



01173

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE POSGRADO EN INGENIERIA**

**ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR
EN UN CUBO COMO FUNCIÓN DEL ÁNGULO DE ATAQUE**

Tanya Moreno Coronado

Director: Dr. Francisco Solorio Ordáz

Tesis para obtener el grado de Maestro en Ingeniería
Ingeniería Mecánica

Ciudad Universitaria

2005

m 342515



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece primordialmente al Dr. Solorio por su gran paciencia y apoyo y a Eduardo Medina por haberme convencido de entrar a la maestría e indiscutiblemente por su apoyo y amistad.

Otro agradecimiento especial es para Manuel García ,y a su empresa PROCEMEC por facilitarme las herramientas necesarias para el maquinado del cubo.

Se agradece al CONACYT por el apoyo para la realización de los estudios.

A todos los amigos y compañeros de la escuela (sin mencionar nombres).

Finalmente a mi familia porque sin su apoyo yo no hubiera obtenido el grado.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la
UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el
contenido de mi trabajo recepcional.
NOMBRE: TanyS Moreno
Coronado
FECHA: 1-abril-2005
FIRMA: [Firma]

INDICE

NOMENCLATURA.....	4
INTRODUCCIÓN.....	5
CAPITULO 1. Antecedentes.....	6
1.1 Generalidades.....	6
Capa límite de velocidad o hidrodinámica	
Capa límite térmica	
Flujo laminar y turbulento	
Flujo y transferencia de calor desde cuerpos romos	
1.2 Revisión bibliográfica.....	12
1.3 Objetivo de tesis	16
CAPITULO 2. Descripción del experimento y proceso de cálculo	17
2.1 Descripción del experimento.....	17
2.2 Parámetros medidos	19
2.3 Parámetros calculados	20
Cálculo de la temperatura media ponderada	
Cálculo de la temperatura promedio	
Cálculo de la conductividad térmica	
Cálculo de la viscosidad dinámica	
Cálculo de la densidad de un gas perfecto	
Cálculo de pérdidas	
Cálculo de la pérdida de calor por radiación	
Cálculo de la pérdida de calor por la aleta	
Calor transferido por convección desde el cubo	
Cálculo del coeficiente convectivo	
Cálculo de los números de Reynolds y de Nusselt	
Cálculo de los números de Re y Nu con longitud característica L:	
Cálculo de los números de Re* y Nu* con longitud característica L*	
Correlación entre Re y Nu	
2.4 Obtención del número de Nusselt con una red neuronal	23
CAPITULO 3. Resultados.....	25
CAPITULO 4. Conclusiones	29
REFERENCIAS.....	30
ANEXOS	32
- Maquinado del cubo	33
- Tablas de parámetros medidos.....	38
- Tablas de parámetros calculados	39

NOMENCLATURA

A	área superficial del cubo, [m ²]
h	coeficiente convectivo, [W/m ² K]
I	intensidad de la corriente eléctrica, [A]
k	conductividad térmica del aire, [W/mK]
L	longitud del lado del cubo, [m]
Nu	número de Nusselt (definido en el texto)
Re	número de Reynolds (definido en el texto)
T _{pond}	temperatura media ponderada (definida en el texto), [°C]
V	voltaje, [V]
ρ	densidad del aire, [kg/m ³]
μ	viscosidad dinámica del aire, [kg/ms]
θ	ángulo de un lado del cubo con respecto a la corriente
q''	transferencia de calor
T _s	temperatura de superficie
q	transferencia de calor
h _{prom}	convección promedio
τ	esfuerzos cortantes
v	velocidad
δ	distancia
u	velocidad del fluido
Pr	número de Prandtl
d	diámetro
T1	temperatura de la cara marcada
T2	temperatura de la cara posterior a la marcada
T3	temperatura de la cara ubicada a la derecha de la marcada
T4	temperatura de la cara ubicada a la izquierda de la marcada
T5	temperatura de la cara superior
T6	temperatura de la cara inferior
Tamb	temperatura del medio ambiente
Tinf	temperatura del flujo dentro del túnel de viento
(Tf)	temperatura promedio
P∞	presión del fluido
IV	la potencia generada por la resistencia eléctrica
q aleta	la pérdida de calor por el soporte
q rad	la pérdida de calor por radiación en el cubo

RESUMEN

En este trabajo se presenta el estudio experimental de la convección forzada alrededor de un cubo como función de su orientación. En el rango de números de Reynolds (Re) estudiados ($3 \times 10^4 < \text{Re} < 8.1 \times 10^4$) los resultados muestran que el número de Nusselt (Nu) se incrementa proporcionalmente a $\text{Re}^{0.8}$ y de manera mucho más suave con el ángulo de orientación θ . Los valores obtenidos para el Nusselt se encuentran entre 120 y 376. Se propone la correlación $\text{Nu} = 0.04328 \text{Re}^{0.77499} \cos^{-0.2895} \theta$, que muestra una dispersión máxima de $\pm 25\%$ con respecto a los resultados experimentales y un coeficiente de correlación de 86%. Como alternativa se utilizó una red neuronal de tres capas que mejora sustancialmente las predicciones con un coeficiente de correlación de más de 90% para una gran cantidad de los resultados experimentales

INTRODUCCIÓN

El estudio de la convección en geometrías complejas es de gran interés por sus implicaciones en la solución de problemas de ingeniería, desde problemas de calentamiento y enfriamiento de edificaciones, hasta problemas de enfriamiento de circuitos y componentes electrónicos, donde la configuración puede llegar a ser crítica para la disipación de calor. La dificultad en estos problemas está asociada a la complejidad de la geometría, al calor que genera internamente el cuerpo o simplemente a la orientación de la corriente incidente sobre el cuerpo. Para el caso específico de esta tesis, lo que motivó el estudio de la convección desde un cubo, que se considera una geometría compleja, fue el deseo de comprender y analizar la convección externa en edificios, logrando así una aportación al conocimiento en esta área. Aunque el cubo representa un modelo muy simplificado de un edificio, muchas de las características del flujo externo se pueden reproducir con este modelo sencillo.

Resolver el problema con métodos analíticos se vuelve una tarea compleja o imposible de realizar, si bien existe la posibilidad de una solución numérica o experimental con las ventajas y desventajas intrínsecas a cada procedimiento.

A pesar de las repercusiones tecnológicas de las soluciones de problemas complejos de transferencia de calor, generalmente tridimensionales, la cantidad de trabajos en esta área es relativamente pequeña en comparación con los dedicados a problemas en una o dos dimensiones.

En esta tesis se estudia la convección forzada de un cubo para diferentes ángulos de sus caras laterales con respecto a la corriente externa. En el capítulo 1 se encuentran los antecedentes de trabajos y experimentos realizados sobre el tema. En el capítulo 2 se describe el experimento, definiéndose los parámetros adimensionales relevantes y se plantean las ecuaciones que se utilizarán para el cálculo del coeficiente convectivo. En el capítulo 3 podemos observar los resultados del estudio experimental. Finalmente, en el capítulo 4 se encuentran las conclusiones, entre las que destaca la que señala que aún se puede realizar mucha investigación en el área debido a la complejidad del tema. En la última parte de la tesis aparecen la bibliografía y los apéndices.

CAPITULO 1. ANTECEDENTES

1.1 Generalidades

El término **convección** se utiliza para describir la transferencia de calor entre una superficie y un fluido que se mueve sobre ésta [1]. Para comprender el mecanismo de convección consideremos la condición de flujo de la Figura 1.1 que nos muestra un fluido con velocidad V y temperatura T_∞ , que se encuentra fluyendo sobre una superficie de forma arbitraria y de área A_s . Se supone que la superficie está a una temperatura uniforme, T_s , y si $T_s \neq T_\infty$, sabemos que ocurrirá una transferencia de calor por convección. El flujo local de calor q'' se expresa como:

$$q'' = h (T_s - T_\infty) \dots\dots\dots 1.1$$

donde h es el coeficiente de convección local. Como las condiciones de flujo varían de punto a punto sobre la superficie, q'' y h también varían a lo largo de la superficie. La transferencia total de calor Q se obtiene integrando el flujo local sobre toda la superficie, es decir

$$q = \int_{A_s} q'' dA \dots\dots\dots 1.2$$

ó

$$q = (T_s - T_\infty) \int_{A_s} h dA \dots\dots\dots 1.3$$

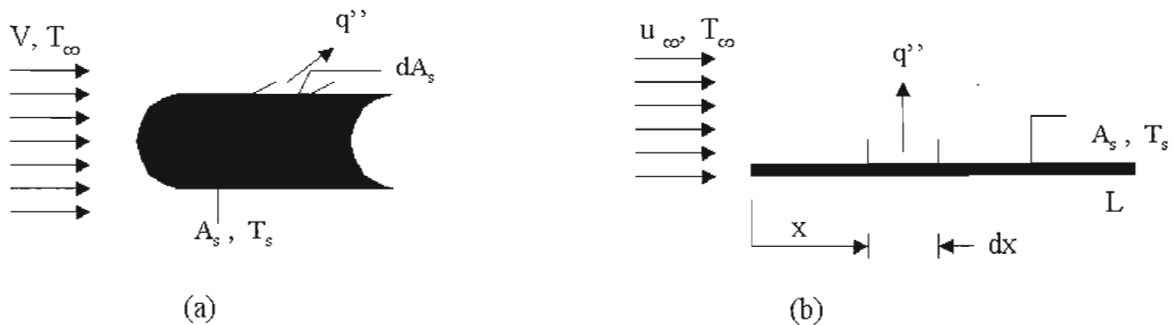


Fig. 1.1 a) Efectos de transferencia de calor en superficie arbitraria b) Placa plana

Definiendo un coeficiente de convección promedio h_{prom} para toda la superficie, el calor total transferido se expresa como:

$$q = h_{prom} A_s (T_s - T_\infty) \dots\dots\dots 1.4$$

Al igualar las ecuaciones 1.3 y 1.4, se sigue que el coeficiente promedio es:

$$h_{prom} = (1/A_s) \int_{A_s} h dA_s \dots\dots\dots 1.5$$

Capa límite de velocidad o hidrodinámica

Considere el flujo sobre una placa plana de la figura 1.2. Cuando las partículas del fluido hacen contacto con la superficie, adquieren una velocidad cero. Estas partículas actúan entonces para retardar el movimiento de partículas en la capa contigua del fluido, y así sucesivamente hasta que, a una distancia $y = \delta$ de la superficie, el efecto se hace insignificante. Este retardo o desaceleración del movimiento del fluido se asocia con los esfuerzos cortantes τ que actúan en planos que son paralelos a la velocidad del fluido (fig 1.2). Al aumentar la distancia desde la superficie, la componente en x de la velocidad del fluido, u , debe entonces aumentar hasta que se aproxima al valor de flujo libre u_∞ . Se usa el subíndice α para designar las condiciones en el flujo libre fuera de las capa límite.

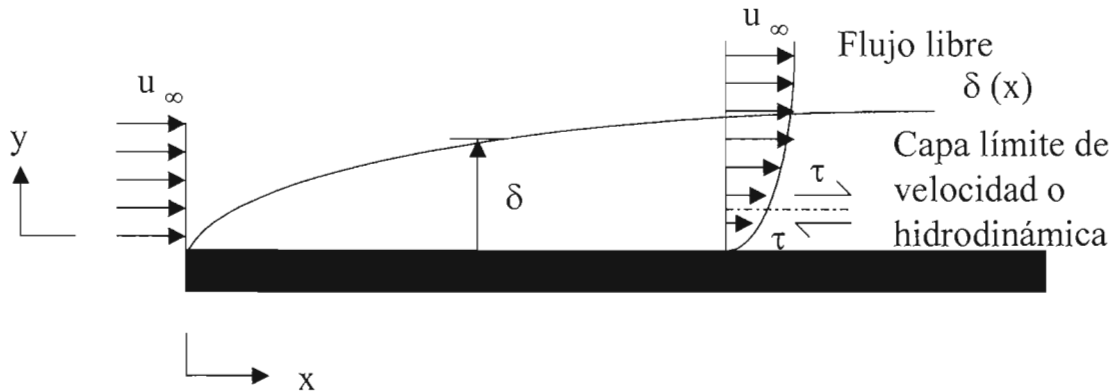


Fig. 1.2 Desarrollo de la capa límite de velocidad o hidrodinámica sobre una placa plana

La cantidad δ se denomina espesor de la capa límite y normalmente se define como el valor de y para el que $u=0.99u_\infty$. El perfil de velocidad de la capa límite se refiere a la forma en la que u varía con y a través de la capa límite. En consecuencia, el flujo del fluido se caracteriza por dos regiones distintas, una capa fluida delgada (capa límite) en la que los gradientes de velocidad y los esfuerzos cortantes son grandes y una región fuera de la capa límite en la que los gradientes de velocidad y los esfuerzos cortantes son insignificantes. Con el aumento de la distancia desde el borde de ataque, los efectos de la viscosidad penetran más en el flujo libre y la capa límite crece (δ aumenta con x). Como se relaciona con la velocidad del fluido, la capa límite anterior se denomina capa límite de velocidad o hidrodinámica.

Capa límite térmica

Así como se produce una capa límite hidrodinámica cuando hay un paso de fluido sobre una superficie, debe producirse una capa límite térmica si difieren las temperaturas del flujo libre y de la superficie. Considere el flujo sobre una placa plana isotérmica (fig. 1.3). Al inicio de la placa, el perfil de temperatura es uniforme, con $T(y) = T_\infty$. Sin embargo, las partículas del fluido que hacen contacto con la placa alcanzan el equilibrio térmico a la temperatura de la superficie de la placa. A su vez, estas partículas intercambian energía con las de la capa adyacente del fluido, y se producen en el fluido gradientes de temperatura. La región del fluido en la que existen estos gradientes de energía es la capa límite térmica, y su espesor δ_t por lo común se define como el valor de y para el que la razón $[(T_s - T)/(T_s - T_\infty)] = 0.99$. Al aumentar la distancia desde el inicio de la placa, los efectos de transferencia de calor penetran más en el flujo libre y crece la capa límite térmica.

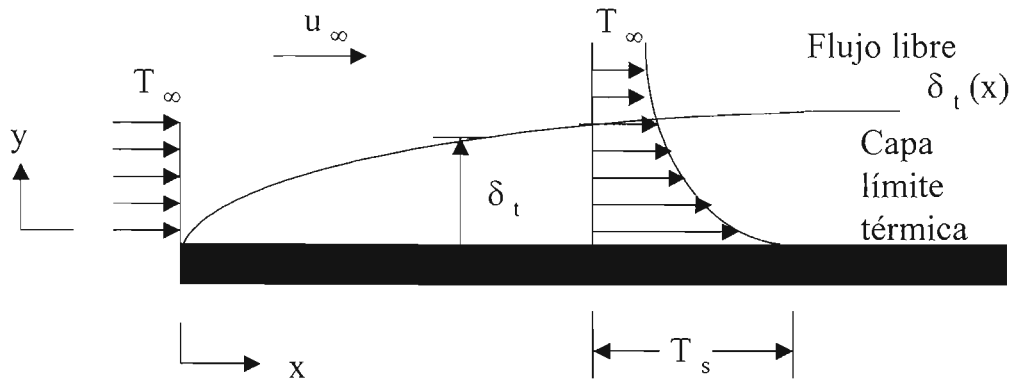


Fig. 1.3 Capa límite térmica sobre una placa plana isotérmica

Para el flujo sobre cualquier superficie, siempre existirá una capa límite de velocidad y, por ello, fricción superficial. Sin embargo, una capa límite térmica y, de aquí transferencia de calor por convección, existe sólo si difieren las temperaturas de la superficie y el flujo libre. Pueden surgir situaciones en las que estén presentes las dos capas límite. En tales casos, las capas límite rara vez crecen a la misma velocidad, y los valores de δ , y δ_t en una posición x dada no son iguales.

Flujo laminar y turbulento

Un paso esencial para el tratamiento de cualquier problema de convección es determinar si la capa límite es laminar o turbulenta. La fricción superficial y la transferencia por convección dependen en gran medida de cuál de estas condiciones existe.

Como se muestra en la figura 1.4 hay claras diferencias entre las condiciones de flujo laminar y flujo turbulento. En la capa límite laminar el flujo es ordenado y es posible identificar líneas de flujo a lo largo de las cuales se mueven las partículas. El movimiento del flujo a lo largo de una línea de flujo se caracteriza por los componentes de las velocidades en las direcciones x y y . El movimiento del fluido en la capa límite turbulenta es altamente irregular y se caracteriza por fluctuaciones de velocidad.

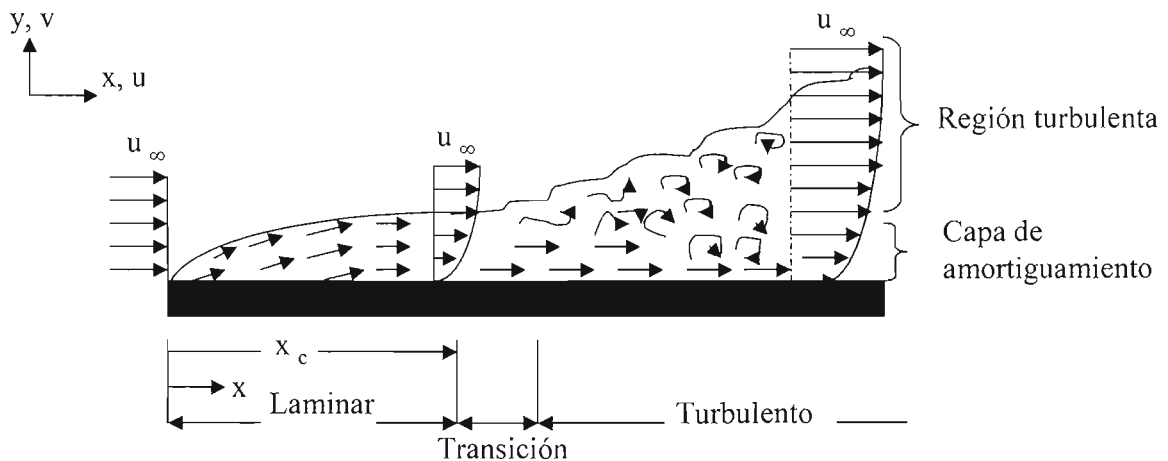


Fig. 1.4 Desarrollo de la capa límite hidrodinámica sobre una placa plana, fuente: Incropera [1]

Al calcular el comportamiento de la capa límite, a menudo es razonable suponer que la transición comienza en alguna posición x_c . Esta posición se determina mediante un agrupamiento adimensional de variables llamado número de Reynolds,

$$Re_x = (\rho u_\infty x) / \mu \dots\dots\dots 1.6$$

donde la longitud característica x es la distancia desde el inicio de la superficie. El número de Reynolds crítico es el valor de Re_x para el que comienza la transición, y se sabe que, para el flujo sobre una placa plana, varía de 10^5 a 3×10^6 , dependiendo de la aspereza de la superficie y del nivel de turbulencia del flujo libre.

Flujo y transferencia de calor desde cuerpos romos

El flujo bidimensional alrededor de un cilindro circular es uno de los problemas más estudiados en aerodinámica; y es relevante para muchas aplicaciones de ingeniería [2].

El patrón del flujo, la transferencia de calor y la resistencia del cilindro son funciones del número de Reynolds basado en el diámetro del cilindro (Re_d).

En las figuras 1.5 y 1.6 pueden verse los patrones de flujo para números de Reynolds mayores a 10000. En el borde de ataque del cilindro se forma un punto de estancamiento.

A cada lado del punto de estancamiento el fluido se acelera alrededor de la superficie frontal del cilindro, produciendo una caída de la presión.

Se forma una delgada capa límite adyacente a la superficie del cilindro. Los efectos directos de la viscosidad del fluido sólo se evidencian dentro de la capa límite.

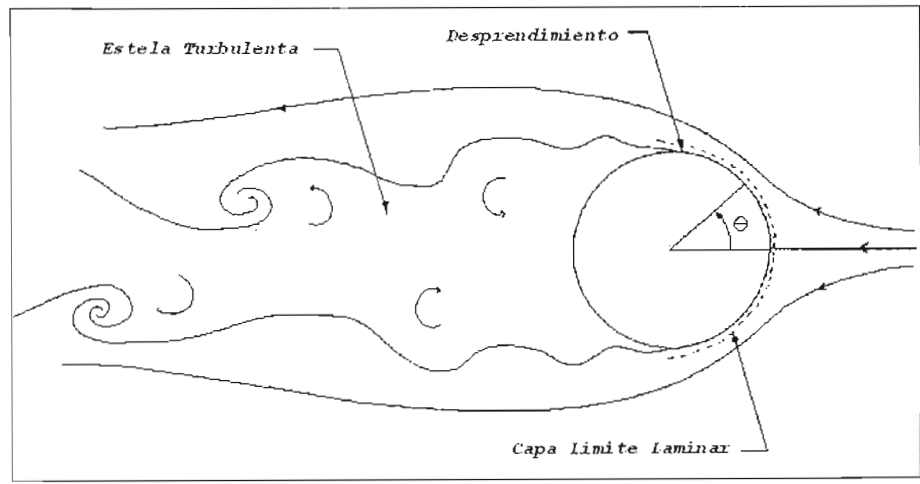


Fig. 1.5 Flujo alrededor del cilindro – Régimen Sub Crítico.

Si el Re es menor a 400000, la capa límite se conserva laminar desde el punto de estancamiento hasta el punto donde esta se separa. Este flujo es el que corresponde a la Figura 1.5. Se le suele denominar sub-crítico y está asociado a una resistencia muy alta; con un C_d de aproximadamente constante de 1.2. La capa límite laminar se separa en un punto a aproximadamente 80° del punto de estancamiento. Posterior a la separación el flujo se torna turbulento y se forma la estela del cilindro. En la estela el flujo es muy inestable y recircula sobre si mismo formando vórtices en una estructura antisimétrica en intervalos regulares. A este tipo de estela se la denomina *Calle de Vórtices de Von Kármán*.

Debido a la separación, la presión se mantiene aproximadamente constante y relativamente más baja en la cara posterior del cilindro. Esto causa una diferencia neta en las fuerzas de presión sobre el cilindro que es la resistencia de presión. Para este régimen esta resistencia es un 90 % de la resistencia total. El resto corresponde a la resistencia de fricción.

A Re mayor de 400000 la capa límite se torna turbulenta en la cara frontal del cilindro. El flujo resultante está asociado a una disminución de la resistencia con un C_d de aproximadamente 0.3. A este régimen se lo denomina supercrítico. La capa límite turbulenta de este régimen es menos susceptible al desprendimiento por los gradientes adversos de presión. Se mantiene adherida a la superficie del cilindro más allá de los 90° desde el punto de estancamiento. Por lo tanto la estela es más estrecha y la depresión generada es menor.

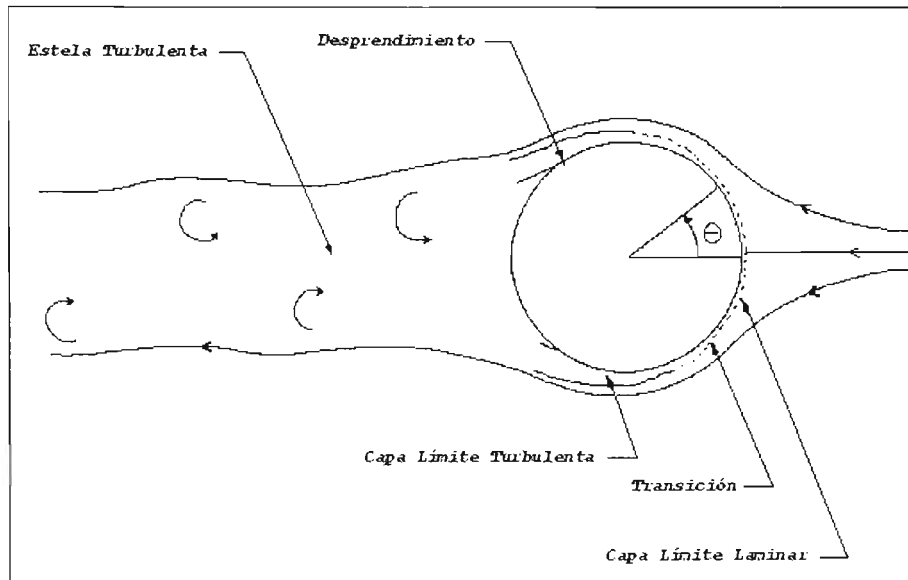


Fig. 1.6 Flujo alrededor del cilindro – Régimen Super Crítico, fuente referencia 2.

Si el cilindro es muy rugoso o existen inestabilidades en la corriente libre puede causar que la transición de la capa límite se produzca a Reynolds menores.

Uno de los que ha investigado el comportamiento en detalle de la transferencia de calor desde un cilindro caliente ha sido Giedt [3], los resultados se encuentran resumidos en la figura 1.7, en donde, para los números de Reynolds menores (70 800 y 101 300) el valor mínimo en el coeficiente de transferencia de calor ocurre aproximadamente en el punto de separación. Hay un incremento subsecuente en el coeficiente de transferencia de calor en la parte posterior del cilindro, como resultado de un movimiento turbulento a contracorriente en el flujo separado. A números de Reynolds más elevados se observan dos puntos mínimos. El primero ocurre en el punto de transición de la capa límite laminar a turbulenta, y el segundo punto mínimo ocurre cuando la capa límite turbulenta se separa. Hay un incremento rápido en la transferencia de calor cuando la capa límite se vuelve turbulenta y otra cuando se encuentra el incremento en el movimiento a contracorriente en la separación.

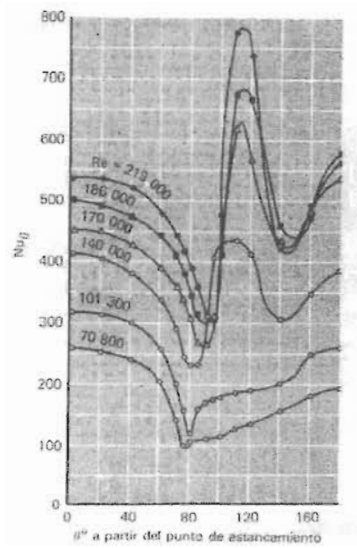


Fig 1.7 Número de Nusselt para transferencia de calor a partir de un cilindro en flujo transversal, fuente Holman [4].

En la figura 1.8 se muestra el campo de temperatura alrededor de los cilindros calientes colocados en una corriente transversal del aire [4]. Las líneas oscuras son líneas de temperatura constante, que se han hecho visibles por medio del uso de un interferómetro. Se puede observar la región de flujo separado que se desarrolla en la parte posterior del cilindro en los números de Reynolds más altos, y el campo turbulento que se encuentra en esta región.

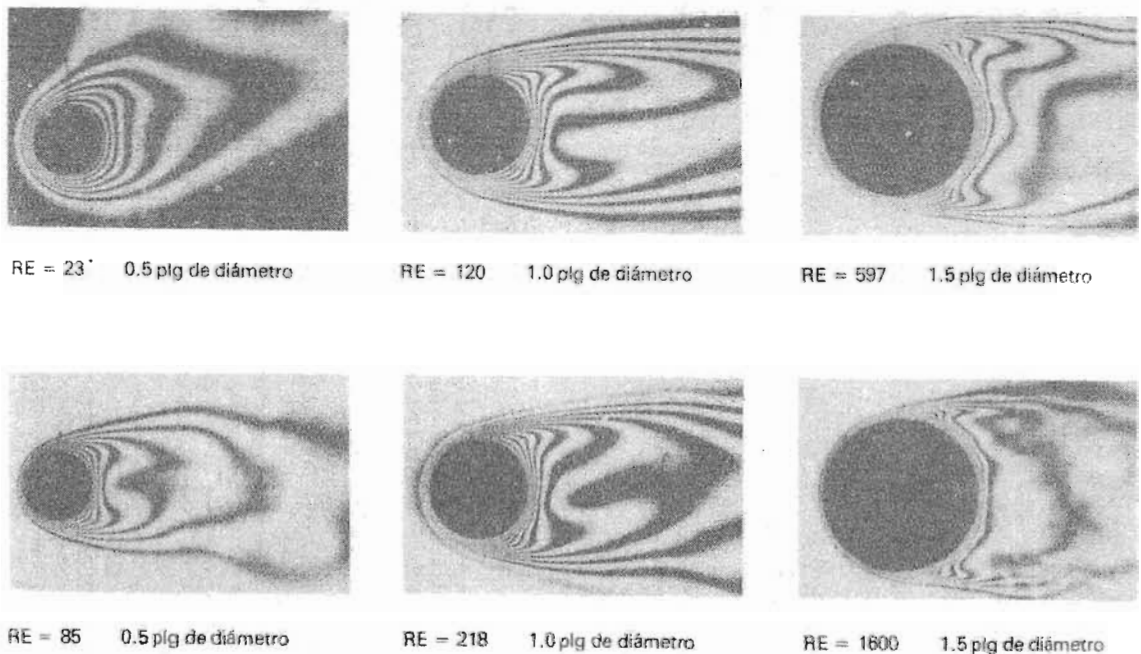


Fig 1.8 Isothermas alrededor de cilindros horizontales calientes, colocados en una corriente transversal de aire, fuente Holman [4].


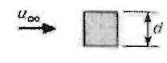
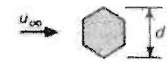
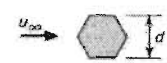

Jacob [5] ha resumido los resultados de experimentos de transferencia de calor de cilindros no circulares. Utiliza la siguiente ecuación para calcular los coeficientes promedio de transferencia de calor:

$$(hd / k_f) = C \text{Pr}^{1/3} (u_\infty d / \nu_f)^n \dots\dots\dots 1.7$$

en donde las constantes C y n se obtienen de tablas con base en el número de Re correspondiente.

En la tabla 1.1 se encuentran resumidas las constantes de la ecuación anterior.

Tabla 1.1 Constantes para transferencia de calor a partir de cilindros no circulares, fuente Holman [4].

Geometría	Re _{eff}	C	n
	$5 \times 10^3 - 10^5$	0.246	0.588
	$5 \times 10^3 - 10^5$	0.102	0.675
	$5 \times 10^3 - 1.95 \times 10^4$ $1.95 \times 10^4 - 10^5$	0.160 0.0385	0.638 0.782
	$5 \times 10^3 - 10^5$	0.153	0.638
	$4 \times 10^3 - 1.5 \times 10^4$	0.228	0.731

1.2 Revisión Bibliográfica

La convección forzada es un fenómeno muy complejo que se encuentra muy estudiado en una y dos dimensiones, mientras tanto, en tres dimensiones las soluciones se encuentran en proceso de experimentación y simulación debido a las complejidades que se presentan en el fenómeno mismo. Dentro de las investigaciones más destacadas sobre la convección en cuerpos rombos, una de las personas que mas ah aportado a la convección forzada es Igarashi [6,9,10], realizando experimentos en una barra y en prismas rectangulares modificando su ángulo de ataque así como la transferencia de calor. Ya entrando en investigación de un cubo similar al utilizado en el experimento de la tesis, Sparrow y Stretton realizaron investigación sobre convección natural en un cubo para diferentes orientaciones, utilizando como fluidos aire y agua. A continuación se describen algunos de los trabajos más importantes para el tema de la presente tesis, comenzando con los experimentos realizados para la convección forzada y natural, posteriormente con la simulación y finalmente con trabajos de transferencia de calor utilizando las técnica de redes neuronales, ya que como trabajo extra en la presente tesis se realizaron cálculos para encontrar el valor del coeficiente convectivo utilizando una red neuronal.

Igarashi [6] realizó un estudio experimental de la convección forzada para una barra de sección cuadrada en el rango $5.6 \times 10^3 \leq \text{Re} \leq 5.6 \times 10^4$ variando el ángulo de ataque, en el que muestra la tendencia general del Nu con el Re y con el ángulo de orientación con respecto a la corriente. La barra llega de una pared a otra en túnel de viento, por lo que el flujo a su alrededor se puede considerar como bidimensional. Obtuvo expresiones para el Nusselt donde el exponente del Reynolds varía entre 0.59 y 0.66 dependiendo del ángulo de ataque de la barra. La longitud característica utilizada fue el lado de la barra. En el experimento se utilizaron tres barras de aluminio que se sometieron a la corriente uniforme de un túnel de viento en un rango de velocidades comprendido entre 6 y 30 m/s, dentro del cuál también se hicieron visualizaciones. Las figuras 1.9 y 1.10 muestran el arreglo físico del experimento y las visualizaciones obtenidas.

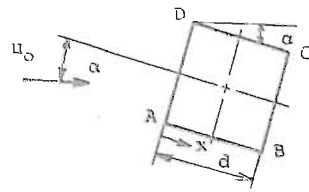


Fig. 1.9 Arreglo físico del problema para el experimento de Igarashi [6]

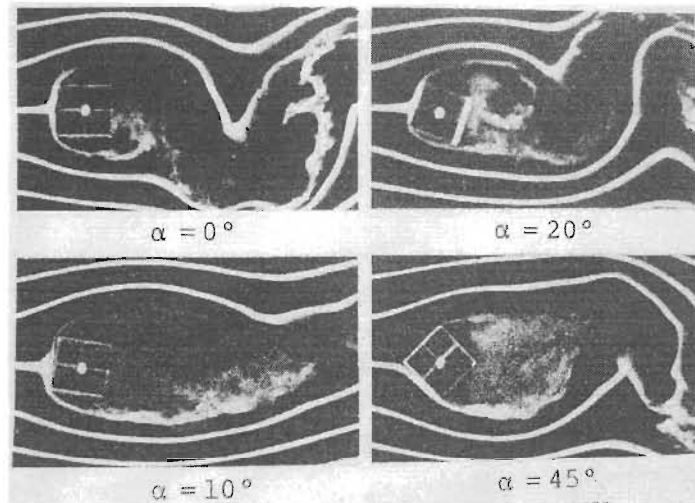


Fig. 1.10 Visualizaciones experimentales obtenidas a partir de una barra, fuente Igarashi [6].

Igarashi hace una comparación con resultados obtenidos previamente por Hilpert [7] y Reither [8], los cuales se muestran en la figura 1.11. Cabe mencionar que estos últimos autores publicaron sus trabajos en los años de 1925 y 1933, mientras que Igarashi en 1984.

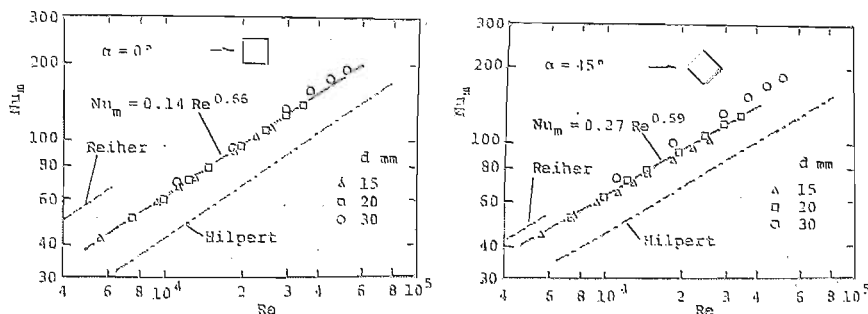


Fig. 1.11 Comparaciones de resultados de Igarashi con Hilpert y Reither, fuente Igarashi [6].

En un trabajo posterior, Igarashi [9] amplió sus resultados obteniendo las correlaciones para cada una de las caras de la barra, y asoció dichos resultados a los diferentes patrones de flujo dependientes del ángulo de ataque. Se utilizaron los mismos equipos que en el primer experimento, las velocidades del túnel de viento se variaron entre 6 y 28 m/s, en el rango $1.2 \times 10^4 \leq Re \leq 5.6 \times 10^4$. En la figura 1.12 se muestran las gráficas obtenidas de Re vs Nu para cada cara de la barra.

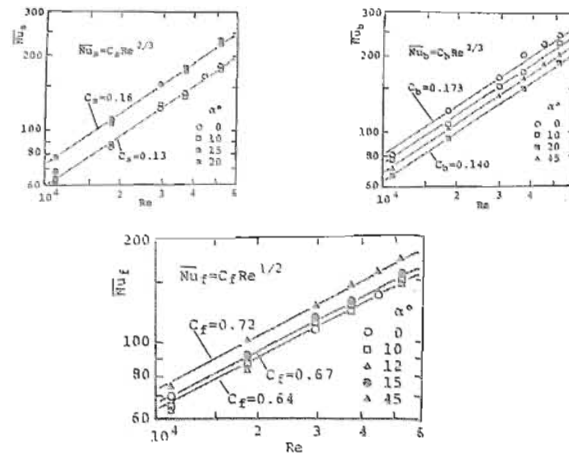


Fig 1.12 Comparaciones entre Nu y Re para cada cara del prisma, fuente Igarashi [9].

En un tercer trabajo, Igarashi [10] estudió experimentalmente la transferencia de calor para prismas rectangulares con relaciones de aspecto (ancho/altura) entre 0.33 y 1.5, usando como longitud característica el lado del prisma expuesto a la corriente. En ambos trabajos la dependencia del Nusselt promedio con el Reynolds es del orden de $Re^{2/3}$, mostrándose al mismo tiempo las discrepancias en los valores locales asociados a las diferentes caras. La figura 1.13 muestra un esquema de la definición del problema, mientras que la figura 1.14 muestra los resultados obtenidos.

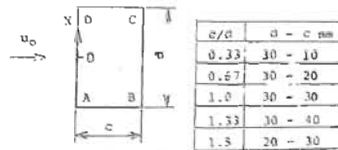


Fig. 1.13 Geometría del flujo para el tercer experimento de Igarashi

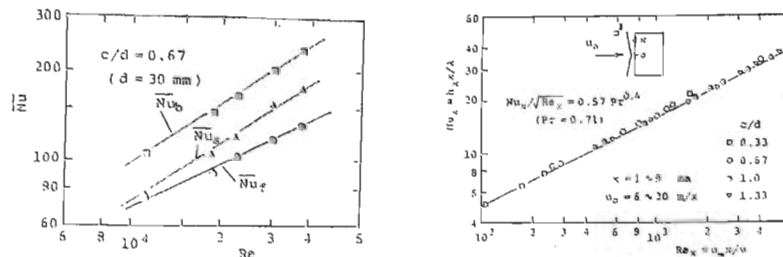


Fig 1.14 Resultados obtenidos para la barra rectangular, fuente Igarashi [9].

Para el caso del cubo específicamente, Sparrow y Stretton [11] estudiaron la convección natural para trece orientaciones diferentes, usando como fluido agua y aire para incluir el efecto del número de Prandtl. Con el propósito de compactar los resultados de todas las orientaciones en una sola correlación, que incluso incluyera a otras geometrías con razón de forma unitaria, definen una longitud característica que toma en cuenta el área superficial y el área proyectada en un plano horizontal, y obtienen buenos resultados en el rango de números de Rayleigh entre 200 y 1.5×10^9 .

Cabe mencionar que de este modelo experimental se tomó la idea para la presente tesis, con la diferencia de que el presente estudio es para convección forzada. En la figura 1.15 se muestra el cubo utilizado por Sparrow y Stretton, quienes también realizaron las visualizaciones del flujo que se muestran en la figura 1.16. Los resultados de los experimentos se compararon con predicciones de King [12] y Lienhard [13], como se puede ver en la figura 1.17.

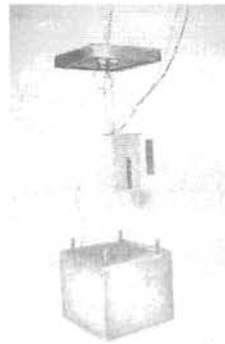


Fig. 1.15 Cubo utilizado durante el experimento, fuente Sparrow [11].

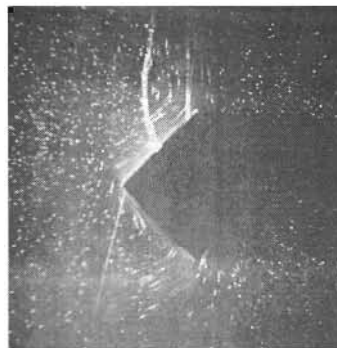


Fig. 1.16 Visualización obtenida durante el experimento, fuente Sparrow [11].

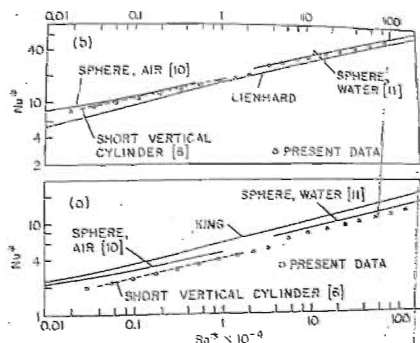


Fig. 1.17 Resultados del experimento mostrando comparaciones con otros autores, fuente Sparrow [11].

En cuanto a análisis numérico, Valencia y Orellana [14] realizaron un estudio de la transferencia de calor en régimen turbulento en una barra cuadrada utilizando un modelo κ - ϵ convencional, con número de Reynolds de 22000. Sus resultados mostraron discrepancias importantes con respecto a los resultados experimentales de Igarashi [9] en la región de separación de flujo. Los resultados obtenidos con este análisis numérico se muestra en la figura 1.18.

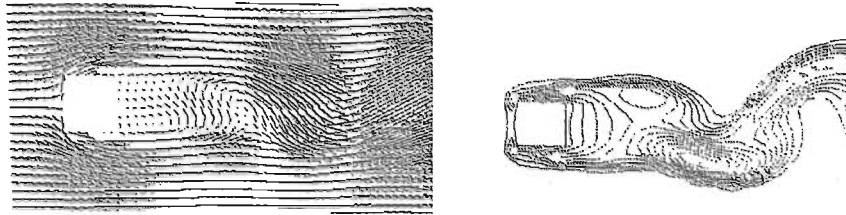


Fig. 1.18 Simulación del flujo alrededor de una barra, fuente Valencia [14].

Por otro lado, con el fin de generar nuevos métodos para el cálculo de coeficientes locales y globales de transferencia de calor en cuerpos de forma compleja, se han usado distintos esquemas: Kondjoyan & Daudin [15] desarrollaron y aplicaron una técnica basada en la psicrometría que les dio buenos resultados para el caso de un cilindro; Meinders *et al.* [16] calcularon coeficientes locales en arreglos de cubos utilizando termografía infrarroja y con la ayuda de cristales líquidos. Más recientemente, Meinders *et al.* [17-18] retomaron el problema del cálculo de coeficientes locales de transferencia de calor en cubos utilizando una técnica de restauración de imágenes con el fin de mejorar la exactitud en el cálculo, obteniéndose valores muy semejantes a los del trabajo anterior mostrando en particular los perfiles térmicos en cada superficie del cubo.

Las redes neuronales son sistemas compuestos por un gran número de elementos básicos, agrupados en capas y que se encuentran altamente interconectados; Esta estructura posee varias entradas y salidas, las cuales son entrenadas para reaccionar, de una manera deseada, a los estímulos de entrada. Estos sistemas simulan, de una cierta manera, al cerebro humano. Requieren aprender a comportarse y alguien debe encargarse de enseñarles o entrenarles, en base a un conocimiento previo del entorno del problema. Las redes neuronales se han empleado exitosamente en el estudio de problemas complejos de transferencia de calor [19-21]. Específicamente para el cálculo de coeficiente de transferencia de calor por medio de redes neuronales Jambunathan et al. [22] reportaron resultados al aplicarlas a termografía con cristales líquidos (LCT); en su trabajo la red neuronal fue entrenada para predecir los coeficientes convectivos en un punto de un conducto calentado por aire. Anteriormente Crowther & Padet [23] utilizaron radiometría fototérmica pulsada para la determinación de coeficientes convectivos y Kondjoyan & Daudin [24] lo hicieron mediante la técnica de Psicometría.

1.3 Objetivo de la tesis

En la presente tesis se aborda el problema de la transferencia de calor en un cubo, sometido a una corriente uniforme, en el que se varían el ángulo de ataque (θ), la temperatura superficial promedio del cubo (T_{pond}) y el número de Reynolds (Re), ver figura 1.19. Aunque es muy importante conocer el coeficiente convectivo local, para propósitos prácticos resultan más útiles los valores promedio, por lo que se aborda el estudio experimental de la convección forzada turbulenta en un cubo con a fin de obtener dichos valores promedio para diferentes orientaciones del mismo con respecto al flujo. Los resultados se reportan gráficamente y mediante correlaciones. También se usa una red neuronal entrenada para reproducir los resultados con una mejor exactitud que las correlaciones.

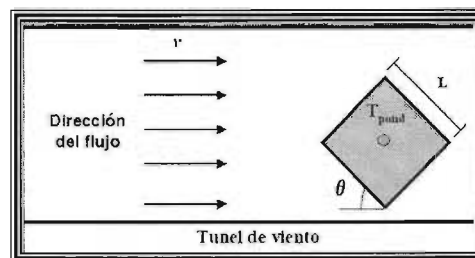


Fig. 1.19 Definición del problema

CAPITULO 2. DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO Y PROCESO DE CÁLCULO

2.1 Descripción del experimento

En la figura 2.1 se ilustra esquemáticamente la instalación del experimento realizado. Se tiene un cubo de aluminio cuyas dimensiones y detalles de construcción se dan en el apéndice, que se calienta internamente mediante una resistencia eléctrica. La temperatura superficial promedio se varía ajustando los valores del voltaje y la corriente con un reóstato y se determina con termopares colocados en cada una de las caras del cubo. La temperatura del flujo también se mide con un termopar. El cubo se coloca en el interior del túnel de viento mediante una barra hueca por cuyo interior se hacen pasar los termopares y que además permite variar la orientación del cubo. La velocidad del flujo se modifica mediante el variador de frecuencia que controla el motor eléctrico del ventilador y se obtiene directamente del indicador de velocidades del túnel. Dicha velocidad se varía entre 8.5 y 19.5 m/s.

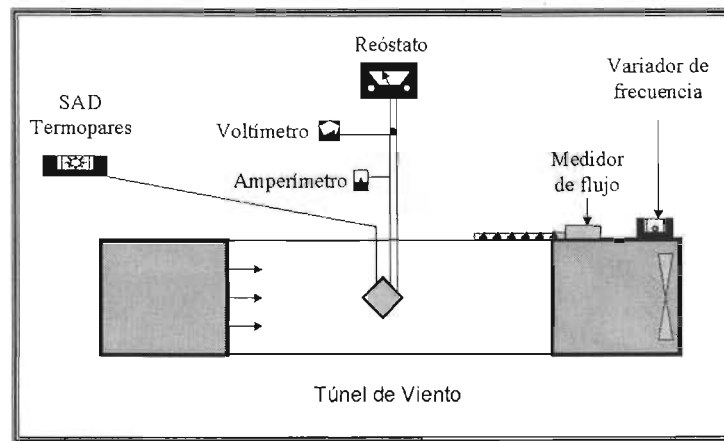


Fig. 2.1 Esquema de la instalación experimental utilizada.

En la figuras 2.2 y 2.3 se muestran algunos detalles del cubo, de la forma en que se colocaron los termopares y las resistencias internas y en la figura 2.4 muestra el montaje del cubo dentro del túnel de viento. La figura 2.5 muestra un corte transversal del mismo.

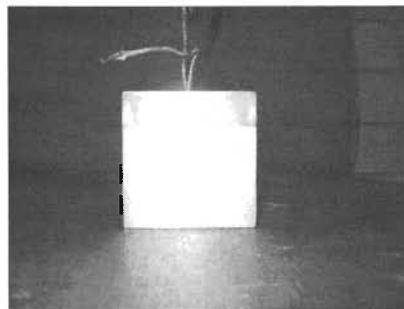


Fig. 2.2 Vista frontal del cubo utilizado en el experimento

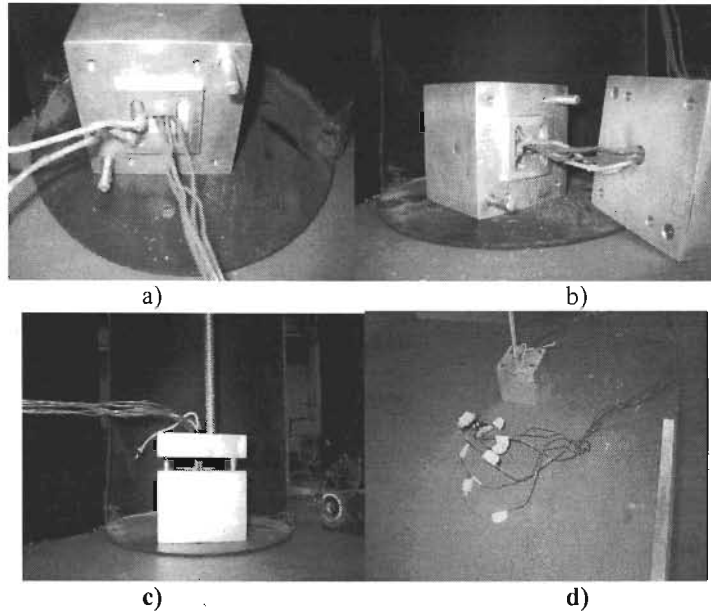


Fig. 2.3 Detalles del cubo a) ensamble de las resistencias b) y c) ensamble final del cubo d) vista del cubo ensamblado y de los termopares, cada uno con sus respectivas marcas.

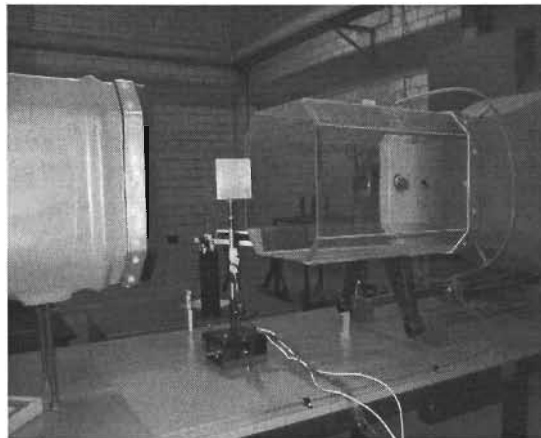


Fig. 2.4 Montaje del cubo dentro del túnel de viento

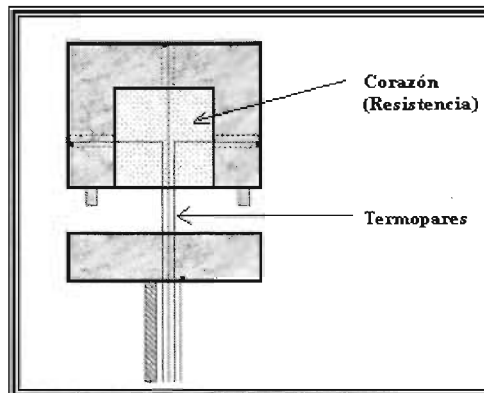


Fig. 2.5 Corte transversal del cubo y ubicación de los termopares

2.2 Parámetros medidos

Después de montar los equipos del experimento se procedió a la recolección de los datos; para esto se encendió el reóstato para el calentamiento de la resistencia del cubo, por lo cuál en la realización del experimento fue muy importante dar el tiempo necesario para alcanzar las condiciones estacionarias antes de tomar los valores de los parámetros medidos, para esto se hicieron varias pruebas y así obtener dicho tiempo. Después de fijar el valor del voltaje en el reóstato y de fijar la velocidad en el túnel de viento, así como el acomodo del ángulo del cubo, se procedió a tomar los datos de las temperaturas del cubo y del medio ambiente, se realiza el mismo procedimiento cada vez que se variaba la velocidad, voltaje o el ángulo del cubo. A continuación se da una descripción más detallada de los parámetros medidos en el experimento, y de la nomenclatura usada en los cálculos.

- *Las temperaturas de cada una de las caras del cubo, del medio ambiente y del flujo* se midieron mediante termopares tipo K utilizando un termómetro digital de varios canales. Una cara del cubo se encuentra marcada ligeramente. Viendo de frente esta cara, las temperaturas medidas se encuentran en las tablas 1-18 del anexo y quedan definidas de la siguiente manera:

T1 = Temperatura de la cara marcada

T2 = Temperatura de la cara posterior a la marcada

T3 = Temperatura de la cara ubicada a la derecha de la marcada

T4 = Temperatura de la cara ubicada a la izquierda de la marcada

T5 = Temperatura de la cara superior

T6 = Temperatura de la cara inferior

Tamb = Temperatura del medio ambiente

Tinf = Temperatura del flujo dentro del túnel de viento

- *El voltaje (V) y la corriente eléctrica (I)* medidos con un multímetro digital. Con estos valores se calcula la *potencia eléctrica (P)* correspondiente a los voltajes de 70V, 90V y 110V. Aunque estos valores se fijan con un reóstato, debido a las oscilaciones de la corriente de la línea de suministro, sus magnitudes reales cambian ligeramente alrededor de ellos. Todos estos parámetros y sus oscilaciones se encuentran en las tablas 1-8 del anexo.
- *El ángulo de orientación del cubo* con respecto al flujo de aire. El valor del ángulo de ataque varió entre los valores de: 0°, 15°, 30°, 45°, 60° y 75°
- *La velocidad del flujo (v)*, medida con ayuda de un micromanómetro incorporado al túnel de viento y el efecto de tobera del mismo túnel. Se tomó un rango de velocidades comprendido entre 8.5 m/s y 19.5 m/s. Para tener un mejor control de la velocidad se tomó como referencia la frecuencia del variador de velocidad del motor debido a que esta es una variable digitalizada que resulta más fácil de fijar con exactitud, para las diferentes velocidades.

En cuánto a los errores presentes en el experimento se tiene: para las temperaturas una exactitud de $\pm 0.5\%$ y para los parámetros eléctricos una de $\pm 2\%$. Para la medición de la velocidad con el micromanómetro incorporado al túnel de viento se tiene una exactitud de $\pm 7\%$. Con base en las características de los equipos anteriores se estima un error total de $\pm 10\%$.

En la realización del experimento fue muy importante dar el tiempo necesario para alcanzar las condiciones estacionarias antes de tomar los valores de los parámetros medidos.

2.3 Parámetros calculados

Con los datos obtenidos durante el experimento se procedió al cálculo de diversos parámetros. Primeramente fue necesario definir una temperatura media ponderada entre las caras del cubo (T_{pond}) y así obtener una sola temperatura del cubo, posteriormente se define una temperatura promedio entre el flujo y el cubo para el cálculo de las propiedades del flujo, a continuación se realiza el cálculo de lo anteriormente mencionado:

Cálculo de la temperatura media ponderada

La temperatura media ponderada se calcula como el promedio de las temperaturas de las caras, se define cómo:

$$T_{pond} = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + (0.8912188366 \times T_6)}{4.8912188366} \dots\dots\dots 2.1$$

donde el valor de 0.8912188366 se debe que al área de la cara inferior se le descuenta la del soporte del cubo.

Cálculo de la temperatura promedio

Para el cálculo de las propiedades del flujo se requiere una temperatura promedio entre la temperatura media ponderada (T_{pond} , calculada anteriormente) y la temperatura del fluido lejos del objeto (T_{inf} , medida durante el experimento), para así obtener una temperatura promedio (T_f) definida como:

$$T_f = \frac{T_{pond} + T_{inf}}{2} \dots\dots\dots 2.2$$

posteriormente con esta temperatura se calculan los valores de las propiedades k , μ y ρ .

Cálculo de la conductividad térmica

Para el cálculo de la conductividad térmica k se utilizó la ecuación [2.3], esta ecuación se tomó del Handbook of thermodynamic Tables and Charts [25]:

$$k = -0.008568891564 + 0.000176696626T_f - (2.69274975 \text{ E-}7)T_f^2 + (2.19488508 \text{ E-}10)T_f^3 \dots\dots\dots 2.3$$

donde k tiene unidades de W/mK.

Cálculo de la viscosidad dinámica

Para el cálculo de la viscosidad dinámica μ se utilizó la ecuación [2.4], la cuál se obtuvo del Thermophysical Properties of Matter-Viscosity [26]:

$$\mu = (1.48018182 \text{ E-}6) + (6.63727273 \text{ E-}8)T_f - (3.181818182 \text{ E-}11)T_f^2 \dots\dots\dots 2.4$$

donde tiene unidades μ de Ns/m².

Cálculo de la densidad de un gas perfecto

Tenemos la ecuación para calcular la densidad de un gas perfecto definida como:

$\rho = 0.4649563 \times (P_{\infty} / T_f)$ 2.5

donde P_{∞} es la presión del aire en el tunel.

Cálculo de pérdidas de calor

Las pérdidas se refieren al calor transferido por radiación desde las caras del cubo y por conducción/convección a través del soporte del cubo, que se considera como una aleta cilíndrica. En particular para los efectos de radiación desde las superficies se determinó su emisividad ϵ que resultó de 0.5 (medida experimentalmente en el laboratorio). Los resultados de las pérdidas de calor por radiación y por la aleta se encuentran en las tablas 31-54 del anexo. El calor transferido por convección desde el cubo será la diferencia entre la energía suministrada por las resistencias eléctricas y las pérdidas. Por lo tanto se calcula la pérdida de calor por radiación, la pérdida de calor por la aleta (soporte del cubo) y finalmente se obtiene el calor total que es el calor suministrado por el reóstato menos las perdidas anteriormente mencionadas. A continuación se detalla el cálculo:

Cálculo de la pérdida de calor por radiación

Para el cálculo del calor perdido por radiación tenemos la siguiente ecuación:

$q''_{rad} = \sigma \epsilon ((T_{pond})^4 - (T_{inf})^4)$ 2.6

donde ϵ tiene el valor de 0.5 y σ tiene el valor de 0.0000000566961

los resultados los encontramos en las tablas 31-42 del anexo para cada uno de los ángulos y de los voltajes respectivos.

Cálculo de la pérdida de calor por la aleta

Finalmente para el cálculo de la pérdida de calor por la aleta tenemos que la ecuación para encontrar dicha pérdida es:

$q''_{aleta} = M \tanh (mL)$ 2.7

donde se utilizan las siguientes ecuaciones para el cálculo de los parámetros de la ecuación anterior:

Cálculo de M

Para el cálculo del valor de M se tiene:

$M = [h_{aleta} (P A_c) k]^{1/2} [T_6 - T_{inf}]$ 2.8

donde h_{aleta} , y k se calculan con las ecuaciones 2.10 y 2.11, T_6 es temperatura de la cara inferior, T_{inf} es la temperatura del fluido (aire), $P A_c$ es .0000024674 m^3 que viene de $(\pi^2 L_a^3) / 4$

Cálculo de mL

Para el cálculo de la variable mL se tiene:

$$mL = [4h_{aleta} / (k L_a)]^{1/2} [L_a] \dots\dots\dots 2.9$$

Cálculo del número de Reynolds (Re) de la aleta

Para el cálculo del número de Re se tiene la siguiente ecuación:

$$Re_{aleta} = \rho U_a L_a / \mu \dots\dots\dots 2.10$$

donde los valores de densidad, velocidad y viscosidad dinámica se encuentran en la tablas 19-30 del anexo y el valor de L_a es .01 m.

Cálculo del coeficiente convectivo de la aleta

Para el cálculo del coeficiente convectivo de la aleta se utilizo la ecuación:

$$h_{aleta} = [k c (Re_{aleta})^m (Pr)^{1/3}] / L_a \dots\dots\dots 2.11$$

donde se tomó para k el valor de 0.0263 W/mK, c de 0.193, m de 0.618 y Pr de 0.7.

Calor transferido por convección desde el cubo:

El flujo de calor total por convección se calcula con:

$$q = IV - q_{aleta} - q_{rad} \dots\dots\dots 2.12$$

donde:

- IV es la potencia generada por la resistencia eléctrica
- q_{aleta} es la perdida de calor por el soporte
- q_{rad} es la perdida de calor por radiación en el cubo

Cálculo del coeficiente convectivo

Finalmente para obtener el coeficiente convectivo promedio se tiene:

$$h = q / [A (T_{pond} - T_{inf})] \dots\dots\dots 2.13$$

donde q es el calor total por convección y A es el área de transferencia que resulta de 0.034656 m².

Cálculo de los números de Reynolds y de Nusselt

Se hicieron dos diferentes cálculos para estos números con la diferencia de que cada uno conlleva una longitud característica distinta que posteriormente se describe.

Cálculo de los números de Re y Nu con longitud característica L:

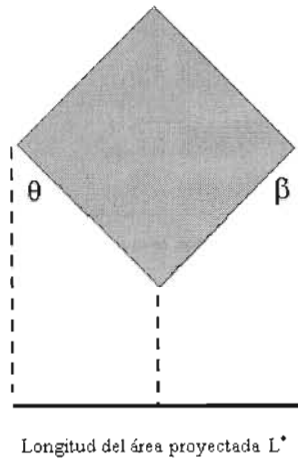
Tomando como longitud característica la arista del cubo L, los números de Nusselt y de Reynolds se definen como:

$$Nu = (h L) / k \dots\dots\dots 2.14$$

$$Re = (\rho U L) / \mu \dots\dots\dots 2.15$$

Cálculo de los números de Re* y Nu* con longitud característica L*:

Re* y Nu* se obtienen usando las mismas definiciones anteriores, pero tomando como longitud característica L*, que es la longitud de el área proyectada definida de la siguiente manera:



$$L^* = 0.076 (\cos \beta + \cos \theta) \dots\dots\dots 2.16$$

donde β es el ángulo de orientación y θ es el ángulo complementario de tal forma que la suma de los dos debe de ser 90°.

Correlación entre Re y Nu

Con el fin de determinar la influencia del número de Reynolds y de la orientación del cubo en el número de Nusselt se propone una correlación de la siguiente forma:

$$Nu = \alpha Re^n \cos^m \theta \dots\dots\dots 2.17$$

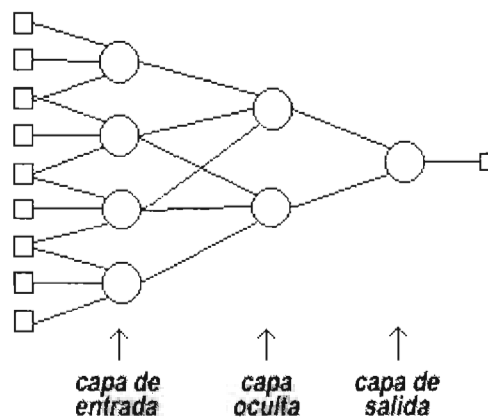
donde los valores de α, n y m se obtienen de los resultados experimentales, mediante un ajuste por mínimos cuadrados.

2.4 Obtención del número de Nusselt con una red neuronal

Como una alternativa al método convencional de uso de correlaciones en el cálculo de los coeficientes de transferencia de calor, se tienen las técnicas de redes neuronales. En general, las redes neuronales se usan para predecir la respuesta de sistemas físicos que por su complejidad no se pueden modelar matemáticamente en forma adecuada.

Las Redes Neuronales son una técnica cuya metodología no radica en la estadística, sino en estudios sobre el funcionamiento del cerebro humano. El cerebro contiene alrededor de un billón de unidades independientes llamadas "neuronas", cada una con alto número de conexiones con otras neuronas. Al recibir un estímulo, estas conexiones excitan o inhiben a otras neuronas hasta llegar a una situación estable. Una Red Neuronal trabaja con estímulos "input" para llegar a un estado estable (el resultado o "output"); aprende de su propia experiencia y es capaz de generalizar a través de los ejemplos introducidos, reconociendo variables esenciales. Por eso se habla a menudo de "formar" (o del "aprendizaje") de una red, en lugar de "programar" este sistema. En su forma más sencilla, una Red Neuronal recibe el "input" (datos introducidos) y produce el "output" (el resultado apropiado). Se llama "Red Neuronal" porque se trata de una red de nudos llamados "neuronas".

Una red neuronal formada por una neurona no es de mucha utilidad, aparte de ser muy pobre la gama de estímulos que pueda reconocer. Normalmente, cuando las neuronas se emplean en grupos formando redes, de la siguiente manera:



Las neuronas de una red se organizan en capas, que reciben los nombres de la figura (se suelen utilizar tres capas, pero si hay más todas se llaman capas ocultas salvo la de entrada y la de salida).

Esta opción es particularmente atractiva en problemas de transferencia de calor en los que el flujo es complejo y se presentan cambios en algunas de las propiedades del fluido o en las condiciones ambientales durante el experimento.

En este trabajo se empleó una red de tres capas, con dos nodos de entrada (para número de Reynolds y ángulo) y un nodo de salida (número de Nusselt), con la capa intermedia de tres nodos. Se usa una configuración de propagación de la información hacia delante con una función de activación sigmoideal, y un método de propagación hacia atrás en el ajuste de los pesos sinápticos entre nodos. Parte de los resultados experimentales se emplean para "entrenar" a la red, después de lo cual se puede usar para propósitos de predicción. Se utilizaron en este análisis la mitad de los puntos experimentales obtenidos para el entrenamiento de la red. En las tablas 84 - 86 se encuentran los valores que se utilizaron para alimentar la red neuronal. Cabe mencionar que este fue un trabajo extra y no se encontraba dentro de los objetivos de la tesis.

CAPITULO 3. RESULTADOS

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos. En la figura 3.1 se puede observar la variación del número de Nusselt como función del ángulo de ataque para algunos números de Reynolds comprendidos entre 32 000 y 77 000. Se nota una variación de tipo sinusoidal en el valor del número de Nusselt con el ángulo de ataque, así como un incremento en el Nusselt al aumentar el número de Reynolds. Para todos los números de Reynolds se presenta un máximo alrededor de 15°, un mínimo a los 30°, y otro máximo cerca de los 45°. En general el comportamiento de Nu contra θ es similar en todo el rango del número de Re.

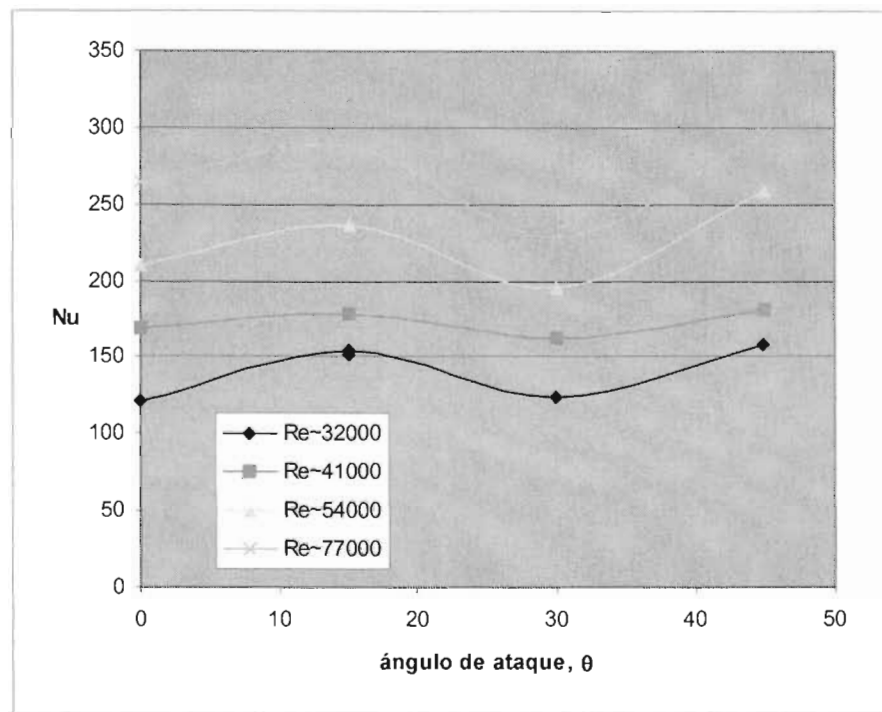


Fig. 3.1 Variación del número de Nusselt para el cubo.

La Figura 3.2 muestra los mismos resultados de otra manera, indicando el número de Nusselt como función del número de Reynolds para los diferentes ángulos. Para verificar el comportamiento de la diferentes caras, se realizaron experimentos con ángulos de ataque de 60° y 75°, que son equivalentes a 30° y 15° respectivamente, y en ambos casos los experimentos mostraron la misma tendencia entre ángulos complementarios; se encontraron dispersiones medias cuadráticas de +3.1% entre los valores correspondientes a los ángulos de 30° y 60°, y de -8.4% entre los valores correspondientes a 15° y 75°. Para comparar los resultados con los publicados en la literatura, en la gráfica se incluyen los valores calculados con la correlación de Igarashi [6] para un ángulo de 0°. La dispersión de los resultados tomando como referencia esa correlación se mantuvo en promedio en $\pm 8\%$, aunque llega a ser de hasta un +17% para los valores de Re más elevados.

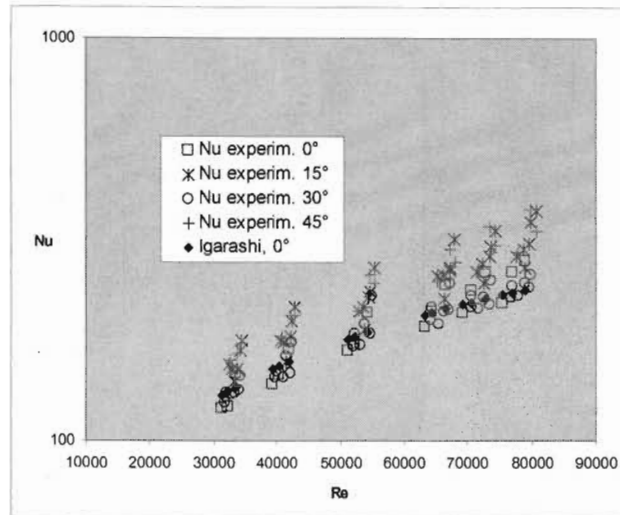


Fig. 3.2 Variación del número de Nusselt para el cubo.

Los resultados obtenidos utilizando la técnica convencional de correlaciones (ecuación 2.17) se muestran en las Figuras 3.3 y 3.4. La Figura 3.3 presenta los resultados del número de Nusselt como función del Reynolds, teniendo como parámetro el ángulo de ataque del cubo con respecto a la corriente libre. Se observa que los valores del Nusselt crecen con el Reynolds en forma proporcional a $Re^{0.8}$, independientemente del ángulo de ataque, pero este último parámetro juega un papel muy importante ya que dependiendo de su valor, el patrón de flujo es muy distinto, lo que se refleja en los resultados. Como se mencionó anteriormente, el Nusselt se incrementa a partir de 0° y llega a un valor máximo a los 45° que correspondería al patrón de flujo más favorable. Sin embargo, se observa que el valor sigue un patrón oscilante, ya que para 30° los valores corresponden prácticamente con los de 0° , incrementándose posteriormente. Con base en otros trabajos [9], se puede esperar que este patrón oscilante se produzca inclusive para intervalos más pequeños del ángulo, que no fueron cubiertos por este estudio.

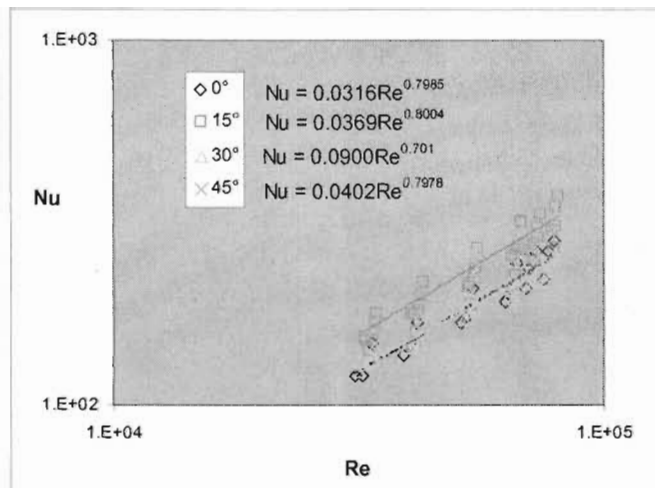


Fig. 3.3 Nusselt como función de Reynolds, θ como parámetro

El comportamiento de la transferencia de calor con el ángulo de ataque sirve de base para proponer la dependencia con el coseno del ángulo en la correlación (2.17), que queda, una vez usados los resultados experimentales, de la forma siguiente:

$$Nu = 0.04328 \cdot Re^{0.77499} \cdot \cos^{-0.2895} \theta \tag{3.1}$$

Con la ecuación (3.1), que como se ha dicho representa el mejor ajuste de los datos experimentales, se generó la figura 3.4, que muestra simultáneamente los valores calculados con esta correlación junto a los resultados experimentales; existe una dispersión importante entre ambos valores que en los casos extremos llega a $\pm 25\%$ y como se puede observar de la gráfica, en lo general los valores experimentales están localizados por encima o por debajo de los calculados, por lo que la correlación, aunque sigue muy bien la tendencia de los datos, subestima o sobrestima el valor en muchos de los casos. Si se analizan más de cerca los resultados, estos se subestiman o sobrestiman dependiendo fuertemente de la orientación; mientras que para los ángulos 0° y 30° la correlación sobrestima los valores del Nusselt, para los ángulos de 15° y 45° los valores se subestiman, lo que sugiere una fuerte influencia del patrón de flujo. Se observa también que la dispersión aumenta ligeramente con el Reynolds. A pesar del efecto anterior, el coeficiente de correlación de todos los datos es de 0.86. Una vez más se incluyen los valores correspondientes al Nusselt medio para un ángulo de 20° dados en la ref [6], en este caso, se compararon los valores contra los que se obtienen con la correlación (3.1) y se observaron diferencias en el rango de -1.7% y $+8.2\%$.

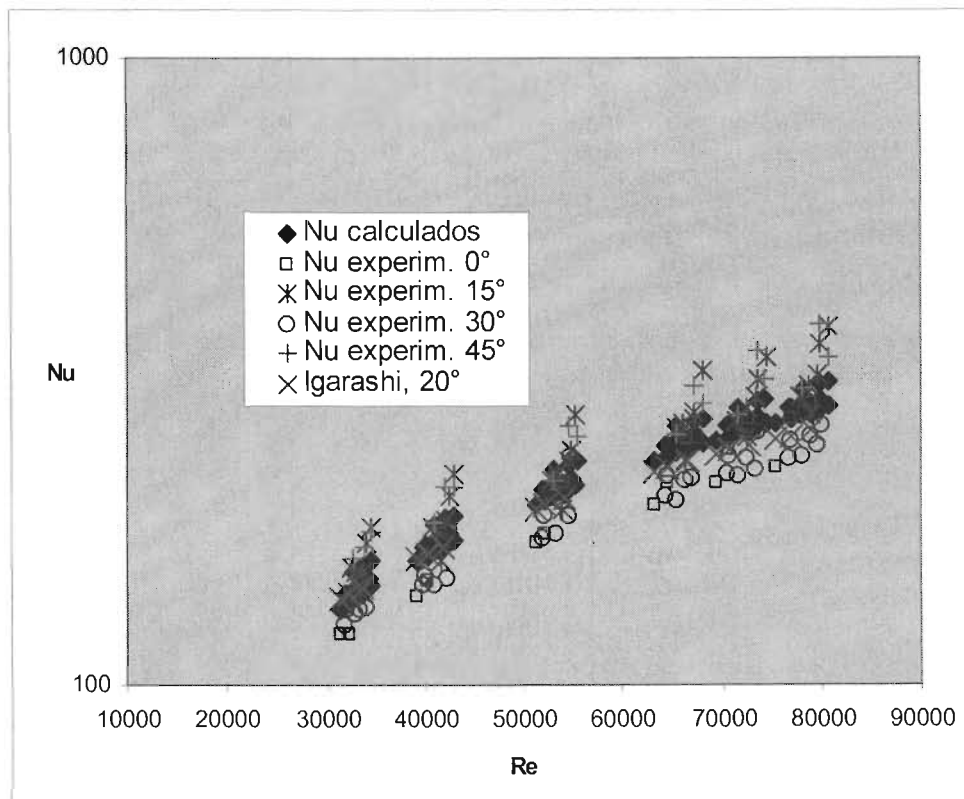


Fig. 3.4 Nusselt .vs. Reynolds calculados y experimentales

En la Figura 3.5 se hace la comparación entre los valores del Nusselt obtenidos experimentalmente (eje de las ordenadas) con los que se obtienen con la correlación y con la red neuronal (eje de las abscisas), en este gráfico los valores de las ordenadas con las abscisas coincidentes en la línea de 45° indican un ajuste perfecto de la predicción con el valor experimental. Es claro que el uso de la red neuronal mejora significativamente las predicciones de la técnica tradicional, ya que en un amplio rango de valores del número de Nusselt, éstos se encuentran sistemáticamente más cercanos a los experimentales. Se observa sin embargo que aún en el caso de la red neuronal la dispersión para valores altos del Nusselt se incrementa. Si se acotan el número de Reynolds a valores menores que 6×10^4 , el índice de correlación para la red neuronal toma un valor mínimo del 90% y en el intervalo restante la dispersión se incrementa hasta $\pm 20\%$, que a pesar de eso, sigue siendo significativamente mejor que la correlación tradicional.

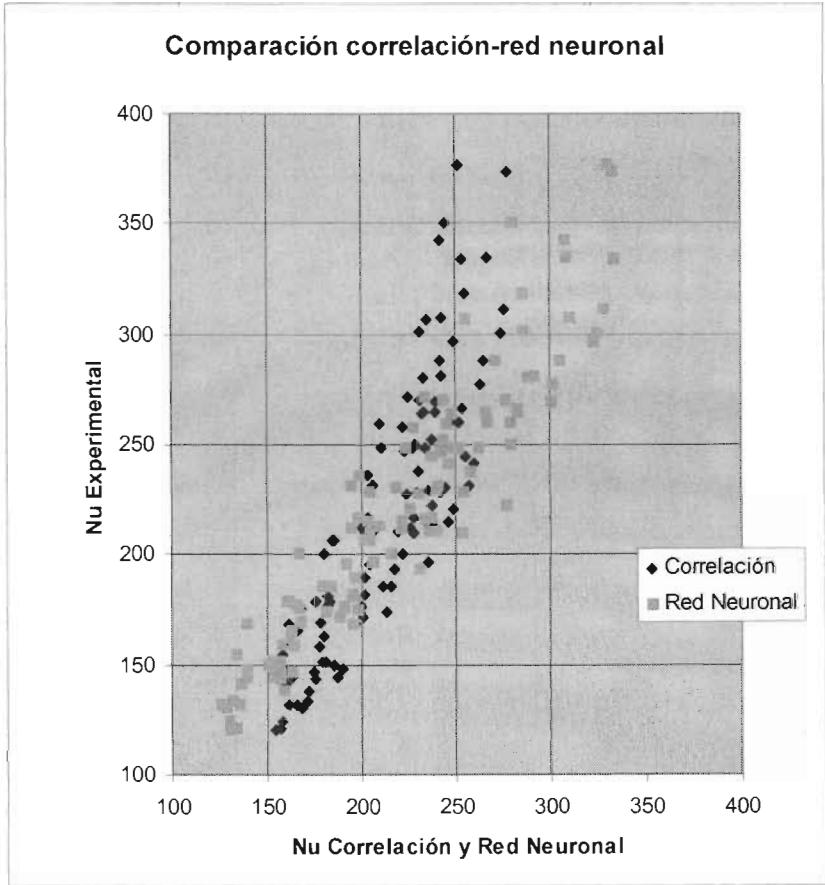


Fig. 3.5 Nusselt experimentales contra calculados y obtenidos con la red neuronal.

CAPITULO 4. CONCLUSIONES

En esta tesis se presentan los resultados experimentales para la transferencia de calor de un cubo, observándose que, en general, se cumple la relación $Nu \sim Re^{0.8}$, y que la dependencia con el ángulo de ataque es más débil. Sin embargo, tanto los resultados experimentales obtenidos como los reportados en trabajos previos para geometrías similares [9], sugieren variaciones importantes del número de Nusselt con el ángulo, lo que hace necesario un estudio más detallado de la dependencia de estos dos parámetros. La dispersión en los resultados indica también la necesidad de un estudio más completo que involucre los detalles del patrón de flujo.

La comparación satisfactoria de los resultados cuando el ángulo es de 0° , con trabajos previos de Igarashi [6,9] para el caso bidimensional, hace confiables los mismos. Sin embargo, se encontró que el efecto de las caras adicionales para el caso del cubo influye fuertemente en el Nusselt incrementando el valor del mismo con respecto a los resultados bidimensionales. A este respecto se nota un incremento del orden del 20% y un desfase angular de los valores máximos y mínimos para el caso del cubo, lo que ratifica la necesidad de estudiar con mayor detalle el efecto de θ .

En general, usar una red neuronal mostró ser de gran ayuda ya que mejora la predicción con respecto a la que se tiene con las correlaciones convencionales. La inclusión de más experimentos en el “entrenamiento” de la red neuronal ayudaría a obtener resultados mejorados sistemáticamente.

En resumen, experimentos más detallados, particularmente en cuanto a ángulo de ataque, en combinación con el uso de la red neuronal desarrollada y aplicada, permitirán sin duda obtener en un futuro una mejor visión del comportamiento térmico de la geometría estudiada.

El estudio experimental de la transferencia de calor en un cubo como función del ángulo de ataque es un tema que se encuentra muy poco estudiado debido a la complejidad del fenómeno por lo que se encuentra el campo abierto para cualquier tipo de investigación en esta área.

REFERENCIAS

- [1] F.P. Incropera & D.P. De Witt, Fundamentos de Transferencia de Calor, IV edición, Pearson, Prentice Hall.
- [2] <http://www.frh.utn.edu.ar/investigacion/aero/Practicos/cilindro/Cilindro.doc>
- [3] W.H. Giedt, Investigation of Variation of Point Unit-Heat-Transfer Coefficient around a Cylinder Normal to an Air Stream, Trans ASME, vol. 71, pp. 375-381, 1949.
- [4] J.P. Holman, Transferencia de calor, CECSA, 1995.
- [5] Jakob, M.: "Heat Transfer", vol. 1, John Wiley & Sons, Inc. New York, 1949.
- [6] T. Igarashi, Heat Transfer From a Square Prism to an Air Stream, IJHMT Vol. 28 No. 1, pp 175-181, 1985.
- [7] R. Hilpert, Wärmeabgabe von geheizten drähten und rohrern im luftstrom, Gebiete Ingenieurw. 4-5, 215-224 (1933).
- [8] H. Reiher, Der wärmeübergang von strömender luft an rohrbündel in kreuzstrom, VDI Forschungsheft 269, 47 (1925).
- [9] T. Igarashi, Local Heat Transfer From a Square Prism to an Air Stream, IJHMT Vol. 29 No. 5, pp 777-784, 1986.
- [10] T. Igarashi, Fluid Flow and Heat Transfer Around Rectangular Cylinders (The case of a width/height ratio of a section of 0.33 ~ 1.5), IJHMT Vol. 30 No. 5, pp 893-901, 1987.
- [11] E.M. Sparrow & A.J. Stretton, Natural convection from variously oriented cubes and from others bodies of unity aspect ratio, Int. J. Heat and Mass Transfer, Vol. 28, No. 4, pp. 741-752, 1985.
- [12] W.J. King, "The basic Laws and Data of Heat Transmisión, Part 3—Free Convection", Mechanical Engineering, Vol. 54, 347-353 (1932).
- [13] J.H. Lienhard, "On the Commonality of Equations for Natural Convection From Immersed Bodies", International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 16, 2121-2123 (1973).
- [14] A. Valencia & C. Orellana, Simulación del Flujo Turbulento y la Transferencia de Calor Alrededor de un Cuerpo de Sección Cuadrada, R.Ciencia Abierta No. 7, U. de Chile, 1999.
- [15] A. Kondjoyan & J.D. Daudin, Determination of Transfer Coefficients by Psychrometry, IJHMT Vol. 36 No. 7, pp 1807-1818, 1993.
- [16] E. R. Meinders, T.H. Van der Meer & K. Hanjalic, Local convective heat transfer from an array of wall-mounted cubes, IJHMT Vol. 41 No. 2, pp 335-346, 1997.
- [17] E. R. Meinders, G.M.P. Kempen, L. J. Van Vliet & T.H. Van der Meer, Measurement and application of an infrared image restoration filter to improve the accuracy of surface temperature measurements of cubes, Experiments in Fluids, No. 26, pp 86-96, 1999
- [18] E. R. Meinders & K. Hanjalic, Experimental study of the convective heat transfer from in-line and staggered configurations of two wall-mounted cubes, IJHMT Vol. 45 No. 3, pp 465-482, 2002.

- [19] J. Thibault & B.P.A. Grandjean, A Neural Network Methodology for Heat Transfer Data Analysis, IJHMT Vol. 34, No. 8, pp 2063-2070, 1991.
- [20] S. Haykin, "Neural Networks: A Comprehensive Foundation", Macmillan College Pub. Co., 1994.
- [21] M. Sen & K.T. Yang, Applications of artificial neural networks and genetic algorithms in thermal engineering, en "The CRC Handbook of Thermal Engineering", Frank Kreith Ed., CRC Press, pp. 4-620 a 4-661, 2000.
- [22] K. Jambunathan, S.L. Hartle, S. Ashforth-Frost & V.N. Fontana, Evaluating convective heat transfer coefficients using neural networks, IJHMT Vol. 39 No. 11, pp 2329-2332, 1996.
- [23] David J. Crowther & Jacques Padet, Measurement of the local convection coefficient by pulsed photothermal radiometry, IJHMT Vol. 34 No. 12, pp 3075-3081, 1991.
- [24] A. Kondjoyan & J.D. Daudin, Determination of transfer coefficients by psychrometry, IJHMT Vol. 36 No. 7, pp 1807-1818, 1993.
- [25] R. Rajnejevio, Handbook of thermodynamic Tables and Charts, Hemisphere, Washington, D.C., (1976), as presented by The G.E. Fluid Flow Handbook, General Electric Co., updated (1982).
- [26] Y.S. Touloukian, S.C. Saxena, and P. Hestermans, Thermophysical Properties of Matter-Viscosity, Vo. 11, IFI/Plenum, New York (1970), updated (1981).

ANEXOS

ANEXO

Maquinado del cubo

La empresa que llevó a cabo el maquinado del cubo de acuerdo a las especificaciones preliminares que se les entregaron, se llama PROCEMEC, SA de CV.

La materia prima se seleccionó como Aluminio (Al) por las propiedades térmicas y mecánicas de este mismo. Se acudió a una distribuidora de materiales de Aluminio, eligiéndose un catálogo con las especificaciones del Aluminio 1200, seleccionándose una solera de 2x4x4 pulgadas para la coraza y para las tapas 1x4x4 pulgadas.

Se pasaron las especificaciones al taller mecánico para el maquinado de cada uno de los componentes. Las operaciones de maquinado consistieron en:

- Desbaste. Donde se removió la capa exterior del material y se aproximó este mismo a las dimensiones con una tolerancia de +.4 milímetros debido a que esta operación es sólo de aproximación.
- Maquinado fino en una fresadora. Se procede a darle perpendicularidad a las piezas de los componentes que son: núcleo central, la coraza y las tapas.
- Electro erosión. Consiste en un corte a través de descargas eléctricas (Maquinado por EDM). Se prefirió este sistema de maquinado debido a los acabados que se obtienen para vaciar el alojamiento del núcleo central (con resistencias) y sólo se utiliza para la coraza.
- Se regresan las pieza al maquinado en la fresadora universal para dar las dimensiones finales exteriores.

En la coraza se dispusieron dos pines para empotrar la tapa superior. Ya armado se dio un proceso de pulido por el método de pastillas en una fresadora universal con herramientas de carburo de tungsteno a alta velocidad para lograr los acabados adecuados. El carburo de Tungsteno es un material muy utilizado en la industria para hacer maquinados de alto rendimiento.

Después de terminado el cubo se hizo un barrenado en cada una de las caras del cubo en un tablero de coordenadas para así realizar la fabricación de los insertos donde se alojarán las terminales de los sensores de temperatura utilizando para este proceso un torno.

Las dimensiones del cubo de aluminio se encuentran a detalle de la figura 1 a la figura 4, donde encontramos las dimensiones de la coraza, tapa inferior, tapa superior y corazón (núcleo donde se encuentran las resistencias). En general las dimensiones del cubo son de 76.2 milímetros por lado al cuál se le incluyó en su interior (núcleo, corazón) un sistema de resistencias para lograr el calentamiento uniforme de las superficies del mismo, junto con termopares tipo K para cada una de sus caras. Los termopares fueron colocados por el interior del cubo (por los insertos, 6.35 mm de diámetro) centrándolos en cada cara, estos se unieron a presión en un orificio muy cercano a la superficie. Las conexiones con el exterior tanto del sistema de resistencias como de los termopares se efectuaron a través de un tubo de 10 mm de diámetro, mismo que sirvió como soporte del cubo. La Figura 5 muestra un corte transversal de cubo y la ubicación de los termopares, y la Figura 6 es una serie de fotografías del mismo mostrando parte del interior y cableado.

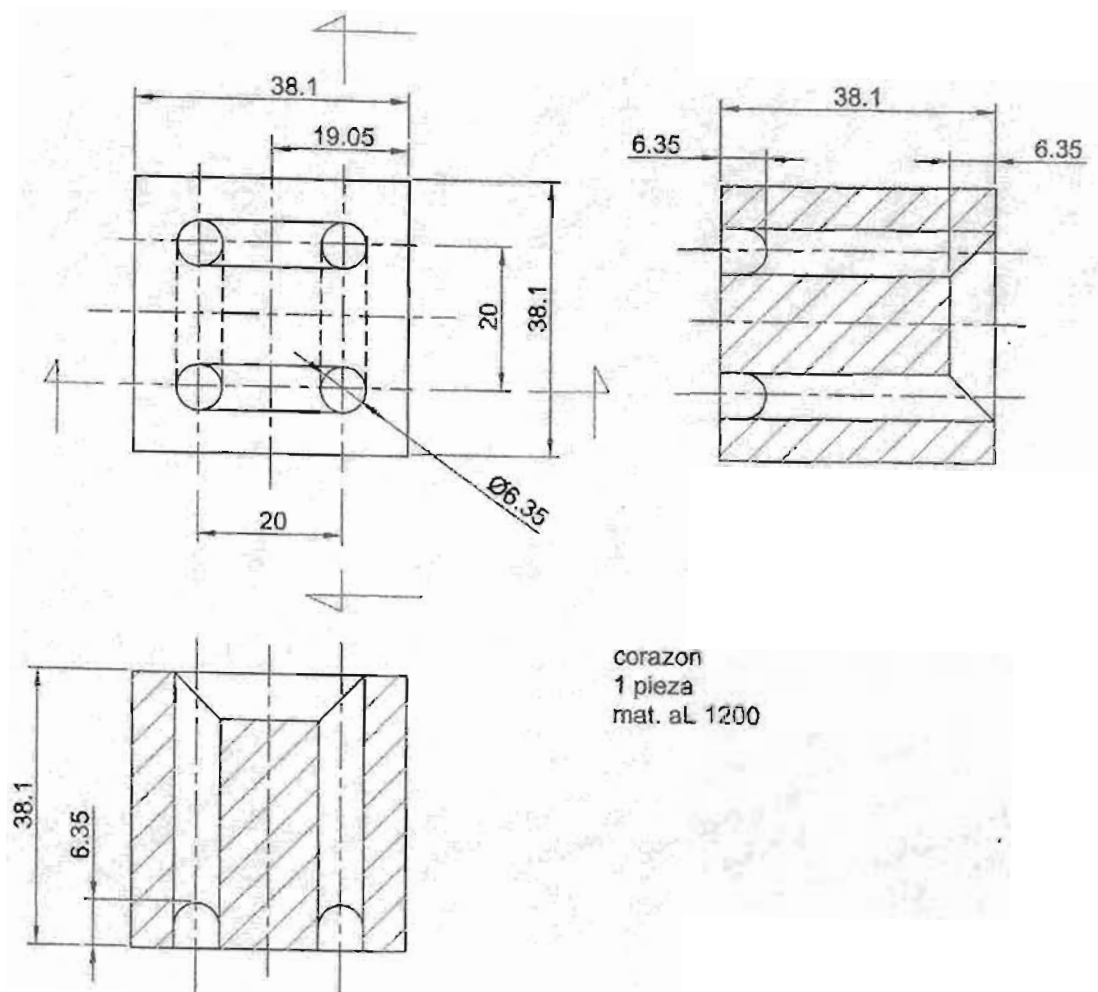


FIG 1 Corte del corazón, escala 1:1

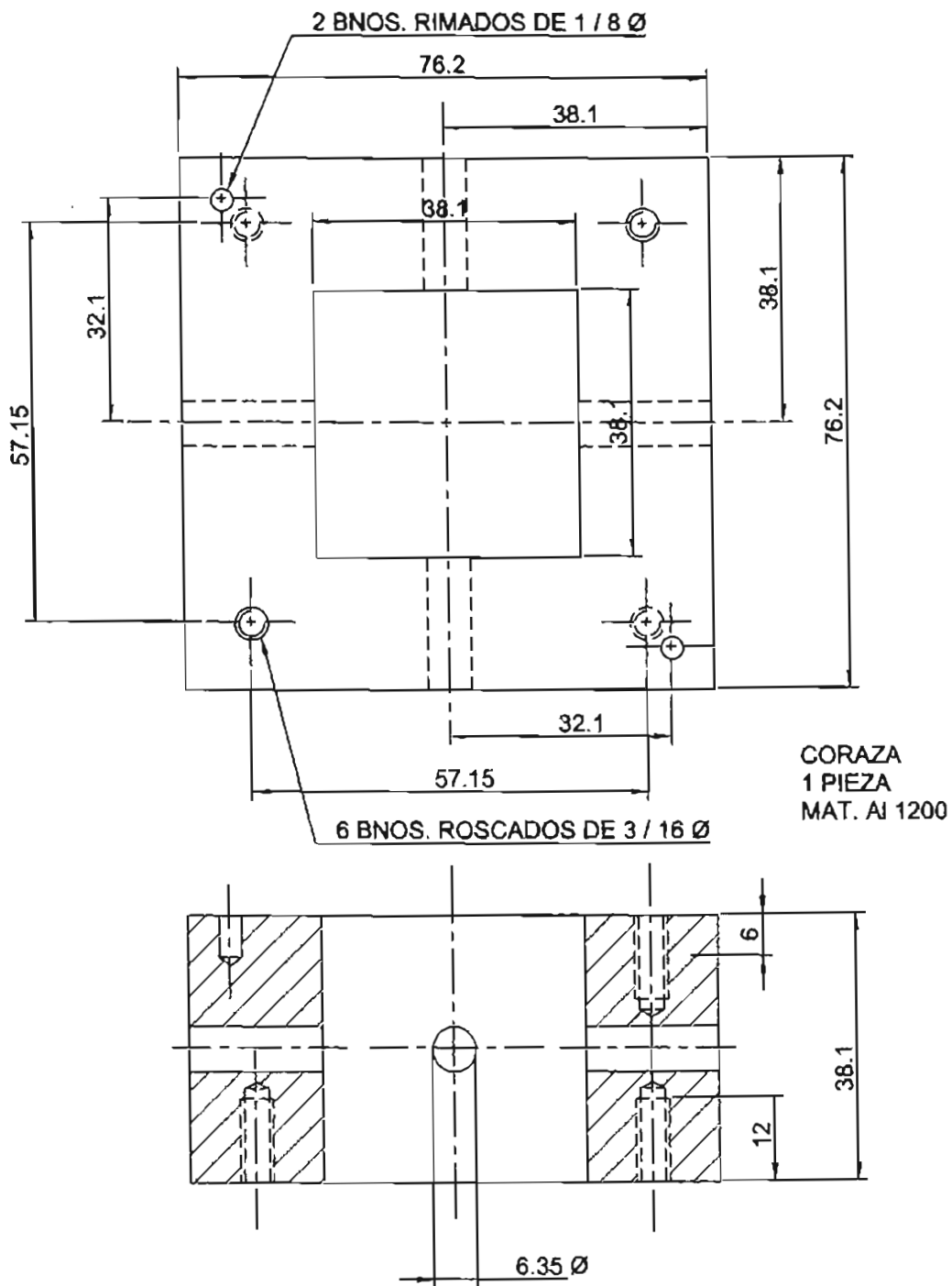


FIG. 2 CORAZA DEL CUBO

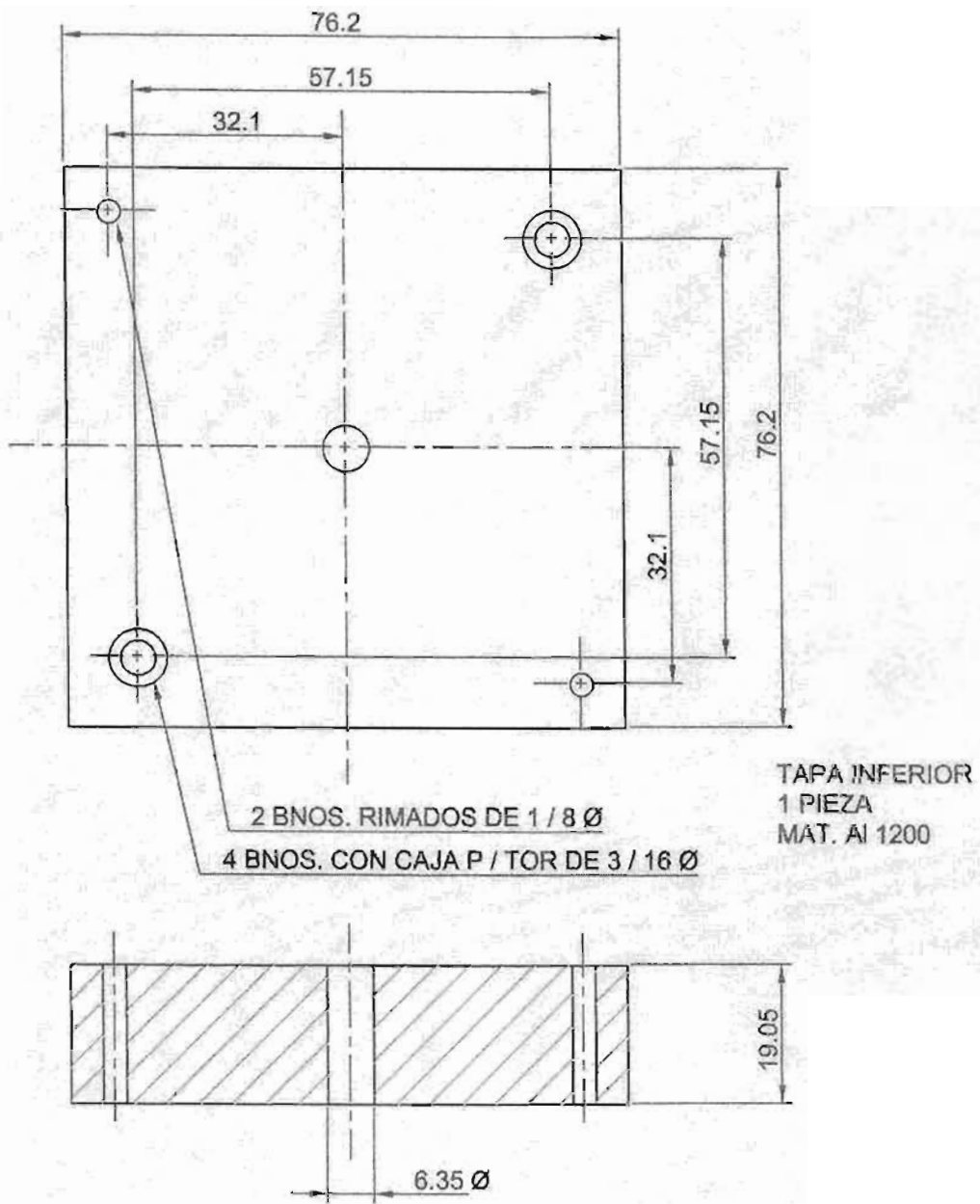


FIG. 3 TAPA INFERIOR

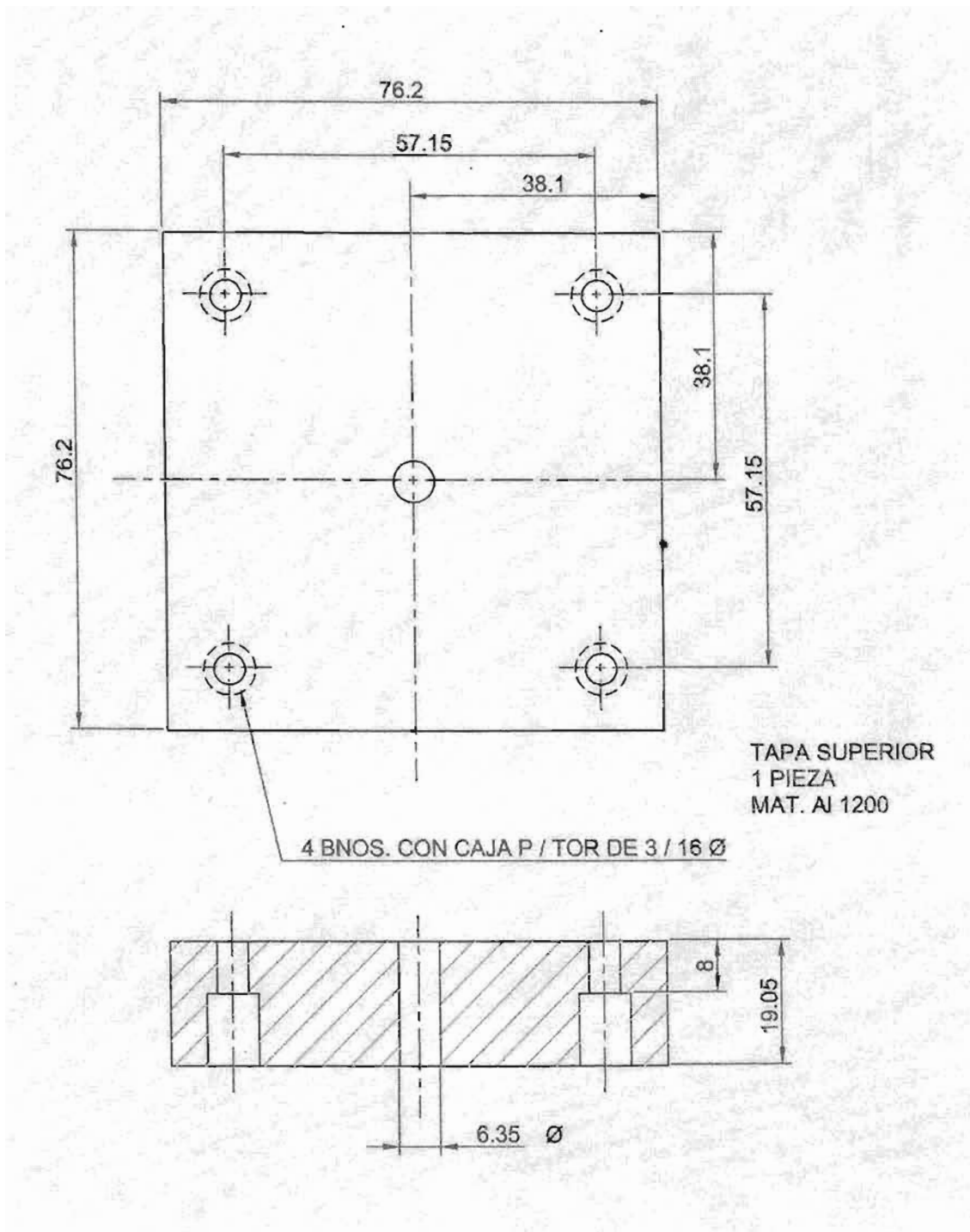


FIG. 4 TAPA

TABLAS DE PARÁMETROS MEDIDOS DURANTE EL EXPERIMENTO
ANGULO 0°

FRECUENCIA	VELOCIDAD m/s	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Tamb	Tinf
50.0	19.5	31.3	31.4	31.6	31.3	34.2	30.1	24.0	23.8
46.0	18.0	31.9	32.0	31.8	32.0	34.9	30.7	24.0	23.9
42.1	16.5	32.5	32.7	32.6	32.5	35.5	31.3	24.0	24.0
34.5	13.5	33.8	33.5	33.8	34.2	36.7	32.3	24.0	23.8
26.7	10.5	36.2	36.0	36.1	36.0	39.5	35.0	24.2	24.0
21.2	8.5	37.7	38.4	37.9	37.9	41.2	38.5	24.4	24.3

Tabla 1. Con variación del voltaje: 72.3 - 73.6. Variación de los amperes: 0.34 - 0.36. Calor: 25.533
La frecuencia se midió directamente del variador de velocidad y las temperaturas se encuentran en °C

FRECUENCIA	VELOCIDAD m/s	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Tamb	Tinf
50.0	19.5	37.5	37.9	37.8	37.9	42.7	34.9	26.2	26.1
46.0	18.0	39.1	39.0	38.9	39.1	43.6	36.5	26.2	26.2
42.1	16.5	40.6	40.2	40.4	40.3	45.3	38.1	26.3	26.1
34.5	13.5	43.1	43.1	42.9	43.3	48.1	40.8	26.3	26.2
26.7	10.5	45.7	46.0	45.7	45.7	50.6	43.3	26.0	26.0
21.2	8.5	49.3	49.3	49.3	49.4	54.2	47.0	26.0	25.9

Tabla 2. Con variación del voltaje: 90.0 - 92.3. Variación de los amperes: 0.39 - 0.42. Calor: 36.916

FRECUENCIA	VELOCIDAD m/s	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Tamb	Tinf
50.0	19.5	45.4	45.2	45.5	45.6	52.3	42.1	24.8	24.7
46.0	18.0	46.5	46.4	46.4	46.6	53.9	43.9	24.7	24.7
42.1	16.5	48.1	48.0	48.2	48.1	55.7	45.7	24.9	24.8
34.5	13.5	51.3	51.4	51.4	51.3	58.4	48.2	25.0	24.9
26.7	10.5	56.1	56.2	56.4	56.4	63.5	53.1	24.9	24.7
21.2	8.5	60.2	60.2	60.5	60.8	67.4	57.0	24.9	24.8

Tabla 3. Con variación del voltaje: 109.4 - 113.0. Variación de los amperes: 0.49 - 0.53. Calor: 56.712
La frecuencia se midió directamente del variador de velocidad y las temperaturas se encuentran en °C

TABLAS DE PARÁMETROS MEDIDOS DURANTE EL EXPERIMENTO
ANGULO 15°

FRECUENCIA	VELOCIDAD m/s	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Tamb	Tinf
50.0	19.5	29.0	29.0	28.9	29.1	31.7	27.8	22.9	22.8
46.0	18.0	29.6	29.6	29.6	29.5	32.3	28.6	22.8	22.8
42.1	16.5	30.7	30.5	30.7	30.7	33.5	29.5	22.9	22.8
34.5	13.5	31.5	31.6	31.6	31.8	34.5	30.6	22.8	22.7
26.7	10.5	32.9	33.1	33.2	33.2	35.5	32.1	22.7	22.7
21.2	8.5	34.5	34.5	34.5	37.0	37.5	33.3	22.8	22.8

Tabla 4. Con variación del voltaje: 72.3 - 73.6. Variación de los amperes: 0.34 - 0.36. Calor: 25.533
La frecuencia se midió directamente del variador de velocidad y las temperaturas se encuentran en °C

FRECUENCIA	VELOCIDAD m/s	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Tamb	Tinf
50.0	19.5	33.4	33.6	33.4	33.5	38.6	31.2	22.0	22.0
46.0	18.0	34.5	34.3	34.4	34.7	39.0	32.4	22.1	22.1
42.1	16.5	35.2	35.3	35.7	35.6	40.3	33.7	22.2	22.1
34.5	13.5	37.7	37.6	37.8	38.1	42.4	35.9	22.1	22.0
26.7	10.5	40.6	40.7	40.7	41.0	45.4	38.7	22.1	22.1
21.2	8.5	42.7	42.9	42.7	42.7	47.8	40.8	22.2	22.1

Tabla 5. Con variación del voltaje: 90.0 - 92.3. Variación de los amperes: 0.39 - 0.42. Calor: 36.916

FRECUENCIA	VELOCIDAD m/s	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Tamb	Tinf
50.0	19.5	38.2	38.5	38.4	38.6	45.1	35.3	22.0	22.0
46.0	18.0	39.7	39.5	39.7	40.0	46.5	37.1	22.1	22.0
42.1	16.5	40.1	40.0	40.3	40.5	46.6	37.4	22.2	22.1
34.5	13.5	43.6	43.2	43.6	43.7	50.2	41.1	21.9	21.9
26.7	10.5	47.3	47.3	47.4	47.5	54.1	44.7	22.3	22.1
21.2	8.5	50.9	50.9	51.2	51.0	57.8	48.5	22.3	22.3

Tabla 6. Con variación del voltaje: 109.4 - 113.0. Variación de los amperes: 0.49 - 0.53. Calor: 56.712
La frecuencia se midió directamente del variador de velocidad y las temperaturas se encuentran en °C

TABLAS DE PARÁMETROS MEDIDOS DURANTE EL EXPERIMENTO
ANGULO 30°

FRECUENCIA	VELOCIDAD m/s	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Tamb	Tinf
50.0	19.5	29.4	29.4	29.4	29.4	32.9	28.1	22.1	22.0
46.0	18.0	29.8	29.9	29.7	29.8	33.2	28.5	22.4	22.2
42.1	16.5	30.3	30.2	30.1	30.2	33.5	28.9	22.7	22.5
34.5	13.5	31.1	31.2	31.5	31.5	34.0	29.5	23.0	23.0
26.7	10.5	33.2	33.1	33.2	33.1	36.4	31.7	22.7	22.6
21.2	8.5	34.6	34.9	34.9	34.9	38.1	33.4	22.5	22.3

Tabla 7. Con variación del voltaje: 70.0 - 73.0. Variación de los amperes: 0.29 - 0.35. Calor: 22.88
La frecuencia se midió directamente del variador de velocidad y las temperaturas se encuentran en °C

FRECUENCIA	VELOCIDAD m/s	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Tamb	Tinf
50.0	19.5	34.3	33.8	33.8	34.3	39.0	31.7	21.8	21.7
46.0	18.0	35.3	35.1	35.2	35.3	39.7	32.5	22.0	21.8
42.1	16.5	36.1	36.0	36.2	36.1	40.5	33.4	21.9	21.7
34.5	13.5	37.3	38.1	37.7	38.0	42.7	35.0	22.4	22.3
26.7	10.5	40.1	40.2	40.1	40.1	46.2	38.5	22.2	22.1
21.2	8.5	43.8	43.8	43.8	43.8	49.2	41.2	21.8	21.8

Tabla 8. Con variación del voltaje: 90.0 - 91.7. Variación de los amperes: 0.39 - 0.42. Calor: 36.794
La frecuencia se midió directamente del variador de velocidad y las temperaturas se encuentran en °C

FRECUENCIA	VELOCIDAD m/s	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Tamb	Tinf
50.0	19.5	42.4	42.1	42.7	42.7	49.3	39.2	22.5	22.4
46.0	18.0	43.5	43.6	43.6	43.7	50.4	40.4	22.5	22.5
42.1	16.5	44.9	44.3	45.3	45.3	51.0	41.8	22.7	22.5
34.5	13.5	48.5	48.4	48.6	48.9	55.9	45.1	22.8	22.6
26.7	10.5	53.3	53.2	53.6	53.7	60.9	49.9	23.2	23.1
21.2	8.5	57.1	57.6	57.8	57.7	64.7	54.3	23.5	23.3

Tabla 9. Con variación del voltaje: 110.0 - 112.0. Variación de los amperes: 0.49 - 0.52. Calor: 56.955
La frecuencia se midió directamente del variador de velocidad y las temperaturas se encuentran en °C

TABLAS DE PARÁMETROS MEDIDOS DURANTE EL EXPERIMENTO
ANGULO 45°

FRECUENCIA	VELOCIDAD m/s	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Tamb	Tinf
50.0	19.5	27.4	27.3	27.5	27.3	30.5	26.4	21.0	20.9
46.0	18.0	27.9	27.9	28.3	28.0	31.0	26.9	21.1	21.0
42.1	16.5	28.6	28.5	28.5	28.5	31.5	27.6	21.0	20.9
34.5	13.5	29.5	29.4	29.7	29.7	32.6	28.4	21.2	21.0
26.7	10.5	31.2	31.2	31.4	31.3	34.2	30.2	21.5	21.1
21.2	8.5	33.1	33.2	33.1	33.1	36.2	31.1	21.2	21.1

Tabla 10. Con variación del voltaje: 72.5 - 73.6. Variación de los amperes: 0.34 - 0.36. Calor: 25.533
La frecuencia se midió directamente del variador de velocidad y las temperaturas se encuentran en °C

FRECUENCIA	VELOCIDAD m/s	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Tamb	Tinf
50.0	19.5	30.0	30.2	30.1	30.4	33.4	27.9	21.8	21.7
46.0	18.0	30.9	30.9	30.8	31.0	34.5	28.9	21.8	21.7
42.1	16.5	31.7	31.9	31.8	32.1	35.5	29.8	21.6	21.6
34.5	13.5	33.9	33.7	33.8	33.9	37.7	31.7	21.9	21.8
26.7	10.5	36.4	36.3	36.5	36.6	40.4	34.4	21.9	21.8
21.2	8.5	39.4	39.7	39.7	39.9	43.8	37.4	21.8	21.7

Tabla 11. Con variación del voltaje: 90.0 - 92.3. Variación de los amperes: 0.39 - 0.42. Calor: 36.914
La frecuencia se midió directamente del variador de velocidad y las temperaturas se encuentran en °C

FRECUENCIA	VELOCIDAD m/s	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Tamb	Tinf
50.0	19.5	37.6	37.9	37.6	38.0	42.9	34.9	21.8	21.8
46.0	18.0	39.0	39.1	39.1	39.5	44.9	36.2	21.7	21.7
42.1	16.5	40.2	40.6	40.5	40.8	46.4	37.4	21.8	21.8
34.5	13.5	43.4	43.4	43.2	43.0	49.4	41.2	21.6	21.7
26.7	10.5	46.2	46.1	46.3	46.2	52.1	43.5	21.3	21.2
21.2	8.5	49.4	49.5	49.5	49.5	55.3	46.1	21.4	21.3

Tabla 12. Con variación del voltaje: 109.4 - 113.0. Variación de los amperes: 0.49 - 0.53. Calor: 56.712
La frecuencia se midió directamente del variador de velocidad y las temperaturas se encuentran en °C

TABLAS DE PARÁMETROS MEDIDOS DURANTE EL EXPERIMENTO
ANGULO 60°

FRECUENCIA	VELOCIDAD m/s	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Tamb	Tinf
50.0	19.5	30.1	30.4	30.5	30.6	33.3	29.1	22.6	22.5
46.0	18.0	30.8	30.9	30.9	31.0	33.9	29.7	22.5	22.3
42.1	16.5	31.5	31.4	31.6	31.5	34.5	30.2	22.7	22.6
34.5	13.5	32.8	32.8	33.0	32.9	35.3	31.0	22.8	22.7
26.7	10.5	34.9	35.0	35.0	34.9	37.3	33.3	22.0	22.4
21.2	8.5	35.9	36.2	36.2	36.1	39.3	34.9	22.7	22.5

Tabla 13. Con variación del voltaje : 70.0 - 72.8. Variación de los amperes : 0.29 - 0.35. Calor : 22.848
La frecuencia se midió directamente del variador de velocidad y las temperaturas se encuentran en °C

FRECUENCIA	VELOCIDAD m/s	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Tamb	Tinf
50.0	19.5	35.7	35.7	35.8	35.6	40.2	33.8	23.7	23.6
46.0	18.0	36.6	36.5	36.7	36.8	41.3	34.7	23.7	23.7
42.1	16.5	37.8	37.6	37.8	37.9	42.1	35.6	23.8	23.7
34.5	13.5	39.6	40.2	39.9	39.8	44.2	37.5	24.2	24.1
26.7	10.5	42.9	42.8	42.7	42.9	47.8	40.4	24.2	24.2
21.2	8.5	44.8	44.8	44.6	45.0	49.3	42.3	24.6	24.4

Tabla 14. Con variación del voltaje : 88.4 - 90.0. Variación de los amperes : 0.39 - 0.37. Calor : 33.896
La frecuencia se midió directamente del variador de velocidad y las temperaturas se encuentran en °C

FRECUENCIA	VELOCIDAD m/s	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Tamb	Tinf
50.0	19.5	41.3	41.5	41.3	41.5	47.4	38.2	22.7	22.2
46.0	18.0	42.5	42.6	42.5	42.7	49.1	39.8	22.8	22.7
42.1	16.5	43.9	43.8	44.0	44.1	50.6	41.0	22.8	22.8
34.5	13.5	47.0	47.3	47.1	47.4	53.6	43.4	22.9	22.0
26.7	10.5	52.1	52.3	52.3	52.4	58.9	48.6	22.9	22.6
21.2	8.5	56.4	56.0	55.8	56.0	62.5	52.4	23.0	23.0

Tabla 15. Con variación del voltaje : 110.0 - 112.4 Variación de los amperes : 0.49 - 0.52. Calor : 56.16
La frecuencia se midió directamente del variador de velocidad y las temperaturas se encuentran en °C

TABLAS DE PARÁMETROS MEDIDOS DURANTE EL EXPERIMENTO
ANGULO 75°

FRECUENCIA	VELOCIDAD m/s	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Tamb	Tinf
50.0	19.5	27.0	27.3	27.0	27.2	29.3	25.8	21.4	21.2
46.0	18.0	27.4	27.7	27.7	27.6	30.2	26.2	21.3	21.1
42.1	16.5	28.2	28.2	28.3	28.3	30.8	26.6	21.5	21.4
34.5	13.5	29.4	29.6	29.6	29.7	32.2	28.1	21.6	21.6
26.7	10.5	31.1	31.3	31.5	31.4	33.9	29.5	21.6	21.5
21.2	8.5	33.0	33.2	33.1	33.3	35.9	31.4	21.5	21.4

Tabla 16. Con variación del voltaje : 72.3 - 73.6. Variación de los amperes : 0.34 - 0.36. Calor : 25.533
La frecuencia se midió directamente del variador de velocidad y las temperaturas se encuentran en °C

FRECUENCIA	VELOCIDAD m/s	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Tamb	Tinf
50.0	19.5	31.1	31.4	31.2	31.3	35.2	29.3	21.2	21.2
46.0	18.0	31.0	31.8	31.0	31.9	35.0	29.8	21.2	21.0
42.1	16.5	32.4	32.6	32.6	32.8	36.0	30.7	21.1	21.0
34.5	13.5	34.4	34.7	34.7	34.7	38.7	32.5	21.3	21.2
26.7	10.5	37.4	37.7	37.6	37.7	41.8	35.4	21.2	21.1
21.2	8.5	40.4	40.4	40.4	40.4	44.5	39.5	21.2	21.3

Tabla 17. Con variación del voltaje : 90.0 - 92.3. Variación de los amperes : 0.39 - 0.43. Calor : 36.916
La frecuencia se midió directamente del variador de velocidad y las temperaturas se encuentran en °C

FRECUENCIA	VELOCIDAD m/s	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Tamb	Tinf
50.0	19.5	35.7	36.3	36.3	36.3	42.1	33.2	20.3	20.3
46.0	18.0	36.8	37.4	37.4	37.5	43.2	34.3	20.2	20.2
42.1	16.5	38.1	38.6	38.6	38.6	44.3	35.5	20.5	20.4
34.5	13.5	41.1	41.7	41.9	41.8	47.6	38.5	20.2	20.2
26.7	10.5	45.6	46.2	46.2	46.4	52.3	43.3	20.4	20.4
21.2	8.5	49.2	49.8	49.8	49.9	55.7	46.5	20.3	20.2

Tabla 18. Con variación del voltaje : 109.4 - 113.0 Variación de los amperes : 0.49 - 0.53. Calor : 56.712
La frecuencia se midió directamente del variador de velocidad y las temperaturas se encuentran en °C

TABLAS DE PARÁMETROS CALCULADOS
ANGULO 60°

Velocidad m/s	T pond °K	Tinf °K	Tf (Tpon+Tinf)/2	k W/m²·K	Viscosidad N·s/m²	Densidad kg/m³
19.5	304.16313	296.8	300.63156	0.0261785	2.1434E-05	1.1423178
18.0	304.70180	296.9	300.95090	0.0262022	2.1455E-05	1.1411055
16.5	305.34268	297.0	301.32134	0.0262287	2.1480E-05	1.1397026
13.5	306.54713	296.8	301.82357	0.0262670	2.1513E-05	1.1378062
10.5	308.87913	297.0	303.08956	0.0263607	2.1597E-05	1.1330536
8.5	310.70624	297.2	304.10312	0.0264356	2.1664E-05	1.1292772

Tabla 19. Con variación del voltaje : 72.3 - 73.6. Variación de los amperes : 0.34 - 0.36. Calor : 25.533

Velocidad m/s	T pond °K	Tinf °K	Tf (Tpon+Tinf)/2	k W/m²·K	Viscosidad N·s/m²	Densidad kg/m³
19.5	310.25115	299.1	304.82558	0.0264888	2.1712E-05	1.1268008
18.0	311.56493	299.2	305.53246	0.0265410	2.1759E-05	1.1238942
16.5	312.98048	299.1	306.18024	0.0265888	2.1802E-05	1.1216162
13.5	315.68082	299.2	307.59046	0.0266922	2.1896E-05	1.1164739
10.5	318.32404	299.0	308.81202	0.0267817	2.1977E-05	1.1120575
8.5	321.60137	298.9	310.55068	0.0269087	2.2092E-05	1.1058315

Tabla 20. Con variación del voltaje : 90.0 - 92.3. Variación de los amperes : 0.39 - 0.42. Calor : 36.916

Velocidad m/s	T pond °K	Tinf °K	Tf (Tpon+Tinf)/2	k W/m²·K	Viscosidad N·s/m²	Densidad kg/m³
19.5	317.81916	297.7	307.90958	0.0267156	2.1917E-05	1.1153188
18.0	318.93293	297.7	308.46847	0.0267564	2.1954E-05	1.1133033
16.5	320.66270	297.8	309.38135	0.0268233	2.2015E-05	1.1100111
13.5	323.77605	297.9	310.98802	0.0269406	2.2121E-05	1.1042784
10.5	328.69649	297.7	313.34824	0.0271123	2.2278E-05	1.0958587
8.5	332.76005	297.8	315.43002	0.0272632	2.2416E-05	1.0887255

Tabla 21. Con variación del voltaje : 109.4 - 113.0 Variación de los amperes : 0.49 - 0.53. Calor : 56.712

TABLAS DE PARÁMETROS CALCULADOS
ANGULO 90°

Velocidad m/s	T pond °K	Tinf °K	Tf (Tpon+Tinf)/2	k W/m²·K	Viscosidad N·s/m²	Densidad kg/m³
19.5	302.16313	295.0	298.73156	0.0260371	2.1308E-05	1.1495833
18.0	302.56313	295.2	299.03156	0.0260594	2.1328E-05	1.1484297
16.5	302.96313	295.5	299.38156	0.0260855	2.1351E-05	1.1470871
13.5	303.99247	296.0	300.14624	0.0261424	2.1402E-05	1.1441647
10.5	305.88580	295.6	300.89290	0.0261979	2.1451E-05	1.1413254
8.5	307.62669	295.2	301.56334	0.0262477	2.1496E-05	1.1387688

Tabla 22. Con variación del voltaje : 70.0 - 73.0. Variación de los amperes : 0.29 - 0.35. Calor : 23.80

Velocidad m/s	T pond °K	Tinf °K	Tf (Tpon+Tinf)/2	k W/m²·K	Viscosidad N·s/m²	Densidad kg/m³
19.5	306.64226	294.7	300.82113	0.0261928	2.1447E-05	1.1415078
18.0	307.72848	294.8	301.41424	0.0262366	2.1486E-05	1.1393513
16.5	308.60804	294.7	301.80402	0.0262655	2.1512E-05	1.1378799
13.5	310.26937	295.3	302.83468	0.0263492	2.1587E-05	1.1336329
10.5	312.82891	295.1	304.11448	0.0264364	2.1665E-05	1.1292351
8.5	316.32628	294.8	305.71313	0.0265548	2.1771E-05	1.1233300

Tabla 23. Con variación del voltaje : 90.0 - 91.7. Variación de los amperes : 0.39 - 0.42. Calor : 36.794

Velocidad m/s	T pond °K	Tinf °K	Tf (Tpon+Tinf)/2	k W/m²·K	Viscosidad N·s/m²	Densidad kg/m³
19.5	314.87827	295.4	305.28913	0.0265230	2.1793E-05	1.1249901
18.0	316.01693	295.5	305.90847	0.0265686	2.1794E-05	1.1229127
16.5	317.49871	295.5	308.64936	0.0266231	2.1833E-05	1.1199004
13.5	320.98227	295.6	308.43114	0.0267538	2.1952E-05	1.1134308
10.5	325.80316	296.1	311.10158	0.0269489	2.2129E-05	1.1038733
8.5	329.95782	296.2	313.22801	0.0271036	2.2270E-05	1.0963762

Tabla 24. Con variación del voltaje : 110.0 - 112.0 Variación de los amperes : 0.49 - 0.52. Calor : 56.055

TABLAS DE PARÁMETROS CALCULADOS
ANGULO 45°

Velocidad m/s	T pond °K	T inf °K	Tf (Tpon+Tinf)/2	k W/m²-K	Viscosidad N-s/m²	Densidad kg/m³
19.5	300.19735	293.9	297.19867	0.0259226	2.1206E-05	1.1555123
18.0	300.82002	294.0	297.56001	0.0259496	2.1230E-05	1.1541091
16.5	301.35646	293.9	297.77823	0.0259659	2.1245E-05	1.1532634
13.5	302.36091	294.0	298.33045	0.0260071	2.1281E-05	1.1511288
10.5	304.07913	294.1	299.23956	0.0260749	2.1342E-05	1.1476314
8.5	305.73558	294.1	300.06779	0.0261366	2.1396E-05	1.1444838

Tabla 25. Con variación del voltaje : 72.3 - 73.6. Variación de los amperes : 0.34 - 0.36. Calor : 25.533

Velocidad m/s	T pond °K	T inf °K	Tf (Tpon+Tinf)/2	k W/m²-K	Viscosidad N-s/m²	Densidad kg/m³
19.5	302.78048	294.7	298.88024	0.0260481	2.1318E-05	1.1490111
18.0	303.53558	294.7	299.26779	0.0260770	2.1343E-05	1.1475232
16.5	304.49862	294.5	299.64846	0.0261054	2.1369E-05	1.1460654
13.5	306.31514	294.8	300.70757	0.0261841	2.1439E-05	1.1420289
10.5	309.07847	294.8	302.08824	0.0262866	2.1531E-05	1.1368093
8.5	312.26048	294.7	303.63024	0.0264007	2.1639E-05	1.1310360

Tabla 26. Con variación del voltaje : 90.0 - 92.3. Variación de los amperes : 0.39 - 0.42. Calor : 36.916

Velocidad m/s	T pond °K	T inf °K	Tf (Tpon+Tinf)/2	k W/m²-K	Viscosidad N-s/m²	Densidad kg/m³
19.5	310.25115	294.8	302.67558	0.0263301	2.1570E-05	1.1346034
18.0	311.63293	294.7	303.31647	0.0263775	2.1612E-05	1.1322060
16.5	312.95580	294.8	304.02780	0.0264300	2.1659E-05	1.1295576
13.5	315.99914	294.7	305.49957	0.0265385	2.1757E-05	1.1241152
10.5	318.70804	294.2	306.60402	0.0266198	2.1830E-05	1.1200660
8.5	321.86006	294.3	308.23002	0.0267391	2.1938E-05	1.1141573

Tabla 27. Con variación del voltaje : 109.4 - 113.0. Variación de los amperes : 0.49 - 0.53. Calor : 56.712

TABLAS DE PARÁMETROS CALCULADOS
ANGULO 75°

Velocidad m/s	T pond °K	T inf °K	Tf (Tpon+Tinf)/2	k W/m²-K	Viscosidad N-s/m²	Densidad kg/m³
19.5	299.84713	294.2	297.17357	0.0259207	2.1204E-05	1.1556099
18.0	300.38580	294.1	297.39290	0.0259371	2.1219E-05	1.1547576
16.5	300.98580	294.4	297.84290	0.0259707	2.1249E-05	1.1530130
13.5	302.30824	294.6	298.60312	0.0260275	2.1299E-05	1.1500775
10.5	304.01292	294.5	299.40646	0.0260874	2.1353E-05	1.1469917
8.5	305.83114	294.4	300.26557	0.0261513	2.1410E-05	1.1437100

Tabla 28. Con variación del voltaje : 72.3 - 73.6. Variación de los amperes : 0.34 - 0.36. Calor : 25.533

Velocidad m/s	T pond °K	T inf °K	Tf (Tpon+Tinf)/2	k W/m²-K	Viscosidad N-s/m²	Densidad kg/m³
19.5	303.89469	294.2	299.19735	0.0260718	2.1339E-05	1.1477933
18.0	304.43558	294.0	299.26779	0.0260845	2.1350E-05	1.1471396
16.5	305.25380	294.0	299.77690	0.0261149	2.1377E-05	1.1455743
13.5	307.23781	294.2	300.86890	0.0261961	2.1450E-05	1.1414165
10.5	310.19914	294.1	302.29957	0.0263022	2.1545E-05	1.1390146
8.5	313.23601	294.2	303.86801	0.0264182	2.1649E-05	1.1301510

Tabla 29. Con variación del voltaje : 90.0 - 92.3. Variación de los amperes : 0.39 - 0.42. Calor : 36.916

Velocidad m/s	T pond °K	T inf °K	Tf (Tpon+Tinf)/2	k W/m²-K	Viscosidad N-s/m²	Densidad kg/m³
19.5	308.61249	293.3	301.10624	0.0262137	2.1485E-05	1.1405168
18.0	309.73293	293.2	301.61647	0.0262516	2.1499E-05	1.1385875
16.5	310.93293	293.4	302.31647	0.0263035	2.1546E-05	1.1359511
13.5	314.05590	293.2	303.77780	0.0264116	2.1643E-05	1.1304866
10.5	318.58982	293.4	306.14491	0.0265960	2.1800E-05	1.1217457
8.5	322.09649	293.2	307.79824	0.0267074	2.1910E-05	1.1157202

Tabla 30. Con variación del voltaje : 109.4 - 113.0. Variación de los amperes : 0.49 - 0.53. Calor : 56.712

TABLAS DE PARÁMETROS CALCULADOS
ANGULO 90°

Velocidad m/s	T pond °C	T inf °C	Tpond - Tinf	Emisividad	Calor Rad.
19.5	31.8313	23.8	7.36313	0.5	0.78631
18.0	31.70180	23.9	7.80180	0.5	0.83583
16.5	32.34268	24.0	8.34268	0.5	0.89710
13.5	33.54713	23.8	9.74713	0.5	1.05344
10.5	35.87913	24.0	11.87913	0.5	1.30026
8.5	37.70624	24.2	13.50624	0.5	1.49339

Tabla 31. Con variación del voltaje : 72.3 - 73.6. Variación de los amperes : 0.34 - 0.36. Calor : 25.533

Velocidad m/s	T pond °C	T inf °C	Tpond - Tinf	Emisividad	Calor Rad.
19.5	37.25115	28.1	11.15115	0.5	1.24180
18.0	38.56492	28.2	12.38492	0.5	1.38645
16.5	39.96048	28.1	13.86048	0.5	1.58421
13.5	42.68092	28.2	16.48092	0.5	1.88614
10.5	45.32404	28.0	19.32404	0.5	2.23855
8.5	48.90137	25.8	23.00137	0.5	2.71087

Tabla 32. Con variación del voltaje : 90.0 - 92.3. Variación de los amperes : 0.39 - 0.42. Calor : 36.916

Velocidad m/s	T pond °C	T inf °C	Tpond - Tinf	Emisividad	Calor Rad.
19.5	44.81916	24.7	20.11916	0.5	2.31049
18.0	45.93293	24.7	21.23293	0.5	2.45194
16.5	47.66270	24.8	22.86270	0.5	2.66418
13.5	50.77605	24.9	25.87605	0.5	3.06367
10.5	55.69649	24.7	30.99649	0.5	3.75679
8.5	59.78005	24.8	34.98005	0.5	4.32488

Tabla 33. Con variación del voltaje : 109.4 - 113.0. Variación de los amperes : 0.49 - 0.53. Calor : 56.712

TABLAS DE PARÁMETROS CALCULADOS
ANGULO 15°

Velocidad m/s	T pond °C	T inf °C	Tpond - Tinf	Emisividad	Calor Rad.
19.5	28.78135	22.8	5.98135	0.5	0.62800
18.0	29.39735	22.6	6.79735	0.5	0.71518
16.5	30.44046	22.8	7.64046	0.5	0.80894
13.5	31.43624	22.7	8.73824	0.5	0.92938
10.5	32.91779	22.7	10.21779	0.5	1.09488
8.5	34.79247	22.8	11.99247	0.5	1.29787

Tabla 34. Con variación del voltaje : 72.3 - 73.6. Variación de los amperes : 0.34 - 0.36. Calor : 25.533

Velocidad m/s	T pond °C	T inf °C	Tpond - Tinf	Emisividad	Calor Rad.
19.5	33.06048	22.0	11.06048	0.5	1.18194
18.0	34.09992	22.1	11.99992	0.5	1.28937
16.5	35.13114	22.1	13.03114	0.5	1.40785
13.5	37.45380	22.0	15.45380	0.5	1.88841
10.5	40.37647	22.1	18.27647	0.5	2.02735
8.5	42.39469	22.1	20.29469	0.5	2.27415

Tabla 35. Con variación del voltaje : 90.0 - 92.3. Variación de los amperes : 0.39 - 0.42. Calor : 36.916

Velocidad m/s	T pond °C	T inf °C	Tpond - Tinf	Emisividad	Calor Rad.
19.5	37.85560	22.0	15.85560	0.5	1.73592
18.0	39.24670	22.0	17.24670	0.5	1.90137
16.5	39.71026	22.1	17.61026	0.5	1.94692
13.5	43.08315	21.9	21.18315	0.5	2.37964
10.5	46.88759	22.1	24.78759	0.5	2.84083
8.5	50.54448	22.3	28.24448	0.5	3.29077

Tabla 36. Con variación del voltaje : 109.4 - 113.0 Variación de los amperes : 0.49 - 0.53

Calor : 56 712

TABLAS DE PARÁMETROS CALCULADOS
ANGULO 45°

Velocidad m/s	T pond °C	T inf °C	Tpond - Tinf	Emisividad	Calor Rad.
19.5	27.10735	20.9	6.20735	0.5	0.64969
18.0	27.82002	21.0	6.82002	0.5	0.70620
16.5	28.35648	20.9	7.45648	0.5	0.77382
13.5	29.36091	21.0	8.36091	0.5	0.87256
10.5	31.07913	21.1	9.97913	0.5	1.05107
8.5	32.73558	21.1	11.63558	0.5	1.23597

Tabla 37. Con variación del voltaje : 72.3 - 73.6. Variación de los amperes : 0.34 - 0.36. Calor : 25.533

Velocidad m/s	T pond °C	T inf °C	Tpond - Tinf	Emisividad	Calor Rad.
19.5	29.76048	21.7	8.06048	0.5	0.84568
18.0	30.53558	21.7	8.83558	0.5	0.93083
16.5	31.49692	21.5	9.99692	0.5	1.05727
13.5	33.31514	21.8	11.51514	0.5	1.23090
10.5	36.07647	21.8	14.27647	0.5	1.54748
8.5	39.28048	21.7	17.58048	0.5	1.93329

Tabla 38. Con variación del voltaje : 90.9 - 92.3. Variación de los amperes : 0.39 - 0.42. Calor : 36.916

Velocidad m/s	T pond °C	T inf °C	Tpond - Tinf	Emisividad	Calor Rad.
19.5	37.25115	21.8	15.45115	0.5	1.68476
18.0	38.63293	21.7	16.93293	0.5	1.85832
16.5	39.95590	21.8	18.15590	0.5	2.00678
13.5	42.99914	21.7	21.29914	0.5	2.36937
10.5	45.70804	21.2	24.50804	0.5	2.78033
8.5	48.86005	21.3	27.58005	0.5	3.17785

Tabla 39. Con variación del voltaje : 109.4 - 113.0 Variación de los amperes : 0.49 - 0.53. Calor : 56 712

TABLAS DE PARÁMETROS CALCULADOS
ANGULO 60°

Velocidad m/s	T pond °C	T inf °C	Tpond - Tinf	Emisividad	Calor Rad.
19.5	30.16313	22.5	7.66313	0.5	0.80600
18.0	30.68135	22.3	8.38135	0.5	0.86626
16.5	31.26313	22.0	8.66313	0.5	0.92012
13.5	32.53336	22.7	9.83336	0.5	1.05164
10.5	34.64938	22.5	12.14938	0.5	1.31197
8.5	35.86313	22.5	13.36313	0.5	1.45188

Tabla 40. Con variación del voltaje : 70.0 - 72.8. Variación de los amperes : 0.29 - 0.35. Calor : 22.846

Velocidad m/s	T pond °C	T inf °C	Tpond - Tinf	Emisividad	Calor Rad.
19.5	35.35380	23.6	11.75380	0.5	1.28064
18.0	36.28447	23.7	12.58447	0.5	1.37823
16.5	37.37670	23.7	13.67870	0.5	1.50631
13.5	39.44226	24.1	15.34226	0.5	1.71039
10.5	42.38315	24.2	18.18315	0.5	2.05805
8.5	44.34448	24.4	19.94448	0.5	2.28178

Tabla 41. Con variación del voltaje : 88.4 - 90.0. Variación de los amperes : 0.39 - 0.37. Calor : 33.896

Velocidad m/s	T pond °C	T inf °C	Tpond - Tinf	Emisividad	Calor Rad.
19.5	40.79849	22.5	18.29849	0.5	2.03778
18.0	42.06937	22.7	19.36937	0.5	2.17318
16.5	43.41249	22.8	20.61249	0.5	2.32907
13.5	46.50761	22.9	23.60761	0.5	2.71072
10.5	51.60539	22.8	28.80539	0.5	3.39107
8.5	55.18049	23.0	32.18049	0.5	3.85967

Tabla 42. Con variación del voltaje : 110.0 - 112.4 Variación de los amperes : 0.49 - 0.52

Calor : 56 16

TABLAS DE PARÁMETROS CALCULADOS
ANGULO 90°

Velocidad m/s	Re de la aleta	Pr	C (tablas)	m (tablas)	h (W/m²K)	T6 - Tinf (°K)	M	mL	Calor de la aleta
19.5	10392.49669	0.7	0.193	0.618	136.83965	8.3	0.01877	144.28404	0.01877
18.0	9573.42815	0.7	0.193	0.618	120.07649	6.8	0.01978	140.85057	0.01978
16.5	8754.82071	0.7	0.193	0.618	123.08911	7.3	0.02063	136.81859	0.02063
13.5	7140.09550	0.7	0.193	0.618	108.50904	8.5	0.02256	128.48507	0.02256
10.5	5508.84857	0.7	0.193	0.618	92.43880	11.0	0.02094	118.56994	0.02094
8.5	4436.71808	0.7	0.193	0.618	88.79790	12.3	0.02816	110.59420	0.02816

Tabla 43. Con variación del voltaje : 72.1 - 73.6 Variación de los amperes : 0.34 - 0.36. Calor : 25.131

Velocidad m/s	Re de la aleta	Pr	C (tablas)	m (tablas)	h (W/m²K)	T6 - Tinf (°K)	M	mL	Calor de la aleta
19.5	10118.10272	0.7	0.193	0.618	134.58543	8.8	0.02601	143.07818	0.02601
18.0	9298.86620	0.7	0.193	0.618	127.74570	10.3	0.02986	139.38796	0.02986
16.5	8488.44076	0.7	0.193	0.618	120.75211	12.0	0.03359	135.51878	0.03359
13.5	6883.03368	0.7	0.193	0.618	106.08471	14.6	0.03831	127.02187	0.03831
10.5	5313.13139	0.7	0.193	0.618	90.39527	17.3	0.04190	117.25327	0.04190
8.5	4254.88473	0.7	0.193	0.618	78.79971	21.1	0.04771	108.47417	0.04771

Tabla 44. Con variación del voltaje : 90.0 - 92.3 Variación de los amperes : 0.39 - 0.42. Calor : 36.916

Velocidad m/s	Re de la aleta	Pr	C (tablas)	m (tablas)	h (W/m ² *K)	T6 - Tinf (°K)	M	mL	Calor de la aleta
19.5	9923.20888	0.7	0.193	0.618	132.98728	17.4	0.05112	142.21885	0.05112
18.0	9127.95450	0.7	0.193	0.618	126.29608	18.8	0.05382	138.59484	0.05382
16.5	8319.53697	0.7	0.193	0.618	119.26152	20.9	0.05814	134.67975	0.05814
13.5	6739.08294	0.7	0.193	0.618	104.70185	23.3	0.06073	126.19127	0.06073
10.5	5165.44883	0.7	0.193	0.618	89.83413	28.4	0.06819	116.23637	0.06819
8.5	4128.35130	0.7	0.193	0.618	77.34443	32.2	0.07214	108.45926	0.07214

Tabla 45. Con variación del voltaje : 109.4 - 113.0 Variación de los amperes : 0.49 - 0.53 Calor : 56.712

**TABLAS DE PARÁMETROS CALCULADOS
ANGULO 30°**

Velocidad m/s	Re de la aleta	Pr	C (tablas)	m (tablas)	h (W/m ² *K)	T6 - Tinf (°K)	M	mL	Calor de la aleta
10.5	10520.49348	0.7	0.193	0.618	137.87877	6.1	0.01825	144.81075	0.01825
18.0	9692.42465	0.7	0.193	0.618	131.06729	6.3	0.01837	141.18849	0.01837
16.5	8864.68014	0.7	0.193	0.618	124.03231	6.4	0.01816	137.34712	0.01816
13.5	7217.28597	0.7	0.193	0.618	109.23307	6.5	0.01731	128.89296	0.01731
10.5	5586.57854	0.7	0.193	0.618	93.24279	0.1	0.02238	119.08574	0.02238
8.5	4503.07252	0.7	0.193	0.618	81.61079	11.2	0.02577	111.41045	0.02577

Tabla 46. Con variación del voltaje : 70.0 - 73.0 Variación de los amperes : 0.29 - 0.35 Calor : 22.88

Velocidad m/s	Re de la aleta	Pr	C (tablas)	m (tablas)	h (W/m ² *K)	T6 - Tinf (°K)	M	mL	Calor de la aleta
19.5	10379.65480	0.7	0.193	0.618	136.73876	10.0	0.02979	144.20980	0.02979
18.0	9545.02986	0.7	0.193	0.618	129.83191	10.7	0.03106	140.52152	0.03106
16.5	8727.80172	0.7	0.193	0.618	122.84523	11.7	0.03303	136.68827	0.03303
13.5	7089.54357	0.7	0.193	0.618	108.03418	12.7	0.03363	128.18367	0.03363
10.5	5472.84594	0.7	0.193	0.618	92.06506	16.4	0.04009	118.33127	0.04009
8.5	4385.75116	0.7	0.193	0.618	80.29015	19.4	0.04428	110.50534	0.04428

Tabla 47. Con variación del voltaje : 90.0 - 91.7 Variación de los amperes : 0.39 - 0.42 Calor : 36.794

Velocidad m/s	Re de la aleta	Pr	C (tablas)	m (tablas)	h (W/m ² *K)	T6 - Tinf (°K)	M	mL	Calor de la aleta
19.5	10088.44320	0.7	0.193	0.618	134.35146	16.8	0.04961	142.04643	0.04961
18.0	9276.01852	0.7	0.193	0.618	127.55825	17.9	0.05150	139.28568	0.05150
16.5	8463.36806	0.7	0.193	0.618	120.53156	19.3	0.05398	135.39497	0.05398
13.5	6847.48144	0.7	0.193	0.618	105.73947	22.5	0.05894	126.81502	0.05894
10.5	5237.81107	0.7	0.193	0.618	89.60117	26.8	0.06462	118.73711	0.06462
8.5	4184.63464	0.7	0.193	0.618	77.99440	31.1	0.06997	108.91403	0.06997

Tabla 48. Con variación del voltaje : 110.0 - 112.0 Variación de los amperes : 0.49 - 0.52 Calor : 56.055

**TABLAS DE PARÁMETROS CALCULADOS
ANGULO 45°**

Velocidad m/s	Re de la aleta	Pr	C (tablas)	m (tablas)	h (W/m ² *K)	T6 - Tinf (°K)	M	mL	Calor de la aleta
19.5	10625.49149	0.7	0.193	0.618	138.72757	5.5	0.01650	145.25581	0.01650
18.0	9785.16930	0.7	0.193	0.618	131.84095	5.9	0.01726	141.80457	0.01726
16.5	8957.05440	0.7	0.193	0.618	124.82948	6.7	0.01907	137.78778	0.01907
13.5	7302.33514	0.7	0.193	0.618	110.02679	7.4	0.01977	129.38040	0.01977
10.5	5646.32954	0.7	0.193	0.618	93.85785	9.1	0.02246	119.47786	0.02246
8.5	4546.51108	0.7	0.193	0.618	82.09642	10.0	0.02308	111.74143	0.02308

Tabla 49. Con variación del voltaje : 72.3 - 73.6 Variación de los amperes : 0.34 - 0.36 Calor : 25.533

Velocidad m/s	Re de la aleta	Pr	C (tablas)	m (tablas)	h (W/m ² *K)	T6 - Tinf (°K)	M	mL	Calor de la aleta
19.5	10510.38274	0.7	0.193	0.618	137.79694	6.2	0.01854	144.76778	0.01854
18.0	9677.65941	0.7	0.193	0.618	130.94386	7.2	0.02099	141.12199	0.02099
16.5	8849.44222	0.7	0.193	0.618	123.90051	8.3	0.02353	137.27412	0.02353
13.5	7191.29436	0.7	0.193	0.618	108.98980	9.9	0.02633	128.74835	0.02633
10.5	5543.96847	0.7	0.193	0.618	92.80263	12.6	0.03092	118.80433	0.03092
8.5	4444.05701	0.7	0.193	0.618	80.94814	15.7	0.03598	110.86722	0.03598

Tabla 50. Con variación del voltaje : 90.0 - 92.3 Variación de los amperes : 0.39 - 0.42 Calor : 36.916

Velocidad m/s	Re de la aleta	Pr	C (tablas)	m (tablas)	h (W/m ² *K)	T6 - Tinf (°K)	M	mL	Calor de la aleta
19.5	10257.39024	0.7	0.193	0.618	135.73750	13.1	0.03888	143.68190	0.03888
18.0	9429.75762	0.7	0.193	0.618	128.89067	14.5	0.04193	139.99493	0.04193
16.5	8604.92217	0.7	0.193	0.618	121.77347	15.6	0.04385	136.09070	0.04385
13.5	6975.01525	0.7	0.193	0.618	106.95226	19.5	0.05137	127.54021	0.05137
10.5	5387.31858	0.7	0.193	0.618	91.17324	22.3	0.05424	117.75875	0.05424
8.5	4316.81524	0.7	0.193	0.618	79.50786	24.8	0.05633	109.96568	0.05633

Tabla 51. Con variación del voltaje : 109.4 - 113.0 Variación de los amperes : 0.49 - 0.53 Calor : 56.712

**TABLAS DE PARÁMETROS CALCULADOS
ANGULO 75°**

Velocidad m/s	Re de la aleta	Pr	C (tablas)	m (tablas)	h (W/m ² ·K)	T6 - Tinf (°K)	M	mL	Calor de la aleta
19.5	10627.22432	0.7	0.193	0.618	138.74155	4.4	0.01320	145.26313	0.01320
18.0	9795.78543	0.7	0.193	0.618	131.92032	5.1	0.01492	141.65203	0.01492
16.5	8953.30090	0.7	0.193	0.618	124.79715	5.4	0.01537	137.76994	0.01537
13.5	7289.46797	0.7	0.193	0.618	109.90993	6.5	0.01736	129.28992	0.01736
10.5	5640.25462	0.7	0.193	0.618	93.79543	8.0	0.01974	119.43812	0.01974
8.5	4540.73065	0.7	0.193	0.618	82.03190	10.0	0.02307	111.69751	0.02307

Tabla 52. Con variación del voltaje: 72.3 - 73.6 Variación de los amperes: 0.34 - 0.36 Calor: 25.533

Velocidad m/s	Re de la aleta	Pr	C (tablas)	m (tablas)	h (W/m ² ·K)	T6 - Tinf (°K)	M	mL	Calor de la aleta
19.5	10488.89724	0.7	0.193	0.618	137.62271	8.1	0.02421	144.67623	0.02421
18.0	9671.41914	0.7	0.193	0.618	130.89167	8.8	0.02565	141.09386	0.02565
16.5	8842.12296	0.7	0.193	0.618	123.83717	9.7	0.02750	137.23903	0.02750
13.5	7183.85004	0.7	0.193	0.618	108.92006	11.3	0.03004	128.70815	0.03004
10.5	5536.48581	0.7	0.193	0.618	92.72520	14.3	0.03508	118.75476	0.03508
8.5	4437.34261	0.7	0.193	0.618	80.87254	18.3	0.04192	110.90539	0.04192

Tabla 53. Con variación del voltaje: 90.0 - 92.3 Variación de los amperes: 0.39 - 0.42 Calor: 36.916

Velocidad m/s	Re de la aleta	Pr	C (tablas)	m (tablas)	h (W/m ² ·K)	T6 - Tinf (°K)	M	mL	Calor de la aleta
19.5	10360.88400	0.7	0.193	0.618	136.58226	12.9	0.03840	144.12830	0.03840
18.0	9532.67520	0.7	0.193	0.618	129.72803	14.1	0.04091	140.46529	0.04091
16.5	8699.25303	0.7	0.193	0.618	122.59674	15.1	0.04259	136.54996	0.04259
13.5	7051.58711	0.7	0.193	0.618	107.67836	18.3	0.04837	127.97122	0.04837
10.5	5402.93951	0.7	0.193	0.618	91.33652	22.9	0.05575	117.86215	0.05575
8.5	4328.52530	0.7	0.193	0.618	79.64106	26.3	0.05979	110.05777	0.05979

Tabla 54. Con variación del voltaje: 109.1 - 113.0 Variación de los amperes: 0.49 - 0.53 Calor: 56.712

**TABLAS DE PARÁMETROS CALCULADOS
ANGULO 6°**

Velocidad m/s	Tpond - Tinf	Calor Rad.	Calor de la aleta	Perdidas Rad - aleta	Calor Total	h=(q/ADT)
19.5	7.36313	0.78631	0.01877	0.8050819	24.7274181	96.903148
18.0	7.80180	0.83583	0.01978	0.8555822	24.6769178	91.267873
16.5	8.34268	0.89710	0.02063	0.9177297	24.6147703	85.135661
13.5	9.74713	1.05344	0.02256	1.0759986	24.4565014	72.400073
10.5	11.87913	1.30025	0.02694	1.3271876	24.2053122	58.795995
8.5	13.50624	1.49339	0.02816	1.5215535	24.0109465	51.297509

Tabla 55. Con variación del voltaje: 72.3 - 73.6 Variación de los amperes: 0.34 - 0.36 Calor: 25.533

Velocidad m/s	Tpond - Tinf	Calor Rad.	Calor de la aleta	Perdidas Rad - aleta	Calor Total	h=(q/ADT)
19.5	11.15115	1.24180	0.02601	1.2678049	35.6481451	82.244134
18.0	12.36492	1.38645	0.02966	1.4161017	35.4996483	82.842678
16.5	13.86048	1.56421	0.03359	1.5977964	35.3179536	73.525658
13.5	16.48092	1.88614	0.03831	1.9244442	34.9913058	61.263276
10.5	19.32404	2.23855	0.04190	2.2804510	34.635299	51.718114
8.5	23.00137	2.71087	0.04771	2.7585788	34.1571714	42.849901

Tabla 56. Con variación del voltaje: 90.0 - 92.3 Variación de los amperes: 0.39 - 0.42 Calor: 36.916

Velocidad m/s	Tpond - Tinf	Calor Rad.	Calor de la aleta	Perdidas Rad - aleta	Calor Total	h=(q/ADT)
19.5	20.11916	2.31049	0.05112	2.3616067	54.3503933	77.949699
18.0	21.23293	2.45194	0.05382	2.5057593	54.2062407	73.664950
16.5	22.86270	2.66418	0.05814	2.7223256	53.9896744	68.140409
13.5	25.87805	3.06387	0.06073	3.1244007	53.5875903	59.756887
10.5	30.99649	3.75679	0.06819	3.8249788	52.8870212	49.233210
8.5	34.96005	4.32488	0.07214	4.3970220	52.314976	43.179209

Tabla 57. Con variación del voltaje: 109.1 - 113.0 Variación de los amperes: 0.49 - 0.53 Calor: 56.712

**TABLAS DE PARÁMETROS CALCULADOS
ANGULO 15°**

Velocidad m/s	Tpond - Tinf	Calor Rad.	Calor de la aleta	Perdidas Rad - aleta	Calor Total	h=(q/ADT)
19.5	5.98135	0.62800	0.01495	0.6429494	24.8895506	120.071343
18.0	6.79735	0.71518	0.01749	0.7326792	24.7998208	105.276309
16.5	7.64046	0.80894	0.01899	0.8279351	24.7045649	93.299479
13.5	8.73824	0.92938	0.02103	0.9504081	24.5820919	81.173933
10.5	10.21779	1.09488	0.02312	1.1179965	24.4145035	68.946528
8.5	11.99247	1.29787	0.02415	1.3220128	24.2104872	58.252750

Tabla 58. Con variación del voltaje: 72.3 - 73.6 Variación de los amperes: 0.34 - 0.36 Calor: 25.533

Velocidad m/s	Tpond - Tinf	Calor Rad.	Calor de la aleta	Perdidas Rad - aleta	Calor Total	h=(q/ADT)
19.5	11.06048	1.18194	0.02741	1.2093569	35.7063931	93.152323
18.0	11.99692	1.28937	0.02891	1.3192779	35.5964721	85.618765
16.5	13.03114	1.40785	0.03275	1.4406010	35.475149	78.553133
13.5	15.45380	1.69841	0.03681	1.7252190	35.1905314	65.707049
10.5	18.27647	2.02735	0.04055	2.0679034	34.8478466	55.018039
8.5	20.29469	2.27415	0.04271	2.3168909	34.5988891	49.192761

Tabla 59. Con variación del voltaje : 90.0 - 92.3 Variación de los amperes : 0.19 - 0.42 Calor : 36.916

Velocidad m/s	Tpond - Tinf	Calor Rad.	Calor de la aleta	Perdidas Rad - aleta	Calor Total	h=(q/ADT)
19.5	15.85560	1.73582	0.03944	1.7752578	64.6367422	99.977386
18.0	17.24670	1.90137	0.04363	1.9449957	64.7670043	91.629314
16.5	17.61026	1.94692	0.04301	1.9899291	54.7220709	89.664030
13.5	21.18315	2.37964	0.05057	2.4302039	54.2817961	73.941000
10.5	24.78759	2.84083	0.05486	2.8956876	53.8163124	62.647123
8.5	28.24448	3.29977	0.05936	3.3591308	53.3528692	54.506182

Tabla 60. Con variación del voltaje : 109.4 - 113.0 Variación de los amperes : 0.49 - 0.53 Calor : 56.712

TABLAS DE PARÁMETROS CALCULADOS
ANGULO 45°

Velocidad m/s	Tpond - Tinf	Calor Rad.	Calor de la aleta	Perdidas Rad - aleta	Calor Total	h=(q/ADT)
19.5	6.29735	0.64969	0.01850	0.6681958	24.8963042	113.939724
18.0	6.82002	0.70620	0.01726	0.7234574	24.8090426	104.965401
16.5	7.45646	0.77382	0.01907	0.7928911	24.7396089	95.737448
13.5	8.36091	0.87256	0.01977	0.8923286	24.6401174	85.037790
10.5	9.97913	1.05107	0.02246	1.0735288	24.4589712	70.724066
8.5	11.63559	1.23587	0.02308	1.2589467	24.2735533	60.195875

Tabla 61. Con variación del voltaje : 72.3 - 73.6 Variación de los amperes : 0.14 - 0.36 Calor : 25.533

Velocidad m/s	Tpond - Tinf	Calor Rad.	Calor de la aleta	Perdidas Rad - aleta	Calor Total	h=(q/ADT)
19.5	8.06048	0.84585	0.01854	0.8643891	36.0513809	129.057274
18.0	8.83558	0.93083	0.02099	0.9518204	35.9639296	117.450112
16.5	9.99692	1.05727	0.02353	1.0808021	35.8349479	103.433731
13.5	11.51514	1.23090	0.02633	1.2572293	35.6585207	89.354348
10.5	14.27647	1.54748	0.03092	1.5784056	35.3373444	71.422414
8.5	17.56048	1.93329	0.03598	1.9692688	34.9464812	57.423372

Tabla 62. Con variación del voltaje : 90.0 - 92.3 Variación de los amperes : 0.39 - 0.42 Calor : 36.916

Velocidad m/s	Tpond - Tinf	Calor Rad.	Calor de la aleta	Perdidas Rad - aleta	Calor Total	h=(q/ADT)
19.5	15.45115	1.68476	0.03888	1.7236371	54.9883829	102.690787
18.0	16.93293	1.85632	0.04193	1.9002478	54.8117522	93.403489
16.5	18.15560	2.00678	0.04385	2.0506300	54.66137	88.874330
13.5	21.29914	2.38937	0.05137	2.4407397	54.2712603	73.524038
10.5	24.50804	2.78033	0.05424	2.8345754	53.8774246	63.433670
8.5	27.58005	3.17785	0.05633	3.2341832	53.4778168	55.990818

Tabla 62. Con variación del voltaje : 109.4 - 113.0 Variación de los amperes : 0.49 - 0.53 Calor : 56.712

TABLAS DE PARÁMETROS CALCULADOS
ANGULO 60°

Velocidad m/s	Tpond - Tinf	Calor Rad.	Calor de la aleta	Perdidas Rad - aleta	Calor Total	h=(q/ADT)
19.5	7.66313	0.80900	0.01971	0.8287136	22.0192864	82.912238
18.0	8.38135	0.88626	0.02156	0.9078186	21.9401814	75.534921
16.5	8.68313	0.92012	0.02153	0.9416523	21.9093477	72.965359
13.5	9.83336	1.05164	0.02207	1.0737148	21.7742852	63.894507
10.5	12.14936	1.31197	0.02652	1.3384910	21.509509	51.085632
8.5	13.36313	1.45189	0.02826	1.4801483	21.3678517	46.189644

Tabla 63. Con variación del voltaje : 70.0 - 72.8 Variación de los amperes : 0.19 - 0.35 Calor : 22.848

Velocidad m/s	Tpond - Tinf	Calor Rad.	Calor de la aleta	Perdidas Rad - aleta	Calor Total	h=(q/ADT)
19.5	11.75380	1.28064	0.03928	1.3109135	32.5850865	79.994838
18.0	12.58447	1.37823	0.03182	1.4100542	32.4859458	74.487273
16.5	13.67870	1.50631	0.03347	1.5397873	32.3582127	68.255009
13.5	15.34226	1.71036	0.03534	1.7457044	32.1502956	60.466845
10.5	18.18315	2.05805	0.03942	2.0974664	31.7985336	50.481440
8.5	19.94448	2.28176	0.04071	2.3224769	31.5735231	45.679557

Tabla 64. Con variación del voltaje : 88.4 - 90.0 Variación de los amperes : 0.39 - 0.37 Calor : 33.896

Velocidad m/s	Tpond - Tinf	Calor Rad.	Calor de la aleta	Pérdidas Rad - aleta	Calor Total	h=(q/ADT)
19.5	18.29649	2.03778	0.04640	2.0841844	54.0718156	85.275591
18.0	19.36937	2.17318	0.04923	2.2224099	53.9335901	80.346198
16.5	20.61249	2.32937	0.05094	2.3803088	53.7756912	75.279579
13.5	23.60761	2.71072	0.05376	2.7644830	53.391517	65.259209
10.5	28.80539	3.39107	0.06230	3.4533672	52.7026328	52.793466
8.5	32.18049	3.85987	0.06627	3.9261371	52.2298629	46.832545

Tabla 65. Con variación del voltaje : 110.0 - 112.4 Variación de los amperes : 0.49 - 0.52 Calor : 56.16

**TABLAS DE PARÁMETROS CALCULADOS
ANGULO 0°**

Velocidad m/s	H=(q/ADT)	Nu	Re	Nu* (area proyectada)	Re* (area proyectada)
19.5	96.003148	281.32402	78982.975	281.32402	78982.975
18.0	91.267873	284.72413	72758.054	284.72413	72758.054
16.5	85.135961	246.67865	66536.637	246.67865	66536.637
13.5	72.400073	209.48009	54264.270	209.48009	54264.270
10.5	58.795995	169.51352	41865.729	169.51352	41865.729
8.5	51.297509	147.47583	33673.457	147.47583	33673.457

Tabla 66. Con variación del voltaje : 72.3 - 73.6 Variación de los amperes : 0.34 - 0.36 Calor : 25.533

Velocidad m/s	H=(q/ADT)	Nu	Re	Nu* (area proyectada)	Re* (area proyectada)
19.5	92.244134	264.66023	76897.581	264.66023	76897.581
18.0	82.842678	237.21989	70695.455	237.21989	70695.455
16.5	73.525658	210.16322	64512.150	210.16322	64512.150
13.5	61.263276	174.43343	52318.072	174.43343	52318.072
10.5	51.718114	146.76366	40379.799	146.76366	40379.799
8.5	42.849901	121.02372	32335.604	121.02372	32335.604

Tabla 67. Con variación del voltaje : 90.0 - 92.3 Variación de los amperes : 0.39 - 0.42 Calor : 36.916

Velocidad m/s	H=(q/ADT)	Nu	Re	Nu* (area proyectada)	Re* (area proyectada)
19.5	77.949699	221.74989	75416.387	221.74989	75416.387
18.0	73.664950	209.24117	69372.454	209.24117	69372.454
16.5	68.140409	193.06902	63228.481	193.06902	63228.481
13.5	59.756887	168.57540	51217.030	168.57540	51217.030
10.5	49.23210	138.00835	39257.411	138.00835	39257.411
8.5	43.179299	120.36854	31375.470	120.36854	31375.470

Tabla 68. Con variación del voltaje : 109.4 - 113.0 Variación de los amperes : 0.49 - 0.53 Calor : 56.712

**TABLAS DE PARÁMETROS CALCULADOS
ANGULO 15°**

Velocidad m/s	h=(q/ADT)	Nu	Re	Nu* (area proyectada)	Re* (area proyectada)
19.5	120.071343	350.26847	79847.811	428.98947	97793.188
18.0	105.276309	306.92621	73606.765	375.90627	90149.498
16.5	93.299479	271.52641	67203.022	332.55054	82306.548
13.5	81.173933	235.93612	54825.665	288.96152	67147.445
10.5	68.948528	199.97613	42440.020	244.91971	51978.191
8.5	58.252750	168.48834	34139.592	206.35521	41812.285

Tabla 69. Con variación del voltaje : 72.3 - 73.6 Variación de los amperes : 0.34 - 0.36 Calor : 25.533

Velocidad m/s	h=(q/ADT)	Nu	Re	Nu* (area proyectada)	Re* (area proyectada)
19.5	93.152323	270.39748	78955.268	331.16789	96703.748
18.0	85.616765	248.12380	72619.338	303.88832	88940.152
16.5	78.553133	227.32037	66347.616	278.40942	81258.894
13.5	65.707049	189.55175	53900.387	232.15251	66014.215
10.5	55.018039	158.04623	41521.392	193.56829	50853.106
8.5	49.192761	140.91622	33398.327	172.58940	40904.425

Tabla 70. Con variación del voltaje : 90.0 - 92.3 Variación de los amperes : 0.39 - 0.42 Calor : 36.916

Velocidad m/s	h=(q/ADT)	Nu	Re	Nu* (area proyectada)	Re* (area proyectada)
19.5	99.977396	288.25225	77756.468	353.03543	95231.826
18.0	91.629314	263.66908	71458.104	322.92732	87517.936
16.5	89.664030	257.81075	65386.054	315.75236	80081.225
13.5	73.941000	211.66590	52982.544	259.23669	64865.597
10.5	62.647123	178.34749	40676.647	218.43015	49818.510
8.5	54.506182	154.35511	32533.439	189.04561	39845.159

Tabla 71. Con variación del voltaje : 109.4 - 113.0 Variación de los amperes : 0.49 - 0.53 Calor : 56.712

**TABLAS DE PARÁMETROS CALCULADOS
ANGULO 30°**

Velocidad m/s	h=(q/ADT)	N u	Re	N u* (area proyectada)	Re*(area proyectada)
19.5	80.070001	259.88789	79855.750	355.14346	109265.845
18.0	86.558889	252.44131	73682.427	344.83483	100665.522
16.5	85.348599	248.66277	67371.569	339.67335	92068.568
13.5	79.474047	231.04321	54851.373	315.60502	74958.732
10.5	61.033185	177.05897	42457.097	241.85982	58022.205
8.5	49.956972	144.85019	34223.351	197.50216	46768.911

Tabla 72. Con variación del voltaje : 70.0 - 73.0 Variación de los amperes : 0.29 - 0.35 Calor : 22.88

Velocidad m/s	h=(q/ADT)	N u	Re	N u* (area proyectada)	Re*(area proyectada)
19.5	85.742750	248.78992	78888.896	339.84703	107805.172
18.0	78.945107	228.88157	72542.227	312.37902	99134.680
16.5	73.149751	211.66086	66331.298	289.12873	90646.949
13.5	67.705703	195.28578	53880.531	266.76038	73632.000
10.5	56.627946	162.79521	41593.629	222.37826	56840.978
8.5	46.017894	131.70618	33331.709	179.01065	45550.412

Tabla 73. Con variación del voltaje : 90.0 - 91.7 Variación de los amperes : 0.39 - 0.42 Calor : 36.794

Velocidad m/s	h=(q/ADT)	N u	Re	N u* (area proyectada)	Re*(area proyectada)
19.5	79.736499	228.47960	76672.168	312.10313	104778.571
18.0	75.513646	216.00801	70497.741	295.06694	96340.728
16.5	70.180892	200.34285	64321.597	273.88833	87900.541
13.5	60.374885	171.50807	52040.859	234.28002	71117.942
10.5	50.969667	143.74231	39807.384	196.35199	54399.906
8.5	44.358244	124.38561	31803.223	169.91074	43461.615

Tabla 74. Con variación del voltaje : 110.0 - 112.0 Variación de los amperes : 0.49 - 0.52 Calor : 56.055

**TABLAS DE PARÁMETROS CALCULADOS
ANGULO 45°**

Velocidad m/s	h=(q/ADT)	N u	Re	N u* (area proyectada)	Re*(area proyectada)
19.5	113.939724	334.04940	80753.735	472.41618	114202.783
18.0	104.985401	307.41800	74367.287	434.75377	105171.000
16.5	95.737448	280.21547	68073.613	396.28367	96270.421
13.5	85.037790	248.50382	55497.747	351.43672	78485.498
10.5	70.724096	206.13785	42912.104	291.52232	60686.750
8.5	60.195875	175.03768	34553.484	247.54013	48865.901

Tabla 75. Con variación del voltaje : 72.7 - 73.6 Variación de los amperes : 0.34 - 0.36 Calor : 25.533

Velocidad m/s	h=(q/ADT)	N u	Re	N u* (area proyectada)	Re*(area proyectada)
19.5	129.057274	376.54708	79878.985	532.51684	112965.701
18.0	117.450112	342.30160	73550.212	484.08653	104015.480
16.5	103.433731	301.12431	67255.761	425.85316	95113.805
13.5	89.354348	259.25281	54653.837	366.77947	77292.032
10.5	71.422414	206.49714	42134.160	292.03044	59586.573
8.5	57.423374	165.30552	33774.833	233.77881	47764.725

Tabla 76. Con variación del voltaje : 90.0 - 92.3 Variación de los amperes : 0.39 - 0.42 Calor : 36.916

Velocidad m/s	h=(q/ADT)	N u	Re	N u* (area proyectada)	Re*(area proyectada)
19.5	102.690787	296.41009	77956.166	419.18628	110246.430
18.0	93.403489	269.11839	71666.158	380.59006	101351.035
16.5	86.874330	249.80860	65397.409	353.28195	92485.704
13.5	73.524038	210.55519	52010.116	297.76937	74967.464
10.5	63.433670	181.10446	40943.621	256.11983	57902.900
8.5	55.990618	159.14122	32807.795	225.05919	46397.130

Tabla 77. Con variación del voltaje : 109.1 - 113.0 Variación de los amperes : 0.49 - 0.53 Calor : 56.712

**TABLAS DE PARÁMETROS CALCULADOS
ANGULO 60°**

Velocidad m/s	h=(q/ADT)	N u	Re	N u* (area proyectada)	Re*(area proyectada)
19.5	82.912236	241.49549	79560.824	329.88284	108738.172
18.0	75.534921	219.90801	73373.601	300.39434	100270.818
16.5	72.965359	212.16049	67068.467	289.81123	91654.356
13.5	63.894507	185.42401	54633.098	253.28919	74660.442
10.5	51.085632	147.85082	42232.261	201.96422	57713.719
8.5	46.139644	133.30795	34055.609	182.09866	46539.678

Tabla 78. Con variación del voltaje : 70.0 - 72.8 Variación de los amperes : 0.29 - 0.35 Calor : 22.848

Velocidad m/s	$h=(q/ADT)$	N u	Re	N u* (area proyectada)	Re*(area proyectada)
19.5	70.994838	230.93135	77980.384	315.45223	100586.351
18.0	74.487273	214.72099	71745.737	293.30887	98046.214
16.5	68.255003	196.45420	65538.285	268.35643	89563.213
13.5	60.469845	173.44100	53204.563	236.92041	72708.228
10.5	50.461440	144.13311	40985.588	196.88582	56010.015
8.5	45.679557	130.08068	32953.871	177.69840	45034.067

Tabla 79. Con variación del voltaje : 88.4 - 90.0 Variación de los amperes : 0.39 - 0.37 Calor : 33.896

Velocidad m/s	$h=(q/ADT)$	N u	Re	N u* (area proyectada)	Re*(area proyectada)
19.5	85.275591	244.69520	78910.902	334.23998	105104.819
18.0	80.346198	230.06981	70664.461	314.27536	96568.565
16.5	75.279579	215.13135	64481.220	293.86943	88118.677
13.5	65.259209	185.67663	52229.626	253.63428	71375.908
10.5	52.793466	149.18806	39993.253	203.79089	54653.937
8.5	46.832545	131.66992	31998.209	179.86111	43728.079

Tabla 80. Con variación del voltaje : 110.0 - 112.4 Variación de los amperes : 0.49 - 0.52 Calor : 56.16

**TABLAS DE PARÁMETROS CALCULADOS
ÁNGULO 75°**

Velocidad m/s	$h=(q/ADT)$	N u	Re	N u* (area proyectada)	Re*(area proyectada)
19.5	127.419283	373.59589	80786.905	457.55990	58918.842
18.0	114.155946	334.49590	74447.969	409.87209	91179.759
16.5	108.804435	318.40221	68045.085	389.98143	83337.859
13.5	92.518624	270.15354	55399.957	330.86912	67850.805
10.5	74.342319	216.58063	42865.935	265.25598	52499.828
8.5	61.321305	178.20992	34509.553	218.26166	42265.393

Tabla 81. Con variación del voltaje : 72.3 - 73.6 Variación de los amperes : 0.34 - 0.36 Calor : 25.533

Velocidad m/s	$h=(q/ADT)$	N u	Re	N u* (area proyectada)	Re*(area proyectada)
19.5	108.765136	311.22349	79715.619	381.16934	97631.285
18.0	98.960206	288.33147	73502.785	353.13245	90022.150
16.5	91.526545	266.36163	67200.134	326.22501	82303.011
13.5	78.545038	227.87427	54597.260	279.08781	68867.707
10.5	62.967709	181.94446	42077.292	222.83552	51533.942
8.5	52.709153	151.63375	33723.804	185.71264	41303.051

Tabla 82. Con variación del voltaje : 90.0 - 92.3 Variación de los amperes : 0.39 - 0.42 Calor : 36.916

Velocidad m/s	$h=(q/ADT)$	N u	Re	N u* (area proyectada)	Re*(area proyectada)
19.5	103.698814	300.64796	76742.718	368.21701	96439.730
18.0	95.794737	277.33160	72448.331	339.66042	88730.713
16.5	90.128667	260.41334	66114.323	318.93987	80973.189
13.5	75.215226	216.43383	53592.062	265.07619	65636.596
10.5	61.640841	176.20928	41082.340	215.81139	50290.885
8.5	53.257047	151.55098	32896.782	185.61127	40290.173

Tabla 83. Con variación del voltaje : 109.4 - 113.0 Variación de los amperes : 0.49 - 0.53 Calor : 56.712

TABLA 84 DE PARÁMETROS CALCULADOS

N u	R e	Angulo	cos angulo	LN N u (zi)	LN R e (xi)	LN angulo (yi)	xi*xi	yi*yi	xi*yi	xi*zi	yi*zi
120.368541	31375.4698	0	1	4.79055821	10.3537817	0	107.200794	0	0	49.6003937	0
121.023717	32335.6039	0	1	4.79598653	10.3839242	0	107.825882	0	0	49.8011606	0
138.008348	39257.4111	0	1	4.92731417	10.5778955	0	111.891874	0	0	52.1206145	0
146.763661	40379.7985	0	1	4.98882354	10.6060849	0	112.489037	0	0	52.911886	0
147.475826	33673.4574	0	1	4.99366427	10.4244652	0	108.669475	0	0	52.0562794	0
168.575399	51217.0303	0	1	5.12738312	10.8438274	0	117.588592	0	0	55.6004575	0
169.513520	41865.7291	0	1	5.13293269	10.6422229	0	113.256907	0	0	54.6258136	0
174.433432	52316.0719	0	1	5.16154319	10.8650589	0	118.049505	0	0	56.0804708	0
193.066015	63228.4809	0	1	5.26303218	11.0545101	0	122.202194	0	0	58.1802425	0
209.241170	69372.4542	0	1	5.34348751	11.1472452	0	124.261075	0	0	59.5651652	0
209.480086	54264.2704	0	1	5.34462868	10.9016213	0	118.845347	0	0	58.2651178	0
210.163222	64512.1498	0	1	5.34788448	11.0746089	0	122.646961	0	0	59.2257288	0
221.749892	75416.3874	0	1	5.40155013	11.2307799	0	126.130416	0	0	60.6636205	0
237.219894	70685.4551	0	1	5.46898753	11.1657121	0	124.673127	0	0	61.0651404	0
246.678653	66536.6374	0	1	5.50808649	11.105508	0	123.332308	0	0	61.1700987	0
264.660231	76897.5805	0	1	5.57844686	11.2502297	0	126.567668	0	0	62.7588085	0
264.724129	72758.0539	0	1	5.57868826	11.1948949	0	125.325671	0	0	62.4528287	0
281.324024	78982.9749	0	1	5.63950712	11.2769876	0	127.170449	0	0	63.5966518	0
154.355108	32533.4393	15	0.96592583	5.03925584	10.3900237	-0.03466823	107.952593	0.00120189	-0.36020375	52.3579879	-0.17470209
140.916224	33398.3269	15	0.96592583	4.94816556	10.4162611	-0.03466823	108.498495	0.00120189	-0.36111336	51.5413843	-0.17154415
178.347489	40676.6472	15	0.96592583	5.18373383	10.6134094	-0.03466823	112.64446	0.00120189	-0.36794814	55.0170896	-0.17971089
158.046231	41521.3919	15	0.96592583	5.06288759	10.633964	-0.03466823	113.081191	0.00120189	-0.36866073	53.8385646	-0.17552136
168.488342	34139.5915	15	0.96592583	5.12686656	10.438213	-0.03466823	108.956291	0.00120189	-0.36187439	53.5153253	-0.1777394
211.685897	52962.5442	15	0.96592583	5.35500907	10.8773402	-0.03466823	118.31653	0.00120189	-0.37709816	58.2482556	-0.1856487
199.976129	42440.02	15	0.96592583	5.29819801	10.6558471	-0.03466823	113.547077	0.00120189	-0.36941938	56.4567877	-0.18367916
189.551752	53900.387	15	0.96592583	5.24466209	10.8948929	-0.03466823	118.698692	0.00120189	-0.37770668	57.1400319	-0.18182316
257.810750	65386.0537	15	0.96592583	5.55222579	11.0880643	-0.03466823	122.945169	0.00120189	-0.38440359	61.5634364	-0.19248585
263.669084	71458.1038	15	0.96592583	5.57469485	11.1768666	-0.03466823	124.922347	0.00120189	-0.38748221	62.3076206	-0.19326481
235.936120	54825.6649	15	0.96592583	5.46356109	10.9119137	-0.03466823	119.069861	0.00120189	-0.37829676	59.6179071	-0.189412
227.320367	66347.6164	15	0.96592583	5.42636033	11.1026631	-0.03466823	123.269128	0.00120189	-0.3849097	60.2470507	-0.18812232
288.252252	77756.4685	15	0.96592583	5.66383597	11.261337	-0.03466823	126.817712	0.00120189	-0.39041065	63.7823657	-0.19635518
248.123804	72619.3384	15	0.96592583	5.51392783	11.1929865	-0.03466823	125.282948	0.00120189	-0.38804106	61.71732	-0.19115813
271.526409	67203.0223	15	0.96592583	5.6040594	11.1154735	-0.03466823	123.553751	0.00120189	-0.38535382	62.2917738	-0.19428283
270.397476	78958.2883	15	0.96592583	5.59989301	11.276675	-0.03466823	127.163399	0.00120189	-0.39094239	63.1481735	-0.19413839
306.926214	73606.7647	15	0.96592583	5.72660737	11.2064922	-0.03466823	125.585468	0.00120189	-0.38850927	64.1751809	-0.19853135
350.268472	79847.8107	15	0.96592583	5.85869992	11.2878777	-0.03466823	127.416184	0.00120189	-0.39133077	66.1322884	-0.20311077

TABLA 85 DE PARÁMETROS CALCULADOS

N u	R e	Angulo	cos angulo	LN N u (zi)	LN R e (xi)	N angulo (yi)	xi*xi	yi*yi	xi*yi	xi*zi	yi*zi
124.385611	31803.2233	30	0.8660254	4.82338651	10.3673229	-0.14384104	107.481385	0.02069024	-1.49124647	50.0056055	-0.69380091
131.706184	33331.7088	30	0.8660254	4.88057356	10.4142644	-0.14384104	108.456904	0.02069024	-1.49799859	50.8275837	-0.70202676
143.742308	39807.3641	30	0.8660254	4.96802217	10.5918072	-0.14384104	112.18638	0.02069024	-1.52353652	52.620333	-0.71460546
144.650188	34223.3512	30	0.8660254	4.97431833	10.4406635	-0.14384104	109.007454	0.02069024	-1.50179585	51.9351837	-0.7155111
162.795210	41593.6292	30	0.8660254	5.09249303	10.6357023	-0.14384104	113.118163	0.02069024	-1.52985044	54.1622398	-0.73250947
171.508067	52040.8589	30	0.8660254	5.1446303	10.8597844	-0.14384104	117.934918	0.02069024	-1.56208265	55.8695761	-0.74000895
177.056970	42457.9969	30	0.8660254	5.17647154	10.6562706	-0.14384104	113.556102	0.02069024	-1.532809	55.1618813	-0.74458903
195.285783	53880.5311	30	0.8660254	5.27446404	10.8945245	-0.14384104	118.690664	0.02069024	-1.56707969	57.4627777	-0.75868437
200.342851	64321.5973	30	0.8660254	5.30003015	11.0716507	-0.14384104	122.58145	0.02069024	-1.59255771	58.6800827	-0.76236183
211.660857	66331.2931	30	0.8660254	5.35498526	11.1024171	-0.14384104	123.263665	0.02069024	-1.59698317	59.4532797	-0.77026663
216.008010	70497.7407	30	0.8660254	5.37531549	11.1633359	-0.14384104	124.620069	0.02069024	-1.60574581	60.0064526	-0.77319095
228.479601	76672.1683	30	0.8660254	5.43144693	11.2472941	-0.14384104	126.501624	0.02069024	-1.61782243	61.0890808	-0.78126495
228.681566	72542.227	30	0.8660254	5.43233049	11.1919241	-0.14384104	125.259165	0.02069024	-1.60985796	60.7982306	-0.78139205
231.043207	54851.3733	30	0.8660254	5.44260474	10.9123825	-0.14384104	119.080092	0.02069024	-1.56984841	59.3917847	-0.78286991
248.662773	67371.5691	30	0.8660254	5.51609765	11.1179784	-0.14384104	123.609443	0.02069024	-1.59922153	61.3278545	-0.7934412
248.789919	78886.8965	30	0.8660254	5.51660884	11.2757704	-0.14384104	127.142998	0.02069024	-1.6219185	62.2040148	-0.79351473
252.441312	73662.4274	30	0.8660254	5.5311788	11.2072481	-0.14384104	125.602411	0.02069024	-1.61206219	61.9892933	-0.79561049
259.987891	79955.7504	30	0.8660254	5.56063506	11.2892286	-0.14384104	127.446683	0.02069024	-1.62385435	62.7752805	-0.79984751
159.141219	32807.7958	45	0.70710678	5.06979198	10.3984214	-0.34657359	108.127169	0.12011325	-3.60381825	52.7178336	-1.75705601
165.305521	33774.8333	45	0.70710678	5.10779541	10.4274712	-0.34657359	108.732156	0.12011325	-3.61388614	53.2613896	-1.77022699
181.104459	40943.6212	45	0.70710678	5.19907399	10.6199513	-0.34657359	112.783366	0.12011325	-3.68059465	55.2139126	-1.80186174
206.497145	42134.1604	45	0.70710678	5.33028658	10.6486141	-0.34657359	113.392982	0.12011325	-3.69052842	56.7601649	-1.84733656
175.037678	34553.4842	45	0.70710678	5.16500125	10.4502637	-0.34657359	109.208011	0.12011325	-3.6217854	53.9756249	-1.79005303
210.555192	53010.1159	45	0.70710678	5.34974781	10.878238	-0.34657359	118.336063	0.12011325	-3.77011001	58.1958302	-1.85408131
206.137852	42912.1045	45	0.70710678	5.32854513	10.6669092	-0.34657359	113.782952	0.12011325	-3.69686903	56.8391072	-1.84673302
259.352806	54653.8372	45	0.70710678	5.55818932	10.9087747	-0.34657359	119.001366	0.12011325	-3.78069321	60.633035	-1.92632163
249.808599	65397.4085	45	0.70710678	5.52069502	11.0882379	-0.34657359	122.94902	0.12011325	-3.84289042	61.2147798	-1.91332709
269.118391	71666.1579	45	0.70710678	5.5951514	11.1797739	-0.34657359	124.987345	0.12011325	-3.87461439	62.5525277	-1.93913171
248.503819	55497.747	45	0.70710678	5.51545821	10.9240977	-0.34657359	119.335911	0.12011325	-3.78600376	60.2514044	-1.91151215
301.124306	67255.7609	45	0.70710678	5.70752316	11.116258	-0.34657359	123.571191	0.12011325	-3.85260143	63.4462997	-1.97807679
296.410094	77956.1658	45	0.70710678	5.69174395	11.263902	-0.34657359	126.875488	0.12011325	-3.90377095	64.1112459	-1.97260814
342.301603	73550.2116	45	0.70710678	5.83569223	11.2057236	-0.34657359	125.568241	0.12011325	-3.88360786	65.3931542	-2.02249681
280.215473	68073.6135	45	0.70710678	5.63555885	11.1283449	-0.34657359	123.840061	0.12011325	-3.85679046	62.7144429	-1.95313586
376.547076	79878.9848	45	0.70710678	5.93104308	11.2882681	-0.34657359	127.424996	0.12011325	-3.9122156	66.9512042	-2.05554289
307.417999	74367.2867	45	0.70710678	5.72820838	11.2167714	-0.34657359	125.815961	0.12011325	-3.88743675	64.2520041	-1.98524574
334.049405	80753.7353	45	0.70710678	5.8112889	11.2991595	-0.34657359	127.671005	0.12011325	-3.91599027	65.6626802	-2.01403926

TABLA 86 DE PARÁMETROS CALCULADOS

Nu	Re	Angulo	cos angulo	LN Nu (zi)	LN Re (xi)	LN angulo (yi)	xi*xi	yi*yi	xi*yi	xi*zi	yi*zi
130.254426	32953.8711	60	0.5	4.86948966	10.402864	-0.693147181	108.21958	0.48045301	-7.21071586	50.6566388	-3.37527303
131.836977	31998.2091	60	0.5	4.88156614	10.3734352	-0.693147181	107.608158	0.48045301	-7.19031737	50.63861	-3.3836438
133.484277	34055.6086	60	0.5	4.8939837	10.43575	-0.693147181	108.904878	0.48045301	-7.2335107	51.0723905	-3.392251
144.311771	40985.5685	60	0.5	4.97197604	10.6209753	-0.693147181	112.805116	0.48045301	-7.36189908	52.8072347	-3.44631117
148.033132	42232.261	60	0.5	4.99743611	10.6509397	-0.693147181	113.442516	0.48045301	-7.38266881	53.2273906	-3.46395875
149.364419	39993.2529	60	0.5	5.00638909	10.596466	-0.693147181	112.285093	0.48045301	-7.34491056	53.050032	-3.47016448
173.631661	53204.5632	60	0.5	5.15693616	10.8818994	-0.693147181	118.415736	0.48045301	-7.54275792	56.1172608	-3.57451576
185.611955	54633.0981	60	0.5	5.22365823	10.9083952	-0.693147181	118.993085	0.48045301	-7.56112336	56.9817282	-3.62076398
185.863589	52229.6262	60	0.5	5.22501301	10.8634052	-0.693147181	118.013572	0.48045301	-7.52993866	56.7614333	-3.62170304
196.657439	65538.2645	60	0.5	5.28146333	11.0903894	-0.693147181	122.996738	0.48045301	-7.68727217	58.5734851	-3.66083142
212.369023	67068.4666	60	0.5	5.35832544	11.1134693	-0.693147181	123.509199	0.48045301	-7.70326989	59.5495851	-3.71410817
214.931310	71745.737	60	0.5	5.37031849	11.1808837	-0.693147181	125.012161	0.48045301	-7.74999803	60.0449065	-3.72242112
215.335136	64481.2197	60	0.5	5.37219559	11.0741293	-0.693147181	122.63634	0.48045301	-7.6760015	59.4923885	-3.72372222
220.124054	73373.6009	60	0.5	5.39419127	11.2033195	-0.693147181	125.514368	0.48045301	-7.76554932	60.4328482	-3.73896847
230.279832	70664.4614	60	0.5	5.43929523	11.1656981	-0.693147181	124.672813	0.48045301	-7.73947213	60.7335282	-3.77023215
231.145914	77980.3836	60	0.5	5.44304917	11.2642126	-0.693147181	126.882485	0.48045301	-7.80775719	61.311663	-3.77283419
241.711687	79569.6236	60	0.5	5.48774564	11.2843877	-0.693147181	127.337405	0.48045301	-7.82174151	61.9258493	-3.80381542
244.895178	76910.9019	60	0.5	5.50083027	11.2504029	-0.693147181	126.571566	0.48045301	-7.79818506	61.8865569	-3.81288499
151.550983	32896.7923	75	0.25881905	5.02092209	10.4011304	-1.351626129	108.183514	1.82689319	-14.0584397	52.2232655	-6.78640949
151.633751	33723.8038	75	0.25881905	5.02146808	10.4259592	-1.351626129	108.700625	1.82689319	-14.0919989	52.3536214	-6.78714746
176.209285	41062.3402	75	0.25881905	5.17167241	10.6228467	-1.351626129	112.844872	1.82689319	-14.3581171	54.9378831	-6.99016755
181.944459	42077.2922	75	0.25881905	5.20370147	10.6472635	-1.351626129	113.36422	1.82689319	-14.3911195	55.4051807	-7.03345887
178.209916	34509.553	75	0.25881905	5.18296216	10.4489915	-1.351626129	109.181423	1.82689319	-14.1231299	54.1567274	-7.00542708
216.433827	53592.062	75	0.25881905	5.37728485	10.8891562	-1.351626129	118.573724	1.82689319	-14.7180681	58.5540949	-7.26807871
216.580628	42865.9351	75	0.25881905	5.3779629	10.6658327	-1.351626129	113.759988	1.82689319	-14.4162182	57.3604527	-7.26899517
227.874270	54597.2603	75	0.25881905	5.42879403	10.907739	-1.351626129	118.97877	1.82689319	-14.743185	59.2158683	-7.33769986
260.413341	68114.323	75	0.25881905	5.56227014	11.0931407	-1.351626129	123.190924	1.82689319	-15.0018886	61.7364189	-7.51810966
277.331600	72448.3315	75	0.25881905	5.6252139	11.1906289	-1.351626129	125.230176	1.82689319	-15.1255464	62.9496814	-7.60318609
270.153536	55399.9566	75	0.25881905	5.59899045	10.9223341	-1.351626129	119.297382	1.82689319	-14.7629121	61.1540443	-7.56774179
266.361632	67200.1345	75	0.25881905	5.58485491	11.1154305	-1.351626129	123.552796	1.82689319	-15.0239063	62.0780667	-7.54863582
300.647960	78742.7184	75	0.25881905	5.70594001	11.2739411	-1.351626129	127.101748	1.82689319	-15.2381534	64.3284315	-7.71229761
288.331469	73502.7855	75	0.25881905	5.66411075	11.2050786	-1.351626129	125.553786	1.82689319	-15.145077	63.4668061	-7.65576009
318.402207	68045.0845	75	0.25881905	5.76331539	11.1279258	-1.351626129	123.830732	1.82689319	-15.0407952	64.1337458	-7.78984767
311.223493	79715.619	75	0.25881905	5.74051128	11.2862208	-1.351626129	127.37878	1.82689319	-15.254751	64.7886779	-7.75902504
334.495895	74447.9693	75	0.25881905	5.81262461	11.2178558	-1.351626129	125.840288	1.82689319	-15.162347	65.2051844	-7.8564953
373.595894	80766.9048	75	0.25881905	5.92317471	11.2993226	-1.351626129	127.67469	1.82689319	-15.2724596	66.9278617	-8.00591771
Sumatorias totales de todos los valores para todos los ángulos											
23683.14075	6219382.81	4050	77.361787	578.151173	1178.89623	-46.25741103	12878.8507	44.0883286	-505.279185	6318.98574	-249.908318