	0,4	0,0670	5,96	8,8	1,469	1,010	3640
29,8	21,4	24,0	15,2	6,2	5,8	0,4	0,0670	5,96	8,8	1,469	1,010	3640
29,8	21,4	23,4	14,8	6,6	6,4	0,2	0,0310	6,48	8,6	1,330	1,000	3300
29,0	21,4	23,4	15,0	6,4	5,6	0,8	0,1340	5,95	8,4	1,410	1,000	3480
29,0	20,8	23,4	14,9	5,9	5,6	0,3	0,0521	5,73	8,5	1,489	1,000	3680
29,0	20,8	23,4	14,8	6,0	5,6	0,4	0,0692	5,78	8,6	1,489	1,000	3680
26,6	17,2	19,9	10,4	6,8	6,7	0,1	0,0148	6,74	9,4	1,420	0,990	3520
27,3	17,8	20,3	10,5	7,3	7,0	0,3	0,0420	7,13	9,8	1,400	0,990	3480
27,3	17,8	20,3	10,5	7,3	7,0	0,3	0,0420	7,13	9,8	1,400	0,990	3480
27,3	17,8	20,3	10,6	7,2	7,0	0,2	0,0284	7,08	9,7	1,400	0,990	3480

4

9

4

9



4

9



4

4

9

DATA

$$L/V = 1920 \text{ Kg/hr.m}^3$$

X_{i1}	X_{i2}	X_1	X_2	$\alpha = X_{i2} - X_2$	$\beta = X_{i1} - X_1$	$\alpha - \beta$	$2.3 \log \alpha / \beta$	ΔX_m	$X_1 - X_2$	K.a.V/L	L/a	K.a
17,2	10,6	12,0	5,8	4,8	5,2	0,4	0,0808	4,95	6,2	1,650	0,757	3170
17,2	10,6	12,0	5,8	4,8	5,2	0,4	0,0808	4,95	6,2	1,650	0,757	3170
17,2	10,6	12,0	5,8	4,8	5,2	0,4	0,0808	4,95	6,2	1,650	0,757	3170
17,8	10,9	12,4	5,4	5,5	5,4	0,1	0,0184	5,44	7,0	1,700	0,757	3260
17,8	10,4	12,4	5,9	4,5	5,4	0,9	0,1840	4,89	6,5	1,755	0,757	3360
17,8	10,9	13,0	6,2	4,7	4,8	0,1	0,0211	4,74	6,8	1,890	0,764	3620
18,9	11,5	13,0	6,5	5,0	5,9	0,9	0,1680	5,36	6,5	1,590	0,764	3050
19,4	12,0	13,8	6,0	6,0	5,6	0,4	0,0690	5,79	7,8	1,775	0,764	3410
19,4	12,0	14,3	5,7	6,3	5,1	1,2	0,2420	5,67	8,6	1,930	0,764	3800
18,9	11,5	13,5	5,4	6,1	5,1	1,0	0,1790	5,57	8,4	1,975	0,764	3790
18,9	11,5	13,8	5,2	6,3	5,1	1,2	0,2120	5,67	8,6	1,980	0,767	3800
19,4	12,0	13,9	4,6	7,4	5,6	1,8	0,2790	6,46	9,4	1,905	0,764	3650
19,4	12,0	13,8	4,6	7,4	5,6	1,8	0,2790	6,46	9,4	1,905	0,764	3650
10,3	12,0	14,3	4,3	7,7	6,0	1,7	0,2501	6,79	10,0	1,930	0,764	3700
10,3	12,0	14,3	4,3	7,7	6,0	1,7	0,2501	6,79	10,0	1,930	0,767	3700
10,3	12,0	14,3	4,4	7,6	6,0	1,6	0,2401	6,67	9,9	1,955	0,767	3750
10,9	12,0	14,3	4,3	7,7	6,0	1,7	0,2500	6,80	10,0	1,931	0,767	3700
19,5	11,5	13,8	4,2	7,3	5,7	1,6	0,2510	6,39	9,6	1,970	0,767	3780
19,5	11,5	13,8	4,2	7,3	5,7	1,6	0,2510	6,39	9,6	1,970	0,767	3780
19,5	11,5	13,8	4,7	6,8	5,7	1,1	0,1770	6,21	9,1	1,915	0,764	3680

Tipo B

L = 6250 Kg/mr

L/V = 1920

$\Delta l_1 = l_{m1} - l_{m2}$	$\Delta l_2 = l_1 - l_2$	$G \times 10^{-3}$	$G \times \Delta l_1 \times 10^{-3}$	$L \times \Delta l_2 \times 10^{-3}$	$(L \times \Delta l_2 - G \times \Delta l_1) \times 10^{-3}$	Discrepancia %	X_{i1}	X_{i2}	X_1	X_2	$\alpha = X_{i2} - X_2$	$\beta = X_{i1} - X_1$	$\alpha - \beta$	
1,6	7,5	5,6	8,25	46,2	46,9	0,7	1,50	17,2	10,6	12,0	5,8	4,8	5,2	0,4
1,6	7,5	5,4	8,25	46,2	46,9	0,7	1,50	17,2	10,6	12,0	5,8	4,8	5,2	0,4
1,6	7,5	5,5	8,25	46,4	46,9	1,5	3,20	17,2	10,6	12,0	5,8	4,8	5,2	0,4
1,9	7,5	5,4	8,25	47,1	46,9	-0,2	0,42	17,8	10,9	12,4	5,4	5,5	5,4	0,1
1,9	7,5	5,4	8,25	46,6	46,9	2,3	4,94	17,8	10,4	12,4	5,9	4,5	5,4	0,9
2,2	7,5	5,2	8,20	42,6	46,9	4,3	9,18	17,8	10,9	13,0	6,2	4,7	4,8	0,1
2,2	7,5	5,0	8,20	44,0	46,9	5,9	12,6	18,9	11,5	13,0	6,5	5,0	5,9	0,9
3,0	7,5	5,7	8,20	46,7	46,9	0,2	0,42	19,4	12,0	13,8	6,0	6,0	5,6	0,4
3,4	7,5	6,1	8,15	49,7	46,9	-2,8	5,75	19,4	12,0	14,3	5,7	6,3	5,1	1,2
3,0	7,5	5,7	8,20	46,7	46,9	0,2	0,42	18,9	11,5	13,5	5,4	6,1	5,1	1,0
3,0	7,5	5,9	8,15	48,2	46,9	-1,3	2,78	18,9	11,5	13,8	5,2	6,3	5,1	1,2
4,0	7,5	6,2	8,20	50,9	46,9	-4,0	8,53	19,4	12,0	13,8	4,6	7,4	5,6	1,8
4,0	7,5	6,2	8,20	50,9	46,9	-4,0	8,53	19,4	12,0	13,8	4,6	7,4	5,6	1,8
4,4	8,0	6,7	8,20	54,9	50,0	-4,9	9,80	20,3	12,0	14,3	4,3	7,7	6,0	1,7
3,4	8,0	6,8	8,15	55,5	50,0	-5,5	11,00	20,3	12,0	14,3	4,3	7,7	6,0	1,7
3,4	8,0	6,8	8,15	55,5	50,0	-5,5	11,00	20,3	12,0	14,3	4,4	7,6	6,0	1,6
3,4	8,0	6,7	8,15	54,6	50,0	-4,6	9,20	20,3	12,0	14,3	4,3	7,7	6,0	1,7
4,0	8,0	6,5	8,15	53,0	50,0	-3,0	6,00	19,5	11,5	13,8	4,2	7,3	5,7	1,6
4,0	8,0	6,5	8,15	53,0	50,0	-3,0	6,00	19,5	11,5	13,8	4,2	7,3	5,7	1,6
4,0	8,0	6,3	8,20	51,6	50,0	-1,6	3,20	19,5	11,5	13,8	4,7	6,8	5,7	1,1

Relleno Tipo B

Aire Entrada		Aire Salida	Agua		Entalpia Aire		$\Delta t_w = t_{w1} - t_{w2}$	$\Delta t = t_1 - t_2$	$G \times 10^{-3}$
lbs _s	lbh _s	lbs _s	t _{w1}	t _{w2}	i ₂	i ₁			
10,0	8,1	17,5	22,5	15,0	6,0	11,6	7,5	5,6	8,25
10,4	8,2	17,5	22,5	15,0	6,0	11,6	7,5	5,6	8,25
10,9	8,4	17,5	22,5	15,0	6,1	11,6	7,5	5,5	8,25
11,3	8,6	18,0	23,0	15,5	6,2	11,9	7,5	5,7	8,25
11,9	9,1	18,0	23,0	15,5	6,5	11,9	7,5	5,4	8,25
12,9	10,0	18,5	23,0	16,5	7,0	12,2	7,5	5,2	8,20
13,7	10,4	18,5	24,0	16,5	7,2	12,2	7,5	5,0	8,20
14,9	10,5	19,5	24,5	17,0	7,3	13,0	7,5	5,7	8,20
16,0	10,5	20,0	24,5	17,0	7,3	13,4	7,5	6,1	8,15
16,4	10,6	19,5	24,0	16,5	7,3	13,0	7,5	5,7	8,20
16,6	10,2	19,5	24,0	16,5	7,1	13,0	7,5	5,9	8,15
16,9	9,8	19,5	24,5	17,0	6,8	13,0	7,5	6,2	8,20
17,0	9,8	19,5	24,5	17,0	6,8	13,0	7,5	6,2	8,20
16,9	9,5	20,0	25,0	17,0	6,7	13,4	8,0	6,7	8,20
16,8	9,4	20,0	25,0	17,0	6,6	13,4	8,0	6,8	8,15
16,6	9,4	20,0	25,0	17,0	6,6	13,4	8,0	6,8	8,15
17,1	9,5	20,0	25,0	17,0	6,7	13,4	8,0	6,7	8,15
16,4	9,2	19,5	24,5	16,5	6,5	13,0	8,0	6,5	8,15
16,3	9,2	19,5	24,5	16,5	6,5	13,0	8,0	6,5	8,15
15,9	9,5	19,5	24,5	16,5	6,7	13,0	8,0	6,3	8,20