



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN



V N A M

"CONSTRUCCION Y ANALISIS EXPERIMENTAL  
DE UN TUBO DE VORTICE"

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

JUAN WEBER GONZALEZ CADAVAL

DIRECTOR DE TESIS:  
ING. JOSE ANTONIO SANCHEZ GUTIERREZ

Cuautitlán Izcalli, Edo. de México,

1992.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I.	Introducción.....	1
II.	Generalidades	
1.	Antecedentes.....	4
2.	Funcionamiento.....	5
3.	Ecuaciones.....	8
III.	Diseño de las Toberas	
1.	Generalidades para flujo compresible.....	11
2.	Flujo Isoentrópico en toberas que manejan fluido compresible.....	13
3.	Ecuaciones fundamentales para flujo Isoentrópico de un gas idea.....	14
4.	Condiciones de diseño para una tobera con flujo real.....	17
IV.	Construcción Experimental	
1.	Tubo de vórtice.....	20
2.	Instrumentación.....	31
3.	Instalación.....	33

V.	Pruebas	
1.	Operación .....	43
2.	Mediciones .....	43
3.	Cálculos .....	47
VI.	Resultados	
1.	Análisis .....	77
2.	Gráficas .....	80
VII.	Conclusiones .....	100
VIII.	Apéndices	
1.	Apéndice A (Annúbar) .....	102
2.	Apéndice B (Diagrama T-s) .....	107
IX.	Bibliografía .....	108

## I. INTRODUCCION

---

Es indudable que dentro de los fenómenos naturales que afectan a la humanidad que no son predecibles ni controlables, se encuentran los llamados ciclones.

Los huracanes o ciclones tropicales son las tormentas más devastadoras que ocurren en los trópicos, tanto la violencia de los vientos que arrasan construcciones y derriban árboles y postes, como la subsecuente inundación que ocasiona las marejadas, redundan en enormes pérdidas humanas, así como materiales, en la economía de los países expuestos a este fenómeno natural.

Estas tempestades tan destructoras se desconocían hasta ahora en su formación y evolución; sin embargo, gracias a la observación de los grupos de nubes desde los satélites meteorológicos y a un mayor número de instrumentos como los aviones cazahuracanes, que se aproximan al enorme remolino hasta llegar desde lo más alto al llamado "ojo" o vórtice del huracán (donde miden las presiones mínimas del centro de la tormenta y sus vientos impetuosos a diversas alturas), ha sido posible aprender más sobre dichos fenómenos. Los ciclones se forman y desarrollan en aguas tibias oceánicas durante el verano y otoño. En esta época la corriente de aire tibio y húmedo tropical alcanza su máxima expansión y es ahí en el seno de este aire tibio que se posa sobre los océanos tropicales con temperatura de agua de unos 28 °C donde se dan las condiciones propicias para el nacimiento de estos fenómenos.

El nacimiento de un ciclón se inicia con una ondulación de los vientos tropicales que se caracteriza por una agrupación de nubes de desarrollo vertical llamadas convectivas, que producen aguaceros. A medida que esta ondulación avanza hacia el oeste se van acentuando los vientos en un movimiento circular que gira en el hemisferio norte en sentido contrario a las manecillas del reloj, dentro de un área considerable entre 50 y 100 kms. de diámetro, este movimiento giratorio hace que la presión del aire disminuya

en el centro de este enorme remolino, y es por ello que a este fenómeno se le conoce con el nombre de depresión tropical.

Si las condiciones siguen siendo propicias, es decir aguas tibias y lejanas a los continentes, al intensificarse los vientos entre 55 y 100 km/hr, la depresión se convierte en tormenta tropical, pero además se requiere que el aire del remolino que gana impulso en los niveles bajos de la atmósfera tenga una salida o tiro en la parte alta. Las nubes que se desarrollan verticalmente bombean el aire húmedo a las partes altas y así comienzan los aguaceros intensos en las agrupaciones nubosas alrededor del remolino. La condensación del vapor de agua en las nubes y la posterior precipitación liberan el llamado calor latente de vaporización, es por ello que en esta etapa la tormenta adquiere un corazón o núcleo tibio, aproximadamente 3 °C más alta que la periferia de la tormenta. La mayor parte de las tormentas que surgen en el año se quedan en esta etapa y después se debilitan y en los raros casos en que la tormenta tropical evoluciona en huracán se debe por una parte a que en la porción elevada de la tormenta a unos 10 km para casualmente y la acopla con un remolino anticiclónico (donde el viento gira en sentido contrario, del reloj hacia afuera). Este es el mecanismo que acelera la formación del llamado ojo del huracán caracterizado por un área circular de aire en calma y desprovisto de nubes, puesto que ahí el aire en vez de ascender como en el perímetro del vórtice, desciende, y consecuentemente se calienta por compresión en los niveles bajos. Si este aire se calienta 6 °C por arriba del exterior de la tormenta están dadas las condiciones para que la tormenta evolucione y se convierta en un terrible huracán.

El principio que genera los ciclones aprovechado por el ingenio del hombre, ha hecho posible producir a voluntad y con elementos complementarios, corrientes de aire descendentes y corrientes ascendentes generadas por éstas. Al lograr esto, se producen diferenciales de temperatura aplicables en diversos sistemas de refrigeración o calefacción.

Tomando en cuenta que el tema de la conservación de la energía resulta estar de moda y deberá tomarse en consideración para generaciones futuras, ha sido mi propósito desarrollar en forma física y analítica la construcción de un tubo de vórtice, cuyas aplicaciones diversas, expondré más adelante.

La presente tesis ha sido dividida en tres partes: los primeros tres capítulos versan sobre los principios básicos de funcionamiento, sus aplicaciones y el diseño del tubo de vórtice. La segunda parte engloba la construcción total del tubo de vórtice, así como los instrumentos empleados para la prueba y la instalación de todo el equipo. La última parte, contiene las mediciones, los cálculos, análisis y resultados, así como las conclusiones y aplicaciones prácticas de esta tesis.

La idea de este proyecto, es la construcción de un aparato de pruebas del tubo de vórtice, en el cual podamos visualizar su comportamiento y brindar una aplicación práctica. Asimismo, se pretende incrementar el material didáctico del laboratorio de fluidos de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, con el fin de proporcionar información novedosa e interesante en este campo.

Aunque el tubo de vórtice no se emplea ampliamente en la industria, tiene diferentes aplicaciones donde se requiere aire comprimido y corrientes de aire caliente o frío. Una gran ventaja del tubo de vórtice es que no posee partes móviles, no necesita ventiladores o intercambiadores y no presenta problemas de descongelación. Además, cuenta con una respuesta inmediata, es compacto, ligero y silencioso en su funcionamiento.

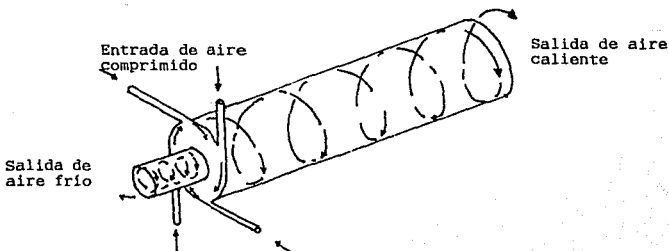
## II. GENERALIDADES

### 1. Antecedentes

El conocimiento del tubo de vórtice es atribuido a un francés llamado Georges Ranques en 1928. Inicialmente recibió poca atención, sin embargo, en 1946 Rudolph Hilsch publicó un artículo que fue leído ampliamente y causó cierto interés.

El tubo de vórtice es un tubo largo que en un extremo presenta cuatro entradas tangenciales (toberas) a la superficie del tubo, en donde la presión de descarga se acerca a la atmosférica. La forma redonda del tubo crea una velocidad periférica cercana a la del sonido, lo que produce que el aire gire dentro de él, obteniéndose dos corrientes de aire en sentido contrario: una de aire caliente en la periferia del tubo y que fluye del extremo de las toberas tangenciales al otro lado; y otra de aire frío con el mismo sentido de giro, pero que fluye por el centro hacia el extremo de las toberas.

### DIAGRAMA DE LA CAMARA





## 2. Funcionamiento

Existen diversas teorías sobre cómo opera el tubo de vórtice, pero sin duda alguna, conforme se le conozca mejor, se obtendrá una teoría aceptada en términos generales.

Los siguientes puntos son usualmente comprendidos para aquéllos que se interesan en termodinámica.

- i) Si el aire se expande adiabáticamente, sin efectuar algún trabajo y sin cambios apreciables en su energía cinética, su entalpía permanece sin variación. Con la ayuda del diagrama T-s (Apéndice B) se observa que a entalpía constante, existe una pequeña reducción en la temperatura conforme la presión disminuye.
- ii) Si el aire en expansión efectúa algún trabajo contra una resistencia, su entalpía decrecerá en una porción igual al trabajo realizado, y ocurrirá una mayor caída de temperatura.
- iii) La mayor transferencia de trabajo, por consiguiente, la mayor caída de temperatura posible, ocurre cuando el aire u otro gas se expande adiabáticamente sobre un cierto rango de presión dado y ésta es reversible. Dicha expansión será a entropía constante (proceso isoentrópico).

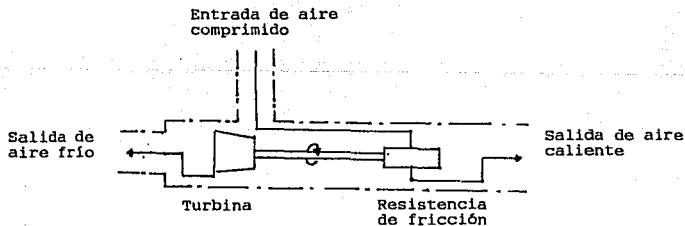
La subsecuente explicación de los procesos que se originan en el tubo de vórtice están basados en una teoría propia de C.D. Fulton.

El aire en expansión sale por las toberas con una velocidad cercana a la del sonido y provoca un vórtice, en el cual debido a la viscosidad y otros efectos, la velocidad

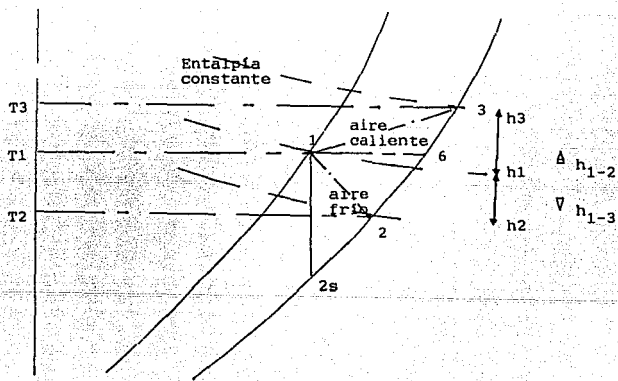
angular es sensiblemente constante. Este es un vórtice forzado en el que la velocidad lineal es proporcional al radio.

Si lo anterior es cierto, el momentum angular ( $mvr$ ) del aire cercano al centro, ha sido reducido y el torque o par de fuerzas resultante habrá sido empleado para empujar a las otras capas de aire contra el tubo. En este caso, el aire en el centro (que produce trabajo) decrece en temperatura mientras que el aire de la periferia (sobre el que se efectúa trabajo) incrementa en temperatura. Por lo tanto, el aire caliente y frío producido puede ser extraído de la periferia y del centro del vórtice, respectivamente.

Lo anterior, puede ser visualizado con mayor claridad si se introduce una turbina imaginaria y una resistencia de fricción dentro del tubo de vórtice, como se muestra a continuación.



Una porción del aire ( $m_2$ ) se conduce por la turbina que produce un trabajo sobre la flecha o eje. La entalpía y la temperatura de este aire decae y el aire frío sale por el orificio del lado izquierdo. El aire sobrante ( $m_3$ ) pasa por la resistencia, en donde la presión decae y todo el trabajo producido por la turbina es disipado. La entalpía y la temperatura de este aire se incrementan y el aire caliente sale por el orificio de la derecha.



El proceso puede mostrarse en un diagrama T-s como el siguiente:

Dado que el trabajo de la turbina es igual al trabajo de frenado (ignorando las transferencias de calor) se tiene que:

$$m_2 (h_1 - h_2) = m_3 (h_1 - h_3)$$

lo cual puede reordenarse como:

$$(m_2 + m_3) h_1 = m_2 h_2 + m_3 h_3$$

y simplificarse por medio de  $m_2 + m_3 = m_1$  de la manera siguiente:

$$m_1 h_1 = m_2 h_2 + m_3 h_3$$

Si la transferencia de calor a los alrededores debiera considerarse, se tendría para el tubo:

$$Q = \Delta H + \Delta KE + P$$

No obstante, dado que no se produce fuerza alguna y los cambios de energía cinética son pequeños, se obtiene:

$$Q = m_2 h_2 + m_3 h_3 - m_1 h_1$$

### 3. Ecuaciones

La vorticidad  $\xi$ , se define como la circulación diferencial por unidad de área encerrada:

$$\xi = d\Gamma/dxdy = \partial v/\partial x - \partial u/\partial y$$

y para coordenadas polares:

$$\xi = \partial v_r/\partial r + v_\theta/r - \partial v_\theta/\partial \theta$$

La vorticidad constituye cierta medida de los aspectos rotativos de los elementos de fluido cuando estos se mueven a través del campo de flujo. Si un flujo posee vorticidad, esto es, si  $\xi \neq 0$ , se dice que es un flujo rotacional; si el flujo no posee vorticidad ( $\xi = 0$ ), se le denomina irrotacional. Las definiciones anteriores son satisfactorias para los propósitos de esta explicación, pero pueden conducir a error, pues implican que los campos de flujo son completamente rotacionales o irrotacionales. En realidad, los campos de flujo pueden poseer zonas de ambos flujos, irrotacionales, concentrándose con frecuencia los últimos en puntos singulares; el flujo de vórtice libre es un ejemplo clásico de esto.

El vórtice libre es un flujo básico descrito por líneas de corriente circulares concéntricas y con velocidad de distribución tal, que el campo de flujo es irrotacional; en este campo de flujo la componente radial de la velocidad es en todas partes 0. Para encontrar la distribución de velocidad y la función de la corriente para este campo de flujo, selecciónese un elemento diferencial pequeño conveniente y calcúlese la circulación  $d\Gamma$  alrededor de él, la circulación será 0 si el flujo va a ser irrotacional. La circulación  $\Gamma$  a lo largo de cualquier curva cerrada coincidente con cualquier línea de corriente puede ser calculada como:

$$\Gamma = (2\pi r)v_t$$

en donde  $v_r = \text{constante}$ . Así la circulación  $\Gamma$  es una constante del vórtice, y es la misma a lo largo de una línea de corriente a una distancia infinitesimal a partir del origen, la vorticidad dentro del área infinitesimal encerrada por esta línea de corriente no puede ser cero. Así, el vórtice libre es un campo de flujo, el cual es irrotacional en todas partes excepto en la singularidad en el núcleo del vórtice. No obstante, en problemas prácticos, esta paradoja no causa dificultades, ya que tales problemas siempre comprenden el campo de flujo irrotacional a lo lejos del centro del vórtice.

Se puede visualizar fácilmente la irrotacionalidad de un vórtice libre imaginando un vórtice semejante como una superficie libre en la cual flotan pequeñas partículas de

materias sólidas. Como estas partículas se mueven con el fluido, se encontrará que no giran alrededor de sus propios ejes, permaneciendo una línea direccional en una partícula paralela a sí misma durante el movimiento. La función de la corriente para el vórtice se puede encontrar a partir de:

$$v_t = \Gamma/2\pi r = -\delta\psi/\delta r \quad v_r = 0$$

$$\psi = \int(-\Gamma/2\pi r)dr + \int(0)r d\theta + C$$

El vórtice denominado forzado, se define por la distribución de velocidad  $v_t = \omega r$ . Aunque el vórtice forzado tiene menos aplicaciones en ingeniería que el vórtice libre, resulta de interés mencionarlo brevemente. La función de la corriente para este vórtice se puede encontrar a partir de:

$$v_t = \omega r \quad v_r = 0$$

$$\psi = \int(\omega r)dr + \int(0)r d\theta + C$$

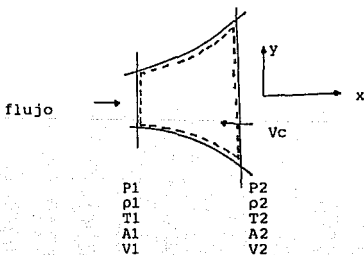
lo cual da  $\psi = \omega r^2/2 + C$ . Si  $\psi$  se toma entonces como cero donde  $r = 0$ , la constante desaparece y  $\psi = \omega r^2/2$ . Dado que la vorticidad  $\xi$  se define por  $d\Gamma/dA$ , en la cual  $dA = r d\theta dr$ , se tiene que  $\xi = -2\omega$ , lo cual muestra que la vorticidad está directamente relacionada con la velocidad angular de la masa de fluido. De esto se puede concluir que los elementos del fluido en el vórtice forzado, giran alrededor de sus propios ejes, en tanto que en el vórtice libre no lo hacen. Esto se puede generalizar para concluir que la vorticidad es una medida de los aspectos rotacionales de las partículas del fluido cuando éstas se mueven a través del campo de flujo.

### III. DISEÑO DE LAS TOBERAS

#### 1. Generalidades para flujo compresible

Las propiedades del fluido en un flujo compresible se ven afectadas por los cambios de área, por el rozamiento y por la transferencia de calor.

Se considera primeramente un flujo isentrópico unidimensional y estacionario de cualquier fluido compresible a través de una sección transversal, como en la figura 1, en la cual se muestra un segmento de conducto con un flujo en estas condiciones. Para deducir las ecuaciones fundamentales para este caso, se aplicarán las ecuaciones para un volumen de control fijo de tamaño finito en donde las propiedades de la sección 1 y 2 se denotarán para la dirección  $x$  con  $R_x$  para la fuerza superficial que actúa sobre el volumen de control.



Aplicando la ecuación de continuidad y considerando un flujo estacionario y unidimensional se tiene:

$$0 = \{ - [\rho_1 V_1 A_1] + [\rho_2 V_2 A_2] \} \quad (1)$$

Empleando magnitudes escalares y eliminando los valores absolutos obtenemos:

$$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2 = \rho VA = m = \text{etc.} \quad (2)$$

De la ecuación de cantidad de movimiento para la dirección x:

$$F_{sx} + F_{Bx} = d/dt \int_{vc} V_x \rho dV + \int_{sc} V_x \rho v dA \quad (3)$$

en donde  $F_{Bx} = 0$ , las fuerzas superficiales se deben a la fuerza de presión que actúa sobre las superficies 1 y 2 y las fuerzas distribuidas sobre las paredes del canal  $R_x$ .

$$R_x + \rho_1 A_1 \cdot p_2 A_2 = U_1 \{ [\rho_1 V_1 A_1] \} + U_2 \{ [\rho_2 V_2 A_2] \} \quad (4)$$

Empleando nuevamente magnitudes escalares y utilizando el valor absoluto se obtiene:

$$R_x + \rho_1 A_1 \cdot p_2 A_2 = mV_2 - mV_1 \quad (5)$$

Aplicando la 1a. Ley de la Termodinámica:

$$Q + W_s + W_{\text{corte}} + W_{\text{otras}} = \lambda/dt \int_{vc} e \rho dV + \int_{sc} (e + \rho v) \rho v dA \quad (6)$$

de donde:

$$e = U + V^2/2 + gz \quad (7)$$

$Q = 0$ ,  $W_s = 0$  porque se trata de un flujo isoentrópico, es decir adiabático, sin rozamiento ( $W_{\text{corte}} = W_{\text{otras}} = 0$ ) y  $g = 0$ , dado que los efectos de gravedad son despreciables. Haciendo todas estas suposiciones, la Primera Ley queda de la forma siguiente:



$$0 = (U_1 + \rho_1 V_1 + V_1^2/2) \{ - |\rho_1 V_1 A_1| \} + (U_2 + \rho_2 V_2 + V_2^2/2) \{ |\rho_2 V_2 A_2| \} \dots \quad (8)$$

Los términos entre corchetes podrán cancelarse siempre y cuando sean iguales y corresponden a los gastos máscos. Aplicando la ecuación de continuidad, nos damos cuenta de que son iguales, y por lo tanto, se pueden cancelar. Sustituyendo  $h = U + \rho V$ , obtenemos finalmente:

$$h_1 + V_1^2/2 = h_2 + V_2^2/2 = h + V^2/2 = \text{cte.} \quad (9)$$

El término  $h + V^2/2$  se presenta generalmente en problemas de flujo compresible, y por lo tanto, tendremos que definir la entalpía de estancamiento  $h_o$ , como:

$$h_o = h + V^2/2 \quad (10)$$

en donde la entalpía de estancamiento, es la entalpía que alcanzaría el fluido si se desacelera adiabáticamente hasta alcanzar la velocidad de 0; observando la entalpía de estancamiento, ésta es constante en todo punto para un flujo adiabático.

## 2. Flujo isoentrópico en toberas que manejan fluido compresible

Al estudiar los efectos que tienen los cambios de área en las propiedades de un flujo isoentrópico, nos interesan los efectos que puedan ocurrir en la velocidad y la presión. Para lo anterior, resulta necesario hacer un análisis diferencial de las ecuaciones fundamentales, las cuales fueron diseñadas para un volumen de control diferencial y en donde la ecuación diferencial de cantidad de movimiento para un flujo isoentrópico se reduce a:

$$dP/\rho + d(V^2/2) = 0 \quad (11)$$

$$dP = -\rho V dv \quad (12)$$

dividiendo entre  $\rho V^2$  obtenemos:

$$dP/\rho V^2 = - dV/V \quad (13)$$

pero como  $\rho AV = \text{constante}$  y obteniendo los logaritmos naturales en ambos lados de la ecuación, diferenciando y despejando se tiene:

$$dA/A = dP/\rho V^2 [1 - V^2/dp/d\rho] \quad (14)$$

recordando que un proceso isoentrópico:

$$dP/d\rho = C^2 \quad (15)$$

se tiene finalmente:

$$dA/A = - dV/V [1 - M^2] \quad (16)$$

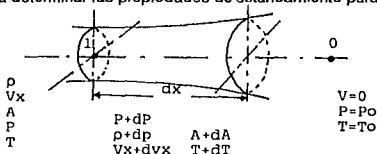
Para flujos subsónicos  $M < 1$  la aceleración del flujo de una tobera requiere un conducto que disminuya su sección transversal y como resultado se dará un incremento en la velocidad. Para flujos supersónicos los efectos de cambios de área son diferentes y una tobera con esas características deberá ser tal, que el área se incremente en la dirección del flujo.

### 3. Ecuaciones fundamentales para flujo isoentrópico de un gas ideal

Las propiedades de estancamiento en un punto son las propiedades que se obtendrían si el fluido en dicho punto fuera desacelerado isoentrópicamente hasta alcanzar una velocidad cero. Para analizar las propiedades de estancamiento debemos analizar el proceso de frenado. Las condiciones que existirán al comienzo del proceso serán aquellas que corresponden al flujo real en ese punto (velocidad, presión, temperatura, etc.) y al final del proceso la velocidad es cero y las condiciones corresponden al estado de estancamiento: presión de estancamiento ( $P_0$ ), temperatura de estancamiento ( $T_0$ ). Resulta necesario encontrar una expresión que describa las

relaciones entre las propiedades del fluido durante el proceso. Como las propiedades iniciales y finales han sido especificadas, deberá encontrarse la relación buscada entre propiedades de una manera diferencial; una vez obtenidas, se podrán integrar para tener las expresiones de estancamiento en función de las propiedades iniciales, es decir, serán las condiciones que corresponden al flujo real en ese punto.

El proceso de desaceleración se muestra esquemáticamente en la figura siguiente de donde vamos a determinar las propiedades de estancamiento para el flujo.



En el punto 1 para obtener la relación entre propiedades debemos considerar las ecuaciones de cantidad de movimiento, continuidad y el tubo de corriente que se muestra en la figura.

La ecuación de continuidad resulta ser:

$$0 = d/dt \int_{vc} \rho dV + \int_{sc} V dA \quad (17)$$

Considerando un flujo estacionario y un flujo uniforme en cada sección transversal, se obtiene:

$$\rho V_x A = (\rho + d\rho) (V_x + dV_x) (A + dA) \quad (18)$$

La ecuación de cantidad de movimiento es para la dirección  $x$ :

$$F_{Bx} + F_{Bx} - \int_{vc} \rho F_{xp} dV = d/dt \int_{vc} V_x \rho dV + \int_{sc} V_x \rho V_{xyz} dA \quad (19)$$

Considerando  $F_{Bx} = 0$ ,  $arF_x = 0$  y un flujo sin rozamiento, se tiene:

$$F_{sx} = dF_x + \rho A \cdot (\rho + d\rho) (A + dA) \quad (20)$$

La fuerza  $d_r$  se aplica a lo largo de la frontera del tubo de corriente, la presión promedio es  $P + dP/2$ , la componente del área de la sección  $x$  es  $dA$  y el rozamiento es nulo.

$$F_{sx} = (\rho + d\rho/2)dA + \rho A - (\rho + d\rho)(A + dA) \quad (21)$$

$$F_{sx} = \rho dA + d\rho dA/2 + \rho A - \rho A - d\rho A - \rho dA - d\rho dA \quad (22)$$

Substituyendo este valor en la ecuación de cantidad de movimiento se tiene:

$$-dPA = V_x \{-\rho V_x A\} + (V_x + dV_x) \{[(\rho + d\rho) (V_x + dV_x) (A + dA)]\} \quad (23)$$

$$-dPA = (V_x + V_x + dV_x) (\rho V_x A) \quad (24)$$

$$dP/\rho + d(V_x^2/2) = 0 \quad (25)$$

Esta ecuación es una relación entre las propiedades durante el proceso de desaceleración. Se demuestra además que no existe rozamiento durante el proceso de desaceleración.

Antes de integrar el estado inicial y el estado final o de estancamiento, debemos especificar la relación que existe entre la presión y la densidad a lo largo de la trayectoria del proceso. Como el proceso de desaceleración es isoentrópico, es decir, en ausencia de rozamiento y adiabático, entonces  $P$  y  $\rho$  para un gas ideal se relacionan durante el proceso de la siguiente manera:

$$P/\rho^k = \text{cte.} \quad (26)$$

Para el proceso de integración sujeto a esta última condición y eliminando el subíndice de la componente de la velocidad por ser en una sola línea de corriente se obtiene:

$$dP/\rho + d(V^2/2) = 0 \quad (27)$$

Si lo que indica la ecuación 26 es cierto y se integra la ecuación se tiene:

$$V_2/2 = C^{1/k} k/k-1 \rho^{(k-1)/k} [(P_0/P)^{k-1/k} - 1] \quad (28)$$

Como  $C^{1/k} = \rho^{1/k/\rho}$ , la ecuación se reduce a:

$$P_0/P = [1 + k-1/k \rho V^2/2P]^{k/(k-1)} \quad (26)$$

Pero se trata de un gas ideal y la velocidad del sonido es  $C = \sqrt{kRT}$ .

Esta expresión nos permite calcular la presión de estancamiento isentrópico en cualquier punto del campo de flujo para un gas ideal, conociendo la presión estática y el número de Mach correspondiente a ese punto.

De la ecuación de estado para gases ideales encontramos otras expresiones para conocer estas propiedades importantes de estancamiento isentrópico:

$$P_0/P = [1 + (k-1)/2 M]^k \quad (30)$$

$$T_0/T = 1 + (k-1)/2 M^2 \quad (31)$$

$$\rho_0/\rho = [1 + (k-1)/2 M^2]^{1/(k-1)} \quad (32)$$

#### 4. Condiciones de diseño para una tobera con flujo real

Considerando un flujo másico de 5.5 gr/seg. como se explica en el capítulo 2, y cuatro toberas, se tiene por lo tanto, un flujo másico de 1.375 gr/seg por tobera. Asimismo, se

considera una temperatura de estancamiento  $T_0 = 23 \text{ }^\circ\text{C} = 296 \text{ }^\circ\text{K}$ ,  $k_{aire}=1.4$ ,  $P_0=450 \text{ KN/m}^2$ ,  $R=287 \text{ Joule/Kg }^\circ\text{K}$ . Por pérdidas del sistema, se calcula que la presión en la entrada de la tobera se reduce un 10%, por lo que  $P_1=405 \text{ KN/m}^2$ . Despejando  $M$  de la ecuación (30) y sustituyendo los valores de entrada:

$$M_1 = \left[ \frac{(450/405)^{1.4 - 1/1.4} - 1}{2(1.4 - 1)} \right]^{1/2} = .39$$

obtenido  $M_1$ , se procede a calcular  $T_{01}$ , empleando la ecuación (31):

$$T_{01} = 296 \left[ 1 + (1.4 - 1)/2 (.39)^2 \right] = 305 \text{ }^\circ\text{K}$$

Debido a que se trata de un flujo isentrópico, no existen pérdidas en las toberas, por lo que  $T_{02} = T_{01}$ . Asimismo, se determina la velocidad de entrada, mediante:

$$V_1 = M_1 C_1 = M_1 \sqrt{kRT_0} = .39 \sqrt{1.4(287)(296)} = 134.16 \text{ m/s}$$

Para obtener los cálculos de la salida en la tobera, para un Mach de .8, cercano a la velocidad del sonido, requerimiento necesario éste para un tubo de vórtice, se efectúan las siguientes operaciones:

$$T_2 = T_{01} / \left[ 1 + (k-1)/2 M_2^2 \right] = 305 / \left[ 1 + (1.4-1)/2 (.8)^2 \right] = 270 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$V_2 = M_2 \sqrt{kRT_2} = .8 \sqrt{1.4(287)(270)} = 263 \text{ m/s}$$

$$P_2 = P_0 / \left[ 1 + (k-1)/2 M_2^2 \right]^{k/(k-1)} = 450 / \left[ 1 + (0.4)/2 (.8)^2 \right]^{1.4/(1.4-1)} = 295 \text{ KN/m}^2$$

Para el cálculo de áreas de las toberas, se emplearán las siguientes dos fórmulas:

$$\rho_1 V_1 A_1 = m$$

$$\rho_1 = P_1 / RT_1$$

Para la tobera de entrada se tiene:

$$\rho_1 = 405000/287(296) = 4.767 \text{ Kg/m}^3$$

$$A_1 = .001375/134.16(4.767) = 2.149 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Y por lo tanto, un diámetro de  $D_1 = 1.65 \text{ mm}$

Para el área de la tobera de salida, se realizan igualmente los cálculos anteriores, obteniendo por consecuencia:

$$\rho_2 = 3.806 \text{ Kg/m}^3 \quad A_2 = 1.373 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \quad D_2 = 1.32 \text{ mm}$$

## IV. CONSTRUCCION EXPERIMENTAL

### 1. Tubo de Vórtice

Es una pieza maquinada con material de aluminio, compuesta de tres piezas desarmables para la facilidad de su mantenimiento. Se utilizó aluminio dado que es un material lo suficientemente resistente, fácil de maquinar y que soporta la corrosión. Fue fabricada con precisión y en base a los cálculos realizados, según las necesidades de funcionamiento del mismo. Las dimensiones están adaptadas para desarrollar los volúmenes necesarios de los flujos que circularán por el mismo tubo. La sujeción de las piezas fue realizada con tornillos tipo allen con el objeto de facilitar su mantenimiento y evitar fallas o ruptura, ya que estos cuentan con una resistencia muy superior a los tornillos normales.

A continuación se describe el procedimiento de construcción del tubo de vórtice y las partes de que se compone:

#### 1. Pieza 1

Es una pieza torneada de duraluminio cilíndrica, que cuenta en la parte superior con un elemento roscado en bronce, con el objeto de poder desarmar el tubo para su mantenimiento. El bronce es un material muy resistente, que permite ajustar y sellar mejor que el aluminio, puesto que si se utilizara el mismo material, este se empastaría. Cuenta con un espesor de paredes necesario, para soportar las presiones internas a las que será sometido el equipo y cuatro perforaciones roscadas para poder hacer el acoplamiento con los demás elementos. La toma de admisión está fabricada de una pieza especial de acoplamiento rápido que es una campana para el suministro de aire y que penetrará a la cámara formada por la pieza 1 y 2.



## II. Pieza 2

Se compone de un cilindro macizo de duraluminio con las dimensiones especificadas en el plano (ver Apéndice B). Esta pieza cuenta en su parte superior con una muesca, que se inserta en la pieza 1, con el fin de obtener una mejor hermeticidad, debido a la alta presión a la que se somete. En las paredes de la pieza 2 existen cuatro toberas que fueron maquinadas mediante una perforación tangencial a la superficie interna, con una broca de un espesor determinado, según los cálculos de la tobera; y otra perforación, de mayor diámetro para la entrada de la tobera; siendo ajustada ésta con una rima para proporcionar las dimensiones exactas. La necesidad de efectuar las perforaciones tangenciales se debió al hecho de poder generar un remolino.

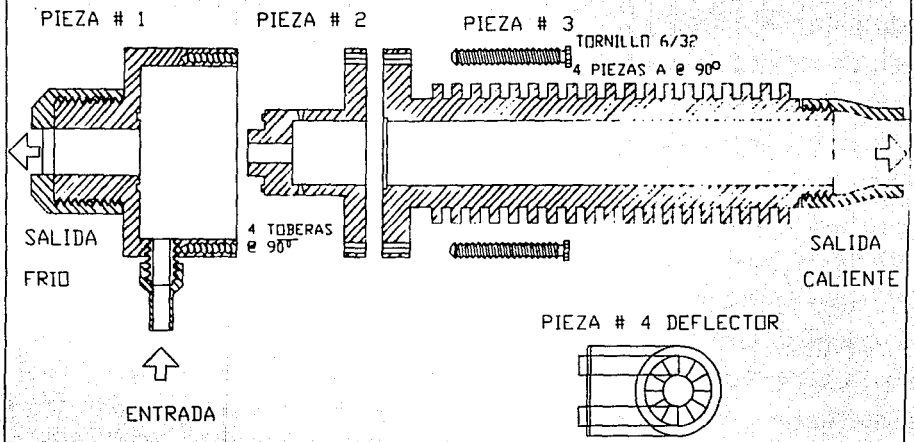
## III. Pieza 3

Esta pieza al igual que las anteriores, se tornó y se ajustó de acuerdo a las dimensiones del plano. Presenta una muesca en donde se alojará la pieza 4, que también cuenta con cuatro perforaciones que permiten el paso de los tornillos para su ajuste. Las superficies de contacto entre las piezas 2 y 3, están perfectamente rectificadas con el objeto de eliminar al máximo cualquier fuga de presión posible. La parte inferior consta de unos anillos que dan rigidez a esta sección. Finalmente, en la parte inferior tiene una rosca para el acoplamiento con el resto de la tubería.

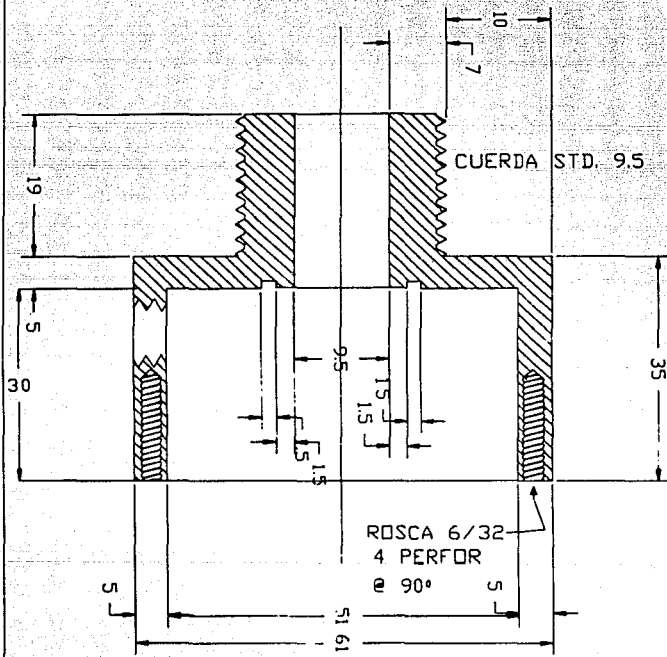
## IV. Pieza 4

Esta pieza está compuesta de lámina troquelada manualmente, en forma de deflectores, según se ilustra en la figura del Apéndice B. Los deflectores no llegan a la parte interna, puesto que se desea separar los flujos perimetrales de los centrales. Su objetivo es separar el flujo descendente caliente del ascendente frío, ambos tienen el mismo sentido de rotación, pero dirección opuesta.

# DIAGRAMA EXPLOSIVO DEL TUBO DE VORTICE

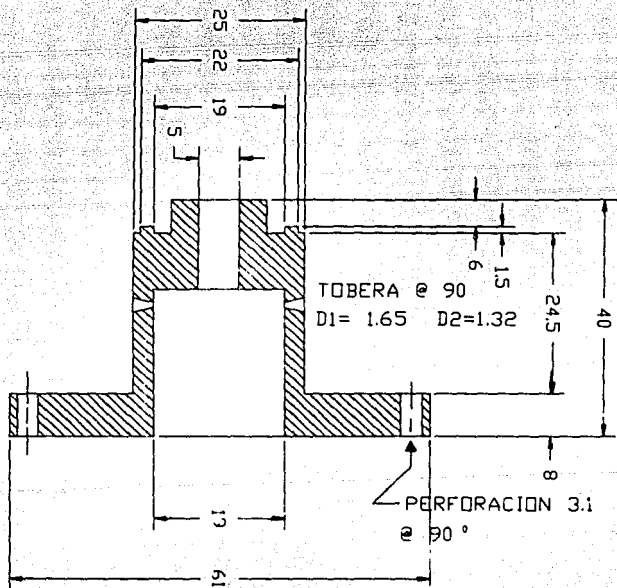


# PIEZA # 1



ESCALA 1:2  
ACOTACIONES EN mm

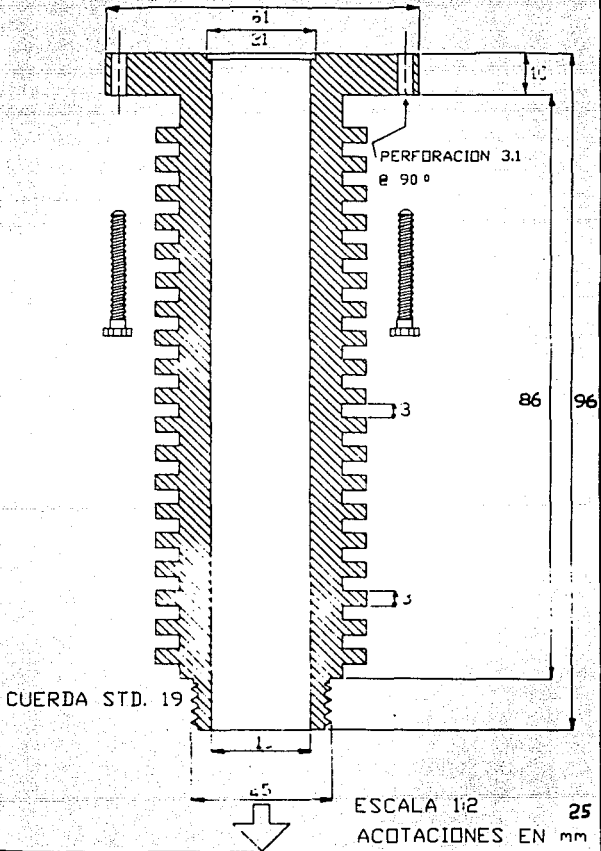
PIEZA # 2



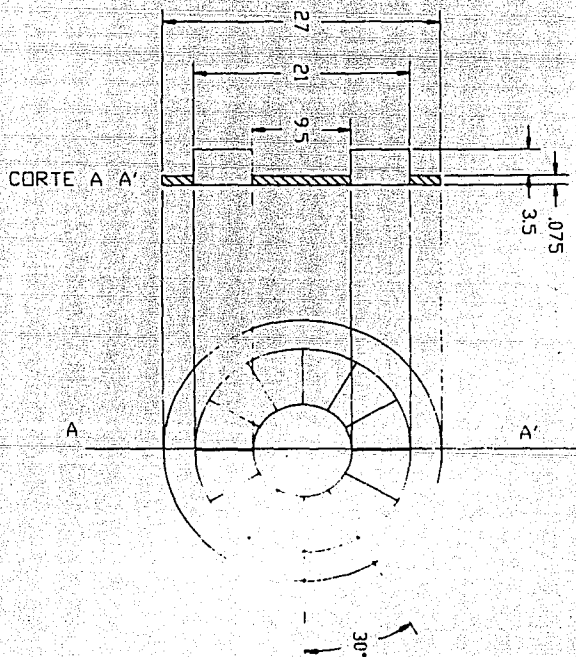
ESCALA 1:2

ACOTACIONES EN mm  
24

# PIEZA # 3



# PIEZA # 4

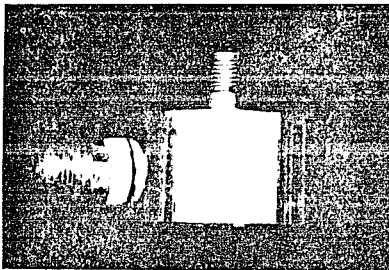


ESCALA 1:3

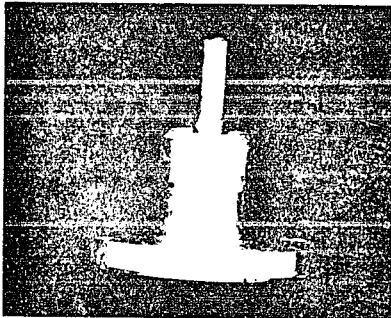
26

ACOTACIONES EN mm

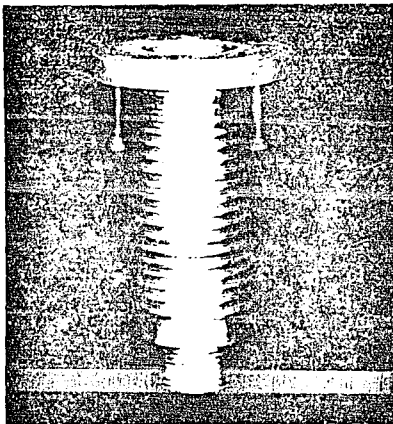
Pieza # 1 En la parte superior y lateral izquierda se aprecian los tipos de conexiones rápidas utilizadas, así como el empaque para obtener un mejor sello entre piezas.



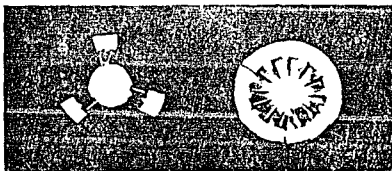
Pieza # 2 Muestra claramente las perforaciones de los venturís que son tangenciales al diametro interior, en la parte superior se aprecia la descarga de aire frío.



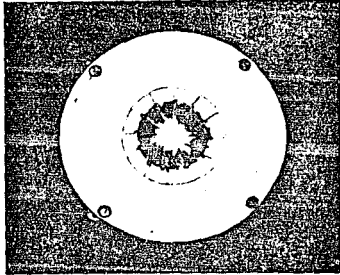
En la parte superior se encuentra la cavidad donde se aloja la pieza # 4 (deflector) así como los tornillos que sujetan la a la pieza # 2 y la pieza # 1.



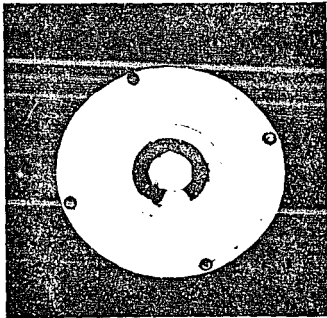
Pieza # 4 En la parte izquierda se muestra el deflector triangular y en la derecha el deflector normal, en ambas imagenes se ven claramente los alaves, la inclinacion de los mismos y la pestaña de acoplamiento a la pieza #3







Fotografía que muestra como se aloja la pieza # 4 en la pieza # 3. Deflector normal en la parte superior y deflector triangular en la parte inferior.



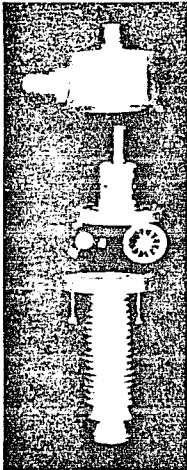
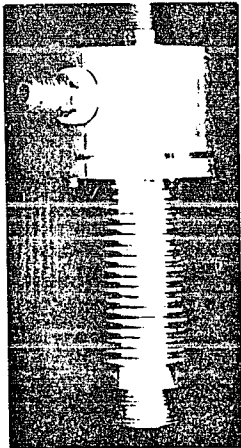


Diagrama explosivo del tubo de vortice acusando (fuera de posición) los deflectores que son intercambiables para diferentes pruebas de laboratorio.

Ensamble final del tubo de vortice, en la parte inferior se observa la sección roscada para acoplarse al resto del conjunto.



## 2. Instrumentación

El único servicio necesario para la operación del dispositivo que se menciona en este trabajo, es una unidad de aire comprimido seco. El aire que se empleará deberá tener una presión de  $700 \text{ KN/m}^2$  (manométrica) y una velocidad máxima de  $0.25 \text{ m}^3/\text{min}$ . Además, se deberá verificar que esta unidad se encuentre totalmente colocada en una mesa de trabajo.

Asimismo, se deberá tener cuidado de que el aire que se inyecte esté exento de humedad, ya que podría presentarse una congelación, lo que causaría lecturas erróneas. Por lo tanto, todos los acoplamientos o uniones de las tuberías fueron selladas correctamente. Igualmente, por el motivo anteriormente expuesto, se colocó una trampa de humedad y un regulador de presión, para mayor seguridad de funcionamiento del mismo.

Los controles de instrumentación que se instalaron en el dispositivo son:

### A. Válvula de Cierre

Su función consiste en permitir la entrada de aire de suministro al sistema.

### B. Válvula Automática de Regulación de Presión

Esta válvula se encarga de controlar el suministro de aire comprimido hasta una presión de  $700 \text{ KN/m}^2$  gauge, ajustable manualmente.

### C. Manómetro

Indica la presión a la cual se desea que entre el aire al tubo de vórtice.

D. Válvula Reguladora o de Balance Másico

Se encuentra montada en la descarga caliente del tubo de vórtice y controla las proporciones totales de flujo másico que se obtienen como aire caliente y frío, respectivamente.

E. Annubar

Los dos annúbares colocados permitirán efectuar mediciones exactas del flujo de aire, y deberán haber sido calibrados previamente, para evitar errores en las lecturas (ver Apéndice A).

F. Termopozos

Los tres termopozos a utilizar ayudarán a tomar las diversas temperaturas del aire en todo el recorrido de éste por el sistema (cinco mediciones). El termopozo es un dispositivo que se utiliza para tomar la temperatura de un fluido, introduciendo un termómetro de bulbo por un tubo y estando éste en contacto directo con las paredes del termopozo. Estos dispositivos cuentan con una entrada en la parte inferior y una salida por uno de sus costados. Están fabricados en tubería de cobre y soldados con estaño 75-25, tal y como se indica en los planos (ver Apéndice B).

G. Intercambiador de Calor

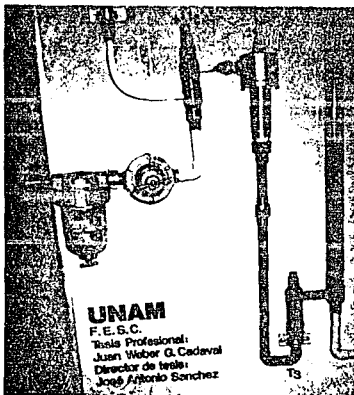
El intercambiador resulta ser necesario instalarlo con el fin de regresar las temperaturas del aire a su forma original. Esto permitirá que al efectuar las mediciones con los annúbares, no se altere el volumen del aire y las lecturas sean más exactas. El intercambiador se compone de dos tubos concéntricos, uno dentro del otro. En sus extremos cuenta con dos codos que sirven para dar entrada y salida al flujo de aire. El tubo interior cuenta con unas aletas soldadas en su perímetro exterior en forma perimetral, lo que permitirá tener una mayor

área de intercambio, es decir, obstaculizará el flujo para que la temperatura de ésta sea uniforme. El sistema a emplear será de contracorriente.

### 3. Instalación

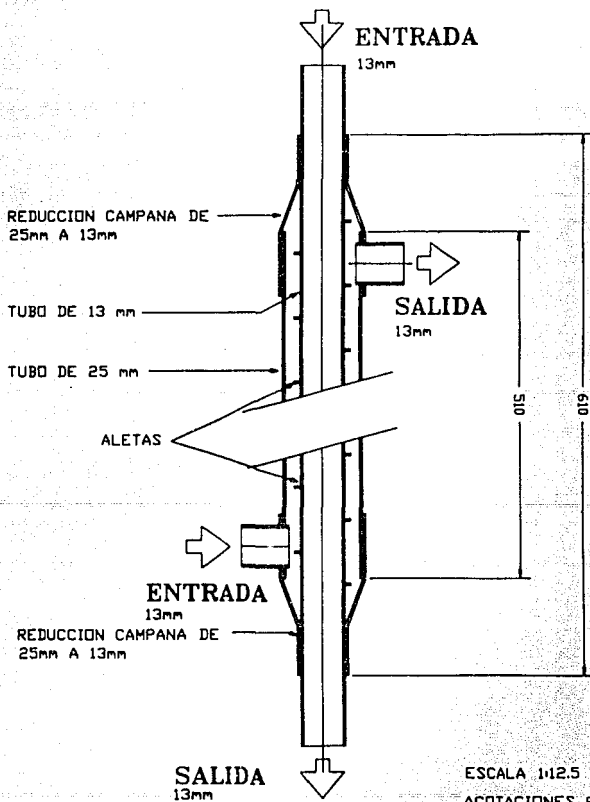
Las partes anteriormente descritas, están ensambladas de la siguiente forma:

Un termopozo va soldado a una conexión que se une al tubo de vórtice, y éste a su vez, está conectado al manómetro. Del tubo de vórtice, se derivan dos ramales, uno de flujo caliente y otro de frío, que fueron construidos en tubería de cobre de alta presión, con sus conexiones correctamente soldadas. Ambos se unen a los termopozos, y éstos al intercambiador de calor, del que se derivan también dos tuberías en cobre soldadas. Posteriormente, cada una de estas tuberías, una caliente y una fría, lleva acoplada un anñubar.

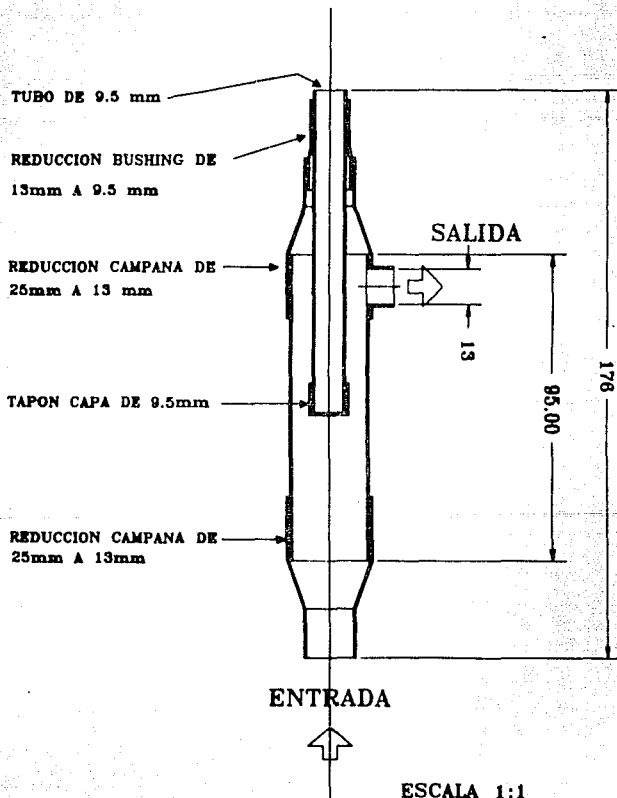


Conjunto de la instalación para la sección de alta presión en donde se encuentra la admisión eliminador de humedad, válvula reguladora de presión, termopozo para la temp de entrada y conexiones del tubo de vortice

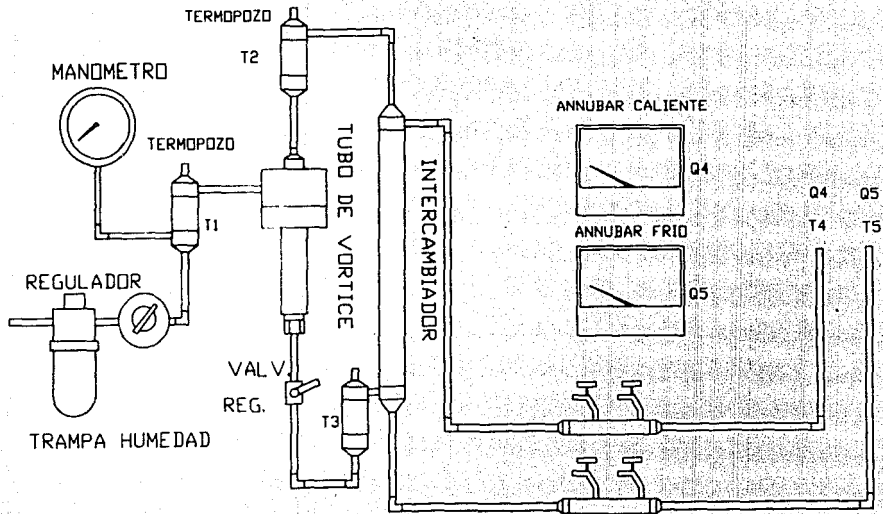
# INTERCAMBIADOR



# TERMOPOZO

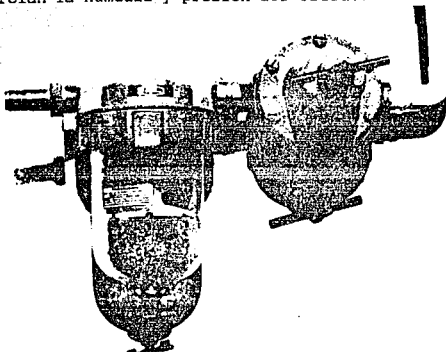


# DIAGRAMA GENERAL DE INSTALACION





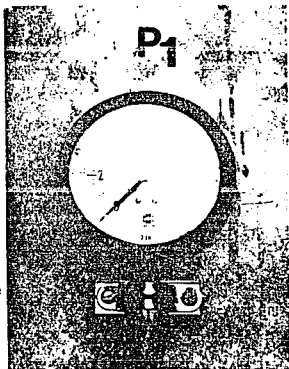
Conecciones de alimentación con los aparatos que controlan la humedad y presión del fluido.



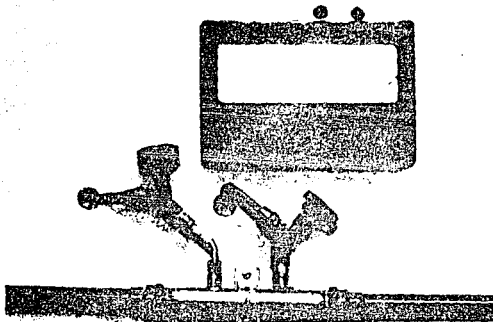
Manometro de presión en la admisión de aire (controlado por la válvula reguladora de presión)



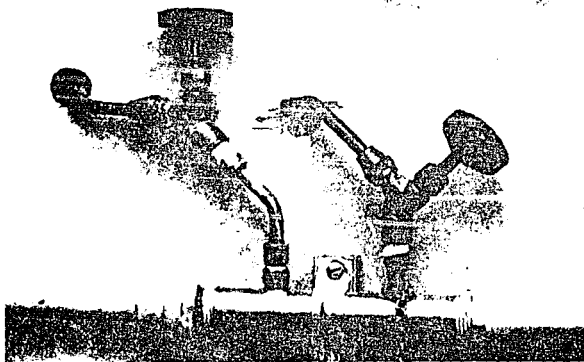
Valvula reguladora de balance masico.



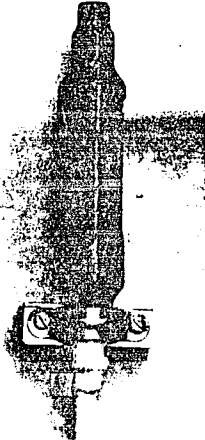
## Flujo aire frio Q5



En la parte superior se muestra en conjunto, el anñonar, asi como las valvulas y conecciones al resto del sistema en la parte inferior.

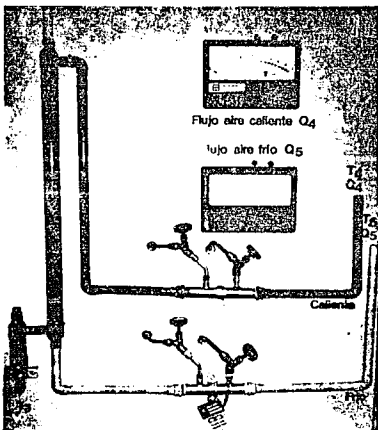


T<sub>2</sub>

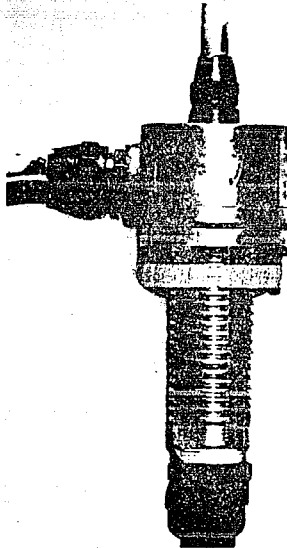


Termopozo mostrando su acoplamiento de entrada, así como de salida.

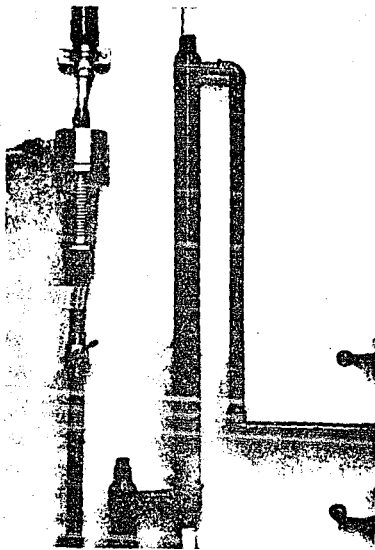
En la parte izquierda se encuentra el intercambiador de calor integrado al sistema.

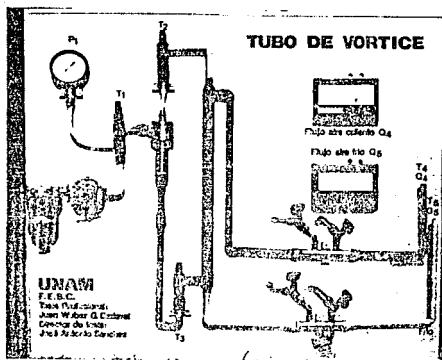


Tipos de coneccion utilizado para instalar el tubo de vortice.  
en la parte izq. la admision en alta presion, arriba la descarga  
de aire frio y en la parte inferior la descarga de aire caliente

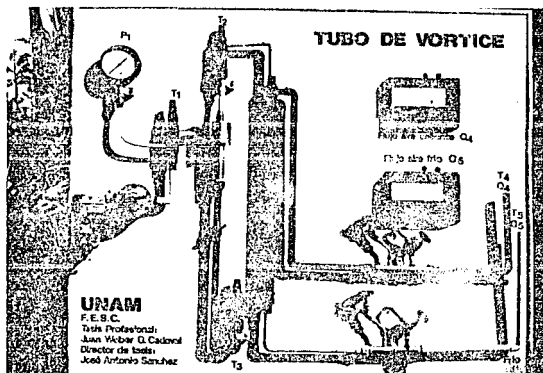


Ubicacion con relacion al tubo de vortice de la valvula reguladora de balance masico, asi como el intercambiador de calor.





Conjunto del diagrama general y la instalación de todos los elementos que integran el equipo de prueba del tubo de vortice.



### 1. Operación

La operación o manejo del sistema es sencillo; sin embargo, para evitar daños a los aparatos o controles que lo integran se deberá acatar el siguiente procedimiento:

- Verificar que la válvula de cierre se encuentre cerrada antes de suministrar el aire comprimido.
- Abrir gradualmente la válvula anteriormente mencionada.
- Ajustar la válvula de regulación de presión a la presión deseada.
- En función del flujo caliente o frío requerido, ajustar la válvula de balance.

Es importante mencionar que el tubo de vórtice reacciona instantáneamente a una condición de cambio, por lo que las temperaturas deberán ser tomadas aproximadamente un minuto después de haber puesto la condición deseada.

### 2. Mediciones

La simbología empleada en el presente estudio será la indicada a continuación:

h - entalpía (KJ/kg)

t - temperatura ( °C)

m - flujo másico de aire (kg/s)

E - energía (KW)

V - velocidad (m/s)

$\rho$  - densidad (Kg/m<sup>3</sup>)

P - presión (cm H<sub>2</sub>O)

Los sufijos, a su vez, indican lo siguiente:

- 1 - Aire de entrada a alta presión
- 2 - Aire frío saliendo del tubo de vórtice
- 3 - Aire caliente saliendo del tubo de vórtice
- 4 - Aire entrando al annubar de aire frío
- 5 - Aire entrando al annubar de aire caliente
- 6 - Aire de entrada al sistema a presión y temperatura atmosférica

Se efectuarán diez lecturas diferentes, de acuerdo a la variación del parámetro de presión de entrada y los deflectores.

### 3. Cálculos

El cálculo para la velocidad del aire en base a  $\Delta P$ , es decir, de acuerdo al diferencial de la presión estática y la presión total, se obtiene para un flujo compresible, mediante:

$$\rho V^2/2 = \gamma \Delta P / \rho = \Delta P / \gamma$$

Esta ecuación expresa la relación entre la velocidad de un gas y la presión dinámica del flujo del gas. La diferencial de presión es medida en cm de agua y una relación entre columna de agua y presión es: 1 cm H<sub>2</sub>O = 98.1 N/m<sup>2</sup>. Despejando de la fórmula anterior la velocidad:

$$V = \sqrt{2[98.1(P_2 - P_1)]/\rho}$$

La diferencial  $\Delta P$  es el valor que se obtuvo mediante las lecturas señaladas en la gráfica de columna de agua contra la escala del annubar (Apéndice A), y el valor de  $\rho$  se obtiene mediante la fórmula:

$$\rho = P_a / RT_a = \gamma \Delta P / RT_a$$



donde:  $P_A$  = presión de entrada = 78315.192 N/m<sup>2</sup>

$T_A$  = temperatura ambiente = 291 °K

$R$  = constante del aire = 287 Joule/Kg °K

Por lo tanto, el valor de  $\rho$  es = .9377132 Kg/m<sup>3</sup>

La velocidad se obtiene de:

$$V = \sqrt{(2(g\Delta H)/\rho)} = 17.95 \text{ m/s}$$

Si se desea saber el flujo másico, únicamente se tiene que emplear la fórmula:

$$m = A_p V = 0.002234 \text{ Kg/s}$$

Cabe mencionar que el valor de la presión de entrada se modificará conforme se varíen las condiciones del experimento con el regulador de presión (diez lecturas diferentes).

Por último, se efectúan los cálculos teóricos con el fin de comprobar qué tanto se presenta el efecto refrigerante o calefactor para cada uno de los casos. (Los cálculos siguientes corresponden a la lectura 1, con una presión de entrada  $P_0 = 5.9 \text{ Kg/cm}^2$ ).

$$\text{Fracción fría} = m_2/(m_3 + m_2)$$

$$\text{Fracción fría} = .002225584/((.0056272594 + .002225584)) = .2831350353$$

El balance de energía para la fracción fría, se obtiene mediante :

$$m_2(h_1 - h_2) = .002225584 (525 - 510) = .033338376 \text{ KW} \quad (\text{frío})$$

y para la fracción caliente es:

$$m_3(h_3 - h_1) = .0056272594 (530 - 525) = .0261362968 \text{ KW} \quad (\text{caliente})$$

La energía a la salida se calcula por medio de:

$$E_2 = m_2h_2 = m_3h_3 = 1.1335 + 2.9824 = 4.1159 \text{ KW}$$

A su vez, la energía a la entrada se obtiene de:

$$E_1 = m_1h_1 = .0078498178(525) = 4.1211 \text{ KW}$$

Restando ambas energías, se obtiene un diferencial de error:

$$\Delta_{\text{error}} = E_1 - E_2 = .0052 \text{ KW} = 5.2 \text{ W}$$

El efecto refrigerante se obtiene mediante:

$$m_2(h_6-h_2) = .002225584(518 - 510) = .01778 \text{ KW}$$

Y el efecto calefactor es:

$$m_3(h_3-h_6) = .0056272994(530 - 518) = .06752 \text{ KW}$$

Todos los cálculos anteriores corresponden a la lectura no. 1, tanto de los cálculos teóricos así como de los prácticos.

DATOS TOMADOS SIN DEFLECTOR LECTURA # 1

T AMBIENTE 18 C

ALTITUD 587 mm Hg

PRESION CONSTANTE DE AI 5.9 Kg/cm<sup>2</sup>

PRESION BAROMETRICA 78316 N/m<sup>2</sup>

AREA DE LA SECCION 1E-04 Cm<sup>2</sup>

TEMPBRATURAS DEL AIRE					FLUJOS DE AIRE								FLUJO MASICO			
EN CENTIGRADOS					COL H2O		COL H2O				FLUJO MASICO					
T1	T2	T3	T4	T5	FRIO	FRIO	CALIENTE	CALIENTE	DENSIDAD T4	DENSIDAD T5	VEL T4	VEL T5	FRIO M1	CALIENTE M2	TOTAL M1+M2	
EN C	EN	EN	EN	EN C	EN IN	EN IN	EN IN	EN IN	KG/m3	KG/m3	m/s	m/s	Kg/seg	Kg/seg	Kg/seg	
1	19.50	7.60	22.20	18.00	14.50	0.75	0.60	1.30	3.80	0.9377156	0.9491312	17.856915	44.667847	0.0022225584	0.005627259	0.007849818
2	21.00	9.00	24.20	19.00	15.20	0.84	0.90	1.20	3.25	0.9345042	0.9468259	21.90771	41.35928	0.002717402	0.00519779	0.007915192
3	21.30	10.00	25.20	19.00	16.00	0.90	1.40	1.10	2.50	0.9345042	0.9442050	27.323715	36.324799	0.0033891957	0.00455245	0.007941645
4	22.00	11.00	26.20	20.00	16.20	0.98	1.90	1.00	2.10	0.9313148	0.9435520	31.885623	33.303746	0.0039415501	0.004170946	0.008112496
5	22.70	12.20	28.00	20.20	17.00	1.06	2.20	0.90	1.80	0.9306795	0.9409491	34.322398	30.875095	0.0042398785	0.003856216	0.008096094
6	23.00	13.50	29.00	20.20	17.80	1.20	2.50	0.80	1.40	0.9306795	0.9383605	36.587799	27.267512	0.0045197257	0.003396181	0.007915907
7	23.50	14.40	30.00	20.20	18.00	1.20	3.00	0.70	1.00	0.9306795	0.9377156	40.079926	23.083178	0.0049511115	0.002869311	0.007820422
8	23.80	15.00	30.70	20.20	18.50	1.29	3.60	0.60	0.80	0.9306795	0.9361071	43.905359	20.637095	0.0054236709	0.002564187	0.007987858
9	24.00	16.00	31.00	20.20	19.00	1.37	4.10	0.50	0.60	0.9306795	0.9345042	46.856245	17.88757	0.0057880731	0.002218749	0.008006822
10	24.00	17.00	31.20	20.00	19.00	1.42	4.35	0.40	0.50	0.9313148	0.9442050	48.246158	16.244944	0.0059639621	0.002035917	0.007999879
11	24.00	18.00	31.20	19.50	19.50	1.49	4.90	0.30	0.40	0.9329068	0.9329068	51.161736	14.617639	0.006335183	0.001810652	0.008145235
12	24.50	19.00	30.80	19.00	20.50	1.56	5.50	0.20	0.25	0.9345042	0.9297282	54.157308	11.575996	0.0067175975	0.001428532	0.00814613

CALCULOS TEORICOS

RESULTADOS TEORICOS LECTURA # 1

FLUJOS BASICOS			RELACION DE MASAS		ENTALPIAS					BALANCE DE ENERGIA				EFECTOR					
PRIO	CALIENTE	TOTAL	FRACCION PRIA	FRACCION CALIENTE	h1	h2	h2e	h3	h6	m2*h2	m3*h3	m2*(h1-h2)	m3*(h3-h1)	SALIDA	ENTRADA	DIFERENCIAL DE ERROR	REFRIGERANTE	CALEFACTOR	
m2	m3	m1	m2/(m3+m2)	m3/(m3+m2)	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	m2*h2 K Watts	m3*h3 K Watts	A-B K Watts	m2*(h3-h2) K Watts	m3*(h3-h2) K Watts	
Eg/s	Eg/s	Eg/s			kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	
1.-	0.002225534	0.0056272534	0.0079498178	0.2831300353	0.7168649647	525	510	500	530	518	1.133504804	2.9824474608	0.0333883766	0.0281362968	4.1159523	4.1213543	0.0052921	0.0177804675	0.0675871123
2.-	0.002717402	0.0051977903	0.0079151928	0.3433147166	0.6566852834	526	515	508	532	519	1.3994620191	2.7652244159	0.0298914218	0.0311867415	4.1646864	4.1633911	-0.0012953	0.0108696979	0.0675112733
3.-	0.0033951957	0.0045524435	0.0079416453	0.4267624166	0.5732375234	527	517	512	533	520	1.7522141519	2.4264555681	0.0338919573	0.0273146973	4.1786698	4.1652471	0.0055773	0.0101675872	0.0591818441
4.-	0.0033415501	0.0041739459	0.0091124296	0.4858615729	0.5141384271	527	519	513	535	524	2.0456644301	2.2314560302	0.0315324006	0.0333675676	4.2771206	4.2752854	-0.0016352	0.0197077504	0.0458804054
5.-	0.0042398785	0.0038582156	0.0080950942	0.5236943205	0.4763056795	528	529	515	538	526	2.3047368421	2.0746440154	0.0339190283	0.0385621564	4.2793809	4.2747377	-0.0046431	0.0359190283	0.0365621564
6.-	0.0045197257	0.0033961814	0.0079159071	0.5709675046	0.4290324954	528	520	518	539	532	2.3502573705	1.8305417575	0.0361578057	0.0373579951	4.1807991	4.1795989	-0.0012002	0.0542367088	0.0237732696
7.-	0.0049511115	0.0028693106	0.0078204221	0.5311002873	0.4688997127	529	521	518	535	532	2.573529067	1.5465584174	0.0396088916	0.0286931061	4.1250875	4.1370033	0.0109156	0.054462226	0.0200651743
8.-	0.0044256709	0.0025641875	0.0079878583	0.5789893661	0.4210106339	529	523	520	539	532	2.5265798572	1.382097642	0.0325420251	0.0256418746	4.2186769	4.2255770	0.0065002	0.0488120377	0.0119463123
9.-	0.0057880731	0.0022187494	0.0080888225	0.7228926417	0.2771073583	530	524	521	540	535	3.0329502783	1.1981246894	0.0347284383	0.0221874942	4.2310750	4.2436199	0.0125409	0.0520926575	0.015531246
10.-	0.0059639621	0.0020359173	0.0079998795	0.745506489	0.254493501	530	525	525	541	533	3.1310801145	1.1014312754	0.0298198106	0.0223950906	4.2325114	4.2399361	0.0074247	0.047711697	0.0162873386
11.-	0.006335183	0.0018100522	0.0081452353	0.7777777778	0.2222222222	530	527	526	541	533	3.3386414301	0.9792382834	0.0190055489	0.0139105751	4.3178797	4.3169747	-0.0009050	0.0380110579	0.0144804182
12.-	0.0067175975	0.0014268321	0.0081461296	0.824636706	0.175363294	533	529	528	539	534	3.5538090677	0.7699788129	0.0201527924	0.0039987248	4.3236879	4.3337409	0.0100531	0.0335879874	0.0071426606

DATOS TOMADOS SIN DEFLECTOR LECTURA # 2

T AMBIENTE 18 C

ALTITUD 587 mm Hg

PRESION CONSTANTE DE AIRE

PRESION BAROMETRICA

ARBA DE LA SECCION

5 Kg/Cm<sup>2</sup>

78315.192 Kg/Cm<sup>2</sup>

0.00013273 Cm<sup>2</sup>

	TEMPERATURAS DEL AIRE EN CENFIGRADOS					FLUJOS DE AIRE					DENSIDAD T4 Kg/m <sup>3</sup>	DENSIDAD T5 Kg/m <sup>3</sup>	VEL T4 m/s	VEL T5 m/s	FLUJO MASICO FRIO M1 Kg/s	FLUJO MASICO CALIENTE M2 Kg/s	FLUJO MASICO TOTAL M1+M2 Kg/s
	T1 EN C	T2 EN C	T3 EN C	T4 EN C	T5 EN C	FRIO	COL H2O FRIO EN IN	CALIENTE	COL H2O CALIENTE EN IN								
1	20.50	13.00	24.00	19.00	22.00	0.71	0.60	1.15	3.00	0.9345042	0.9250008	17.88757	40.202766	0.0022187494	0.004935983	0.007154733	
2	20.30	10.80	24.00	18.00	16.00	0.84	0.90	1.00	2.10	0.9377156	0.9442050	21.870164	33.292229	0.0027220671	0.004172389	0.006894456	
3	20.50	10.70	24.50	18.50	16.00	0.86	0.95	0.90	1.80	0.9361071	0.9442050	22.489753	30.822614	0.0027942585	0.003862882	0.00665714	
4	20.60	11.20	25.00	18.00	16.00	0.96	1.70	0.80	1.40	0.9377156	0.9442050	30.057666	27.182991	0.0037411233	0.003406741	0.007147865	
5	21.00	11.90	26.00	18.00	16.00	1.02	1.90	0.70	1.00	0.9377156	0.9442050	31.776612	22.97382	0.0039550717	0.002879222	0.006834294	
6	21.00	12.50	26.70	18.00	16.00	1.10	2.50	0.60	0.80	0.9377156	0.9442050	36.450274	20.54841	0.0045367784	0.002575254	0.007112033	
7	21.20	13.20	27.30	18.00	16.00	1.10	2.70	0.60	0.70	0.9377156	0.9442050	37.880236	19.221277	0.0047147584	0.00240893	0.007123688	
8	21.40	14.20	27.80	18.00	18.20	1.30	3.10	0.30	0.50	0.9377156	0.9370715	40.589307	16.306659	0.0050519426	0.002028212	0.007080155	
9	21.80	15.20	27.80	18.00	18.20	1.30	3.70	0.30	0.40	0.9377156	0.9370715	44.343672	14.585119	0.0055192292	0.001814088	0.007333317	
10	22.00	16.00	27.80	18.00	18.20	1.38	4.20	0.20	0.25	0.9377156	0.9370715	47.244955	11.530549	0.0058803369	0.001434163	0.007314499	

FLUJOS BASICOS			RELACION DE MASAS		ENTALPIAS					BALANCE DE ENERGIA					EFECTOS				
PRIO	CALIBRE	TOTAL	FRACCION FRIA	FRACCION CALIENTE	h1	h2	h2a	h3	h6	m2+h2	m3+h3	m2*(h1-h2)	m3*(h3-h1)	m2*h2+m3*h3	ENTRADA	DIFERENCIAL DE ERROR	REPROBANTE	CALEFACTOR	
m2	m3	m1	m2/(m3+m2)	m3/(m3+m2)	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	m1*h1 K Watts	A-B K Watts	m2*(h6-h2) K Watts	m3*(h3-h6) K Watts	
Kg/s	Kg/s	Kg/s																	
1.-	0.0022187494	0.0043353833	0.0071547327	0.3101093394	0.6898906606	525	519	510	532	527	1.1515309515	2.6259430916	0.0133121965	0.0345518628	3.7774740	3.7562347	-0.0212394	0.0177499354	0.0246739163
2.-	0.0027220671	0.0041723889	0.006894456	0.3948197013	0.6051802987	524	519	507	532	525	1.412752799	2.21971091	0.0136103353	0.0333791114	3.6324637	3.6126949	-0.0197688	0.0163324023	0.0292067225
3.-	0.0027942585	0.0038628815	0.00665714	0.4197385797	0.5802614203	526	516	508	534	526	1.4418373884	2.0627787392	0.027942565	0.0309030523	3.5046161	3.5016557	-0.0029605	0.027942585	0.0309030523
4.-	0.0037411233	0.0034067413	0.0071478646	0.5233903143	0.4766096557	527	520	509	538	528	1.9453841277	1.8328268164	0.0261878633	0.0374741542	3.7782109	3.7669247	-0.0112863	0.0299289866	0.0340674129
5.-	0.0039550717	0.0028793219	0.0068342936	0.5787096581	0.4212903419	528	520	512	535	530	2.0566372994	1.5403837164	0.0316405738	0.0201545533	3.5970210	3.6085070	0.0114860	0.0395507173	0.0143961095
6.-	0.0045367784	0.0025752544	0.0071120328	0.6379017873	0.3620982127	528	521	514	537	530	2.3536615552	1.3929115892	0.0317574489	0.0231772892	3.7465731	3.7551533	0.0085802	0.0408310058	0.0180287805
7.-	0.0047147584	0.0024083239	0.0071236883	0.6618423254	0.3381576740	529	522	515	539	531	2.4611039017	1.2384132005	0.033003309	0.0240892587	3.7535171	3.7684311	0.0089140	0.0424328253	0.019271439
8.-	0.0050519426	0.0020282121	0.0070801548	0.7135356225	0.2864643775	529	523	516	540	531	2.6421659398	1.0952345488	0.0303116558	0.0223103334	3.7374005	3.7454019	0.0080013	0.0404155411	0.0182539091
9.-	0.005192292	0.0018140881	0.0073333172	0.75262381	0.24737619	529	523	518	540	531	2.8865568467	0.979607561	0.0331153749	0.0199549688	3.8661644	3.8793248	0.0131804	0.0441538332	0.0183257927
10.-	0.0052803369	0.0014341625	0.0073144395	0.8039288186	0.1960711814	529	524	518	540	531	3.0812965383	0.7744477764	0.0294016845	0.015775788	3.8557443	3.8693702	0.0136259	0.0411623583	0.0129074629

DATOS TOMADOS SIN DEFLECTOR LECTURA # 3

T AMBIENTE 17.8 C

ALTITUD 587 mm Hg

PRESION CONSTANTE DE AIRE

4 Kg/Cm2

PRESION BAROMETRICA

78315.192 N/m2

AREA DE LA SECCION

0.00013273 Cm2

	TEMPERATURAS DEL AIRE EN CENTIGRADOS					FLUJOS DE AIRE				DENSIDAD T4 Kg/m3	DENSIDAD T5 Kg/m3	VEL T4 m/s	VEL T5 m/s	FLUJO MASICO FRIO M1 Kg/s	FLUJO MASICO CALIENTE M2 Kg/s	FLUJO MASICO TOTAL M1+M2 Kg/s
	T1 EN C	T2 EN C	T3 EN C	T4 EN C	T5 EN C	FRIO	COL H2O FRIO EN IN	CALIENTE	COL H2O CALIENTE EN IN							
1	22.00	14.50	24.40	20.00	18.00	0.62	0.3	0.96	1.9	0.9313148	0.9377156	12.670062	31.776612	0.0	0.0	0.0
2	22.20	14.00	24.20	20.00	18.00	0.67	0.5	0.90	1.8	0.9313148	0.9377156	16.35698	30.929083	0.0	0.0	0.0
3	22.30	13.80	24.20	20.00	18.00	0.74	0.8	0.80	1.6	0.9313148	0.9377156	20.690124	29.160219	0.0	0.0	0.0
4	22.30	13.70	24.80	19.00	17.00	0.82	0.9	0.70	1	0.9345042	0.9409491	21.90771	23.013533	0.0	0.0	0.0
5	22.30	13.80	25.40	19.00	17.00	0.90	1.4	0.60	0.8	0.9345042	0.9409491	27.323715	20.58393	0.0	0.0	0.0
6	22.30	14.20	26.00	19.00	17.00	0.97	1.9	0.50	0.6	0.9345042	0.9409491	31.831164	17.826206	0.0	0.0	0.0
7	22.20	15.00	26.50	19.00	17.00	1.04	2.2	0.40	0.5	0.9345042	0.9409491	34.252089	16.273025	0.0	0.0	0.0
8	22.20	15.50	26.70	18.00	17.50	1.10	2.4	0.30	0.4	0.9377156	0.9393295	35.713829	14.567578	0.0	0.0	0.0
9	22.20	17.00	26.20	18.00	18.00	1.16	2.8	0.20	0.25	0.9377156	0.9377156	38.375344	11.526589	0.0	0.0	0.0

FLUJOS MASICOS			RELACION DE MASAS		ENTALPIAS					BALANCE DE ENERGIA					EFECTOS				
FRIO	CALIENTE	TOTAL	FRACCION FRIA	FRACCION CALIENTE	h1	h2	h2s	h3	h6	m2*h2	m3*h3	m2*(h1-h2)	m3*(h3-h1)	SALIDA	ENTRADA	DIFERENCIAL DE ERROR	REFRIGERANTE	CALEFACTOR	
m2	m3	m1	m2/(m3+m2)	m3/(m3+m2)	h1	h2	h2s	h3	h6	m2*h2	m3*h3	m2*(h1-h2)	m3*(h3-h1)	m2*h2+m3*h3	m1*h1	A-B	m2*(h6-h2)	m3*(h3-h6)	
Kg/s	Kg/s	Kg/s			kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	
1.-	0.0015662132	0.0039550717	0.0055212849	0.2836682419	0.7163317581	528	514	520	532	530	0.8050335767	2.1040981602	0.0219269846	0.0158202869	2.9091317	2.9152384	0.0061087	0.0250594109	0.0079101435
2.-	0.0020219725	0.0038495841	0.0058715567	0.3443673699	0.6556326301	530	512	528	534	531	1.0352499336	2.0556779307	0.0363955055	0.0153983366	3.0909279	3.1119250	0.0209972	0.038417478	0.0115487524
3.-	0.0025576154	0.0036294227	0.0061870382	0.4133828427	0.5866171573	531	511	525	534	531	1.3069414796	1.9381117397	0.0511523084	0.0108882682	3.2450532	3.2853173	0.0402640	0.0511523084	0.0108882682
4.-	0.002717402	0.0028742534	0.0055916554	0.4859745061	0.5140254939	531	511	525	535	531	1.3885924112	1.5377255889	0.0543480396	0.0114970137	2.9263180	2.9691690	0.0428510	0.0543480396	0.0114970137
5.-	0.0033891357	0.0025708104	0.0059600662	0.568564141	0.4313435859	531	511	525	534	531	1.7318790175	1.3726127686	0.0677839146	0.0077124313	3.1046918	3.1647633	0.0600715	0.0677839146	0.0077124313
6.-	0.0039482935	0.0022263871	0.0061746807	0.6394328298	0.3605671702	531	513	529	536	531	2.0254745852	1.1933435065	0.0710692837	0.0111319357	3.2188181	3.2787554	0.0599373	0.0710692837	0.0111319357
7.-	0.0042485817	0.0020324041	0.0062809858	0.6764195676	0.3235804324	530	516	523	537	531	2.1922681516	1.0914009997	0.0594801436	0.0142268287	3.2836692	3.3289225	0.0452533	0.0637287253	0.0121944246
8.-	0.0044451169	0.0018162724	0.0062613893	0.7099250142	0.2900749858	530	517	526	538	531	2.2981254264	0.9771545561	0.0577865194	0.0145301793	3.2752800	3.3185363	0.0432563	0.0622316363	0.0127139069
9.-	0.004801275	0.0014346553	0.0062359303	0.7699372445	0.2300627555	530	519	530	536	531	2.4918617134	0.7689752428	0.0528140248	0.0086079318	3.2608370	3.3050430	0.0442061	0.0576152987	0.0071732765



DATOS TOMADOS SIN DEFLECTOR LECTURA # 4

T AMBIENTE 17.8 C

ALTITUD 587 mm Hg

PRESION CONSTANTE DE AIRE

4 Kg/Cm<sup>2</sup>

PRESION CONSTANTE DE AIRE

78315.192 Kg/Cm<sup>2</sup>

AREA DE LA SECCION

0.00013273 Cm<sup>2</sup>

	TEMPERATURAS DEL AIRE EN CENTIGRADOS					FLUJOS DE AIRE				DENSIDAD T4 Kg/m <sup>3</sup>	DENSIDAD T5 Kg/m <sup>3</sup>	VEL T4 m/s	VEL T5 m/s	FLUJO MASICO FRIO M1 Kg/s	FLUJO MASICO CALIENTE M2 Kg/s	FLUJO MASICO TOTAL M1+M2 Kg/s
	T1 EN C	T2 EN C	T3 EN C	T4 EN C	T5 EN C	FRIO EN IN	CALIENTE EN IN	COL H2O EN IN	COL H2O EN IN							
1	18.00	13.60	18.80	16.00	16.00	0.56	0.30	0.78	1.30	0.9442050	0.9442050	12.58328	26.194185	0.0015770148	0.003282818	0.004859833
2	17.50	11.80	19.00	16.00	15.50	0.82	0.40	0.70	1.00	0.9442050	0.9458414	14.52992	22.953938	0.0018209798	0.002881716	0.004702696
3	17.50	11.00	19.20	15.50	15.00	0.68	0.70	0.60	0.80	0.9458414	0.9474834	19.204643	20.512828	0.0024110164	0.002579721	0.004990738
4	17.50	10.80	19.50	15.50	14.80	0.75	0.85	0.30	0.70	0.9458414	0.9481419	21.162485	19.18133	0.0026568107	0.002413947	0.005070757
5	17.30	10.80	20.00	15.50	14.50	0.82	1.00	0.40	0.50	0.9458414	0.9491312	22.953938	16.202731	0.0028817158	0.002041222	0.004922937
6	17.30	11.00	20.30	15.00	14.00	0.88	1.35	0.30	0.40	0.9474834	0.9507848	26.646945	14.479556	0.0033511564	0.001827314	0.00517847
7	17.30	11.70	20.40	15.00	14.00	0.96	1.66	0.20	0.25	0.9474834	0.9507848	29.548442	11.447094	0.0037160526	0.001444618	0.005160671

FLUJOS MASICOS			RELACION DE MASAS		ENTALPIAS					BALANCE DE ENERGIA					EFECTOS				
PRIO	CALIENTE	TOTAL	FRACCION PRIA	FRACCION CALIENTE	h1	h2	h2s	h3	h6	m2*h2	m3*h3	m2*(h1-h2)	m3*(h3-h1)	SALIDA	ENTRADA	DIFERENCIAL DE ERROR	REFRIGERANTE	CALEFACTOR	
m2	m3	m1	m2/(m3+m2)	m3/(m3+m2)	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	m2*h2+m3*h3 B	m1*h1 A	A-B	m2*(h6-h2)	m3*(h3-h6)	
Kg/s	Kg/s	Kg/s			kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	
1.-	0.0015770148	0.0032828181	0.0048598328	0.3244997996	0.6755002002	525	518	505	527	526	0.8168936574	1.7300451142	0.0110391035	0.0065656361	2.5469388	2.5514122	0.0044736	0.0126161183	0.0032828181
2.-	0.0018209798	0.0028817158	0.0047026956	0.3872204287	0.6127795713	523	516	506	529	524	0.9396255863	1.5244275649	0.0127468587	0.0172902949	2.4640533	2.4595098	-0.0045434	0.0145678385	0.0144085791
3.-	0.0024110164	0.0025797214	0.0049907378	0.4830981924	0.5169018076	523	514	506	529	524	1.2392624441	1.3648726256	0.0216991479	0.0154783285	2.6039351	2.6101559	0.0062208	0.0241101643	0.012898607
4.-	0.0026568107	0.0024139467	0.0050707574	0.5239475038	0.4760524962	523	511	500	530	254	1.3576302701	1.2793917714	0.0318817285	0.0168976212	2.6370220	2.6520061	0.0149841	-0.682800351	0.6662492998
5.-	0.0028817158	0.0020412215	0.0049229373	0.5853651234	0.4146348766	523	511	502	531	524	1.4725567803	1.0838886213	0.0345805898	0.0163297721	2.5564454	2.5746962	0.0182508	0.0374623056	0.0142885506
6.-	0.0033511564	0.0018273137	0.0051784701	0.6471325223	0.3528674777	523	514	502	532	524	1.7224943362	0.972130878	0.0301604077	0.0164458231	2.6946253	2.7083399	0.0137146	0.0335115641	0.0146185094
7.-	0.0037160526	0.0014446183	0.005160671	0.7200716109	0.2799283691	523	515	502	533	524	1.9137671144	0.7699815579	0.0297284212	0.0144461831	2.6837487	2.6990309	0.0152822	0.0334444738	0.0130015648

DATOS TOMADOS SIN DEFLECTOR LECTURA # 5

T AMBIENTE 17.5 C

ALTITUD 597 mm Hg

PRESION CONSTANTE DE AIRR

6.75 Eg/Ca2

PRESION BAROMETRICA

78315.192 N/m2

AREA DE LA SRCCION

0.0001327 Ca2

TEMPERATURAS DEL AIRR  
EN CENTIGRADOS

FLUJOS DE AIRR

T1 EN C	T2 EN C	T3 EN C	T4 EN C	T5 EN C	PRIO	COL H2O		COL H2O		DENSIDAD T4 Eg/m3	DENSIDAD T5 Eg/m3	VEL T4 m/s	VEL T5 m/s	FLUJO MASICO PRIO M1 Kg/s	FLUJO MASICO CALIENTE M2 Kg/s	FLUJO MASICO TOTAL M1+M2 Kg/s
						EN IN	EN IN	CALIENTE	CALIENTE							
1	24.00	11.20	26.70	20.50	17.00	0.84	1.20	1.46	4.60	0.9297282	0.9409491	25.361736	49.35853	0.0031297571	0.006164587	0.009294344
2	24.00	11.60	27.20	21.00	17.00	1.03	1.90	1.20	3.30	0.9281471	0.9409491	31.939989	41.806159	0.0039348411	0.005221341	0.009156182
3	24.00	12.20	27.90	21.00	17.00	1.17	2.40	1.00	2.10	0.9281471	0.9409491	35.897449	33.349778	0.0044223796	0.004165189	0.008587569
4	24.00	13.00	28.80	20.00	17.00	1.22	3.10	0.90	1.80	0.9313148	0.9409491	40.728551	30.875895	0.005034671	0.003856216	0.008890887
5	24.00	13.70	29.60	20.00	17.00	1.32	3.80	0.80	1.40	0.9313148	0.9409491	45.093081	27.22998	0.0055741936	0.003400863	0.008975056
6	24.00	14.50	30.30	20.00	17.50	1.40	4.30	0.70	1.00	0.9313148	0.9393295	47.96808	23.033364	0.0059295874	0.002871779	0.008801366
7	24.00	15.50	30.80	20.00	18.00	1.50	5.00	0.60	0.80	0.9313148	0.9377156	51.725311	20.619389	0.0063940385	0.002566389	0.008960428
8	24.00	16.30	30.90	20.00	18.00	1.56	5.30	0.50	0.70	0.9313148	0.9377156	53.254467	19.287672	0.0065830656	0.002400637	0.008983703
9	24.00	17.00	31.00	19.50	19.00	1.64	6.20	0.40	0.50	0.9329088	0.9345042	57.549702	16.329043	0.007126183	0.002025432	0.009151615
10	24.00	17.90	30.70	19.00	19.00	1.72	6.70	0.30	0.40	0.9345042	0.9345042	59.774111	14.60514	0.0074142979	0.001811601	0.009226899
11	24.00	18.70	30.10	19.00	19.00	1.80	7.80	0.20	0.25	0.9345042	0.9345042	64.494551	11.546377	0.0079998148	0.001432197	0.009432011

CALCULOS TEORICOS

RESULTADOS TEORICOS LECTURA # 5

FLUJOS BASICOS			RELACION DE MASAS		ENTALPIAS					BALANCE DE ENERGIA					EFECTOS			
PRIO	CALIENTE	TOTAL	FRACCION FRIA	FRACCION CALIENTE	h1	h2	h2a	h3	h6	m2*h2	m3*h3	m2*(h1-h2)	m3*(h3-h1)	SALIDA	ENTRADA	DIFERENCIAL DE ERROR	REFRIGERANTE	CALEFACTOR
m2	m3	m1	m2/(m3+m2)	m3/(m3+m2)										m2*h2+m3*h3 B	m1*h1 A	A-B	m2*(h6-h2)	m3*(h3-h6)
Kg/s	Kg/s	Kg/s			KJ/kg	KJ/kg	KJ/kg	KJ/kg	KJ/kg	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts
0.0031297571	0.0061645868	0.0092943439	0.3367378156	0.6632621844	530	520	505	535	533	1.6274736742	3.2980539624	0.0312975707	0.0308229342	4.9255276	4.9260023	0.0004746	0.0406868119	0.0123281737
0.0039348411	0.0052213407	0.0091561817	0.4297469376	0.5702530624	530	522	505	535	533	2.0539870286	2.7934172542	0.0314787284	0.0261067033	4.8474043	4.8527763	0.0053720	0.0432832516	0.0104426813
0.0044223736	0.0041651889	0.0085875685	0.514974589	0.485025411	530	523	506	536	533	2.3129045094	2.232541273	0.0309566569	0.0249911337	4.5454458	4.5514113	0.0059655	0.0442237956	0.0124955668
0.005034671	0.0038562156	0.0088908866	0.5662732186	0.4337267814	530	524	506	537	533	2.6381675982	2.0707677998	0.0302080259	0.0269935095	4.7089554	4.7121699	0.0032145	0.0453120389	0.0154248626
0.0055741936	0.0034008625	0.0089750551	0.6210761816	0.3789238184	530	525	507	538	533	2.9264516275	1.8296640413	0.0278709679	0.0272069002	4.7561157	4.7567797	0.0006641	0.0445935486	0.0170643127
0.0059295874	0.0028717788	0.0088013662	0.6737121543	0.3262878457	530	526	507	539	533	3.1189629807	1.5478887904	0.0237183497	0.0258460095	4.6668518	4.6647241	-0.0021277	0.0415071119	0.017230673
0.0063540365	0.0025663894	0.008960428	0.7135862893	0.2864137107	530	526	509	539	533	3.3632642773	1.383283901	0.0255761542	0.0230975048	4.7465482	4.7490268	0.0024786	0.0447582698	0.0153983366
0.0065830656	0.0024006375	0.0089837031	0.7327786254	0.2672213746	530	527	509	539	533	3.4692755721	1.2939436065	0.0197491968	0.0216057374	4.7632192	4.7613626	-0.0018565	0.0394983936	0.0144038249
0.007126183	0.0020254318	0.0091516148	0.7786803867	0.2213196133	530	527	511	540	533	3.7554984156	1.0957331985	0.0213785489	0.0202543185	4.8492316	4.8503558	0.0011242	0.0427570977	0.0141780229
0.0074142979	0.0018116013	0.0092258993	0.8036395945	0.1963604055	530	528	513	539	533	3.9147493124	0.9784531111	0.0148285559	0.0163044119	4.8912024	4.8897266	-0.0014758	0.0370714897	0.0108696079
0.0079998148	0.0014321966	0.0094320114	0.848155761	0.151844239	530	528	515	538	533	4.2239022241	0.7705217682	0.0159996296	0.0114575728	4.9944240	4.9899660	0.0044521	0.039990741	0.007160983

DATOS TOMADOS CON DEFLECTOR MEDIANO LECTURA # 6

T AMBIENTE 25.5 C

ALTITUD 587 mm Hg

PRESION CONSTANTE DE AIRE

5.9 Kg/Cm<sup>2</sup>

PRESION BAROMETRICA

78315.192 Kg/Cm<sup>2</sup>

AREA DE LA SECCION

0.00013273 Cm<sup>2</sup>

	TEMPERATURAS DEL AIRE EN CENTIGRADOS					FLUJOS DE AIRE				DENSIDAD T4 Kg/m <sup>3</sup>	DENSIDAD T5 Kg/m <sup>3</sup>	VEL T4 m/s	VEL T5 m/s	FLUJO MASICO FRIO N1 Kg/s	FLUJO MASICO CALIENTE N2 Kg/s	FLUJO MASICO TOTAL N1+N2 Kg/s
	T1 EN C	T2 EN C	T3 EN C	T4 EN C	T5 EN C	FRIO	COL H2O EN IN	CALIENTE	COL H2O EN IN							
1	28.00	21.00	28.00	26.00	24.00	0.80	0.90	1.30	3.80	0.9126262	0.9187718	22.168747	45.39984	0.0026854045	0.00553653	0.008221934
2	28.00	21.50	28.50	26.00	24.00	0.84	1.20	1.20	3.25	0.9126262	0.9187718	25.598254	41.985971	0.0031008381	0.005120207	0.008221045
3	28.00	22.00	29.00	26.00	24.00	0.93	1.50	1.10	2.75	0.9126262	0.9187718	28.619729	38.621476	0.0034668424	0.004709905	0.008176748
4	28.00	22.80	29.00	26.30	24.50	1.00	1.90	1.00	2.10	0.9117114	0.9172277	32.226598	33.778272	0.0038998464	0.004112351	0.008012198
5	28.00	23.50	29.00	26.30	25.00	1.08	2.30	0.90	1.80	0.9117114	0.9156887	35.456956	31.298872	0.0042907639	0.003804102	0.008094866
6	28.50	24.00	29.00	26.30	25.20	1.14	2.60	0.80	1.40	0.9117114	0.9150746	37.698523	27.612272	0.004562022	0.003353778	0.0079158
7	29.00	25.00	29.00	26.30	25.50	1.22	3.00	0.70	1.00	0.9117114	0.9141549	40.494709	23.348365	0.0049003977	0.002833035	0.007733432
8	29.00	25.30	29.00	26.30	26.00	1.32	3.80	0.60	0.80	0.9117114	0.9126262	45.575292	20.900895	0.0055152156	0.002531824	0.008047039
9	29.00	26.00	29.00	26.00	26.20	1.36	4.20	0.50	0.60	0.9126262	0.9120162	47.889967	18.106759	0.0058011368	0.002191891	0.007993028
10	29.00	26.20	29.00	25.90	26.30	1.46	4.70	0.40	0.50	0.9129315	0.9117114	50.651952	16.531896	0.0061377618	0.002000579	0.008138341
11	29.00	26.50	28.20	25.50	26.80	1.53	5.30	0.30	0.40	0.9141549	0.9101909	53.751972	14.798923	0.0065221356	0.001787879	0.008310015
12	29.50	27.00	28.00	25.30	27.00	1.63	6.30	0.20	0.25	0.9147678	0.9095841	58.584294	11.703478	0.007113244	0.001412972	0.008526216

CALCULOS TEORICOS

RESULTADOS TEORICOS LECTURA # 6

	FLUJOS BASICOS			RELACION DE MASAS		ENTALPIAS					BALANCE DE ENERGIA				EFECTOS				
	PRIO m2 Kg/s	CALIENTE m3 Kg/s	TOTAL m1 Kg/s	FRACCION FRIA m2/(m3+m2)	FRACCION CALIENTE m3/(m3+m2)	h1 kJ/kg	h2 kJ/kg	h2a kJ/kg	h3 kJ/kg	h6 kJ/kg	m2*h2 K Watts	m3*h3 K Watts	m2*(h1-h2) K Watts	m3*(h3-h1) K Watts	SALIDA m2*h2+m3*h3 B K Watts	ENTRADA m1*h1 A K Watts	DIFERENCIAL DE ERROR A-B K Watts	REFRIGERANTE m2*(h6-h2) K Watts	CALORIFACTO m3*(h3-h6) K Watts
1.	0.0026854045	0.0055365297	0.0082219342	0.3266146556	0.6733853044	534	528	510	539	537	1.4178935974	2.9841894946	0.018124272	0.0276826484	4.4020831	4.3905129	-0.0115702	0.0241686409	0.0110731
2.	0.0031008381	0.0051202069	0.008221045	0.3771823572	0.6228170428	534	529	512	539	537	1.6403433384	2.7597915422	0.0155041903	0.0256010347	4.4001349	4.3900386	-0.0100968	0.0248067045	0.0102404
3.	0.0034668424	0.0047093054	0.0081767477	0.4239879321	0.5760120679	534	529	512	539	537	1.8339596055	2.5386389891	0.0173342118	0.0235495268	4.3725986	4.3663833	-0.0062153	0.0277347388	0.0094198
4.	0.0038998464	0.0041123514	0.0080121978	0.4867386548	0.5132613452	534	529	513	539	537	2.0630187372	2.2165574183	0.0194992319	0.0205617571	4.2795762	4.2785136	-0.0010625	0.0311967111	0.0082247
5.	0.0042907639	0.0038041022	0.0080948661	0.5300599861	0.4699401036	534	530	513	539	537	2.2741048663	2.050411059	0.0171636556	0.0190205111	4.3245160	4.3226585	-0.0018575	0.0300353473	0.0076082
6.	0.004562022	0.003537776	0.0079157996	0.5763185323	0.4236814677	535	531	515	539	538	2.4224336742	1.8076861134	0.0162480879	0.0134151103	4.2301198	4.2349528	0.0048330	0.0319341539	0.0033538
7.	0.0049003977	0.0029330347	0.0077334324	0.633664007	0.3663359993	536	533	515	539	538	2.6119119736	1.5270056916	0.0147011931	0.008499104	4.1389177	4.1451198	0.0062021	0.0245019885	0.0028233
8.	0.0055152156	0.0025318237	0.0080470393	0.6853720259	0.3146279741	536	533	515	539	538	2.9396099401	1.3646529641	0.0165456469	0.007595471	4.3042629	4.3132131	0.0089502	0.0275760782	0.0025318
9.	0.0058011368	0.0021918907	0.0079930275	0.7257745614	0.2742253386	536	535	515	539	538	3.1036082054	1.1814290736	0.0058011368	0.006575672	4.2850373	4.2842627	-0.0007745	0.0174034105	0.0021919
10.	0.0061377618	0.002000579	0.0081383408	0.7541785191	0.2458214809	536	535	515	539	538	3.283702582	1.078312012	0.0061377618	0.0060017369	4.3620146	4.3621507	0.0001360	0.0184132854	0.0020005
11.	0.0065221356	0.0017878795	0.0083100151	0.7848524292	0.2151475608	536	536	515	539	538	3.495864694	0.9636670394	0	0.0053636384	4.4595317	4.4541681	-0.0053636	0.0130442712	0.0017879
12.	0.007113244	0.0014129716	0.0085262156	0.8342791606	0.1657208394	537	537	516	539	539	3.8198120295	0.7615916967	0	0.0028259432	4.5814037	4.5785778	-0.0028259	0.014226488	0

DATOS TOMADOS CON DEPLECTOR MEDIANO LECTURA # 7

T AMBIENTE 25.5 C

ALTITUD 587 mm Hg

PRESION CONSTANTE DE AIRR

5 Kg/Cm2

PRESION BAROMETRICA

78315.192 Kg/Cm2

AREA DE LA SECCION

0.00013273 Cm2

	TEMPERATURAS DEL AIRE EN CENTIGRADOS					PLUJOS DE AIRE				DENSIDAD T4 Kg/m3	DENSIDAD T5 Kg/m3	VEL T4 m/s	VEL T5 m/s	PLUJO MASICO FRIO M1 Kg/s	PLUJO MASICO CALIENTE M2 Kg/s	PLUJO MASICO TOTAL M1+M2 Kg/s
	T1 EN C	T2 EN C	T3 EN C	T4 EN C	T5 EN C	FRIO	COL H2O FRIO EN IN	COL H2O CALIENTE EN IN	COL H2O CALIENTE EN IN							
1	29.00	24.00	29.00	27.00	25.70	0.70	0.60	1.15	3.00	0.9095841	0.9135428	18.13095	40.4541	0.0019844018	0.009922009	0.011906411
2	29.00	23.80	29.20	27.00	25.50	0.82	1.00	1.00	2.1	0.9095841	0.9141549	23.406955	33.834995	0.0033073363	0.006945406	0.010252743
3	29.00	24.00	29.20	27.00	25.40	0.89	1.40	0.90	1.80	0.9095841	0.9144612	27.695483	31.319871	0.0046302709	0.005953205	0.010583476
4	29.00	24.50	29.20	26.80	25.50	0.97	1.80	0.80	1.40	0.9101909	0.9141549	31.393256	27.626158	0.0059532054	0.004630271	0.010583476
5	29.00	25.00	29.20	26.50	25.70	1.04	2.20	0.70	1.00	0.9111026	0.9135428	34.689182	23.356185	0.0072761399	0.003307336	0.010583476
6	29.00	25.50	29.00	26.40	26.00	1.12	2.50	0.60	0.80	0.9114069	0.9126262	35.972618	20.900895	0.0082683408	0.002645869	0.01091421
7	29.00	26.00	29.00	26.00	26.00	1.19	2.90	0.50	0.60	0.9126262	0.9126262	39.794119	18.100706	0.0095912754	0.001984402	0.011575677
8	29.00	26.20	28.50	26.00	26.00	1.26	3.50	0.40	0.50	0.9126262	0.9126262	43.717359	16.523608	0.0115756772	0.001653668	0.013229345
9	29.00	26.50	28.50	25.50	27.20	1.32	3.80	0.30	0.40	0.9141549	0.9089781	45.514342	14.808792	0.0125678781	0.001322935	0.013890813
10	29.00	26.80	28.20	25.20	26.50	1.45	4.60	0.20	0.25	0.9150746	0.9111026	50.051493	11.693721	0.0152137471	0.000826834	0.016040581

FLUJOS BASICOS			RELACION DE MASAS		ENTALPIAS					BALANCR DE ENERGIA					EFECTOS				
FRIO	CALIENTE	TOTAL	FRACCION FRIA	FRACCION CALIENTE									SALIDA	ENTRADA	DIFERENCIAL DE ERROR	REFRIGERANTE	CALEFACTOR		
m2	m3	m1	m2/(m2+m3)	m3/(m2+m3)	h1	h2	h2s	h3	h6	m2*h2	m3*h3	m2*(h1-h2)	m3*(h3-h1)	m2*h2+m3*h3	m1*h1	A-B	m2*(h6-h2)	m3*(h3-h6)	
Kg/s	Kg/s	Kg/s			KJ/kg	KJ/kg	KJ/kg	KJ/kg	KJ/kg	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	
1.-	0.0019844018	0.009922009	0.0119064108	0.2831350353	0.7168649647	534	532	512	536	538	1.1335048041	2.9824474602	0.0333381766	0.0281362968	4.1159523	4.1211543	0.0052021	0.0177904675	0.0575271123
2.-	0.0033073363	0.0089454063	0.0102527426	0.3433147166	0.6566852834	534	531	512	536	538	1.3994620191	2.7652244159	0.0298914218	0.0311867415	4.1646864	4.1633911	-0.0012953	0.0108636079	0.0675712733
3.-	0.0046302709	0.0059532054	0.0105834763	0.4267624166	0.5732375834	534	532	512	536	538	1.7522141919	2.4264556081	0.0338919573	0.0273146373	4.1786698	4.1852471	0.0065773	0.0101675872	0.0591818441
4.-	0.0059532054	0.0046302709	0.0105834763	0.4858615729	0.5141384271	534	535	512	536	538	2.0456644901	2.2314560802	0.0315324006	0.0333675678	4.2771206	4.2752854	-0.0018352	0.0197077504	0.0458804054
5.-	0.0072761399	0.0033073363	0.0105834763	0.5236943205	0.4763056795	534	535	513	536	538	2.2047368421	2.0746440154	0.033190283	0.0385621564	4.2793609	4.2747377	-0.0046431	0.0339190283	0.0385621564
6.-	0.0082683408	0.0026458691	0.0109142099	0.5709675046	0.4290324954	534	536	513	536	538	2.3502573705	1.8305417575	0.0361578057	0.0373579951	4.1807991	4.1795989	-0.0012002	0.0542367086	0.0237732696
7.-	0.0095912754	0.0019844018	0.0115756772	0.6331002873	0.3668997127	534	536	514	536	538	2.579523067	1.5465584174	0.0396088916	0.0286931061	4.1260875	4.1370033	0.0109158	0.054462226	0.0200851743
8.-	0.0115756772	0.0016536682	0.0132293453	0.6789893661	0.3210106339	534	537	514	535	538	2.8365798572	1.382097042	0.0325420251	0.0256419746	4.2186769	4.2255770	0.0069002	0.0488130377	0.0179493122
9.-	0.0125678781	0.0013229345	0.0138908126	0.7228926417	0.2771073583	534	537	514	535	538	3.0329502789	1.1981246894	0.0347284383	0.0221874942	4.2310750	4.2436159	0.0125409	0.0520926575	0.015531246
10.-	0.0152137471	0.0008268341	0.0160405812	0.745506499	0.254493501	534	537	514	535	538	3.1310801149	1.1014312754	0.0298198106	0.0223950906	4.2325114	4.2399361	0.0074247	0.047711697	0.0162873386



DATOS TOMADOS CON DEFLECTOR MEDIANO LECTURA # 8

T AMBIENTE 25.5 C

ALTITUD 587 mm Hg

PRESION CONSTANTE DE AIRE

4 Kg/Cm<sup>2</sup>

PRESION BAROMETRICA

78315.192 N/m<sup>2</sup>

AREA DE LA SECCION

0.00013273 Cm<sup>2</sup>

	TEMPERATURAS DEL AIRE EN CENTIGRADOS				FLUJOS DE AIRE				DENSIDAD T4 Kg/m <sup>3</sup>	DENSIDAD T5 Kg/m <sup>3</sup>	VEL T4 m/s	VEL T5 m/s	FLUJO MASICO FRIO M1 Kg/s	FLUJO MASICO CALIENTE M2 Kg/s	FLUJO MASICO TOTAL M1+M2 Kg/s	
	T1 EN C	T2 EN C	T3 EN C	T4 EN C	T5 EN C	FRIO EN IN	CALIENTE EN IN	COL H2O EN IN								
1	25.00	20.00	25.00	24.00	22.00	0.62	0.30	0.96	1.80	0.9187718	0.9250008	12.756254	31.140929	0.00155556305	0.003823396	0.005379027
2	25.00	20.00	25.00	23.50	22.50	0.66	0.50	0.90	1.70	0.9203212	0.9234356	16.454385	30.289179	0.002010003	0.003712528	0.005722531
3	25.00	20.00	24.80	23.50	22.50	0.73	0.80	0.80	1.40	0.9203212	0.9234356	20.813333	27.486982	0.0028424751	0.003369065	0.00591154
4	25.00	20.20	24.80	23.00	22.50	0.80	0.90	0.70	1.00	0.9218758	0.9234356	22.057252	23.23074	0.0026989787	0.002847379	0.005548358
5	25.00	20.90	24.80	23.00	22.50	0.88	1.30	0.60	0.80	0.9218758	0.9234356	26.509518	20.778205	0.0032437687	0.002546773	0.005790542
6	25.00	21.50	24.80	23.00	22.50	0.95	1.60	0.50	0.60	0.9218758	0.9234356	29.40967	17.994454	0.0035986383	0.00220557	0.005804209
7	25.00	22.00	24.90	23.00	23.00	1.02	1.80	0.40	0.50	0.9218758	0.9218758	31.193665	16.440505	0.0038169323	0.0020117	0.005828632
8	25.00	22.40	24.90	23.00	23.00	1.09	2.30	0.30	0.40	0.9218758	0.9218758	35.260955	14.704835	0.0043146157	0.001799319	0.006113935
9	25.00	23.00	25.80	23.00	23.20	1.20	3.00	0.20	0.25	0.9218758	0.9212533	40.270849	11.629119	0.0049276384	0.001422006	0.006349645

CALCULOS TEORICOS

RESULTADOS TEORICOS LECTURA # 8

FLUJOS BASICOS			RELACION DE MASAS		ENTALPIAS					BALANCE DE ENERGIA					EFECTOS			
FRIO	CALIENTE	TOTAL	FRACCION FRIA	FRACCION CALIENTE	h1	h2	h2a	h3	h6	m2*h2	m3*h3	m2*(h1-h2)	m3*(h3-h1)	SALIDA	ENTRADA	DIFERENCIAL DE ERROR	REFRIGERANTE	CALEFACTOR
m2	m3	m1	m2/(m3+m2)	m3/(m3+m2)	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	m2*h2+m3*h3 B	m1*h1 A	A-B K Watts	m2*(h6-h2) K Watts	m3*(h3-h6) K Watts
Kg/s	Kg/s	Kg/s			kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts
0.0015556305	0.0038233962	0.0053790267	0.2892029766	0.7107970234	531	528	503	534	534	0.821372926	2.0416935648	0.0046668916	0.0114701886	2.8630665	2.8562632	-0.0068033	0.0093337832	0
0.002010003	0.0037125283	0.0057225314	0.3512436896	0.6487563104	531	528	503	534	534	1.0612815987	1.9824901283	0.0060300091	0.011137585	3.0437717	3.0386542	-0.0051076	0.0120600182	0
0.0025424751	0.0033690646	0.0059115396	0.4300867841	0.5699132159	531	528	503	533	534	1.3424268363	1.1957114117	0.0076274252	0.0067381291	3.1381382	3.1390275	0.0008893	0.0152548504	-0.003369065
0.0026989787	0.0028473792	0.005546358	0.4866218022	0.5133781978	531	528	503	533	534	1.4250607548	1.5175531399	0.0080969361	0.0056947585	2.9427139	2.9451161	0.0024022	0.0161938722	-0.002847379
0.0032437687	0.0025467734	0.0057905421	0.5601839398	0.4398160602	531	529	503	533	534	1.7159536427	1.3574302348	0.0064875374	0.0050935468	3.0733839	3.0747779	0.0013940	0.0162188435	-0.002546773
0.0035986383	0.0022055705	0.0058042088	0.6200049694	0.3799950306	531	530	503	533	534	1.9072782829	1.1755690672	0.0035986383	0.004411141	3.0828474	3.0820348	-0.0008125	0.0143945531	-0.00220557
0.0038169323	0.0020116999	0.0058286322	0.6548590015	0.3451409985	531	530	503	533	534	2.0229741112	1.072236073	0.0038169323	0.0040233999	3.0952102	3.0950037	-0.0002065	0.0152677291	-0.0020117
0.0043146157	0.0017993191	0.0061139348	0.7057019449	0.2942980551	531	530	503	533	534	2.2867463282	0.9550379989	0.0043146157	0.0035986383	3.2457834	3.2464994	0.0007160	0.0172584629	-0.001799319
0.0049276384	0.0014220063	0.0063496447	0.7760494603	0.223950537	531	531	503	533	534	2.6165759858	0.7579293843	0	0.0028440127	3.3745054	3.3716614	-0.0028440	0.0147829152	-0.001422006

DATOS TOMADOS CON DEFLECTOR CHICO LECTURA # 9

T AMBIENTE 25.5 C

ALTIUD 587 mm Hg

PRESION CONSTANTE DE AIRE

5.5 Kg/Cm<sup>2</sup>

PRESION BAROMETRICA

78315.192 N/m<sup>2</sup>

AREA DE LA SECCION

0.00013273 Cm<sup>2</sup>

	TEMPERATURAS DEL AIRE EN CENTIGRADOS					FLUJOS DE AIRE				DENSIDAD T4 Kg/m <sup>3</sup>	DENSIDAD T5 Kg/m <sup>3</sup>	VEL T4 m/s	VEL T5 m/s	PLUJO MASICO FRIO M1 Kg/s	PLUJO MASICO CALIENTE M2 Kg/s	PLUJO MASICO TOTAL M1+M2 Kg/s
	T1 EN C	T2 EN C	T3 EN C	T4 EN C	T5 EN C	FRIO	COL H2O FRIO EN IN	COL H2O CALIENTE EN IN	EN IN							
1	26.00	20.00	25.00	24.00	23.00	0.62	0.30	1.40	4.50	0.9187718	0.9218758	12.756254	49.321515	0.0015556305	0.0060351	0.00759973
2	26.00	20.50	25.00	23.80	23.00	0.68	0.60	1.30	3.80	0.9193909	0.9218758	18.033992	45.323345	0.0022007349	0.005545874	0.007746609
3	26.00	21.70	25.00	24.00	23.00	0.72	0.70	1.20	3.25	0.9187718	0.9218758	19.4855	41.915228	0.0023762649	0.005128849	0.007505114
4	26.00	22.40	24.80	24.00	23.00	0.79	0.80	1.10	2.70	0.9187718	0.9218758	20.830875	38.204282	0.002540334	0.004674768	0.007215102
5	26.20	22.60	24.90	24.00	24.00	0.86	1.20	1.00	2.20	0.9187718	0.9187718	25.512508	34.544099	0.0031112611	0.004212667	0.007323929
6	26.20	23.00	25.00	23.50	24.00	0.93	1.50	0.90	1.80	0.9203212	0.9187718	28.499831	31.246313	0.0034814274	0.003810501	0.007291928
7	26.20	23.30	25.00	23.50	24.00	1.02	2.00	0.80	1.40	0.9203212	0.9187718	32.90877	27.556658	0.0040200061	0.003360546	0.007380552
8	26.20	23.50	25.10	23.50	24.00	1.08	2.30	0.70	1.00	0.9203212	0.9187718	35.290724	23.289627	0.0043109762	0.00284018	0.007151156
9	26.20	23.50	25.10	23.50	24.00	1.16	2.60	0.60	0.80	0.9203212	0.9187718	37.52177	20.830875	0.0045835121	0.002540334	0.007123846
10	26.20	23.60	25.10	23.00	24.00	1.20	3.00	0.50	0.60	0.9218758	0.9187718	40.270849	18.040067	0.0049276384	0.002199994	0.007127632
11	26.20	23.80	25.10	23.00	24.00	1.30	3.70	0.40	0.50	0.9218758	0.9187718	44.723009	16.468253	0.0054724155	0.00200831	0.007480726

FLUJOS MASICOS			RELACION DE MASAS		ENTALPIAS						BALANCE DE ENERGIA						EFECTOS		
FRIO	CALIENTE	TOTAL	FRACCION FRIA	FRACCION CALIENTE	h1	h2	h2s	h3	h6	m2*h2	m3*h3	m2*(h1-h2)	m3*(h3-h1)	SALIDA	ENTRADA	DIFERENCIAL DE ERROR	REFRIGERANTE	CALFACTOR	
m2	m3	m1	m2/(m3+m2)	m3/(m3+m2)	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	m2*h2+m3*h3 B	m1*h1 A	A-B K Watts	m2*(h6-h2) K Watts	m3*(h3-h6) K Watts	
Kg/s	Kg/s	Kg/s												K Watts	K Watts		K Watts	K Watts	
1.-	0.0015556305	0.0066350998	0.0075907304	0.2049381893	0.7950618107	530	527	515	532	533	0.8198172554	3.2106731191	0.0046688316	0.9120701997	4.0304904	4.0230671	-0.0074033	0.0033337832	-0.0060351
2.-	0.0022007349	0.005545874	0.007746609	0.2810901012	0.7159098988	530	527	515	532	533	1.1597873044	2.9504049867	0.0066032048	0.9110917481	4.1101923	4.1057027	-0.0044895	0.0132044095	-0.005454574
3.-	0.0023762649	0.0051288486	0.0075051136	0.3166194471	0.6833805525	530	527	516	532	533	1.2522916041	2.728547481	0.0071287347	0.9102576973	3.9808391	3.9777102	-0.0031289	0.0142575894	-0.005128849
4.-	0.002540334	0.0046747682	0.0072151023	0.3520856585	0.6479143415	530	528	516	531	533	1.3412963714	2.4823019358	0.0050606581	0.9046747682	3.8235983	3.8240042	0.0004059	0.0127016702	-0.00349556
5.-	0.0031112611	0.0042126674	0.0073239285	0.4248075809	0.5751923191	530	528	516	531	533	1.6427458519	2.2369254006	0.0062253222	0.9042126674	3.8795723	3.8916821	0.0020099	0.0155563054	-0.009425335
6.-	0.0034314274	0.0039105011	0.0072919284	0.4774357572	0.5225642428	530	529	515	532	533	1.8416750775	2.0271865614	0.0034814274	0.9076210021	3.8688616	3.8647221	-0.0041396	0.0132570935	-0.003819501
7.-	0.0040200051	0.0033605461	0.0073305521	0.5446755196	0.4553244804	530	529	516	532	532	2.1265832735	1.7878105008	0.0040200061	0.9067210321	3.9143537	3.9116326	-0.0027011	0.0160800242	-0.003360546
8.-	0.0043102762	0.0028401798	0.007151156	0.6028362703	0.3971637297	530	529	515	532	533	2.2805064218	1.5109766514	0.0043109762	0.9056303556	3.7914821	3.7901127	-0.0013694	0.017439949	-0.00284018
9.-	0.0045835121	0.002540334	0.0071238462	0.6434041411	0.3565958589	530	529	515	532	533	2.4246779391	1.3514577076	0.0045835121	0.9058066681	3.7761356	3.7755385	-0.0004972	0.0183340485	-0.002540334
10.-	0.0049276384	0.0021999938	0.0071276322	0.6913429567	0.3086570333	530	530	515	532	533	2.6116483474	1.1703967069	0	0.9043999876	3.7820451	3.7776451	-0.0044000	0.0147829152	-0.002199994
11.-	0.0054724155	0.0020083104	0.0074807259	0.701535359	0.268464641	530	530	515	532	533	2.9003802165	1.0684211293	0	0.9040166208	3.9588013	3.9547847	-0.0040166	0.0164172465	-0.00200831

DATOS TOMADOS CON DEFLECTOR TRIANGULADO LECTURA # 10

T AMBIENTE 25.5 C

ALTITUD 587 mm Hg

PRESION CONSTANTE DE AIRE

PRESION BAROMETROCA

AREA DE LA SECCION

6 Kg/Cm<sup>2</sup>

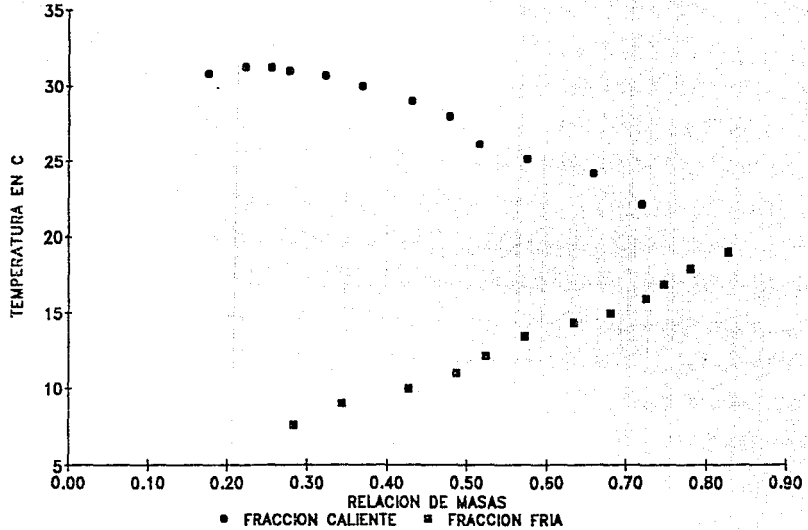
78315.192 Kg/Cm<sup>2</sup>

0.00013273 Cm<sup>2</sup>

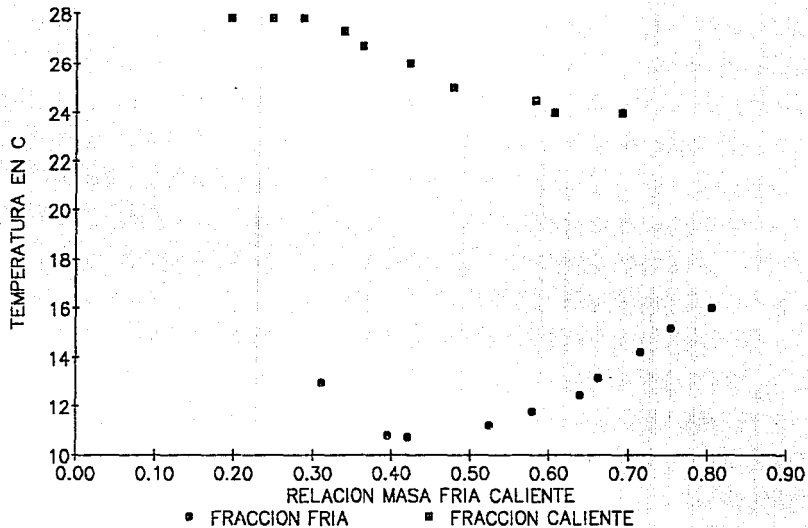
	TEMPERATURAS DEL AIRE EN CENTIGRADOS					FLUJOS DE AIRE				DENSIDAD T4 KG/m <sup>3</sup>	DENSIDAD T5 KG/m <sup>3</sup>	VEL T4 m/s	VEL T5 m/s	FLUJO MASICO FRIO M1 Kg/s	FLUJO MASICO CALIENTE M2 Kg/s	FLUJO MASICO TOTAL M1+M2 Kg/s
	T1	T2	T3	T4	T5	FRIO	COL H2O FRIO	CALIENTE	COL H2O CALIENTE							
	EN C	EN C	EN C	EN C	EN C	EN IN	EN IN	EN IN	EN IN							
1	25.50	23.50	34.00	29.00	25.50	0.86	1.20	1.26	3.70	0.9035604	0.9141549	25.726363	44.911476	0.0	0.0	0.0
2	25.50	23.50	34.00	29.00	25.50	0.92	1.50	1.20	3.50	0.9035604	0.9141549	28.762948	43.680791	0.0	0.0	0.0
3	25.00	24.00	34.50	29.50	25.50	1.00	1.90	1.10	3.00	0.9020669	0.9141549	32.398417	40.440554	0.0	0.0	0.0
4	26.50	24.50	35.00	29.50	26.00	1.08	2.30	1.00	2.70	0.9020669	0.9126262	35.646009	38.397396	0.0	0.0	0.0
5	27.00	25.00	35.00	29.50	26.00	1.14	2.60	0.90	1.50	0.9020669	0.9126262	37.899516	28.619729	0.0	0.0	0.0
6	27.00	26.00	35.20	29.50	27.00	1.23	3.20	0.80	1.40	0.9020669	0.9095841	42.045738	27.695483	0.0	0.0	0.0
7	27.00	27.00	36.00	29.50	27.00	1.30	3.60	0.70	1.00	0.9020669	0.9095841	44.59624	23.406955	0.0	0.0	0.0
8	27.00	27.50	36.00	29.50	27.50	1.40	4.30	0.60	0.80	0.9020669	0.9080707	48.739517	20.953257	0.0	0.0	0.0
9	27.50	28.00	36.00	29.50	28.00	1.48	5.00	0.50	0.60	0.9020669	0.9065622	52.557172	18.161143	0.0	0.0	0.0
10	28.00	29.00	36.00	29.50	28.00	1.56	5.30	0.40	0.50	0.9020669	0.9065622	54.110921	16.578779	0.0	0.0	0.0
11	28.00	29.50	36.00	29.50	28.00	1.62	6.00	0.30	0.40	0.9020669	0.9065622	57.573498	14.828511	0.0	0.0	0.0
12	28.00	30.00	36.00	29.50	29.00	1.68	6.50	0.20	0.25	0.9020669	0.9035604	18.949758	3.7132807	0.0	0.0	0.0

PLUJOS BASICOS			RELACION DE MASAS		ENTALPIAS					BALANCE DE ENERGIA						EFECTOS			
PRIO	CALIENTE	TOTAL	FRACCION FRIA	FRACCION CALIENTE	h1	h2	h2s	h3	h6	m2*h2	m3*h3	m2*(h1-h2)	m3*(h3-h1)	SALIDA	ENTRADA	DIFERENCIAL DE ERROR	REFRIGERANTE	CALEFACTOR	
m2	m3	m1	m2/(m3+m2)	m3/(m3+m2)	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	K Watts	K Watts	K Watts	K Watts	m2*h2+m3*h3 B	m1*h1 A	A-B K Watts	m2*(h6-h2) K Watts	m3*(h3-h6) K Watts	
Ig/s	Ig/s	Ig/s												K Watts	K Watts				
1.-	0.0030853981	0.005449451	0.0085348491	0.3615058767	0.6384941233	530	530	516	540	533	1.635261001	2.9427035452	0	0.0544945101	4.5779645	4.5234700	-0.0544945	0.0092561943	0.0381461571
2.-	0.00344958	0.0053001226	0.0087497025	0.3942511132	0.6057489868	530	530	516	540	533	1.8282773796	2.8620661853	0	0.0530012257	4.6903436	4.6373423	-0.0530012	0.0103487399	0.037100858
3.-	0.0038791643	0.00490696	0.0087861243	0.4415102885	0.5584897115	531	531	517	541	534	2.0598362196	2.6546653612	0	0.0490696	4.7145016	4.6654320	-0.0490696	0.0116374928	0.03434872
4.-	0.0042680086	0.0046512571	0.0089192657	0.4785156926	0.5214843074	531	531	517	541	534	2.2663125718	2.5163300928	0	0.046512571	4.7826427	4.7361301	-0.0465126	0.0128040258	0.0325587397
5.-	0.0045378281	0.0034668424	0.0080046705	0.5668975554	0.4331024446	532	532	518	542	535	2.4141245643	1.6790285561	0	0.0346684235	4.2931531	4.2584847	-0.0346684	0.0136134844	0.0242678965
6.-	0.0050342683	0.0033437011	0.0083779694	0.6008936126	0.3991063874	532	533	518	542	535	2.6232650074	1.8122885993	-0.005034268	0.0334370111	4.4955510	4.4570797	-0.0384713	0.0106695366	0.0234059077
7.-	0.0053396479	0.0022259432	0.0091655911	0.6532055576	0.3460734424	532	534	518	543	535	2.8513719716	1.5344871663	-0.010679296	0.0310853754	4.3858591	4.3440945	-0.0417647	0.0053396479	0.0226075457
8.-	0.0058357355	0.0025251967	0.0083612322	0.6979516074	0.3020483926	532	535	519	543	536	3.122118471	1.3713447343	-0.017507206	0.0277804642	4.1934632	4.1481755	-0.0452877	0	0.020203974
9.-	0.0052928354	0.002185327	0.0084781624	0.742240486	0.257759514	533	536	519	543	536	3.3129597654	1.1866325724	-0.018878506	0.0218532702	4.5595923	4.5188606	-0.0407318	0	0.0152972891
10.-	0.0064788706	0.0019949215	0.0084737921	0.7645774771	0.2354225229	533	537	519	543	536	3.4791534393	1.083242379	-0.025915482	0.0199492151	4.5523959	4.5165312	-0.0458647	-0.006478871	0.0139644506
11.-	0.0068934558	0.001784312	0.0086777678	0.781151219	0.205618781	533	537	520	543	536	3.7017857539	0.9688814382	-0.027573823	0.0178431204	4.6706672	4.6252502	-0.0454169	-0.006893456	0.0124901843
12.-	0.0022689141	0.0004453389	0.0027142529	0.8359258069	0.1640741931	533	538	521	543	536	1.2208757665	0.2418189999	-0.01134457	0.0044533886	1.4624948	1.4466968	-0.0157980	-0.004537828	0.003117332

PRESION ENTRADA 5.9 KG/CM<sup>2</sup>  
LECTURA NUM. 1

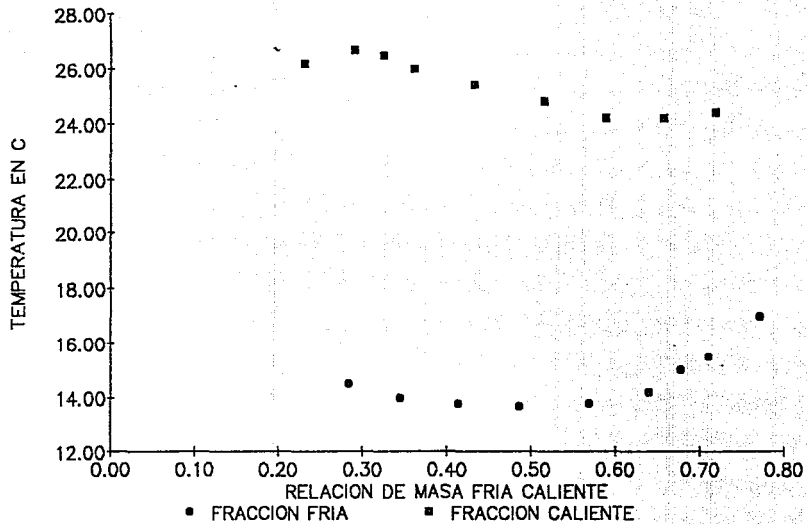


PRESION DE ENTRADA 5 KG/CM<sup>2</sup>  
LECTURA NUM. 2



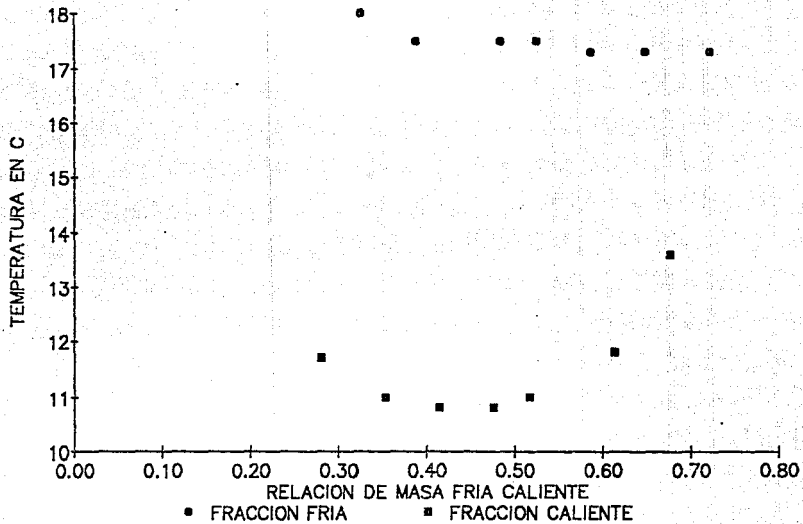


PRESION DE ENTRADA 4 KG/CM<sup>2</sup>  
LECTURA NUM. 3

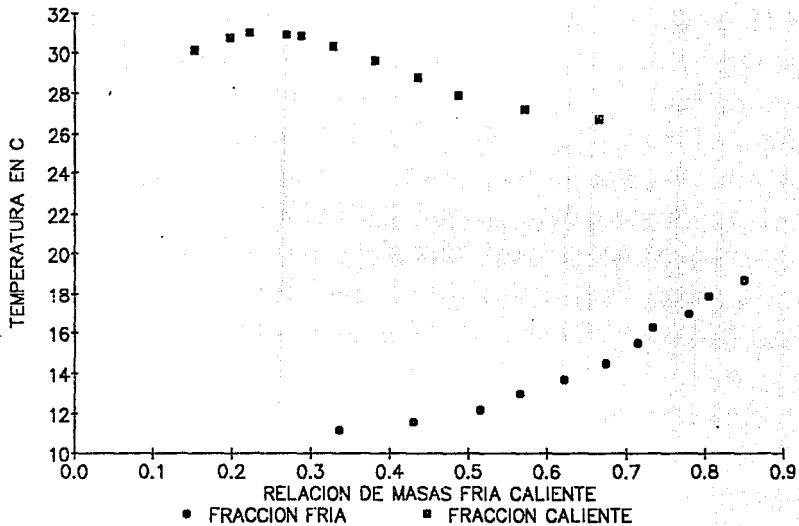


PRESION DE ENTRADA 4 KG/CM<sup>2</sup>

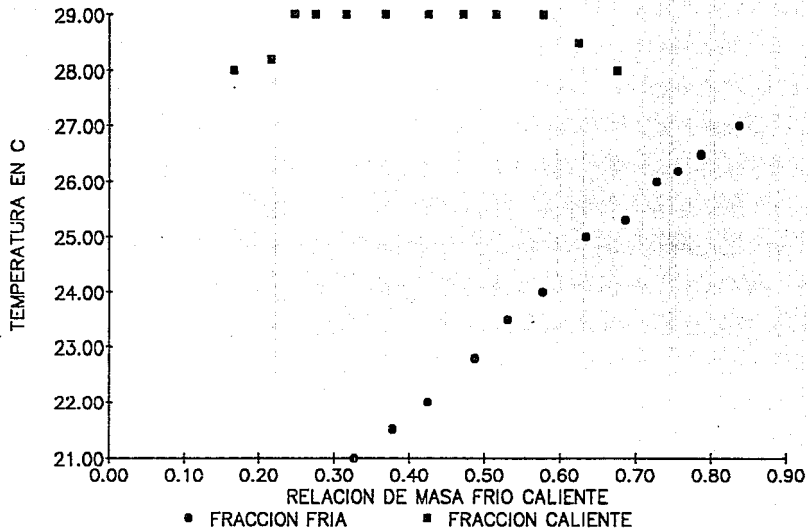
LECTURA NUM. 4



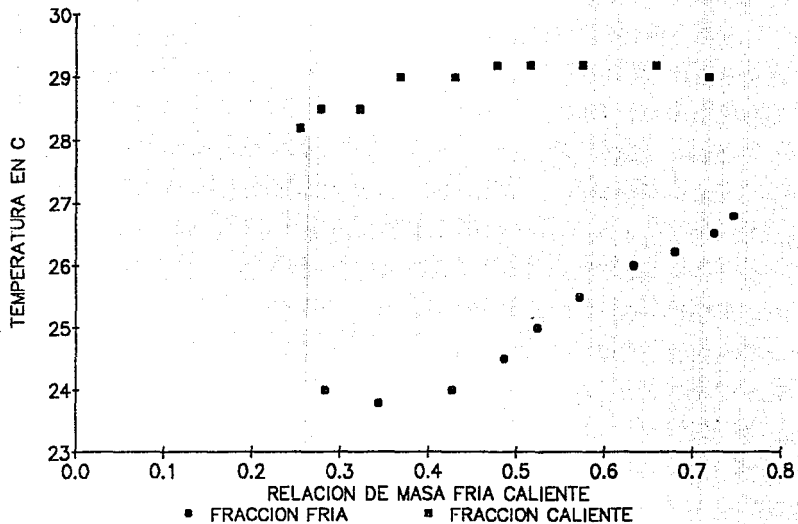
PRESION ENTRADA 6.75 KG/CM<sup>2</sup>  
LECTURA NUM. 5



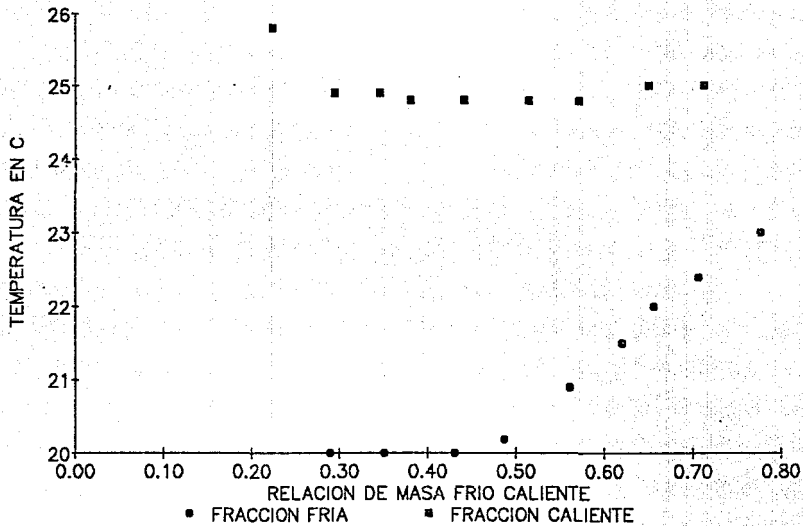
PRESION DE ENTRADA 5.9 KG/CM<sup>2</sup>  
LECTURA NUM. 6



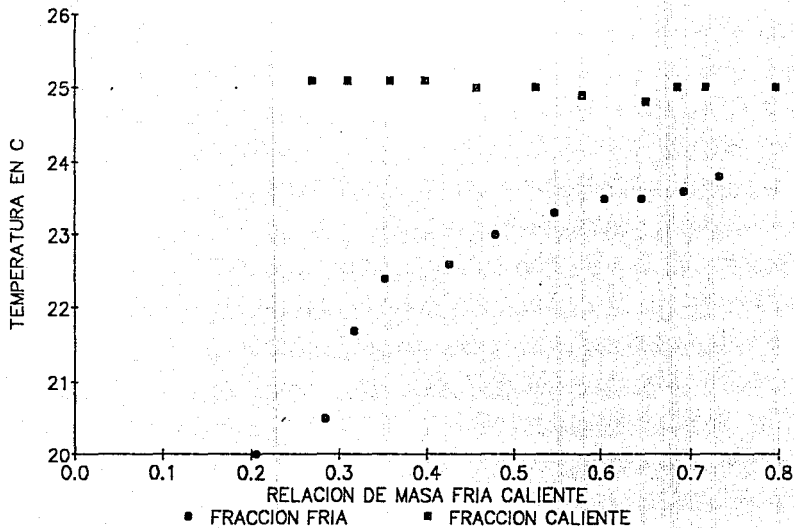
PRESION DE ENTRADA 5 KG/CM<sup>2</sup>  
LECTURA NUM. 7



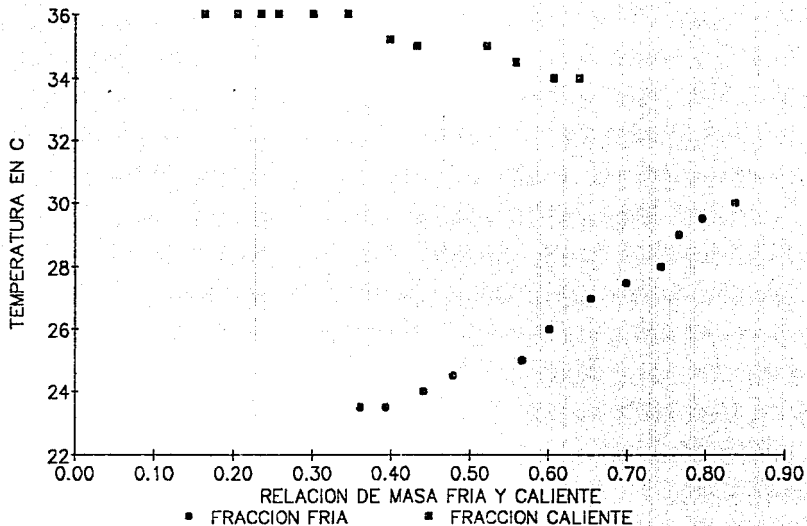
PRESION DE ENTRADA 4 KG/CM<sup>2</sup>  
LECTURA NUM. 8



PRESION DE ENTRADA 5.5 KG/CM<sup>2</sup>  
LECTURA NUM. 9



PRESION DE ENTRADA 6.0 KG/CM<sup>2</sup>  
LECTURA NUM. 10





### 1. Análisis

A continuación se comentan aspectos de las diez diferentes lecturas que se efectuaron en este trabajo.

#### i) Lectura 1 (5.9 kg/cm<sup>2</sup>, sin deflector)

Se presenta un incremento tanto en el efecto refrigerante como en el calefactor hasta la medición 7. Posteriormente, existe una pérdida en el efecto refrigerante, es decir, que bajó el rendimiento del proceso. No obstante, el efecto calefactor continuó con incremento en su operación.

#### ii) Lectura 2 (5.0 kg/cm<sup>2</sup>, sin deflector)

En este caso el efecto calefactor se ve decrementado y poco estable, mientras que el refrigerante permanece estable hasta la medición 6, para decrecer inmediatamente después.

#### iii) Lectura 3 (4.0 kg/cm<sup>2</sup>, sin deflector)

Aquí se observa una estabilidad relativa al inicio en el efecto refrigerante (medición 1 a 5), mientras que en el calefactor existe una gran estabilidad a lo largo de las diferentes mediciones. A partir de la medición 6 el efecto refrigerante decrece rápidamente.

#### iv) Lectura 4 (3.0 kg/cm<sup>2</sup>, sin deflector)

Existe poca ganancia tanto en el efecto calefactor como en el refrigerante, con un punto disparado negativamente en dicha gráfica en el efecto refrigerante, que indica que en

vez de refrigerar, calentó, y viceversa. No es una gráfica muy apropiada para obtener conclusiones, excepto la inversión del proceso en el punto citado.

v) Lectura 5 (6.75 kg/cm<sup>2</sup>, sin deflector)

Se muestra una estabilidad casi constante en el efecto refrigerante entre 40 y 45 watts. En el efecto calefactor se presenta un crecimiento inmediato al inicio, luego se comporta establemente y después decrece rápidamente. El rango varía entre 12 y 16 watts, y esto se puede considerar como un buen punto de operación (entre las mediciones 2 y 6).

vi) Lectura 6 (5.9 kg/cm<sup>2</sup>, deflector mediano)

El efecto calefactor muestra un crecimiento estable en las primeras mediciones (1 a 6) para después incrementar grandemente. El efecto refrigerante muestra un crecimiento inestable y luego de la medición 9, decrece un poco.

vii) Lectura 7 (5.0 kg/cm<sup>2</sup>, deflector mediano)

Se presenta un buen resultado en el efecto refrigerante hasta la medición 5; sin embargo, el efecto calefactor es muy bajo. Posteriormente, decrece fuertemente el efecto refrigerante y el efecto calefactor continúa su crecimiento normal.

viii) Lectura 8 (4.0 kg/cm<sup>2</sup>, deflector mediano)

El efecto refrigerante tiene poco rendimiento alcanzando un máximo de 16 watts. El efecto calefactor no cumple su función y trabajo en forma de refrigerante, por lo tanto, no resulta ser un punto de operación recomendable.

ix) Lectura 9 (5.5 kg/cm<sup>2</sup>, deflector cilíndrico)

Al igual que el anterior, es poco estable, pero el efecto refrigerante presenta más variaciones entre las mediciones (10 a 18 watts). Mientras que el efecto calefactor, en vez de calentar, modificó su función por la de enfriar.

x) Lectura 10 (6.0 kg/cm<sup>2</sup>, deflector triangular)

Al inicio presenta un proceso mixto entre el efecto calefactor y el refrigerante, es decir, el refrigerante calentó y el calefactor enfrió. Posteriormente (medición 5), su función se reestablece y opera con cierta estabilidad al final pero con poco rendimiento. El efecto calefactor se fue incrementando poco pero constantemente.

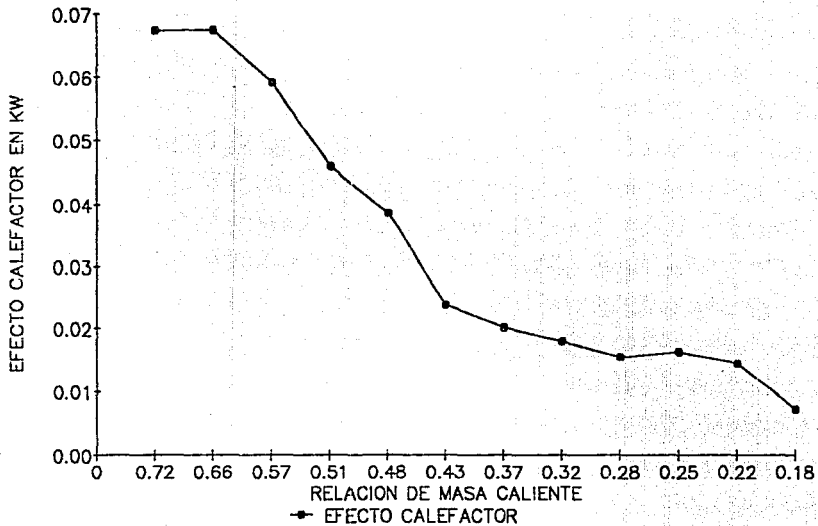
**Nota:** Las variaciones que presentan las gráficas de refrigeración y calefacción se pueden deber a:

1. Variaciones en las masas de aire en los dos efectos.
2. Fallas de diseño en el aparato.
3. Por condensación de humedad dentro del mismo tubo de vórtice.
4. Por variaciones de presión o pérdida de flujo por fugas en la válvula.
5. Por variaciones en las condiciones meteorológicas, tanto de temperatura ambiente como de humedad. Todas las mediciones no se efectuaron el mismo día.

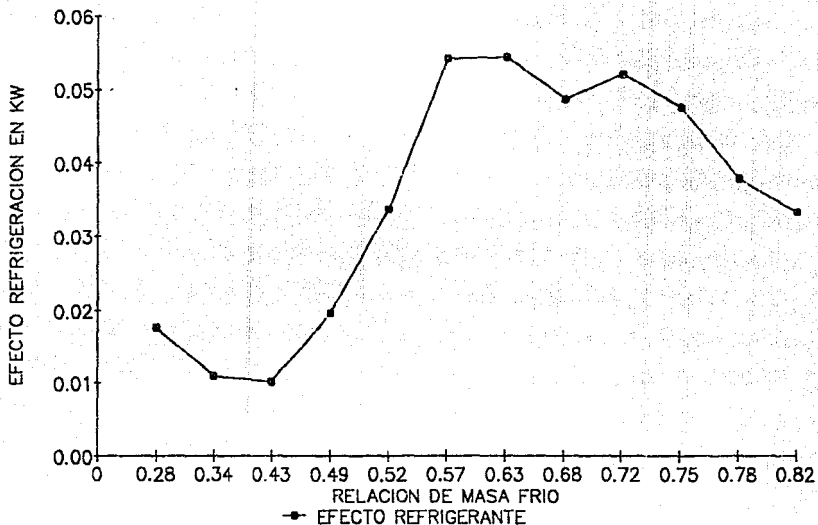
2. Gráficas

A continuación se muestran las diferentes gráficas que se obtuvieron de cada una de las lecturas llevadas a cabo.

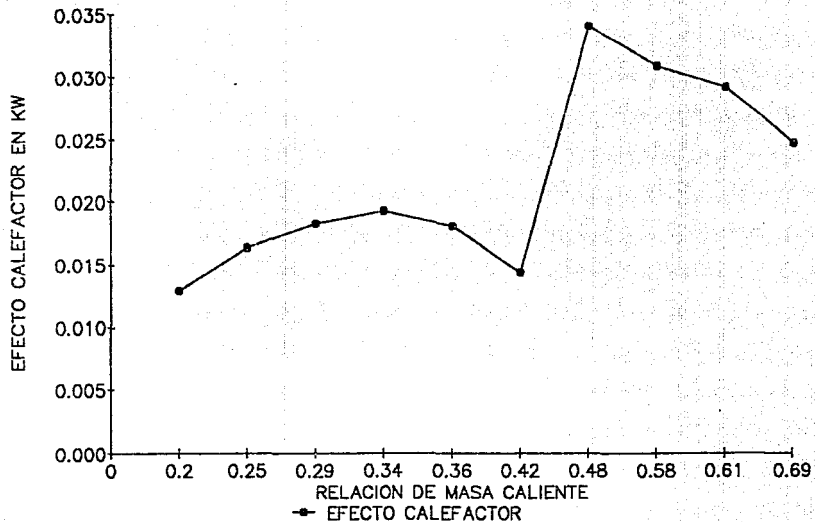
PRESION DE ENTRADA 5.9 KG/CM<sup>2</sup>  
LECTURA NUM. 1



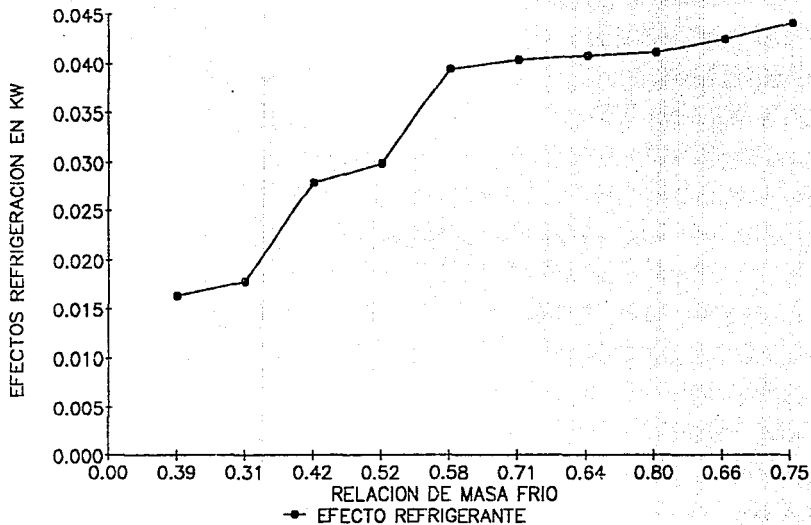
PRESION DE ENTRADA 5.9 KG/CM <sup>2</sup>  
LECTURA NUM.1



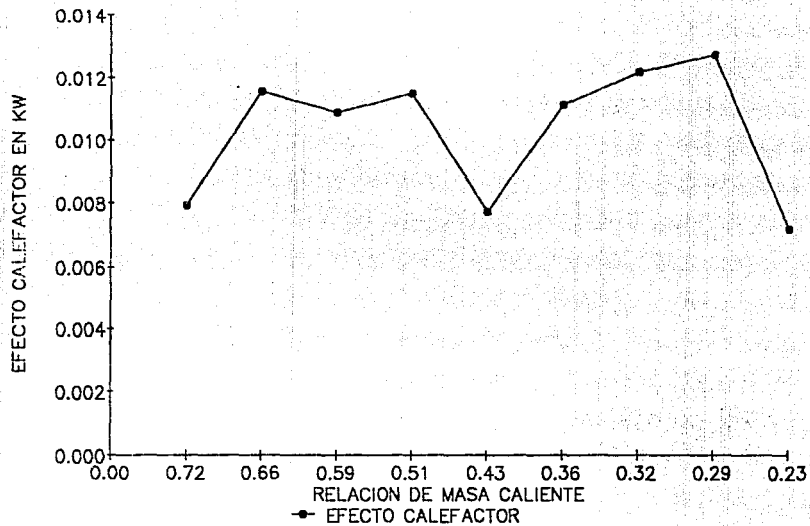
PRESION DE ENTRADA 5 KG/CM<sup>2</sup>  
LECTURA NUM. 2



PRESION DE ENTRADA 5 KG/CM<sup>2</sup>  
LECTURA NUM. 2

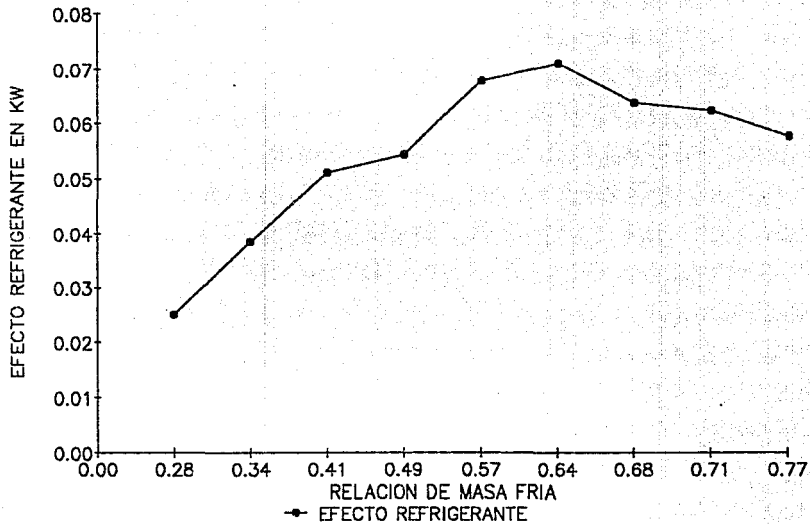


PRESION DE ENTRADA 4 KG/CM<sup>2</sup>  
LECTURA NUM. 3

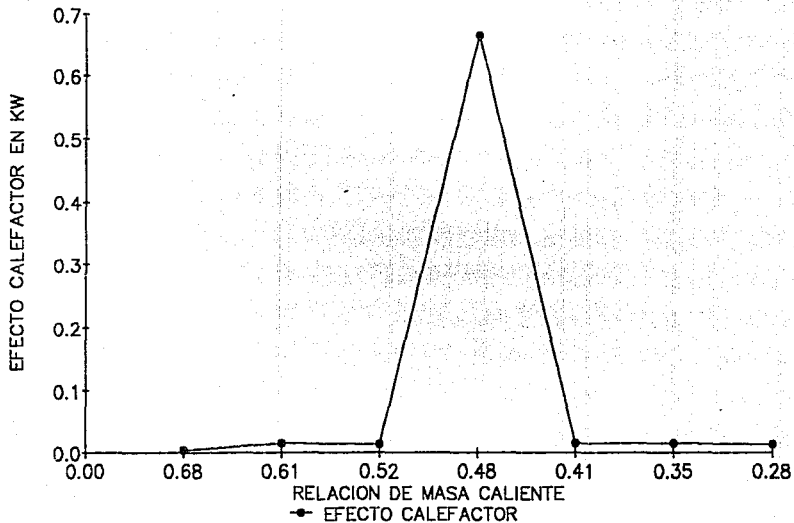




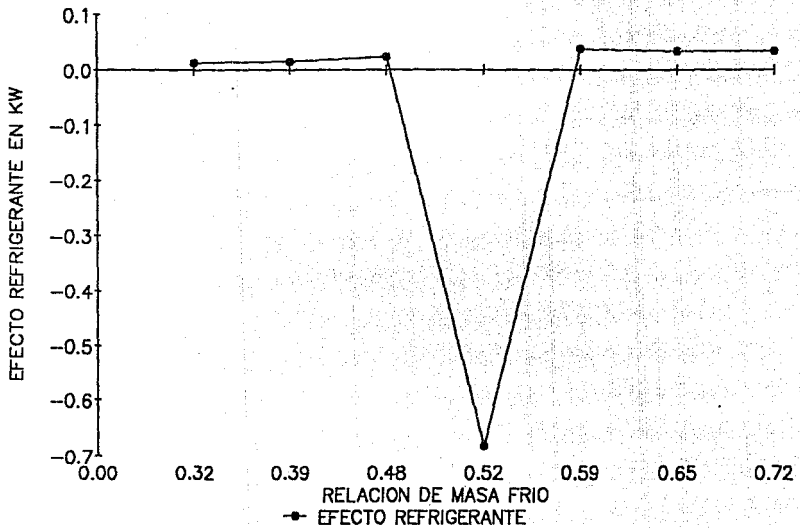
PRESION DE ENTRADA 4 KG/CM<sup>2</sup>  
LECTURA NUM. 3



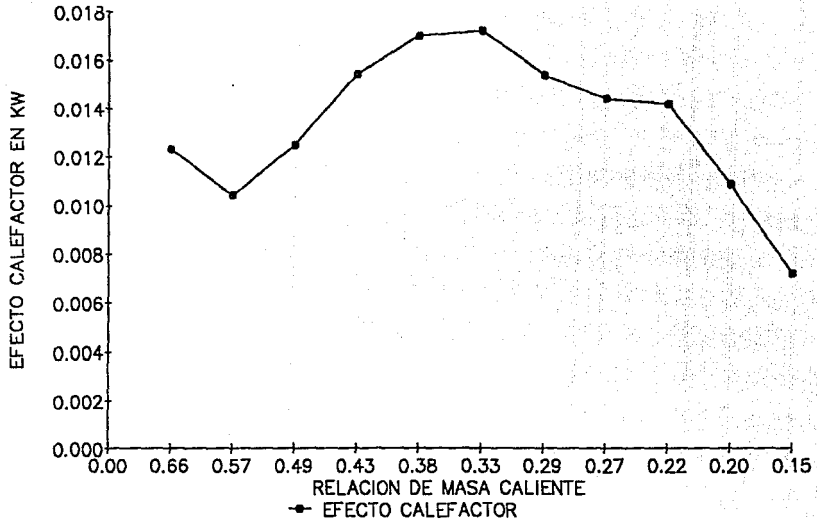
PRESION DE ENTRADA 4 KG/CM<sup>2</sup>  
LECTURA NUM. 4



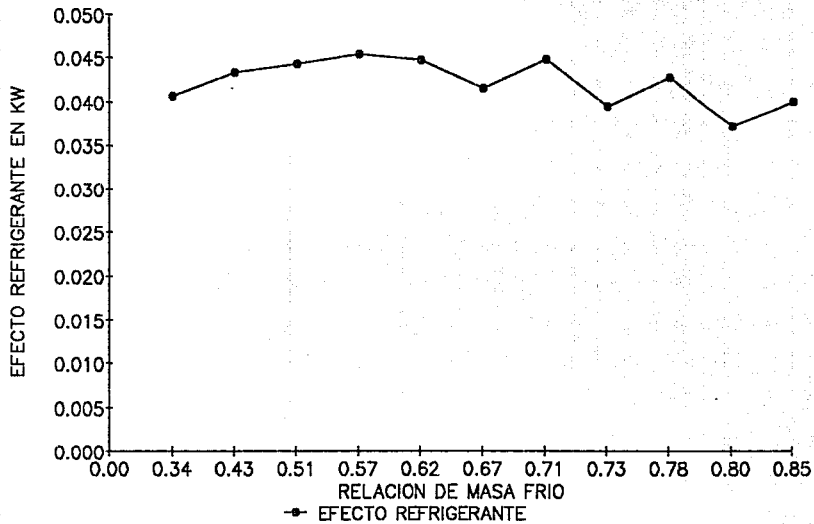
PRESION DE ENTRADA 4 KG/CM<sup>2</sup>  
LECTURA NUM. 4



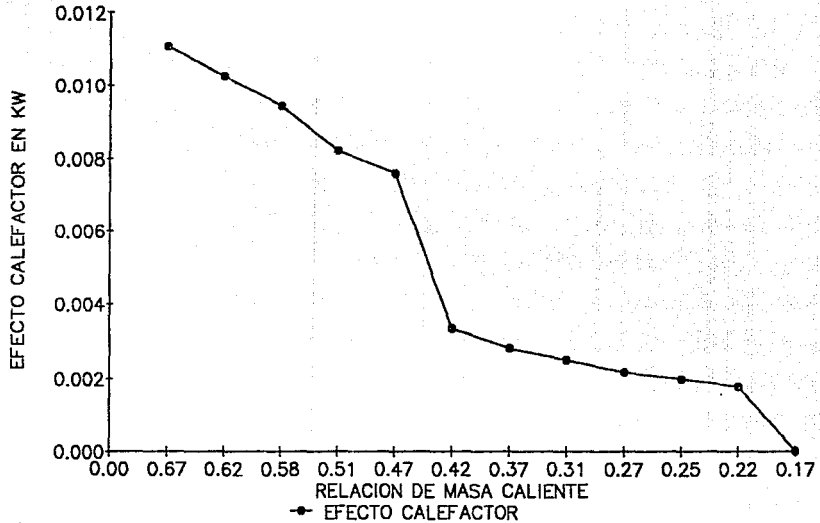
PRESION DE ENTRADA 6.75 KG/CM<sup>2</sup>  
LECTURA NUM. 5



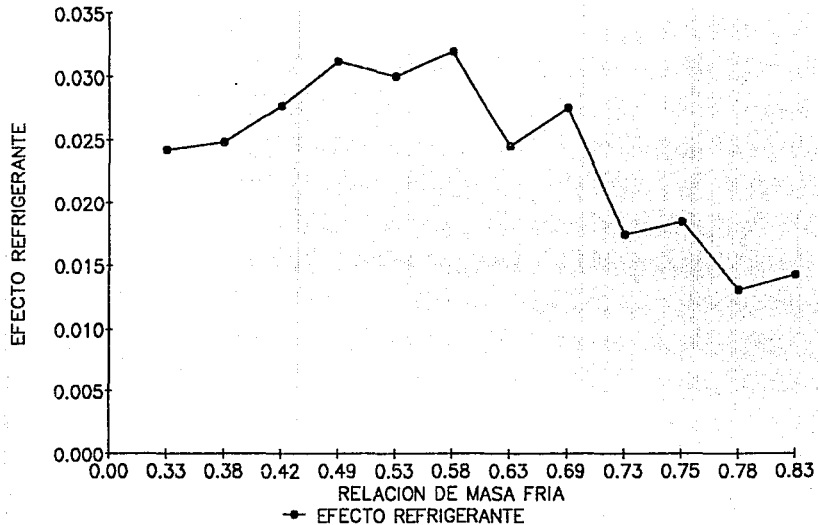
PRESION DE ENTRADA 6.75 KG/CM<sup>2</sup>  
LECTURA NUM. 5



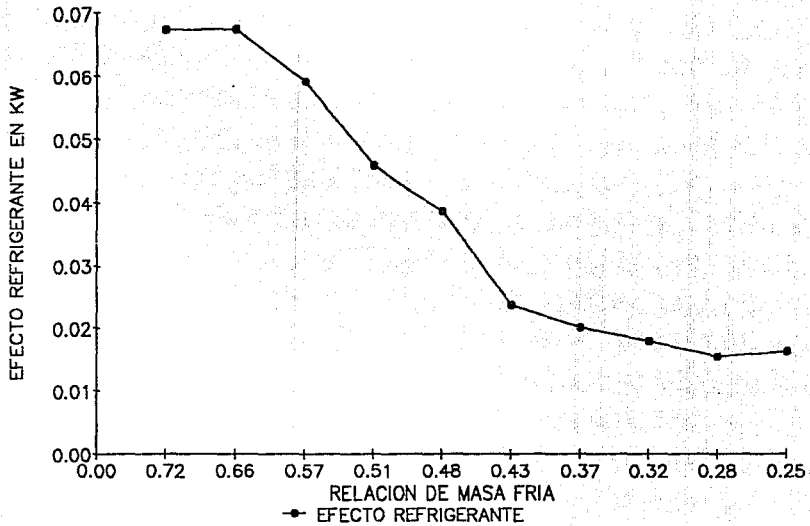
PRESION DE ENTRADA 5.9 KG/CM<sup>2</sup>  
LECTURA NUM. 6



PRESION DE ENTRADA 5.9 KG/CM<sup>2</sup>  
LECTURA NUM. 6

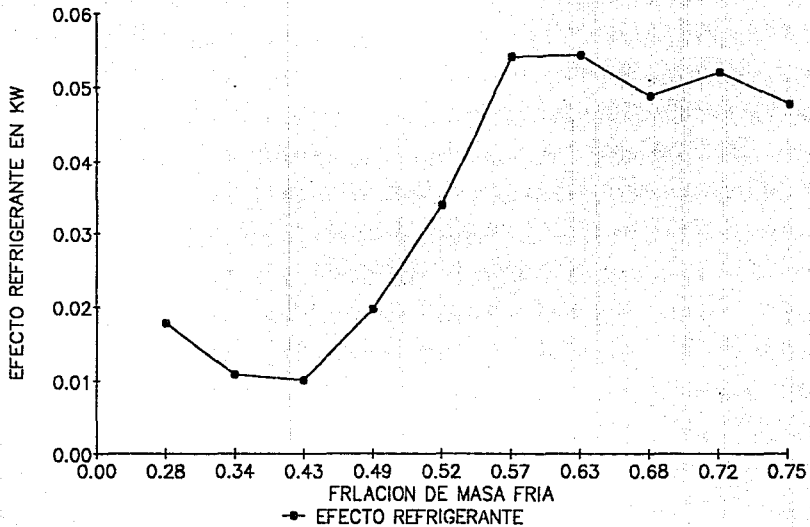


PRESION DE ENTRADA 5.9 KG/CM<sup>2</sup>  
LECTURA NUM 7

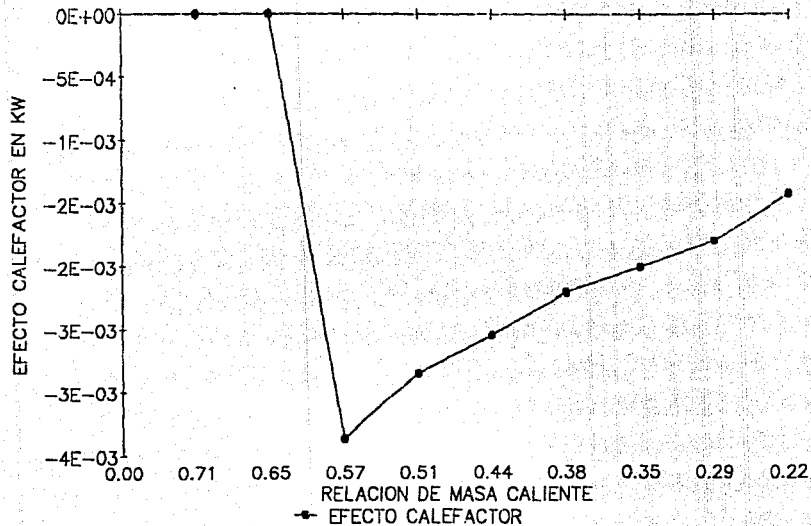




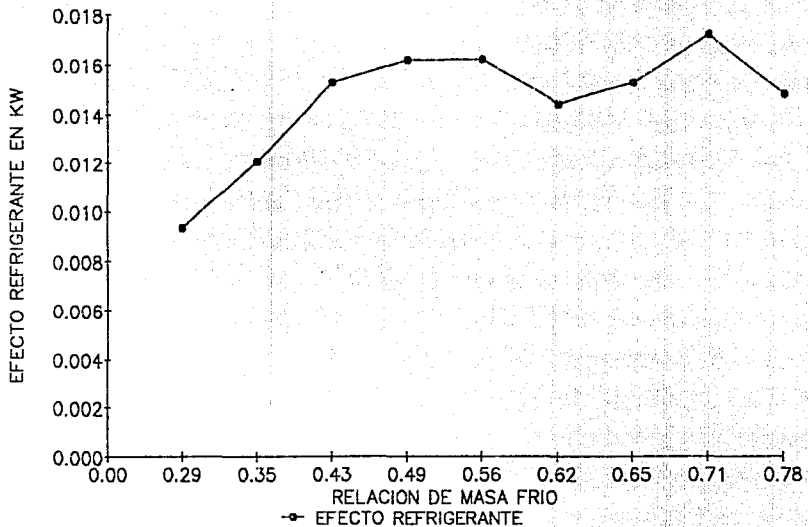
PRESION DE ENTRADA 5.9 KG/CM<sup>2</sup>  
LECTURA NUM. 7



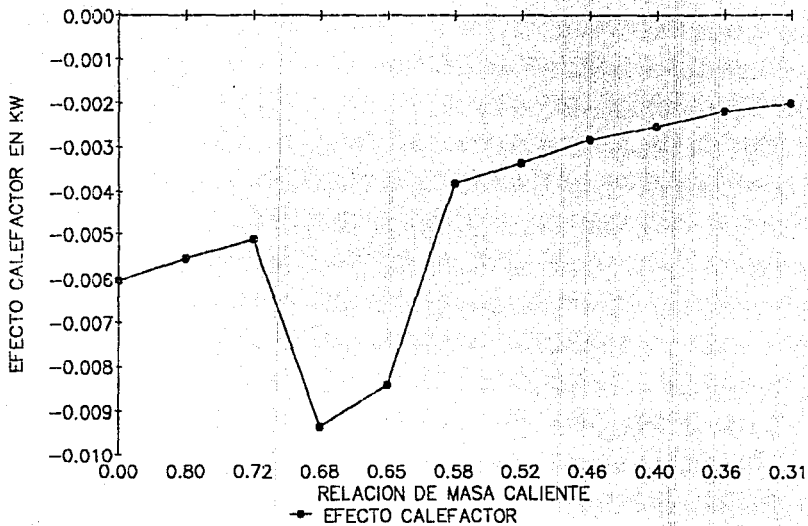
PRESION DE ENTRADA 4 KG/CM<sup>2</sup>  
LECTURA NUM. 8



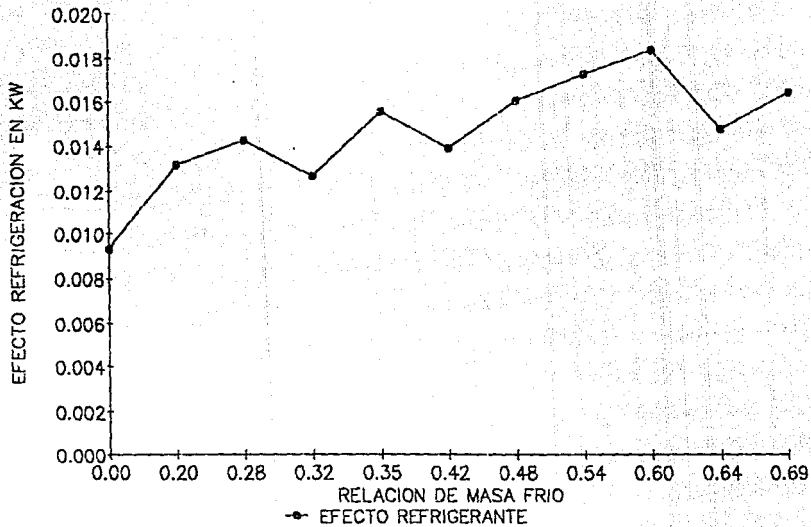
PRESION DE ENTRADA 4 KG/CM<sup>2</sup>  
LECTURA NUM. 8



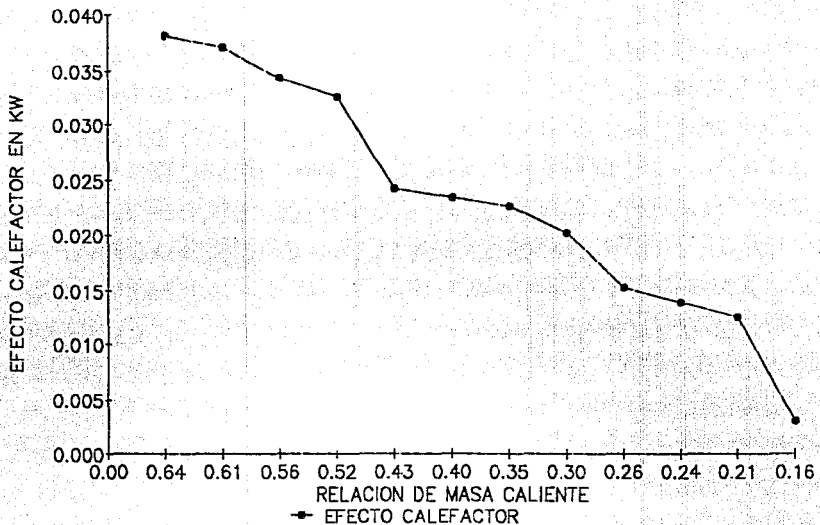
PRESION DE ENTRADA 5.6 KG/CM<sup>2</sup>  
LECTURA NUM. 9



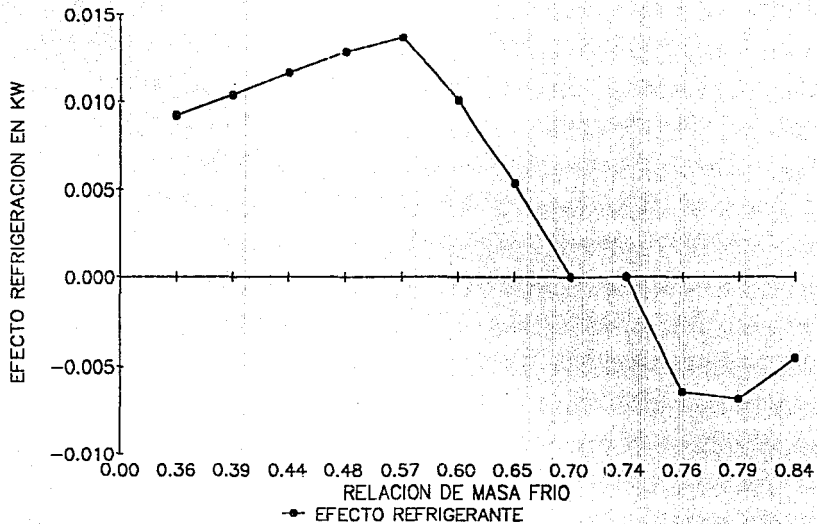
PRESION DE ENTRADA 5.5 KG/CM<sup>2</sup>  
LECTURA NUM. 9



PRESION DE ENTRADA 6.0 KG/CM<sup>2</sup>  
LECTURA NUM.10



PRESION DE ENTRADA 6.0 KG/CM<sup>2</sup>  
LECTURA NUM. 10



## VII. CONCLUSIONES

---

Para el desarrollo de esta tesis, primeramente se tuvo que fabricar el tubo de vórtice, donde se supusieron ciertos parámetros, como los diámetros de salida en ambas partes (fría y caliente), así como la longitud del tubo. Esto se realizó de esa forma, porque se carecía de cualquier tipo de planos o de información adicional que hubiera podido ayudar a la realización total de este estudio. Una vez determinado lo anterior, se presentaron un sinnúmero de problemas, los cuales fueron sorteados de la mejor manera posible, para poder operar el tubo de vórtice y obtener los resultados deseados, aún sabiendo que éste podría o no funcionar. Es decir, que el fenómeno de separación de energía a través de un flujo de gas a presión y por medio de una expansión adiabática, se presentara en el experimento.

Igualmente, se realizaron diversas mediciones con diez parámetros diferentes para poder detectar cuáles eran los puntos de operación del aparato y cuáles los rangos de presión óptimos de operación. Esto se efectuó haciendo un barrido de flujos para cada una de las lecturas, con lo que se obtuvieron diversas gráficas. Analizando todas ellas, se observó que existieron áreas de poca ganancia; sin embargo, también se presentaron otras áreas donde se detectó claramente que el funcionamiento del tubo de vórtice fue correcto.

Todo lo anterior, nos presenta un cuadro de éxito en la elaboración de este proyecto, más aún no quiere decir que esto sea todo, puesto que se pueden variar ciertos parámetros con los datos ya obtenidos, con el fin de aumentar los puntos de operación del tubo de vórtice, y obtener mejores resultados y mayores conclusiones.

El trabajo experimental con el tubo de vórtice puede ser confirmado y ampliado, si el suministro al mismo, se efectúa con:



1. Gases diferentes al aire, como nitrógeno, dióxido de carbono, helio, etc.
2. Gases que se encuentren inicialmente arriba o abajo de la temperatura ambiente.
3. Gases o aire con diversas mezclas de contenidos.

Además, cabe destacar que los méritos del aparato previamente mencionado, radican en su variado rango de aplicaciones:

- Sistemas (fríos o calientes) protectores de ropa
- Enfriamiento de gabinetes electrónicos
- Maquinado y barrenado en seco de plásticos
- Maquinado en seco de explosivos o materiales combustibles
- Refrigerador para pruebas de laboratorio
- Refrigerador de agua
- Instrumentación de refrigeración
- Enfriamiento de emergencia en chumaceras
- Moldeo en frío de pequeñas piezas de plástico
- Enfriamiento de drenaje subterráneo para reparación
- Gabinete de controles de temperatura ambiental
- Ajuste por contracción
- Refrigeración de procesos industriales

### 1. Apéndice A.

#### Procedimiento de Calibración del Annubar

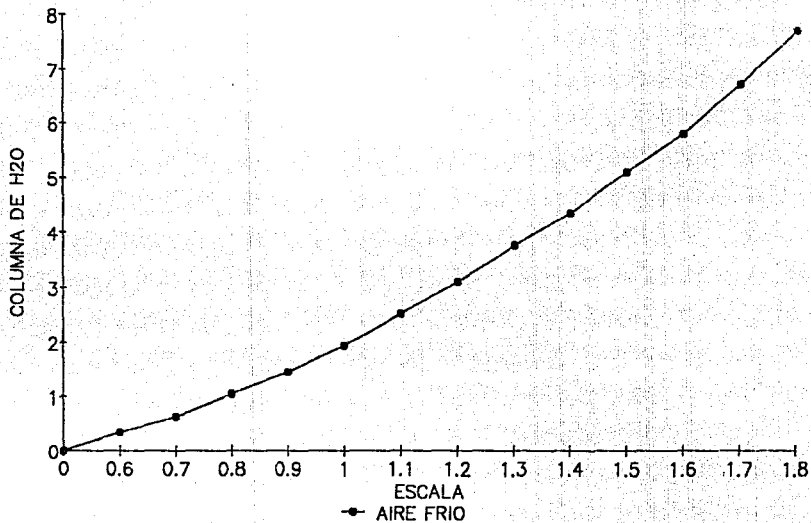
Una vez instalado firmemente al tablero y conectado, se ajusta el annubar a 0 abriendo las válvulas de purga que se encuentran en la parte superior del aparato, con el fin de que no existan presiones internas que afecten la calibración. Asimismo se mueve el tornillo del indicador de presión hasta quedar en el punto 0. Una vez efectuado lo anterior, se aprietan las tuercas suavemente y se cierran las válvulas de purga que sirven para extraer la humedad atrapada dentro del annubar. Ya ajustado a 0 el annubar, se procede a ajustar la aguja indicadora contra oscilaciones que pudiera tener la misma, girando el tornillo en sentido horario o antihorario hasta que se establece dicha aguja.

Una vez calibrado el annubar, se conectó éste a un medidor de presión graduado en pulgadas de agua, con el objeto de encontrar una equivalencia entre la escala del annubar y una columna de agua. Tomando lecturas en cada uno de los puntos de la escala del annubar y su correspondiente diferencial de agua, se obtuvo una gráfica de Escala de Annubar vs. Columna de Agua. Esto se realizó para los dos annubares utilizados en el presente trabajo; es decir, se elaboró una gráfica tanto para aire frío, como una para aire caliente.

## LECTURAS DE AIRE FRIO

COLUMNA DE H2O IN	COLUMNA DE H2O C <sub>a</sub>	VELOCIDAD V M/S	ARBA A M2	CAUDAL Q M3/S	DENSIDAD	FLUJO MASICO ■	
1.-	7.6	17.100	64.31472	0.0001327	0.0085366	0.9156414	0.0078165
2.-	6.75	15.188	60.61156	0.0001327	0.0080451	0.9156414	0.0073664
3.-	5.1	11.475	52.68521	0.0001327	0.0069930	0.9156414	0.0064031
4.-	4.375	9.944	48.79695	0.0001327	0.0064769	0.9156414	0.0059305
5.-	3.8	8.550	45.17728	0.0001327	0.0060363	0.9156414	0.0055271
6.-	3.125	7.031	41.24095	0.0001327	0.0054740	0.9156414	0.0050122
7.-	2.475	5.569	36.70213	0.0001327	0.0048716	0.9156414	0.0044606
8.-	1.95	4.388	32.57774	0.0001327	0.0043241	0.9156414	0.0039593
8.-	1.45	3.263	28.09232	0.0001327	0.0037288	0.9156414	0.0034442
10.	1	2.250	23.32940	0.0001327	0.0030966	0.9156414	0.0028353
11.	0.65	1.463	18.80877	0.0001327	0.0024965	0.9156414	0.0022859
12.	0.35	0.788	13.80186	0.0001327	0.0018320	0.9156414	0.0016774

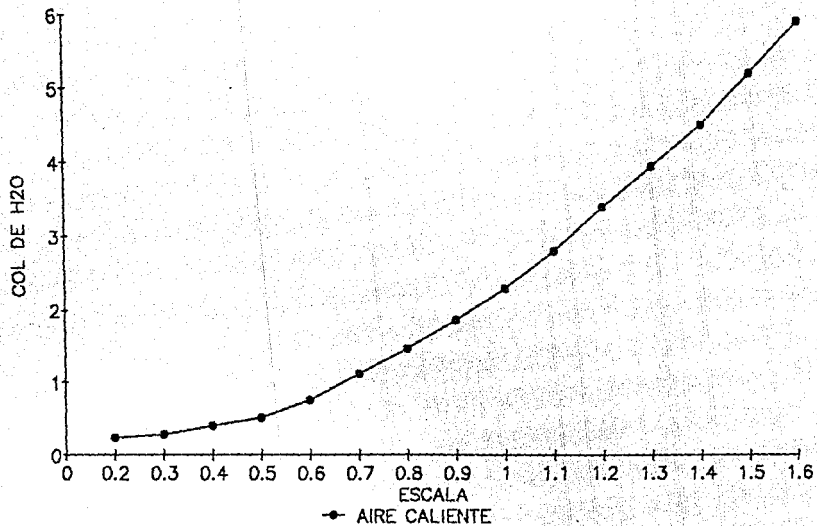
GRAFICA DE COL H2O CONTRA ESCALA  
DE ANUBAR



## LECTURAS DE AIRE CALIENTE

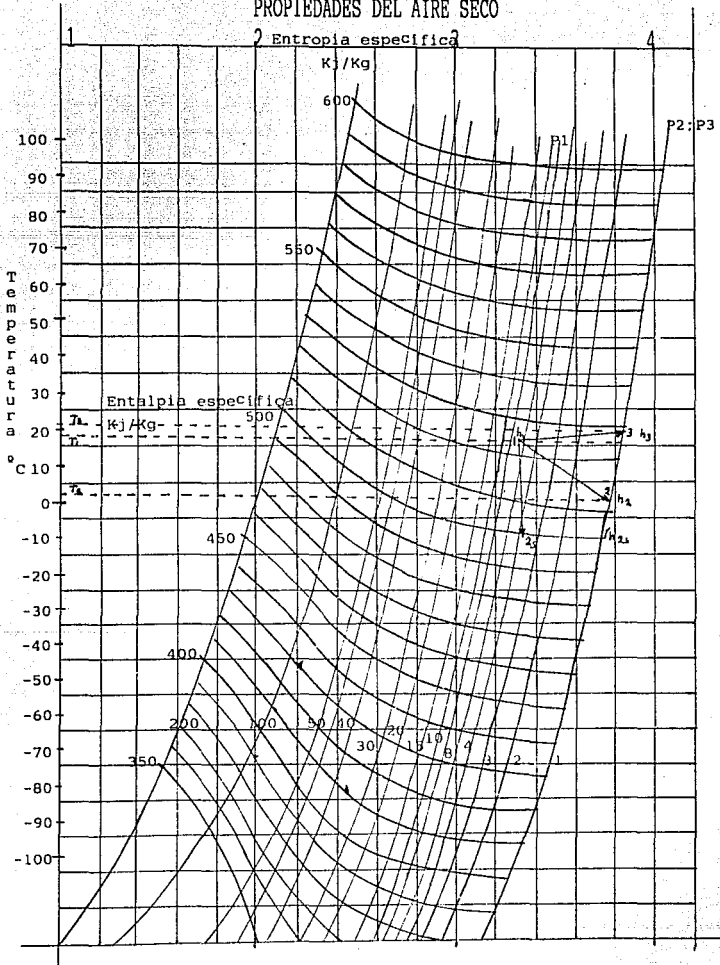
COLUMNA DE P20 1H	COLUMNA DE H2O Cm	VELOCIDAD V M/S	AREA A M2	CAUDAL Q M3/S	DENSIDAD	PLUJO MASICO ■	
1.-	5.5	12.375	51.71230	0.0001327	0.0072621	0.9156414	0.0066495
2.-	4.35	11.138	51.90464	0.0001327	0.0068834	0.9156414	0.0063082
3.-	4.4	9.900	48.93617	0.0001327	0.0064954	0.9156414	0.0059475
4.-	3.875	8.719	45.92397	0.0001327	0.0060956	0.9156414	0.0055814
5.-	3.35	7.538	42.89982	0.0001327	0.0056676	0.9156414	0.0051895
6.-	2.825	6.356	39.21144	0.0001327	0.0052046	0.9156414	0.0047656
7.-	2.225	5.006	34.79915	0.0001327	0.0046190	0.9156414	0.0042293
8.-	1.825	4.106	31.51829	0.0001327	0.0041832	0.9156414	0.0038303
9.-	1.45	3.263	26.09232	0.0001327	0.0037288	0.9156414	0.0034142
10.-	1.02	2.363	23.90552	0.0001327	0.0031730	0.9156414	0.0029054
11.-	0.85	1.913	21.50865	0.0001327	0.0029549	0.9156414	0.0026141
12.-	0.675	1.519	19.16706	0.0001327	0.0025441	0.9156414	0.0023295
13.-	0.55	1.238	17.30185	0.0001327	0.0022965	0.9156414	0.0021027
14.-	0.3	0.675	12.7804	0.0001327	0.0016961	0.9156414	0.0015530
15.-	0.25	0.563	11.66470	0.0001327	0.0015463	0.9156414	0.0014117

GRAFICA DE COL H2O CONTRA ESCALA  
DE ANUBAR



# PROPIEDADES DEL AIRE SECO

2 Entropia específica



## IX. BIBLIOGRAFIA

Falres/Simmang. Termodinámica, Edit. UTEHA, México.

Fulton, C. D. Refrigeration Engineering CO., Journal of the ASRE, EUA.

Manrique, Jose A. Transferencia de Calor, Edit. Harla, México.

Matax, Claudio. Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas, Edit. Harla, México.

Revista ICyT Información Científica y Tecnológica, Agosto de 1989, Vol. 11, Num. 155.  
Varios artículos.

Vennard, John K. and Street, Robert L. Elementos de Mecánica de Fluidos, Cla. Edit.  
Continental, México.

Vortex Tube Test Apparatus. Operating Instructions and Performance Notes. P. A.  
Hilton Ltd., Engineers, England.