



697.93
B188

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Departamento de Ingeniería Mecánica

DISEÑO DE UNA CENTRAL DE ENFRIAMIENTO
DE AGUA PARA UN SISTEMA DE
AIRE ACONDICIONADO INTEGRAL
PARA LA ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL

INVENTARIADO
RESPONSABLE:
- 7 ABR. 1980

INVENTARIADO 29 ABR. 1977
RESPONSABLE:

TESIS DE GRADO

Previa a la Obtención del Título

de Ingeniero Mecánico

Presentada por:

INVENTARIADO

RESPONSABLE:

10 MAR. 1981

Hugo Jaime Balladares M.

Guayaquil - Ecuador

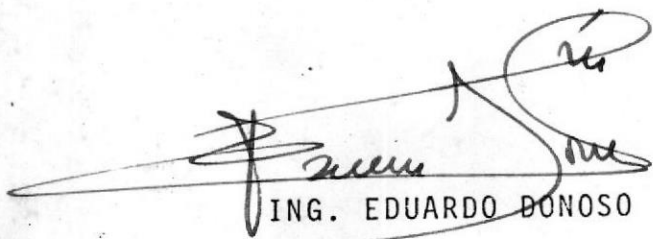
Agosto 1977



Handwritten initials

"DISEÑO DE UNA CENTRAL DE ENFRIAMIENTO DE AGUA
PARA UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO INTEGRAL
PARA LA ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL"

DIRECTOR DE TESIS


ING. EDUARDO DONOSO

AUTOR


HUGO J. BALLADARES MORENO



BIBLIOTECA

DEDICATORIAS

A MIS PADRES, quienes con su abnegado amor y ejemplo han sabido estimularme durante toda mi carrera estudiantil hasta convertirse en realidad el anhelo de mi vida.

A MI ESPOSA, quién depositó en mi su fé, confianza y respeto.

A MI HIJA, quién sin saberlo me ha proporcionado el estímulo final para la culminación de mi carrera profesional.



BIBLIOTECA

AGRADECIMIENTOS

Al ING. EDUARDO DONOSO por toda la información que me proporcionó, así como su acertada dirección en este trabajo.

A los profesores del Departamento de Ingeniería Mecánica.

Al DEPARTAMENTO DE PLANIFICACION FISICA DE LA ESPOL por el suministro de los planos arquitectónicos de la Escuela.

A la Compañía DELTA-DELFINI, especialmente al ING. RICARDO DELFINI por su invaluable estímulo y colaboración.

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta Tesis, corresponde exclusivamente a su Autor; y, el patrimonio intelectual de la misma corresponde a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales).

1.- INTRODUCCION

La función principal del acondicionamiento de aire es mantener, dentro de un espacio determinado, condiciones de confort. Para conseguirlo debe instalarse un equipo acondicionador de capacidad adecuada y mantener su control durante todo el año. La capacidad del equipo se determina de acuerdo con las exigencias instantáneas de la máxima carga real o efectiva; el tipo de control a utilizarse dependerá de las condiciones que deben mantenerse durante las cargas máxima y parcial. Generalmente, es imposible medir las cargas reales máxima o parcial en un espacio dado, por lo que es preciso hacer un cálculo o estimación de dichas cargas.

Antes de hacer la estimación de la carga es necesario realizar un estudio completo que garantice la exactitud de evaluación de las componentes de carga examinando minuciosamente las condiciones del local y de la carga real instantánea para así proyectar un sistema económico, de funcionamiento uniforme y exento de averías.

"Ganancia o pérdida de calor" es la cantidad instantánea de calor que entra o sale del espacio a acondicionar. "Carga real o efectiva" es, por definición, la cantidad instantánea de calor añadida o eliminada por el equipo. La ganancia instantánea y la carga real rara vez serán iguales debido a la inercia térmica o efecto de almacenamiento o acumulación de calor en las estructuras del edificio que rodean al local acondicionado.

La selección de un determinado sistema para aplicarlo a ciertos locales o edificios es una decisión muy crítica con la que tiene que enfrentarse el ingeniero. Deben analizarse, seleccionarse y coordi -

narse muchos factores. Existe gran diferencia entre la persona que piensa solamente en el confort de la refrigeración en una habitación o pequeño establecimiento, y el que construye un monumental edificio que sintetiza un concepto integrado entre la estructura y su ambiente ya sea arquitectónico, acústico o de acondicionamiento de aire.

El acondicionamiento de aire completo proporciona un ambiente de temperatura, humedad, movimiento de aire, limpieza, ventilación y condiciones acústicas correctas. Todo lo que no sea eso, no puede considerarse verdaderamente como un acondicionamiento de aire. Por esto el sistema de que se trate debe identificarse con la función a desarrollar, llámese calefacción, refrigeración, control de la humedad o acondicionamiento de aire completo.

Debe existir una completa adaptación entre el sistema y el edificio de forma que todo se produzca con normalidad, tanto al neutralizar las ganancias de calor, como al compensar sus pérdidas.

Cuando un ingeniero se enfrenta con un edificio ya construido, poco puede hacer para modificar su estructura, tanto para reducir la carga térmica como para adaptarle un sistema adecuado. Existen, por lo tanto, ciertas circunstancias que limitan su actuación.

Si se trata de un edificio en proyecto, se dispone de más libertad para trabajar en equipo el arquitecto y el ingeniero. Entre ambos pueden diseñar una estructura aceptable y agradable desde el punto de vista arquitectónico y acústico, sin perder de vista la posible reducción en la carga de acondicionamiento. En este caso es fun-

damental que el edificio tenga una orientación adecuada en lo que respecta a la exposición solar y a las sombras internas o externas. Habrá que tener en cuenta el espacio necesario para el equipo de acondicionamiento y para los medios de transmisión y distribución de los efectos de refrigeración.

El Capítulo Segundo es la definición del problema, que comienza con la descripción del sistema a utilizarse, orientación de los edificios, condiciones de diseño y la determinación de los diversos factores involucrados en el cálculo de la carga real de enfriamiento.

El Capítulo Tercero contiene el cálculo de cargas de refrigeración, donde se realiza la evaluación global tanto de las ganancias externas como internas de los diferentes edificios.

En el Capítulo Cuarto se indica la selección del tipo de central de enfriamiento. Empieza con las consideraciones económicas donde se hace énfasis primordialmente en el consumo de energía del sistema que se propone en relación a los medios de acondicionamiento actualmente existentes en la ESPOL. A continuación se indican las consideraciones técnicas, donde se realizan los cálculos tanto de los equipos principales como auxiliares que forman parte de la central de enfriamiento, así como los controles automáticos indispensables para el funcionamiento autónomo del sistema de acuerdo a las variaciones de la carga de enfriamiento. Seguidamente se habla sobre la duración de la central de enfriamiento.

El Capítulo Quinto se refiere a la utilización de los elementos

del sistema para fines didácticos en la ESPOL.

El Capítulo Sexto contiene los requerimientos y especificaciones de todos los elementos de la central de enfriamiento para posibles licitaciones.

El Capítulo Séptimo contiene las conclusiones y recomendaciones a las que se ha llegado con este trabajo.

Finalmente el Capítulo Octavo, es la recopilación de la información utilizada en este proyecto como son los Apéndices y Referencias Bibliográficas.

2.- DEFINICION DEL PROBLEMA

2.1. DESCRIPCION DEL SISTEMA A UTILIZARSE

El tipo de central de enfriamiento de agua que se ha de diseñar consta de los siguientes elementos principales:

- Caldera
- Turbina de vapor
- Máquina centrífuga
- Máquina de absorción
- Torre de enfriamiento

Todos estos elementos funcionan en conjunto, de la siguiente manera:

La caldera producirá vapor saturado a 200 psig. de presión, el cual es conducido por medio de tuberías debidamente aisladas hasta la turbina donde se expande. La turbina a su vez mueve el compresor centrífugo de la máquina centrífuga elevando la presión de un flujo continuo de gas refrigerante desde la presión del evaporador hasta la presión del condensador.

El vapor sale de la turbina a 12 psig. donde es separado el condensado del vapor por medio de una trampa de vapor y recolectado en el tanque receptor de condensado; el vapor entra en la máquina de absorción a una presión de 10 psig. concentrando una sal de bromuro de litio que actúa como absorbente. El agua helada recorre un circuito cerrado en el cual se encuentran en serie los evaporadores de la máquina de absorción y de la máquina centrífuga, enfriándose hasta alcanzar una temperatura de 44°F y luego ser repartida por medio de tuberías aisladas hasta cada una de las unidades terminales localizadas en los distintos edificios y que constan de un serpentín de

enfriamiento por agua y un ventilador que toma el aire del local - acondicionado y lo enfría a través del serpentín para volver a suministrarlo al local.

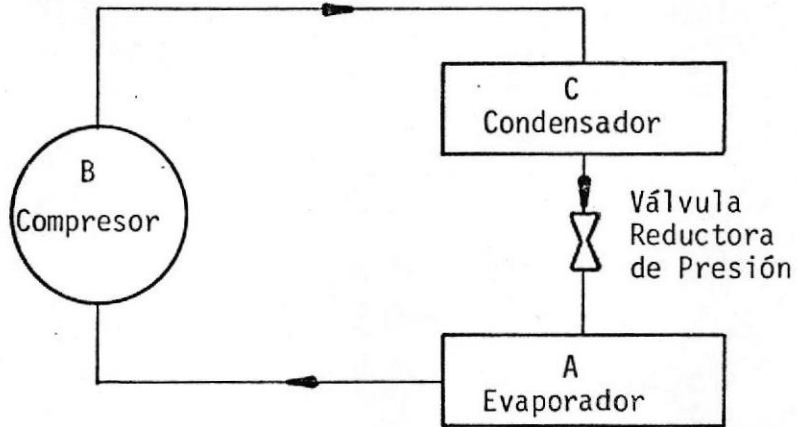
Los condensadores de las máquinas de absorción y centrífuga son enfriados utilizando agua a 85°F proveniente de la bandeja de una torre de enfriamiento e impulsada por medio de una bomba centrífuga a través de los mismos para luego retornar a la torre de enfriamiento y volver a ser enfriada y recirculada.

La forma de operar de la caldera, turbina de vapor, compresor centrífugo y torre de enfriamiento son ampliamente conocidos por todos nosotros, por lo tanto dirigiré la atención esencialmente hacia el estudio de la máquina de absorción.

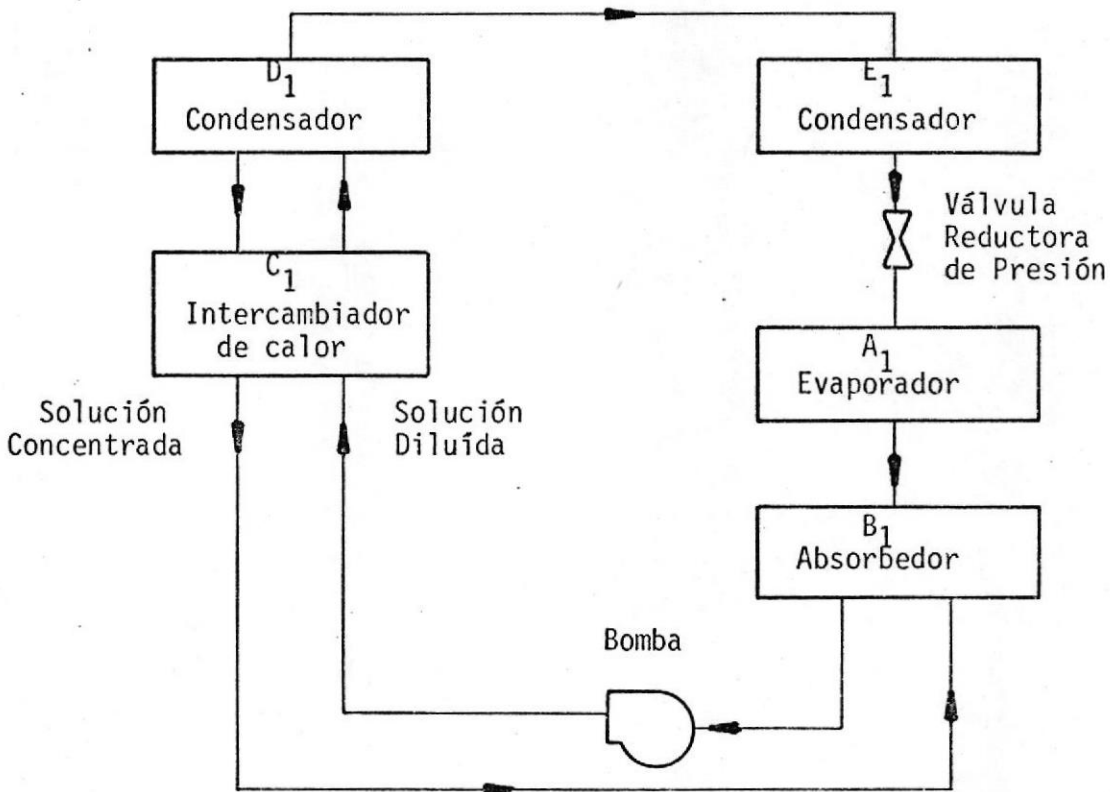
El funcionamiento de una máquina de absorción puede ser comprendida rápidamente si hacemos una analogía con una máquina de ciclo de compresión de vapor. En la figura 2.1. se ilustran esquemáticamente un ciclo de refrigeración con compresor recíprocante y un ciclo de refrigeración con una máquina de absorción. En ambos ciclos, el refrigerante en forma de vapor debe ser evacuado del evaporador para mantener una presión y temperatura siempre constante dentro de él.

En el ciclo recíprocante, el refrigerante en forma de vapor fluye del evaporador (A) hacia la región de baja presión en el cilindro del compresor (B) a través de su válvula de succión.

En el ciclo de absorción, el refrigerante en forma de vapor va desde el EVAPORADOR (A_1) hacia una región de baja presión. Esta re



a) Ciclo de Compresión de Vapor



b) Ciclo de Absorción

Figura 2.1: Ciclo de Compresión de Vapor y Ciclo de Absorción.

gión en la máquina recíprocante corresponde al lado de succión del compresor, pero en la máquina de absorción se la denomina ABSORBEDOR (B_1).

Antes de continuar con la analogía, es necesario comprender por qué el absorbedor es mantenido a una presión menor que el evaporador y qué hace que el vapor refrigerante provenga del evaporador.

Una solución líquida conocida como el ABSORBENTE está localizada en el absorbedor. Esta solución absorbe el vapor refrigerante y simultáneamente mantiene el absorbedor a una presión menor que el evaporador. La disponibilidad de la solución para absorber el vapor refrigerante, depende de la cantidad de refrigerante en la solución o, en otras palabras, de la concentración del absorbente relativa al refrigerante. Para cualquier concentración dada, la presión en el absorbedor depende de la temperatura de la solución. Entonces, si la solución absorbente es mantenida en una concentración y temperatura adecuada, podría absorber la cantidad exacta de vapor refrigerante y mantener el absorbedor a una presión determinada, la cual puede permitir el flujo de vapor refrigerante hacia y del evaporador.

Como el vapor refrigerante se condensa en la solución absorbente, la solución se diluye y se calienta porque el refrigerante le cede su calor de condensación. Para mantener siempre la misma temperatura dentro del absorbedor, agua proveniente de una torre de enfriamiento se introduce en el serpentín del absorbedor desalojando el calor cedido por el refrigerante a la solución. La concentración también se mantiene constante porque se bombea parte de la so-

lución desde el absorbedor hacia el concentrador. Por lo tanto calor se aplica en el concentrador para volver a evaporar el refrigerante y de esta manera concentrar la solución absorbente que retorna nuevamente al absorbedor. De esta forma, la solución absorbente viaja solamente desde el absorbedor al concentrador y viceversa.

Retornando a la analogía en la figura 2.1., después de la carrera de compresión en la máquina reciprocante (B), el vapor refrigerante a elevada presión es expulsado a través de la válvula de descarga del compresor hacia el condensador (C) que se encuentra a una presión ligeramente menor. En el ciclo de absorción, calor se aplica a la solución diluída en el CONCENTRADOR (D_1) haciendo que la solución hierva y el refrigerante se desprenda de ella en forma de vapor volviendo a concentrarse nuevamente la solución absorbente. De la misma manera que en el ciclo de máquinas reciprocantes, el vapor refrigerante va hacia el CONDENSADOR (E_1) el cual está a una presión ligeramente menor donde es condensado, cediendo su calor de condensación al agua proveniente de la torre de enfriamiento.

Como mencionamos anteriormente, es necesario remover el calor tanto del absorbedor como del condensador. Como el condensador está a una temperatura mayor que la del absorbedor, el agua de enfriamiento proveniente de la torre de enfriamiento primero entra al absorbedor y luego al condensador, desalojando el calor almacenado en los mismos.

Como el absorbedor está a una temperatura menor que el concentrador, la solución diluída que es bombeada desde el absorbedor deberá ser calentada antes de entrar al concentrador. Igual cosa su-

cede con la solución concentrada que retorna del concentrador, que deberá ser enfriada antes de entrar al absorbedor. Por lo tanto, si estos dos flujos atraviesan un INTERCAMBIADOR DE CALOR) (C_1), la solución diluída puede ser calentada por la solución concentrada. Este método ahorra energía tanto para el enfriamiento de la solución concentrada, como para el calentamiento de la solución diluída.

Los niveles típicos de temperatura en la mayoría de las máquinas de absorción son los siguientes:

- Evaporador 40°F
- Absorbedor 105°F
- Concentrador 210°F
- Condensador 115°F

Las propiedades del refrigerante deben ser:

- 1.- Alto calor latente de vaporización.
- 2.- Las presiones de trabajo deben ser lo más cerca posible a la presión atmosférica.
- 3.- Seguridad.
- 4.- Estabilidad.
- 5.- Bajo costo.
- 6.- Disponible fácilmente.
- 7.- No tóxico.

Si el calor latente es grande, pocas libras de refrigerante podrán ser circuladas. Finalmente, si las presiones de trabajo del refrigerante son muy cercanas a la atmosférica, la construcción de la máquina se simplifica.

En el ciclo de absorción, el refrigerante es transportado a tra

vés del sistema, por un segundo fluido llamado el absorbente. Para seleccionar el refrigerante que requiere el ciclo, es necesario encontrar el absorbente apropiado para ese refrigerante, el cual deberá cumplir con los siguientes requerimientos:

- 1.- Gran afinidad para el refrigerante.
- 2.- Punto de ebullición mucho más alto que el del refrigerante.
- 3.- Seguridad.
- 4.- Estabilidad.
- 5.- Bajo costo.
- 6.- Disponible fácilmente.

Si el absorbente tiene una gran afinidad por el refrigerante, la absorción será rápida y menor cantidad de absorbente será circulado por la máquina, por lo tanto más refrigerante será absorbido por cada libra de absorbente.

En el presente estudio, se utilizará AGUA como el refrigerante y BROMURO DE LITIO como el absorbente.

2.2. ORIENTACION DE LOS EDIFICIOS

El Sol es la fuente de mayor energía sobre la Tierra y es el factor primario determinante del medio ambiente térmico de un lugar, Por lo tanto los cálculos de radiación solar dependerán de la orientación del sol con respecto a la orientación de cada uno de los edificios; de aquí la importancia de conocer exactamente la orienta -

ción de cada pared o ventana expuestas a la radiación del Sol.

Se pueden emplear diversas nomenclaturas para localizar la posición de una superficie con respecto a un plano horizontal con ejes coordenados Norte-Sur-Este-Oeste.

Utilizaré el ángulo de "Azimuth Pared" (AZP) para conocer la orientación de una superficie y lo definiré como: "El ángulo en el plano horizontal medido desde el Sur, en dirección contraria a las manecillas del reloj, hasta una línea perpendicular a la Superficie"

La Figura 2.2. nos muestra el ángulo de Azimuth de una superficie.

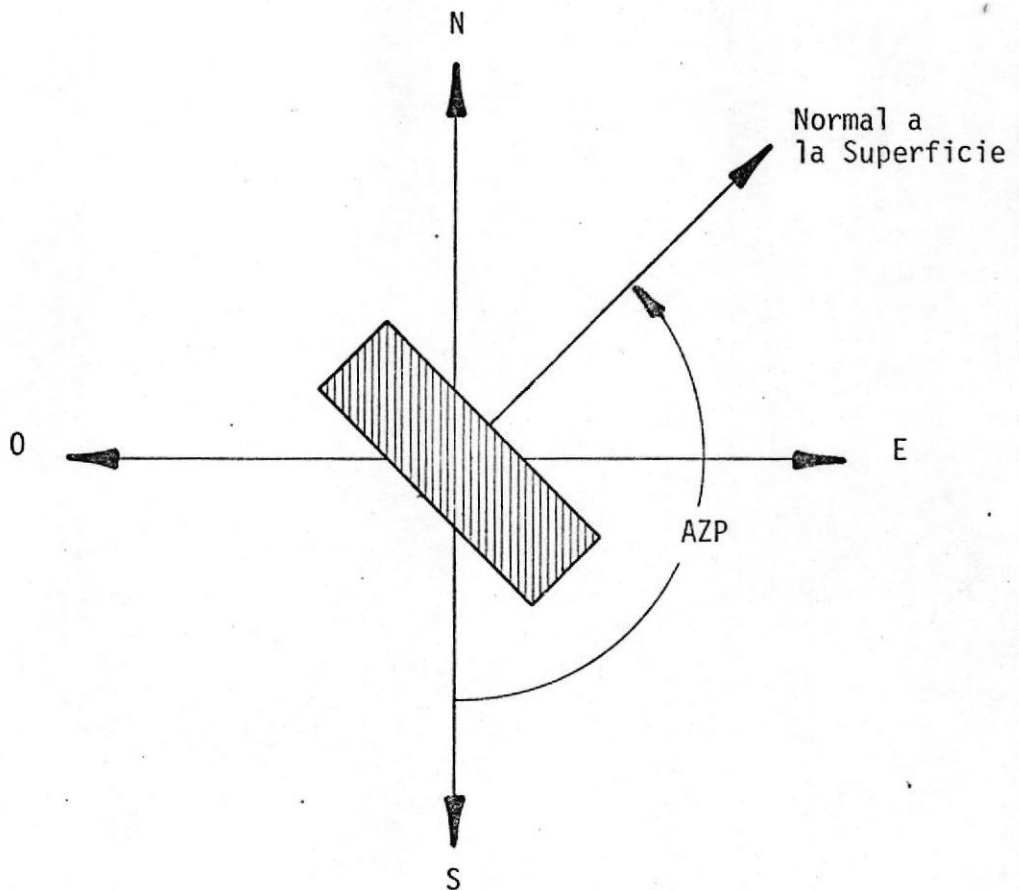


Figura 2.2 : Angulo de Azimuth de una Superficie.

A continuación se dará la orientación de las fachadas de cada uno de los edificios así como una descripción de las áreas acondicionadas en cada local, en base a los planos que me fueron suministrados por el Departamento de Planificación Física de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

2.2.1. Bloque "A"

Planta Baja

Áreas que se acondicionarán:

- Oficinas de BID - ESPOL
- Salas de lectura
- Depósito de Libros
- Oficina técnica
- Tesorería
- Contabilidad
- Auditoría
- Administración
- Auditor
- Jefe de Personal
- Hall de entrada
- Asesor Jurídico
- Recepciones
- Relaciones Públicas
- Secretaría General
- Sala de espera
- Rectorado
- Estar

- Hall
- Vice rectorado
- Contabilidad
- Sala de sesiones
- Secretario
- Mantenimiento
- Suministros
- Importaciones

Primero y Segundo Pisos

Por el momento estos pisos se encuentran ocupados por la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Guayaquil, pero se espera que en un par de años estos locales sean desocupados, por lo tanto no podré dar los nombres de los locales que se acondicionarán, aunque en el cálculo de cargas si se los tomará en consideración.

En la figura 2.3. se encuentra la orientación del edificio.

2.2.2. Bloque "G"

Planta Baja

Areas que se acondicionarán:

- Oficinas del Departamento de Ingeniería Mecánica
- Laboratorios de Refrigeración y Aire Acondicionado
- Laboratorios de Dinámica de Gases, Fluidos e Hidráulica.

- Maquinaria Hidráulica.
- Mecánica Aplicada.
- Laboratorio de Mecánica de Sólidos,
Vibraciones y Dinámica
- Laboratorio de Metalurgia.
- Computadora.
- Aulas de Clases y Laboratorios del
Instituto de Física.
- Aulas de Clases y Laboratorios del
Instituto de Química.
- Laboratorio de Idiomas.
- Departamento Médico.
- Departamento de Bienestar Estudiantil.
- Sala de Exposiciones.
- Sala de Grados.
- Almacén Politécnico.

Primer Piso

Areas que se acondicionarán:

- Laboratorio de Potencia.
- Maquinaria Eléctrica.
- Taller Eléctrico.
- Laboratorio de Electrónica.
- Laboratorio de Control.
- Laboratorio de Micro-Ondas.
- Laboratorio de Circuitos.
- Laboratorio de Acústica.
- Laboratorio de Comunicaciones.

- Circuitos e Impresos.
- Digitales.
- Aulas de Clases de los departamentos de Ing. Mecánica e Ing. Eléctrica.
- Salas de Dibujo.
- Oficinas del Instituto de Física.
- Oficinas del Instituto de Química.
- Oficinas del Instituto de Matemáticas.

Segundo Piso

Areas que se acondicionarán:

- Oficinas del Departamento de Ing. Eléctrica.

En la figura 2.4. se encuentra la orientación del edificio.

2.2.3. Aulas Hexagonales

Se acondicionarán dos de estas aulas que existen actualmente y dos que se construirán en meses posteriores. En la figura 2.5. se encuentra la orientación de una de las cuatro aulas porque es la misma para todas.

2.2.4. Salón de Actos y Comedor

En la figura 2.6. se indica la orientación de este edificio.

2.2.5. Minas y Petróleos

En la figura 2.7. se indica la orientación de este edificio, teniendo las siguientes áreas acondicionadas:

- Oficinas del departamento de Minas

y Petróleos

- Salas de dibujo
- Laboratorio de Petrofísica
- Depósito de Hidrocarburos
- Ayudantes académicos
- Laboratorio de Gas Natural
- Perforación
- Producción
- Yacimientos y Petrofísica
- Mineralogía
- Laboratorio de Láminas Delgadas
- Geoquímica
- Petrografía
- Mecánica de Suelos
- Biblioteca
- Laboratorio de Estructuras
- Equipos de Topografía
- Aulas de Clases

2.2.6 Fepol

En la figura 2.8. se indica la orientación del edificio.

2.2.7 Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar

Planta Baja

Areas que se acondicionarán:

- Información
- Secretaría

- Hall de Espera
- Secretaria
- Secretario
- Director
- Sub-Director
- Auditorium
- Foyer
- Bar-Cafetería

Mezannine

Areas acondicionadas:

- Sala de Sesiones
- Oficinas de Profesores
- Oficinas de Ayudantes Académicos
- Museo
- Area disponible

Primer Piso

Areas acondicionadas:

- Laboratorio Eléctrica
- Laboratorio de Refrigeración
- Laboratorio Maquinaria Marítima
- Laboratorio Estructura Naval
- Laboratorio de Computación
- Laboratorio de Construcción Naval
- Aulas de Clases

Segundo Piso

- Areas acondicionadas:

- Laboratorio de Oceanografía Física e Hidrografía
- Laboratorio de Oceanografía, Biología y Geología Marina
- Laboratorio de Hidrodinámica
- Laboratorio de Oceanografía Química
- Aulas de Clases

Tercer Piso

Áreas acondicionadas:

- Laboratorio de Galibos
- Oficinas
- Aulas de Dibujo.

En la figura 2.9. se muestra la orientación del edificio.

2.2.8. Escuela de Pesquería

En la figura 2.10. se muestra la orientación del edificio, teniendo las siguientes áreas acondicionadas:

- Dirección
- Sala de Profesores
- Secretaría
- Sala de Sesiones y Estudios
- Laboratorio de Navegación y Aulas de Dibujo
- Laboratorio de Náutica y aparejos de Pesca
- Electricidad

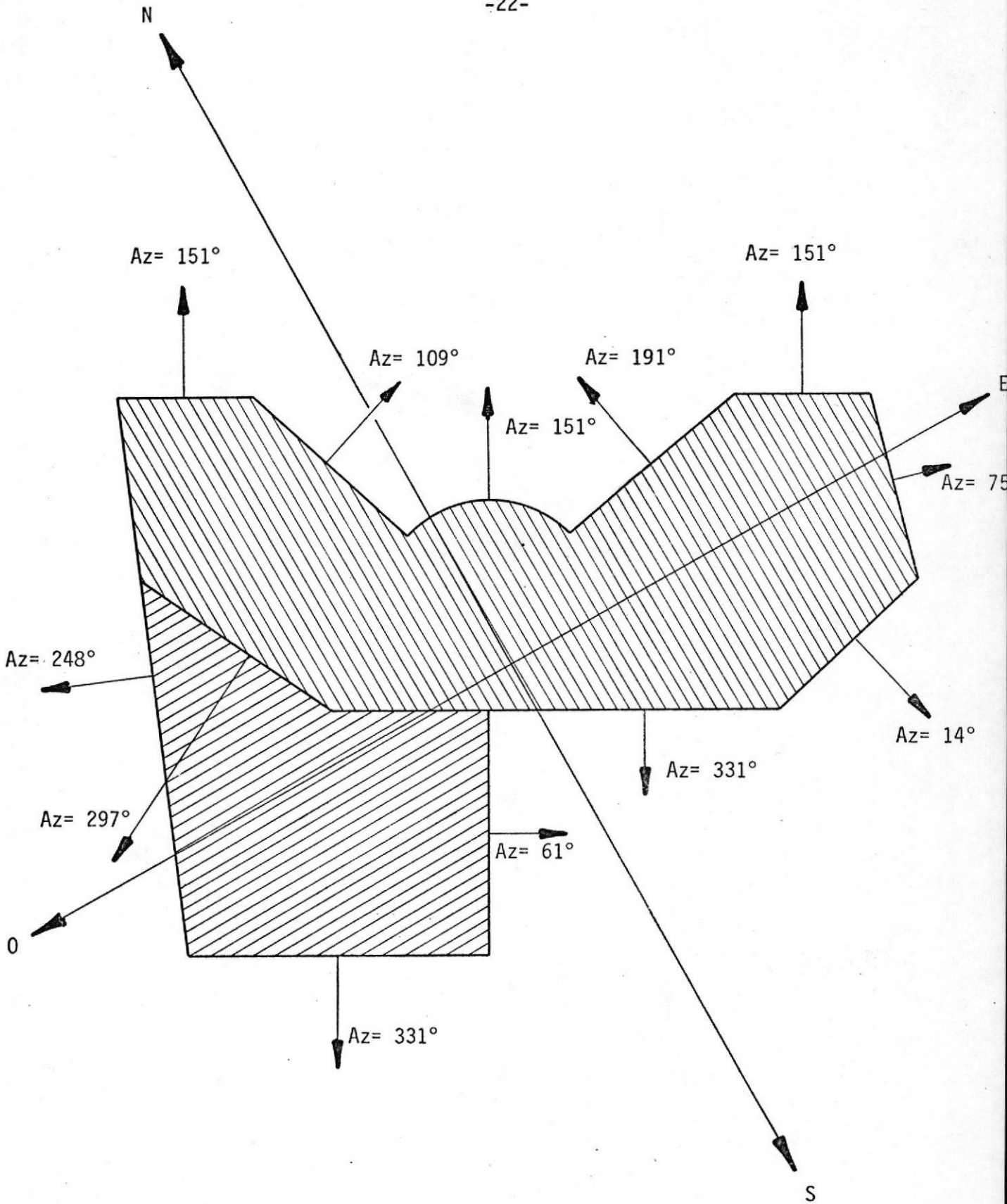


Figura 2.3 : Orientación del Bloque "A".

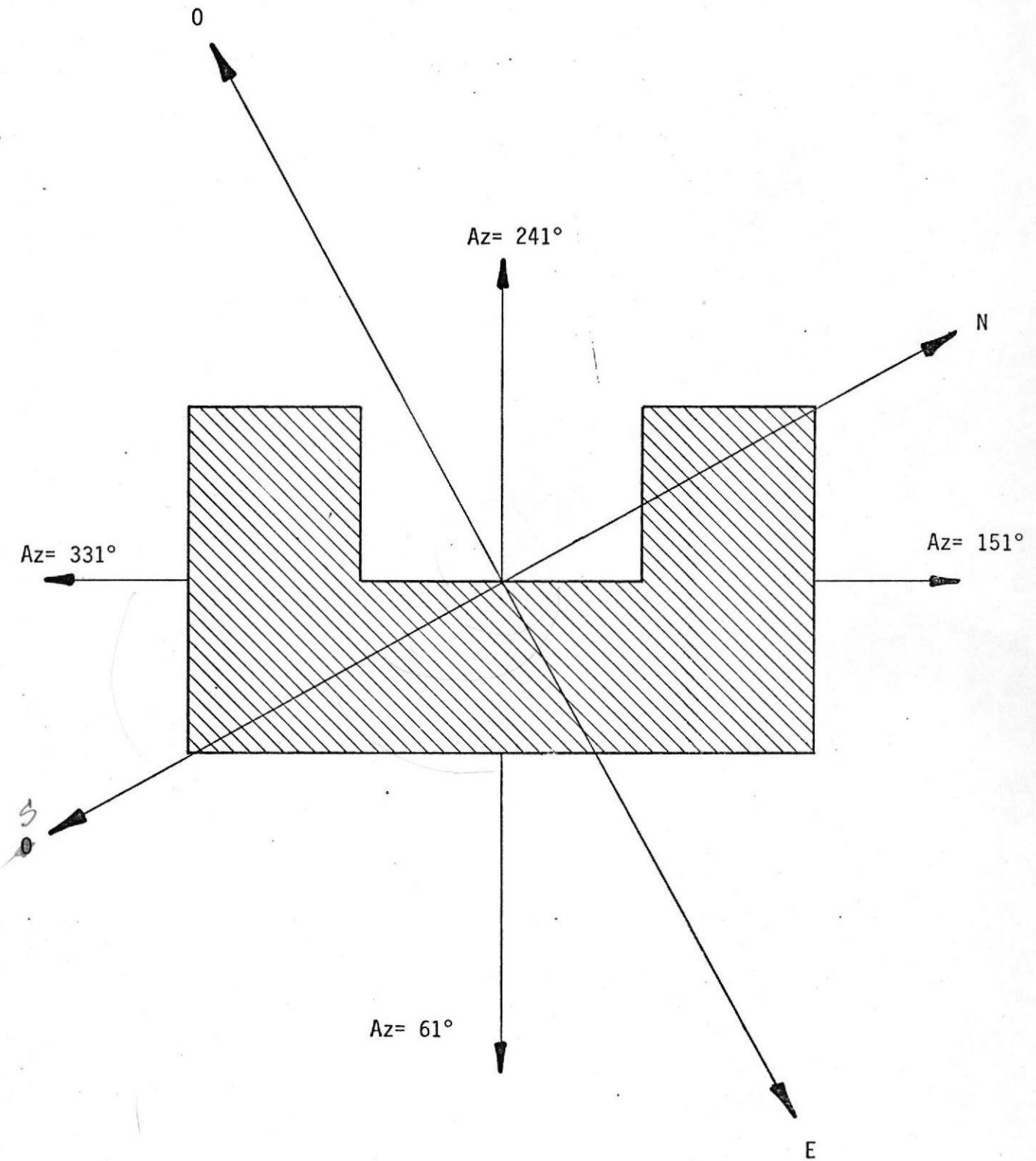


Figura 2.4 : Orientación del Bloque "G".

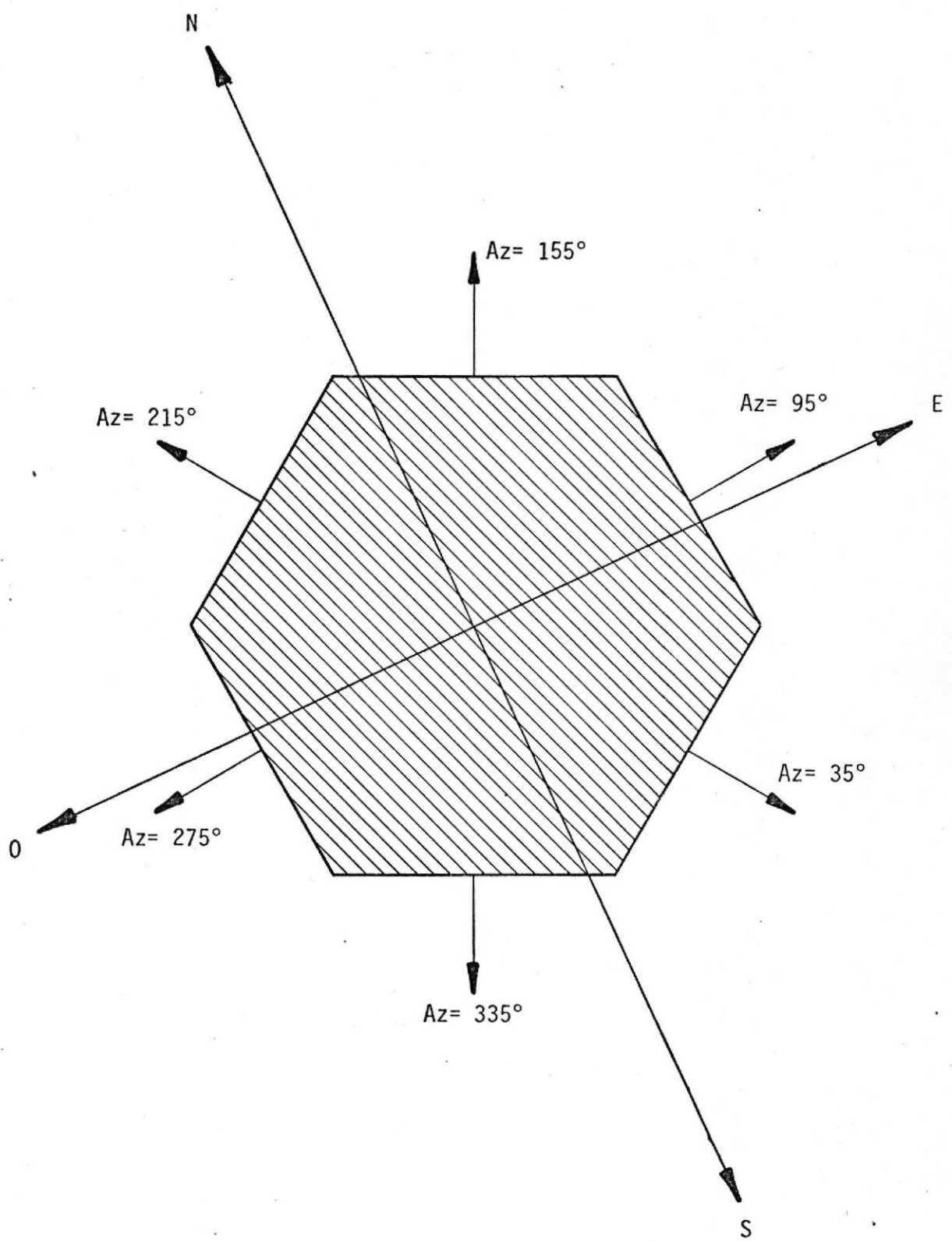


Figura 2.5 : Orientación de las Aulas Hexagonales.

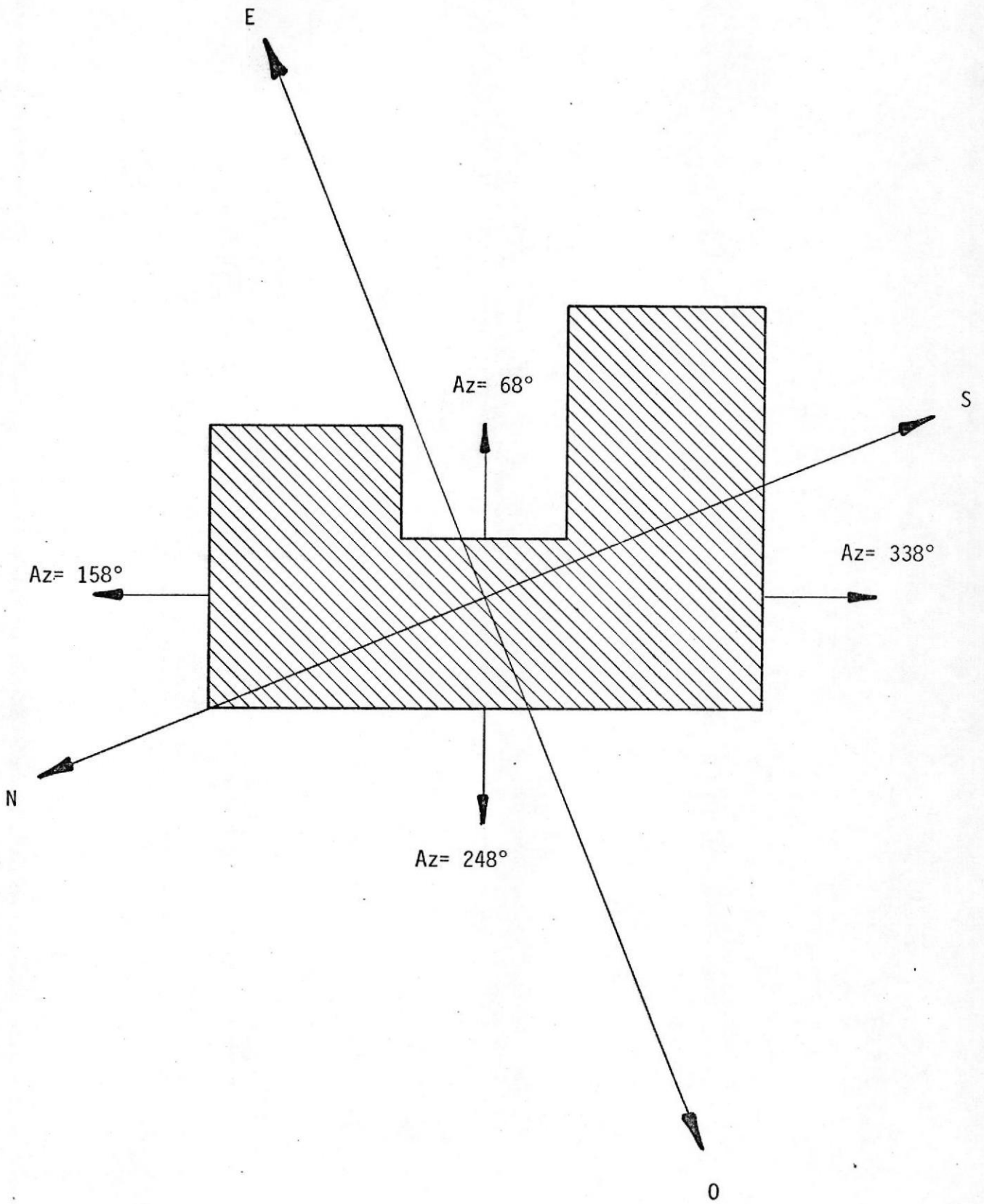


Figura 2.6 : Orientación del Salón de Actos y Comedor Politécnico.

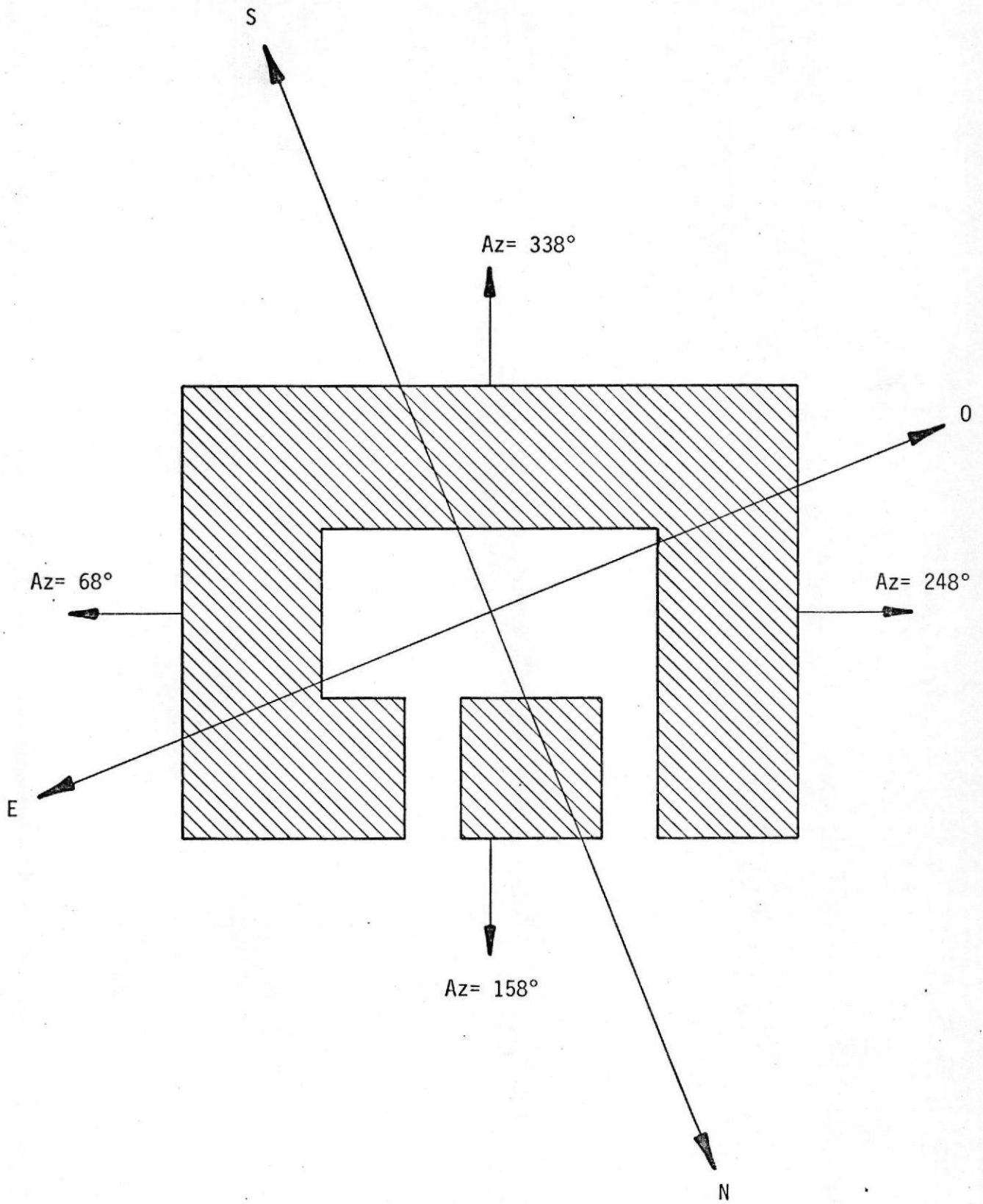


Figura 2.7 : Orientación del Departamento de Minas y Petróleos.

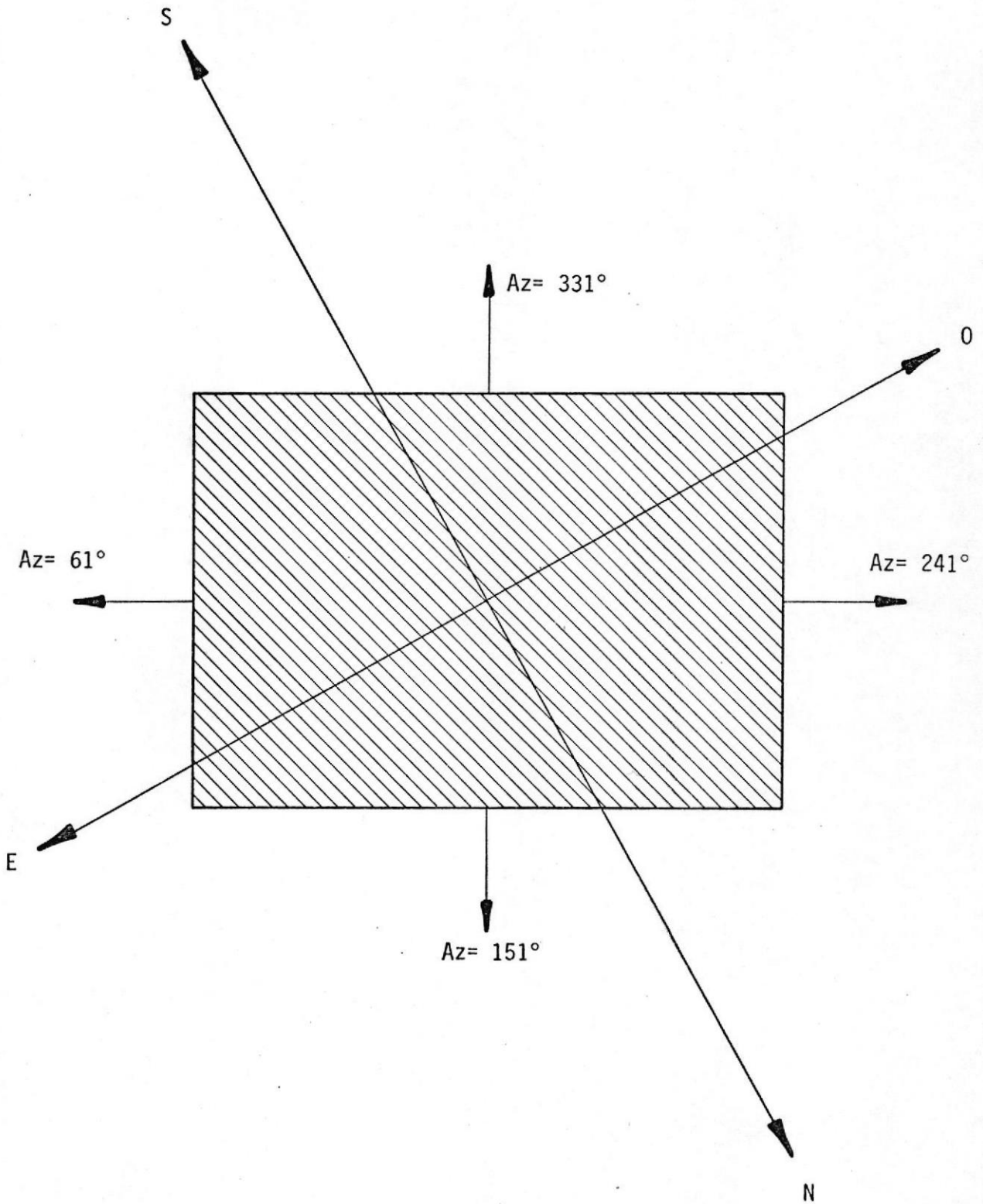


Figura 2.8 : Orientación de F.E.P.O.L.

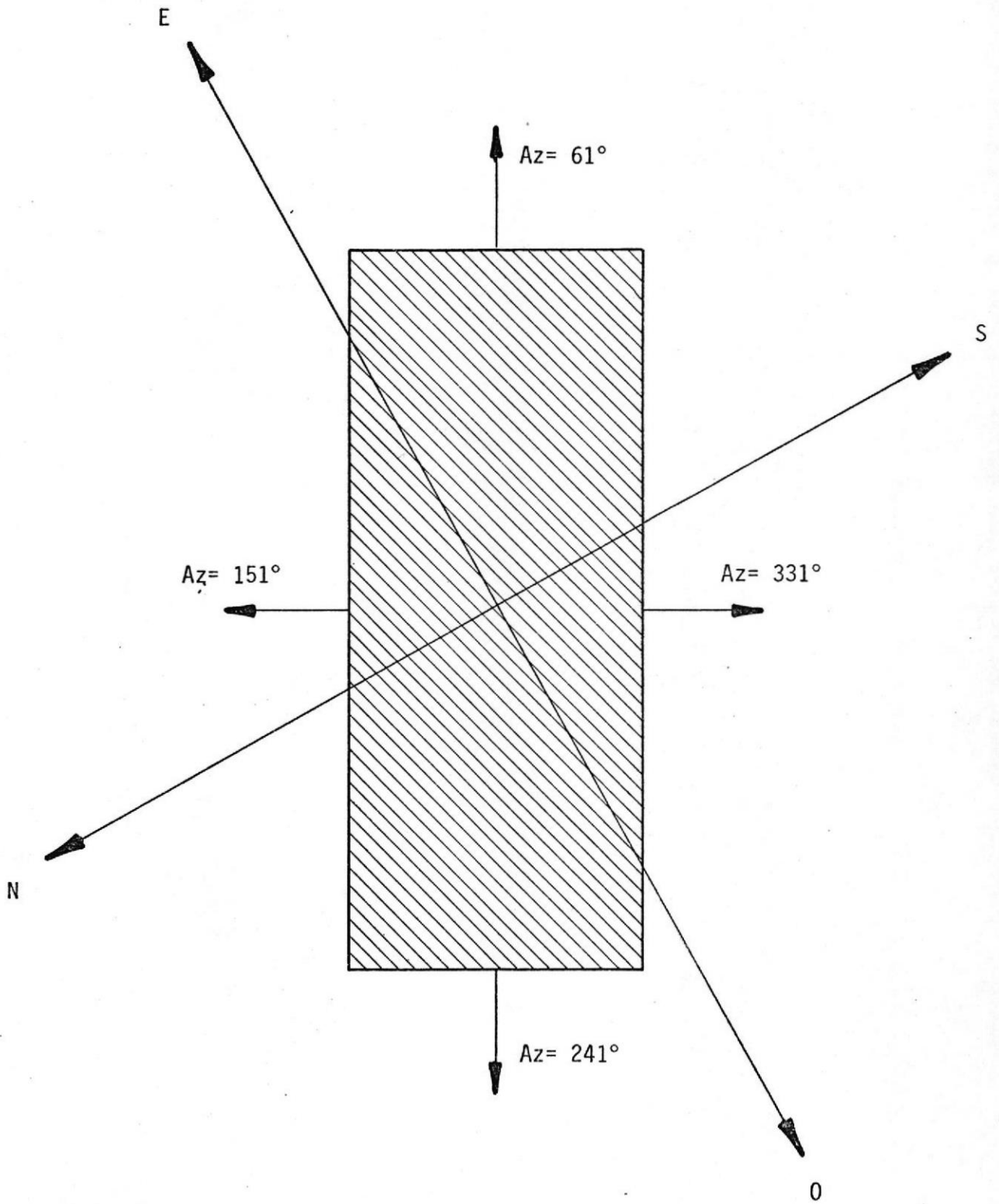


Figura 2.9 : Orientación del Departamento de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar.

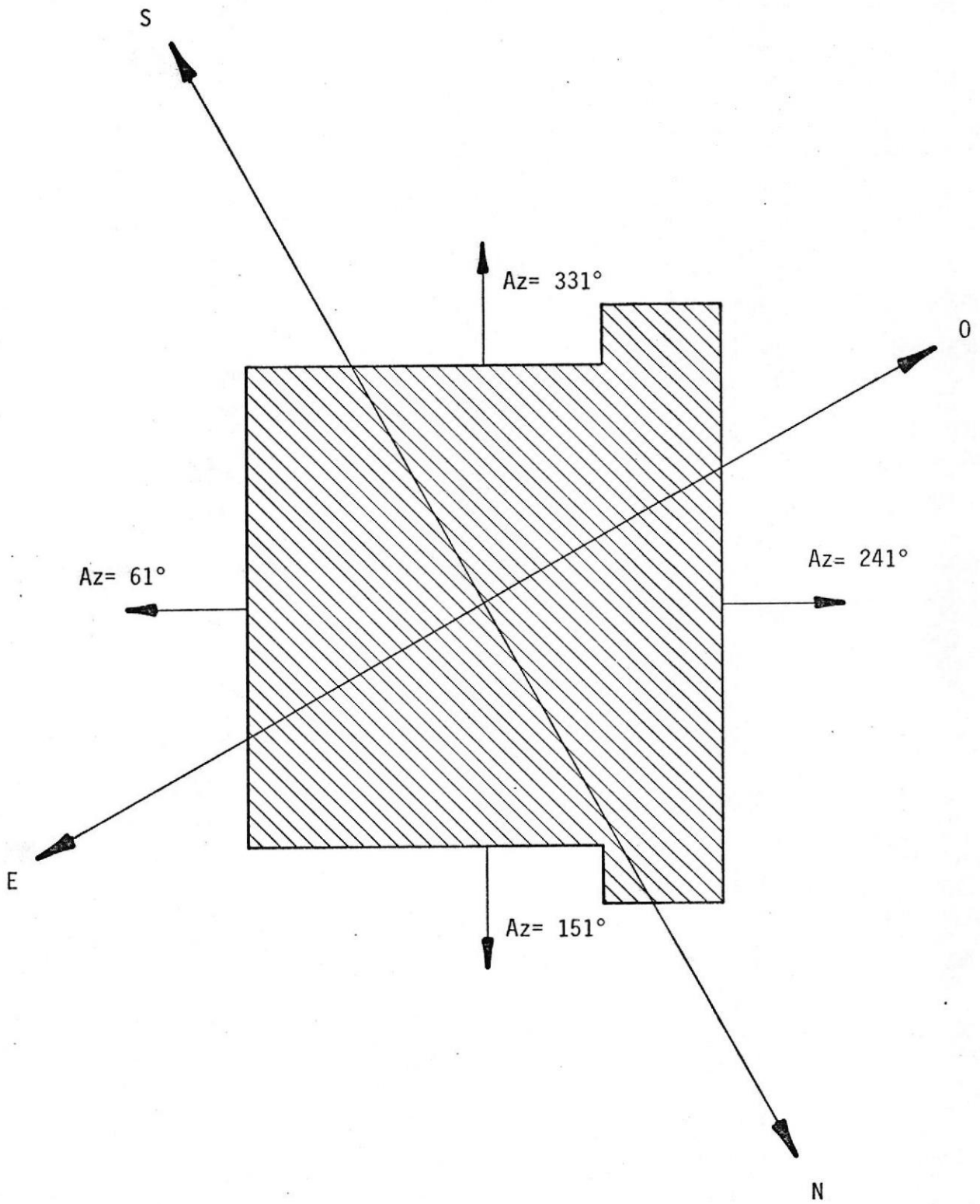


Figura 2.10: Orientación de la Escuela de Pesquería.

- Náutica y Electrónica
- Laboratorio de Mecanización
- Laboratorio de Peritajes y Biología
Marina
- Aulas de Clases

2.3 CONDICIONES DE DISEÑO

2.3.1 Confort

La parte de fundamental importancia de nuestro estudio está dirigida hacia el confort de las personas que habitarán los diferentes edificios.

Desde un punto de vista ingenieril, el cuerpo humano puede ser asimilado a una máquina térmica. El cuerpo funciona convirtiendo la energía química de los alimentos en trabajo y calor. Es como una máquina; cuanto mayor es el trabajo que hacemos, más calor eliminamos. En el cuerpo humano, la eliminación de calor se efectúa principalmente por la superficie del mismo. Mediante la circulación sanguínea, el calor es transportado a la piel a través de la cual se transfiere al ambiente. El cuerpo debe eliminar calor continuamente, tanto en verano como en invierno. La temperatura y humedad del ambiente pueden influenciar profundamente la temperatura de la piel y del interior del cuerpo. Es necesario controlar el medio ambiente si se desean mantener condiciones confortables o evitar peligros fisiológicos en actividades calurosas.

Los intercambios de calor entre un cuerpo y el medio ambiente pueden ser expresados generalmente como:

$$q_M = \pm q_C \pm q_R \pm q_E \pm q_S \quad (2.1)$$

donde q_M es la velocidad de producción de calor del cuerpo en BTU/Hr.; q_C es la velocidad de intercambio de calor por convección con el aire circundante, en BTU/Hr.; q_R es la velocidad de intercambio de calor por radiación con las superficies circundantes, en BTU/Hr.; q_E es la pérdida de calor por evaporación, en BTU/Hr. y q_S es la velocidad de cambio del calor almacenado en el cuerpo, en BTU/Hr.

En la Tabla 2.1. se muestra las velocidades de producción de calor del cuerpo para un hombre adulto medio y para varios tipos de actividades. En el Apéndice C, Tabla C-2, se muestra las velocidades de ganancia de calor en función de la temperatura del medio ambiente debida a los ocupantes de un espacio acondicionado, y se observará que a medida que se eleva la temperatura de bulbo seco del aire ambiente disminuye la pérdida de calor sensible y aumenta la de calor latente. Cuando la temperatura del aire ambiente es mayor que la del cuerpo, toda la pérdida es de calor latente.

La Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE) ha estudiado durante varios años las reacciones humanas a la temperatura del medio ambiente, humedad y movimiento del aire. Sus investigaciones condujeron al concepto de un índice empírico único denominado TEMPERATURA EFECTIVA. La temperatura efectiva es una medida del confort que involucra los efectos combinados de la temperatura, la humedad relativa y el movimien-

TABLA 2.1.
 CALCULOS APROXIMADOS DE PRODUCCION
 DE CALOR DEL CUERPO PARA
 VARIOS TIPOS DE ACTIVIDAD (°)

Clase de Trabajo	Actividad	q_M BTU/Hr
Trabajo ligero	Durmiendo	250
	Sentado tranquilo	400
	Sentado con moderados movimientos de troncos y brazos	450- 550
	Sentado con moderados movimientos de brazos y piernas	550- 650
	De pie, con ligero trabajo de banco o máquina, principalmente los brazos	550- 650
Trabajo moderado	Sentado, con movimientos pesados de brazos y perinas	650- 800
	De pie, con ligero trabajo de máquina o banco y algún movimiento alrededor	650- 750
	De pie, con trabajo moderado de máquina o banco y algún movimiento alrededor	750-1000
	Caminando, con levantamientos o empujes moderados	1000-1400
Trabajo pesado	Levantamiento, empuje o arrastre pesados intermitentes	1500-2000
	El trabajo más duro sostenido	2000-2400

(°) Tomado de ASHRAE "Handbook of Fundamentals", 1967, pág. 119.

to del aire, tal como lo juzgan los millares de sujetos que han intervenido en el análisis hecho por "ASHRAE". El valor numérico de este índice es la temperatura del aire saturado que produciría una sensación idéntica de calor, por tanto la temperatura efectiva es un índice del grado de calor experimentado por el cuerpo.

La aplicación práctica del concepto de temperatura efectiva ha sido presentado por "ASHRAE" mediante la carta CARTA DE CONFORT reproducida en la figura 2.11. Se ha hallado que para una velocidad dada del aire, hay un número de combinaciones diferentes de bulbo seco y humedad relativa que dan la misma sensación de confort para las personas. Todas estas combinaciones se clasifican como de igual temperatura efectiva.

La zona de confort se delimitó incluyendo las temperaturas efectivas en las que la mitad de los asistentes se manifestaban satisfechos de las condiciones del ambiente ensayado; se encontró que un ambiente cómodo estaba comprendido entre los 73°F y 77°F con humedades relativas comprendidas entre 20% y 60%.

Por razones económicas seleccionaré 75°F bulbo seco y 50% de humedad relativa como las condiciones interiores que se mantendrá en los edificios acondicionados.

2.3.2. Condiciones exteriores

Es importante considerar las condiciones del ambiente exterior a los edificios, porque indudablemente influyen sobre la carga de la central de enfriamiento.

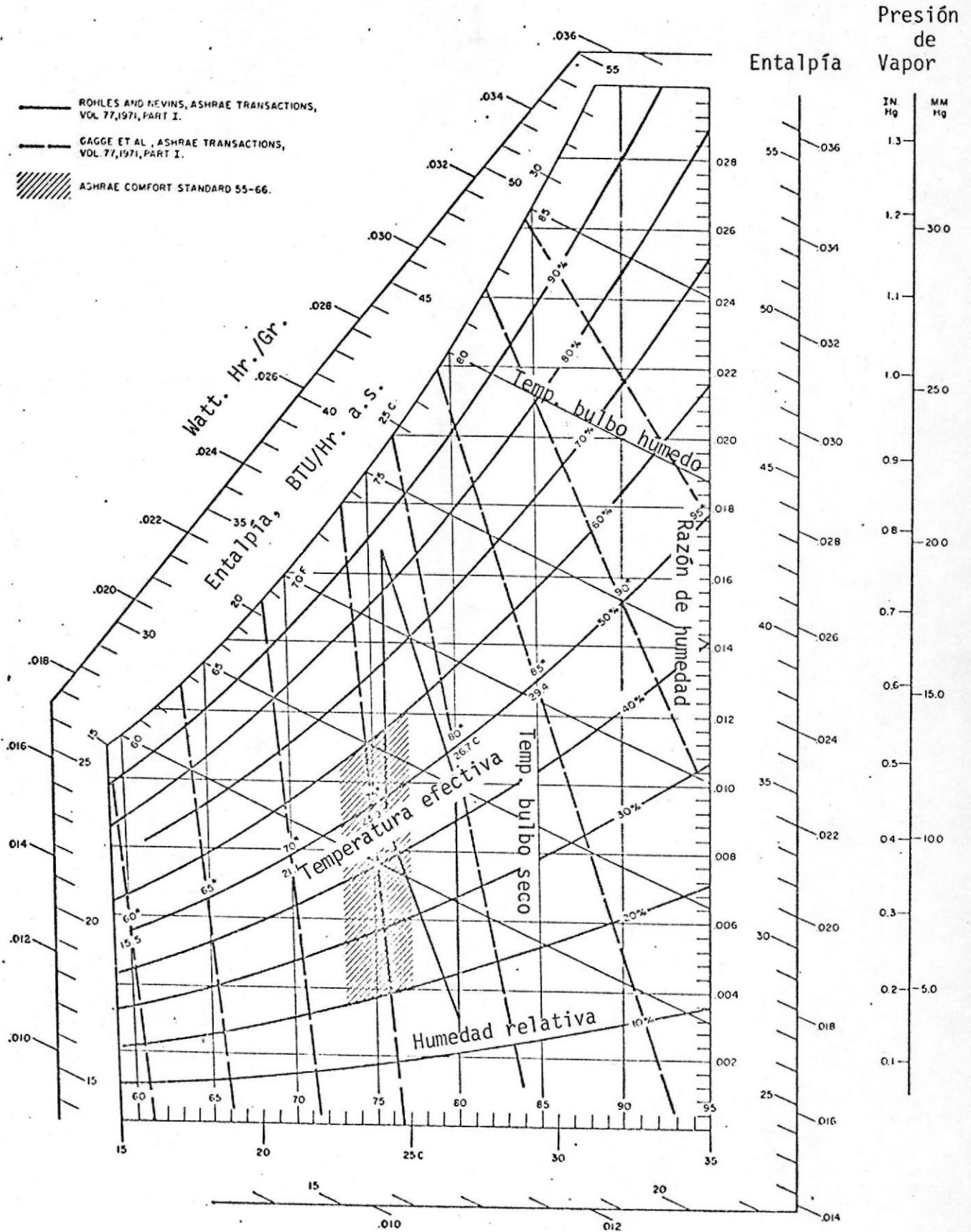


Figura 2.11 : Carta de Confort "ASHRAE"

La Compañía DELTA-DELFINI de la ciudad de Guayaquil gentilmente me ha cedido sus datos recopilados diariamente y por el lapso de 10 años, de las variaciones de las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo de nuestra ciudad, en cada hora del día, habiendo obtenido un promedio de temperaturas para un día tipo, las mismas que se indican en el Apéndice A, Tabla A-7, donde se puede observar que las peores condiciones exteriores son a las 3:00 p.m. con una temperatura de bulbo seco de 92°F y bulbo húmedo de 80°F.

Para determinar la hora de diseño, es decir en que hora del día se producirá la máxima ganancia instantánea de calor, es necesario realizar una serie de cálculos donde todos los elementos que influyen sobre la carga de enfriamiento están al máximo, esto es:

- Radiación solar por ventanas exteriores
- Transmisión por paredes exteriores, paredes interiores, techos y tumbados
- Alumbrado
- Personas
- Aire exterior para renovación
- Máquinas y equipos, etc.

De todas estas ganancias de calor, la más variable y una de las más importantes será la cantidad de personas que habiten en una hora determinada los locales de la Escuela.

Asumiré el siguiente porcentaje de personas de acuerdo a las horas del día:

- 7:00 a.m. = 33%

8:00 a.m.	=	100%
10:00 a.m.	=	30%
12:00 m.	=	12%
2:00 p.m.	=	2%
4:00 p.m.	=	33%
5:00 p.m.	=	100%

Como podemos observar, a las 8:00 a.m. y a las 5:00 p.m. el número de personas en los locales es el máximo; pero como en la mañana la temperatura exterior es menor que en la tarde, asumiré que la hora de diseño será a las 5:00 p.m.

En el capítulo 3 cuando se realice el cálculo de cargas propiamente dicho, se deberá corroborar esta asunción.

2.3.3 Carga coincidente

La central de enfriamiento debe tener la capacidad de desalojar las ganancias de calor en todos los edificios al mismo tiempo, en los momentos de máxima carga.

Tomando individualmente cada edificio, y dentro del mismo una parte de él acondicionada por una unidad terminal, (entendiéndose por esto aquella unidad que consta de un serpentín de enfriamiento por el que circulará agua helada proveniente de la central de enfriamiento, para enfriar el aire impulsado por un ventilador a través del serpentín y distribuirlo en el local acondicionado por medio de un sistema de ductos) puede ser que ésta y otras unidades estén al máximo de su

capacidad, pero las unidades restantes del mismo edificio podrán trabajar una quizás al 30%, otras al 60% y algunas al 0% de su capacidad de diseño debido a varias razones entre las cuales puedo enumerar las siguientes:

- a) La posición del sol en un momento determinado es fija, digamos que está orientado al Este, por lo tanto todas las unidades terminales que acondicionen locales que tienen fachadas con orientación Este, estarán trabajando al máximo de su capacidad, no así las unidades que acondicionan locales con fachadas Oeste.
- b) Mientras las unidades que acondicionen las aulas de clases estén al máximo con su capacidad de alumnos, existirán otras unidades como las de laboratorios, salón de actos, etc. que posiblemente no funcionen o si lo hacen será para acondicionar una pequeña cantidad de personas. Por lo tanto no funcionarán a su máxima capacidad.

Con este ejemplo quiero indicar que la capacidad de la central de enfriamiento no es la sumatoria de la capacidad individual máxima de cada unidad terminal en los diferentes edificios, sino más bien el resultado de una evaluación global de cada una de las componentes de la carga de enfriamiento de todos los edificios en una misma hora de diseño. A esta evaluación la denominaré CARGA COINCIDENTE.

El procedimiento común para determinar la carga de enfriamiento es evaluar la ganancia instantánea de calor dentro del espacio acondicionado y suponer que la central de enfriamiento eliminará el calor con la misma velocidad con que se produce. No obstante, la práctica indi-

ca que los equipos seleccionados con este criterio resultan sobredimensionados y, por consiguiente, pueden mantener condiciones ambientales muy inferiores a las anteriormente especificadas. La Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE) ha realizado un análisis exhaustivo de este problema, acompañado de investigaciones y pruebas, demostrando que esto es debido a:

- 1) Almacenamiento de calor en la estructura del edificio.
- 2) Estratificación del calor, en algunos casos.

Normalmente, la carga real de enfriamiento es muy inferior a la ganancia máxima de calor instantánea total y, por lo tanto, se necesitará una central de enfriamiento de menor capacidad, de forma que se adapte lo más exactamente posible a las necesidades de la instalación trabajando mucho mejor y con mayor eficiencia.

Como vimos anteriormente, la ganancia instantánea de calor se compone de:

- Calor Solar
- Transmisión a través de paredes y techos
- Alumbrado
- Personas
- Aire exterior para renovación
- Máquinas y equipos, etc.

Gran parte de esta ganancia instantánea de calor es calor radiante que no constituye una carga instantánea para el equipo, porque debe incidir primero sobre la superficie de un sólido y ser absorbida por ella antes de convertirse en una carga del equipo. La descomposición de las distintas ganancias instantáneas de calor en calor radiante y calor de

convección está tabulada en el Apéndice B, Tabla B-6. (1)

Cuando el calor radiante que se origina en cualquiera de las fuentes enumeradas en la Tabla B-6 incide sobre una superficie sólida tales como paredes, techos, suelos, etc., es absorbido, elevando la temperatura del material de la superficie con respecto a la del material interior y la del aire contiguo a dicha superficie. Esta diferencia de temperatura hace que el calor se transmita por conducción al interior del material y desde la superficie al aire por convección. El calor transmitido por conducción se almacena y el transmitido por convección se convierte en una carga instantánea de enfriamiento.

Para evaluar la carga total que deberá asumir la central de enfriamiento, la "ASHRAE" recomienda utilizar la Tabla B-6 considerando el calor por convección como el producido por la ganancia instantánea máxima a la hora de diseño, y, como calor radiante para edificios de construcción pesada, la ganancia de calor en un promedio de seis horas, es decir la hora de diseño y cinco horas antes de ella.

En algunos casos, normalmente existen dos situaciones en las que el calor se estratifica, reduciendo la carga de enfriamiento:

- 1) El calor se estratifica en los locales de techo alto como el caso de industrias, iglesias, salas de espectáculo o instalaciones semejantes, donde el retorno o extracción del aire se hace a través del techo.
- 2) El calor puede estratificarse también encima de los tumbados colgantes con luces indirectas y sistemas de retorno por cámara o espacio de pleno situado en el techo como el caso de hoteles, departamentos y locales de oficina.

En ambos casos lo que ocurre es que, como el aire caliente tiende a elevarse, permite la estratificación de las cargas de convección procedentes del techo, de las luces y de la parte superior de las paredes.

Si el retorno de aire se realiza por el techo, esta carga de convección que se produce por encima de la corriente de aire fresco, debe descontarse de la carga de enfriamiento si el aire ha de ser expulsado al exterior. En la práctica, no se puede extraer más que la cantidad de aire absolutamente necesaria para mantener una renovación dentro de límites aceptables, introduciendo el aire exterior a través de las unidades terminales. En este caso, el aumento de carga es mayor que la reducción que se obtendría por extracción del aire, por lo tanto no es aconsejable utilizar este sistema.

2.4 DETERMINACION DE FACTORES

En esta sección se determinarán todos los factores que sean necesarios para poder realizar el cálculo de cargas y así determinar la capacidad de la central de enfriamiento.

2.4.1. Radiación Solar

La posición de un punto F sobre la superficie de la Tierra se conoce en cualquier instante con respecto a los rayos del sol si se conocen la latitud (L), el ángulo horario (H) del punto y la declinación del sol (D). Estos ángulos se ilustran en la figura 2.12.

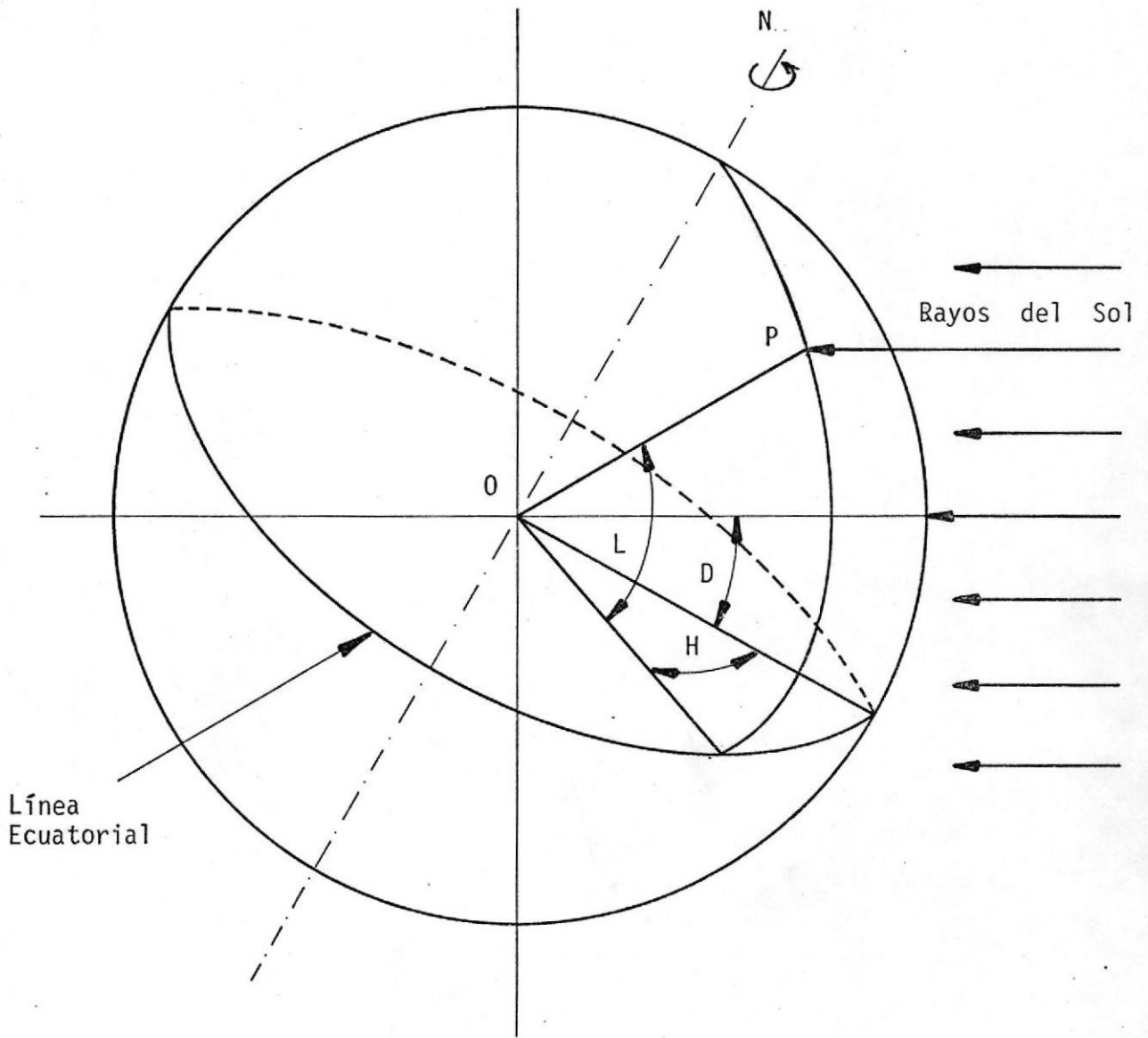


Figura 2.12 : Latitud, ángulo horario y declinación del Sol.

La latitud (L) es la distancia angular del punto P (norte o sur) al ecuador. Observando la figura podemos ver que es el ángulo entre la línea OP y la proyección de OP sobre el plano ecuatorial, donde el punto O representa el centro de la tierra.

El ángulo horario (H) es el ángulo medido sobre el plano ecuatorial de la tierra entre la proyección de OP y la proyección de la línea que une el centro del sol con el centro de la tierra. En el mediodía solar, el ángulo horario es cero grados. El ángulo horario expresa el tiempo del día con respecto al medio día solar. Nuestro objetivo será encontrar una fórmula matemática que nos determine el ángulo horario en función de la hora del día. Como el período de rotación de la tierra es de 24 horas, una hora de tiempo está representada por $360/24 = 15$ grados de ángulo horario. En la figura 2.13. se indica la variación del ángulo horario en función de la hora del día, habiendo obtenido la siguiente ecuación:

$$H = |180 - 15h| \quad (2.2)$$

En esta ecuación se tomará el valor absoluto del resultado para evitar representar el ángulo horario en dos ecuaciones diferentes.

La declinación del sol (D) es la distancia angular de los rayos del sol (norte o sur) al ecuador, es decir el ángulo formado entre una línea trazada desde el centro del sol al centro de la tierra y la proyección de esta línea sobre el plano ecuatorial de la tierra. En el Apéndice A, Tabla A-1 se ilustra los valores del ángulo de declinación en función del día del año con

los cuales he determinado la siguiente ecuación que la emplearé para cálculos futuros:

$$D = 23.454 \sin ((T - 80)/1.0315) \quad (2.3)$$

donde T representa el día del año y varía entre 1 y 365.

Además de los tres ángulos básicos, latitud, ángulo horario y declinación del sol, tienen utilidad otros ángulos para el cálculo de la radiación solar. Tales ángulos son: ángulo de cenit del sol (X), ángulo de altitud del sol (AL) y el ángulo de Azimuth del sol (AZS). Todos estos ángulos pueden ser expresados en función de los tres primeros básicos.

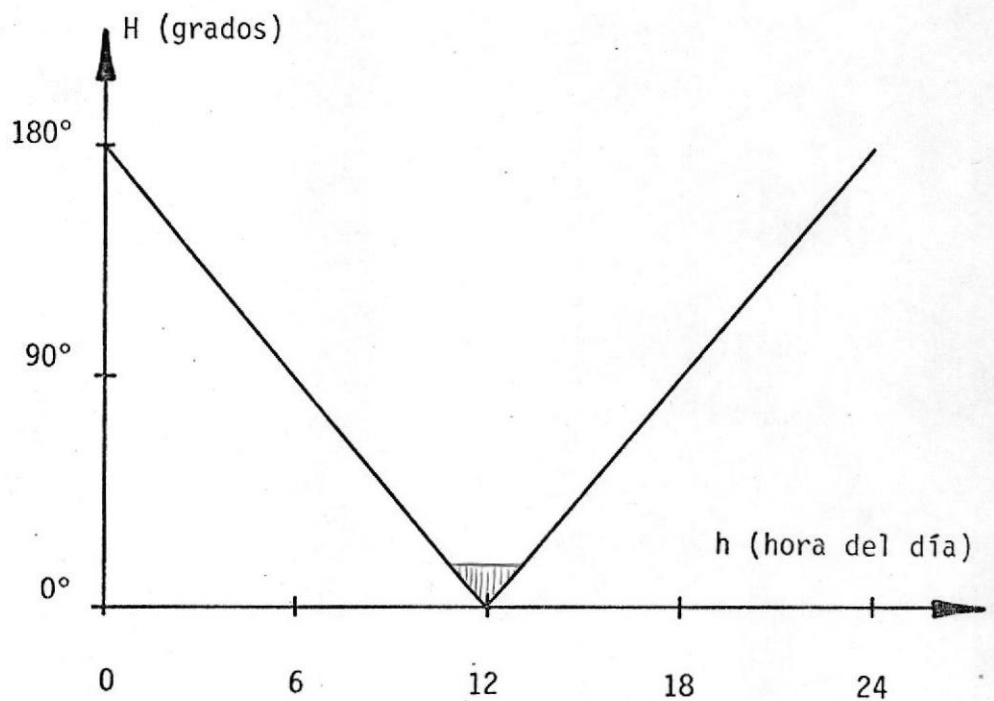


Figura 2.13 : Ángulo horario en función de la hora del día.

La figura 2.14. ilustra esquemáticamente una trayectoria solar aparente y define los ángulos de cenit, altitud y azimuth del sol. El punto P representa la posición de un observador sobre la tierra e I_{DN} es un vector que representa los rayos solares. El ángulo del cenit (X) es el ángulo formado por los rayos solares y una línea perpendicular al plano horizontal. El ángulo de altitud (AL) es el ángulo formado entre el rayo solar y la proyección del mismo sobre el plano horizontal, de tal forma que $X + AL = 90^\circ$. El ángulo de Azimuth del sol (AZS) es el ángulo en el plano horizontal medido entre el Sur y la proyección de los rayos del sol.

La figura 2.15. muestra un sistema de coordenadas con el eje z coincidente con el eje de la tierra. El plano $x - y$ coincide con el plano ecuatorial de la tierra. El vector I_{DN} que representa los rayos del sol permanece en el plano $x - z$ coincidiendo con una línea dibujada del centro del sol al centro de la tierra. La línea PN que apunta al Norte desde el punto P es perpendicular a OP y permanece en el plano que contiene a OP y al eje z . Sean a_1, b_1, c_1 los cosenos directores de la recta OP con respecto a los ejes x, y, z . También sean a_2, b_2, c_2 los cosenos directores correspondientes al rayo solar I_{DN} . Así:

$$\begin{aligned} a_1 &= \cos(L) \cos(H) \\ b_1 &= \cos(L) \sin(H) \\ c_1 &= \sin(L) \\ a_2 &= \cos(D) \\ b_2 &= 0 \\ c_2 &= \sin(D) \end{aligned} \tag{2.4}$$

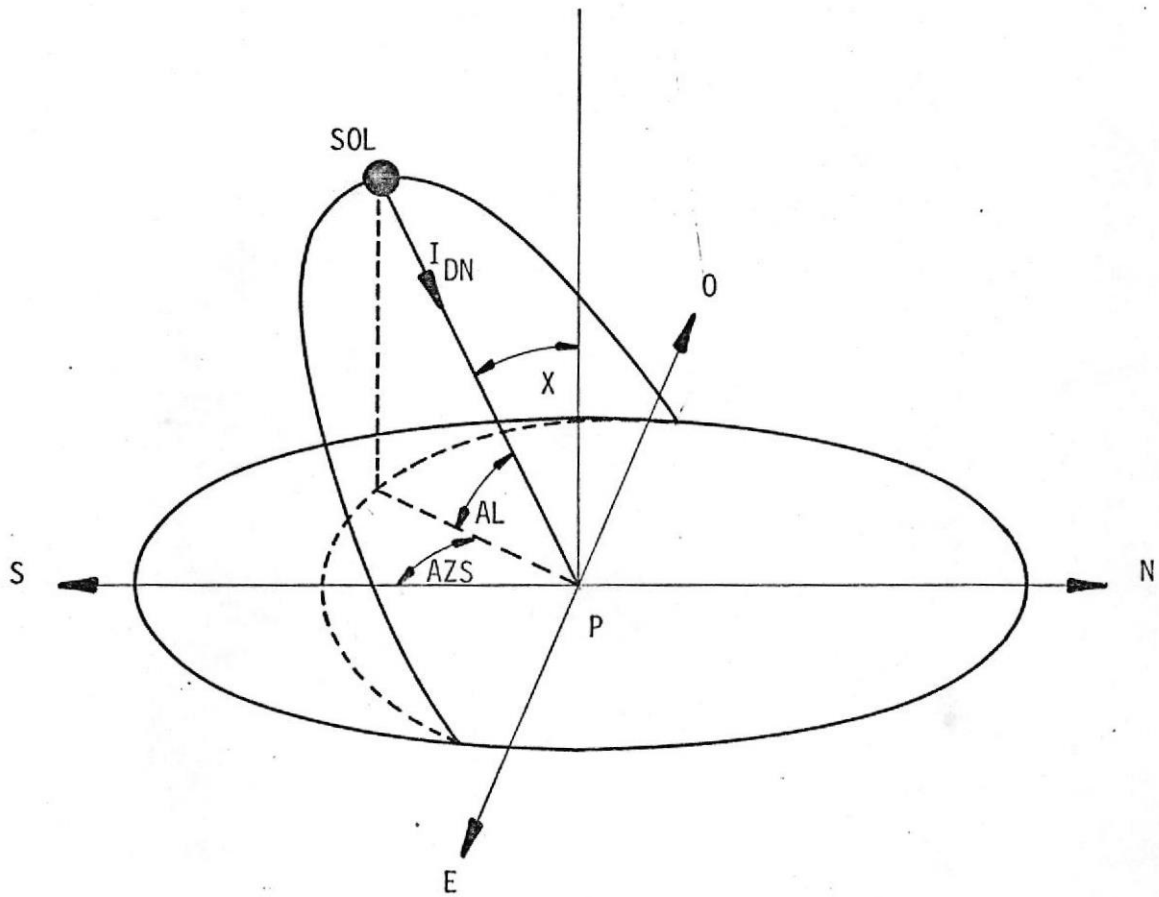


Figura 2.14 : Definición del Cenit Solar y de los ángulos de Altitud y Azimuth.

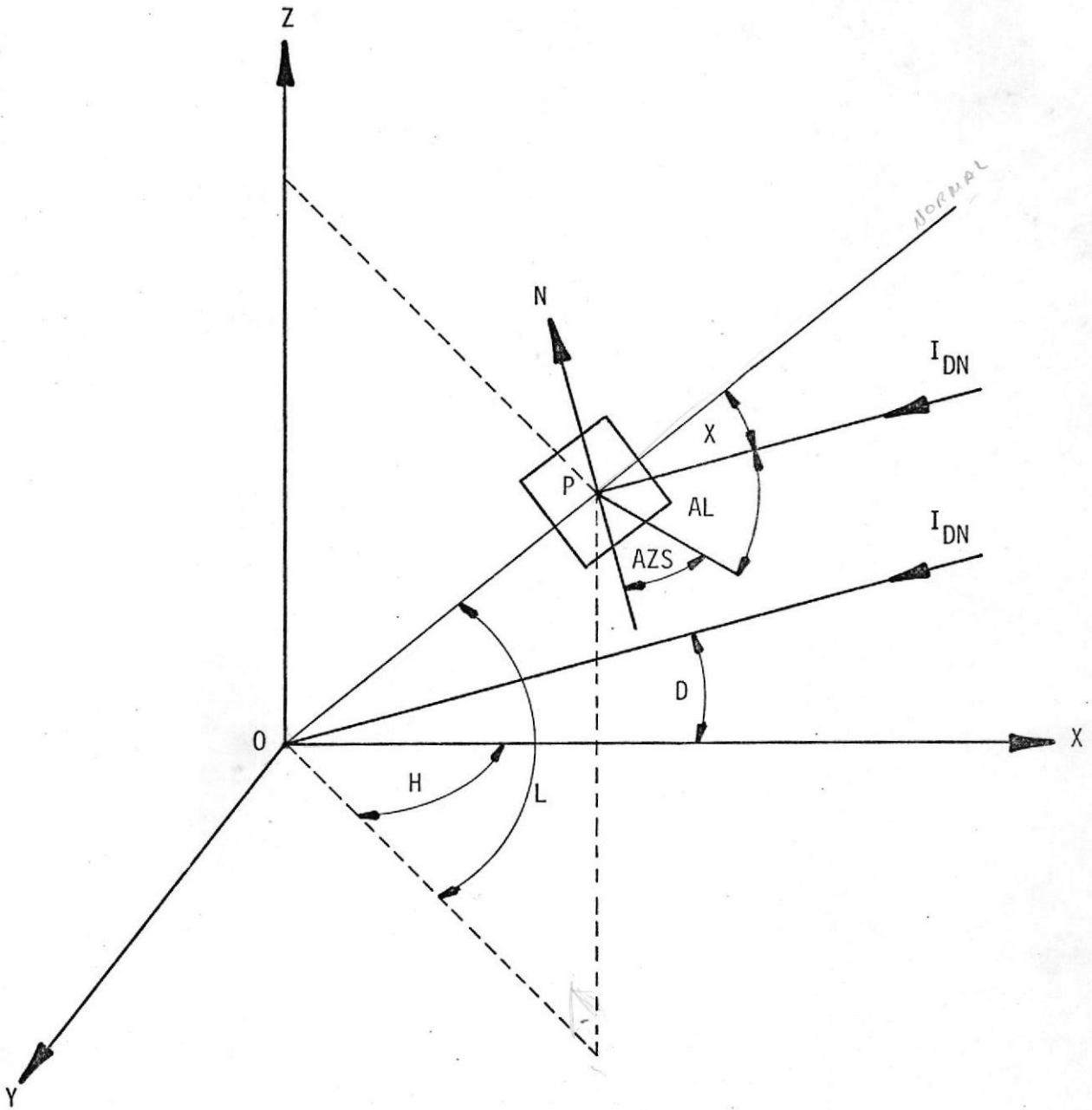


Figura 2.15 : Relación de un punto sobre la superficie de la tierra con los rayos del Sol.

El ángulo del cenit del sol (X) es el ángulo entre la línea OP e I_{DN} , por lo tanto aplicando una ecuación común de la geometría analítica, tenemos:

$$\cos(X) = a_1a_2 + b_1b_2 + c_1c_2 \quad (2.5)$$

reemplazando los valores de la ecuación (2.4) se obtiene:

$$\cos(X) = \cos(L) \cos(H) \cos(D) + \sin(L) \sin(D) \quad (2.6)$$

Puesto que $AL = 90 - X$, podemos escribir:

$$\sin(AL) = \cos(L) \cos(H) \cos(D) + \sin(L) \sin(D) \quad (2.7)$$

Por métodos similares, se puede demostrar que el ángulo de azimuth del sol (AZS) en la figura (2.15) está determinado por la relación:

$$\cos(AZS) = \sec(AL) (\cos(L) \sin(D) - \cos(D) \sin(L) \cos(H)) \quad (2.8)$$

Combinando las ecuaciones (2.7) y (2.8) y realizando una serie de transformaciones trigonométricas se obtiene la siguiente ecuación:

$$\sin(AZS) = \frac{\cos(D) \sin(H)}{\cos(AL)} \quad (2.9)$$

En el Apéndice A, Tablas A-2 y A-3, están tabuladas las ecuaciones (2.7) y (2.9) en las cuales se indican los valores de la altitud y azimuth del sol para cada hora del día 21 de cada mes y para una latitud Sur de 2.19 grados que corresponde a la latitud promedio de Guayaquil.

Para cálculos que implican superficies no horizontales, se expresará la posición del sol relativa a la superficie en función del ángulo de incidencia (i), es decir el ángulo entre los rayos del sol y la normal a la superficie. Para calcular este ángulo será necesario introducir el concepto de azimuth de la superficie (AZP) el cual está definido como el ángulo que forma la proyección sobre el plano horizontal de una línea imaginaria perpendicular a la superficie y el Sur. También se indicará que el azimuth sol-pared (AZSP) es el menor ángulo medido en un plano horizontal entre la normal a la superficie (AZP) y la proyección horizontal de los rayos del sol (AZS), es decir $AZSP = |AZS - AZP|$.

Para una superficie inclinada, un ángulo WT es medido entre la superficie y el plano horizontal, teniendo que los cosenos directores del azimuth de la pared son:

$$\begin{aligned} a_3 &= \cos(WT) \\ b_3 &= \sin(AZP) \sin(WT) \\ c_3 &= \cos(AZP) \sin(WT) \end{aligned} \quad (2.10)$$

y los cosenos directores del rayo solar, en función del ángulo horario, latitud y declinación son:

$$\begin{aligned} a_4 &= \cos(L) \cos(H) \cos(D) + \sin(L) \sin(D) = \sin(AL) \\ b_4 &= \cos(D) \sin(H) = \sin(AZS) \cos(AL) \\ c_4 &= \cos(AZS) \cos(AL) \end{aligned} \quad (2.11)$$

combinando las ecuaciones (2.10) y (2.11) se obtiene que el ángulo de incidencia para superficies inclinadas es:

$$\begin{aligned} \cos(i) = & \cos(WT) \sin(AL) + \sin(AZP) \sin(WT) \sin(AZS) \cos(AL) \\ & + \cos(AZP) \sin(WT) \cos(AZS) \cos(AL) \end{aligned} \quad (2.12)$$

factorizando y reagrupando términos en la ecuación anterior se obtiene fácilmente:

$$\cos(i) = \sin(AL) \cos(WT) + \cos(AZSP) \cos(AL) \sin(WT) \quad (2.13)$$

Para una superficie horizontal, es decir $WT = 0^\circ$ el ángulo de incidencia será:

$$\cos(i) = \sin(AL) \quad (2.14)$$

Para una superficie vertical, es decir $WT = 90^\circ$ el ángulo de incidencia será:

$$\cos(i) = \cos(AZSP) \cos(AL) \quad (2.15)$$

Una vez determinados todos los ángulos solares, el próximo paso será encontrar la rapidez con que la energía solar incide sobre una superficie de área unitaria, colocada en la tierra normalmente a los rayos solares.

La intensidad de la radiación solar sobre una superficie normal a los rayos del sol en el límite exterior de la atmósfera, y cuando la tierra está en su distancia media al sol, se conoce como CONSTANTE SOLAR (I_0). La constante solar ha sido determinada por Johnson (2) y es igual a 444.7 BTU/(Hr. Ft²). Sin embargo, la intensidad de la radiación solar I_0 normal a los rayos del sol en el límite exterior de la atmósfera varía con la distancia tierra-sol. En el Apéndice A, Tabla A-1 se indica la variación experimental de este factor representado por la letra A (constante solar

aparente), utilizando estos datos he determinado la siguiente fórmula para representar la variación de la constante solar aparente en cualquier día del año. Por lo tanto:

$$A = 446.9235 (0.825 + 0.0525 \cos(T/1.0315)) \quad (2.16)$$

Los efectos que tiene la atmósfera terrestre sobre la radiación solar han sido estudiados por los científicos durante muchos años. Las investigaciones han demostrado que cuando la radiación pasa a través de la atmósfera, parte de ella puede ser interceptada por constituyentes como moléculas de aire, moléculas de agua y partículas de polvo causando una dispersión de la radiación en todas las direcciones. En segundo lugar, parte de la radiación puede ser absorbida, principalmente por el ozono presente en la parte superior de la atmósfera o por el vapor de agua más cercano a la superficie de la tierra. La porción restante de la radiación original puede alcanzar la superficie de la tierra.

Parte de la radiación interceptada por la atmósfera, apartada del haz directo, también puede alcanzar la superficie de la tierra. Esta radiación de naturaleza difusa, proviene de todo el cielo. Por lo tanto una superficie sobre la tierra recibirá energía solar en dos formas:

radiación directa y radiación difusa.

Experimentalmente se ha demostrado (1) que la INTENSIDAD DE RADIACION DIRECTA NORMAL I_{DN} recibida por una superficie sobre la tierra, es:

$$I_{DN} = (CN) A e^{-B/\sin(AL)} \quad (2.17)$$

donde:

CN = Número de claridad, adimensional

A = Constante solar aparente, BTU/(Hr. Ft²).

B = Coeficiente de extinción atmosférico,
(masa de aire)⁻¹.

AL = Angulo de altitud del sol, grados.

El número de claridad es un índice que indica cuan despejado está el cielo. Un número de claridad igual a la unidad, indica que a una altitud a nivel del mar, existe un cielo claro con un contenido de polvo similar al de un sector rural. En sectores industriales, donde la atmósfera es muy enrarecida, el número de claridad puede ser un 15% más bajo que la unidad. En nuestro caso asumiré un número de claridad CN = 1.02.

El coeficiente de extinción B es el inverso de la masa de aire relativa. La masa de aire relativa se la define como la razón de la longitud de la trayectoria de los rayos del sol a través de la atmósfera a la longitud más corta posible, es decir cuando el sol está en el cenit. En el apéndice A, Tabla A-1 se indica la variación experimental del coeficiente de extinción de cuyos datos he obtenido la siguiente fórmula:

$$B = 0.169 - 0.03 \cos\left(\frac{T - 188}{1.0315}\right) \quad (2.18)$$

En el Apéndice A, Tablas A-2 y A-3 he tabulado las va-

riaciones de la intensidad de radiación directa normal I_{DN} para cada hora del día 21 de cada mes.

Como por lo general las superficies receptoras en la tierra nunca se encontrarán en una posición normal a los rayos del sol, se requiere por lo tanto determinar la componente de la radiación directa normal que será perpendicular a la superficie dada. Conociendo el ángulo de incidencia (i), tenemos que la RADIACION DIRECTA (I_D) que recibirá la superficie, será:

$$I_D = I_{DN} \cos(i) \quad (2.19)$$

2.4.2. Radiación difusa en superficies verticales

La radiación difusa que incide sobre una superficie vertical, se divide en tres componentes que son:

- 1.- Radiación difusa desde el cielo a la superficie
 - 2.- Radiación difusa reflejada por la tierra a la superficie
 - 3.- Radiación directa reflejada por la tierra a la superficie.
- 1.- Radiación difusa desde el cielo a la superficie

El factor angular tierra-superficie está definido por la relación: (1)

$$F_{sg} = (1 - \cos(WT)) / 2 \quad (2.20)$$

donde WT es el ángulo de inclinación de la superficie y varía entre cero grados para una superficie horizontal, hasta noventa grados para una superficie vertical.

El factor angular superficie-cielo será:

$$F_{ss} = 1 - F_{sg} \quad (2.21)$$

Como se está analizando una superficie vertical exclusivamente, el valor de los factores angulares superficie-cielo y tierra-superficie son:

$$F_{ss} = 0.5$$

$$F_{sg} = 0.5$$

La radiación difusa que viene desde el cielo es:

$$BS = \frac{C I_{DN}}{(CN)^2} \quad (2.22)$$

donde:

C = factor difuso del cielo, adimensional

CN = número de claridad, adimensional

I_{DN} = intensidad de radiación directa normal, $BTU/(Hr.Ft^2)$

Luego, la radiación difusa que llegará a la superficie vertical es:

$$I_{dss} = (BS) F_{ss} \quad (2.23)$$

2.- Radiación difusa reflejada por la tierra a la superficie

La radiación difusa que llega a la tierra es la misma que proviene desde el cielo, puesto que el factor angular cielo-tierra es la unidad. El factor angular tierra-superficie es F_{sg} y siendo ρ_g la reflectividad de la tierra tendremos:

$$I_{dsg} = (BS) F_{sg} \rho_g \quad (2.24)$$

3.- Radiación directa reflejada por la tierra a la superficie

Dependerá de la altitud del Sol y del ángulo de Azimuth entre el Sol y la Normal a la superficie.

Por altitud del Sol

Según la figura 2.16., a la distancia BC la llamaré h y será la altura que tiene la superficie. Como todos los cálculos están basados en una área unitaria, tomaré $h = 1$ por tanto:

$$\operatorname{tg} (AL) = \frac{b}{OB} = \frac{1}{OB}$$

luego:

$$OB = \frac{1}{\operatorname{tg} (AL)} \quad (2.25)$$

de esta forma la altura normal al rayo solar será:

$$h_n = (OB) \sin (AL) \quad (2.26)$$

reemplazando el valor de OB de la ecuación 2.25. en la ecuación 2.26 se obtiene:

$$h_n = \cos (AL) \quad (2.27)$$

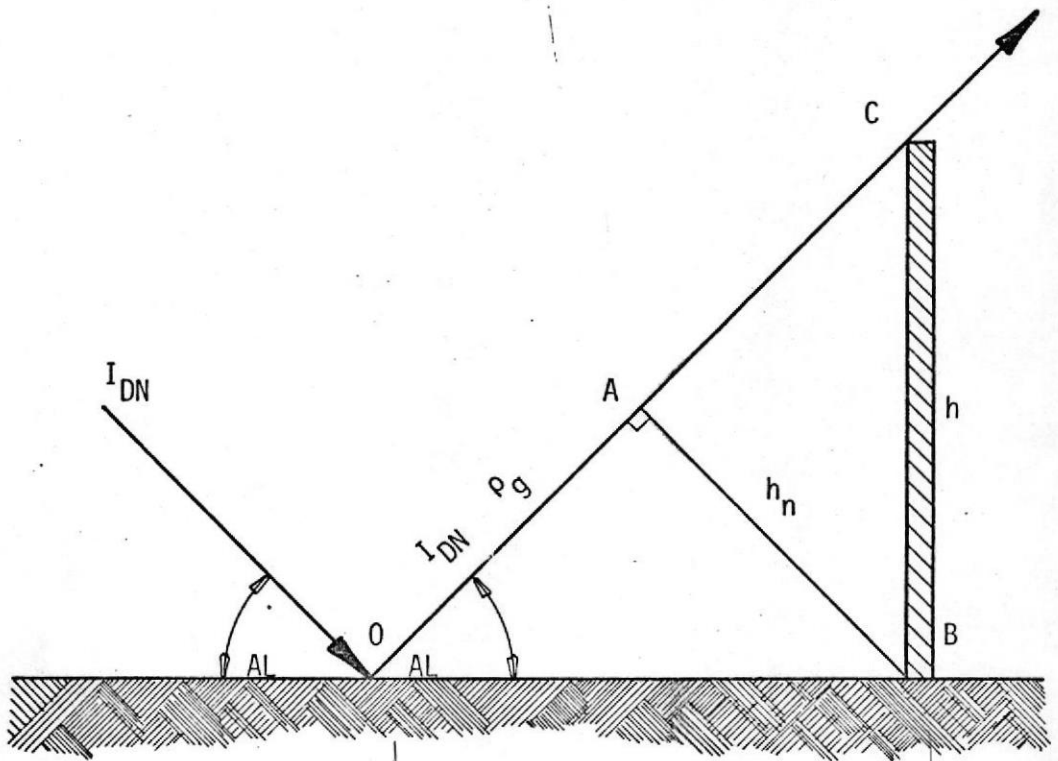


Fig. 2.16 : Radiación directa reflejada por la tierra a la superficie vertical debido a la altitud del Sol.

Por azimuth sol-pared

En la figura 2.17., la distancia EF es el ancho de la superficie y la llamaré a , la distancia EG es la proyección normal a la dirección del Sol y la llamaré a_n . Observando la figura y considerando $a = 1$ se tiene:

$$a_n = \cos (AZSP) \quad (2.28)$$

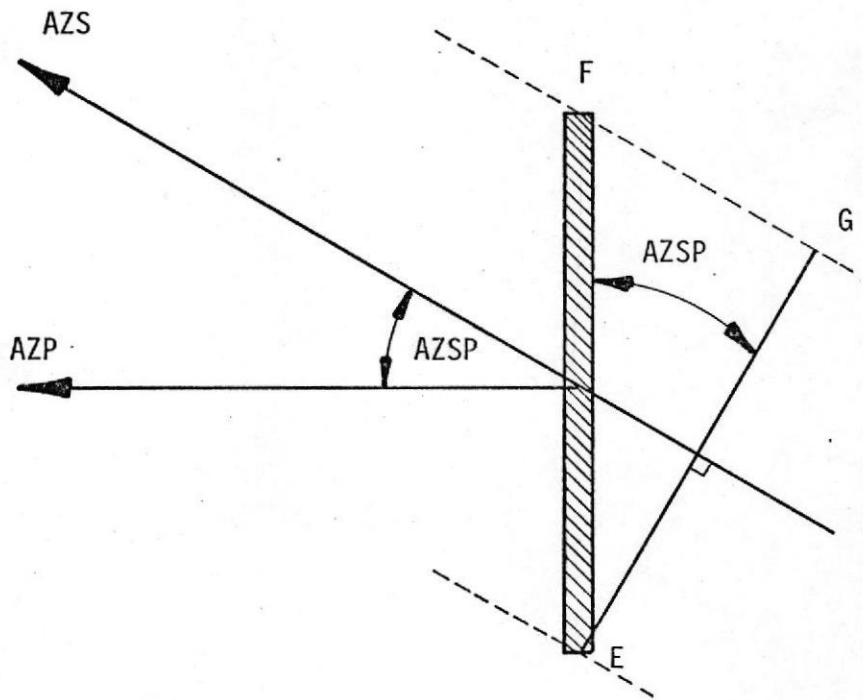


Figura 2.17 : Radiación directa reflejada por la tierra a la superficie vertical debido al Azimuth Sol-Pared.

Por lo tanto el área normal a los rayos reflejados será:

$$A_n = a_n h_n$$

reemplazando los valores anteriormente calculados se tiene:

$$A_n = \cos(AZSP) \cos(AL) \quad (2.29)$$

Sabemos que la intensidad de radiación normal que llega a la tierra es I_{DN} , por lo tanto, si la tierra tiene una reflectividad ρ_g , la cantidad de radiación directa normal reflejada y que incide sobre la superficie es:

$$I_{Dsg} = I_{DN} \rho_g A_n$$

reemplazando el valor de la ecuación 2.29 se tiene:

$$I_{Dsg} = I_{DN} \rho_g \cos(AZSP) \cos(AL)$$

conociendo que para superficies verticales $\cos(i) = \cos(AZSP) \cos(AL)$ finalmente se obtiene:

$$I_{Dsg} = I_{DN} \rho_g \cos(i) \quad (2.30)$$

En base a todas las consideraciones anteriores finalmente se obtiene la fórmula para Radiación Difusa en superficies verticales que será la siguiente:

$$I_d = I_{dss} + I_{dsg} + I_{Dsg}$$

reemplazando valores y factorizando se obtiene:

$$I_d = \left[\frac{(0.5 + 0.5 \rho_g) C}{(CN)^2} + \rho_g \cos(i) \right] I_{DN} \quad (2.31)$$

2.4.3 Propiedades de los vidrios ante la Radiación Solar

Como sabemos, el vidrio es un material diatérmico, es decir que es capaz de transmitir la radiación térmica.

Estudiaremos en algún detalle la distribución de la radiación solar incidente sobre el vidrio basado en el tratamiento hecho por Parmelee. (3)

La figura 2.18. muestra la distribución de una cantidad dada de radiación solar directa I_{DN} incidente sobre una hoja de vidrio de espesor L . Parte de la radiación incidente es reflejada por la superficie superior, parte es absorbida por el material del vidrio y parte es transmitida a través del mismo. A causa de las reflexiones internas sucesivas las cantidades de radiación reflejadas, absorbidas y transmitidas están dadas por la suma de series infinitas.

Sea r la fracción reflejada de cada componente y a la fracción de cada componente disponible después de la absorción, la transmisividad total τ considerando $I_{DN} = 1$ está dada por:

$$\tau = (1 - r)^2(1 - r)^2a^3 + r^4(1 - r)^2a^5 + \quad (2.32)$$

Como la ecuación anterior es una serie geométrica convergente, tenemos:

$$\tau = \frac{(1 - r)^2 a}{1 - r^2 a^2} \quad (2.33)$$

Del mismo modo, la reflectividad total ρ será:

$$\rho = r + \frac{r(1 - r)^2 a^2}{1 - r^2 a^2} \quad (2.34)$$

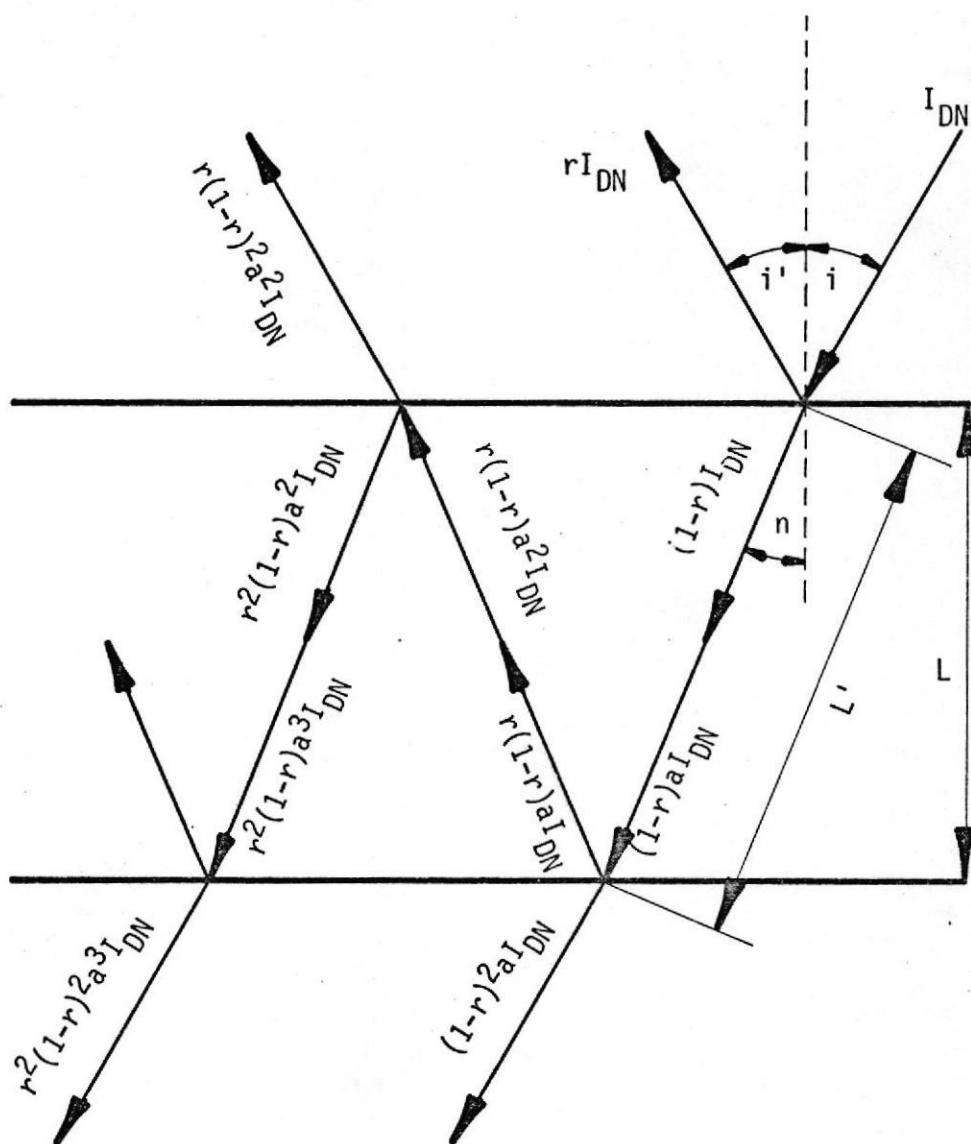


Figura 2.18 : Reflexiones múltiples de la radiación solar directa en una hoja de vidrio.

y puesto que $\alpha = 1 - \rho - \tau$, tenemos

$$\alpha = 1 - r - \frac{r(1-r)^2a^2}{1-r^2a^2} - \frac{(1-r)^2a}{1-r^2a^2} \quad (2.35)$$

eliminando términos semejantes se obtiene:

$$\alpha = \frac{(1-r)(1-a)}{1-ra} \quad (2.36)$$

Para evaluar las ecuaciones (2.33), (2.34) y (2.36) debemos conocer el valor de r y a .

La componente de la reflectividad r puede determinarse a partir de las relaciones de Fresnel (4). Puede suponerse que la luz natural o no polarizada tiene dos componentes vibratorias, una vibrando en un plano normal al plano del vidrio y otra vibrando en un plano paralelo al plano del vidrio.

La componente normal es:

$$r_n = \frac{\sin(i - \phi)}{\sin(i + \phi)} \quad (2.37)$$

La componente paralela es:

$$r_p = \frac{\text{tg}(i - \phi)}{\text{tg}(i + \phi)} \quad (2.38)$$

Como para radiación no polarizada el campo no tiene orientación definida con respecto al plano incidente, entonces la componente de la reflectividad será el promedio de las componentes normal y paralela de igual intensidad; por lo tanto:

$$r = \frac{1}{2} (r_n^2 + r_p^2) \quad (2.39)$$

Reemplazando los valores de las ecuaciones (2.37) y (2.38) obtendré:

$$r = \frac{1}{2} \left(\frac{\sin^2(i - \phi)}{\sin^2(i + \phi)} + \frac{\text{tg}^2(i - \phi)}{\text{tg}^2(i + \phi)} \right) \quad (2.40)$$

factorizando tenemos:

$$r = \frac{1}{2} \frac{\sin^2(i - \phi)}{\sin^2(i + \phi)} \left[1 + \frac{\cos^2(i + \phi)}{\cos^2(i - \phi)} \right] \quad (2.41)$$

Para calcular el ángulo de refracción ϕ utilizamos la ley de Snell's que dice: (5)

$$\frac{\sin \phi}{\sin i} = \frac{n_1}{n_2} \quad (2.42)$$

donde:

n_1 = Índice de refracción del aire = 1

n_2 = Índice de refracción del vidrio.

reemplazando estos valores en la ecuación (2.42) y haciendo $n = n_2$ se obtiene:

$$\phi = \sin^{-1} \left(\frac{\sin i}{n} \right) \quad (2.43)$$

Ahora estudiaremos el coeficiente de absorción a suponiendo que la radiación absorbida es proporcional a la intensidad de Radiación Incidente y a la longitud de la trayectoria del haz refractado, (Ley de Bouguer's) (5), por lo tanto:

$$-dI \propto I dL' \quad (2.44)$$

$$dI = -K I dL' \quad (2.45)$$

integrando la ecuación (2.45) se obtiene:

$$\frac{I}{I_{DN}} = e^{-K L'} \quad (2.46)$$

donde:

$a = I/I_{DN}$; coeficiente de absorción, adimensional

$K =$ coeficiente de extinción del vidrio, 1/pulg.

$L' =$ longitud de la trayectoria del haz refractado ;

$L' = L/\cos \phi$, pulg.

el valor del $\cos \phi$ en función del ángulo de incidencia y del índice de refracción del vidrio es:

$$\begin{aligned} \cos \phi &= \sqrt{1 - \sin^2 \phi} \\ \cos \phi &= \sqrt{1 - \frac{\sin^2 i}{n^2}} \\ \cos \phi &= \sqrt{1 - \frac{(1 - \cos^2 i)}{n^2}} \end{aligned} \quad (2.47)$$

luego, la longitud de la trayectoria del haz refractado será:

$$L' = L / \sqrt{1 - \frac{(1 - \cos^2 i)}{n^2}} \quad (2.48)$$

reemplazando todos estos valores en la ecuación (2.46) finalmente obtenemos:

$$a = e^{-K L} / \sqrt{1 - \frac{(1 - \cos^2 i)}{n^2}} \quad (2.49)$$

La Tabla 2.2. dá valores de K para varios tipos de vidrios comunmente usados en ventanas.

Tabla 2.2

COEFICIENTE DE EXTINCION K
DE VARIOS TIPOS DE VIDRIO (°)

Tipo de vidrio	K 1/pulg.
Vidrio común	0.174
Doble resistencia	0.194
Termoabsorbente	3.3 - 6.89

(°) Tomado de ASHVE trans., Vol. 51, pág. 332.

2.4.4 Radiación incidente total sobre una ventana vertical

En los párrafos anteriores se analizó la Radiación directa (I_D) y la Radiación difusa (I_d) que inciden sobre una superficie vertical, así como la reflectividad (ρ), absorptividad (α) y transmisividad (τ) del vidrio. En esta

sección ordenaré todos estos factores para determinar la cantidad de radiación incidente total sobre una ventana vertical.

La fórmula que usaré será:

$$HG = ((\tau + 0.6\alpha)I_D + I_d)(SF) + U(T_e - T_i) \quad (2.50)$$

donde:

HG = Ganancia total por pié cuadrado de ventana vertical, BTU/Hr. Ft²).

τ = Transmisividad del vidrio, adimensional.

α = Absortividad del vidrio, adimensional.

I_D = Radiación solar directa incidente sobre la ventana, BTU/Hr. Ft²).

I_d = Radiación solar difusa incidente sobre la ventana, BTU/Hr. Ft²).

SF = Factor de sombreado de la ventana, adimensional

U = Coeficiente global de transferencia de calor para el vidrio, BTU/(Hr. °F. Ft²).

T_e = Temperatura ambiente exterior, °F.

T_i = Temperatura interior del local acondicionado, °F.

La ecuación (2.50) la he determinado en base a las siguientes asunciones:

- a) Asumiré que el 60% del calor que absorbe el vidrio es transmitido al cuarto y, que el 40% es transmitido al exterior.

- b) Despreciaré la radiación de las superficies exteriores adyacentes a la ventana.
- c) Conocemos que la radiación difusa también es reflejada absorbida y transmitida por el vidrio, pero, asumiré que toda la radiación difusa incidente sobre la ventana es transmitida al interior del local acondicionado contrarrestando de esta manera la radiación de las superficies exteriores adyacentes, que anteriormente fue despreciada.

Reemplazando en la ecuación (2.50) los valores de I_D e I_d determinados anteriormente obtendré la siguiente fórmula:

$$HG = \left\{ \left[(\tau + 0.6\alpha)\cos(i) \right] + \left[\frac{(0.5 + 0.5 \rho_g) C}{(CN)^2} + \rho_g \cos(i) \right] \right\} I_{DN} (SF) + U(T_e - T_i) \quad (2.51)$$

En esta ecuación, haciendo:

$$F_D = (\tau + 0.6\alpha)\cos(i) \quad (2.52)$$

$$f_d = \frac{(0.5 + 0.5 \rho_g)}{(CN)^2} + \rho_g \cos(i) \quad (2.53)$$

obtenemos la siguiente ecuación simplificada:

$$HG = (F_D + f_d) I_{DN} (SF) + U(T_e - T_i) \quad (2.54)$$

En el Apéndice A, Tabla A-4 está tabulada la ecuación (2.52) correspondiente al valor del factor de radiación directo F_D , en función del ángulo de altitud del sol (AL) y del ángulo de azimuth sol-pared (AZSP) para un vidrio común

de las siguientes características:

- Espesor del vidrio (L) 0.25 pulg.
- Índice de refracción del vidrio (n) 1.52
- Coeficiente de extinción (K) 0.174 (pulg.)⁻¹

En el Apéndice A, Tabla A-5 se encuentra tabulada la ecuación (2.53) correspondiente al valor del factor de radiación difuso f_d , para el día 21 de Febrero, en función del ángulo de altitud del sol (AL) y del ángulo de azimuth sol - pared (AZSP) basada en los siguientes parámetros:

- Número de claridad (CN) 1.02
- Factor difuso del cielo para el 21 de Febrero (C) 0.122
- Reflectividad de la tierra (ρ_g) 9.5%

En el Apéndice A, Tabla A-1 se dan todos los valores de C y en la Tabla A-6 encontramos los factores de corrección para los días 21 de cada mes, aplicables a la Tabla A-5 de modo que al seleccionar el verdadero valor del factor de radiación difuso usando las tablas, tendremos:

$$f_d = \text{Tabla (A-5)} + \text{corrección Tabla (A-6)} \quad (2.55)$$

2.4.5 Coefficientes de transmisión de calor

- 1) Techos.- El techo de cada edificio consta de los siguientes elementos:

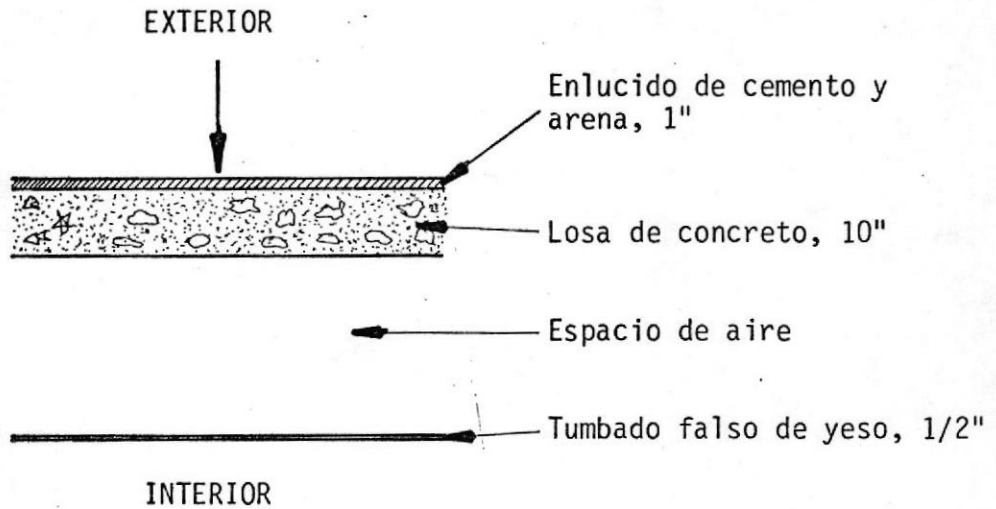


Figura 2.19 : Construcción del Techo.

En Guayaquil, la velocidad del viento es alrededor de de 10 Km./Hr. lo cual representa 6.21 Millas/Hr., por tanto para nuestros cálculos asumiré 7.5 Millas/Hr.

La velocidad del aire comprendido entre el tumbado falso y la losa es practicamente nula, luego asumiré aire en reposo.

El aire en el interior del cuarto acondicionado tendrá una velocidad promedio de 100 Ft/min., ya que los difusores de aire se los seleccionará para mantener esta velocidad como máximo. Esta velocidad representa 1.14 Millas/Hr., y siendo una velocidad muy baja, asumiré que el aire está en reposo.

En base a todas estas consideraciones se calculará el coeficiente global de transferencia de calor para el techo tomando las resistencias térmicas mostradas en el Apéndice B Tabla B-1, y que a continuación se indican:

	<u>R</u>
Coeficiente fílmico 7.5 mph.	0.25
Enlucido exterior 1"	0.20
Losa de concreto 10"	1.14
Espacio de aire	0.92
Tumbado de yeso 1/2"	0.32
Coeficiente fílmico interior	0.92
Resistencia total	<u>3.75</u> ✓

Por lo tanto el coeficiente U será:

$$U = 1/R_T = 1/3.75$$

$$U = 0.27 \text{ BTU}/(\text{Hr. } ^\circ\text{F. Ft}^2)$$

=====

2) Paredes exteriores.- La figura 2.20. nos indica los componentes de las paredes exteriores:

Al igual que el techo, las resistencias térmicas están mostradas en el Apéndice B, Tabla B-1, de la cual obtenemos:

	<u>R</u>
Coeficiente fílmico exterior 7.5 mph.	0.25 ✓
Enlucido exterior 1"	0.20 ✓
Ladrillo común 6"	1.20 ✓

Enlucido interior 1" ✓	0.20 ✓
Coefficiente fílmico interior ✓	0.68 ✓
	<hr/>
Resistencia total	2.53

Por lo tanto el coeficiente global de transferencia de calor para las paredes exteriores es:

$$U = 1/R_T = 1/2.53$$

$$U = 0.40 \text{ BTU}/(\text{Hr. } ^\circ\text{F. Ft}^2)$$

=====

3) Paredes interiores.- La figura 2.21. nos indica las componentes de las paredes interiores.

Al igual que el techo, las resistencias térmicas están mostradas en el Apéndice B, Tabla B-1, de la cual obtenemos:

	<u>R</u>
Coefficiente fílmico exterior	0.68 ✓
Enlucido exterior 1"	0.20 ✓
Ladrillo común 4" ✓	0.80
Enlucido interior 1"	0.20
Coefficiente fílmico interior	0.68 ✓
	<hr/>
Resistencia total	2.56

Por lo tanto el coeficiente global de transferencia de calor para las paredes interiores es:

$$U = 1/R_T = 1/2.56$$

$$U = 0.40 \text{ BTU}/(\text{Hr. } ^\circ\text{F. Ft}^2)$$

=====

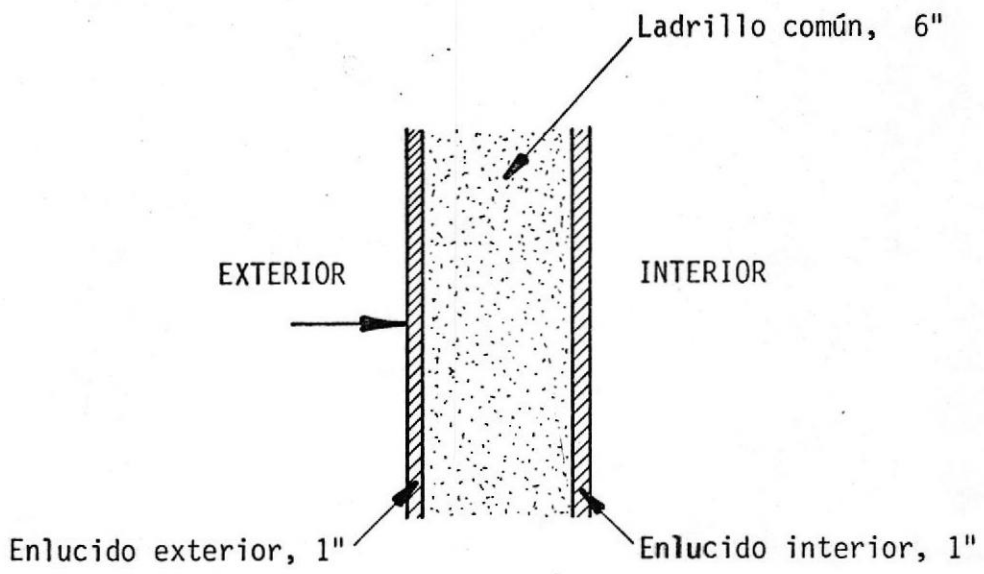


Figura 2.20 : Construcción de paredes exteriores.

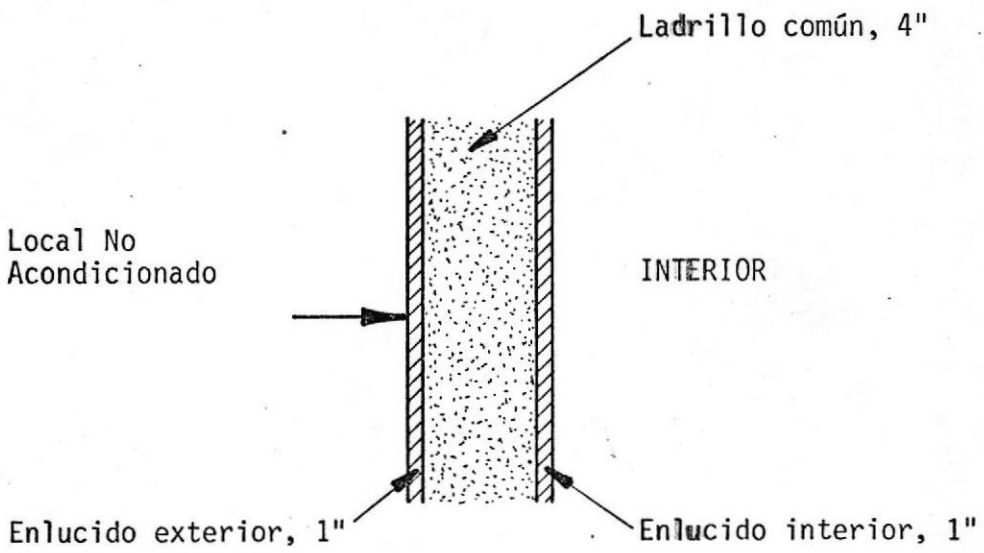


Figura 2.21 : Construcción de paredes interiores.

2.4.6 Areas de transmisión de Calor

Del estudio realizado de los planos suministrados por el Departamento de Planificación Física de la Escuela, se han obtenido las áreas de ventanas exteriores, paredes exteriores, paredes interiores, pisos y techos.

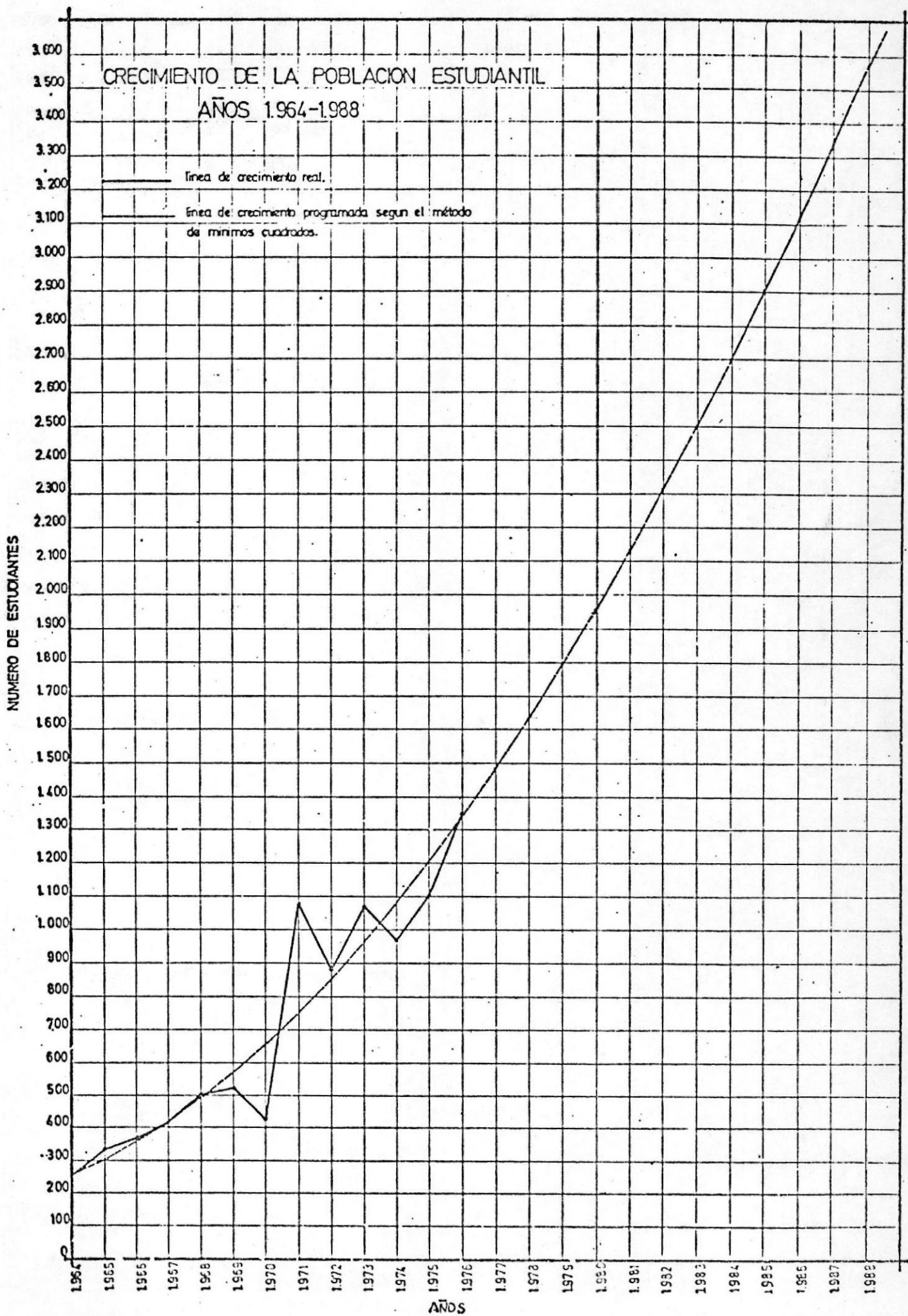
Los resultados se muestran en las Tablas 2.3 , 2.4 y 2.5.

2.4.7 Personas

En la actualidad, la Escuela aproximadamente cuenta con 1350 alumnos, 100 profesores y 200 empleados administrativos. El Departamento de Planificación Física ha realizado un estudio estadístico mostrado en la figura 2.22., en el que se indica que la cantidad de alumnos en el año 1990 será de 3800. Como la central de enfriamiento tendrá una vida mínima de 20 años, tomaré este valor como el máximo número de alumnos que habitarán la Escuela. Proporcionalmente la cantidad de profesores que se necesitarían para el nuevo número de alumnos lo estimaré en 240 profesores. El personal administrativo se mantendrá prácticamente constante y lo estimaré en 260 empleados.

Con todas estas asunciones, el número total de personas que utilizaré para el diseño de la central de enfriamiento será de 4300 personas.

=====



FUENTE: Departamento de Planificación Física de la ESPOL.

Figura 2.22

TABLA 2.3
AREA DE VENTANAS (Ft²)

EDIFICIOS ACONDICIONADOS		AZIMUTH DE VENTANAS (GRADOS)																		
		14	35	61	68	75	95	109	151	155	158	191	215	241	248	275	297	331	335	338
BLOQUE A	SOL	420	-	240	-	360	-	360	840	-	-	360	-	-	580	-	160	3350	-	-
	SOMBRA	-	-	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	420	-	-	70	-	-
BLOQUE G	SOL	-	-	2460	-	-	-	-	1640	-	-	-	-	2270	-	-	-	1750	-	-
	SOMBRA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AULAS HEXAGONALES	SOL	-	110	-	-	-	110	-	-	110	-	-	110	-	-	110	-	-	110	-
	SOMBRA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SALON DE ACTOS Y COMEDOR	SOL	-	-	-	200	-	-	-	-	-	160	-	-	-	320	-	-	-	-	270
	SOMBRA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MINAS Y PETROLEOS	SOL	-	-	-	340	-	-	-	-	-	740	-	-	-	320	-	-	-	-	880
	SOMBRA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50	-	-	-	-	-	-	-	-	50
F.E.P.O.L.	SOL	-	-	110	-	-	-	-	150	-	-	-	-	110	-	-	-	50	-	-
	SOMBRA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ING. MARITIMA Y CIENCIAS DEL MAR	SOL	-	-	-	-	-	-	-	1040	-	-	-	-	-	-	-	-	1180	-	-
	SOMBRA	-	-	-	-	-	-	-	360	-	-	-	-	-	-	-	-	320	-	-
PESQUERIA	SOL	-	-	170	-	-	-	-	250	-	-	-	-	500	-	-	-	60	-	-
	SOMBRA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	SOL	420	110	2980	540	360	110	360	3920	110	900	360	110	2880	1220	110	160	6390	110	1150
	SOMBRA	-	-	60	-	-	-	-	360	-	50	-	-	-	420	-	-	390	-	50

TABLA 2.4
AREA DE PAREDES EXTERIORES (Ft²)

EDIFICIOS ACONDICIONADOS	AZIMUTH DE PAREDES EXTERIORES (GRADOS)																		
	14	35	61	68	75	95	109	151	155	158	191	215	241	248	275	297	331	335	338
BLOQUE A	1920	-	660	-	1050	-	990	3330	-	-	1650	-	-	2360	-	500	2910	-	-
BLOQUE G	-	-	6360	-	-	-	-	5250	-	-	-	-	6170	-	-	-	4940	-	-
AULAS HEXAGONALES	-	250	-	-	-	250	-	-	250	-	-	250	-	-	250	-	-	250	-
SALON DE ACTOS Y COMEDOR	-	-	-	1000	-	-	-	-	-	800	-	-	-	880	-	-	-	-	700
MINAS Y PETROLEOS	-	-	-	3390	-	-	-	-	-	3840	-	-	-	3560	-	-	-	-	4140
F.E.P.O.L.	-	-	280	-	-	-	-	430	-	-	-	-	280	-	-	-	530	-	-
ING. MARITIMA Y CIENCIAS DEL MAR	-	-	1970	-	-	-	-	2780	-	-	-	-	2450	-	-	-	3570	-	-
PESQUERIA	-	-	920	-	-	-	-	880	-	-	-	-	1590	-	-	-	290	-	-
TOTAL	1920	250	10190	4390	1050	250	990	12670	250	4640	1650	250	10490	6800	250	500	12240	250	4840

TABLA 2.5.

AREAS DE PISOS, TECHOS Y PAREDES INTERIORES
(Ft²).

EDIFICIOS ACONDICIONADOS	PISOS	TECHOS	PAREDES INTERIORES
BLOQUE A	51550	18200	9360
BLOQUE G	80510	39330	40020
AULAS HEXAGONALES	13560	13560	-----
SALON DE ACTOS Y COMEDOR	8000	8000	1000
MINAS Y PETROLEOS	22020	22020	3160
F.E.P.O.I	2300	2300	600
ING. MARITIMA Y CIENCIAS DEL MAR	23710	4850	10770
PESQUERIA	7710	7710	3690
TOTAL	209360	115970	68600

3.- CALCULO DE CARGAS DE REFRIGERACION

3.1. CARGAS EXTERNAS

Para nuestro caso, las cargas exteriores consisten en:

- 1.- Ganancia de calor por ventanas.
- 2.- Ganancia de calor por paredes y techos.
- 3.- Aire exterior necesario para la ventilación.

3.1.1. Ganancia de calor por las ventanas exteriores

En el capítulo anterior se indicó que la hora de diseño será las 5 p.m. porque en este momento se supone que toda la Escuela estará funcionando con el máximo número de personas que ella puede admitir. También se indicó que la forma de evaluar la carga real de enfriamiento para los equipos de la Central de enfriamiento, es considerar la ganancia de calor instantánea a la hora de diseño como calor convectivo, y un promedio de 6 horas, es decir: la hora de diseño y cinco horas antes de ella, como calor radiante, debido a que los edificios almacenan calor independientemente de su ganancia instantánea por estar expuestos varias horas a la radiación solar.

Lo que falta por determinar en este momento, es en que mes del año a las cinco de la tarde se producirá la máxima ganancia de calor a través de las ventanas. En el Apéndice A, Tablas A-2 y A-3 se indica la posición del Sol determinada por sus ángulos de Azimuth y Altitud, así como la intensidad de radiación directa normal (IDN) que proviene del Sol, para los días 21 de cada mes.

Observando las Tablas A-2 y A-3 y después de haber realizado una selección de valores, he determinado que el día 21 de Diciembre a las 5:00 p.m. es el día de mayor ganancia solar por las ventanas de todos los edificios.

En el Apéndice A, Tablas A-4 y A-5, se tabulan los valores de los factores de Radiación Directa (F_D) y Radiación Difusa (f_d) respectivamente, en función del ángulo de Altitud del Sol y el ángulo de Azimuth Sol-Pared.

En el Apéndice A, Tabla A-6, se tabulan los valores del Factor de Corrección de Radiación Difusa, (f^1d), en función del día y mes del año.

En el Apéndice A, Tabla A-7, se indica la variación de la temperatura del aire exterior (T_e) en función de la hora del día.

En el Apéndice B, Tabla B-2, se indica el valor del Coeficiente Global de Transferencia de calor (U) para vidrios.

En el Apéndice B, Tabla B-3, se tabulan los valores para el Coeficiente de Sombreado de una ventana (SF) con sombreado interior por cortinas de diferentes clases, y sin sombreado interior.

En la Tabla 3.1 se indican los factores Solares para las ventanas, de acuerdo al Azimuth de cada una de ellas. Las fórmulas que se utilizaron para encontrar estos factores son:

$$HG_{sol} = (F_D + f_d + f_d^1) (SF) I_{DN} + U (T_e - T_i) \quad (3.1)$$

$$HG_{sombra} = (f_d + f_d^1) (SF) I_{DN} + U (T_e - T_i) \quad (3.2)$$

donde:

F_D = Apéndice A, Tabla A-4, adimensional

f_d = Apéndice A, Tabla A-5, adimensional

f_d^1 = Apéndice A, Tabla A-6, adimensional

SF = Apéndice B, Tabla B-3, adimensional

I_{DN} = Apéndice A, Tabla A-2, BTU/(Hr. Ft²)

U = Apéndice B, Tabla B-2, BTU/(Hr. Ft². °F.)

T_e = Apéndice A, Tabla A-7, °F

T_i = Temperatura interior de los ambientes
acondicionados, 75°F

Observando detenidamente la Tabla 3.1, vemos que a las 4:00 p.m. se registran los Factores Solares más altos para la ganancia de calor instantánea a través de las ventanas pero a esta hora el número de personas que estarán en los locales será aproximadamente de 1420, que corresponderá a los empleados administrativos, cierta cantidad de alumnos y profesores; por lo tanto si sumáramos las ganancias de calor por ventanas y personas a las 4:00 p.m., resultará un valor mucho menor que a las 5:00 p.m., donde el número de personas se la ha estimado en 4300, confirmando de este modo, que la hora de diseño debe ser a las 5:00 p.m.

TABLA 3.1.

RESUMEN DE FACTORES SOLARES PARA DIC. 21
(BTU/(Hr. Ft²)).

Azimuth Ventana	12 p.m.		1 p.m.		2 p.m.		3 p.m.		4 p.m.		5 p.m.		Prom. 6 hs.	
	Sol	Somb.	Sol	Somb.	Sol	Somb.	Sol	Somb.	Sol	Somb.	Sol	Somb.	Sol	Somb.
14°	94.6	35.6	84.0	37.7	71.1	37.8	59.0	36.4	50.1	33.5	36.9	27.1	66.0	34.7
35°	79.6	34.3	51.2	34.6	34.3	33.2	-	32.1	-	30.1	-	24.9	27.5	31.5
61°	50.0	31.6	-	30.9	-	32.2	-	32.1	-	30.1	-	24.9	8.3	30.3
68°	42.2	30.7	-	30.9	-	32.2	-	32.1	-	30.1	-	24.9	7.0	30.2
75°	35.5	29.7	-	30.9	-	32.2	-	32.1	-	30.1	-	24.9	5.9	30.0
95°	-	27.6	-	30.9	-	32.2	-	32.1	-	30.1	-	24.9	-	29.6
109°	-	27.6	-	30.9	-	32.2	-	32.1	-	30.1	-	24.9	-	29.6
151°	-	27.6	-	30.9	-	32.2	-	32.1	-	30.1	-	24.9	-	29.6
155°	-	27.6	-	30.9	-	32.2	-	32.1	-	30.1	-	24.9	-	29.6
158°	-	27.6	-	30.9	-	32.2	-	32.1	-	30.1	-	24.9	-	29.6
191°	-	27.6	-	30.9	-	32.2	-	32.1	-	30.1	-	24.9	-	29.6
215°	-	27.6	-	30.9	-	32.2	36.1	33.4	42.5	32.6	38.9	27.3	19.6	30.7
241°	-	27.6	32.3	31.6	64.3	37.1	102.6	40.1	121.6	39.6	100.5	32.5	70.2	34.8
248°	-	27.6	37.5	32.8	80.4	38.6	122.3	41.7	140.9	41.1	114.5	33.6	82.6	35.9
275°	29.0	28.3	76.3	37.1	135.9	43.1	177.6	46.3	191.6	45.5	150.0	36.8	126.7	39.5
297°	47.7	31.3	106.5	39.6	159.9	45.1	194.3	47.7	203.7	46.6	157.2	37.5	144.9	41.3
331°	85.0	34.8	122.9	40.9	151.8	44.4	168.5	45.5	170.2	43.6	129.6	35.0	138.0	40.7
335°	88.2	35.1	122.0	40.8	147.2	44.0	161.4	44.9	162.1	42.9	123.3	34.4	134.0	40.4
338°	90.3	35.2	121.0	40.7	143.3	43.7	155.5	44.4	155.5	42.4	118.1	34.0	130.6	40.1

TABLA 3.2.

GANANCIA CONVECTIVA Y RADIANTE POR VENTANAS

AZIMUTH VENTANAS	AREA (Ft ²)	5 pm. hora de diseño		Promedio 6 horas	
		Factor Solar	M.B.H.	Factor Solar	M.B.H.
14° SOL	420	36.9	15.50	66.0	27.72
35° SOL	110	24.9	2.74	31.5	3.47
61° SOL	2980	24.9	74.20	30.3	90.29
SOMBRA	60	24.9	1.49	30.3	1.82
68° SOL	540	24.9	13.45	30.2	16.31
75° SOL	360	24.9	8.96	30.0	10.80
95° SOL	110	24.9	2.74	29.6	3.26
109° SOL	360	24.9	8.96	29.6	10.66
151° SOL	3920	24.9	97.61	29.6	116.03
SOMBRA	360	24.9	8.96	29.6	10.66
155° SOL	110	24.9	2.74	29.6	3.26
158° SOL	900	24.9	22.41	29.6	26.64
SOMBRA	50	24.9	1.25	29.6	1.48
191° SOL	360	24.9	8.96	29.6	10.66
215° SOL	110	38.9	4.28	19.6	2.16
241° SOL	2880	100.5	289.44	70.2	202.18
248° SOL	1220	114.5	139.69	82.6	100.77
SOMBRA	420	33.6	14.11	35.9	15.08
275° SOL	110	150.0	16.50	126.7	13.94
297° SOL	160	157.2	25.15	144.9	23.18
331° SOL	6390	129.6	828.14	138.0	881.82
SOMBRA	390	35.0	13.65	40.7	15.87
335° SOL	110	123.3	13.56	134.0	14.74
338° SOL	1150	118.1	135.82	130.6	150.19
SOMBRA	50	34.0	1.70	40.1	2.01
TOTAL			1752.01		1755.00
=====			=====		=====

En la Tabla 3.2. se hace el balance de las ganancias convectivas y radiantes debido a las ventanas, obteniendo los siguientes resultados:

Calor por Convección = 1752.01 MBH

Calor por Radiación = 1755.00 MBH

Para determinar la carga real de enfriamiento, se deberá sumar el 58% del calor por radiación con el 42% del calor por convección según lo indica el Apéndice B, Tabla B-6. Realizando las operaciones necesarias se obtiene que la carga real de enfriamiento debida a las ventanas exteriores es:

Carga de Enfriamiento = 1753.74 MBH

3.1.2 Ganancia de calor por paredes y techos

En el Apéndice B, Tabla B-4, se indican los diferenciales de temperatura para paredes exteriores y paredes interiores (Paredes a la sombra); y en la Tabla B-5 para techos expuestos al Sol. Para el caso de las paredes exteriores, la Tabla B-4 solamente nos suministra información sobre 8 orientaciones diferentes, debido a esto haré las siguientes asunciones:

Orientación Norte (N.)

Corresponderá a las fachadas de Azimuth 158 y 191 grados, es decir: 6290 Ft².

Orientación Nor-Oeste (NO.)

Corresponderá a las fachadas de Azimuth 215 y 241 grados, es decir: 10740 Ft².

Orientación Oeste (O.)

Corresponderá a las fachadas de Azimuth 248 y 275 grados, es decir: 7050 Ft².

Orientación Sur-Oeste (SO.)

Corresponderá a las fachadas de Azimuth 297, 331 y 335 grados, es decir: 12990 Ft².

Orientación Sur (S.)

Corresponderá a las fachadas de Azimuth 14 y 338 grados, es decir: 6760 Ft².

Orientación Sur-Este (SE.)

Corresponderá a las fachadas de Azimuth 35 y 61 grados, es decir: 10440 Ft².

Orientación Este (E.)

Corresponderá a las fachadas de Azimuth 68, 75, 95 y 109 grados, es decir: 6680 Ft².

Orientación Nor-Este (NE.)

Corresponderá a las fachadas de Azimuth 151 y 155 grados, es decir: 12920 Ft².

TABLA 3.3

DIFERENCIALES DE TEMPERATURA PARA
 PAREDES EXTERIORES, PAREDES INTERIORES
 Y TECHOS

ORIENTACION DE PARED	ΔT Equivalente ($^{\circ}F$)				Promedio 6 horas
	12 p.m.	2 p.m.	4 p.m.	5 p.m.	
N	2.5	9.5	19.0	20.0	12.8
NO	3.0	7.0	13.0	18.0	10.3
O	5.0	7.0	11.0	14.5	9.4
SO	3.0	5.0	9.0	11.0	7.0
S	0.0	2.0	8.0	10.0	5.0
SE	18.0	16.0	10.0	11.5	13.9
E	20.0	22.0	18.0	15.5	18.9
NE	13.0	16.5	18.0	16.5	16.0
INTERIOR	2.0	8.0	12.0	13.0	8.8
TECHO	23.1	37.6	45.9	46.9	38.4

TABLA 3.4

GANANCIA CONVECTIVA Y RADIANTE POR TRANSMISION

ORIENTACION PAREDES	AREA (Ft ²)	U	5 pm. hora de diseño		Promedio 6 horas	
			ΔT	M.B.H.	ΔT	M.B.H.
N	6290	0.40	20.0	50.32	12.8	32.20
NO	10740	0.40	18.0	77.33	10.3	44.25
O	7050	0.40	14.5	40.89	9.4	26.51
SO	12990	0.40	11.0	57.16	7.0	36.37
S	6760	0.40	10.0	27.04	5.0	13.52
SE	10440	0.40	11.5	48.02	13.9	58.05
E	6680	0.40	15.5	41.42	18.9	50.50
NE	12920	0.40	16.5	85.27	16.0	82.69
INTERIOR	68600	0.40	13.0	356.72	8.8	241.47
TECHO	115970	0.27	46.9	1468.53	38.4	1202.38
TOTAL				2252.70		1787.94
=====				=====		=====

En la Tabla 3.3 se indican los diferenciales de temperatura que se aplicarán en el cálculo de las ganancias convectivas y radiantes debido a las paredes exteriores, paredes interiores y techos, obteniendo los siguientes resultados:

Calor por convección = 2252.70 MBH.

Calor por radiación = 1787.94 MBH

En la Tabla 3.4 se indica el cálculo de estos valores. Para determinar la carga de enfriamiento, se deberá sumar el 40% del calor por convección con el 60% del calor por radiación, según lo indica la Tabla B-6 del Apéndice B. Realizando las operaciones necesarias se obtiene que la carga real de enfriamiento debido a las paredes exteriores, paredes interiores y techos es:

Carga de enfriamiento = 1973.84 MBH.

3.1.3 Aire exterior para ventilación

Es necesario en los locales acondicionados, proveer un cierto caudal de aire exterior que permita la supresión de olores debido a los ocupantes, al tabaco o a otras fuentes.

La renovación de aire varía principalmente con el número de personas, la altura del tumbado y el número de fumadores. En el Apéndice C, Tabla C-1 se dan los caudales de aire necesarios para ventilación según la aplicación considerada. La Tabla da a la vez el caudal mínimo por persona y por Ft² de piso, se tomará siempre el más elevado de los dos. Pa

ra nuestro caso he tomado 0.25 CFM/Ft²., que multiplicados - por los 209360 Ft². de piso nos dá 52340 CFM.

La cantidad total de calor que introducimos al sistema con el aire exterior es:

$$q_{O.A.} = \frac{(CFM) 60 (h_1 - h_2)}{v_1} \quad (3.3)$$

donde:

h_1 = entalpía del aire a las condiciones exteriores
BTU/lb.

h_2 = entalpía del aire a las condiciones interiores,
BTU/lb.

v_1 = volumen específico del aire a las condiciones -
exteriores, Ft³/lb.

CFM = caudal de aire para ventilación, 52340 Ft³/min.

60 = factor de reducción de unidades, min/Hr.

Condiciones exteriores

A las 5:00 p.m. las condiciones del aire exterior son 90°F, bulbo seco y 79.4°F bulbo húmedo. Para encontrar la entalpía h_1 utilizaré las siguientes fórmulas: (1)

$$W_1 = \frac{(1093 - 0.556 T_i) W_{s1} - 0.24 (T_1 - T_i)}{1093 + 0.444 T_1 - T_i} \quad (3.4)$$

$$\mu_1 = \frac{W_1}{W_{s1}} \quad (3.5)$$

$$h_1 = h_{a1} + \mu_1 h_{as1} \quad (3.6)$$

$$v_1 = v_{a1} + \mu_1 v_{as1} \quad (3.7)$$

En el Apéndice C, Tabla C-3 se indican las propiedades termodinámicas del aire húmedo, por lo tanto:

$$T_1' = 79.4^\circ\text{F}$$

$$T_1 = 90.0^\circ\text{F}$$

$$W_{s1} = 0.03118 \text{ lb}_w/\text{lb}_a.$$

$$W'_{s1} = 0.02188 \text{ lb}_w/\text{lb}_a.$$

$$h_{a1} = 21.625 \text{ BTU/lb.}$$

$$h_{as1} = 34.31 \text{ BTU/lb.}$$

$$v_{a1} = 13.853 \text{ Ft}^3/\text{lb.}$$

$$v_{as1} = 0.692 \text{ Ft}^3/\text{lb.}$$

Reemplazando estos valores en las ecuaciones 3.4 a la 3.7 se obtiene:

$$h_1 = 42.94 \text{ BTU/lb.}$$

$$v_1 = 14.28 \text{ Ft}^3/\text{lb.}$$

Condiciones interiores

En cada edificio acondicionado, se mantendrá una temperatura interna de 75°F , bulbo seco y 62.5°F , bulbo húmedo. Las propiedades termodinámicas del aire en estas condiciones según la Tabla C-3 son:

$$T_2' = 62.5^\circ\text{F}$$

$$T_2 = 75.0^\circ\text{F}$$

$$W_{s2} = 0.01882 \text{ lb}_w/\text{lb}_a.$$

$$W'_{s2} = 0.01213 \text{ lb}_w/\text{lb}_a.$$

$$h_{a2} = 18.018 \text{ BTU/lb.}$$

$$h_{as2} = 20.59 \text{ BTU/lb.}$$

Reemplazando estos valores en las ecuaciones (3.4) a la (3.6) pero con el sub-índice 2, se obtiene:

$$h_2 = 28.14 \text{ BTU/lb.}$$

Con estos valores calculados, sustituyéndolos en la ecuación (3.3) se obtiene que el calor por convección que su ministra el aire exterior necesario para la ventilación de los locales es:

$$\text{Calor por convección} = 3253.46 \text{ MBH.}$$

De acuerdo con el A-éndice B, Tabla B-6, la carga de enfriamiento es el 100% del calor por convección, luego:

$$\text{Carga de enfriamiento} = 3253.46 \text{ MBH.}$$

3.1.4 Resumen de Cargas Externas

La ganancia total de calor suministrada por las cargas externas, expresada en miles de BTU/Hr. es la siguiente:

<u>Carga de Enfriamiento</u>	<u>MBH</u>
Ventanas	1753.74
Paredes exteriores, interiores y techos	1973.84
Aire exterior para ventilación	3253.46
TOTAL CARGAS EXTERNAS	<u>6981.04</u> =====

3.2 CARGAS INTERNAS

Lo mismo que la ganancia por cargas externas, las ganancias internas consisten en calor radiado que es parcialmente almacenado y por tanto, reducen la carga impuesta a la central de enfriamiento.

En nuestro caso, las ganancias internas provienen de las siguientes fuentes:

- 1.- Ganancia de calor por personas.
- 2.- Ganancia de calor por el alumbrado.
- 3.- Ganancia de calor debida a los motores de las unidades terminales de acondicionamiento de aire en cada local.
- 4.- Ganancias varias.

3.2.1 Ganancia de calor por personas

Tal como ya se estudió anteriormente, en el cuerpo humano se producen unas transformaciones exotérmicas cuya intensidad es variable según el individuo y la actividad que desarrolla. En el Apéndice C, Tabla C-2 se indican las cantidades de calor generado por una persona a diferentes temperaturas ambientales interiores y con distintos grados de actividad. De esta Tabla obtenemos que para un local a 75°F bulbo seco de temperatura interior, y considerando un grado de actividad igual al de un empleado de oficina, el calor que genera una persona es:

Calor sensible	245 BTU/(Hr. persona)
Calor latente	205 BTU/(Hr. persona)
Calor total	450 BTU/(Hr. persona)

Para determinar la carga real de enfriamiento se deberá sumar el 60% del calor por convección con el 40% del calor por radiación, según lo indica el Apéndice B, Tabla B-6.

El calor por convección se considera al calor generado por las personas a la hora de diseño, y éste será:

$$\text{Calor por convección} = (4300) (450)/1000 = 1935 \text{ MBH}$$

Para calcular el calor por radiación, se hará un promedio de la cantidad de personas en 6 horas y será el siguiente:

12:00 m.	516 personas.
2:00 pm.	86 personas.
4:00 pm.	1420 personas.
5:00 pm.	4300 personas.
Promedio 6 horas	<u>1581</u> personas.

de esta manera:

$$\text{Calor por radiación} = (1581) (450)/1000 = 711.45 \text{ MBH}$$

Utilizando la Tabla B-6 obtenemos:

$$\text{Carga de enfriamiento} = 1445.58 \text{ MBH.}$$

3.2.2 Ganancia de calor por luces

En nuestro medio, un excelente nivel de alumbrado es 1.5 Watts/Ft² de piso, es decir que para todos los edificios se necesitarán:

$$\frac{(209360) (1.5)}{1000} = 314 \text{ Kw.}$$

El calor generado por el alumbrado también tiene su componente convectiva que será determinada a la hora de diseño, y su componente radiante porque parte del calor generado se almacena en el edificio antes de ser carga del equipo.

Para el cálculo de la componente radiante tomaré las siguientes horas:

12:00	m.	38 Kw.
2:00	pm.	7 Kw.
4:00	pm.	314 Kw.
5:00	pm.	314 Kw.
Promedio 6 horas		169 Kw.

La ecuación que utilizaré para evaluar la cantidad de calor producido por las luces en función de los Kw. y considerando que la iluminación se realizará por medio de lámparas fluorescentes es:

$$q_{\text{luc es}} = (\text{Kw}) (3412) (1.25) \quad (3.8)$$

donde:

$$q_{\text{luc es}} = \text{Calor generado por las luces, BTU/Hr.}$$

$$3412 = \text{BTU/(Hr. Kw.)}$$

$$1.25 = \text{Factor de aumento de capacidad para lámparas fluorescentes. Esto es con el objeto de contrarrestar la potencia consumida por el balastro. Para el caso de luces incandescentes este factor es la unidad.}$$

Reemplazando en esta ecuación los Kw para la hora de diseño y los Kw para el promedio de 6 horas se obtiene:

$$\text{Calor por convección} = 1339.21 \text{ MBH}$$

$$\text{Calor por radiación} = 720.79 \text{ MBH.}$$

Para determinar la carga real de enfriamiento se deberá sumar el 50% del calor por convección con el 50% del calor por radiación, según lo indica el Apéndice B, Tabla B-6; por lo tanto:

$$\text{Carga de enfriamiento} = 1030 \text{ MBH.}$$

3.2.3 Ganancia de calor debido a los motores de las unidades terminales en cada local.

El calor generado por los motores de los ventiladores dependerá del caballaje de cada uno, es decir de la presión estática contra la cual debe trabajar cada ventilador y la cantidad de pies cúbicos por minuto (CFM) de aire que debe manejar.

La cantidad total de aire que deben manejar todos los equipos terminales en cada uno de los locales acondicionados dependerá del análisis psicrométrico de cada área. Un valor aproximado de acuerdo a mi experiencia, es utilizar 1.6 CFM/Ft² con lo cual obtendremos que el volumen total de aire que será manejado por los ventiladores será:

$$(209360) (1.6) = 335000 \text{ CFM.}$$

El área ocupada por aulas de clases es el 30% del área total, y el área ocupada por oficinas, laboratorios, salas de conferencia, etc. es el 70%; por lo tanto:

Aulas de clases 30% = 100000 CFM.

Oficinas, etc. 70% = 235000 CFM.

Debido a que las aulas de clases pueden funcionar independientemente una de otra y por ser áreas relativamente pequeñas, estarán acondicionadas por unidades del tipo ventilador-serpentín, es decir unidades que estarán dentro del aula acondicionada y que no llevan ductos para la distribución del aire. Este tipo de unidades tiene la siguiente pérdida de presión estática (6) :

Serpentín de 2 filas	0.47 pulgadas de agua.
Filtro lavable	<u>0.10 pulgadas de agua.</u>
PERDIDA TOTAL	0.57 pulgadas de agua.
	=====

La eficiencia de los ventiladores varía de acuerdo al tipo de ventilador. Normalmente dentro del grupo de ventiladores centrífugos encontramos 4 clasificaciones generales:

- FC (curvados hacia adelante)
- BI (inclinados hacia atrás)
- Hojas radiales
- Tubular centrífugo

Dentro de esta clasificación, para nuestro caso utili-

zaré ventiladores del tipo FC porque son capaces de suministrar grandes volúmenes de aire a baja presión estática y trabajar relativamente a bajas velocidades, lo cual minimiza el ruido y desgaste de los rodamientos. La eficiencia de este tipo de ventilador varía entre el 45% al 70%. Usaré un valor de 50% para fines de cálculo. De esta forma, el cabalaje al freno de las unidades ventilador-serpentín será:

$$\begin{aligned} \text{BHP (unidades ventilador-serpentín)} &= \frac{(100000) (0.57)}{(6356) (0.5)} \\ &= 17.94 \end{aligned}$$

como estas unidades están dentro del local acondicionado debemos tomar en consideración la eficiencia del motor eléctrico que mueve al ventilador, esta eficiencia la estimaré en un 65%, luego:

$$\text{Kw (unidades ventilador-serpentín)} = \frac{(17.94)(0.746)}{0.65} = 20.59$$

Para el acondicionamiento de las áreas restantes, se utilizarán unidades centrales de manejo de aire, es decir unidades que distribuyen el aire frío por medios de ductos. Este tipo de unidades tiene la siguiente pérdida de presión (7). :

Serpentín 6 filas	1.40 pulgadas de agua.
Ductos de distribución de aire	0.25 pulgadas de agua.
Difusores y registros	0.25 pulgadas de agua.
Filtro lavable	0.10 pulgadas de agua.
PERDIDA TOTAL	2.00 pulgadas de agua.
	=====

Con estos datos, el caballaje al freno de este tipo de unidades será:

$$\text{BHP (unidades centrales)} = \frac{(235000) (2.00)}{(6356) (0.5)} = 147.89$$

Como estas unidades no están dentro del local acondicionado no se tomará en cuenta la eficiencia de los motores eléctricos, por tanto:

$$\text{Kw (unidades centrales)} = (147.89) (0.746) = 110.33$$

La carga de enfriamiento real producida por los motores, es una carga instantánea no teniendo componente convectiva, por lo tanto:

$$\text{Kw (total de motores)} = 20.59 + 110.33 = 130.92$$

reduciendo a unidades de calor, se obtiene:

$$\text{Carga de enfriamiento} = 446.7 \text{ MBH.}$$

3.2.4 Ganancias varias

Además de las personas, luces y motores de unidades terminales, también generan calor lo siguiente:

- Máquinas de escribir eléctricas.
- Cigarrillos encendidos.
- Cafeteras
- Tostadoras.
- Equipos de laboratorios, etc.

Siendo practicamente imposible poder determinar todos estos factores, tomareé como carga adicional la tercera parte de la carga de enfriamiento debida al alumbrado, esto es:

Carga de enfriamiento = 343 MBH.

3.2.5. Resumen de cargas internas

La ganancia total de calor suministrada por las cargas internas, expresada en miles de BTU/Hr es la siguiente:

<u>Cargas de enfriamiento</u>	<u>MBH</u>
Personas	1445.58
Alumbrado	1030.00
Motores de ventiladores	446.70
Ganancias varias	343.00
TOTAL CARGAS INTERNAS	3265.28
	=====

CARGA TOTAL DE ENFRIAMIENTO

Una vez determinadas las ganancias de calor por cargas externas y cargas internas, la carga total que asumirá la central de enfriamiento es:

<u>Tipo de carga</u>	<u>MBH</u>
Cargas externas	6981.04
Cargas internas	3265.28

	10246.32
+ 10% Factor de seguridad	1024.63
	<hr/>
CARGA REAL	11270.95 = 11'270.000 BTU
	===== (579 BTU/m ²)

Normalmente las capacidades de las centrales de enfriamiento se las especifica en Toneladas de Refrigeración y la equivalencia es:

$$1 \text{ T.R.} = 12000 \text{ BTU/Hr.} = 12 \text{ MBH.}$$

De esta forma, la capacidad de la central de enfriamiento expresada en T.R. será:

$$\text{CAPACIDAD DE LA CENTRAL DE ENFRIAMIENTO} = 940 \text{ T.R.}$$

=====

4. SELECCION DEL TIPO DE CENTRAL DE
ENFRIAMIENTO.

4.1 CONSIDERACIONES ECONOMICAS

Los métodos empleados comercialmente para acondicionar un local, los planificaré en dos tipos básicos que se diferencian en la forma de obtener el enfriamiento del espacio que se desea acondicionar.

- a) Sistemas de Expansión Directa
- b) Sistemas de Agua Helada

a) Sistemas de Expansión Directa

Este es el sistema más elemental para el acondicionamiento de aire, formado por una pequeña unidad de habitación. Los sistemas de expansión directa se dividen en tres clases:

- Unidades de "Ventana"
- Unidades tipo "Paquete"
- Unidades "Partidas"

En la figura 4.1 se indica una unidad de "Ventana", que encuentran su aplicación en habitaciones pequeñas y medianas, especialmente en residencias particulares y oficinas aisladas.

Las unidades tipo "Paquete" (Figura 4.2), se utilizan en establecimientos comerciales o grupos de oficinas que constituyen zonas individuales.

Las unidades "Partidas" (figura 4.3) constan de dos cuerpos separados:

- El evaporador, que está constituido por su ventilador , serpentín de enfriamiento y filtros de aire.
- La unidad condensadora, que consta del compresor recíprocante, ventilador y serpentín de condensación.

El consumo de energía expresado en Kw/T.R. para los sistemas de expansión directa son los siguientes:

- | | |
|-------------------------|--------------|
| - Unidades de "Ventana" | 2.00 Kw/T.R. |
| - Unidades "Paquetes" | 1.75 Kw/T.R. |
| - Unidades "Partidas" | 1.60 Kw/T.R. |

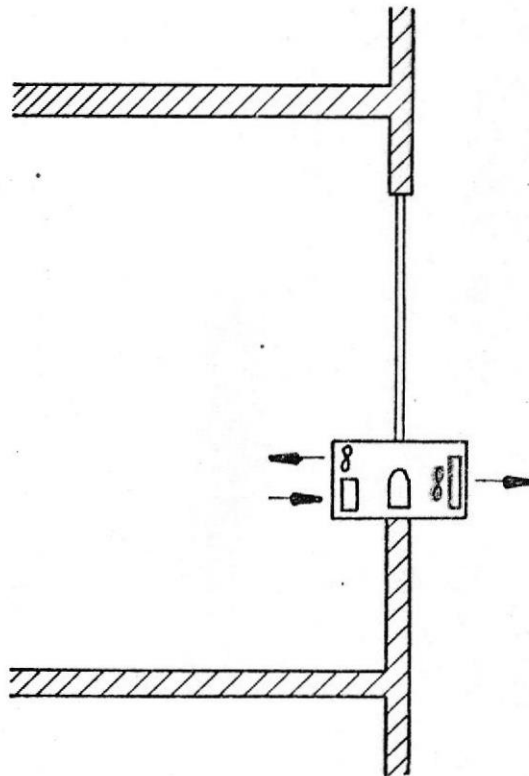


Figura 4.1 : Unidad de "Ventana". (6000 a 36000 BTU/HR.)

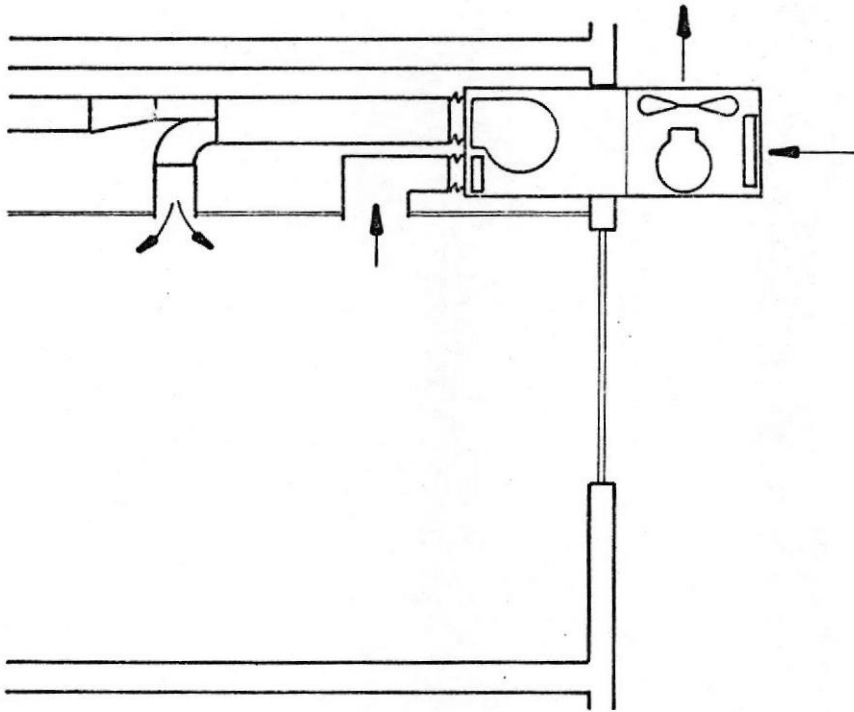


Figura 4.2 : Unidad tipo "Paquete". (24000 a 180000 BTU/HR.)

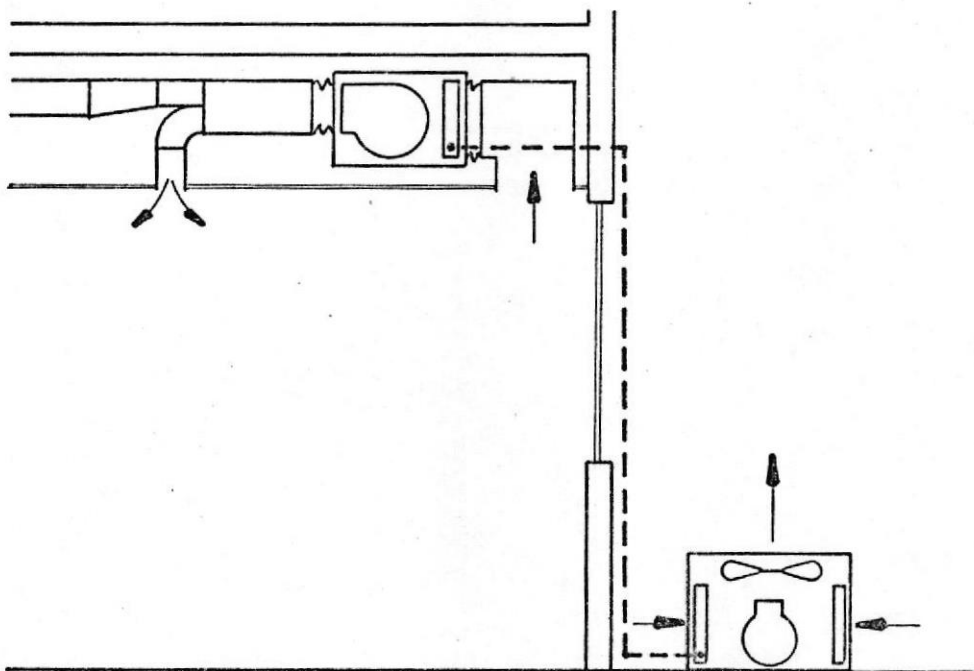


Figura 4.3 : Unidad "Partida". (24000 a 240000 BTU/HR.)

b) Sistema de agua helada

Mediante este sistema, los locales son acondicionados por medio de serpentines de enfriamiento de agua.

El agua se enfría en una máquina enfriadora de agua para luego ser distribuida por medio de una bomba a los diversos serpentines de enfriamiento que están conectados por tuberías aisladas formando un circuito cerrado con la máquina enfriadora.

En la Tabla 4.1 se indican los diversos tipos de máquinas enfriadoras de agua, así como su consumo de energía.

La utilización de cualquier tipo de máquina enfriadora de agua está restringida al rango de su capacidad. Con esto quiero indicar que si en un local se necesitan 50 T.R., utilizaré las máquinas de compresores recíprocantes, pero si se necesitan 1000 T.R. es ilógico pensar en un sistema de enfriamiento con 5 máquinas recíprocantes de 200 T.R. cada una, en lugar de una máquina centrífuga o absorción de 1000 T.R.

En los actuales momentos, la Escuela Superior Politécnica del Litoral no ha planificado sus necesidades de acondicionamiento de aire, realizándolas de un modo desordenado y sin ningún criterio técnico, digo esto porque es fácil observar la cantidad de sistemas de expansión directa que se han instalado.

El Departamento de Mantenimiento de la ESPOL gentilmente me ha proporcionado las características de los equipos actualmente instalados en la Escuela, las mismas que se indican en las Tablas 4.2 a la 4.9, habiéndose omitido solamente las 12 marcas diferentes de los equipos.

TABLA 4.1

CLASIFICACION DE MAQUINAS ENFRIADORAS DE AGUA

TIPO DE MAQUINA	RANGO DE CAPACIDAD (T.R.)	CONSUMO (Kw/T.R.)
Compresores recipro - cantes con su condensador enfriado por aire	20 + 85	1.30
Compresores recipro - cantes con su condensador enfriado por agua	10 + 200	0.87
Compresor centrifugo con su condensador enfriado por agua	80 + 5000	0.70
Absorción	100 + 1700	18.70 lb/(Hr. T.R.) de vapor

TABLA 4.2

EQUIPOS INSTALADOS EN EL DEPARTAMENTO
DE INGENIERIA MECANICA

UBICACION	TIPO DE EQUIPO	CAPACIDAD (BTU/Hr.)	CONSUMO (Kw)
Lab. Refrigeración	Ventana	18000	3.00
Metalurgia	"	23000	3.83
Metalurgia	"	10000	1.67
Of. del Taller	"	8000	1.33
Lab. Control	"	31000	5.17
Lab. Combustión	"	23000	3.83
Taller de Maquinaria	"	19000	3.17
Oficinas	Partido	91000	12.13
TOTAL		223000	34.13

TABLA 4.3

EQUIPOS INSTALADOS EN EL DEPARTAMENTO
DE INGENIERIA ELECTRICA

UBICACION	TIPO DE EQUIPO	CAPACIDAD (BTU/Hr.)	CONSUMO (Kw)
Dirección	Ventana	6000	1.00
Lab. Calibración	"	10000	1.67
Lab. Circuitos	"	12000	2.00
Lab. Electrónica	"	23000	3.83
Lab. Electrónica	"	23000	3.83
Lab. Electrónica	"	23000	3.83
Lab. Maq. Eléctrica	"	14000	2.33
Lab. Microondas	"	23000	3.83
Lab. Microondas	"	33000	3.83
Lab. Control	"	23000	3.83
Lab. Comunicaciones	"	24000	4.00
Lab. Comunicaciones	"	24000	4.00
Lab. Microondas	"	27000	4.50
Lab. Digitales	"	27000	4.50
Oficinas	PARTIDO	48000	6.40
Sala de Profesores	"	48000	6.40
TOTAL		382000	59.78

TABLA 4.4

EQUIPOS INSTALADOS EN LOS DEPARTAMENTOS
DE GEOLOGIA MINAS Y PETROLEOS

UBICACION	TIPO DE EQUIPO	CAPACIDAD (BTU/Hr.)	CONSUMO (Kw)
Yacimientos Petrolíficos	VENTANA	10000	1.67
Sala de Profesores	"	30000	5.00
Laboratorio	"	30000	5.00
Mineralogía	"	18000	3.00
Petrografía	"	26500	4.42
Mecánica de Suelos	"	30000	5.00
Mecánica de Suelos	"	30000	5.00
Geología	"	30000	5.00
Geología Estructural	"	18000	3.00
Geología	"	26000	4.33
Petróleos	"	23000	3.83
Dirección	"	23000	3.83
Petróleos	"	15500	2.58
Petróleos	"	22500	3.75
Laboratorio	"	10000	1.67
Cromatografía	"	27000	4.50
Lab. Perforación	"	27000	4.50
Lab. Perforación	"	15000	2.50
Laboratorio	"	27000	4.50
Laboratorio	"	30000	5.00
TOTAL		468500	78.08

TABLA 4.5

EQUIPOS INSTALADOS EN EL DEPARTAMENTO
NAVAL

UBICACION	TIPO DE EQUIPO	CAPACIDAD (BTU/Hr.)	CONSUMO (Kw)
Dirección Pesquería	VENTANA	18000	3.00
Sala de Profesores	"	27000	4.50
Profesores	"	27000	4.50
Diseños	"	23000	3.83
Ciencias del Mar	"	19000	3.17
Oceanografía	"	23000	3.83
Dirección	"	15000	2.50
TOTAL		152000	25.33

TABLA 4.6

EQUIPOS INSTALADOS EN EL INSTITUTO
DE MATEMATICAS

UBICACION	TIPO DE EQUIPO	CAPACIDAD (BTU/Hr.)	CONSUMO (Kw)
Sala de Consulta	VENTANA	18000	3.00
Sala de Dibujo	"	23000	3.83
Sala de Dibujo	"	23000	3.83
Oficinas	PARTIDO	48000	6.40
Oficinas	"	48000	6.40
TOTAL		160000	23.46

TABLA 4.7

EQUIPOS INSTALADOS EN EL INSTITUTO
DE FISICA

UBICACION	TIPO DE EQUIPO	CAPACIDAD (BTU/Hr.)	CONSUMO (Kw)
Dirección	VENTANA	23500	3.92
Salón de Dibujo	"	10000	1.67
Sala de Profesores	"	23000	3.83
Consultas	"	23000	3.83
Laboratorio	"	23000	3.83
Laboratorio	"	27000	4.50
Salón de Profesores	PAQUETE	48000	7.00
Oficinas	"	48000	7.00
TOTAL		225500	35.58

TABLA 4.8

EQUIPOS INSTALADOS EN EL INSTITUTO
DE QUIMICA

UBICACION	TIPO DE EQUIPO	CAPACIDAD (BTU/Hr.)	CONSUMO (Kw)
Sala de Profesores	VENTANA	27000	4.50
Dirección	"	27000	4.50
Corrosión Química	"	26000	4.33
Laboratorio	"	8000	1.33
Laboratorio	"	14000	2.33
Laboratorio	"	18500	3.08
TOTAL		120500	20.07

TABLA 4.9

EQUIPOS INSTALADOS EN DIFERENTES AREAS
ADMINISTRATIVAS DE LA ESCUELA

UBICACION	TIPO DE EQUIPO	CAPACIDAD (BTU/Hr.)	CONSUMO (Kw)
Biblioteca	VENTANA	17000	2.83
Biblioteca	"	29000	4.83
Biblioteca	"	29000	4.83
Tesorería	"	8500	1.42
Tesorería	"	18000	3.00
Tesorería	"	23000	3.83
Contabilidad	"	19000	3.17
Almacén Politécnico	"	26500	4.42
Central de Radio	"	23000	3.83
Central Telefónica	"	18000	3.00
Dispensario Médico	"	27000	4.50
Gabinete Dental	"	27000	4.50
Oficina del BID	"	27000	4.50
Dirección del BID	"	10000	1.67
Secretaría del BID	"	26500	4.42
Administración	"	18500	3.08
Planificación Física	"	30000	5.00
Departamento Construcc.	"	10000	1.67
Imprenta	"	15500	2.58
Imprenta	"	22500	3.75
Rectorado	PARTIDO	60000	8.00
Secretaría General	"	48000	6.40
Sala de Sesiones	"	48000	6.40
Salón de Grados	"	36000	4.80
Audio-Visuales	"	40000	5.33
Computadora	"	48000	6.40
Computadora	"	48000	6.40
TOTAL		753000	114.56

Como resumen de estas tablas se obtiene lo siguiente:

- Unidades de "Ventana"	83
- Unidades "Paquetes"	2
- Unidades "Partidas"	12
- Capacidad instalada	207.04 T.R.
- Consumo total de energía	390.99 Kw.
- Consumo específico	1.89 Kw/T.R.

Facilmente se puede deducir que el costo de mantemiento para 97 unidades (97 compresores) suministrados por 12 fabricantes diferentes debe ser muy elevado, del mismo modo el consumo de energía es 59% mayor si se lo compara con lo que consumiría una central de enfria - miento de agua que utiliza una máquina centrífuga de igual capacidad que la instalada.

La necesidad de tener más áreas acondicionadas dentro de la ESPOL aumenta día a día, tanto para el confort humano como para el me - jor funcionamiento de equipos, principalmente de laboratorios, por lo tanto es necesario que la producción de frío se produzca en una cen - tral de enfriamiento de agua.

En el Capítulo 2 se dió una descripción del tipo de central de enfriamiento a utilizarse para acondicionar toda la Escuela. En es - ta sección justificaré económicamente el por qué se ha seleccionado esta forma de enfriamiento, basado en un análisis de consumo expresa - do en Sucres/(Hr. T.R.) y mostrado en la Tabla 4.10.

Este análisis se fundamenta en los siguientes costos:

TABLA 4.10

COSTOS DE OPERACION (SUCRES/(Hr. T.R.))

	Unidades de Ventana	Unidades Partidas	COMPRESOR RECIPROCANTE		Compresor Centrifugo Enfriado por agua	ABSORCION	SISTEMA PROPUESTO
			Enfriado por aire	Enfriado por agua			
UNIDAD ENFRIADORA	1.80	1.44	1.17	0.78	0.63	0.01	0.01
UNIDADES TERMINALES	-	-	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
BOMBA DE AGUA HELADA	-	-	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
BOMBA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO	-	-	-	0.09	0.09	0.09	0.09
BOMBA DE CONDENSADO	-	-	-	-	-	0.01	0.003
VENTILADOR DE TORRE DE ENFRIAMIENTO	-	-	-	0.06	0.06	0.06	0.06
COMBUSTIBLE N° 6	-	-	-	-	-	0.37	0.23
AGUA POTABLE	-	-	-	0.05	0.05	0.05	0.05
TOTAL	1.80	1.44	1.41	1.22	1.07	0.83	0.683
	=====	=====	=====	=====	=====	=====	=====

- Energía eléctrica 0.90 Sucres/Kw.
- Combustible Nº 6 2.29 Sucres/galón
- Agua Potable 4.00 Sucres/m³.

Con los valores calculados en la Tabla 4.10 y asumiendo un funcionamiento promedio de 10 horas al día, al 80% de capacidad, 5 días a la semana y 4 semanas por mes, el consumo y el ahorro mensual con el sistema que se propone, se indica en la Tabla 4.11

TABLA 4.11
COSTOS DE OPERACION

TIPOS DE SISTEMAS	CONSUMO MENSUAL (SUCRES)	AHORRO MENSUAL (SUCRES)
UNIDADES DE "VENTANA"	270720	167997
UNIDADES "PARTIDAS"	216576	113853
RECIPROCANTE ENFRIADO POR AIRE	212064	109341
RECIPROCANTE ENFRIADO POR AGUA	183488	80765
CENTRIFUGA ENFRIADA POR AGUA	160928	58205
ABSORCION	124832	22109
SISTEMA PROPUESTO	102723	--

La inversión inicial para suministrar 940 T.R. necesarias para acondicionar totalmente la Escuela Superior Politécnica del Litoral incluyendo la Central de Enfriamiento, unidades terminales, ductos de distribución de aire, controles e instrumentos, mano de obra para fabricación y montaje, etc., al utilizar distintos equipos de enfriamiento está representada en la Tabla 4.12; también incluye el nú-

mero aproximado de años en el cual se recobraría la diferencia del valor inicial de los distintos sistemas con respecto al sistema propuesto en este estudio, debido al ahorro de dinero en el funcionamiento de los equipos.

TABLA 4.12

INVERSION INICIAL

TIPOS DE SISTEMA	SUCRES T.R.	COSTO INICIAL (Millones de Sucres)	Tiempo de Reintegro de difer. inversión (Años)
UNIDADES DE "VENTANA"	18000	16.92	7.3
UNIDADES "PARTIDAS"	21600	20.30	8.3
RECIPROCANTE ENFRIADO POR AGUA	26400	24.82	7.0
RECIPROCANTE ENFRIADA POR AIRE	27600	25.94	4.3
CENTRIFUGA ENFRIADA POR AGUA	30000	28.20	4.9
ABSORCION	31200	29.33	8.5
SISTEMA PROPUESTO	33600	31.58	-

Como se podrá observar, el costo inicial del sistema que se propone incluyendo unidades terminales y demás accesorios requeridos para su funcionamiento normal es muy superior especialmente si se lo compara con las unidades de Ventana, pero el ahorro de dinero en el consumo de energía es también muy elevado pagándose en 7.3 años esta diferencia de precios sin considerar que después de ese tiempo los

equipos de ventana quedarán inservibles y será necesario reemplazar - los con equipos nuevos.

Como resumen concluiré que sí se justifica el uso de este tipo de Central de Enfriamiento de agua porque se obtiene un ahorro de dinero del 149% debido a su costo mensual de operación, comparado con los sistemas de acondicionamiento de aire instalados actualmente en la ESPOL; además de que es un buen laboratorio donde los alumnos especialmente del Departamento de Ingeniería Mecánica puedan ver objetivamente y en funcionamiento una Caldera y Turbina de Vapor, Compresores, Máquina de Absorción, Torre de Enfriamiento, Bombas de Agua, etc.

4.2 CONSIDERACIONES TECNICAS

4.2.1 Cálculo de los equipos

En esta sección se va a calcular la capacidad de la caldera, Turbina de Vapor, Bomba de Alimentación de Agua para la Caldera, Condensador de Vapor, Máquina de Absorción, Máquina Centrífuga y Torre de Enfriamiento, en base de los siguientes datos:

- Presión de la Caldera 200 psig.
- Eficiencia de la Caldera 80%
- Eficiencia de la Turbina 60%
- Presión de entrada a la Turbina 190 psig.
- Presión de descarga de la Turbina 12 psig.
- Máquina Centrífuga 1 HP/T.R.

- Máquina de Absorción	18.7 lb./ (Hr. T.R.)
- Presión del vapor a la Máquina de Absorción	10 psig.
- Eficiencia de la Bomba de Alimentación	60%
- Presión de succión de la Bomba	0 psig.
- Presión de descarga de la Bomba	210 psig.
- Temperatura del Agua de Enfriamiento a la salida de la Torre de Enfriamiento	85°F.

Teniendo como referencia los datos anteriores, en la figura 4.4 se muestra el diagrama esquemático del ciclo de vapor, y, en la figura 4.5 el diagrama T-S del ciclo, en el cual los procesos 3-4 ; 6-7; 8-9 y 10-11, se realizan a entalpía constante.

A continuación iniciaré el cálculo de las condiciones del vapor en cada uno de los puntos representados en la figura 4.5, en base a las Tablas de Vapor de "Keenan and Keyes".

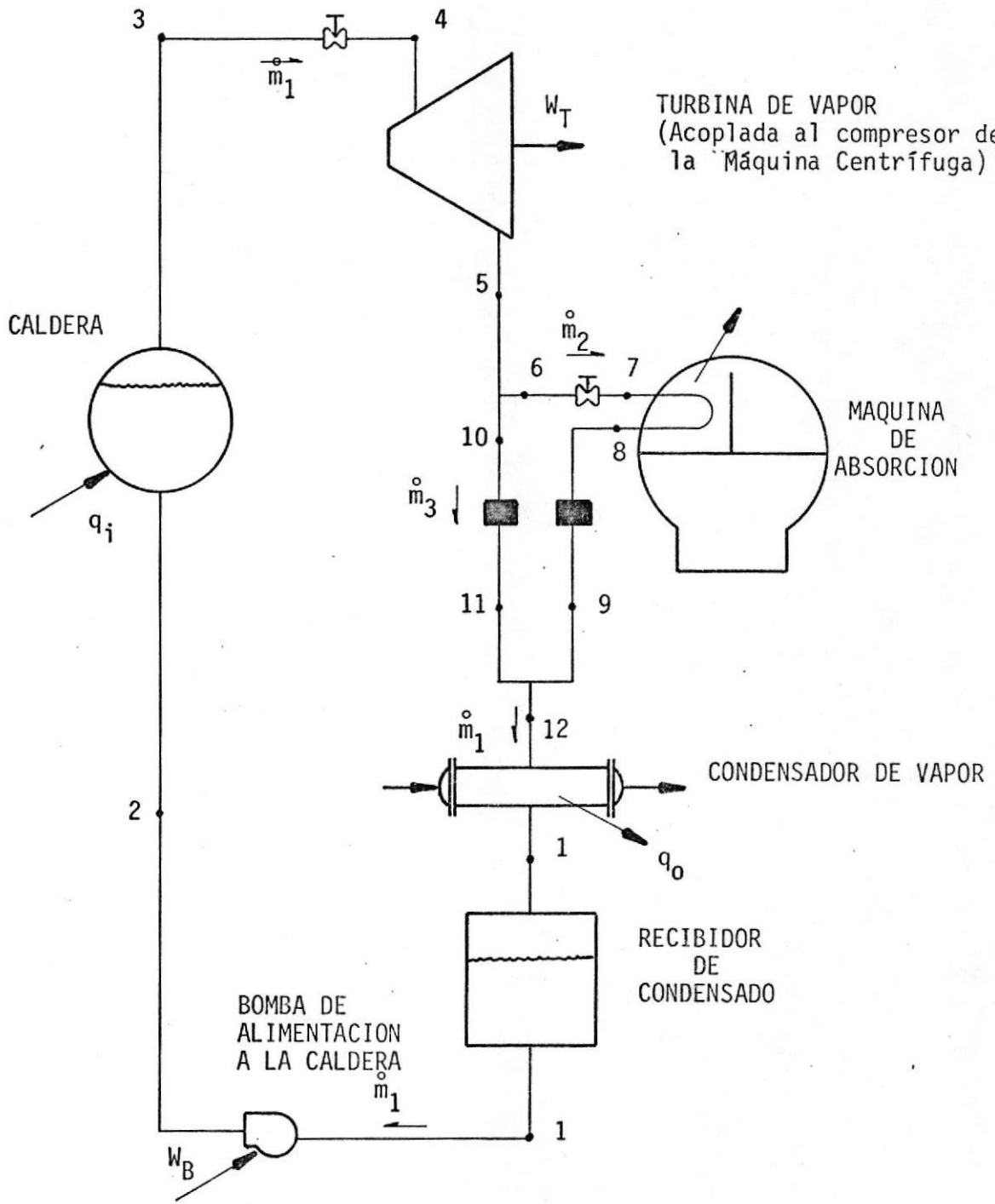


Figura 4.4 : Diagrama esquemático del Ciclo de Vapor.

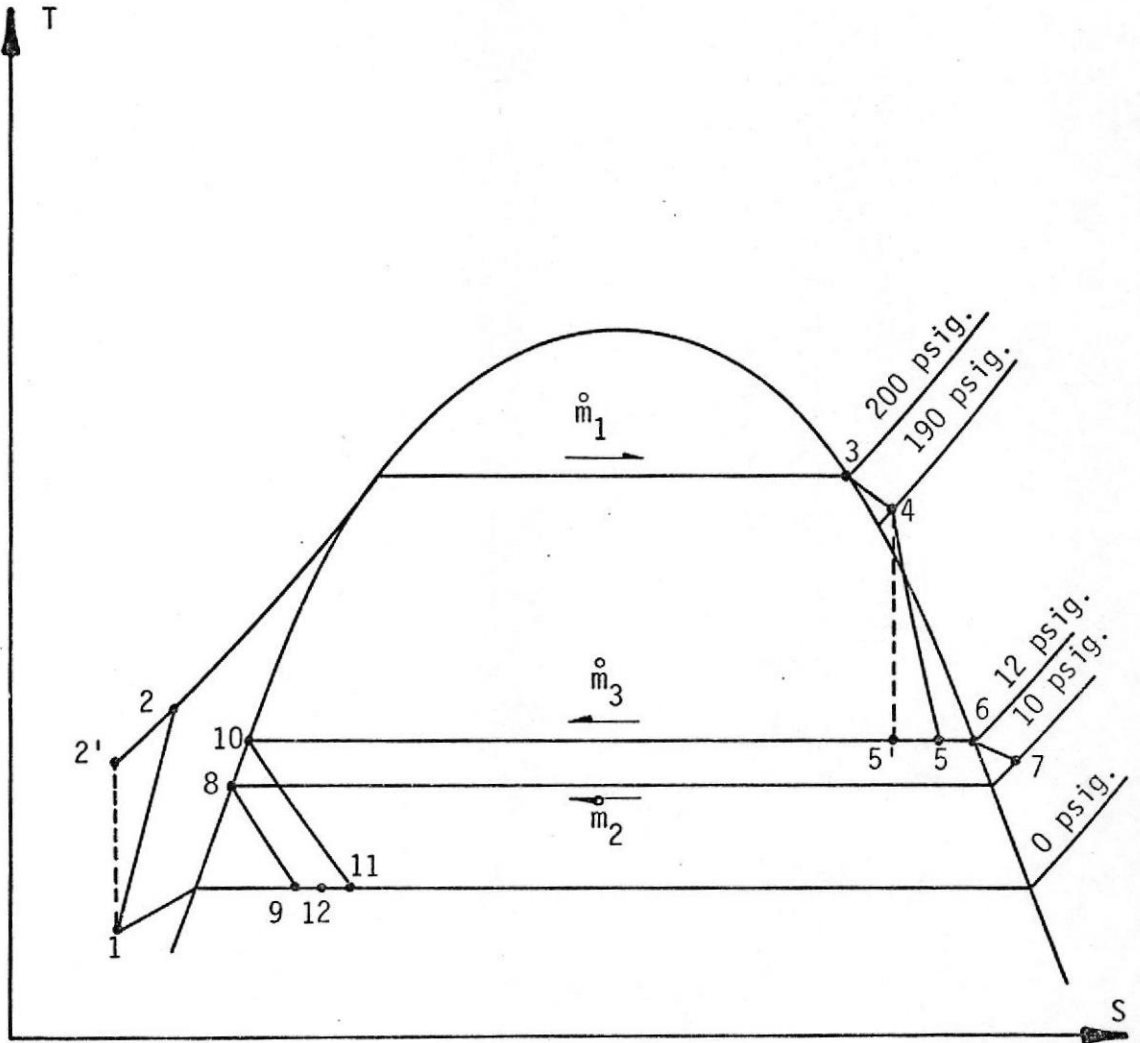


Figura 4.5 : Diagrama T-S del Ciclo de Vapor.

Condiciones del punto 3

$$P_3 = 200 + 14.696 = 214.696 \text{ psia.}$$

$$T_3 = 387.77^\circ\text{F}$$

$$h_3 = 1199.28 \text{ BTU/lb.}$$

Condiciones del punto 4

$$P_4 = 190 + 14.696 = 204.696 \text{ psia.}$$

$$h_4 = 1199.28 \text{ BTU/lb.}$$

$$T_4 = 384.70^\circ\text{F}$$

$$S_4 = 1.5441 \text{ BTU}/(^\circ\text{F}\cdot\text{lb.})$$

Condiciones del punto 5'

$$P_{5'} = 12 + 14.696 = 26.696 \text{ psia.}$$

$$S_{5'} = 1.5441 \text{ BTU}/(^\circ\text{F}\cdot\text{lb.})$$

$$S_{f5'} = 0.3585 \text{ BTU}/(^\circ\text{F}\cdot\text{lb.})$$

$$S_{fg5'} = 1.3502 \text{ BTU}/(^\circ\text{F}\cdot\text{lb.})$$

$$S_{g5'} = 1.7087 \text{ BTU}/(^\circ\text{F}\cdot\text{lb.})$$

$$h_{f5'} = 212.10 \text{ BTU/lb.}$$

$$h_{fg5'} = 949.73 \text{ BTU/lb.}$$

$$h_{g5'} = 1161.83 \text{ BTU/lb.}$$

$$x_{5'} = \frac{S_{5'} - S_{f5'}}{S_{fg5'}} = \frac{1.5441 - 0.3585}{1.3502} = 0.8781$$

$$h_{5'} = h_{f5'} + x_{5'} h_{fg5'} = 212.10 + (0.8781)(949.73)$$

$$h_{5'} = 1046.05 \text{ BTU/lb.}$$

Condiciones del punto 5

Como el proceso en una turbina real no es isentrópico para encontrar las condiciones del punto 5, usaré el concepto de eficiencia de la Turbina, es decir:

$$\eta_T = \frac{h_4 - h_5}{h_4 - h_{5'}} \quad (4.1)$$

despejando el valor de h_5 se obtiene:

$$h_5 = h_4 - \eta_T(h_4 - h_{5'})$$

$$h_5 = 1199.28 - 0.6 (1199.28 - 1046.05)$$

$$h_5 = 1107.34 \text{ BTU/lb.}$$

$$P_5 = 12 + 14.696 = 26.696 \text{ psia.}$$

$$h_{f5} = 212.10 \text{ BTU/lb.}$$

$$h_{fg5} = 949.73 \text{ BTU/lb.}$$

$$h_{g5} = 1161.83 \text{ BTU/lb.}$$

$$x_5 = \frac{h_5 - h_{f5}}{h_{fg5}} \quad (4.2)$$

reemplazando valores obtengo:

$$x_5 = 0.9426$$

Condiciones del punto 6

$$P_6 = 26.696 \text{ psia.}$$

$$T_6 = 243.72 \text{ } ^\circ\text{F.}$$

$$h_6 = 1161.83 \text{ BTU/lb.}$$

$$S_6 = 1.7087 \text{ BTU}/(^\circ\text{F. lb.})$$

Condiciones del punto 7

$$P_7 = 10 + 14.696 = 24.696 \text{ psia.}$$

$$h_7 = 1161.83 \text{ BTU/lb.}$$

Condiciones del punto 8

$$P_8 = 24.696 \text{ psia.}$$

$$h_8 = 207.73 \text{ BTU/lb.}$$

Condiciones del punto 9

$$P_9 = 14.696 \text{ psia.}$$

$$h_9 = 207.73 \text{ BTU/lb.}$$

Condiciones del punto 10

$$P_{10} = 26.696 \text{ psia.}$$

$$h_{10} = 212.10 \text{ BTU/lb.}$$

Condiciones del punto 11

$$P_{11} = 14.696 \text{ psia.}$$

$$h_{11} = 212.10 \text{ BTU/lb.}$$

Condiciones del punto 12

El punto 12 es el resultado de mezclar \dot{m}_3 lb/Hr. de va-

por a la condición 11 con \dot{m}_2 lb/Hr. de vapor a la condición 9 por lo tanto haciendo un balance de energía en este punto tendremos:

$$\dot{m}_3 \cdot h_{11} + \dot{m}_2 \cdot h_9 = \dot{m}_1 \cdot h_{12} \quad (4.3)$$

donde:

$$\dot{m}_1 = 1.0000 \text{ lb/Hr.}$$

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_1 \cdot X_5 = 0.9426 \text{ lb/Hr.}$$

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_1 - \dot{m}_2 = 0.0574 \text{ lb/Hr.}$$

reemplazando valores en la ecuación (4.3) obtengo:

$$h_{12} = 207.98 \text{ BTU/lb.}$$

Consumo específico de Vapor en la Turbina

El trabajo real de la turbina expresado en BTU/lb. es :

$$W_T = h_4 - h_5 \quad (4.4)$$

reemplazando valores:

$$W_T = 91.94 \text{ BTU/lb.}$$

considerando una masa $\dot{m}_1 = 1$ lb/Hr. de vapor, la energía mecánica por libra de vapor por hora que produce la Turbina es:

$$\text{HP/(lb/Hr.)} = \frac{91.94}{2545} = 0.0361$$

Como el rendimiento de la Máquina Centrífuga es de 1 HP/T.R., esto indica que por cada lb/Hr. de vapor que entra

en la Turbina se obtendrá 0.0361 T.R. en la máquina centrífuga, es decir que el consumo específico de vapor en la Turbina será:

$$C_T = \frac{1}{0.0361} = 27.70 \text{ lb}/(\text{Hr. T.R.})$$

Consumo específico de vapor en Máquina de Absorción

Anteriormente se mencionó que por cada libra de vapor por hora que produce la Caldera, la cantidad de vapor que entra en la Máquina de Absorción es:

$$m_2 = 0.9426 \text{ lb}/\text{Hr.}$$

Como el consumo de vapor en esta máquina es igual a 18.7 lb/(Hr. T.R.), significa que:

1 T.R.	18.7 lb/Hr.
x T.R.	0.9426 lb/Hr.

resolviendo esta sencilla regla de tres obtengo:

$$\frac{\text{T.R.}}{\text{lb}/\text{Hr.}} = \frac{0.9426}{18.7}$$

por lo tanto el consumo específico de vapor en la Máquina de Absorción será:

$$C_A = \frac{18.7}{0.9426} = 19.84 \text{ lb}/(\text{Hr. T.R.})$$

Consumo total de vapor

Para calcular el consumo total de vapor, primero encontraré el consumo específico total de vapor. Las Toneladas de

Refrigeración producidas por la Máquina Centrífuga más las producidas por la Máquina de Absorción deberán ser igual a las que se necesitan para acondicionar todos los locales, es decir 940 T.R., por lo tanto:

$$\left(\frac{\text{T.R.}}{\text{lb/Hr.}}\right) \text{ TOTALES} = \left(\frac{\text{T.R.}}{\text{lb/Hr.}}\right) \text{ TURBINA} + \left(\frac{\text{T.R.}}{\text{lb/Hr.}}\right) \text{ ABSORCION}$$

esta ecuación expresada en fórmula matemática es:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_T} + \frac{1}{C_A} \quad (4.5)$$

despejando el valor de C obtengo:

$$C = \frac{C_T C_A}{C_T + C_A} \quad (4.6)$$

reemplazando en la ecuación (4.6) los valores obtenidos anteriormente se tiene:

$$C = 11.56 \text{ lb}/(\text{Hr. T.R.})$$

entonces el consumo total de vapor para que la Central de Enfriamiento produzca las 940 T.R. será:

$$\dot{M} = (11.56) (940) = 10867 \text{ lb/Hr.}$$

Capacidad de la Turbina

El porcentaje de la carga total que asumirá la Máquina Centrífuga es:

$$\% \text{ CARGA} = \left(\frac{C}{C_T}\right) 100$$

reemplazando valores se tiene:

$$\text{Centrífuga} = 41.73\% \text{ de la carga total.}$$

esto significa:

$$(0.4173) (940) = 392.26 \text{ T.R.}$$

La capacidad restante para completar las 940 T.R. esto es 547.74 T.R. la asumirá la Máquina de Absorción.

Como el performance de la Máquina Centrífuga es de 1HP/ T.R., la potencia que deberá desarrollar la Turbina será de 392.26 HP. y tendrá un consumo total de vapor de 10867 lb/Hr.

Capacidad del Condensador de Vapor

Refiriéndonos a la figura 4.6, podemos ver que la mezcla de vapor y condensado que entra al condensador tiene una entalpía $h_{12} = 207.98 \text{ BTU/lb.}$ y una temperatura $T_{12} = 212^{\circ}\text{F}$ por lo tanto para estar seguro de que todo el vapor se condensará y de que la Bomba de Alimentación de la Caldera succione siempre líquido, asumiré que el condensado a la salida del Condensador tenga una temperatura $T_1 = 205^{\circ}\text{F.}$, a la cual le corresponderá una entalpía $h_1 = 173.025 \text{ BTU/lb.}$ Con estos datos, la cantidad de calor que pierde el vapor será:

$$q_o = \dot{m}_1 (h_{12} - h_1) \quad (4.7)$$

reemplazando valores se tiene:

$$q_o = 380000 \text{ BTU/Hr.}$$

Esta cantidad de calor será desalojada por el agua de enfriamiento que entra al Condensador, suministrada por una

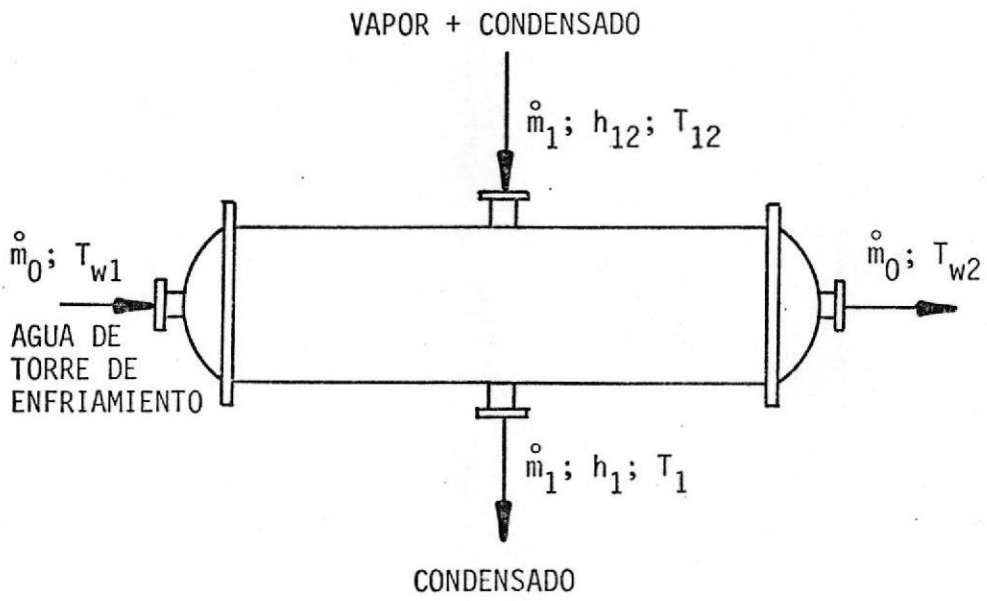


Figura 4.6 : Condensador de Vapor.

Torre de Enfriamiento a una temperatura $T_{w1} = 85^{\circ}\text{F}$ y una entalpía $h_{w1} = 53 \text{ BTU/lb.}$, y que sale a una temperatura $T_{w2} = 115^{\circ}\text{F.}$ y una entalpía $h_{w2} = 82.93 \text{ BTU/lb.}$, de modo que el flujo de agua que circulará por el condensador será:

$$\dot{m}_o = \frac{q_o}{h_{w2} - h_{w1}} \quad (4.8)$$

$$\dot{m}_o = 12696 \text{ lbw/Hr.}$$

Como el volumen específico del agua a la entrada del Condensador es $v_{w1} = 0.01607 \text{ Ft}^3/\text{lb.}$ y conociendo que $1 \text{ Ft}^3 = 7.48055 \text{ Galones}$, los galones por minuto de agua que circularán por el condensador serán:

$$Q_o = \left(\frac{7.48055}{60}\right) \dot{m}_o v_{w1} \quad (4.9)$$

reemplazando valores:

$$Q_o = 25.44 \text{ GPM.}$$

Capacidad de la Bomba de Alimentación de Agua para la Caldera

La eficiencia de la Bomba la estimamos en un 60% por lo tanto el trabajo que realiza, expresado en BTU/lb. será:

$$W_B = \left(\frac{144}{778}\right) \frac{v_1}{\eta_B} (P_2 - P_1) \quad (4.10)$$

donde:

$$v_1 = 0.016665 \text{ Ft}^3/\text{lb.}$$

$$P_2 = 210 + 14.696 = 224.696 \text{ psia.}$$

$$P_1 = 14.696 \text{ psia.}$$

sustituyendo estos valores en la ecuación (4.10) se tiene:

$$W_B = 1.08 \text{ BTU/lb.}$$

Como la masa total de vapor que se condensará es 10867 lb/Hr., la potencia consumida por la Bomba será:

$$\text{Potencia} = \frac{\dot{m}_1 W_B}{2545} \quad (4.11)$$

reemplazando datos se obtiene:

$$\text{Potencia} = 4.61 \text{ HP.}$$

El caudal de agua a ser bombeado es:

$$Q_B = \frac{(0.016665) (10867) (7.48055)}{60}$$

$$Q_B = 22.58 \text{ GPM.}$$

Capacidad de la Caldera

Para calcular la capacidad de la Caldera, es necesario determinar la entalpía del condensado que entra en ella, esto es:

$$h_2 = h_1 + W_B \quad (4.12)$$

$$h_2 = 173.025 + 1.08$$

$$h_2 = 174.11 \text{ BTU/lb.}$$

Una vez que conozco las entalpías del vapor a la entrada y a la salida de la Caldera así como la cantidad de vapor

$\dot{m}_1 = 10867 \text{ lb/Hr.}$ que el ciclo requiere, la capacidad de la Caldera expresada en BTU/Hr. será:

$$q_i = \dot{m}_1 (h_3 - h_2) \quad (4.13)$$

$$q_i = (10867) (1199.28 - 174.11)$$

$$q_i = 11'140.000 \text{ BTU/Hr.}$$

"Un Caballo de Caldera (Bo.HP.) es igual a 33475 BTU/Hr. esto es el calor total que un Bo.HP. genera, para producir 34.5 lb/Hr. de vapor a presión atmosférica de y a 212°F" (8)

Por lo tanto el caballaje de la Caldera será:

$$\text{Bo.HP.} = \frac{11'140.000}{33475}$$

$$\text{Bo.HP.} = 332.79$$

Consumo de Combustible en la Caldera

La eficiencia de la Caldera está definida por la relación entre el calor absorbido por el agua y el calor suministrado por el combustible. Aquí se asumirá que la Caldera es 80% eficiente y funcionará con Combustible # 6, comunmente llamado Residuo que tiene las siguientes características suministradas por la Compañía "ANGLO ECUADORIAN OILFIELDS LTD.":

Viscosidad Redwood	3700
Gravedad específica a 60°F	0.900/1.005
Libras/Galón	7.90
BTU/Galón	150000

BTU/Libra

19000

La eficiencia de la Caldera está definida por la siguiente ecuación matemática:

$$\eta_i = \frac{q_i}{m_f (VC)_f} \quad (4.14)$$

donde:

$$\eta_i = 0.8$$

$$q_i = 11'140.000 \text{ BTU/Hr.}$$

$$(VC)_f = 150000 \text{ BTU/Galón.}$$

$$m_f = \text{galones/hora.}$$

reemplazando estos valores en la ecuación (4.14) y despejando la incógnita m_f se obtiene:

$$m_f = 92.833 \text{ galones/hora.}$$

Flujo de Agua Helada

En la figura 4.7 se muestra el diagrama esquemático del recorrido del agua helada por la central de enfriamiento.

El agua helada que llega a la central de enfriamiento - proviene de todos los serpentines de enfriamiento, localizados en las diferentes áreas de cada uno de los edificios que se acondicionarán, igual cosa sucede con el agua helada que sale de la central de enfriamiento.

La "ASHRAE" (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers), recomienda que las temperatu

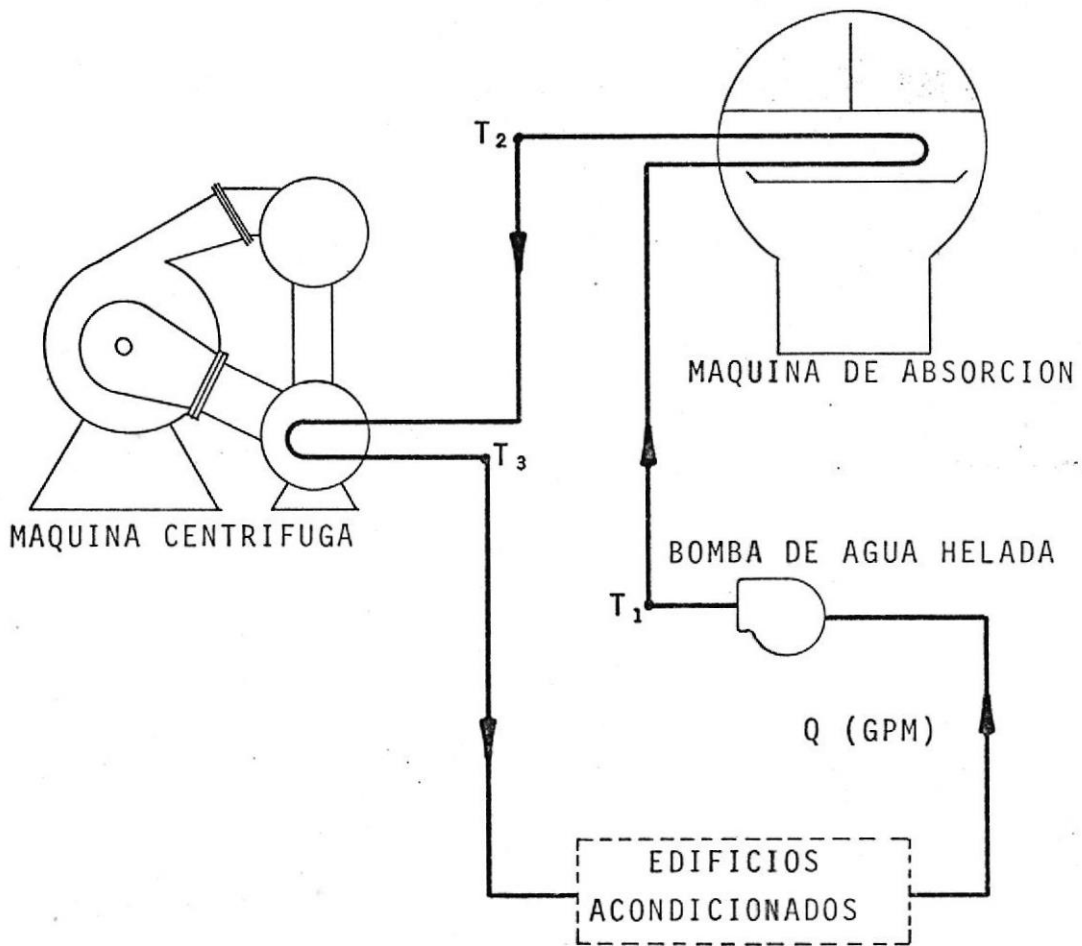


Figura 4.7 : Circuito de agua helada.

ras del agua helada para procesos de acondicionamiento del aire sean:

$$T_1 = \text{varía entre } 52^\circ\text{F y } 56^\circ\text{F.}$$

$$T_3 = \text{varía entre } 40^\circ\text{F y } 48^\circ\text{F.}$$

Para nuestro caso asumiré las siguientes temperaturas:

$$T_1 = 54^\circ\text{F.}$$

$$T_3 = 44^\circ\text{F.}$$

Como la central de enfriamiento tendrá una capacidad de 940 T.R., la cantidad de agua que será enfriada es:

$$\dot{m} = \frac{q}{c_p (T_1 - T_3)} \quad (4.15)$$

donde:

$$q = (940) (12000) = 11'280.000 \text{ BTU/Hr.}$$

$$c_p = 1 \text{ BTU}/(^\circ\text{F. lb)}$$

$$T_1 = 54^\circ\text{F}$$

$$T_3 = 44^\circ\text{F}$$

reemplazando estos valores en la ecuación (4.15) se obtiene:

$$\dot{m} = 1'128.000 \text{ lb/Hr.}$$

expresando esta cantidad en GPM se tiene:

$$Q = \frac{(7.48055) \dot{m} v_1}{60} \quad (4.16)$$

donde:

$$\dot{m} = 1'128.000 \text{ lb/Hr.}$$

$$w_1 = 0.01603 \text{ Ft}^3/\text{lb.}$$

reemplazando valores:

$$Q = 2256 \text{ GPM.}$$

Esta cantidad de agua circulará tanto por la Máquina de Absorción como por la Máquina Centrífuga. Conociendo que la capacidad de enfriamiento de la Máquina de Absorción es de 547.74 T.R., la temperatura T_2 con que el agua sale de ella y entra en la Máquina Centrífuga será:

$$T_2 = T_1 - \frac{(T.R.)}{\dot{m} c_p} \frac{12000}{1} \quad (4.17)$$

reemplazando valores:

$$T_2 = 48.17 \text{ }^\circ\text{F.}$$

Flujo de Agua de Enfriamiento

En la figura 4.8 se muestra el diagrama esquemático del agua de enfriamiento que sirve para desalojar el calor de los condensadores de la Central de Enfriamiento.

Como se puede ver, el agua es enfriada en una Torre de Enfriamiento hasta alcanzar una temperatura $T_1 = 85^\circ\text{F}$, cuando la temperatura de bulbo húmedo del aire exterior es de 80°F ., siendo impulsada por medio de una bomba a través de todos los

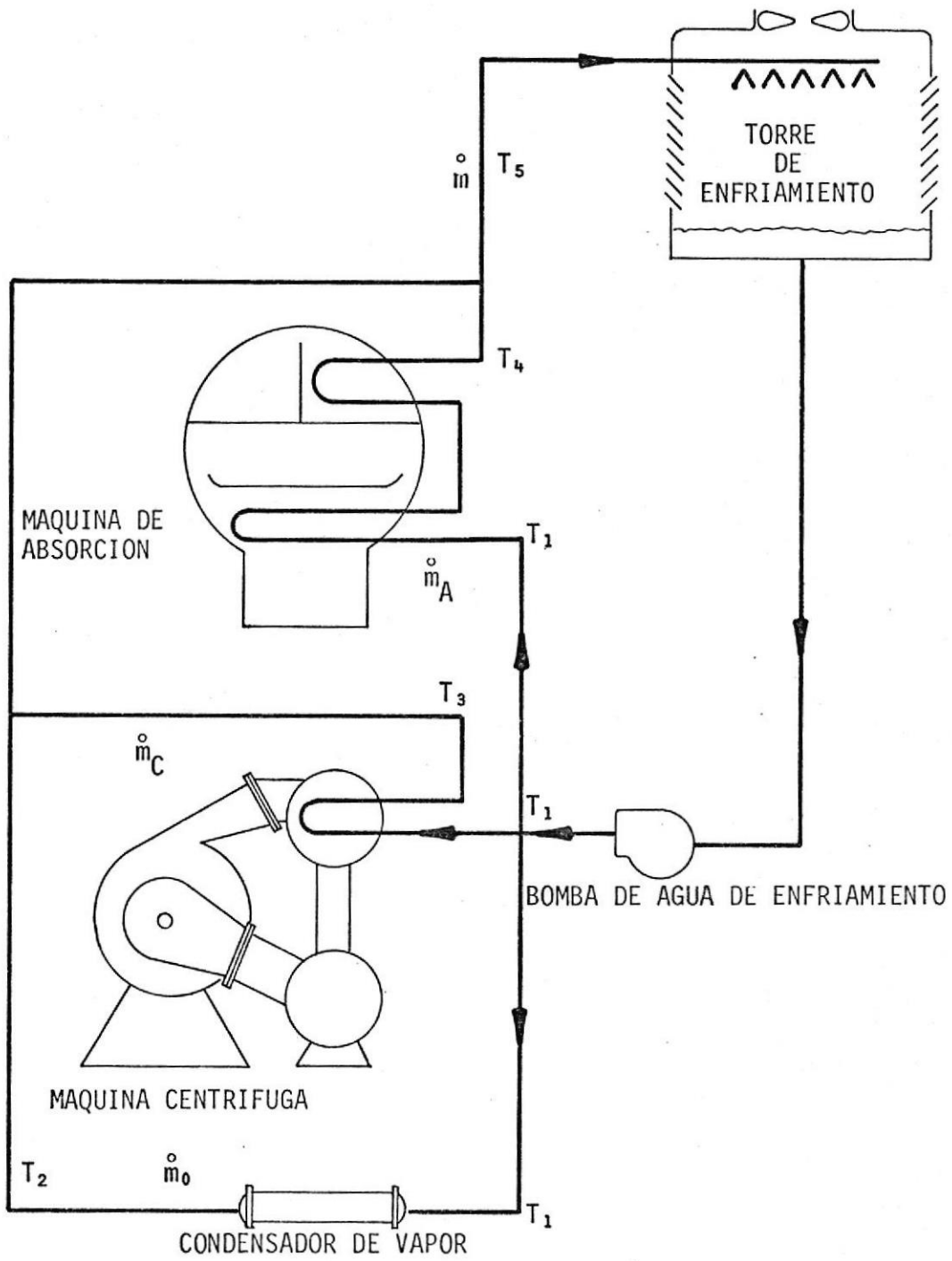


Figura 4.8 : Circuito de agua de enfriamiento

condensadores conectados en paralelo.

Para calcular la capacidad de la Torre de Enfriamiento, es necesario conocer los GPM y la temperatura del agua a la entrada de la Torre. Debido a que todos los equipos están conectados en paralelo, haré un estudio separado de cada uno de ellos:

a) Máquina de Absorción

El calor suministrado por el vapor es:

$$q_A = 9'773.000 \text{ BTU/Hr.}$$

y la cantidad de calor que la máquina absorbe para enfriar el agua que circulará por los serpentines de enfriamiento de los diversos edificios es $q = (547.74) (12000) = 6'572.880 \text{ BTU/Hr.}$, por lo tanto el calor que deberá desalojar el agua de enfriamiento de la Máquina de Absorción será:

$$q_{AE} = 9'773.000 + 6'572.880$$

$$q_{AE} = 16'345.880 \text{ BTU/Hr.}$$

El diferencial de temperatura más utilizado para el agua de enfriamiento en este tipo de máquinas es 16.5°F. , es decir que la temperatura T_4 será 101.5°F. y el flujo de agua expresado en GPM es:

$$Q_A = \frac{(7.48055) q_{AE} v_1}{60 c_p (T_4 - T_1)} \quad (4.18)$$

donde:

$$q_{AE} = 16'345.880 \text{ BTU/Hr.}$$

$$v_1 = 0.01607 \text{ Ft}^3/\text{lb.}$$

$$T_4 = 101.5 \text{ }^\circ\text{F.}$$

$$T_1 = 85^\circ\text{F.}$$

$$c_p = 1 \text{ BTU}/(\text{Hr. lb. }^\circ\text{F.})$$

reemplazando valores en la ecuación (4.18):

$$Q_A = 1985 \text{ GPM.}$$

b) Máquina Centrífuga

La capacidad de la Máquina Centrífuga como ya se mencionó anteriormente es de 392.26 T.R. que equivalen a 4'707.120 BTU/Hr. y la potencia que consume el Compresor es de 392.26 HP. que equivalen a 998300 BTU/Hr., por lo tanto el calor que deberá desalojar el agua de enfriamiento es:

$$q_{CE} = 4'707.120 + 998300$$

$$q_{CE} = 5'705.420 \text{ BTU/Hr.}$$

El diferencial de temperatura que usará será de 10°F es

decir que la temperatura T_3 será 95°F . y el flujo del agua de enfriamiento expresado en GPM es:

$$Q_C = \frac{(7.48055) q_{CE} v_1}{60 c_p (T_3 - T_1)} \quad (4.19)$$

reemplazando valores se obtiene:

$$Q_C = 1143 \text{ GPM.}$$

c) Condensador de Vapor

La capacidad del condensador ya fue calculada anteriormente obteniendo los siguientes resultados:

$$q_o = 380000 \text{ BTU/Hr.}$$

$$Q_o = 25.44 \text{ GPM.}$$

$$T_2 = 115^\circ\text{F}$$

Sumando la capacidad de cada equipo se obtendrá la capacidad de la Torre de Enfriamiento:

$$q_{\text{torre}} = q_{AE} + q_{CE} + q_o \quad (4.20)$$

reemplazando los valores que se acaban de calcular se obtiene:

$$q_{\text{torre}} = 22'431.300 \text{ BTU/Hr.}$$

El flujo de agua que deberá enfriar la Torre será:

$$Q_{\text{torre}} = Q_A + Q_C + Q_o$$

$$Q_{\text{torre}} = 3154 \text{ GPM.}$$

Por lo tanto la temperatura T_5 que tiene el agua a la entrada de la Torre es:

$$T_5 = T_1 + \frac{(7.48055) q_{\text{torre}} v_1}{60 c_p Q_{\text{torre}}}$$

$$T_5 = 99.25^\circ\text{F.}$$

Resumen de los equipos calculados

1.- Caldera

Caballaje	332.79 Bo.HP.
Eficiencia	80 %
Producción de vapor	10867 lb/Hr.
Presión de descarga	200 psig.
Consumo de combustible	92.833 galones / Hora.

2.- Turbina de Vapor

Caballaje	392.26 T.R.
Eficiencia	60 %
Consumo específico de vapor	27.70 lb/(Hr. HP).
Presión de entrada	190 psig.
Presión de descarga	12 psig.

3.- Bomba de Alimentación de Agua para la Caldera

Eficiencia	60	%
Caudal	22.58	GPM
Presión de succión	0	psig.
Presión de descarga	210	psig.
Potencia en el eje	4.61	HP.

4.- Condensador de vapor

Capacidad	380000	BTU/Hr.
Flujo de agua	25.44	GPM.
Entrada de agua	85	°F.
Salida de Agua	115	°F.
Entrada del vapor	212	°F.
Salida del vapor	205	°F.

5.- Máquina de Absorción

Capacidad	547.74	T.R.
Consumo de vapor	18.7	lb/(Hr. T.R.)
Presión del vapor a la entrada	10	psig.
Entrada del agua helada	54.00	°F.
Salida del agua helada	48.17	°F.
Caudal del agua helada	2256	GPM.
Entrada del agua de en- friamiento	85.00	°F.
Salida del agua de en- friamiento	101.5	°F.

Caudal del agua de enfriamiento 1985 GPM.

6.- Máquina Centrífuga

Capacidad 392.26 T.R.

Potencia del Compresor 392.26 HP.

Entrada del agua helada 48.17 °F.

Salida del agua helada 44.00 °F.

Caudal de agua helada 2256 GPM

Entrada del agua de enfriamiento 85.00 °F.

Salida del agua de enfriamiento 95.00 °F.

Caudal de agua de enfriamiento 1143 GPM.

7.- Torre de Enfriamiento

Capacidad 22'431.300 BTU/Hr.

Flujo de agua en la torre 3154 GPM.

Entrada del agua 99.25 °F.

Salida del agua 85.00 °F.

Bulbo húmedo del aire exterior 80.00 °F.

4.2.2 Controles automáticos

Como es lógico suponer, la central de enfriamiento tendrá variaciones de carga debido al calor ganado por los edificios en diversas horas del día, por lo tanto será necesario

poder regular la capacidad de la central de enfriamiento para ajustarse a estas variaciones de carga.

El tipo de controles que utilizaré son neumáticos por ser a mi modo de ver, más confiables y de mayor duración que los controles eléctricos.

El control de capacidad de la máquina centrífuga se realiza por medio de compuertas de aspiración del compresor centrífugo, que regulan la admisión del refrigerante al interior del mismo. Estas compuertas estarán accionadas por un pistón neumático de acuerdo a las variaciones de la temperatura final del agua helada.

El control de capacidad de la máquina de absorción se realiza por medio de una válvula neumática de vapor, que regula la cantidad de vapor que debe entrar en la absorción, accionada por un sensor de la temperatura final del agua helada.

La presión del aire comprimido que es suministrado a los controles es de 20 psig. y el rango de control de los mismos será:

<u>Porcentaje total de la carga</u>	<u>Presión en la línea de control</u>
0 %	5 psig.
100 %	15 psig.

La mínima carga que puede asumir la turbina de vapor la estimaré en un 20% de su propia capacidad, es decir:

$$\text{Mínima capacidad de máquina centrífuga} = (0.2) (392.26) = 78.45 \text{ T.R.}$$

Cuando la turbina está trabajando al 20% de su capacidad máxima, consumirá el 26% de vapor, es decir:

$$\text{Flujo de vapor} = (0.26) (10867) = 2825 \text{ lbs-/Hr.}$$

Esta cantidad de vapor será la que entra en la máquina de absorción, y, como el consumo de vapor de esta máquina es de 18.7 lbs./(Hr. T.R.), la capacidad que producirá es:

$$\text{Capacidad de máquina de absorción} = \frac{2825}{18.7} = 151.07 \text{ T.R.}$$

Esto significa que cuando la capacidad mínima de la turbina es el 20%, la central de enfriamiento producirá:

$$\text{Capacidad de central de enfriamiento} = 78.45 + 151.07 = 229.52 \text{ T.R.}$$

esta carga representa el 24% de la capacidad total de la central de enfriamiento.

En base a los cálculos anteriores, asumiré que cuando la central de enfriamiento funciona al 25% de su capacidad de diseño, deberá pararse automáticamente la turbina de vapor y por ende la máquina centrífuga, asumiendo la carga restante la máquina de absorción. En este momento, la presión del aire en la línea de control será de 7.5 psig.

Siendo el vapor la sustancia que realiza trabajo, los controles automáticos deberán regular su flujo para poder controlar la capacidad de la central de enfriamiento. En la

figura 4.9 se indica el flujo de vapor desde la caldera hasta la absorción.

El flujo de vapor cuando funciona la turbina y la absorción, está representado por los puntos 3-4-5-6-7, en este momento la posición de las válvulas será:

VV-1 completamente cerrada.

VV-2 completamente abierta.

VV-3 completamente cerrada.

VV-4 completamente abierta.

Cuando no funciona la turbina porque la carga llegó al 25%, la posición de las válvulas es:

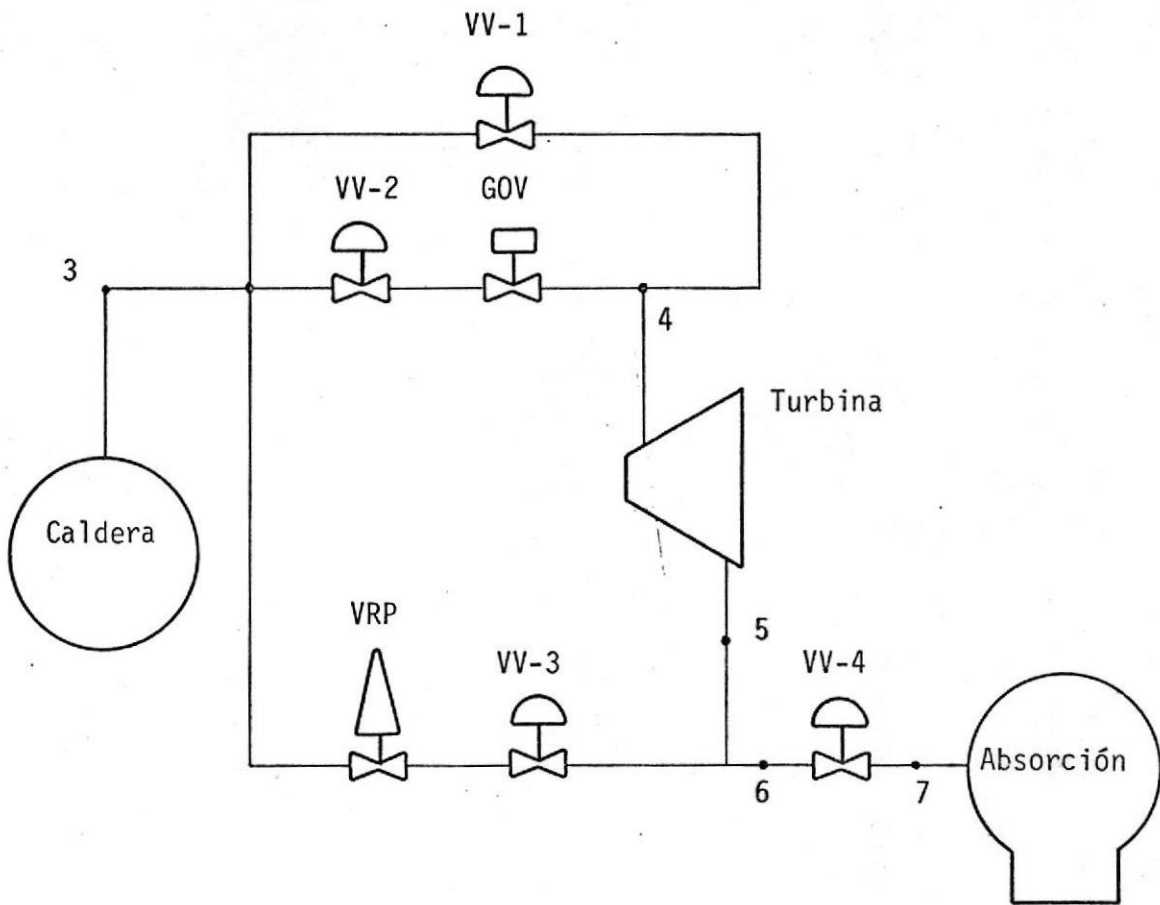
VV-1 completamente cerrada.

VV-2 completamente cerrada.

VV-3 completamente abierta.

VV-4 controlada por el sensor de temperatura del agua helada, a través del panel neumático de la máquina de absorción.

En la figura 4.10 se indica el circuito neumático completo para el control de capacidad de la central de enfriamiento. Se ha utilizado un conjunto de 6 válvulas solenoides (VS) accionadas por 2 interruptores electro-neumáticos (PE) que reciben la señal de un sensor de temperatura (TC-1) ubicado en la tubería de salida del agua helada de la central de enfriamiento.



- VV-1 = Válvula de vapor para el arranque de la turbina.
- VV-2 = Válvula de vapor que permite el paso de vapor al gobernador de la turbina.
- VV-3 = Válvula de vapor que permite el paso de vapor a la absorción cuando no funciona la turbina.
- VV-4 = Válvula de vapor de control de la Absorción.
- GOV = Gobernador de la turbina.
- VRP = Válvula reductora de presión de vapor desde 200 psig hasta 12 psig.

Figura 4.9 : Flujo de vapor desde la Caldera hacia la Absorción.

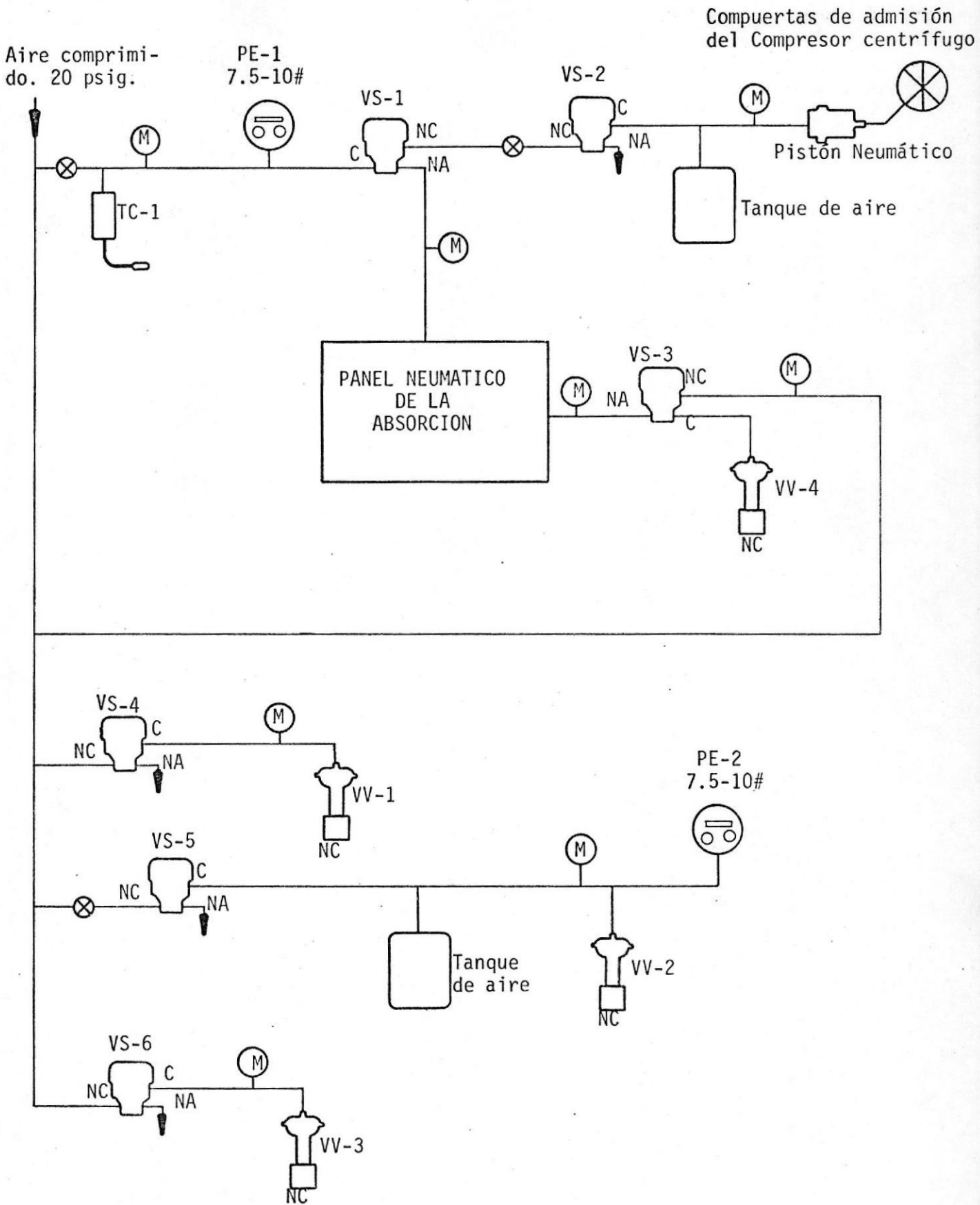


Figura 4.10 : Circuito neumático para el control de capacidad de la central de enfriamiento.

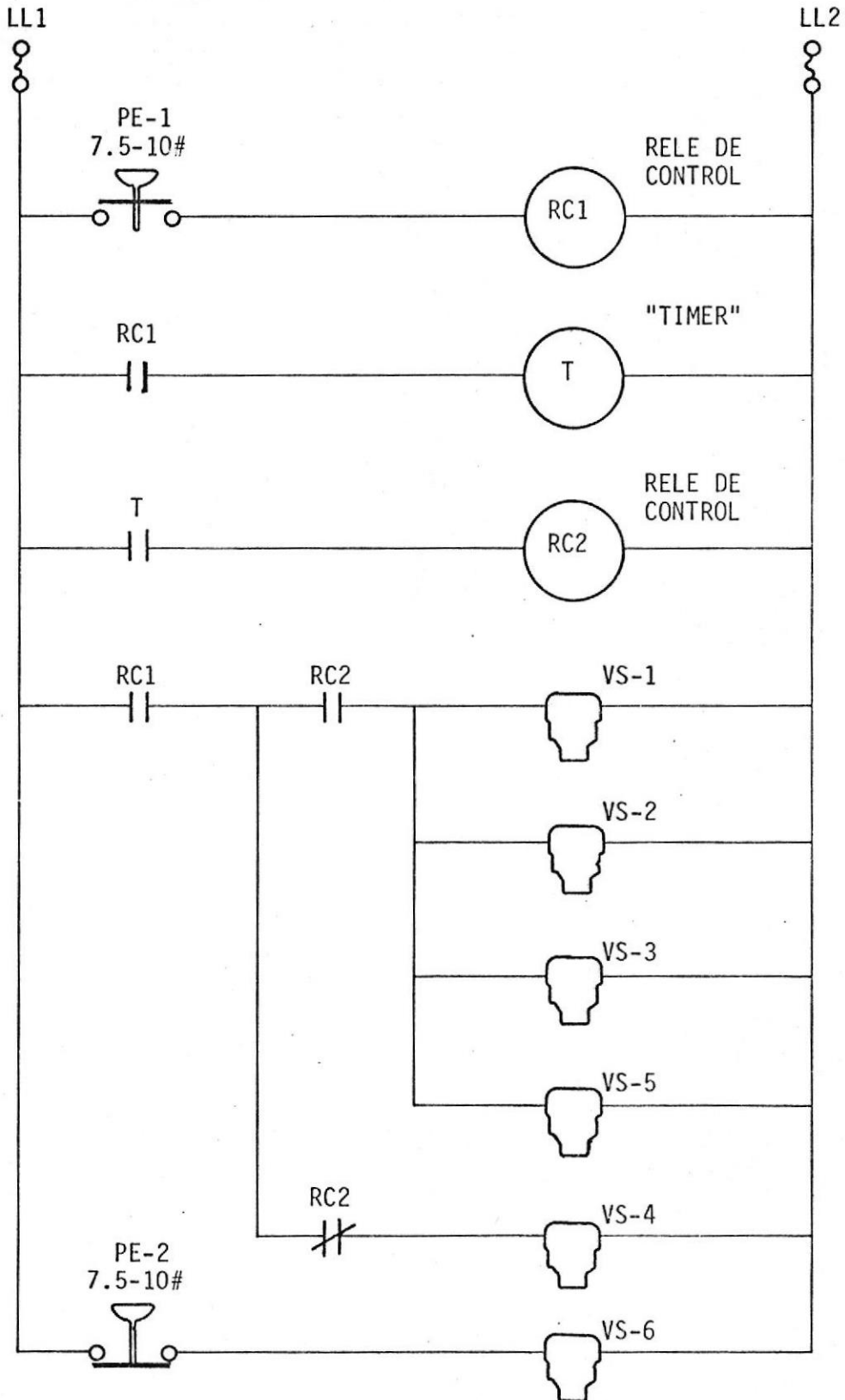


Figura 4.11 : Diagrama eléctrico para el control de válvulas solenoides.

En la figura 4.11 se muestra el diagrama eléctrico para el control de las válvulas solenoides.

4.2.3 Equipos auxiliares

Como complemento de los equipos principales de la central de enfriamiento, tenemos los siguientes equipos auxiliares:

- Bomba de agua helada
- Bomba de agua de enfriamiento
- Tanque de almacenamiento de combustible N° 6

4.2.3.1 Bomba de agua helada

La bomba de agua helada es aquella que impulsa en circuito cerrado el refrigerante (agua), a través de los evaporadores de las máquinas de absorción y centrífuga, donde se extrae el calor ganado en los serpentines de enfriamiento localizados en los diferentes edificios de la Escuela.

Para determinar la potencia que consume esta bomba, es necesario conocer además de su caudal (2256 GPM.), las pérdidas de presión que existen en:

- Tuberías de distribución de agua
- Válvulas y accesorios de tuberías
- Evaporador de la máquina de absorción
- Evaporador de la máquina centrífuga

La localización de la central de enfriamiento se indica en la figura 4.12. y en la figura 4.13 se indica el diagrama de tuberías de agua helada con las válvulas y accesorios del sistema.

Del Apéndice D, Tabla D-1 seleccionamos que el diámetro de la tubería será de 12" con una pérdida del 1% por la cual circulará 2256 GPM. desde el distribuidor de retorno hasta el distribuidor de mando con una longitud aproximada de 100 piés. A partir del distribuidor de mando se repartirá el agua helada hasta los diferentes edificios, siendo necesario dimensionar estas tuberías en base a la carga máxima de cada edificio individualmente; como este cálculo está fuera del alcance de esta tesis, asumiré como máximo una pérdida del 10% en las tuberías, y una longitud equivalente de tubería de mando y retorno de 1300 piés, hasta el edificio más lejano.

Combinando los datos anteriores con los obtenidos en el Apéndice D, Tabla D-2 podemos calcular la pérdida de presión en las tuberías y accesorios del sistema.

<u>Tubería o accesorios</u>	<u>Pérdida en Ft. de agua</u>
- Tubo de 12", 100 Ft, 1% de pérdida	1.00

- 4 válvulas de globo de 12", 1% de pérdida	12.80
- 2 válvulas de compuerta de 12", 1% de pérdida	0.26
- 1 filtro de agua de 12" 1% de pérdida	1.30
- 10 codos de 12" radio largo, 1% de pérdida	1.90
- 3 tee de 12", 1% de pérdida	0.57
- 1300 piés de tubería , 10% de pérdida	130.00
	<hr/>
Pérdida en tuberías y accesorios	147.83 Ft
	=====

Además de estas pérdidas, deberán agregarse las siguientes:

- Evaporador máquina centrífuga	13 Ft.
- Evaporador máquina absorción	16 Ft.
	<hr/>
Pérdida en máquinas enfriadoras	29 Ft.
	=====

Por lo tanto la pérdida total que deberá vencer la bomba de agua helada será:

- Pérdida en tuberías y accesorios	147.83 Ft.
- Pérdida en máquinas enfriadoras	29.00 Ft.
	<hr/>
	176.83 Ft.
+ 13% factor de seguridad	23.17 Ft.
	<hr/>
PERDIDA TOTAL	200.00 Ft.
	=====

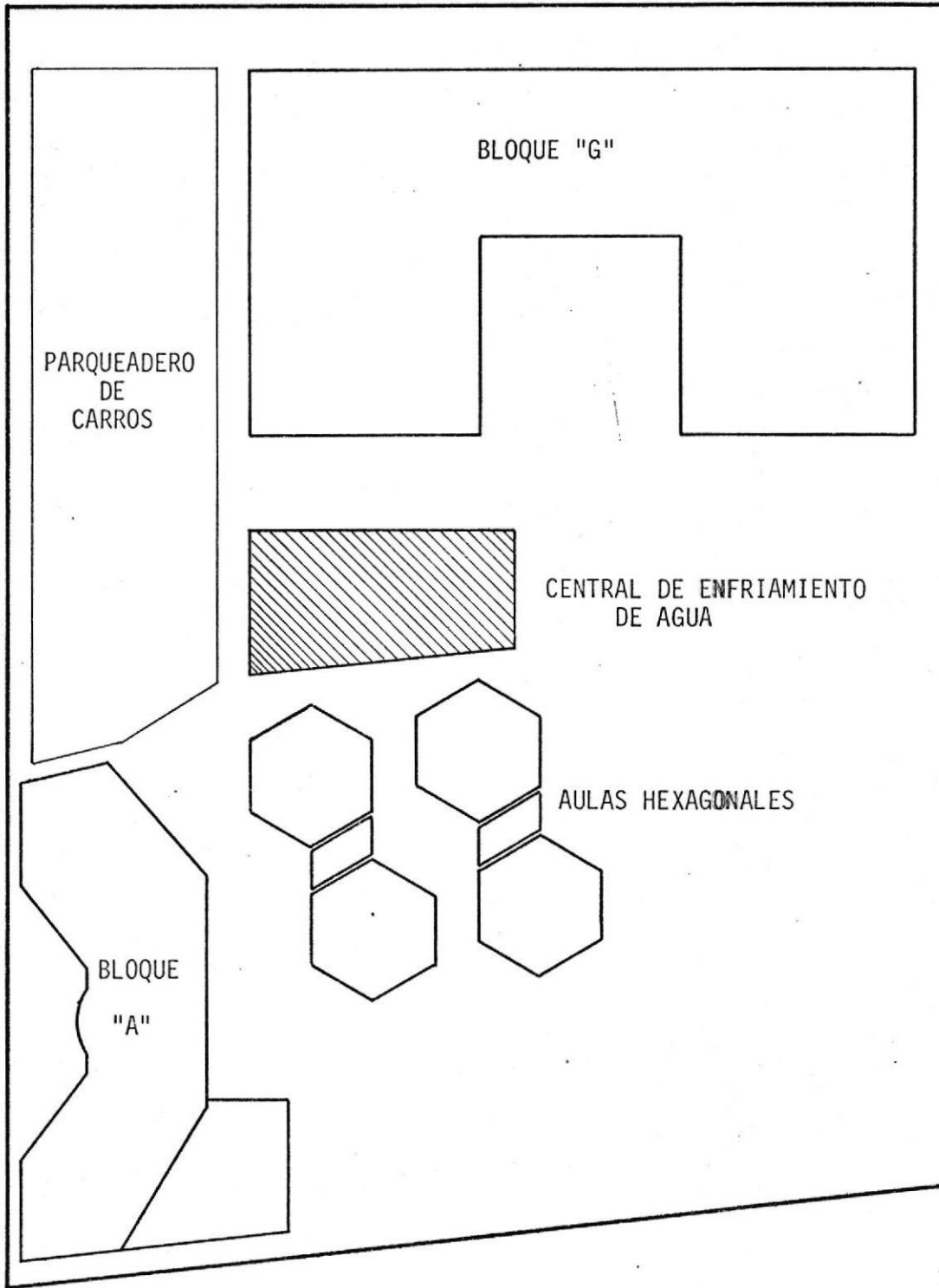
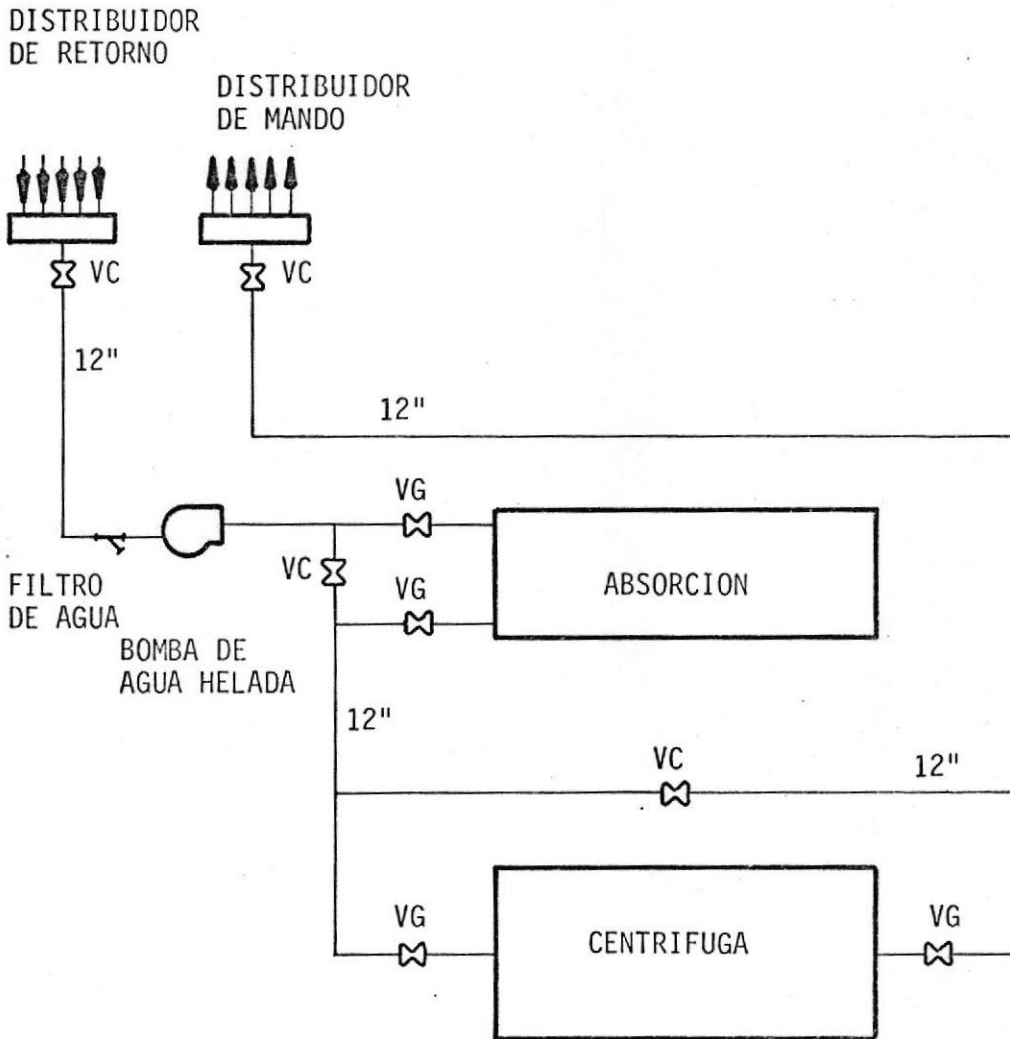


Figura 4.12 : Localización de la Central de Enfriamiento.



Nota: VC = Válvula de Compuerta
VG = Válvula de Globo

Figura 4.13 : Tuberías de Agua Helada.

Una vez conocido el cabezal de la bomba ($H_f = 200$ Ft. de columna de agua), el caudal ($Q = 2256$ GPM) y asumiendo una eficiencia del 75%, la potencia al freno consumida por esta bomba será:

$$P = \frac{(GPM)(H_f)}{(\eta)(3960)} \quad (4.21)$$

reemplazando valores se obtiene:

$$P = 152 \text{ B.H.P.}$$

El motor eléctrico que deberá mover la bomba tendrá una potencia superior en un 25% a la potencia consumida por la bomba para poder vencer la inercia de la misma; luego:

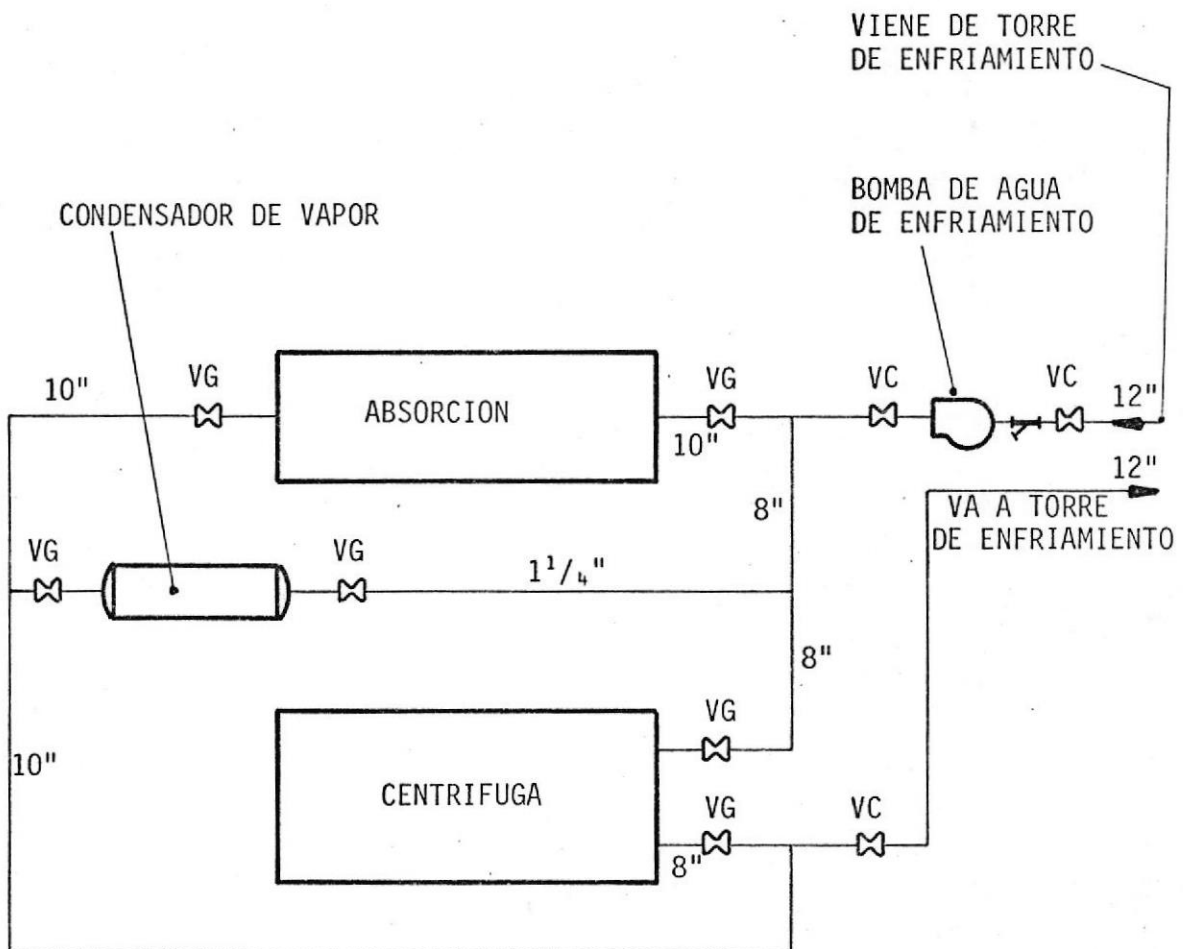
$$\text{Potencia del motor eléctrico} = \frac{200 \text{ HP}}{\text{=====}}$$

4.2.3.2 Bomba de agua de enfriamiento

Esta bomba es la encargada de circular el agua desde la torre de enfriamiento hasta los condensadores de los equipos de la central de enfriamiento.

Al igual que la bomba de agua helada, será necesario determinar las pérdidas en el circuito para poder calcular la potencia que consume.

En la figura 4.14 se muestra el diagrama de tuberías, en el cual se indican los diámetros de los diferentes ramales. En base a esta figura, el cálculo



Nota: VC = Válvula de Compuerta
VG = Válvula de Globo
= Filtro de agua

Figura 4.14 : Tuberías de agua de enfriamiento.

lo de las pérdidas será:

<u>Tubería o accesorios</u>	<u>Pérdida en Ft. de agua</u>
- Tubo de 12", 50 Ft, 3.6% de pérdida	1.80
- Tubo de 10", 80 Ft. 3.6% de pérdida	2.88
- 3 válvulas de compuerta de 12", 3.6% de pérdida	1.40
- 2 válvulas de globo de 10", 3.6% de pérdida	20.16
- 2 válvulas de globo de 8", 3.6% de pérdida	15.84
- 1 filtro de 12", 3.6% de pérdida	4.68
- 2 codos de 8" radio largo, 3.6% de pérdida	0.94
- 4 codos de 10" radio largo, 3.6% de pérdida	2.30
- 8 codos de 12" radio largo, 3.6% de pérdida	5.47
- 3 Tee de 12", 3.6% de pérdida	6.48
- 1 Tee de 10", 3.6% de pérdida	0.58
- Condensador máquina de absorción	23.00
- Torre de enfriamiento	20.00
	<hr/>
+ 9% factor de seguridad	9.47
	<hr/>
PERDIDA TOTAL	115.00
	=====

Conociendo que el caudal de la bomba es de 3154 GPM y que su cabezal de bombeo es de 115 Ft. de columna de agua con una eficiencia del 75%, la potencia al freno consumida por la bomba aplicando la ecuación (4.21) es:

$$P = 122 \text{ BHP.}$$

Considerando que la potencia del motor eléctrico es superior en un 25% a la potencia consumida por la bomba, ésta será:

$$\text{Potencia del motor eléctrico} = 150 \text{ HP.}$$

4.2.3.3 Tanque de almacenamiento de combustible N° 6

La demanda total de combustible a máxima carga se calculó en 92.833 GPH. Asumiendo una demanda del 80% como promedio diario, esto representará 74.27 GPH de combustible.

Los cálculos los basaré en un funcionamiento de 10 horas al día, 5 días a la semana y 4 semanas al mes. Con estos datos, el consumo mensual de combustible será:

$$\text{Consumo mensual} = 14854 \text{ Galones.}$$

Luego, usaré dos tanques conectados entre sí instalados bajo tierra de una capacidad individual de 8000 Galones de combustible, de 8 Ft. de diáme-

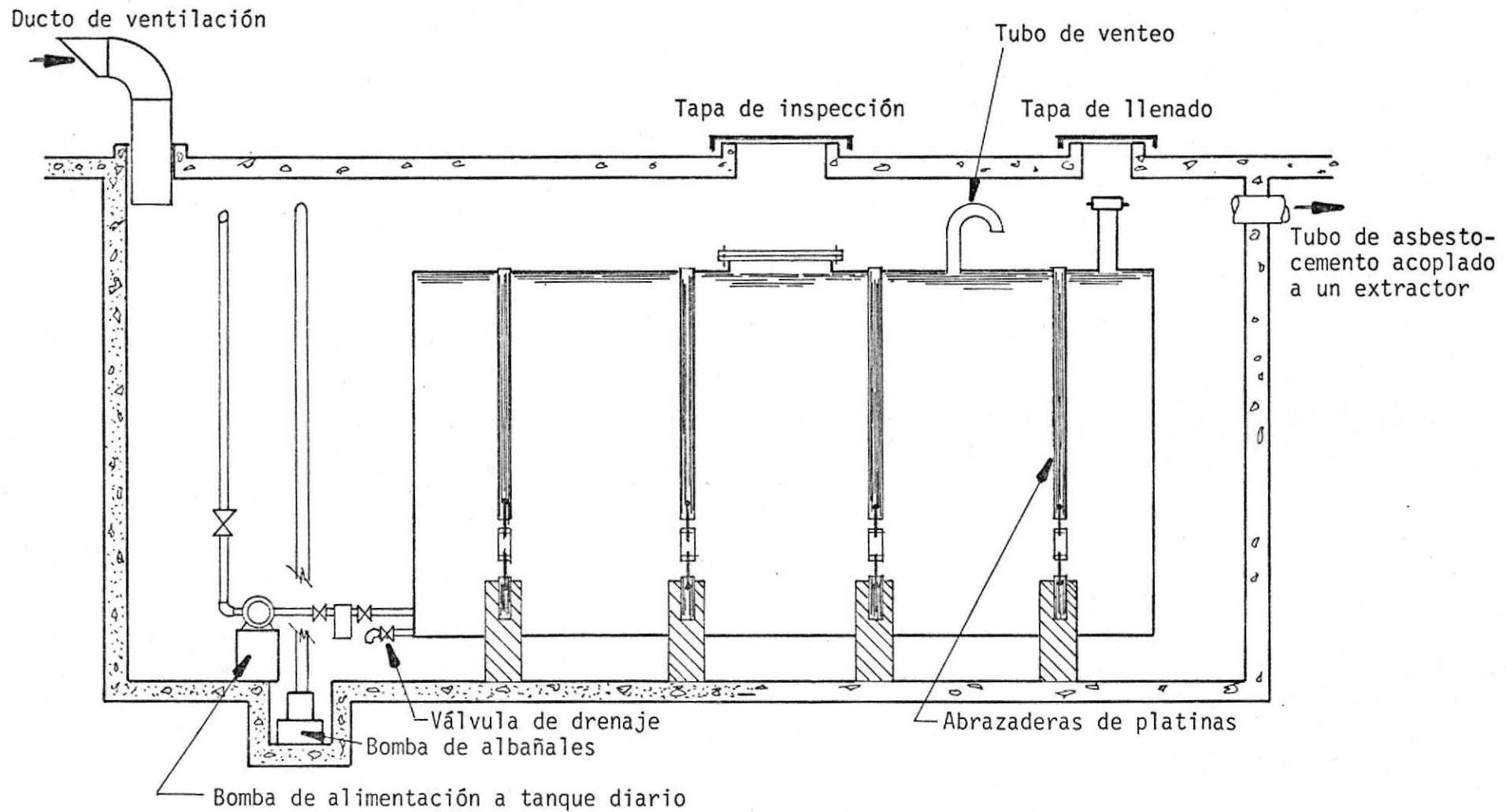


Figura 4.15 : Tanques de almacenamiento de combustible

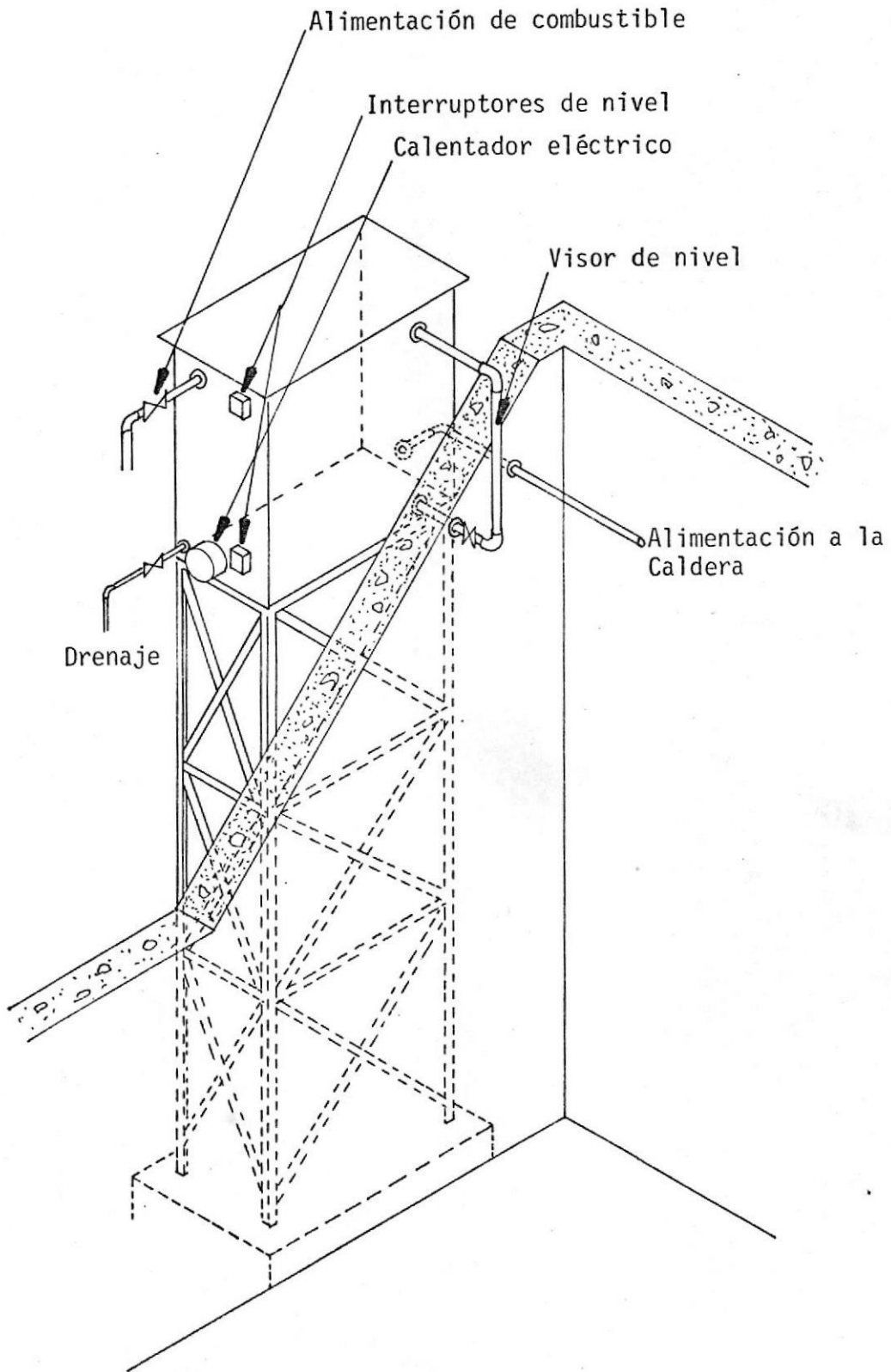


Figura 4.16 : Tanque diario de combustible.

tro y 24 Ft. de largo.

Además de los tanques de almacenamiento de combustible, también será necesario un tanque diario de combustible. Este tanque tendrá 8 Ft. de largo, 4 Ft. de ancho y 4 Ft. de alto.

En las figuras 4.15 y 4.16 se indican los detalles de estos tanques.

4.3 DURACION DE LA CENTRAL DE ENFRIAMIENTO

Como ya se ha indicado, la central de enfriamiento consta de los siguientes equipos principales:

- Caldera
- Turbina de vapor
- Máquina centrífuga
- Máquina de absorción
- Torre de enfriamiento

Todos estos equipos tienen una duración mínima de 20 años ya que son equipos industriales para servicio pesado siempre y cuando tengan el mantenimiento adecuado. Un programa tipo debe incluir lo siguiente:

- 1.- Inventarios y Registros del sistema, incluyendo:
 - a) Planos y especificaciones de construcción
 - b) Catálogos de los equipos

- c) Instrucciones de instalación, servicio y mantenimiento
- d) Lista de repuestos

2.- Normas y Procedimientos. Esta es la parte activa del programa - que comprende la operación, inspección, servicio, reparación y reposición, lo cual requiere de lo siguiente:

- a) Instrucciones de operación
 - Procedimientos para arranque y parada de los equipos
 - Procedimientos para la calibración y regulación de los elementos del sistema.
- b) Inspección
 - Puntos a ser inspeccionados
 - Frecuencia de inspección
 - Métodos y procedimientos de inspección
 - Evaluación de las observaciones
 - Registros e informes
- c) Servicio y reparación
 - Frecuencia de servicio
 - Procedimientos de servicio
 - Procedimientos de reparación
 - Registros e informes

3.- Personal de Mantenimiento. Debe tener la suficiente capacidad - para operar eficientemente el sistema y posser la organización - indispensable para cumplir con los programas elaborados previa - mente en el tiempo previsto.

4.- Sistema centralizado de Archivo que incluya lo siguiente:

- a) Datos de Inventarios
- b) Instrucciones, normas y procedimientos para la operación, -
inspección y servicio del sistema.
- c) Registro e informes del trabajo desarrollado, tiempo emplea-
do y suministros utilizados.
- d) Registros de funcionamiento del sistema.

5.- Plan de operación y mantenimiento, que será elaborado por el De-
partamento de Mantenimiento de acuerdo con las instrucciones pro
porcionadas por los fabricantes.

5.- UTILIZACION DE LOS ELEMENTOS DEL
SISTEMA PARA FINES DIDACTICOS EN
LA ESPOL

En este Capítulo daré una idea de como se pueden utilizar los distintos elementos que componen la central de enfriamiento para su utilización como laboratorio experimental para los alumnos del Departamento de Ingeniería Mecánica.

5.1 COMPRESORES CENTRIFUGOS

En la figura 5.1 se indican los puntos donde se pueden tomar lecturas de presión y temperaturas en la máquina centrífuga. También se indican dos válvulas de "By-pass" y dos medidores de flujo tanto en el circuito de agua helada que entra en el evaporador, así como en el de agua de enfriamiento que entra en el condensador.

Los cálculos que pueden realizarse son los siguientes:

- a) Calor añadido en el evaporador, en BTU/lb.
- b) Trabajo hecho por el compresor, en BTU/lb.
- c) Calor rechazado en el condensador, en BTU/lb.
- d) Flujo de refrigerante, en lb/min.
- e) Coeficiente de performance del ciclo de refrigeración.
- f) Capacidad de refrigeración producida por la máquina, en T.R.
- g) Rendimiento del ciclo de refrigeración, en HP/T.R.
- h) Eficiencia del compresor.
- i) Diagrama p-h del ciclo.

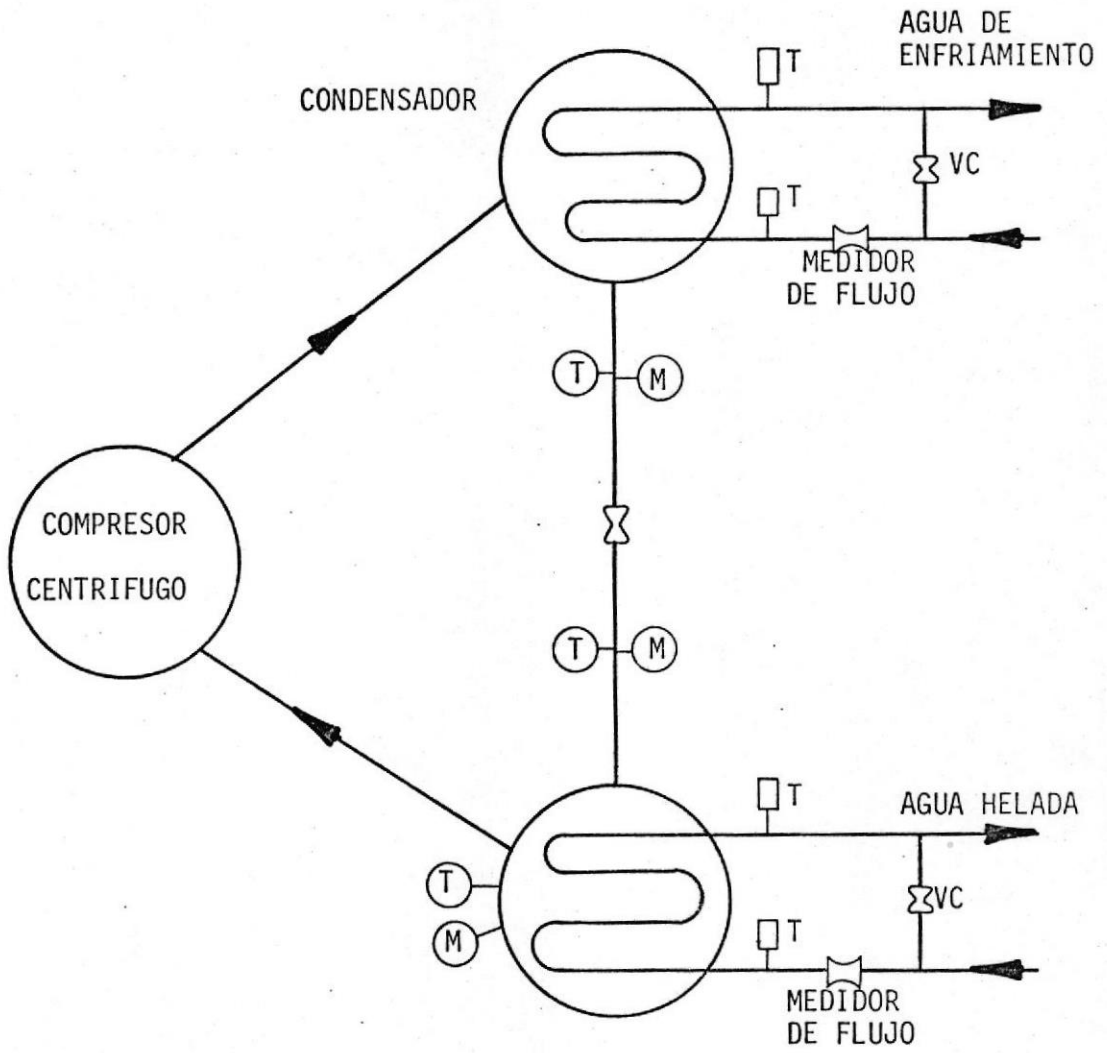


Figura 5.1 : Compresor Centrífugo.

5.2 REFRIGERACION POR ABSORCION

En la figura 5.2 se indican los instrumentos necesarios y los puntos donde deben ser localizados, para efectuar los siguientes cálculos en la máquina de absorción:

- a) Propiedades termodinámicas P , T , X y h para todos los puntos del sistema.
- b) Velocidad másica en lb/min. para cada parte del sistema.
- c) Coeficiente de performance del ciclo.
- d) Rendimiento de refrigeración.
- e) Consumo de vapor en el concentrador, en lb/(Hr. T.R.).
- f) Balance de energía del sistema.
- g) Capacidad de refrigeración, en T.R.

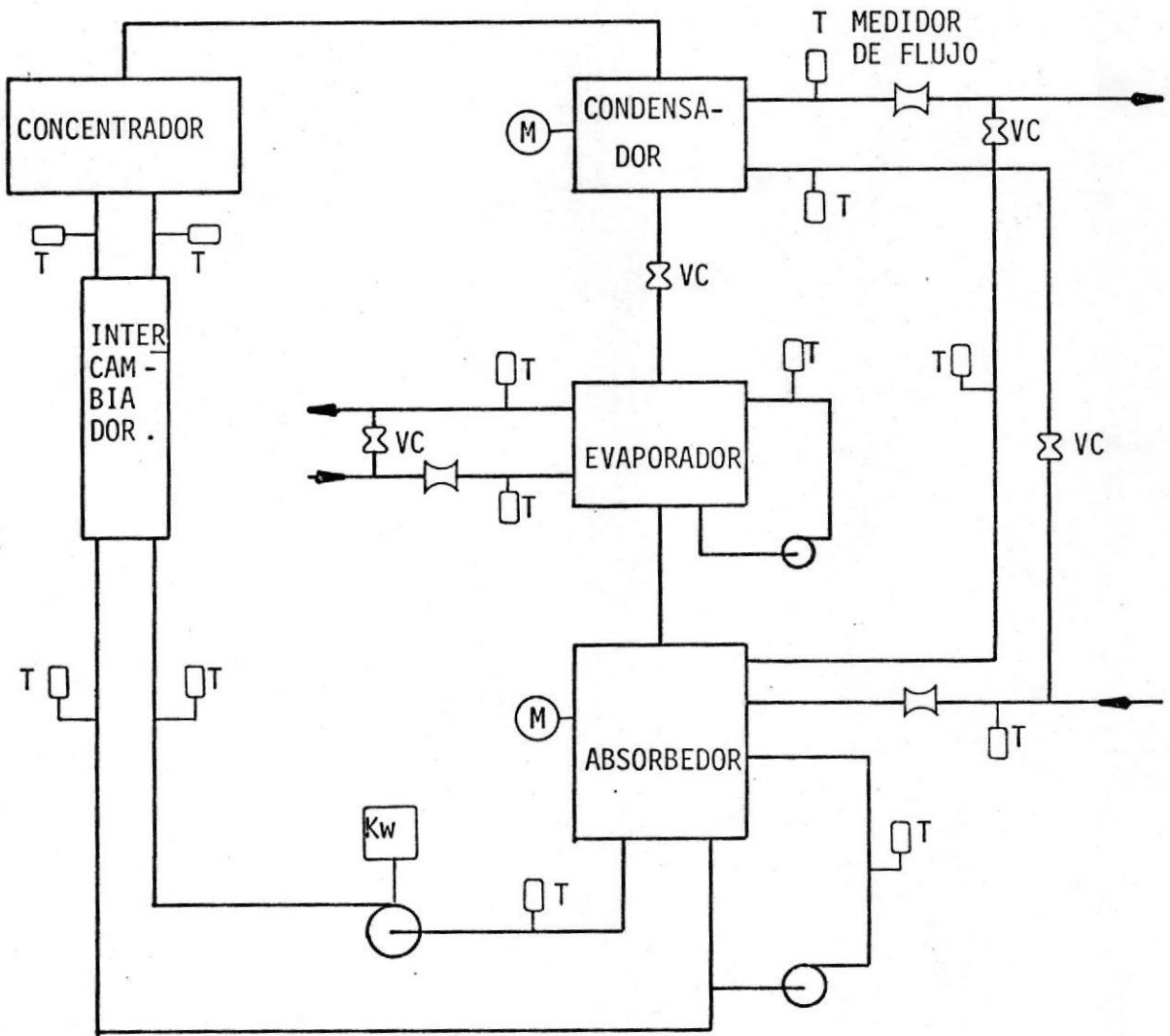


Figura 5.2 : Refrigeración por Absorción

5.3 CALDERAS

En la figura 5.3 se indica la instrumentación necesaria. Los cálculos que pueden realizarse son los siguientes:

- a) Consumo de combustible, en Galones/minuto.
- b) Medición del valor calorífico del combustible utilizando un "BOMB Calorimeter Set".
- c) Condiciones del vapor a la salida de la Caldera.
- d) Condiciones del agua de alimentación a la Caldera.
- e) Eficiencia de la Caldera.
- f) Análisis de los gases de escape.

5.4 CONTROLES AUTOMATICOS

Al estudiante se le puede dar una descripción de los diversos sistemas de controles automáticos existentes, especialmente el sistema indicado en el Capítulo 4, que sirve para el control de capacidad de la central de enfriamiento de agua.

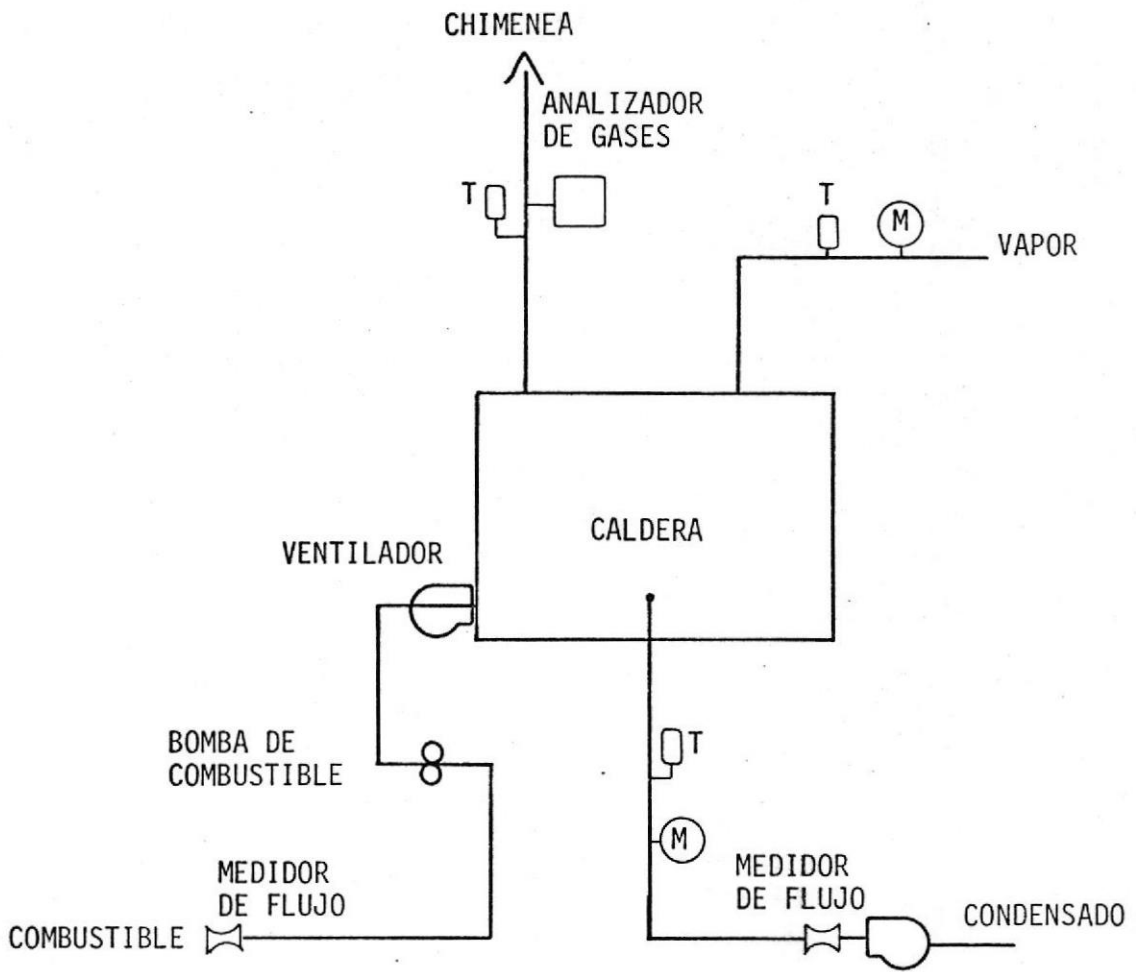


Figura 5.3 : Caldera.

5.5 TRANSFERENCIA DE CALOR

En la figura 5.4 se ilustran los instrumentos necesarios para realizar una práctica con la torre de enfriamiento. La torre estará localizada en un local cerrado y tendrá un ducto para la descarga del aire caliente, provisto de compuertas regulables accionadas por un motor neumático que permitan variar las condiciones del aire que entra a la torre y por lo tanto su capacidad de enfriamiento.

También puede adquirirse como complemento de los equipos que componen la central de enfriamiento, instrumentos capaces de estimar la conductividad térmica de los distintos materiales aislantes utilizados tanto para las tuberías de vapor como para las de agua helada.

5.6 TURBINAS DE VAPOR

En la figura 5.5 se indican los instrumentos de medición necesarios para realizar los siguientes cálculos:

- a) Condiciones del vapor a la entrada de la turbina.
- b) Condiciones del vapor a la salida de la turbina.
- c) Flujo de vapor, expresado en lb/Hr.
- d) Potencia desarrollada en el eje de la turbina, en H.P.
- e) Eficiencia térmica.

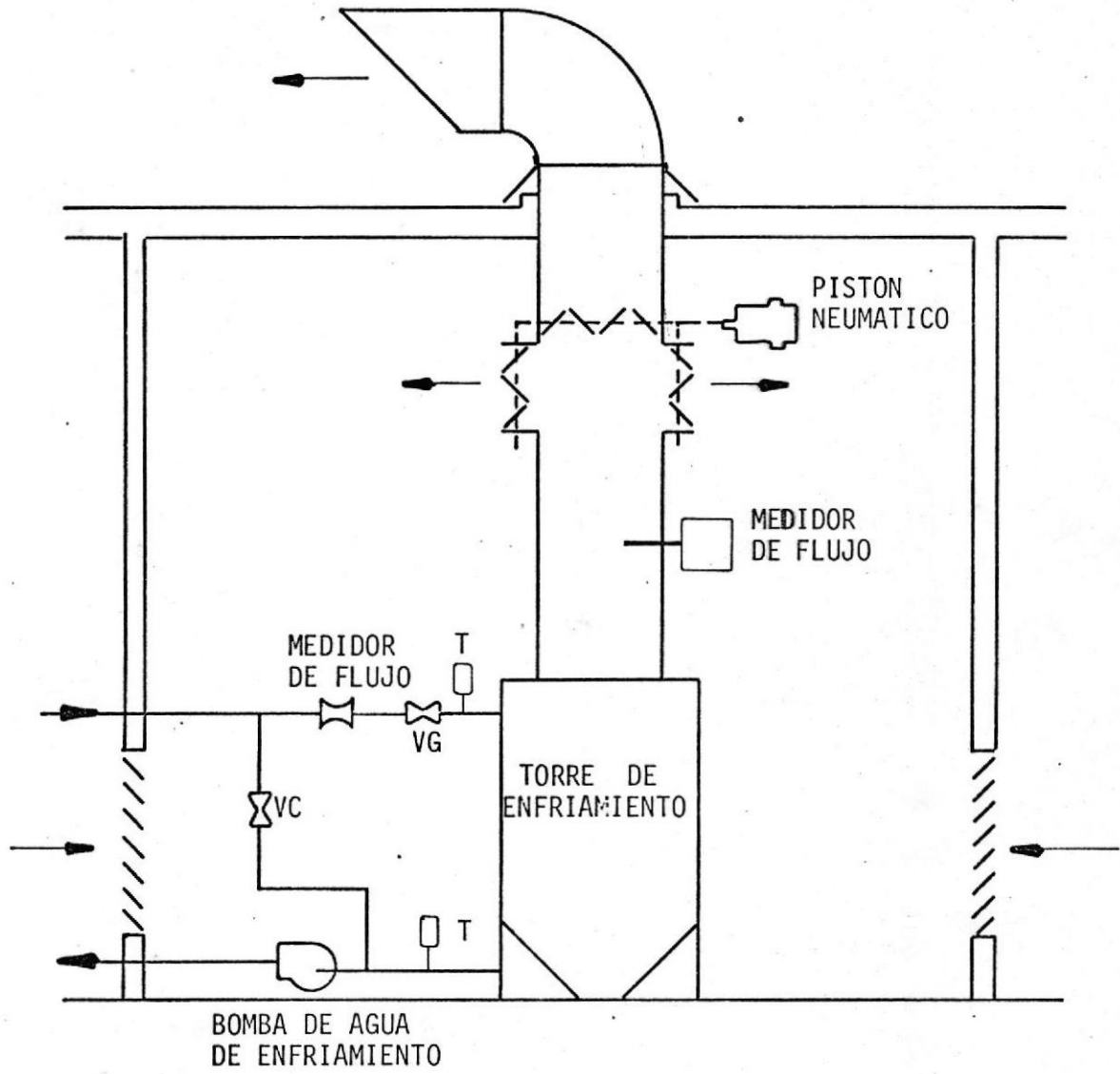


Figura 5.4 : Transferencia de Calor.

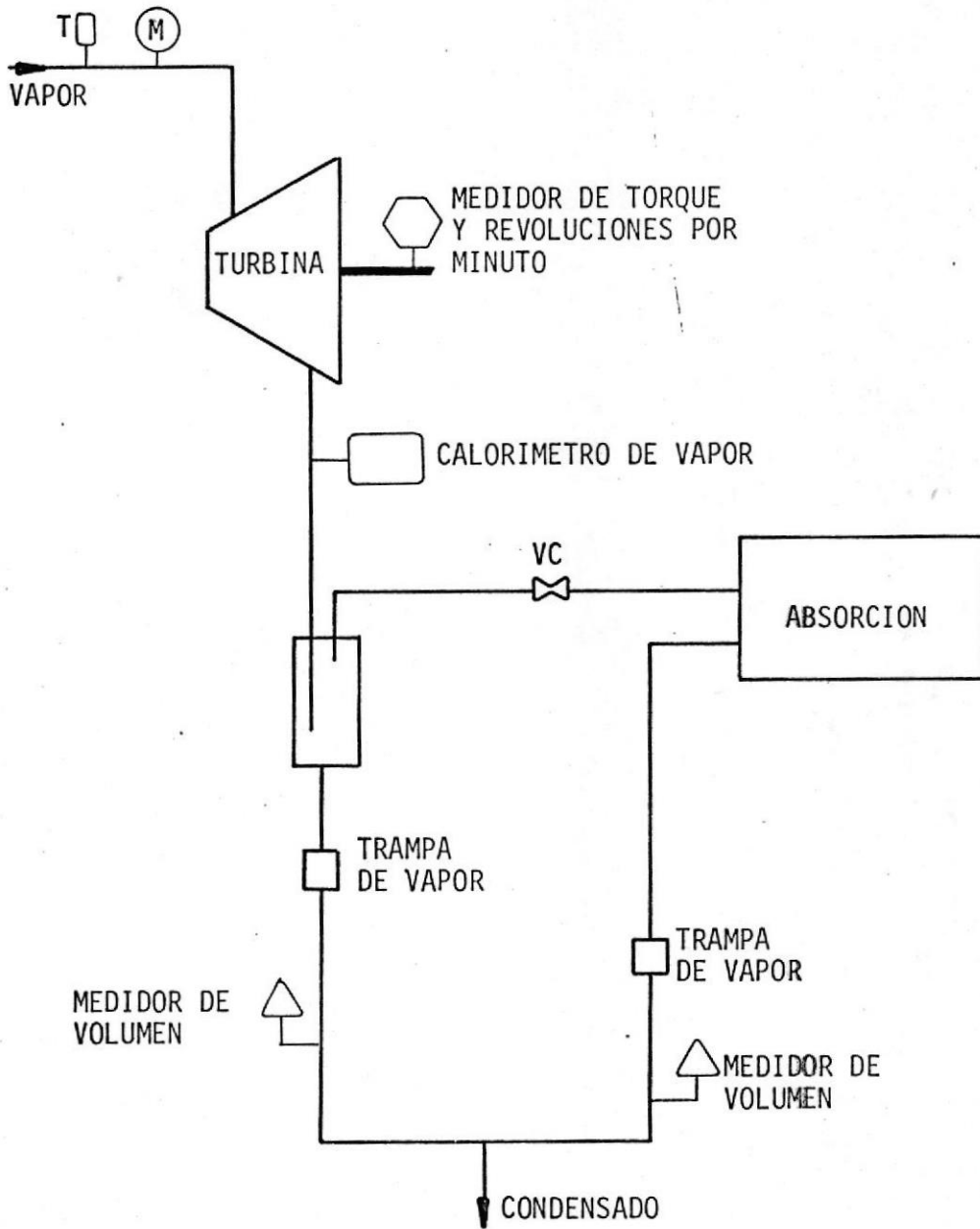


Figura 5.5 : Turbina de vapor.

6.- REQUERIMIENTOS Y ESPECIFICACIONES DE TODOS
LOS ELEMENTOS DE LA CENTRAL DE ENFRIAMIENTO
DE AGUA PARA POSIBLES LICITACIONES.

6.1 ALCANCE DE LOS TRABAJOS

El suministro de la central de enfriamiento de agua para un sistema de Aire Acondicionado integral para la Escuela Superior Politécnica del Litoral comprende lo siguiente:

- a) Suministro FOB puerto de embarque de todos los equipos, - accesorios y materiales a importarse. Todos los equipos y accesorios serán embalados en cajas de madera cerradas para evitar daños y robos durante el viaje.
- b) Colocación en su sitio y montaje de todos los equipos. Se rá responsabilidad del contratista la colocación de andamios, plumas y castillos que se requieran para la izada y colocación de equipos y tuberías.
- c) Suministro e instalación de todas las tuberías y accesorios de:
 - Sistema de vapor y condensado
 - Sistema de aire comprimido de control
 - Sistema de agua helada
 - Sistema de agua de enfriamiento
 - Sistema de combustible para calderas
- d) Suministro del tanque de combustible para la caldera con todos los elementos de fijación (abrazaderas y templadores)
- e) Puesta en marcha, calibración y pruebas del sistema.
- f) Entrenamiento del personal que la Politécnica designe pa-

ra la operación del sistema.

- g) Entrega de planos definitivos de los sistemas con detalles de instalación y cualquier modificación que se produjera durante la ejecución de la obra.
- h) Garantía por un año de funcionamiento de todos los equipos y accesorios del sistema. Esta garantía cubrirá cualquier daño causado por fallas de fabricación, instalación y selección de equipos.
- i) Entrega de manuales de operación y mantenimiento de todos los equipos del sistema.
- j) Entrega de listas de repuestos recomendados con sus precios.

6.2 ESPECIFICACIONES DE EQUIPOS Y MATERIALES

6.2.1 Máquina de Absorción

Se instalará una máquina enfriadora de agua del tipo de absorción, ciclo Bromuro de Litio-Agua. Se suministrará completa con concentrador, condensador, evaporador, absorbedor, bomba o bombas de circulación de la solución y del refrigerante, sistema de purga, paneles de control, controles, solución de Bromuro de Litio y sistema de descristalización automática.

La capacidad de la unidad, al estar conectadas en serie en el circuito de agua helada, no será menor que 547.74 toneladas de refrigeración al enfriar 2256 GPM de agua desde 54°F hasta 48.17°F, y al estar alimentadas por agua de enfriamiento.

to con una temperatura de 85°F y vapor a 10 psig.

El evaporador, absorbedor y condensador estarán diseñados para una presión de trabajo de 150 psig.

Los cabezales del evaporador, absorbedor y concentrador serán removibles.

Se suministrará con la máquina aisladores de vibración para su montaje.

La bomba o bombas de circulación de la solución y el refrigerante serán herméticas y su motor eléctrico no deberá requerir, para su enfriamiento, un circuito de agua exterior durante operación normal.

Los controles de la máquina deberán cumplir las siguientes funciones:

- Controlar la temperatura del agua helada por medio de la modulación de la entrada de vapor al concentrador.

- Arrancar y parar automáticamente la máquina cuando las temperaturas del agua helada así lo requieran.

- Parar la máquina en caso de:

Baja temperatura del refrigerante, falta de flujo de agua de enfriamiento, sobrecarga y/o sobrecalentamiento del motor o motores de la bomba o bombas de circulación de la solución y del refrigerante.

La máquina de absorción será adecuada para operación a

440 voltios, 60 Hz, 3 fases. El circuito de control será aislado de la red de fuerza por medio de transformador de control protegido con fusibles.

6.2.2 Máquina Centrífuga

Se suministrará e instalará una Máquina Enfriadora de agua Centrífuga. La unidad se suministrará completa con condensador, evaporador, compresor, sistema de purga o sistema de vaciado de refrigerante, panel de control y aisladores de vibración.

La máquina tendrá una capacidad mínima de 392.26 toneladas de refrigeración al enfriar 2256 GPM de agua de 48.17°F a 44°F cuando la temperatura del agua a la entrada del condensador es de 85°F. La capacidad indicada se entiende con un factor de suciedad en los tubos del condensador y evaporador, de 0.0005 HR-Ft² - °F/BTU.

La capacidad de la máquina estará de acuerdo al standard 550-72 de la ARI.

El evaporador y el condensador serán del tipo casco y tubos, construídos de acuerdo a los requerimientos de la ASME. Tendrá tubos de cobre fácilmente reemplazables y con las puntas expandidas en los espejos. El lado de agua del condensador y del evaporador estarán diseñados para una presión de trabajo de 150 psig. Tanto el condensador como el evaporador tendrán puntos de drenaje y purga. El evaporador será diseñado en tal forma que la temperatura de evaporación del refrigerante no sea menor que 32°F.

El compresor será del tipo centrífugo y tendrá las siguientes características.

- Las vibraciones en las chumaceras no excederán de 0.001 pulgadas.
- Tendrá control de capacidad por medio de compuertas de entrada que permitan la modulación de la capacidad desde el 100% hasta el 20%.
- Tendrá lubricación forzada por medio de bomba de aceite de el tipo de desplazamiento positivo provista de su propio motor eléctrico. El carter de aceite estará provisto de calentador eléctrico.

Sistema de purga o vaciado. La unidad tendrá un sistema de purga de gases no condensables en caso de utilizarse refrigerantes que operen en vacío (R-11, R-113 etc.).

En caso de utilizarse refrigerantes que operen bajo presión se suministrará una unidad de vaciado de refrigerante completa de unidad condensadora y depósito de refrigerante.

El panel de control de la unidad tendrá como mínimo los siguientes elementos:

- Manómetros de presión de condensación, evaporación y aceite.
- Protectores contra alta presión de condensación, baja temperatura de evaporación, sobrettemperatura del motor, baja presión de aceite lubricante.

6.2.3 Torre de enfriamiento

Se suministrará e instalará una torre de enfriamiento - del tipo tiro inducido o tiro forzado. La torre se suministrará con:

- Bandeja de agua fría de acero, galvanizada en caliente después de fabricada, completa con rebose, drenaje con válvula, brida para conexión de la succión de la bomba, tapa de lavado removible, patas de soporte y válvula flotador para agua de reposición.
- Estructura de acero galvanizado.
- Relleno de PVC.
- Ventilador o ventiladores con su motor eléctrico completamente cerrado y tropicalizado, de dos velocidades, relación 2 a 1, adecuados para operación a 440 voltios, 3 fases, 60 Hz.
- Válvulas de control de flujo de agua a la torre.
- Mallas contra insectos en las tomas de aire.
- Canastilla y rompedor de vortex en la succión de las bombas.
- Arbol de toberas o bandejas de agua caliente con orificios de material no corrosible.
- 2 Dosificadores de productos químicos de tratamiento

de agua.

La torre será seleccionada para operar con las máquinas de absorción y centrífuga, y será de capacidad adecuada para que cuando la central de enfriamiento tenga una carga de 940 T.R., los motores de los ventiladores de las torres operen en alta velocidad y la temperatura bulbo húmedo del ambiente exterior sea de 80°F, la temperatura del agua de enfriamiento a la salida de la torre sea de 85°F.

Con el objeto de ahorrar energía eléctrica, se suministrará e instalará un sistema de control automático que cambie la velocidad del ventilador de la torre de alta a baja cuando la carga de enfriamiento de la central de enfriamiento sea menor que el 50% de su carga máxima de diseño.

6.2.4 Caldera de Vapor

Se suministrará e instalará una caldera auto contenida, por tubos de fuego, para la producción de vapor.

La caldera tendrá las siguientes características de operación:

- Capacidad 10867 lbs/hr de vapor operando a 200 psig de presión de vapor y con agua de alimentación a 205°F o sea 332.79 BHP nominales de caldera.
- Combustible Quemará combustible N° 6 (residuo.)

- Presión de diseño : La caldera será diseñada de acuerdo al código ASME para una presión de trabajo de 200 psig de vapor.

- Alimentación eléctrica: Será de 220 V., 3 fases, 60 Hz. para los motores; y 120V 1 fase, 60 Hz. para los circuitos de control. La caldera tendrá su propio transformador de control.

Quemada y alimentación de combustible:

La caldera se suministrará completa con su quemador de combustible:

El sistema quemador será de tiro de aire forzado y tendrá como mínimo los siguientes componentes:

- Quemador propiamente dicho
- Ventilador de tiro forzado con compuerta motorizada para control automático del flujo de aire.
- Llama piloto a gas, con sistema eléctrico de ignición con transformador de alto voltaje y electrodos. El tren de gas incluirá válvula manual de cierre, regulador de presión y válvula solenoide automática.
- Detector de llama
- Sistema de modulación total de llama, con encendido

inicial a llama baja.

El sistema de alimentación de combustible al quemador - incluirá como mínimo los siguientes componentes y accesorios:

- Precalentador de combustible eléctrico y a vapor. El sistema de precalentamiento será automático y utilizará energía eléctrica solamente cuando la caldera está fría.
- Bomba de combustible.
- Filtro de combustible.
- Válvula manual de cierre.
- Dos válvulas solenoides de cierre por resorte.
- Interruptor de baja presión de combustible (Debe cerrar la válvula combustible si la presión del combustible bombeado es inferior a la mínima requerida por el quemador).
- Todos los manómetros necesarios para controlar debidamente la operación del sistema de combustible.

Tablero de control:

La caldera deberá incluir un tablero de control con puerta equipada con cerradura y llave, y con empaque a prueba de polvo.

El tablero incluirá como mínimo los siguientes componentes y accesorios:

- Todos los elementos de control y programación de fue

go, y todos los relés necesarios para la operación - automática de la caldera.

- Interruptor y fusible para el circuito de control.
- Luces pilotos para indicar:
 - Llamadas de llama
 - Encendido-prendido
 - Válvula de combustible abierto
 - Falta de llama
 - Bajo nivel de agua.
- Interruptor seleccionador de operación manual/automática (modulación manual de llama por medio de potenciómetros o modulación de llama automático)
- Arrancadores con protección térmica en las tres fases para los siguientes motores:
 - Ventilador del quemador
 - Bomba de combustible.

Otros controles y accesorios:

- Controlador automático del nivel de agua, con contactos eléctricos para corte de la llama por bajo nivel de agua, accionamiento de la bomba de alimentación de agua y accionamiento de la alarma y la luz indicadora de bajo nivel de agua.
- Indicación visual del nivel de agua, con válvula de cierre y purga.
- Dos interruptores de sobrepresión de vapor.

- Purga de agua ("Blow-down") con válvula de apertura lenta y válvula de apertura rápida.
- Alarma con interruptor silenciador, que operará en caso de bajo nivel de agua o falta de llama.
- Dos válvulas de seguridad con contrapresión.
- Manómetro de presión de vapor
- Termómetro de gases de combustión a la salida de la caldera
- Válvula de vapor del tipo de seguridad (No retorno), con conexiones a 90° del tipo globo angular y provista de resorte interior graduable.

Chimenea de gases:

El contratista suministrará e instalará una chimenea para la caldera. El tramo de chimenea dentro de la sala de máquinas será aislada con asbesto de 2" de espesor, revestido con láminas de acero galvanizado de 1/40" de espesor.

Construcción y prueba:

La caldera será diseñada de acuerdo a los códigos de ASME (American Society of Mechanical Engineers), para calderas de 200 psig de presión. La caldera será probada hidrostáticamente y con fuego en la fábrica, antes del embarque.

El cuerpo de la caldera será aislado térmicamente, y el aislamiento recubierto con una envoltura metálica resistente.

La caldera tendrá todas las compuertas y tapas de ins -

pección y acceso para mantenimiento que sean necesarias. Las tapas deberán tener bisagras y poder abrir para inspección de los tubos sin desconectar ninguna línea eléctrica, de combustible o de gas y sin remover el quemador.

La tapa posterior deberá tener compuerta de acceso para fácil inspección y limpieza de la caja de colección de gases de escape y del tubo de fuego.

La caldera tendrá ganchos de levantamiento y será auto-soportante.

6.2.5 Sistema de alimentación de agua para la caldera

Se suministrará e instalará un sistema de alimentación de agua para la caldera.

El sistema incluirá como mínimo los siguientes elementos:

- Un tanque receptor de acero con tratamiento anti-corrosivo interior y exterior (preferiblemente de resina fenólica) con capacidad mínima de 300 galones y completo con:
 - Indicador visual del nivel del agua
 - Conexiones para entrada de condensado, entrada de agua de reposición, salidas a la bomba, ventilación y drenaje con válvulas de cierre.
 - Compuertas de acceso para limpieza.
- Una bomba de alimentación de agua a la caldera para

un mínimo de 68 galones por minuto al inyectar agua en la caldera a 210 psig de presión, con temperatura del agua a bombearse de 205°F. La bomba se suministrará con:

- Motor trifásico cerrado para 220 V., 3 fases, 60 ciclos, para servicio intermitente.
 - Válvula de cierre en la succión y en la descarga.
 - Filtro tipo "Y" en la succión
 - Válvula cheque en la descarga.
- Un sistema de entrada de agua de reposición con control automático de nivel de agua en el tanque receptor.

El conjunto de elementos se suministrará totalmente montado y conectado sobre una base común.

6.2.6 Tanque de almacenamiento de combustible N° 6

Se suministrará e instalará un tanque para el almacenamiento de combustible N° 6.

Será fabricado con planchas de acero negro, el cilindro de 3/16" y las tapas de 1/4" de espesor.

Se suministrará con la tapa de inspección empernada y de las dimensiones indicadas en los planos, tubo de llenado de combustible, tubo de ventilación, válvula de drenaje y tubos de alimentación y retorno de combustible.

El tanque será pintado exteriormente con 2 capas de pintura anticorrosiva igual o similar a la Nev-a-Rust de "Pin - tec" (Glidden).

6.2.7 Turbina de Vapor

Se suministrará e instalará una turbina de vapor para accionar el compresor de la máquina centrífuga.

La Turbina puede ser de una o más etapas y deberá poder suministrar como mínimo 400 HP a 3600 RPM bajo las siguientes condiciones del vapor:

- Presión inicial 190 psig.
- Temperatura inicial 385 °F
- Presión de descarga 12 psig.
- Flujo de vapor 10867 lbs/Hr.

Será diseñada para trabajo continuo e incluirá los siguientes accesorios para su funcionamiento normal y seguro:

- a) Filtro de vapor a la entrada de la turbina, con elemento resistente a la corrosión, fácilmente desmontable.
- b) Sistema gobernador de velocidad capaz de mantener el rango de velocidad en un 20%. Se compone de:
 - Gobernador de velocidad
 - Mecanismo de control
 - Válvula del gobernador
 - Sistema gobernador de sobre velocidad accionado neumáticamente.

- c) Mecanismo de control de la presión de descarga.
- d) Válvulas manuales para el control de vapor a las toberas.
- e) Aislamiento con barrera de vapor que mantenga una temperatura superficial inferior a 165°F
- f) Sistema de protección que pare automáticamente la turbina en caso de:
 - Alta presión de descarga
 - Bajo nivel de aceite
 - Alta temperatura de aceite
- g) Sistema de lubricación forzada y calentador de aceite.
- h) Termómetros.
- i) Tacómetro montado en la unidad para indicar velocidades sobre la velocidad máxima permitida y bajo la mínima velocidad de operación.
- j) Manómetros para indicar la presión del vapor a la entrada y salida de la turbina.
- k) Acople flexible entre el eje de la turbina y el eje del compresor.

6.2.8 Bombas de agua

Se suministrarán e instalarán las siguientes bombas:

- Dos bombas de circulación de agua helada, idénticas, una para servicio normal y una para reserva. Serán de tipo centrífugo, de una etapa, carcasa partida, -

con cuerpo de hierro fundido, rodete de bronce, eje de acero, rodamientos de bolas con graseras y conexiones con bridas. Tendrán sello mecánico con anillos sellantes de carbón y cerámica u otro material aprobado. El agua bombeada lubricará las caras de los sellos.

La bomba y su motor estará montada sobre base de acero con pozo de drenaje, y acoplados mediante acople flexible.

Cada bomba deberá circular 2256 GPM de agua helada contra una presión dinámica total de aproximadamente 200 piés de columna de agua. El cálculo de la presión precisa de bombeo depende de las caídas de presión en las máquinas centrífuga y de absorción, en los serpentines de las unidades terminales y en el circuito de tuberías de distribución del agua helada y su determinación precisa será responsabilidad del contratista, exigiéndose que las bombas y sus motores sean seleccionados para la presión calculada, con tuberías de mínimo 20 años de uso, más 5% de margen.

Una bomba de circulación de agua de enfriamiento Esta bomba tendrá iguales características constructivas que las de agua helada. La bomba deberá circular 3154 GPM de agua de enfriamiento contra una presión dinámica total de aproximadamente 115 piés de columna de agua.

La presión real deberá ser determinada por cada oferente de acuerdo a las características de las máquinas centrífuga-

ga, absorción y torre de enfriamiento que cotice.

Los motores eléctricos de las tres bombas descritas serán abiertos, a prueba de goteo, con mallas de protección en las entradas y salidas de aire, y devanados tropicalizados. Serán trifásicos y adecuados para operación a 440 voltios, 60 Hz.

6.2.9 Tuberías de Agua Helada y Agua de Enfriamiento

Las tuberías de agua helada y agua de enfriamiento serán dimensionadas según se indica en los planos.

Se utilizarán tubos de acero negro con costura según especificaciones ASTM A-120, "Schedule" 40. (Cédula 40).

Para las tuberías de más de 3/4" \emptyset se emplearán accesorios soldados con dimensiones según ASA B 16.9 radio largo y de acero al carbón. Las uniones soldadas se ejecutarán con soldaduras N^o 6011, con una capa de penetración y una de acabado para tubos hasta de 4" \emptyset y con dos capas de penetración y una de acabado para tubos de más de 4" \emptyset .

Toda la tubería será soportada mediante soportes metálicos que permitan su expansión longitudinal. El Contratista deberá diseñar con detalles el sistema de soportes incluyendo anillos o puntos de expansión y deberá someter el diseño para aprobación antes de su ejecución.

El diseño del sistema de soportes deberá considerar la eliminación de esfuerzos en la tubería troncal y sus ramales.

de derivación, y el adecuado fijamiento de válvulas y controles. Toda la tubería de agua helada será aislada térmicamente y con adecuada barrera de vapor cuidadosamente sellada en juntas y soportes. Para tuberías de hasta 4" \emptyset se utilizará aislamiento de plástico expandido con barrera de vapor integrada, de 5/8" de espesor para tubos de hasta 1-1/2", y de 3/4" de espesor para los demás.

Para tuberías de más de 4" \emptyset se empleará aislamiento de lana de vidrio de 7,25 lbs./pie cúbico de densidad y 1-1/2" de espesor con barrera de vapor de papel Craft y lámina de aluminio reforzado autoadhesivo. Todas las válvulas, bombas y controles del sistema de agua helada serán aislados con lana de vidrio debidamente sellada con barrera de vapor.

El sistema de agua helada incluirá un tanque de expansión tipo abierto de 250 galones de capacidad instalado en la terraza de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar, el mismo que tendrá válvula de flotador para reposición de agua, drenaje con válvula, rebose y tubo de ventilación. El tanque se conectará con tubos de 2" \emptyset aislado térmicamente al distribuidor de retorno del sistema de agua helada.

6.2.10 Tuberías de vapor y retorno de condensado

Todas las tuberías de vapor serán de acero negro y de acuerdo a la norma ASTM A-120, sin costura, Cédula 40.

Las tuberías de vapor y condensado serán pintadas, en su exterior, con pintura anticorrosiva resistente al calor -

(400°F) y aisladas térmicamente con medias cañas de lana de vidrio con densidad no menor a 7.25 lbs/pié³. Las medias cañas llevarán, en su exterior, una barrera de vapor de papel kraft y aluminio auto-adhesivo.

El aislamiento será fijado al tubo con correas de aluminio cada 3 pies y bandas auto-adhesivas en todas las juntas de aislamiento.

Los espesores del aislamiento serán:

<u>Diámetro nominal del tubo</u>	<u>Espesor del aislamiento</u>	
	<u>Tubos de vapor</u>	<u>Tubos de condensado.</u>
Hasta 3/4"	1"	1"
3/4" a 2"	1 1/2"	1"
2" a 6"	2"	1"
8"	2 1/2"	1"

6.2.11 Válvulas, filtros y trampas

a) Válvulas de compuerta

Las válvulas de compuerta para los sistemas de agua helada y de combustible hasta 2" inclusive serán de bronce, clase 125 lb. SP (200 WOG), roscadas, vástago ascendente, cuña sólida, cabeza unión. Las de más de 2" serán con cuerpo de hierro fundido y mecanismo de bronce, clase 125 lb. SP (200 WOG), con bridas, vástago ascendente, cuña sólida, cabeza empernada

Las válvulas de compuerta para el sistema de vapor de hasta 1 1/2" inclusive, serán de acero, clase -

600 lb. SP, conexiones soldadas, cuña sólida, cabeza empernada. Las de más de 1 1/2" serán de acero fundido, clase 600 lb SP cuña sólida, cabeza empernada.

b) Válvulas de globo

Las válvulas de globo para el sistema de vapor de hasta 1 1/2" serán de acero forjado, clase 600 lb. SP, conexiones soldadas, cabeza empernada. Las de más de 1 1/2" serán de acero fundido, clase 600 lb. SP conexiones soldadas, cabeza empernada.

Las válvulas de globo para los sistemas de agua helada de hasta 2" serán de bronce, clase 150 lb. SP (300 WOG), roscadas, vástago ascendente, cabeza - unión, disco sólido de TEFLON virgen renovable. Las de más de 2" serán con cuerpo de hierro fundido y mecanismo de bronce, cabeza empernada, conexiones - con bridas, asiento y disco de bronce renovable, clase 125 lb. SP (200 WOG).

c) Válvulas de bola

Las válvulas del sistema de aire comprimido serán - todas de bola, con cuerpo de bronce, conexiones sol-
dadas, vástago a prueba de estallido (blow-out), se-
llos y asientos de TEFLON.

c) Válvulas cheque

Todas las válvulas cheque de los sistemas de agua

helada y aire comprimido de hasta 2" serán de bronce, clase 125 lb. SP (250 WOG), roscada, disco de columpio. Las de más de 2" serán de cuerpo de hierro fundido y mecanismo de bronce, clase 125 lb. SP conexiones de chapa ("wafer"), disco de columpio, sellos de Buna N, cierre no-impacto.

Las válvulas cheque para el sistema de vapor serán todas de acero fundido, clase 600 lb. SP, conexiones soldadas, discos de columpio.

e) Filtros de agua, de vapor y condensado

Los filtros para los sistemas de agua helada de hasta 2" serán de cuerpo de semi-acero, 300 psig a -150°F (clasificación líquidos), roscados, con malla 20 de acero inoxidable. Los de más de 2" serán filtros cónicos perforados temporales, con bridas.

Los filtros para el sistema de vapor y de condensado de hasta 1 1/2" serán con cuerpo de semi-acero. 300 psig presión de vapor, roscados, con canasta de acero inoxidable malla 20. Los de más de 1 1/2" serán iguales a los anteriores pero con bridas y canasta de acero inoxidable con perforaciones de 3/64"

f) Trampas de vapor

Las trampas del tipo flotador y termostática tendrán bola e interiores de acero inoxidable y serán para trabajo pesado. Los de sistema de vapor serán para una presión de trabajo de hasta 2 psig.

Las trampas termodinámicas serán para una presión - de trabajo de 200 psig, con cuerpo de acero inoxidable tratado al calor y endurecido.

6.2.12 Controles e Instrumentos

Se instalarán en la central del sistema de acondicionamiento de aire, los siguientes controles e instrumentos:

a.- Termómetros y manómetros en:

- Distribuidor de retorno de agua helada.
- Distribuidor de mando de agua helada.
- Entrada y salida de agua helada de cada máquina enfriadora de agua.
- Entrada de agua de enfriamiento al absorbedor de la máquina de absorción.
- Entrada de agua de enfriamiento a los condensadores de las máquinas de absorción y centrífuga.
- Salida de agua de enfriamiento de los condensadores de las máquinas de absorción y centrífuga.
- Manómetros para medir la diferencial de presión a través de cada una de las tres bombas de agua.
- Interruptores de falta de flujo de agua en los circuitos de agua helada y agua de enfriamiento.

b.- Se suministrarán también todos los instrumentos especificados en el Capítulo 5.

6.2.13 Sistema de Aire Comprimido para Controles

Se instalará en la central de enfriamiento dos compresores de aire con sus respectivos tanques de almacenamiento, uno para servicio normal y uno para reserva.

Se instalará además una estación de secado con trampa automática de agua, 2 filtros y 2 válvulas reguladoras de presión, para servicio normal y reserva.

Las válvulas reguladoras de presión tendrán sistema de alivio, válvula de sobrepresión y manómetros a la entrada y salida.

La capacidad de los compresores será suficiente para que todo el sistema de control sea abastecido por un solo compresor funcionando como máximo el 33% del tiempo.

7.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La razón fundamental para realizar este proyecto lo puedo dividir en tres partes principales:

- 1.- En la ESPOL existe el Departamento de Ing. Mecánica en el cual he recibido mi formación académica, que necesita de un laboratorio de Area de Conversión de Energía donde sus alumnos puedan realizar sus prácticas en equipos industriales. Al mismo tiempo estos equipos puedan brindar un servicio a la comunidad politécnica.
- 2.- He podido observar que la Escuela posee una gran cantidad de equipos de expansión directa para el acondicionamiento de sus locales, no siendo estos sistemas aislados lo más conveniente económicamente para la ESPOL, tal como se indicó en el Capítulo Cuarto.
- 3.- En el Ecuador todavía no existe una normalización para el cálculo, diseño e instalación de sistemas de acondicionamiento de aire.

Como se puede observar a través del presente estudio, se ha seleccionado y calculado la central de enfriamiento de agua para un sistema de Aire Acondicionado integral para la ESPOL, para lo cual se ha hecho un cálculo de carga coincidente de todos los edificios acondicionados. Como complemento de este estudio el Departamento de Ingeniería Mecánica puede sugerir como tema de tesis colectivo, el análisis y cálculo de las unidades terminales según la aplicación específica de los locales acondicionados, que incluya lo siguiente:

- 1.- Cálculo de cargas de cada unidad terminal.
- 2.- Análisis psicrométrico para determinar el caudal de aire y las condiciones del serpentín de enfriamiento de cada unidad terminal.
- 3.- Distribución del aire suministrado, que incluya:
 - Diseño de ductos
 - Selección de difusores de mando y rejillas de retorno
- 4.- Diseño del sistema de tuberías desde los distribuidores de agua helada localizados en la central de enfriamiento, hasta los serpentines de cada unidad terminal.
- 5.- Diseño del sistema neumático de controles para cada unidad terminal.
- 6.- Diseño de la tubería de alimentación de aire comprimido para los controles neumáticos desde el compresor de aire situado en la central de enfriamiento, hasta cada unidad terminal.
- 7.- Planos generales y detalles de instalación que contenga:
 - Ductos de distribución de aire.
 - Tuberías de agua helada
 - Tuberías de aire comprimido
 - Controles automáticos
- 8.- Requerimientos y especificaciones técnicas de:
 - Unidades terminales
 - Filtros de aire
 - Ductos

- Tuberías de agua helada
- Tuberías de aire comprimido
- Aislamiento térmico para ductos y tuberías
- Controles e instrumentos.

En cualquier local de educación es necesario mantener un ambiente adecuado durante todo el año, exigido por la aglomeración escolar, gran intensidad luminosa y efecto solar en las aulas exteriores con ventanas, así como por la importancia reconocida que tiene el ambiente confortable en relación con la asimilación de enseñanzas. La solución de refrigerar la Escuela sólo por medio de la ventilación resulta inadecuada el 80% del tiempo, debido a que en Guayaquil la temperatura del ambiente exterior es relativamente alta la mayor parte del tiempo que funciona la Escuela. No obstante la ventilación es importantísima para eliminar olores, y según el volumen acondicionado y los hábitos de los estudiantes, las necesidades de aire exterior pueden variar de 10 a 12 Ft³/min. por alumno. La carga debida al aire exterior es, por lo tanto, muy elevada y representa el 29% (272 T.R.) de la carga total de enfriamiento. Con el objeto de reducir en un 90% esta carga, podría utilizarse un producto comercial que todavía se encuentra en su fase de experimentación denominado "COSATRON", el cual según aseguran los fabricantes, elimina totalmente la necesidad de ventilación porque su producto limpia y purifica el aire viciado que retorna del local acondicionado. De perfeccionarse este producto que tiene un bajo costo la capacidad de la central de enfriamiento se reduciría considerablemente y por consiguiente el costo inicial y costo de operación mensual del sistema se verían reducidos proporcionalmen-

te a la disminución de la capacidad.

Como una recomendación final, puedo indicar que la ESPOL por intermedio del Departamento de Ingeniería Mecánica se interese por normalizar principalmente el diseño de sistemas de agua helada para el acondicionamiento de aire en la ciudad de Guayaquil, donde el problema principal con que se enfrenta cada diseñador es el cálculo de radiación solar a través de ventanas exteriores.

8.- APENDICES

APENDICE A

TABLA A-1

RADIACION SOLAR PARA EL HEMISFERIO SUR (°)

<u>FECHA</u>		<u>D</u>	<u>A</u>	<u>B</u>	<u>C</u>
Enero	21	- 20.0	390	0.207	0.136
Febrero	21	- 10.8	385	0.201	0.122
Marzo	21	0.0	376	0.177	0.092
Abril	21	11.6	360	0.160	0.073
Mayo	21	20.0	350	0.149	0.063
Junio	21	23.45	345	0.142	0.057
Julio	21	20.6	344	0.142	0.058
Agosto	21	12.3	351	0.144	0.060
Septiembre	21	0.0	365	0.156	0.071
Octubre	21	- 10.5	378	0.180	0.097
Noviembre	21	- 19.8	387	0.196	0.121
Diciembre	21	- 23.45	391	0.205	0.134

(°) = Tomado de ASHRAE - "Subroutine Algorithms for Heating and Cooling Loads to Determine Building Energy Requirements", pág. 24, 1975.

D = Angulo de declinación del Sol, grados.

A = Constante solar aparente, BTU/(Hr. Ft²).

B = Coeficiente de extinción atmosférico, (masa de aire)⁻¹.

C = Factor difuso del cielo, adimensional.

TABLA A-2

ANGULOS DE ALTITUD (AL) Y AZIMUTH (AZ) DEL SOL.
 =====
 LATITUD DE GUAYAQUIL = 2.19 GRADOS SUR
 =====

HORA	DIC 21		ENE 21		FEB 21		MAR 21		ABR 21		MAY 21		JUN 21	
	AL	AZ	AL	AZ	AL	AZ	AL	AZ	AL	AZ	AL	AZ	AL	AZ
7 AM.	15	66	15	70	15	80	15	91	14	103	13	111	13	115
IDN	183		184		190		193		191		188		188	
8 AM.	28	64	29	69	30	79	30	91	29	105	27	114	26	118
IDN	263		265		268		268		264		259		257	
9 AM.	42	60	43	65	45	77	45	92	43	108	41	119	39	123
IDN	296		298		299		297		291		286		283	
10 AM.	54	51	56	57	59	73	60	94	57	116	53	129	51	133
IDN	313		314		314		311		304		298		295	
11 AM.	64	33	67	39	73	60	75	98	70	133	63	147	59	151
IDN	321		322		321		317		311		304		300	
12 MM.	69	0	72	0	81	0	88	100	76	100	68	100	64	100
IDN	323		324		323		319		312		306		302	
1 PM.	64	327	67	321	73	300	75	262	70	227	63	213	60	200
IDN	321		322		321		317		311		304		300	
2 PM.	54	309	56	303	59	287	60	266	57	244	53	231	51	227
IDN	313		314		314		311		304		298		295	
3 PM.	42	300	43	295	45	283	45	268	43	252	41	241	39	237
IDN	296		298		299		297		291		286		283	
4 PM.	28	296	29	291	30	281	30	269	29	255	27	246	26	242
IDN	263		265		268		268		264		259		257	
5 PM.	15	294	15	290	15	280	15	269	14	257	13	249	13	242
IDN	183		184		190		193		191		188		188	

****IDN-INTENSIDAD DE RADIACION NORMAL (STU-HR/PIE CUADRADO)****

TABLA A-3

ANGULOS DE ALTITUD (AL) Y AZIMUTH (AZ) DEL SOL

LATITUD DE GUAYAQUIL = 2.19 GRADOS SUR

HORA	JUL 21		AGT 21		SEP 21		OCT 21		NOV 21	
	AL	AZ	AL	AZ	AL	AZ	AL	AZ	AL	AZ
7 AM. IDN	13 191	180 112	14 197	180-x 103	15 199	91 ✓	15 195	79 ✓	15 188	70 ✓
8 AM. IDN	27 259	180 115	29 264	180-x 105	30 268	92 ✓	30 269	79 ✓	29 266	69 ✓
9 AM. IDN	40 285	120	43 290	109	45 295	93	45 298	77	43 297	65
10 AM. IDN	53 296	129	57 301	117	60 308	95	59 311	72	56 313	57
11 AM. IDN	63 302	180-φ 148	69 307	180-φ 135	75 313	101	73 318	59 ✓	67 320	39 ✓
12 AM. IDN	67 303	180 ✓	75 309	180	87 315	180	81 320	0	72 322	0
1 PM. IDN	63 302	180-φ 212	69 307	180-φ 225	75 313	360-φ 259	73 318	360-φ 301	67 320	360-φ 321
2 PM. IDN	53 296	231	57 301	243	60 308	265	59 311	288	56 313	303
3 PM. IDN	40 285	180-φ 240	43 290	251	45 295	267	45 298	360-φ 283	43 297	295
4 PM. IDN	27 259	245	29 264	255	30 268	268	30 269	281	29 266	291
5 PM. IDN	13 191	180-φ 246	14 197	170-φ 257	15 199	269	15 195	360-φ 281	15 188	360-φ 290

****IDN=INTENSIDAD DE RADIACION HORRAL (BTU/HR/P/E CUADRADO)****

TABLA A-4

FACTOR RAD. DIRECTO

	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0.9044	0.9040	0.9033	0.9024	0.9011	0.8996	0.8978	0.8957
1	0.9043	0.9039	0.9032	0.9022	0.9010	0.8995	0.8977	0.8956
2	0.9039	0.9035	0.9028	0.9018	0.9006	0.8990	0.8972	0.8952
3	0.9032	0.9028	0.9021	0.9011	0.8999	0.8984	0.8966	0.8945
4	0.9022	0.9018	0.9011	0.9002	0.8989	0.8974	0.8956	0.8935
5	0.9016	0.9006	0.8999	0.8989	0.8977	0.8961	0.8943	0.8923
6	0.8995	0.8990	0.8984	0.8974	0.8961	0.8946	0.8928	0.8908
7	0.8977	0.8972	0.8966	0.8956	0.8943	0.8928	0.8910	0.8890
8	0.8956	0.8952	0.8945	0.8935	0.8923	0.8908	0.8890	0.8869
9	0.8932	0.8928	0.8921	0.8912	0.8899	0.8884	0.8866	0.8846
10	0.8906	0.8902	0.8895	0.8885	0.8873	0.8858	0.8840	0.8820
11	0.8877	0.8873	0.8866	0.8856	0.8844	0.8829	0.8811	0.8791
12	0.8845	0.8841	0.8834	0.8825	0.8812	0.8797	0.8780	0.8759
13	0.8810	0.8806	0.8800	0.8790	0.8778	0.8763	0.8745	0.8725
14	0.8773	0.8769	0.8762	0.8753	0.8741	0.8726	0.8708	0.8688
15	0.8733	0.8729	0.8722	0.8713	0.8701	0.8686	0.8668	0.8648
16	0.8690	0.8686	0.8679	0.8670	0.8658	0.8643	0.8625	0.8605
17	0.8644	0.8640	0.8634	0.8624	0.8612	0.8598	0.8580	0.8560
18	0.8596	0.8592	0.8585	0.8576	0.8564	0.8549	0.8532	0.8512
19	0.8545	0.8541	0.8534	0.8525	0.8513	0.8498	0.8481	0.8461
20	0.8491	0.8487	0.8481	0.8471	0.8459	0.8445	0.8428	0.8408
21	0.8435	0.8431	0.8424	0.8415	0.8403	0.8388	0.8371	0.8352
22	0.8375	0.8371	0.8365	0.8356	0.8344	0.8329	0.8312	0.8293
23	0.8313	0.8309	0.8303	0.8294	0.8282	0.8267	0.8251	0.8231
24	0.8248	0.8244	0.8238	0.8229	0.8217	0.8203	0.8186	0.8167
25	0.8181	0.8177	0.8170	0.8161	0.8150	0.8136	0.8119	0.8100
26	0.8110	0.8107	0.8100	0.8091	0.8080	0.8066	0.8049	0.8030
27	0.8037	0.8034	0.8027	0.8018	0.8007	0.7993	0.7976	0.7957
28	0.7962	0.7959	0.7952	0.7943	0.7931	0.7917	0.7901	0.7882
29	0.7883	0.7879	0.7873	0.7864	0.7853	0.7839	0.7823	0.7804
30	0.7802	0.7798	0.7792	0.7783	0.7772	0.7758	0.7742	0.7723

TABLA A-4 (Cont..)

	FACTOR RAD. DIRECTO								
	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0	0.8934	0.8907	0.8878	0.8846	0.8812	0.8774	0.8734	0.8691	0.8646
1	0.8932	0.8906	0.8877	0.8845	0.8810	0.8773	0.8733	0.8690	0.8644
2	0.8928	0.8902	0.8873	0.8841	0.8806	0.8769	0.8729	0.8686	0.8640
3	0.8921	0.8895	0.8866	0.8834	0.8800	0.8762	0.8722	0.8679	0.8634
4	0.8912	0.8885	0.8856	0.8825	0.8790	0.8753	0.8713	0.8670	0.8624
5	0.8899	0.8873	0.8844	0.8812	0.8778	0.8741	0.8701	0.8658	0.8612
6	0.8884	0.8858	0.8829	0.8797	0.8763	0.8726	0.8686	0.8643	0.8598
7	0.8866	0.8840	0.8811	0.8780	0.8745	0.8708	0.8668	0.8625	0.8580
8	0.8846	0.8820	0.8791	0.8759	0.8725	0.8688	0.8648	0.8605	0.8560
9	0.8822	0.8796	0.8767	0.8736	0.8702	0.8665	0.8625	0.8582	0.8537
10	0.8796	0.8770	0.8742	0.8710	0.8676	0.8639	0.8599	0.8557	0.8512
11	0.8767	0.8742	0.8713	0.8681	0.8647	0.8610	0.8571	0.8529	0.8484
12	0.8736	0.8710	0.8681	0.8650	0.8616	0.8579	0.8540	0.8498	0.8453
13	0.8703	0.8676	0.8647	0.8616	0.8582	0.8545	0.8506	0.8464	0.8419
14	0.8665	0.8639	0.8610	0.8579	0.8545	0.8509	0.8470	0.8428	0.8383
15	0.8625	0.8599	0.8571	0.8540	0.8506	0.8470	0.8431	0.8389	0.8344
16	0.8582	0.8557	0.8529	0.8498	0.8464	0.8428	0.8389	0.8347	0.8303
17	0.8537	0.8512	0.8484	0.8453	0.8419	0.8383	0.8344	0.8303	0.8259
18	0.8489	0.8464	0.8436	0.8405	0.8372	0.8336	0.8297	0.8256	0.8212
19	0.8439	0.8413	0.8385	0.8355	0.8322	0.8286	0.8247	0.8206	0.8162
20	0.8385	0.8360	0.8332	0.8302	0.8269	0.8233	0.8195	0.8154	0.8110
21	0.8329	0.8304	0.8276	0.8246	0.8213	0.8178	0.8140	0.8099	0.8055
22	0.8270	0.8245	0.8218	0.8188	0.8155	0.8120	0.8082	0.8041	0.7998
23	0.8209	0.8184	0.8157	0.8127	0.8094	0.8059	0.8021	0.7981	0.7938
24	0.8145	0.8120	0.8093	0.8063	0.8031	0.7996	0.7958	0.7918	0.7875
25	0.8078	0.8053	0.8026	0.7996	0.7964	0.7929	0.7892	0.7852	0.7810
26	0.8008	0.7984	0.7957	0.7927	0.7895	0.7861	0.7823	0.7784	0.7742
27	0.7936	0.7911	0.7885	0.7855	0.7824	0.7789	0.7752	0.7713	0.7671
28	0.7860	0.7836	0.7810	0.7781	0.7749	0.7715	0.7678	0.7639	0.7597
29	0.7783	0.7759	0.7732	0.7703	0.7672	0.7638	0.7602	0.7563	0.7521
30	0.7702	0.7678	0.7652	0.7624	0.7592	0.7559	0.7523	0.7484	0.7443

TABLA A-4 (Cont..)

FACTOR RAD. DIRECTO

	18	19	20	21	22	23	24	25	26
0	0.8597	0.8546	0.8492	0.8436	0.8377	0.8314	0.8250	0.8182	0.8112
1	0.8596	0.8545	0.8491	0.8435	0.8375	0.8313	0.8248	0.8181	0.8110
2	0.8592	0.8541	0.8487	0.8431	0.8371	0.8309	0.8244	0.8177	0.8107
3	0.8585	0.8534	0.8481	0.8424	0.8365	0.8303	0.8238	0.8170	0.8100
4	0.8576	0.8525	0.8471	0.8415	0.8356	0.8294	0.8229	0.8161	0.8091
5	0.8564	0.8513	0.8459	0.8403	0.8344	0.8282	0.8217	0.8150	0.8080
6	0.8549	0.8498	0.8445	0.8388	0.8329	0.8267	0.8203	0.8136	0.8066
7	0.8532	0.8481	0.8428	0.8371	0.8312	0.8251	0.8186	0.8119	0.8049
8	0.8512	0.8461	0.8408	0.8352	0.8293	0.8231	0.8167	0.8100	0.8030
9	0.8489	0.8439	0.8385	0.8329	0.8270	0.8209	0.8145	0.8078	0.8008
10	0.8464	0.8413	0.8360	0.8304	0.8245	0.8184	0.8120	0.8053	0.7984
11	0.8436	0.8385	0.8332	0.8276	0.8218	0.8157	0.8093	0.8026	0.7957
12	0.8405	0.8355	0.8302	0.8246	0.8188	0.8127	0.8063	0.7996	0.7927
13	0.8372	0.8322	0.8269	0.8213	0.8155	0.8094	0.8031	0.7964	0.7895
14	0.8336	0.8286	0.8233	0.8178	0.8120	0.8059	0.7996	0.7929	0.7861
15	0.8297	0.8247	0.8195	0.8140	0.8082	0.8021	0.7958	0.7892	0.7823
16	0.8256	0.8206	0.8154	0.8099	0.8041	0.7981	0.7918	0.7852	0.7784
17	0.8212	0.8162	0.8110	0.8055	0.7998	0.7938	0.7875	0.7810	0.7742
18	0.8165	0.8116	0.8064	0.8009	0.7952	0.7892	0.7830	0.7765	0.7697
19	0.8116	0.8067	0.8015	0.7961	0.7904	0.7844	0.7782	0.7717	0.7649
20	0.8064	0.8015	0.7964	0.7910	0.7853	0.7793	0.7731	0.7667	0.7600
21	0.8009	0.7961	0.7910	0.7855	0.7799	0.7740	0.7678	0.7614	0.7547
22	0.7952	0.7904	0.7853	0.7799	0.7743	0.7684	0.7623	0.7559	0.7492
23	0.7892	0.7844	0.7793	0.7740	0.7684	0.7626	0.7565	0.7501	0.7435
24	0.7830	0.7782	0.7731	0.7678	0.7623	0.7565	0.7504	0.7441	0.7375
25	0.7765	0.7717	0.7667	0.7614	0.7559	0.7501	0.7441	0.7378	0.7312
26	0.7697	0.7649	0.7600	0.7547	0.7492	0.7435	0.7375	0.7312	0.7247
27	0.7626	0.7579	0.7530	0.7478	0.7423	0.7366	0.7306	0.7244	0.7179
28	0.7553	0.7507	0.7457	0.7405	0.7351	0.7294	0.7235	0.7173	0.7109
29	0.7477	0.7431	0.7382	0.7331	0.7277	0.7220	0.7161	0.7100	0.7036
30	0.7399	0.7353	0.7304	0.7253	0.7200	0.7144	0.7085	0.7024	0.6961

TABLA A-4 (Cont..)

	FACTOR RAD. DIRECTO								
	27	28	29	30	31	32	33	34	35
0	0.8839	0.7963	0.7884	0.7803	0.7719	0.7633	0.7543	0.7451	0.7356
1	0.8837	0.7962	0.7883	0.7802	0.7718	0.7631	0.7542	0.7450	0.7355
2	0.8834	0.7958	0.7879	0.7798	0.7714	0.7628	0.7538	0.7446	0.7351
3	0.8827	0.7952	0.7873	0.7792	0.7708	0.7621	0.7532	0.7440	0.7345
4	0.8818	0.7943	0.7864	0.7783	0.7699	0.7613	0.7524	0.7432	0.7337
5	0.8807	0.7931	0.7853	0.7772	0.7688	0.7602	0.7513	0.7421	0.7326
6	0.7993	0.7917	0.7839	0.7758	0.7675	0.7588	0.7499	0.7407	0.7313
7	0.7976	0.7901	0.7823	0.7742	0.7659	0.7572	0.7483	0.7392	0.7297
8	0.7957	0.7882	0.7804	0.7723	0.7640	0.7554	0.7465	0.7373	0.7279
9	0.7936	0.7860	0.7783	0.7702	0.7619	0.7533	0.7444	0.7353	0.7259
10	0.7911	0.7836	0.7759	0.7678	0.7595	0.7510	0.7421	0.7330	0.7236
11	0.7885	0.7810	0.7732	0.7652	0.7569	0.7484	0.7395	0.7304	0.7211
12	0.7855	0.7781	0.7703	0.7624	0.7541	0.7455	0.7367	0.7277	0.7183
13	0.7824	0.7749	0.7672	0.7592	0.7510	0.7425	0.7337	0.7246	0.7153
14	0.7789	0.7715	0.7638	0.7559	0.7476	0.7392	0.7304	0.7214	0.7121
15	0.7752	0.7678	0.7602	0.7523	0.7441	0.7356	0.7269	0.7179	0.7086
16	0.7713	0.7639	0.7563	0.7484	0.7402	0.7318	0.7231	0.7141	0.7049
17	0.7671	0.7597	0.7521	0.7443	0.7361	0.7277	0.7191	0.7101	0.7009
18	0.7626	0.7553	0.7477	0.7399	0.7318	0.7234	0.7148	0.7059	0.6967
19	0.7579	0.7507	0.7431	0.7353	0.7272	0.7189	0.7103	0.7014	0.6923
20	0.7530	0.7457	0.7382	0.7304	0.7224	0.7141	0.7055	0.6967	0.6876
21	0.7478	0.7405	0.7331	0.7253	0.7173	0.7091	0.7006	0.6918	0.6827
22	0.7423	0.7351	0.7277	0.7200	0.7120	0.7038	0.6953	0.6866	0.6776
23	0.7366	0.7294	0.7220	0.7144	0.7065	0.6983	0.6898	0.6811	0.6722
24	0.7306	0.7235	0.7161	0.7085	0.7006	0.6925	0.6841	0.6755	0.6666
25	0.7244	0.7173	0.7100	0.7024	0.6946	0.6865	0.6782	0.6696	0.6607
26	0.7179	0.7109	0.7036	0.6961	0.6883	0.6803	0.6720	0.6634	0.6546
27	0.7112	0.7042	0.6970	0.6895	0.6817	0.6738	0.6655	0.6570	0.6483
28	0.7042	0.6973	0.6901	0.6826	0.6750	0.6670	0.6588	0.6504	0.6417
29	0.6970	0.6901	0.6829	0.6756	0.6679	0.6600	0.6519	0.6435	0.6349
30	0.6895	0.6826	0.6756	0.6682	0.6606	0.6528	0.6447	0.6364	0.6278

TABLA A-4 (Cont..)

	FACTOR RAD. DIRECTO								
	36	37	38	39	40	41	42	43	44
0	0.7259	0.7158	0.7055	0.6949	0.6840	0.6729	0.6614	0.6497	0.6378
1	0.7257	0.7157	0.7054	0.6948	0.6839	0.6727	0.6613	0.6496	0.6377
2	0.7254	0.7153	0.7050	0.6944	0.6835	0.6724	0.6610	0.6493	0.6373
3	0.7248	0.7147	0.7044	0.6938	0.6830	0.6718	0.6604	0.6487	0.6368
4	0.7239	0.7139	0.7036	0.6930	0.6822	0.6710	0.6596	0.6480	0.6360
5	0.7229	0.7128	0.7026	0.6920	0.6811	0.6700	0.6586	0.6470	0.6350
6	0.7215	0.7115	0.7013	0.6907	0.6799	0.6688	0.6574	0.6458	0.6338
7	0.7200	0.7100	0.6997	0.6892	0.6784	0.6673	0.6559	0.6443	0.6324
8	0.7182	0.7082	0.6980	0.6875	0.6767	0.6656	0.6543	0.6426	0.6308
9	0.7162	0.7062	0.6960	0.6855	0.6747	0.6637	0.6524	0.6408	0.6289
10	0.7139	0.7040	0.6938	0.6833	0.6726	0.6615	0.6502	0.6387	0.6268
11	0.7114	0.7015	0.6913	0.6809	0.6702	0.6592	0.6479	0.6363	0.6245
12	0.7087	0.6988	0.6887	0.6782	0.6675	0.6566	0.6453	0.6338	0.6220
13	0.7057	0.6959	0.6857	0.6753	0.6647	0.6537	0.6425	0.6310	0.6193
14	0.7025	0.6927	0.6826	0.6722	0.6616	0.6507	0.6395	0.6280	0.6163
15	0.6991	0.6893	0.6792	0.6689	0.6583	0.6474	0.6362	0.6248	0.6131
16	0.6954	0.6856	0.6756	0.6653	0.6547	0.6439	0.6328	0.6214	0.6098
17	0.6915	0.6817	0.6717	0.6615	0.6510	0.6402	0.6291	0.6178	0.6062
18	0.6873	0.6776	0.6677	0.6574	0.6470	0.6362	0.6252	0.6139	0.6023
19	0.6829	0.6733	0.6634	0.6532	0.6427	0.6320	0.6210	0.6098	0.5983
20	0.6783	0.6687	0.6588	0.6487	0.6383	0.6276	0.6167	0.6055	0.5940
21	0.6734	0.6639	0.6540	0.6439	0.6336	0.6230	0.6121	0.6010	0.5896
22	0.6683	0.6588	0.6490	0.6390	0.6287	0.6181	0.6073	0.5962	0.5849
23	0.6630	0.6535	0.6438	0.6338	0.6235	0.6130	0.6023	0.5912	0.5800
24	0.6574	0.6480	0.6383	0.6284	0.6182	0.6077	0.5970	0.5861	0.5748
25	0.6516	0.6422	0.6326	0.6227	0.6126	0.6022	0.5915	0.5806	0.5695
26	0.6455	0.6362	0.6267	0.6168	0.6068	0.5964	0.5859	0.5750	0.5639
27	0.6393	0.6300	0.6205	0.6107	0.6007	0.5905	0.5799	0.5692	0.5582
28	0.6327	0.6235	0.6141	0.6044	0.5945	0.5843	0.5738	0.5631	0.5522
29	0.6260	0.6169	0.6075	0.5978	0.5880	0.5778	0.5675	0.5568	0.5460
30	0.6190	0.6099	0.6006	0.5910	0.5812	0.5712	0.5609	0.5503	0.5396

TABLA A-4 (Cont..)

FACTOR RAD. DIRECTO

	45	46	47	48	49	50	51	52	53
0	0.6255	0.6130	0.6002	0.5871	0.5737	0.5601	0.5462	0.5320	0.5175
1	0.6254	0.6129	0.6001	0.5870	0.5736	0.5600	0.5461	0.5319	0.5174
2	0.6251	0.6125	0.5997	0.5867	0.5733	0.5597	0.5458	0.5316	0.5171
3	0.6245	0.6120	0.5992	0.5861	0.5728	0.5592	0.5453	0.5311	0.5166
4	0.6238	0.6113	0.5985	0.5854	0.5721	0.5585	0.5446	0.5304	0.5160
5	0.6228	0.6103	0.5975	0.5845	0.5712	0.5575	0.5437	0.5295	0.5151
6	0.6216	0.6091	0.5964	0.5833	0.5700	0.5564	0.5426	0.5284	0.5146
7	0.6202	0.6077	0.5950	0.5820	0.5687	0.5551	0.5413	0.5272	0.5128
8	0.6186	0.6061	0.5934	0.5804	0.5672	0.5536	0.5398	0.5257	0.5114
9	0.6167	0.6043	0.5916	0.5787	0.5654	0.5519	0.5381	0.5241	0.5097
10	0.6147	0.6023	0.5896	0.5767	0.5635	0.5500	0.5362	0.5222	0.5079
11	0.6124	0.6001	0.5874	0.5745	0.5613	0.5479	0.5341	0.5202	0.5059
12	0.6099	0.5976	0.5850	0.5721	0.5590	0.5456	0.5319	0.5179	0.5037
13	0.6072	0.5949	0.5824	0.5695	0.5564	0.5430	0.5294	0.5155	0.5013
14	0.6043	0.5921	0.5795	0.5667	0.5537	0.5403	0.5267	0.5128	0.4987
15	0.6012	0.5890	0.5765	0.5637	0.5507	0.5374	0.5238	0.5100	0.4959
16	0.5978	0.5857	0.5732	0.5605	0.5475	0.5343	0.5208	0.5070	0.4930
17	0.5943	0.5822	0.5697	0.5571	0.5442	0.5310	0.5175	0.5038	0.4898
18	0.5905	0.5784	0.5661	0.5535	0.5406	0.5274	0.5140	0.5004	0.4865
19	0.5865	0.5745	0.5622	0.5496	0.5368	0.5237	0.5104	0.4968	0.4829
20	0.5823	0.5703	0.5581	0.5456	0.5328	0.5198	0.5065	0.4930	0.4792
21	0.5779	0.5660	0.5538	0.5413	0.5286	0.5157	0.5025	0.4890	0.4753
22	0.5733	0.5614	0.5493	0.5369	0.5243	0.5114	0.4982	0.4849	0.4712
23	0.5684	0.5566	0.5446	0.5322	0.5197	0.5069	0.4938	0.4805	0.4670
24	0.5634	0.5516	0.5396	0.5274	0.5149	0.5022	0.4892	0.4760	0.4625
25	0.5581	0.5464	0.5345	0.5223	0.5099	0.4973	0.4844	0.4712	0.4578
26	0.5526	0.5410	0.5292	0.5171	0.5047	0.4922	0.4793	0.4663	0.4530
27	0.5469	0.5354	0.5236	0.5116	0.4994	0.4869	0.4741	0.4612	0.4482
28	0.5410	0.5295	0.5179	0.5059	0.4938	0.4814	0.4687	0.4559	0.4428
29	0.5349	0.5235	0.5119	0.5001	0.4880	0.4757	0.4632	0.4504	0.4374
30	0.5285	0.5173	0.5058	0.4940	0.4820	0.4698	0.4574	0.4447	0.4318

TABLA A-4 (Cont..)

FACTOR RAD. DIRECTO

	54	55	56	57	58	59	60	61	62
0	0.5028	0.4878	0.4725	0.4570	0.4412	0.4252	0.4090	0.3925	0.3758
1	0.5027	0.4877	0.4724	0.4569	0.4411	0.4251	0.4089	0.3924	0.3758
2	0.5024	0.4874	0.4721	0.4566	0.4409	0.4249	0.4086	0.3922	0.3755
3	0.5019	0.4869	0.4717	0.4562	0.4404	0.4245	0.4082	0.3918	0.3751
4	0.5013	0.4863	0.4711	0.4556	0.4398	0.4239	0.4077	0.3912	0.3746
5	0.5004	0.4855	0.4702	0.4548	0.4391	0.4231	0.4069	0.3905	0.3739
6	0.4994	0.4844	0.4692	0.4538	0.4381	0.4222	0.4060	0.3896	0.3730
7	0.4981	0.4832	0.4681	0.4527	0.4370	0.4211	0.4049	0.3886	0.3720
8	0.4967	0.4819	0.4667	0.4513	0.4357	0.4198	0.4037	0.3874	0.3709
9	0.4951	0.4803	0.4652	0.4498	0.4342	0.4184	0.4023	0.3860	0.3696
10	0.4933	0.4785	0.4635	0.4481	0.4326	0.4168	0.4008	0.3845	0.3681
11	0.4914	0.4766	0.4616	0.4463	0.4308	0.4150	0.3990	0.3828	0.3665
12	0.4892	0.4745	0.4595	0.4442	0.4288	0.4131	0.3971	0.3810	0.3647
13	0.4869	0.4722	0.4572	0.4420	0.4266	0.4110	0.3951	0.3790	0.3627
14	0.4843	0.4697	0.4548	0.4397	0.4243	0.4087	0.3929	0.3769	0.3607
15	0.4816	0.4670	0.4522	0.4371	0.4218	0.4063	0.3905	0.3746	0.3584
16	0.4787	0.4642	0.4494	0.4344	0.4191	0.4037	0.3880	0.3721	0.3560
17	0.4756	0.4611	0.4464	0.4315	0.4163	0.4009	0.3853	0.3695	0.3535
18	0.4723	0.4579	0.4433	0.4284	0.4133	0.3980	0.3824	0.3667	0.3508
19	0.4689	0.4545	0.4399	0.4251	0.4101	0.3949	0.3794	0.3638	0.3480
20	0.4652	0.4509	0.4364	0.4217	0.4068	0.3916	0.3763	0.3607	0.3450
21	0.4614	0.4472	0.4328	0.4181	0.4033	0.3882	0.3729	0.3575	0.3419
22	0.4574	0.4433	0.4289	0.4144	0.3996	0.3846	0.3694	0.3541	0.3386
23	0.4532	0.4391	0.4249	0.4104	0.3958	0.3809	0.3658	0.3506	0.3352
24	0.4488	0.4349	0.4207	0.4063	0.3918	0.3770	0.3620	0.3469	0.3316
25	0.4442	0.4304	0.4163	0.4021	0.3876	0.3729	0.3581	0.3431	0.3279
26	0.4395	0.4257	0.4118	0.3976	0.3833	0.3687	0.3540	0.3391	0.3240
27	0.4346	0.4209	0.4071	0.3930	0.3788	0.3643	0.3497	0.3350	0.3201
28	0.4295	0.4159	0.4022	0.3883	0.3741	0.3598	0.3453	0.3307	0.3150
29	0.4242	0.4108	0.3972	0.3833	0.3693	0.3551	0.3408	0.3263	0.3117
30	0.4187	0.4054	0.3919	0.3782	0.3644	0.3503	0.3361	0.3217	0.3073

TABLA A-4 (Cont..)

	FACTOR RAD. DIRECTO									
	63	64	65	66	67	68	69	70	71	
0	0.3596	0.3419	0.3248	0.3074	0.2900	0.2725	0.2550	0.2375	0.2201	
1	0.3589	0.3419	0.3247	0.3074	0.2900	0.2725	0.2550	0.2375	0.2200	
2	0.3587	0.3417	0.3245	0.3072	0.2898	0.2723	0.2548	0.2373	0.2199	
3	0.3583	0.3413	0.3241	0.3068	0.2894	0.2720	0.2545	0.2370	0.2196	
4	0.3578	0.3408	0.3236	0.3064	0.2890	0.2716	0.2541	0.2366	0.2192	
5	0.3571	0.3401	0.3230	0.3058	0.2884	0.2710	0.2536	0.2361	0.2188	
6	0.3563	0.3393	0.3222	0.3050	0.2877	0.2703	0.2529	0.2355	0.2182	
7	0.3553	0.3384	0.3213	0.3041	0.2869	0.2695	0.2522	0.2348	0.2175	
8	0.3542	0.3373	0.3203	0.3031	0.2859	0.2686	0.2513	0.2340	0.2157	
9	0.3529	0.3361	0.3191	0.3020	0.2848	0.2676	0.2503	0.2330	0.2154	
10	0.3515	0.3347	0.3178	0.3007	0.2836	0.2664	0.2492	0.2320	0.2145	
11	0.3499	0.3332	0.3163	0.2993	0.2822	0.2651	0.2480	0.2308	0.2138	
12	0.3482	0.3315	0.3147	0.2978	0.2808	0.2637	0.2466	0.2296	0.2126	
13	0.3463	0.3297	0.3129	0.2961	0.2792	0.2622	0.2452	0.2282	0.2113	
14	0.3443	0.3277	0.3111	0.2943	0.2774	0.2605	0.2436	0.2267	0.2099	
15	0.3421	0.3257	0.3091	0.2924	0.2756	0.2588	0.2419	0.2251	0.2084	
16	0.3398	0.3234	0.3069	0.2903	0.2736	0.2569	0.2402	0.2235	0.2068	
17	0.3373	0.3211	0.3046	0.2881	0.2715	0.2549	0.2383	0.2217	0.2052	
18	0.3347	0.3185	0.3022	0.2858	0.2693	0.2528	0.2363	0.2193	0.2034	
19	0.3320	0.3159	0.2997	0.2833	0.2670	0.2506	0.2341	0.2173	0.2015	
20	0.3291	0.3131	0.2970	0.2808	0.2645	0.2482	0.2319	0.2157	0.1995	
21	0.3261	0.3102	0.2942	0.2781	0.2619	0.2458	0.2296	0.2135	0.1975	
22	0.3229	0.3071	0.2912	0.2753	0.2592	0.2432	0.2272	0.2112	0.1953	
23	0.3196	0.3039	0.2882	0.2723	0.2564	0.2405	0.2246	0.2088	0.1931	
24	0.3162	0.3006	0.2850	0.2693	0.2535	0.2377	0.2220	0.2063	0.1907	
25	0.3126	0.2972	0.2817	0.2661	0.2505	0.2348	0.2193	0.2037	0.1883	
26	0.3089	0.2936	0.2782	0.2628	0.2473	0.2319	0.2164	0.2011	0.1858	
27	0.3050	0.2899	0.2747	0.2594	0.2441	0.2288	0.2135	0.1983	0.1832	
28	0.3010	0.2860	0.2710	0.2558	0.2407	0.2256	0.2105	0.1954	0.1805	
29	0.2969	0.2821	0.2672	0.2522	0.2372	0.2223	0.2073	0.1925	0.1778	
30	0.2927	0.2780	0.2632	0.2485	0.2337	0.2189	0.2041	0.1895	0.1750	

TABLA A-4 (Cont..)

FACTOR RAD. DIRECTO

	72	73	74	75	76	77	78	79	80
0	0.2027	0.1856	0.1686	0.1520	0.1357	0.1199	0.1046	0.0899	0.0760
1	0.2027	0.1855	0.1686	0.1519	0.1357	0.1198	0.1046	0.0899	0.0760
2	0.2025	0.1854	0.1684	0.1518	0.1355	0.1197	0.1045	0.0898	0.0759
3	0.2023	0.1851	0.1682	0.1516	0.1354	0.1196	0.1043	0.0897	0.0758
4	0.2020	0.1848	0.1679	0.1513	0.1351	0.1194	0.1041	0.0896	0.0757
5	0.2015	0.1844	0.1676	0.1510	0.1348	0.1191	0.1039	0.0893	0.0755
6	0.2010	0.1839	0.1671	0.1506	0.1344	0.1187	0.1036	0.0891	0.0753
7	0.2003	0.1833	0.1666	0.1501	0.1340	0.1183	0.1032	0.0888	0.0750
8	0.1996	0.1827	0.1659	0.1495	0.1335	0.1179	0.1028	0.0884	0.0747
9	0.1988	0.1819	0.1652	0.1489	0.1329	0.1173	0.1023	0.0880	0.0744
10	0.1979	0.1810	0.1644	0.1481	0.1322	0.1167	0.1018	0.0875	0.0740
11	0.1968	0.1801	0.1636	0.1473	0.1315	0.1161	0.1013	0.0870	0.0735
12	0.1957	0.1790	0.1626	0.1465	0.1307	0.1154	0.1006	0.0865	0.0731
13	0.1945	0.1779	0.1616	0.1455	0.1298	0.1146	0.0999	0.0859	0.0726
14	0.1932	0.1767	0.1605	0.1445	0.1289	0.1138	0.0992	0.0853	0.0720
15	0.1918	0.1754	0.1593	0.1434	0.1279	0.1129	0.0984	0.0846	0.0714
16	0.1904	0.1740	0.1580	0.1422	0.1269	0.1120	0.0976	0.0838	0.0708
17	0.1888	0.1726	0.1566	0.1410	0.1258	0.1110	0.0967	0.0831	0.0701
18	0.1871	0.1710	0.1552	0.1397	0.1246	0.1099	0.0958	0.0823	0.0695
19	0.1854	0.1694	0.1537	0.1383	0.1233	0.1088	0.0948	0.0814	0.0687
20	0.1835	0.1677	0.1522	0.1369	0.1220	0.1076	0.0938	0.0805	0.0680
21	0.1816	0.1659	0.1505	0.1354	0.1207	0.1064	0.0927	0.0796	0.0672
22	0.1796	0.1641	0.1488	0.1338	0.1193	0.1052	0.0916	0.0786	0.0663
23	0.1775	0.1621	0.1470	0.1322	0.1178	0.1038	0.0904	0.0776	0.0655
24	0.1753	0.1601	0.1451	0.1305	0.1163	0.1025	0.0892	0.0765	0.0646
25	0.1731	0.1580	0.1432	0.1288	0.1147	0.1011	0.0880	0.0755	0.0636
26	0.1707	0.1558	0.1412	0.1269	0.1130	0.0996	0.0867	0.0743	0.0627
27	0.1683	0.1536	0.1392	0.1251	0.1114	0.0981	0.0853	0.0732	0.0617
28	0.1658	0.1513	0.1371	0.1231	0.1096	0.0965	0.0840	0.0720	0.0607
29	0.1633	0.1489	0.1349	0.1212	0.1078	0.0949	0.0826	0.0708	0.0596
30	0.1606	0.1465	0.1326	0.1191	0.1060	0.0933	0.0811	0.0695	0.0586

TABLA A-4 (Cont..)

FACTOR RAD. DIRECTO

	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
0	0.0629	0.0508	0.0397	0.0298	0.0211	0.0138	0.0079	0.0036	0.0009	0.0000
1	0.0629	0.0508	0.0397	0.0298	0.0211	0.0138	0.0079	0.0036	0.0009	0.0000
2	0.0629	0.0508	0.0397	0.0297	0.0211	0.0138	0.0079	0.0036	0.0009	0.0000
3	0.0628	0.0507	0.0396	0.0297	0.0210	0.0137	0.0079	0.0036	0.0009	0.0000
4	0.0627	0.0506	0.0395	0.0296	0.0210	0.0137	0.0079	0.0036	0.0009	0.0000
5	0.0625	0.0505	0.0394	0.0296	0.0209	0.0137	0.0079	0.0036	0.0009	0.0000
6	0.0623	0.0503	0.0393	0.0295	0.0209	0.0136	0.0078	0.0036	0.0009	0.0000
7	0.0621	0.0501	0.0392	0.0294	0.0208	0.0136	0.0078	0.0036	0.0009	0.0000
8	0.0618	0.0499	0.0390	0.0292	0.0207	0.0135	0.0078	0.0035	0.0009	0.0000
9	0.0615	0.0497	0.0388	0.0291	0.0206	0.0134	0.0077	0.0035	0.0009	0.0000
10	0.0612	0.0494	0.0386	0.0289	0.0205	0.0134	0.0077	0.0035	0.0009	0.0000
11	0.0609	0.0491	0.0384	0.0287	0.0204	0.0133	0.0076	0.0035	0.0009	0.0000
12	0.0605	0.0488	0.0381	0.0286	0.0202	0.0132	0.0076	0.0035	0.0009	0.0000
13	0.0600	0.0484	0.0378	0.0283	0.0201	0.0131	0.0075	0.0034	0.0009	0.0000
14	0.0596	0.0481	0.0375	0.0281	0.0199	0.0130	0.0075	0.0034	0.0009	0.0000
15	0.0591	0.0477	0.0372	0.0279	0.0197	0.0129	0.0074	0.0034	0.0009	0.0000
16	0.0586	0.0472	0.0369	0.0276	0.0196	0.0128	0.0073	0.0033	0.0009	0.0000
17	0.0580	0.0468	0.0365	0.0274	0.0194	0.0126	0.0073	0.0033	0.0009	0.0000
18	0.0574	0.0463	0.0362	0.0271	0.0192	0.0125	0.0072	0.0033	0.0008	0.0000
19	0.0568	0.0458	0.0358	0.0268	0.0190	0.0124	0.0071	0.0032	0.0008	0.0000
20	0.0562	0.0453	0.0353	0.0265	0.0187	0.0122	0.0070	0.0032	0.0008	0.0000
21	0.0555	0.0447	0.0349	0.0261	0.0185	0.0121	0.0069	0.0032	0.0008	0.0000
22	0.0548	0.0442	0.0345	0.0258	0.0183	0.0119	0.0068	0.0031	0.0008	0.0000
23	0.0541	0.0436	0.0340	0.0255	0.0180	0.0117	0.0067	0.0031	0.0008	0.0000
24	0.0533	0.0430	0.0335	0.0251	0.0177	0.0116	0.0066	0.0030	0.0008	0.0000
25	0.0526	0.0423	0.0330	0.0247	0.0175	0.0114	0.0065	0.0030	0.0008	0.0000
26	0.0518	0.0417	0.0325	0.0243	0.0172	0.0112	0.0064	0.0029	0.0008	0.0000
27	0.0509	0.0410	0.0320	0.0239	0.0169	0.0110	0.0063	0.0029	0.0007	0.0000
28	0.0501	0.0403	0.0314	0.0235	0.0166	0.0108	0.0062	0.0028	0.0007	0.0000
29	0.0492	0.0396	0.0309	0.0231	0.0163	0.0106	0.0061	0.0028	0.0007	0.0000
30	0.0483	0.0389	0.0303	0.0227	0.0160	0.0104	0.0060	0.0027	0.0007	0.0000

TABLA A-4 (Cont..)

FACTOR RAD. DIRECTO

	27	28	29	30	31	32	33	34	35
31	0.6817	0.6750	0.6679	0.6606	0.6531	0.6453	0.6373	0.6290	0.6205
32	0.6738	0.6670	0.6600	0.6528	0.6453	0.6376	0.6296	0.6214	0.6130
33	0.6655	0.6588	0.6519	0.6447	0.6373	0.6296	0.6217	0.6136	0.6052
34	0.6570	0.6504	0.6435	0.6364	0.6290	0.6214	0.6136	0.6055	0.5972
35	0.6483	0.6417	0.6349	0.6278	0.6205	0.6130	0.6052	0.5972	0.5890
36	0.6393	0.6327	0.6260	0.6190	0.6118	0.6043	0.5966	0.5887	0.5805
37	0.6300	0.6235	0.6169	0.6099	0.6028	0.5954	0.5878	0.5799	0.5718
38	0.6205	0.6141	0.6075	0.6006	0.5935	0.5862	0.5786	0.5709	0.5629
39	0.6107	0.6044	0.5978	0.5910	0.5840	0.5768	0.5693	0.5616	0.5537
40	0.6007	0.5945	0.5880	0.5812	0.5743	0.5671	0.5597	0.5521	0.5443
41	0.5905	0.5843	0.5778	0.5712	0.5643	0.5572	0.5499	0.5424	0.5346
42	0.5799	0.5738	0.5675	0.5609	0.5541	0.5471	0.5399	0.5324	0.5247
43	0.5692	0.5631	0.5568	0.5503	0.5436	0.5367	0.5296	0.5222	0.5146
44	0.5582	0.5522	0.5460	0.5396	0.5329	0.5261	0.5190	0.5118	0.5043
45	0.5469	0.5410	0.5349	0.5285	0.5220	0.5152	0.5083	0.5011	0.4937
46	0.5354	0.5295	0.5235	0.5173	0.5108	0.5042	0.4973	0.4902	0.4830
47	0.5236	0.5179	0.5119	0.5058	0.4994	0.4928	0.4861	0.4791	0.4719
48	0.5116	0.5059	0.5001	0.4940	0.4877	0.4813	0.4746	0.4678	0.4607
49	0.4994	0.4938	0.4880	0.4820	0.4759	0.4695	0.4629	0.4562	0.4493
50	0.4869	0.4814	0.4757	0.4698	0.4638	0.4575	0.4511	0.4444	0.4376
51	0.4741	0.4687	0.4632	0.4574	0.4514	0.4453	0.4389	0.4324	0.4257
52	0.4612	0.4559	0.4504	0.4447	0.4389	0.4328	0.4266	0.4202	0.4136
53	0.4480	0.4428	0.4374	0.4318	0.4261	0.4202	0.4141	0.4078	0.4014
54	0.4346	0.4295	0.4242	0.4187	0.4131	0.4073	0.4014	0.3952	0.3889
55	0.4209	0.4159	0.4108	0.4054	0.3999	0.3943	0.3884	0.3824	0.3763
56	0.4071	0.4022	0.3972	0.3919	0.3866	0.3810	0.3753	0.3694	0.3634
57	0.3930	0.3883	0.3833	0.3782	0.3730	0.3676	0.3620	0.3563	0.3504
58	0.3788	0.3741	0.3693	0.3644	0.3592	0.3540	0.3486	0.3430	0.3373
59	0.3643	0.3598	0.3551	0.3503	0.3453	0.3402	0.3349	0.3295	0.3240
60	0.3497	0.3453	0.3408	0.3361	0.3313	0.3263	0.3212	0.3159	0.3105

TABLA A-4 (Cont..)

FACTOR RAD. DIRECTO

	36	37	38	39	40	41	42	43	44
31	0.6118	0.6028	0.5935	0.5840	0.5743	0.5643	0.5541	0.5436	0.5329
32	0.6043	0.5954	0.5862	0.5768	0.5671	0.5572	0.5471	0.5367	0.5261
33	0.5966	0.5878	0.5786	0.5693	0.5597	0.5499	0.5399	0.5296	0.5190
34	0.5887	0.5799	0.5709	0.5616	0.5521	0.5424	0.5324	0.5222	0.5118
35	0.5805	0.5718	0.5629	0.5537	0.5443	0.5346	0.5247	0.5146	0.5043
36	0.5721	0.5635	0.5546	0.5455	0.5362	0.5267	0.5169	0.5069	0.4966
37	0.5635	0.5549	0.5462	0.5372	0.5279	0.5185	0.5088	0.4989	0.4887
38	0.5546	0.5462	0.5375	0.5286	0.5194	0.5101	0.5005	0.4907	0.4806
39	0.5455	0.5372	0.5286	0.5197	0.5107	0.5014	0.4920	0.4823	0.4723
40	0.5362	0.5279	0.5194	0.5107	0.5018	0.4926	0.4832	0.4736	0.4638
41	0.5267	0.5185	0.5101	0.5014	0.4926	0.4835	0.4743	0.4648	0.4551
42	0.5169	0.5088	0.5005	0.4920	0.4832	0.4743	0.4651	0.4558	0.4462
43	0.5069	0.4989	0.4907	0.4823	0.4736	0.4648	0.4558	0.4465	0.4371
44	0.4966	0.4887	0.4806	0.4723	0.4638	0.4551	0.4462	0.4371	0.4278
45	0.4862	0.4784	0.4704	0.4622	0.4538	0.4452	0.4365	0.4275	0.4183
46	0.4755	0.4678	0.4599	0.4519	0.4436	0.4352	0.4265	0.4177	0.4086
47	0.4646	0.4570	0.4493	0.4413	0.4332	0.4249	0.4164	0.4077	0.3988
48	0.4535	0.4460	0.4384	0.4306	0.4226	0.4144	0.4058	0.3975	0.3887
49	0.4421	0.4348	0.4273	0.4196	0.4118	0.4037	0.3955	0.3871	0.3785
50	0.4306	0.4234	0.4160	0.4085	0.4008	0.3929	0.3848	0.3765	0.3681
51	0.4188	0.4118	0.4046	0.3971	0.3896	0.3818	0.3739	0.3658	0.3576
52	0.4069	0.4000	0.3929	0.3856	0.3782	0.3706	0.3628	0.3549	0.3469
53	0.3948	0.3880	0.3810	0.3739	0.3666	0.3592	0.3516	0.3439	0.3360
54	0.3824	0.3758	0.3690	0.3620	0.3549	0.3477	0.3402	0.3327	0.3250
55	0.3699	0.3634	0.3568	0.3500	0.3431	0.3360	0.3287	0.3213	0.3138
56	0.3572	0.3509	0.3444	0.3378	0.3310	0.3241	0.3171	0.3099	0.3026
57	0.3444	0.3382	0.3319	0.3255	0.3189	0.3121	0.3053	0.2983	0.2912
58	0.3314	0.3254	0.3193	0.3130	0.3066	0.3000	0.2934	0.2866	0.2797
59	0.3183	0.3124	0.3065	0.3004	0.2942	0.2878	0.2814	0.2748	0.2681
60	0.3050	0.2994	0.2936	0.2877	0.2817	0.2755	0.2693	0.2629	0.2564

TABLA A-4 (Cont..)

FACTOR PAD. DIRECTO

	45	46	47	48	49	50	51	52	53
31	0.5220	0.5108	0.4994	0.4877	0.4759	0.4638	0.4514	0.4389	0.4261
32	0.5152	0.5042	0.4928	0.4813	0.4695	0.4575	0.4453	0.4328	0.4202
33	0.5083	0.4973	0.4861	0.4746	0.4629	0.4511	0.4389	0.4266	0.4141
34	0.5011	0.4902	0.4791	0.4678	0.4562	0.4444	0.4324	0.4202	0.4078
35	0.4937	0.4830	0.4719	0.4607	0.4493	0.4376	0.4257	0.4136	0.4014
36	0.4862	0.4755	0.4646	0.4535	0.4421	0.4306	0.4190	0.4069	0.3948
37	0.4784	0.4678	0.4570	0.4460	0.4348	0.4234	0.4118	0.4000	0.3880
38	0.4704	0.4599	0.4493	0.4384	0.4273	0.4160	0.4046	0.3929	0.3810
39	0.4622	0.4519	0.4413	0.4306	0.4196	0.4085	0.3971	0.3856	0.3739
40	0.4538	0.4436	0.4332	0.4226	0.4118	0.4008	0.3896	0.3782	0.3666
41	0.4452	0.4352	0.4249	0.4144	0.4037	0.3929	0.3818	0.3706	0.3592
42	0.4365	0.4265	0.4164	0.4060	0.3955	0.3849	0.3739	0.3628	0.3516
43	0.4275	0.4177	0.4077	0.3975	0.3871	0.3765	0.3659	0.3549	0.3439
44	0.4183	0.4086	0.3983	0.3887	0.3785	0.3681	0.3576	0.3469	0.3360
45	0.4090	0.3994	0.3897	0.3798	0.3698	0.3596	0.3492	0.3386	0.3280
46	0.3994	0.3901	0.3805	0.3708	0.3609	0.3508	0.3406	0.3303	0.3198
47	0.3897	0.3805	0.3711	0.3616	0.3518	0.3420	0.3319	0.3218	0.3115
48	0.3798	0.3708	0.3616	0.3522	0.3426	0.3329	0.3231	0.3131	0.3030
49	0.3698	0.3609	0.3518	0.3426	0.3333	0.3238	0.3141	0.3044	0.2945
50	0.3596	0.3508	0.3420	0.3329	0.3238	0.3145	0.3050	0.2955	0.2858
51	0.3492	0.3406	0.3319	0.3231	0.3141	0.3050	0.2955	0.2865	0.2770
52	0.3386	0.3303	0.3218	0.3131	0.3044	0.2955	0.2865	0.2773	0.2681
53	0.3280	0.3198	0.3115	0.3030	0.2945	0.2858	0.2770	0.2681	0.2591
54	0.3171	0.3092	0.3011	0.2928	0.2845	0.2760	0.2675	0.2588	0.2501
55	0.3062	0.2984	0.2905	0.2825	0.2744	0.2661	0.2578	0.2494	0.2409
56	0.2951	0.2875	0.2799	0.2721	0.2642	0.2562	0.2481	0.2399	0.2317
57	0.2839	0.2766	0.2691	0.2616	0.2539	0.2461	0.2383	0.2304	0.2224
58	0.2727	0.2655	0.2583	0.2510	0.2435	0.2360	0.2285	0.2208	0.2131
59	0.2613	0.2544	0.2474	0.2403	0.2331	0.2259	0.2186	0.2112	0.2037
60	0.2499	0.2432	0.2364	0.2296	0.2227	0.2157	0.2086	0.2015	0.1945

TABLA A-4 (Cont..)

FACTOR RAD. DIRECTO

	54	55	56	57	58	59	60	61	62
31	0.4131	0.3999	0.3865	0.3730	0.3592	0.3453	0.3313	0.3171	0.3027
32	0.4073	0.3943	0.3810	0.3676	0.3540	0.3402	0.3263	0.3122	0.2981
33	0.4014	0.3884	0.3753	0.3620	0.3486	0.3349	0.3212	0.3073	0.2933
34	0.3952	0.3824	0.3694	0.3563	0.3430	0.3295	0.3159	0.3022	0.2884
35	0.3889	0.3763	0.3634	0.3504	0.3373	0.3240	0.3105	0.2970	0.2833
36	0.3824	0.3699	0.3572	0.3444	0.3314	0.3183	0.3050	0.2916	0.2782
37	0.3758	0.3634	0.3509	0.3382	0.3254	0.3124	0.2994	0.2862	0.2729
38	0.3690	0.3568	0.3444	0.3319	0.3193	0.3065	0.2936	0.2806	0.2675
39	0.3620	0.3500	0.3378	0.3255	0.3130	0.3004	0.2877	0.2749	0.2620
40	0.3549	0.3431	0.3310	0.3189	0.3066	0.2942	0.2817	0.2691	0.2564
41	0.3477	0.3360	0.3241	0.3121	0.3000	0.2878	0.2755	0.2631	0.2507
42	0.3402	0.3287	0.3171	0.3053	0.2934	0.2814	0.2693	0.2571	0.2449
43	0.3327	0.3213	0.3099	0.2983	0.2866	0.2748	0.2629	0.2509	0.2389
44	0.3250	0.3138	0.3026	0.2912	0.2797	0.2681	0.2564	0.2447	0.2329
45	0.3171	0.3062	0.2951	0.2839	0.2727	0.2613	0.2499	0.2384	0.2268
46	0.3092	0.2984	0.2875	0.2766	0.2655	0.2544	0.2432	0.2319	0.2207
47	0.3011	0.2905	0.2799	0.2691	0.2583	0.2474	0.2364	0.2254	0.2144
48	0.2928	0.2825	0.2721	0.2616	0.2510	0.2403	0.2296	0.2188	0.2081
49	0.2845	0.2744	0.2642	0.2539	0.2435	0.2331	0.2227	0.2122	0.2017
50	0.2760	0.2661	0.2562	0.2461	0.2360	0.2259	0.2157	0.2055	0.1952
51	0.2675	0.2578	0.2481	0.2383	0.2285	0.2186	0.2086	0.1987	0.1887
52	0.2588	0.2494	0.2399	0.2304	0.2208	0.2112	0.2015	0.1918	0.1822
53	0.2501	0.2409	0.2317	0.2224	0.2131	0.2037	0.1943	0.1849	0.1756
54	0.2412	0.2323	0.2234	0.2144	0.2053	0.1962	0.1871	0.1780	0.1689
55	0.2323	0.2237	0.2150	0.2063	0.1975	0.1887	0.1799	0.1711	0.1623
56	0.2234	0.2150	0.2066	0.1981	0.1896	0.1811	0.1726	0.1641	0.1556
57	0.2144	0.2063	0.1981	0.1899	0.1817	0.1735	0.1653	0.1571	0.1489
58	0.2053	0.1975	0.1896	0.1817	0.1738	0.1659	0.1580	0.1501	0.1422
59	0.1962	0.1887	0.1811	0.1735	0.1659	0.1583	0.1507	0.1431	0.1356
60	0.1871	0.1799	0.1726	0.1653	0.1580	0.1507	0.1434	0.1361	0.1289

TABLA A-4 (Cont..)

FACTOR RAD. DIRECTO

	63	64	65	66	67	68	69	70	71
31	0.2883	0.2738	0.2592	0.2446	0.2300	0.2154	0.2008	0.1864	0.1721
32	0.2836	0.2695	0.2551	0.2406	0.2262	0.2118	0.1974	0.1832	0.1691
33	0.2792	0.2650	0.2508	0.2366	0.2223	0.2081	0.1940	0.1799	0.1660
34	0.2745	0.2605	0.2464	0.2324	0.2183	0.2043	0.1904	0.1766	0.1629
35	0.2696	0.2558	0.2420	0.2281	0.2143	0.2005	0.1868	0.1732	0.1597
36	0.2646	0.2510	0.2374	0.2238	0.2101	0.1966	0.1831	0.1697	0.1564
37	0.2596	0.2462	0.2327	0.2193	0.2059	0.1925	0.1793	0.1661	0.1531
38	0.2544	0.2412	0.2280	0.2148	0.2016	0.1884	0.1754	0.1625	0.1497
39	0.2491	0.2361	0.2231	0.2101	0.1972	0.1843	0.1715	0.1588	0.1463
40	0.2437	0.2309	0.2182	0.2054	0.1927	0.1800	0.1675	0.1551	0.1428
41	0.2382	0.2256	0.2131	0.2006	0.1881	0.1757	0.1634	0.1513	0.1393
42	0.2326	0.2203	0.2080	0.1957	0.1835	0.1714	0.1593	0.1474	0.1357
43	0.2269	0.2149	0.2028	0.1908	0.1788	0.1669	0.1552	0.1435	0.1321
44	0.2211	0.2093	0.1975	0.1858	0.1741	0.1625	0.1510	0.1396	0.1284
45	0.2153	0.2037	0.1922	0.1807	0.1693	0.1579	0.1467	0.1356	0.1247
46	0.2094	0.1981	0.1868	0.1756	0.1644	0.1533	0.1424	0.1316	0.1210
47	0.2034	0.1923	0.1813	0.1704	0.1595	0.1487	0.1380	0.1275	0.1172
48	0.1973	0.1865	0.1758	0.1651	0.1545	0.1440	0.1337	0.1235	0.1134
49	0.1912	0.1807	0.1702	0.1599	0.1495	0.1393	0.1293	0.1193	0.1096
50	0.1850	0.1748	0.1646	0.1545	0.1445	0.1346	0.1248	0.1152	0.1058
51	0.1788	0.1689	0.1590	0.1492	0.1395	0.1299	0.1204	0.1111	0.1019
52	0.1725	0.1629	0.1533	0.1438	0.1344	0.1251	0.1159	0.1069	0.0981
53	0.1662	0.1569	0.1476	0.1384	0.1293	0.1203	0.1115	0.1028	0.0942
54	0.1599	0.1508	0.1419	0.1330	0.1242	0.1155	0.1070	0.0986	0.0904
55	0.1535	0.1448	0.1361	0.1276	0.1191	0.1107	0.1025	0.0945	0.0866
56	0.1471	0.1387	0.1304	0.1222	0.1140	0.1060	0.0981	0.0903	0.0827
57	0.1408	0.1327	0.1247	0.1167	0.1089	0.1012	0.0936	0.0862	0.0789
58	0.1344	0.1266	0.1190	0.1113	0.1038	0.0964	0.0892	0.0821	0.0751
59	0.1281	0.1206	0.1133	0.1060	0.0988	0.0917	0.0848	0.0780	0.0714
60	0.1217	0.1146	0.1076	0.1006	0.0938	0.0870	0.0804	0.0740	0.0677

TABLA A-4 (Cont..)

	FACTOR RAD. DIRECTO								
	72	73	74	75	76	77	78	79	80
31	0.1579	0.1440	0.1304	0.1170	0.1041	0.0916	0.0796	0.0682	0.0575
32	0.1551	0.1414	0.1280	0.1149	0.1022	0.0899	0.0781	0.0669	0.0564
33	0.1523	0.1388	0.1256	0.1127	0.1002	0.0882	0.0766	0.0655	0.0552
34	0.1494	0.1361	0.1231	0.1105	0.0982	0.0864	0.0750	0.0642	0.0541
35	0.1464	0.1334	0.1206	0.1082	0.0962	0.0845	0.0734	0.0629	0.0529
36	0.1434	0.1306	0.1181	0.1059	0.0941	0.0827	0.0718	0.0614	0.0517
37	0.1403	0.1278	0.1155	0.1035	0.0919	0.0808	0.0701	0.0600	0.0505
38	0.1372	0.1249	0.1128	0.1011	0.0898	0.0789	0.0685	0.0586	0.0492
39	0.1340	0.1219	0.1102	0.0987	0.0876	0.0769	0.0668	0.0571	0.0480
40	0.1308	0.1190	0.1074	0.0962	0.0854	0.0750	0.0650	0.0556	0.0467
41	0.1275	0.1160	0.1047	0.0937	0.0832	0.0730	0.0633	0.0541	0.0455
42	0.1242	0.1129	0.1019	0.0912	0.0809	0.0710	0.0615	0.0526	0.0442
43	0.1208	0.1098	0.0991	0.0887	0.0786	0.0690	0.0598	0.0511	0.0429
44	0.1174	0.1067	0.0962	0.0861	0.0763	0.0669	0.0580	0.0495	0.0416
45	0.1140	0.1036	0.0934	0.0835	0.0740	0.0649	0.0562	0.0480	0.0403
46	0.1106	0.1004	0.0905	0.0809	0.0717	0.0628	0.0544	0.0464	0.0390
47	0.1071	0.0972	0.0876	0.0783	0.0693	0.0608	0.0526	0.0449	0.0376
48	0.1036	0.0940	0.0847	0.0757	0.0670	0.0587	0.0508	0.0433	0.0363
49	0.1001	0.0908	0.0818	0.0730	0.0646	0.0566	0.0490	0.0417	0.0350
50	0.0965	0.0876	0.0788	0.0704	0.0623	0.0545	0.0471	0.0402	0.0337
51	0.0930	0.0843	0.0759	0.0677	0.0599	0.0524	0.0453	0.0386	0.0324
52	0.0895	0.0811	0.0729	0.0651	0.0576	0.0504	0.0435	0.0371	0.0311
53	0.0859	0.0778	0.0700	0.0625	0.0552	0.0483	0.0417	0.0355	0.0298
54	0.0824	0.0746	0.0671	0.0598	0.0529	0.0462	0.0399	0.0340	0.0285
55	0.0789	0.0714	0.0642	0.0572	0.0505	0.0442	0.0381	0.0325	0.0272
56	0.0754	0.0682	0.0613	0.0546	0.0482	0.0421	0.0364	0.0309	0.0259
57	0.0719	0.0650	0.0584	0.0520	0.0459	0.0401	0.0346	0.0294	0.0246
58	0.0684	0.0619	0.0555	0.0495	0.0436	0.0381	0.0329	0.0280	0.0234
59	0.0650	0.0587	0.0527	0.0469	0.0414	0.0361	0.0312	0.0265	0.0222
60	0.0615	0.0556	0.0499	0.0444	0.0392	0.0342	0.0295	0.0250	0.0209

TABLA A-4 (Cont..)

	FACTOR RAD. DIRECTO									
	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
31	0.0474	0.0382	0.0297	0.0222	0.0157	0.0102	0.0059	0.0027	0.0007	0.0000
32	0.0465	0.0374	0.0291	0.0212	0.0154	0.0100	0.0057	0.0026	0.0007	0.0000
33	0.0456	0.0366	0.0285	0.0213	0.0151	0.0098	0.0055	0.0026	0.0007	0.0000
34	0.0446	0.0358	0.0279	0.0209	0.0147	0.0096	0.0055	0.0025	0.0006	0.0000
35	0.0436	0.0351	0.0273	0.0204	0.0144	0.0094	0.0054	0.0024	0.0006	0.0000
36	0.0426	0.0342	0.0267	0.0199	0.0141	0.0092	0.0052	0.0024	0.0006	0.0000
37	0.0416	0.0334	0.0260	0.0194	0.0137	0.0089	0.0051	0.0023	0.0006	0.0000
38	0.0406	0.0326	0.0254	0.0189	0.0134	0.0087	0.0050	0.0023	0.0006	0.0000
39	0.0395	0.0317	0.0247	0.0184	0.0130	0.0085	0.0049	0.0022	0.0006	0.0000
40	0.0385	0.0309	0.0240	0.0179	0.0127	0.0082	0.0047	0.0021	0.0006	0.0000
41	0.0374	0.0300	0.0234	0.0174	0.0123	0.0080	0.0046	0.0021	0.0005	0.0000
42	0.0364	0.0292	0.0227	0.0169	0.0119	0.0078	0.0044	0.0020	0.0005	0.0000
43	0.0353	0.0283	0.0220	0.0164	0.0116	0.0075	0.0043	0.0020	0.0005	0.0000
44	0.0342	0.0274	0.0213	0.0159	0.0112	0.0073	0.0042	0.0019	0.0005	0.0000
45	0.0331	0.0265	0.0206	0.0154	0.0108	0.0071	0.0040	0.0018	0.0005	0.0000
46	0.0320	0.0257	0.0200	0.0149	0.0105	0.0068	0.0039	0.0018	0.0005	0.0000
47	0.0309	0.0248	0.0193	0.0144	0.0101	0.0066	0.0038	0.0017	0.0004	0.0000
48	0.0298	0.0239	0.0186	0.0138	0.0098	0.0063	0.0036	0.0016	0.0004	0.0000
49	0.0288	0.0230	0.0179	0.0133	0.0094	0.0061	0.0035	0.0016	0.0004	0.0000
50	0.0277	0.0222	0.0172	0.0128	0.0090	0.0059	0.0034	0.0015	0.0004	0.0000
51	0.0266	0.0213	0.0165	0.0123	0.0087	0.0056	0.0032	0.0015	0.0004	0.0000
52	0.0255	0.0204	0.0158	0.0118	0.0083	0.0054	0.0031	0.0014	0.0004	0.0000
53	0.0244	0.0195	0.0152	0.0113	0.0079	0.0052	0.0030	0.0013	0.0003	0.0000
54	0.0234	0.0187	0.0145	0.0108	0.0076	0.0049	0.0028	0.0013	0.0003	0.0000
55	0.0223	0.0178	0.0138	0.0103	0.0072	0.0047	0.0027	0.0012	0.0003	0.0000
56	0.0212	0.0170	0.0132	0.0098	0.0069	0.0045	0.0026	0.0012	0.0003	0.0000
57	0.0202	0.0161	0.0125	0.0093	0.0065	0.0043	0.0024	0.0011	0.0003	0.0000
58	0.0192	0.0153	0.0119	0.0088	0.0062	0.0040	0.0023	0.0010	0.0003	0.0000
59	0.0182	0.0145	0.0112	0.0084	0.0059	0.0038	0.0022	0.0010	0.0003	0.0000
60	0.0172	0.0137	0.0106	0.0079	0.0055	0.0036	0.0021	0.0009	0.0002	0.0000

TABLA A-5

FACTOR RAD. DIFUSA
=====

PARA
====

SUPERFICIES VERTICALES
=====

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0.1592	0.1591	0.1591	0.1590	0.1588	0.1587	0.1585	0.1583	0.1583	0.1578
1	0.1592	0.1591	0.1591	0.1590	0.1588	0.1587	0.1585	0.1583	0.1580	0.1577
2	0.1591	0.1591	0.1590	0.1589	0.1588	0.1586	0.1584	0.1582	0.1580	0.1577
3	0.1591	0.1590	0.1589	0.1588	0.1587	0.1586	0.1584	0.1581	0.1579	0.1576
4	0.1590	0.1589	0.1588	0.1587	0.1586	0.1584	0.1583	0.1580	0.1578	0.1575
5	0.1588	0.1588	0.1587	0.1586	0.1585	0.1583	0.1581	0.1579	0.1577	0.1574
6	0.1587	0.1586	0.1586	0.1584	0.1583	0.1582	0.1580	0.1578	0.1575	0.1572
7	0.1585	0.1584	0.1584	0.1583	0.1581	0.1580	0.1578	0.1576	0.1573	0.1571
8	0.1583	0.1582	0.1581	0.1580	0.1579	0.1578	0.1576	0.1574	0.1571	0.1568
9	0.1580	0.1580	0.1579	0.1578	0.1577	0.1575	0.1573	0.1571	0.1569	0.1566
10	0.1577	0.1577	0.1576	0.1575	0.1574	0.1572	0.1571	0.1568	0.1566	0.1563
11	0.1574	0.1574	0.1573	0.1572	0.1571	0.1569	0.1568	0.1565	0.1563	0.1560
12	0.1571	0.1571	0.1570	0.1569	0.1568	0.1566	0.1564	0.1562	0.1560	0.1557
13	0.1568	0.1567	0.1566	0.1565	0.1564	0.1563	0.1561	0.1559	0.1556	0.1554
14	0.1564	0.1563	0.1563	0.1562	0.1560	0.1559	0.1557	0.1555	0.1552	0.1550
15	0.1559	0.1559	0.1558	0.1557	0.1556	0.1555	0.1553	0.1551	0.1548	0.1546
16	0.1555	0.1555	0.1554	0.1553	0.1552	0.1550	0.1548	0.1546	0.1544	0.1541
17	0.1550	0.1550	0.1549	0.1548	0.1547	0.1546	0.1544	0.1542	0.1539	0.1537
18	0.1545	0.1545	0.1544	0.1543	0.1542	0.1541	0.1539	0.1537	0.1534	0.1532
19	0.1540	0.1540	0.1539	0.1538	0.1537	0.1535	0.1534	0.1532	0.1529	0.1527
20	0.1535	0.1534	0.1533	0.1533	0.1531	0.1530	0.1528	0.1526	0.1524	0.1521
21	0.1529	0.1528	0.1528	0.1527	0.1526	0.1524	0.1522	0.1520	0.1518	0.1515
22	0.1523	0.1522	0.1522	0.1521	0.1519	0.1518	0.1516	0.1514	0.1512	0.1509
23	0.1516	0.1516	0.1515	0.1514	0.1513	0.1512	0.1510	0.1508	0.1506	0.1503
24	0.1510	0.1509	0.1509	0.1508	0.1507	0.1505	0.1503	0.1501	0.1499	0.1497
25	0.1503	0.1502	0.1502	0.1501	0.1500	0.1498	0.1497	0.1495	0.1492	0.1490
26	0.1496	0.1495	0.1495	0.1494	0.1493	0.1491	0.1489	0.1488	0.1485	0.1483
27	0.1488	0.1488	0.1487	0.1486	0.1485	0.1484	0.1482	0.1480	0.1478	0.1476
28	0.1481	0.1480	0.1480	0.1479	0.1478	0.1476	0.1475	0.1473	0.1470	0.1468
29	0.1473	0.1472	0.1472	0.1471	0.1470	0.1468	0.1467	0.1465	0.1463	0.1460
30	0.1465	0.1464	0.1464	0.1463	0.1462	0.1460	0.1459	0.1457	0.1455	0.1452

TABLA A-5 (Cont..)

FACTOR RAD. DIFUSA
=====

PARA
====

SUPERFICIES VERTICALES
=====

	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0	0.1575	0.1571	0.1568	0.1564	0.1560	0.1555	0.1550	0.1546	0.1540	0.1535
1	0.1574	0.1571	0.1568	0.1564	0.1559	0.1555	0.1550	0.1545	0.1540	0.1535
2	0.1574	0.1571	0.1567	0.1563	0.1559	0.1555	0.1550	0.1545	0.1540	0.1534
3	0.1573	0.1570	0.1566	0.1563	0.1558	0.1554	0.1549	0.1544	0.1539	0.1533
4	0.1572	0.1569	0.1565	0.1562	0.1557	0.1553	0.1548	0.1543	0.1538	0.1533
5	0.1571	0.1568	0.1564	0.1560	0.1556	0.1552	0.1547	0.1542	0.1537	0.1531
6	0.1569	0.1566	0.1563	0.1559	0.1555	0.1550	0.1546	0.1541	0.1535	0.1530
7	0.1568	0.1564	0.1561	0.1557	0.1553	0.1548	0.1544	0.1539	0.1534	0.1528
8	0.1565	0.1562	0.1559	0.1555	0.1551	0.1546	0.1542	0.1537	0.1532	0.1526
9	0.1563	0.1560	0.1556	0.1552	0.1548	0.1544	0.1539	0.1534	0.1529	0.1524
10	0.1560	0.1557	0.1554	0.1550	0.1546	0.1541	0.1537	0.1532	0.1527	0.1521
11	0.1557	0.1554	0.1551	0.1547	0.1543	0.1538	0.1534	0.1529	0.1524	0.1518
12	0.1554	0.1551	0.1547	0.1544	0.1540	0.1535	0.1531	0.1526	0.1521	0.1515
13	0.1551	0.1547	0.1544	0.1540	0.1536	0.1532	0.1527	0.1522	0.1517	0.1512
14	0.1547	0.1544	0.1540	0.1536	0.1532	0.1528	0.1524	0.1519	0.1514	0.1508
15	0.1543	0.1540	0.1536	0.1532	0.1528	0.1524	0.1520	0.1515	0.1510	0.1504
16	0.1538	0.1535	0.1532	0.1528	0.1524	0.1520	0.1515	0.1511	0.1505	0.1500
17	0.1534	0.1531	0.1527	0.1524	0.1520	0.1515	0.1511	0.1506	0.1501	0.1496
18	0.1529	0.1526	0.1522	0.1519	0.1515	0.1511	0.1506	0.1501	0.1496	0.1491
19	0.1524	0.1521	0.1517	0.1514	0.1510	0.1505	0.1501	0.1496	0.1491	0.1485
20	0.1519	0.1515	0.1512	0.1508	0.1504	0.1500	0.1496	0.1491	0.1486	0.1481
21	0.1513	0.1510	0.1506	0.1503	0.1499	0.1495	0.1490	0.1485	0.1481	0.1475
22	0.1507	0.1504	0.1500	0.1497	0.1493	0.1489	0.1484	0.1480	0.1475	0.1470
23	0.1500	0.1497	0.1494	0.1491	0.1487	0.1483	0.1478	0.1474	0.1469	0.1464
24	0.1494	0.1491	0.1488	0.1484	0.1480	0.1476	0.1472	0.1467	0.1463	0.1458
25	0.1487	0.1484	0.1481	0.1477	0.1474	0.1470	0.1465	0.1461	0.1456	0.1451
26	0.1480	0.1477	0.1474	0.1470	0.1467	0.1463	0.1459	0.1454	0.1449	0.1444
27	0.1473	0.1470	0.1467	0.1463	0.1460	0.1456	0.1451	0.1447	0.1442	0.1437
28	0.1465	0.1462	0.1459	0.1456	0.1452	0.1448	0.1444	0.1440	0.1435	0.1430
29	0.1458	0.1455	0.1452	0.1448	0.1445	0.1441	0.1437	0.1432	0.1428	0.1423
30	0.1450	0.1447	0.1444	0.1440	0.1437	0.1433	0.1429	0.1424	0.1420	0.1415

TABLA A-5 (Cont..)

FACTOR RAD. DIFUSA
 =====
 PARA
 =====
 SUPERFICIES VERTICALES
 =====

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
0	0.1529	0.1523	0.1516	0.1510	0.1503	0.1496	0.1488	0.1481	0.1473	0.1465
1	0.1529	0.1523	0.1516	0.1510	0.1503	0.1496	0.1488	0.1481	0.1473	0.1465
2	0.1528	0.1522	0.1516	0.1509	0.1502	0.1495	0.1488	0.1480	0.1472	0.1464
3	0.1528	0.1522	0.1515	0.1509	0.1502	0.1495	0.1487	0.1480	0.1472	0.1464
4	0.1527	0.1521	0.1514	0.1508	0.1501	0.1494	0.1486	0.1479	0.1471	0.1463
5	0.1526	0.1519	0.1513	0.1507	0.1500	0.1493	0.1485	0.1478	0.1470	0.1462
6	0.1524	0.1518	0.1512	0.1505	0.1498	0.1491	0.1484	0.1476	0.1468	0.1460
7	0.1522	0.1516	0.1510	0.1503	0.1497	0.1489	0.1482	0.1475	0.1467	0.1459
8	0.1520	0.1514	0.1508	0.1501	0.1495	0.1488	0.1480	0.1473	0.1465	0.1457
9	0.1518	0.1512	0.1506	0.1499	0.1492	0.1485	0.1478	0.1470	0.1463	0.1455
10	0.1515	0.1509	0.1503	0.1497	0.1490	0.1483	0.1476	0.1468	0.1460	0.1452
11	0.1513	0.1507	0.1500	0.1494	0.1487	0.1480	0.1473	0.1465	0.1458	0.1450
12	0.1510	0.1504	0.1497	0.1491	0.1484	0.1477	0.1470	0.1462	0.1455	0.1447
13	0.1506	0.1500	0.1494	0.1488	0.1481	0.1474	0.1467	0.1459	0.1452	0.1444
14	0.1503	0.1497	0.1491	0.1484	0.1477	0.1470	0.1463	0.1456	0.1448	0.1440
15	0.1499	0.1493	0.1487	0.1480	0.1474	0.1467	0.1460	0.1452	0.1445	0.1437
16	0.1495	0.1489	0.1483	0.1476	0.1470	0.1463	0.1456	0.1448	0.1441	0.1433
17	0.1490	0.1484	0.1478	0.1472	0.1465	0.1459	0.1451	0.1444	0.1437	0.1429
18	0.1485	0.1480	0.1474	0.1467	0.1461	0.1454	0.1447	0.1440	0.1432	0.1424
19	0.1481	0.1475	0.1469	0.1463	0.1456	0.1449	0.1442	0.1435	0.1428	0.1420
20	0.1475	0.1470	0.1464	0.1458	0.1451	0.1444	0.1437	0.1430	0.1423	0.1415
21	0.1470	0.1464	0.1458	0.1452	0.1446	0.1439	0.1432	0.1425	0.1418	0.1410
22	0.1464	0.1459	0.1453	0.1447	0.1440	0.1434	0.1427	0.1420	0.1412	0.1405
23	0.1458	0.1453	0.1447	0.1441	0.1435	0.1428	0.1421	0.1414	0.1407	0.1399
24	0.1452	0.1447	0.1441	0.1435	0.1429	0.1422	0.1415	0.1408	0.1401	0.1394
25	0.1446	0.1440	0.1435	0.1429	0.1422	0.1416	0.1409	0.1402	0.1395	0.1388
26	0.1439	0.1434	0.1428	0.1422	0.1416	0.1409	0.1403	0.1396	0.1389	0.1381
27	0.1432	0.1427	0.1421	0.1415	0.1409	0.1403	0.1396	0.1389	0.1382	0.1375
28	0.1425	0.1420	0.1414	0.1408	0.1402	0.1396	0.1389	0.1383	0.1376	0.1368
29	0.1418	0.1412	0.1407	0.1401	0.1395	0.1389	0.1382	0.1376	0.1369	0.1362
30	0.1410	0.1405	0.1399	0.1394	0.1388	0.1381	0.1375	0.1368	0.1362	0.1354

TABLA A-5 (Cont..)

FACTOR RAD. DIFUSA
=====

PARA
=====

SUPERFICIES VERTICALES
=====

	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
0	0.1456	0.1448	0.1439	0.1430	0.1420	0.1411	0.1401	0.1391	0.1380	0.1370
1	0.1456	0.1448	0.1439	0.1429	0.1420	0.1410	0.1401	0.1390	0.1380	0.1370
2	0.1456	0.1447	0.1438	0.1429	0.1420	0.1410	0.1400	0.1390	0.1380	0.1369
3	0.1455	0.1447	0.1438	0.1429	0.1419	0.1410	0.1400	0.1390	0.1379	0.1369
4	0.1454	0.1446	0.1437	0.1428	0.1418	0.1409	0.1399	0.1389	0.1378	0.1368
5	0.1453	0.1445	0.1436	0.1427	0.1417	0.1408	0.1398	0.1388	0.1377	0.1367
6	0.1452	0.1443	0.1434	0.1425	0.1416	0.1406	0.1397	0.1387	0.1376	0.1366
7	0.1450	0.1442	0.1433	0.1424	0.1414	0.1405	0.1395	0.1385	0.1375	0.1364
8	0.1448	0.1440	0.1431	0.1422	0.1413	0.1403	0.1393	0.1383	0.1373	0.1363
9	0.1446	0.1438	0.1429	0.1420	0.1411	0.1401	0.1391	0.1381	0.1371	0.1361
10	0.1444	0.1435	0.1427	0.1418	0.1408	0.1399	0.1389	0.1379	0.1369	0.1359
11	0.1441	0.1433	0.1424	0.1415	0.1406	0.1396	0.1387	0.1377	0.1367	0.1356
12	0.1439	0.1430	0.1421	0.1412	0.1403	0.1394	0.1384	0.1374	0.1364	0.1354
13	0.1435	0.1427	0.1418	0.1409	0.1400	0.1391	0.1381	0.1371	0.1361	0.1351
14	0.1432	0.1424	0.1415	0.1406	0.1397	0.1388	0.1378	0.1368	0.1358	0.1348
15	0.1429	0.1420	0.1412	0.1403	0.1394	0.1384	0.1375	0.1365	0.1355	0.1345
16	0.1425	0.1416	0.1408	0.1399	0.1390	0.1381	0.1371	0.1362	0.1352	0.1342
17	0.1421	0.1412	0.1404	0.1395	0.1386	0.1377	0.1368	0.1358	0.1348	0.1338
18	0.1416	0.1408	0.1400	0.1391	0.1382	0.1373	0.1364	0.1354	0.1344	0.1334
19	0.1412	0.1404	0.1395	0.1387	0.1378	0.1369	0.1359	0.1350	0.1340	0.1330
20	0.1407	0.1399	0.1391	0.1382	0.1373	0.1364	0.1355	0.1345	0.1336	0.1326
21	0.1402	0.1394	0.1386	0.1377	0.1369	0.1360	0.1350	0.1341	0.1331	0.1321
22	0.1397	0.1389	0.1381	0.1372	0.1364	0.1355	0.1345	0.1336	0.1327	0.1317
23	0.1392	0.1384	0.1375	0.1367	0.1358	0.1349	0.1340	0.1331	0.1322	0.1312
24	0.1386	0.1378	0.1370	0.1361	0.1353	0.1344	0.1335	0.1326	0.1316	0.1307
25	0.1380	0.1372	0.1364	0.1356	0.1347	0.1339	0.1330	0.1320	0.1311	0.1302
26	0.1374	0.1366	0.1358	0.1350	0.1341	0.1333	0.1324	0.1315	0.1306	0.1296
27	0.1368	0.1360	0.1352	0.1344	0.1335	0.1327	0.1318	0.1309	0.1300	0.1290
28	0.1361	0.1353	0.1345	0.1337	0.1329	0.1321	0.1312	0.1303	0.1294	0.1285
29	0.1354	0.1347	0.1339	0.1331	0.1323	0.1314	0.1306	0.1297	0.1288	0.1278
30	0.1347	0.1340	0.1332	0.1324	0.1316	0.1308	0.1299	0.1290	0.1281	0.1272

TABLA A-5 (Cont..)

FACTOR RAD. DIFUSA
=====
PARA
=====
SUPERFICIES VERTICALES
=====

	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
0	0.1359	0.1348	0.1337	0.1325	0.1314	0.1302	0.1290	0.1278	0.1265	0.1253
1	0.1359	0.1348	0.1337	0.1325	0.1314	0.1302	0.1290	0.1278	0.1265	0.1253
2	0.1359	0.1348	0.1336	0.1325	0.1313	0.1302	0.1290	0.1277	0.1265	0.1252
3	0.1358	0.1347	0.1336	0.1324	0.1313	0.1301	0.1289	0.1277	0.1264	0.1252
4	0.1357	0.1346	0.1335	0.1324	0.1312	0.1300	0.1288	0.1276	0.1264	0.1251
5	0.1356	0.1345	0.1334	0.1323	0.1311	0.1299	0.1287	0.1275	0.1263	0.1250
6	0.1355	0.1344	0.1333	0.1322	0.1310	0.1298	0.1286	0.1274	0.1262	0.1249
7	0.1354	0.1343	0.1332	0.1320	0.1309	0.1297	0.1285	0.1273	0.1261	0.1248
8	0.1352	0.1341	0.1330	0.1319	0.1307	0.1296	0.1284	0.1271	0.1259	0.1247
9	0.1350	0.1339	0.1328	0.1317	0.1305	0.1294	0.1282	0.1270	0.1258	0.1245
10	0.1348	0.1337	0.1326	0.1315	0.1304	0.1292	0.1280	0.1268	0.1256	0.1243
11	0.1346	0.1335	0.1324	0.1313	0.1301	0.1290	0.1278	0.1266	0.1254	0.1241
12	0.1343	0.1333	0.1322	0.1310	0.1299	0.1288	0.1276	0.1264	0.1252	0.1239
13	0.1341	0.1330	0.1319	0.1308	0.1297	0.1285	0.1273	0.1261	0.1249	0.1237
14	0.1338	0.1327	0.1316	0.1305	0.1294	0.1282	0.1271	0.1259	0.1247	0.1235
15	0.1335	0.1324	0.1313	0.1302	0.1291	0.1279	0.1268	0.1256	0.1244	0.1232
16	0.1331	0.1321	0.1310	0.1299	0.1288	0.1276	0.1265	0.1253	0.1241	0.1229
17	0.1328	0.1317	0.1306	0.1296	0.1284	0.1273	0.1262	0.1250	0.1238	0.1226
18	0.1324	0.1313	0.1303	0.1292	0.1281	0.1270	0.1258	0.1247	0.1235	0.1223
19	0.1320	0.1310	0.1299	0.1288	0.1277	0.1266	0.1255	0.1243	0.1231	0.1219
20	0.1316	0.1305	0.1295	0.1284	0.1273	0.1262	0.1251	0.1239	0.1228	0.1216
21	0.1311	0.1301	0.1291	0.1280	0.1269	0.1258	0.1247	0.1235	0.1224	0.1212
22	0.1307	0.1297	0.1286	0.1276	0.1265	0.1254	0.1243	0.1231	0.1220	0.1208
23	0.1302	0.1292	0.1282	0.1271	0.1260	0.1249	0.1238	0.1227	0.1216	0.1204
24	0.1297	0.1287	0.1277	0.1266	0.1256	0.1245	0.1234	0.1223	0.1211	0.1200
25	0.1292	0.1282	0.1272	0.1261	0.1251	0.1240	0.1229	0.1218	0.1207	0.1195
26	0.1286	0.1277	0.1266	0.1256	0.1246	0.1235	0.1224	0.1213	0.1202	0.1191
27	0.1281	0.1271	0.1261	0.1251	0.1241	0.1230	0.1219	0.1208	0.1197	0.1186
28	0.1275	0.1265	0.1255	0.1245	0.1235	0.1225	0.1214	0.1203	0.1192	0.1181
29	0.1269	0.1259	0.1250	0.1240	0.1230	0.1219	0.1209	0.1198	0.1187	0.1176
30	0.1263	0.1253	0.1244	0.1234	0.1224	0.1214	0.1203	0.1193	0.1182	0.1171

TABLA A-5 (Cont..)

FACTOR RAD. DIFUSA
=====

PARA
=====

SUPERFICIES VERTICALES
=====

	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
0	0.1240	0.1227	0.1214	0.1200	0.1187	0.1173	0.1159	0.1145	0.1131	0.1117
1	0.1240	0.1227	0.1214	0.1200	0.1187	0.1173	0.1159	0.1145	0.1131	0.1117
2	0.1239	0.1227	0.1213	0.1200	0.1187	0.1173	0.1159	0.1145	0.1131	0.1117
3	0.1239	0.1226	0.1213	0.1200	0.1186	0.1173	0.1159	0.1145	0.1131	0.1116
4	0.1238	0.1225	0.1212	0.1199	0.1186	0.1172	0.1158	0.1144	0.1130	0.1116
5	0.1238	0.1225	0.1212	0.1198	0.1185	0.1171	0.1157	0.1144	0.1129	0.1115
6	0.1237	0.1224	0.1211	0.1197	0.1184	0.1170	0.1157	0.1143	0.1129	0.1114
7	0.1235	0.1223	0.1209	0.1196	0.1183	0.1169	0.1156	0.1142	0.1128	0.1113
8	0.1234	0.1221	0.1208	0.1195	0.1182	0.1168	0.1154	0.1141	0.1127	0.1112
9	0.1232	0.1220	0.1207	0.1194	0.1180	0.1167	0.1153	0.1139	0.1125	0.1111
10	0.1231	0.1218	0.1205	0.1192	0.1179	0.1165	0.1152	0.1138	0.1124	0.1110
11	0.1229	0.1216	0.1203	0.1190	0.1177	0.1163	0.1150	0.1136	0.1122	0.1108
12	0.1227	0.1214	0.1201	0.1188	0.1175	0.1162	0.1148	0.1134	0.1121	0.1107
13	0.1225	0.1212	0.1199	0.1186	0.1173	0.1160	0.1146	0.1133	0.1119	0.1105
14	0.1222	0.1210	0.1197	0.1184	0.1171	0.1157	0.1144	0.1130	0.1117	0.1103
15	0.1219	0.1207	0.1194	0.1181	0.1168	0.1155	0.1142	0.1128	0.1115	0.1101
16	0.1217	0.1204	0.1192	0.1179	0.1166	0.1153	0.1139	0.1126	0.1112	0.1099
17	0.1214	0.1201	0.1189	0.1176	0.1163	0.1150	0.1137	0.1123	0.1110	0.1096
18	0.1211	0.1198	0.1186	0.1173	0.1160	0.1147	0.1134	0.1121	0.1107	0.1094
19	0.1207	0.1195	0.1183	0.1170	0.1157	0.1144	0.1131	0.1118	0.1105	0.1091
20	0.1204	0.1192	0.1179	0.1167	0.1154	0.1141	0.1128	0.1115	0.1102	0.1088
21	0.1200	0.1188	0.1176	0.1163	0.1151	0.1138	0.1125	0.1112	0.1099	0.1085
22	0.1196	0.1184	0.1172	0.1160	0.1147	0.1135	0.1122	0.1109	0.1096	0.1082
23	0.1192	0.1180	0.1168	0.1156	0.1144	0.1131	0.1118	0.1105	0.1092	0.1079
24	0.1188	0.1176	0.1164	0.1152	0.1140	0.1127	0.1115	0.1102	0.1089	0.1076
25	0.1184	0.1172	0.1160	0.1148	0.1136	0.1123	0.1111	0.1098	0.1085	0.1072
26	0.1179	0.1168	0.1156	0.1144	0.1132	0.1119	0.1107	0.1094	0.1082	0.1069
27	0.1175	0.1163	0.1151	0.1140	0.1128	0.1115	0.1103	0.1091	0.1078	0.1065
28	0.1170	0.1158	0.1147	0.1135	0.1123	0.1111	0.1099	0.1086	0.1074	0.1061
29	0.1165	0.1154	0.1142	0.1130	0.1119	0.1107	0.1095	0.1082	0.1070	0.1057
30	0.1160	0.1149	0.1137	0.1126	0.1114	0.1102	0.1090	0.1078	0.1066	0.1053

TABLA A-5 (Cont..)

FACTOR RAD. DIFUSA
 =====
 PARA
 =====
 SUPERFICIES VERTICALES
 =====

	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
0	0.1103	0.1088	0.1073	0.1058	0.1043	0.1028	0.1013	0.0998	0.0982	0.0967
1	0.1102	0.1088	0.1073	0.1058	0.1043	0.1028	0.1013	0.0998	0.0982	0.0967
2	0.1102	0.1088	0.1073	0.1058	0.1043	0.1028	0.1013	0.0998	0.0982	0.0967
3	0.1102	0.1087	0.1073	0.1058	0.1043	0.1028	0.1013	0.0997	0.0982	0.0966
4	0.1101	0.1067	0.1072	0.1057	0.1043	0.1027	0.1012	0.0997	0.0982	0.0966
5	0.1101	0.1066	0.1072	0.1057	0.1042	0.1027	0.1012	0.0997	0.0981	0.0965
6	0.1100	0.1066	0.1071	0.1056	0.1041	0.1026	0.1011	0.0996	0.0981	0.0965
7	0.1099	0.1065	0.1070	0.1055	0.1040	0.1026	0.1010	0.0995	0.0980	0.0964
8	0.1098	0.1064	0.1069	0.1054	0.1040	0.1025	0.1010	0.0994	0.0979	0.0964
9	0.1097	0.1063	0.1068	0.1053	0.1039	0.1024	0.1009	0.0993	0.0978	0.0963
10	0.1096	0.1061	0.1067	0.1052	0.1037	0.1023	0.1008	0.0992	0.0977	0.0962
11	0.1094	0.1060	0.1065	0.1051	0.1036	0.1021	0.1006	0.0991	0.0976	0.0961
12	0.1093	0.1078	0.1064	0.1049	0.1035	0.1020	0.1005	0.0990	0.0975	0.0960
13	0.1091	0.1077	0.1062	0.1048	0.1033	0.1018	0.1004	0.0989	0.0974	0.0959
14	0.1089	0.1075	0.1060	0.1046	0.1032	0.1017	0.1002	0.0987	0.0972	0.0957
15	0.1087	0.1073	0.1059	0.1044	0.1030	0.1015	0.1001	0.0986	0.0971	0.0956
16	0.1085	0.1071	0.1057	0.1042	0.1028	0.1013	0.0999	0.0984	0.0969	0.0954
17	0.1082	0.1069	0.1054	0.1040	0.1026	0.1012	0.0997	0.0982	0.0968	0.0953
18	0.1080	0.1066	0.1052	0.1038	0.1024	0.1009	0.0995	0.0980	0.0966	0.0951
19	0.1077	0.1064	0.1050	0.1036	0.1022	0.1007	0.0993	0.0978	0.0964	0.0949
20	0.1075	0.1061	0.1047	0.1033	0.1019	0.1005	0.0991	0.0976	0.0962	0.0947
21	0.1072	0.1058	0.1045	0.1031	0.1017	0.1003	0.0989	0.0974	0.0960	0.0945
22	0.1069	0.1056	0.1042	0.1028	0.1014	0.1000	0.0986	0.0972	0.0958	0.0943
23	0.1066	0.1053	0.1039	0.1025	0.1012	0.0998	0.0984	0.0970	0.0955	0.0941
24	0.1063	0.1049	0.1036	0.1022	0.1009	0.0995	0.0981	0.0967	0.0953	0.0939
25	0.1059	0.1046	0.1033	0.1019	0.1006	0.0992	0.0978	0.0965	0.0951	0.0936
26	0.1056	0.1043	0.1030	0.1016	0.1003	0.0989	0.0976	0.0962	0.0948	0.0934
27	0.1052	0.1039	0.1026	0.1013	0.1000	0.0986	0.0973	0.0959	0.0945	0.0932
28	0.1049	0.1036	0.1023	0.1010	0.0996	0.0983	0.0970	0.0956	0.0943	0.0929
29	0.1045	0.1032	0.1019	0.1006	0.0993	0.0980	0.0967	0.0953	0.0940	0.0926
30	0.1041	0.1028	0.1016	0.1003	0.0990	0.0977	0.0963	0.0950	0.0937	0.0923

TABLA A-5 (Cont..)

FACTOR RAD. DIFUSA
=====

PARA
=====

SUPERFICIES VERTICALES
=====

	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
0	0.0951	0.0936	0.0920	0.0904	0.0888	0.0872	0.0856	0.0840	0.0823	0.0807
1	0.0951	0.0936	0.0920	0.0904	0.0888	0.0872	0.0856	0.0839	0.0823	0.0807
2	0.0951	0.0935	0.0920	0.0904	0.0888	0.0872	0.0856	0.0839	0.0823	0.0807
3	0.0951	0.0935	0.0919	0.0903	0.0888	0.0872	0.0855	0.0839	0.0823	0.0807
4	0.0951	0.0935	0.0919	0.0903	0.0887	0.0871	0.0855	0.0839	0.0823	0.0807
5	0.0950	0.0934	0.0919	0.0903	0.0887	0.0871	0.0855	0.0839	0.0823	0.0806
6	0.0950	0.0934	0.0918	0.0902	0.0887	0.0871	0.0855	0.0838	0.0822	0.0806
7	0.0949	0.0933	0.0918	0.0902	0.0886	0.0870	0.0854	0.0838	0.0822	0.0806
8	0.0948	0.0933	0.0917	0.0901	0.0885	0.0870	0.0854	0.0838	0.0822	0.0805
9	0.0947	0.0932	0.0916	0.0901	0.0885	0.0869	0.0853	0.0837	0.0821	0.0805
10	0.0947	0.0931	0.0916	0.0900	0.0884	0.0868	0.0852	0.0837	0.0821	0.0804
11	0.0946	0.0930	0.0915	0.0899	0.0883	0.0868	0.0852	0.0836	0.0820	0.0804
12	0.0945	0.0929	0.0914	0.0898	0.0883	0.0867	0.0851	0.0835	0.0819	0.0803
13	0.0943	0.0928	0.0913	0.0897	0.0882	0.0866	0.0850	0.0834	0.0819	0.0803
14	0.0942	0.0927	0.0912	0.0896	0.0881	0.0865	0.0849	0.0834	0.0818	0.0802
15	0.0941	0.0926	0.0910	0.0895	0.0879	0.0864	0.0848	0.0833	0.0817	0.0801
16	0.0939	0.0924	0.0909	0.0894	0.0878	0.0863	0.0847	0.0832	0.0816	0.0801
17	0.0938	0.0923	0.0908	0.0892	0.0877	0.0862	0.0846	0.0831	0.0815	0.0800
18	0.0936	0.0921	0.0906	0.0891	0.0876	0.0861	0.0845	0.0830	0.0814	0.0799
19	0.0934	0.0920	0.0905	0.0890	0.0874	0.0859	0.0844	0.0829	0.0813	0.0798
20	0.0933	0.0918	0.0903	0.0888	0.0873	0.0858	0.0843	0.0828	0.0812	0.0797
21	0.0931	0.0916	0.0901	0.0886	0.0872	0.0857	0.0842	0.0826	0.0811	0.0796
22	0.0929	0.0914	0.0900	0.0885	0.0870	0.0855	0.0840	0.0825	0.0810	0.0795
23	0.0927	0.0912	0.0898	0.0883	0.0868	0.0854	0.0839	0.0824	0.0809	0.0794
24	0.0925	0.0910	0.0896	0.0881	0.0867	0.0852	0.0837	0.0822	0.0808	0.0793
25	0.0922	0.0908	0.0894	0.0879	0.0865	0.0850	0.0836	0.0821	0.0806	0.0792
26	0.0920	0.0906	0.0892	0.0877	0.0863	0.0849	0.0834	0.0820	0.0805	0.0790
27	0.0918	0.0904	0.0889	0.0875	0.0861	0.0847	0.0832	0.0818	0.0804	0.0789
28	0.0915	0.0901	0.0887	0.0873	0.0859	0.0845	0.0831	0.0816	0.0802	0.0788
29	0.0913	0.0899	0.0885	0.0871	0.0857	0.0843	0.0829	0.0815	0.0801	0.0786
30	0.0910	0.0896	0.0883	0.0869	0.0855	0.0841	0.0827	0.0813	0.0799	0.0785

TABLA A-5 (Cont..)

FACTOR RAD. DIFUSA
=====
PARA
=====
SUPERFICIES VERTICALES
=====

	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
0	0.0791	0.0774	0.0758	0.0741	0.0725	0.0708	0.0692	0.0675	0.0659	0.0642
1	0.0791	0.0774	0.0758	0.0741	0.0725	0.0708	0.0692	0.0675	0.0659	0.0642
2	0.0791	0.0774	0.0758	0.0741	0.0725	0.0708	0.0692	0.0675	0.0659	0.0642
3	0.0790	0.0774	0.0758	0.0741	0.0725	0.0708	0.0692	0.0675	0.0659	0.0642
4	0.0790	0.0774	0.0757	0.0741	0.0725	0.0708	0.0692	0.0675	0.0659	0.0642
5	0.0790	0.0774	0.0757	0.0741	0.0724	0.0708	0.0692	0.0675	0.0659	0.0642
6	0.0790	0.0773	0.0757	0.0741	0.0724	0.0708	0.0691	0.0675	0.0658	0.0642
7	0.0790	0.0773	0.0757	0.0741	0.0724	0.0708	0.0691	0.0675	0.0658	0.0642
8	0.0789	0.0773	0.0757	0.0740	0.0724	0.0708	0.0691	0.0675	0.0658	0.0642
9	0.0789	0.0773	0.0756	0.0740	0.0724	0.0707	0.0691	0.0675	0.0658	0.0642
10	0.0788	0.0772	0.0756	0.0740	0.0724	0.0707	0.0691	0.0675	0.0658	0.0642
11	0.0788	0.0772	0.0756	0.0739	0.0723	0.0707	0.0691	0.0675	0.0658	0.0642
12	0.0787	0.0771	0.0755	0.0739	0.0723	0.0707	0.0691	0.0674	0.0658	0.0642
13	0.0787	0.0771	0.0755	0.0739	0.0723	0.0707	0.0690	0.0674	0.0658	0.0642
14	0.0786	0.0770	0.0754	0.0738	0.0722	0.0706	0.0690	0.0674	0.0658	0.0642
15	0.0786	0.0770	0.0754	0.0738	0.0722	0.0706	0.0690	0.0674	0.0658	0.0642
16	0.0785	0.0769	0.0753	0.0737	0.0722	0.0706	0.0690	0.0674	0.0658	0.0642
17	0.0784	0.0768	0.0753	0.0737	0.0721	0.0705	0.0690	0.0674	0.0658	0.0642
18	0.0783	0.0768	0.0752	0.0736	0.0721	0.0705	0.0689	0.0674	0.0658	0.0642
19	0.0783	0.0767	0.0751	0.0736	0.0720	0.0705	0.0689	0.0673	0.0658	0.0642
20	0.0782	0.0766	0.0751	0.0735	0.0720	0.0704	0.0689	0.0673	0.0658	0.0642
21	0.0781	0.0765	0.0750	0.0735	0.0719	0.0704	0.0688	0.0673	0.0657	0.0642
22	0.0780	0.0765	0.0749	0.0734	0.0719	0.0703	0.0688	0.0673	0.0657	0.0642
23	0.0779	0.0764	0.0749	0.0733	0.0718	0.0703	0.0688	0.0673	0.0657	0.0642
24	0.0778	0.0763	0.0748	0.0733	0.0718	0.0703	0.0687	0.0672	0.0657	0.0642
25	0.0777	0.0762	0.0747	0.0732	0.0717	0.0702	0.0687	0.0672	0.0657	0.0642
26	0.0776	0.0761	0.0746	0.0731	0.0716	0.0702	0.0687	0.0672	0.0657	0.0642
27	0.0774	0.0760	0.0745	0.0730	0.0716	0.0701	0.0686	0.0672	0.0657	0.0642
28	0.0773	0.0759	0.0744	0.0730	0.0715	0.0701	0.0686	0.0671	0.0657	0.0642
29	0.0772	0.0758	0.0743	0.0729	0.0714	0.0700	0.0685	0.0671	0.0657	0.0642
30	0.0771	0.0757	0.0742	0.0728	0.0714	0.0699	0.0685	0.0671	0.0656	0.0642

TABLA A-5 (Cont..)

FACTOR RAD. DIFUSA
=====
PARA
=====
SUPERFICIES VERTICALES
=====

	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
31	0.1340	0.1333	0.1325	0.1317	0.1309	0.1301	0.1292	0.1284	0.1275	0.1266
32	0.1333	0.1325	0.1318	0.1310	0.1302	0.1294	0.1285	0.1277	0.1268	0.1259
33	0.1325	0.1318	0.1310	0.1303	0.1295	0.1287	0.1278	0.1270	0.1261	0.1252
34	0.1317	0.1310	0.1303	0.1295	0.1287	0.1279	0.1271	0.1263	0.1254	0.1245
35	0.1309	0.1302	0.1295	0.1287	0.1279	0.1272	0.1263	0.1255	0.1247	0.1238
36	0.1301	0.1294	0.1287	0.1279	0.1272	0.1264	0.1256	0.1248	0.1239	0.1231
37	0.1292	0.1285	0.1278	0.1271	0.1263	0.1256	0.1248	0.1240	0.1232	0.1223
38	0.1284	0.1277	0.1270	0.1263	0.1255	0.1248	0.1240	0.1232	0.1224	0.1215
39	0.1275	0.1268	0.1261	0.1254	0.1247	0.1239	0.1232	0.1224	0.1216	0.1208
40	0.1266	0.1259	0.1252	0.1245	0.1238	0.1231	0.1223	0.1215	0.1208	0.1199
41	0.1257	0.1250	0.1243	0.1236	0.1229	0.1222	0.1215	0.1207	0.1199	0.1191
42	0.1247	0.1241	0.1234	0.1227	0.1220	0.1213	0.1206	0.1198	0.1191	0.1183
43	0.1238	0.1231	0.1225	0.1218	0.1211	0.1204	0.1197	0.1189	0.1182	0.1174
44	0.1228	0.1222	0.1215	0.1209	0.1202	0.1195	0.1188	0.1181	0.1173	0.1165
45	0.1218	0.1212	0.1205	0.1199	0.1192	0.1185	0.1178	0.1171	0.1164	0.1157
46	0.1208	0.1202	0.1195	0.1189	0.1183	0.1176	0.1169	0.1162	0.1155	0.1148
47	0.1197	0.1191	0.1185	0.1179	0.1173	0.1166	0.1159	0.1153	0.1146	0.1138
48	0.1187	0.1181	0.1175	0.1169	0.1163	0.1156	0.1150	0.1143	0.1136	0.1129
49	0.1176	0.1171	0.1165	0.1159	0.1153	0.1146	0.1140	0.1133	0.1126	0.1119
50	0.1165	0.1160	0.1154	0.1148	0.1142	0.1136	0.1130	0.1123	0.1117	0.1110
51	0.1154	0.1149	0.1143	0.1138	0.1132	0.1126	0.1119	0.1113	0.1107	0.1100
52	0.1143	0.1138	0.1133	0.1127	0.1121	0.1115	0.1109	0.1103	0.1097	0.1090
53	0.1132	0.1127	0.1121	0.1116	0.1110	0.1105	0.1099	0.1093	0.1086	0.1080
54	0.1121	0.1116	0.1110	0.1105	0.1099	0.1094	0.1088	0.1082	0.1076	0.1070
55	0.1109	0.1104	0.1099	0.1094	0.1088	0.1083	0.1077	0.1071	0.1065	0.1059
56	0.1097	0.1093	0.1088	0.1082	0.1077	0.1072	0.1066	0.1061	0.1055	0.1049
57	0.1086	0.1081	0.1076	0.1071	0.1066	0.1061	0.1055	0.1050	0.1044	0.1038
58	0.1074	0.1069	0.1064	0.1059	0.1054	0.1049	0.1044	0.1039	0.1033	0.1028
59	0.1061	0.1057	0.1052	0.1048	0.1043	0.1038	0.1033	0.1028	0.1022	0.1017
60	0.1049	0.1045	0.1040	0.1036	0.1031	0.1026	0.1021	0.1016	0.1011	0.1006

TABLA A-5 (Cont..)

FACTOR RAD. DIFUSA
=====

PARA
=====

SUPERFICIES VERTICALES
=====

	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
31	0.1257	0.1247	0.1238	0.1228	0.1218	0.1208	0.1197	0.1187	0.1176	0.1165
32	0.1250	0.1241	0.1231	0.1222	0.1212	0.1202	0.1191	0.1181	0.1171	0.1160
33	0.1243	0.1234	0.1225	0.1215	0.1205	0.1195	0.1185	0.1175	0.1165	0.1154
34	0.1236	0.1227	0.1218	0.1209	0.1199	0.1189	0.1179	0.1169	0.1159	0.1148
35	0.1229	0.1220	0.1211	0.1202	0.1192	0.1183	0.1173	0.1163	0.1153	0.1142
36	0.1222	0.1213	0.1204	0.1195	0.1185	0.1176	0.1166	0.1156	0.1146	0.1136
37	0.1215	0.1206	0.1197	0.1188	0.1178	0.1169	0.1159	0.1150	0.1140	0.1130
38	0.1207	0.1198	0.1189	0.1181	0.1171	0.1162	0.1153	0.1143	0.1133	0.1123
39	0.1199	0.1191	0.1182	0.1173	0.1164	0.1155	0.1146	0.1136	0.1126	0.1117
40	0.1191	0.1183	0.1174	0.1165	0.1157	0.1148	0.1138	0.1129	0.1119	0.1110
41	0.1183	0.1175	0.1166	0.1158	0.1149	0.1140	0.1131	0.1122	0.1112	0.1103
42	0.1175	0.1167	0.1158	0.1150	0.1141	0.1132	0.1123	0.1114	0.1105	0.1096
43	0.1166	0.1158	0.1150	0.1142	0.1133	0.1125	0.1116	0.1107	0.1098	0.1089
44	0.1158	0.1150	0.1142	0.1134	0.1125	0.1117	0.1108	0.1099	0.1090	0.1081
45	0.1149	0.1141	0.1133	0.1125	0.1117	0.1109	0.1100	0.1091	0.1083	0.1074
46	0.1140	0.1132	0.1125	0.1117	0.1109	0.1100	0.1092	0.1084	0.1075	0.1066
47	0.1131	0.1123	0.1116	0.1108	0.1100	0.1092	0.1084	0.1076	0.1067	0.1058
48	0.1122	0.1114	0.1107	0.1099	0.1091	0.1084	0.1076	0.1067	0.1059	0.1051
49	0.1112	0.1105	0.1098	0.1090	0.1083	0.1075	0.1067	0.1059	0.1051	0.1043
50	0.1103	0.1096	0.1089	0.1081	0.1074	0.1066	0.1058	0.1051	0.1043	0.1035
51	0.1093	0.1086	0.1079	0.1072	0.1065	0.1057	0.1050	0.1042	0.1034	0.1026
52	0.1083	0.1077	0.1070	0.1063	0.1056	0.1048	0.1041	0.1033	0.1026	0.1018
53	0.1073	0.1067	0.1060	0.1053	0.1046	0.1039	0.1032	0.1025	0.1017	0.1009
54	0.1063	0.1057	0.1050	0.1044	0.1037	0.1030	0.1023	0.1016	0.1008	0.1001
55	0.1053	0.1047	0.1041	0.1034	0.1027	0.1021	0.1014	0.1007	0.0999	0.0992
56	0.1043	0.1037	0.1031	0.1024	0.1018	0.1011	0.1004	0.0997	0.0991	0.0983
57	0.1032	0.1027	0.1020	0.1014	0.1008	0.1001	0.0995	0.0988	0.0981	0.0975
58	0.1022	0.1016	0.1010	0.1004	0.0998	0.0992	0.0985	0.0979	0.0972	0.0966
59	0.1011	0.1006	0.1000	0.0994	0.0988	0.0982	0.0976	0.0969	0.0963	0.0957
60	0.1000	0.0995	0.0989	0.0984	0.0978	0.0972	0.0966	0.0960	0.0954	0.0947

TABLA A-5 (Cont..)

FACTOR RAD. DIFUSA
=====
PARA
====
SUPERFICIES VERTICALES
=====

	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
31	0.1154	0.1143	0.1132	0.1121	0.1109	0.1097	0.1085	0.1074	0.1061	0.1049
32	0.1149	0.1138	0.1127	0.1116	0.1104	0.1093	0.1081	0.1069	0.1057	0.1045
33	0.1143	0.1133	0.1121	0.1110	0.1099	0.1088	0.1076	0.1064	0.1052	0.1040
34	0.1138	0.1127	0.1116	0.1105	0.1094	0.1082	0.1071	0.1059	0.1048	0.1036
35	0.1132	0.1121	0.1110	0.1099	0.1088	0.1077	0.1066	0.1054	0.1043	0.1031
36	0.1126	0.1115	0.1105	0.1094	0.1083	0.1072	0.1061	0.1049	0.1038	0.1026
37	0.1119	0.1109	0.1099	0.1088	0.1077	0.1066	0.1055	0.1044	0.1033	0.1021
38	0.1113	0.1103	0.1093	0.1082	0.1071	0.1061	0.1050	0.1039	0.1028	0.1016
39	0.1107	0.1097	0.1086	0.1076	0.1065	0.1055	0.1044	0.1033	0.1022	0.1011
40	0.1100	0.1090	0.1080	0.1070	0.1059	0.1049	0.1038	0.1028	0.1017	0.1006
41	0.1093	0.1083	0.1073	0.1063	0.1053	0.1043	0.1032	0.1022	0.1011	0.1000
42	0.1086	0.1077	0.1067	0.1057	0.1047	0.1037	0.1027	0.1015	0.1006	0.0995
43	0.1079	0.1070	0.1060	0.1050	0.1041	0.1031	0.1020	0.1010	0.1000	0.0989
44	0.1072	0.1063	0.1053	0.1044	0.1034	0.1024	0.1014	0.1004	0.0994	0.0984
45	0.1065	0.1056	0.1046	0.1037	0.1027	0.1018	0.1008	0.0998	0.0988	0.0978
46	0.1057	0.1048	0.1039	0.1030	0.1021	0.1011	0.1001	0.0992	0.0982	0.0972
47	0.1050	0.1041	0.1032	0.1023	0.1014	0.1004	0.0995	0.0985	0.0975	0.0966
48	0.1042	0.1033	0.1025	0.1016	0.1007	0.0997	0.0988	0.0979	0.0969	0.0960
49	0.1034	0.1026	0.1017	0.1008	0.0999	0.0991	0.0981	0.0972	0.0963	0.0954
50	0.1026	0.1018	0.1009	0.1001	0.0992	0.0983	0.0975	0.0966	0.0957	0.0947
51	0.1018	0.1010	0.1002	0.0993	0.0985	0.0976	0.0968	0.0959	0.0950	0.0941
52	0.1010	0.1002	0.0994	0.0986	0.0977	0.0969	0.0961	0.0952	0.0943	0.0934
53	0.1002	0.0994	0.0986	0.0978	0.0970	0.0962	0.0953	0.0945	0.0936	0.0928
54	0.0993	0.0986	0.0978	0.0970	0.0962	0.0954	0.0946	0.0938	0.0930	0.0921
55	0.0985	0.0977	0.0970	0.0962	0.0955	0.0947	0.0939	0.0931	0.0923	0.0914
56	0.0976	0.0969	0.0962	0.0954	0.0947	0.0939	0.0931	0.0924	0.0916	0.0908
57	0.0968	0.0961	0.0953	0.0946	0.0939	0.0931	0.0924	0.0916	0.0908	0.0901
58	0.0959	0.0952	0.0945	0.0938	0.0931	0.0924	0.0916	0.0909	0.0901	0.0894
59	0.0950	0.0943	0.0936	0.0930	0.0923	0.0916	0.0908	0.0901	0.0894	0.0887
60	0.0941	0.0934	0.0928	0.0921	0.0914	0.0908	0.0901	0.0894	0.0887	0.0879

TABLA A-5 (Cont..)

FACTOR RAD. DIFUSA
=====

PARA
=====

SUPERFICIES VERTICALES
=====

	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
31	0.1037	0.1024	0.1012	0.0999	0.0986	0.0973	0.0960	0.0947	0.0934	0.0921
32	0.1033	0.1020	0.1008	0.0995	0.0982	0.0970	0.0957	0.0944	0.0931	0.0918
33	0.1028	0.1016	0.1004	0.0991	0.0979	0.0966	0.0953	0.0940	0.0928	0.0915
34	0.1024	0.1012	0.1000	0.0987	0.0975	0.0962	0.0950	0.0937	0.0924	0.0911
35	0.1019	0.1007	0.0995	0.0983	0.0971	0.0959	0.0946	0.0934	0.0921	0.0908
36	0.1015	0.1003	0.0991	0.0979	0.0967	0.0955	0.0942	0.0930	0.0917	0.0905
37	0.1010	0.0998	0.0986	0.0975	0.0963	0.0951	0.0938	0.0926	0.0914	0.0901
38	0.1005	0.0993	0.0982	0.0970	0.0958	0.0946	0.0935	0.0922	0.0910	0.0898
39	0.1000	0.0989	0.0977	0.0966	0.0954	0.0942	0.0930	0.0919	0.0907	0.0895
40	0.0995	0.0984	0.0972	0.0961	0.0950	0.0938	0.0926	0.0915	0.0903	0.0891
41	0.0990	0.0979	0.0967	0.0956	0.0945	0.0934	0.0922	0.0911	0.0899	0.0887
42	0.0984	0.0973	0.0963	0.0951	0.0940	0.0929	0.0918	0.0906	0.0895	0.0883
43	0.0979	0.0968	0.0957	0.0947	0.0936	0.0925	0.0913	0.0902	0.0891	0.0880
44	0.0973	0.0963	0.0952	0.0942	0.0931	0.0920	0.0909	0.0898	0.0887	0.0876
45	0.0968	0.0957	0.0947	0.0936	0.0926	0.0915	0.0904	0.0894	0.0883	0.0872
46	0.0962	0.0952	0.0942	0.0931	0.0921	0.0910	0.0900	0.0889	0.0878	0.0868
47	0.0956	0.0946	0.0936	0.0926	0.0916	0.0906	0.0895	0.0885	0.0874	0.0864
48	0.0950	0.0940	0.0931	0.0921	0.0911	0.0901	0.0890	0.0880	0.0870	0.0859
49	0.0944	0.0935	0.0925	0.0915	0.0905	0.0896	0.0886	0.0875	0.0865	0.0855
50	0.0938	0.0929	0.0919	0.0910	0.0900	0.0890	0.0881	0.0871	0.0861	0.0851
51	0.0932	0.0923	0.0913	0.0904	0.0895	0.0885	0.0876	0.0866	0.0856	0.0846
52	0.0926	0.0917	0.0908	0.0898	0.0889	0.0880	0.0871	0.0861	0.0852	0.0842
53	0.0919	0.0910	0.0902	0.0893	0.0884	0.0875	0.0865	0.0856	0.0847	0.0838
54	0.0913	0.0904	0.0896	0.0887	0.0878	0.0869	0.0860	0.0851	0.0842	0.0833
55	0.0906	0.0898	0.0889	0.0881	0.0872	0.0864	0.0855	0.0846	0.0837	0.0828
56	0.0900	0.0891	0.0883	0.0875	0.0867	0.0858	0.0850	0.0841	0.0832	0.0824
57	0.0893	0.0885	0.0877	0.0869	0.0861	0.0852	0.0844	0.0836	0.0827	0.0819
58	0.0886	0.0878	0.0871	0.0863	0.0855	0.0847	0.0839	0.0831	0.0822	0.0814
59	0.0879	0.0872	0.0864	0.0856	0.0849	0.0841	0.0833	0.0825	0.0817	0.0809
60	0.0872	0.0865	0.0858	0.0850	0.0843	0.0835	0.0828	0.0820	0.0812	0.0804

TABLA A-5 (Cont..)

FACTOR RAD. DIFUSA
=====

PARA
=====

SUPERFICIES VERTICALES
=====

	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
31	0.0997	0.0894	0.0880	0.0866	0.0853	0.0839	0.0825	0.0811	0.0797	0.0783
32	0.0994	0.0891	0.0878	0.0864	0.0851	0.0837	0.0823	0.0810	0.0796	0.0782
33	0.0991	0.0888	0.0875	0.0862	0.0848	0.0835	0.0821	0.0808	0.0794	0.0780
34	0.0898	0.0885	0.0872	0.0859	0.0846	0.0833	0.0819	0.0806	0.0792	0.0779
35	0.0895	0.0882	0.0870	0.0856	0.0843	0.0830	0.0817	0.0804	0.0790	0.0777
36	0.0892	0.0880	0.0867	0.0854	0.0841	0.0828	0.0815	0.0802	0.0787	0.0775
37	0.0889	0.0876	0.0864	0.0851	0.0838	0.0826	0.0813	0.0800	0.0787	0.0774
38	0.0886	0.0873	0.0861	0.0848	0.0836	0.0823	0.0810	0.0798	0.0785	0.0772
39	0.0882	0.0870	0.0858	0.0845	0.0833	0.0821	0.0808	0.0795	0.0783	0.0770
40	0.0879	0.0867	0.0855	0.0843	0.0830	0.0818	0.0806	0.0793	0.0781	0.0768
41	0.0875	0.0864	0.0852	0.0840	0.0828	0.0815	0.0803	0.0791	0.0779	0.0767
42	0.0872	0.0860	0.0848	0.0837	0.0825	0.0813	0.0801	0.0789	0.0777	0.0765
43	0.0868	0.0857	0.0845	0.0834	0.0822	0.0810	0.0798	0.0786	0.0775	0.0763
44	0.0864	0.0853	0.0842	0.0830	0.0819	0.0807	0.0795	0.0784	0.0772	0.0761
45	0.0861	0.0850	0.0838	0.0827	0.0816	0.0805	0.0793	0.0782	0.0770	0.0759
46	0.0857	0.0846	0.0835	0.0824	0.0813	0.0802	0.0790	0.0779	0.0768	0.0757
47	0.0853	0.0842	0.0831	0.0821	0.0810	0.0799	0.0788	0.0777	0.0766	0.0755
48	0.0849	0.0838	0.0828	0.0817	0.0807	0.0796	0.0785	0.0774	0.0763	0.0752
49	0.0845	0.0835	0.0824	0.0814	0.0803	0.0793	0.0782	0.0772	0.0761	0.0750
50	0.0841	0.0831	0.0821	0.0810	0.0800	0.0790	0.0779	0.0769	0.0759	0.0748
51	0.0837	0.0827	0.0817	0.0807	0.0797	0.0787	0.0776	0.0766	0.0756	0.0746
52	0.0832	0.0823	0.0813	0.0803	0.0793	0.0783	0.0774	0.0764	0.0754	0.0744
53	0.0828	0.0819	0.0809	0.0800	0.0790	0.0780	0.0771	0.0761	0.0751	0.0741
54	0.0824	0.0815	0.0805	0.0796	0.0787	0.0777	0.0768	0.0758	0.0749	0.0739
55	0.0819	0.0810	0.0801	0.0792	0.0783	0.0774	0.0765	0.0755	0.0746	0.0737
56	0.0815	0.0806	0.0797	0.0788	0.0779	0.0771	0.0762	0.0752	0.0743	0.0734
57	0.0810	0.0802	0.0793	0.0785	0.0776	0.0767	0.0758	0.0750	0.0741	0.0732
58	0.0806	0.0798	0.0789	0.0781	0.0772	0.0764	0.0755	0.0747	0.0738	0.0729
59	0.0801	0.0793	0.0785	0.0777	0.0769	0.0760	0.0752	0.0744	0.0735	0.0727
60	0.0797	0.0789	0.0781	0.0773	0.0765	0.0757	0.0749	0.0741	0.0733	0.0724

TABLA A-5 (Cont..)

FACTOR RAD. DIFUSA
=====
PARA
=====
SUPERFICIES VERTICALES
=====

	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
31	0.0769	0.0755	0.0741	0.0727	0.0713	0.0699	0.0685	0.0670	0.0656	0.0642
32	0.0768	0.0754	0.0740	0.0726	0.0712	0.0698	0.0684	0.0670	0.0656	0.0642
33	0.0767	0.0753	0.0739	0.0725	0.0711	0.0698	0.0684	0.0670	0.0656	0.0642
34	0.0765	0.0752	0.0738	0.0724	0.0711	0.0697	0.0683	0.0669	0.0656	0.0642
35	0.0764	0.0750	0.0737	0.0723	0.0710	0.0696	0.0683	0.0669	0.0656	0.0642
36	0.0762	0.0749	0.0736	0.0722	0.0709	0.0696	0.0682	0.0669	0.0655	0.0642
37	0.0761	0.0748	0.0734	0.0721	0.0708	0.0695	0.0682	0.0668	0.0655	0.0642
38	0.0759	0.0746	0.0733	0.0720	0.0707	0.0694	0.0681	0.0668	0.0655	0.0642
39	0.0757	0.0745	0.0732	0.0719	0.0706	0.0694	0.0681	0.0668	0.0655	0.0642
40	0.0756	0.0743	0.0731	0.0718	0.0705	0.0693	0.0680	0.0667	0.0655	0.0642
41	0.0754	0.0742	0.0729	0.0717	0.0704	0.0692	0.0680	0.0667	0.0655	0.0642
42	0.0752	0.0740	0.0728	0.0716	0.0704	0.0691	0.0679	0.0667	0.0654	0.0642
43	0.0751	0.0739	0.0727	0.0715	0.0703	0.0690	0.0678	0.0666	0.0654	0.0642
44	0.0749	0.0737	0.0725	0.0713	0.0702	0.0690	0.0678	0.0666	0.0654	0.0642
45	0.0747	0.0735	0.0724	0.0712	0.0701	0.0689	0.0677	0.0665	0.0654	0.0642
46	0.0745	0.0734	0.0722	0.0711	0.0700	0.0688	0.0677	0.0665	0.0654	0.0642
47	0.0743	0.0732	0.0721	0.0710	0.0698	0.0687	0.0676	0.0665	0.0653	0.0642
48	0.0741	0.0730	0.0719	0.0708	0.0697	0.0686	0.0675	0.0664	0.0653	0.0642
49	0.0739	0.0729	0.0718	0.0707	0.0696	0.0685	0.0675	0.0664	0.0653	0.0642
50	0.0738	0.0727	0.0716	0.0706	0.0695	0.0685	0.0674	0.0663	0.0653	0.0642
51	0.0736	0.0725	0.0715	0.0704	0.0694	0.0684	0.0673	0.0663	0.0652	0.0642
52	0.0733	0.0723	0.0713	0.0703	0.0693	0.0683	0.0673	0.0662	0.0652	0.0642
53	0.0731	0.0722	0.0712	0.0702	0.0692	0.0682	0.0672	0.0662	0.0652	0.0642
54	0.0729	0.0720	0.0710	0.0700	0.0691	0.0681	0.0671	0.0661	0.0652	0.0642
55	0.0727	0.0718	0.0708	0.0699	0.0689	0.0680	0.0671	0.0661	0.0651	0.0642
56	0.0725	0.0716	0.0707	0.0698	0.0688	0.0679	0.0670	0.0661	0.0651	0.0642
57	0.0723	0.0714	0.0705	0.0696	0.0687	0.0678	0.0669	0.0660	0.0651	0.0642
58	0.0721	0.0712	0.0703	0.0695	0.0686	0.0677	0.0668	0.0660	0.0651	0.0642
59	0.0719	0.0710	0.0702	0.0693	0.0685	0.0676	0.0668	0.0659	0.0651	0.0642
60	0.0716	0.0708	0.0700	0.0692	0.0683	0.0675	0.0667	0.0659	0.0650	0.0642

TABLA A-6

FACTOR DE CORRECCION PARA RADIACION DIFUSA

<u>DIA Y MES</u>	<u>CORRECCION</u>
21 Enero	+ 0.0074
21 Febrero	+ 0.0000
21 Marzo	- 0.0158
21 Abril	- 0.0258
21 Mayo	- 0.0310
21 Junio	- 0.0342
21 Julio	- 0.0337
21 Agosto	- 0.0326
21 Septiembre	- 0.0268
21 Octubre	- 0.0132
21 Noviembre	- 0.0005
21 Diciembre	- 0.0063

TABLA A-7

VARIACIONES DE LA TEMPERATURA EXTERIOR EN GUAYAQUIL

Durante 10 años se han tomado diariamente y a cada hora la temp. dobiliendose promedio para un día específico de las temper. exteriores

<u>HORA</u>	<u>TEMPERATURAS EXTERIORES (°F.)</u>	
	<u>Bulbo seco</u>	<u>Bulbo húmedo</u>
5 a.m.	74.0	71.8
6 a.m.	74.4	72.4
7 a.m.	75.0	72.7
8 a.m.	76.0	73.5
9 a.m.	78.0	74.8
10 a.m.	80.5	76.4
11 a.m.	84.0	77.8
12 m.	87.0	78.7
1 p.m.	90.0	79.4
2 p.m.	91.5	79.8
3 p.m.	92.0	80.0
4 p.m.	91.5	79.8
5 p.m.	90.0	79.4
6 p.m.	88.3	79.1
7 p.m.	86.3	78.5
8 p.m.	84.5	78.0
9 p.m.	83.0	77.5

FUENTE : Compañía DELFINI & CIA. LTDA. (DELTA)

APENDICE B

TABLA B-1

RESISTENCIAS TERMICAS
(°F.Hr.Ft².)/BTU.

MATERIAL	DESCRIPCION	ESPESOR (pulgadas.)	RESISTENCIA (1/C)
ELEMENTOS DE ALBAÑILERIA	Ladrillo ordinario	4	0.80
	Ladrillo hueco:		
	1 alveolo	3	0.80
	2 alveolos	6	1.52
	3 alveolos	12	2.50
	Bloques de concreto, piedra y arena.	3	0.40
		4	0.71
		6	0.91
		8	1.11
		10	1.14
		12	1.28
ENLUCIDOS	Cemento y arena	1/2	0.10
		3/4	0.15
		1	0.20
	Yeso ligero	1/2	0.32
AIRE			
CONVECCION	POSICION	FLUJO DE CALOR	
Aire en reposo	Horizontal	Ascendente	0.61
	45°	"	0.62
	Vertical	Horizontal	0.68
	45°	Descendente	0.76
	Horizontal	"	0.92
Viento 7.5 millas/hora	Cualquier posición	Cualquier dirección	0.25

FUENTE: CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY, "Handbook of Air Conditioning System Design", pág. 1-78-80, 1965.

TABLA B-2
 COEFICIENTES U PARA VIDRIOS
 BTU/(Hr.°F. Ft².)

	VERTICAL						HORIZONTAL				
	SENCILLO	DOBLE			TRIPLE			SENCILLO		DOBLE (1/4")	
ESPESOR (pulg.)		1/4	1/2	3/4-4	1/4	1/2	3/4-4	INVIERNO	VERANO	INVIERNO	VERANO
Marco simple	1.13	0.61	0.55	0.53	0.41	0.36	0.34	0.86	1.40	0.50	0.70
Marco doble	0.54							0.43	0.64		

FUENTE : CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY, "Handbook of Air Conditioning System Design", pág. 1-76, 1965.

TABLA B-3

COEFICIENTES DE SOMBRA PARA VENTANAS
(Números adimensionales)

VENTANAS	Sin sombra interior	I_D	I_M	I_L	II_M	II_L	III_M	III_L
VIDRIO SIMPLE:								
1/4" Regular	1.00	0.75	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
1/2" Regular	0.88	0.70	0.66	0.61	0.56	0.52	0.48	0.43
1/4" Termoabsorbente	0.67	0.54	0.52	0.49	0.46	0.44	0.41	0.38
3/8" Termoabsorbente	0.57	0.49	0.47	0.45	0.43	0.41	0.38	0.36
1/2" Termoabsorbente	0.50	0.42	0.40	0.39	0.38	0.36	0.34	0.33
VIDRIO COMPUESTO:								
Doble hoja regular separadas 1/2"	0.83	0.62	0.58	0.56	0.52	0.48	0.45	0.42
Termoabsorbente en el exterior y regu- lar en el interior	0.56	0.47	0.45	0.43	0.41	0.39	0.37	0.35

FUENTE: ASHRAE, "Handbook of Fundamentals", pág. 405, 1972.

Nota.- Los índices I_D , I_M , I_L , II_M , II_L , III_M , III_L se refieren a las distintas clases de cortinas interiores indicados en el Handbook of Fundamentals de ASHRAE.

TABLA B-4

DIFERENCIAL TOTAL DE TEMPERATURA EQUIVALENTE PARA PAREDES DE CONSTRUCCION MEDIA, DICIEMBRE 21, 0°LATITUD SUR. (°F)

ORIENTACION DE LAS PAREDES	HORA DEL DIA																	
	A.M.									P.M.								
	8		10		12		2		4		6		8		10		12	
	0	C	0	C	0	C	0	C	0	C	0	C	0	C	0	C	0	C
N	2	2	2	2	3	2	12	7	23	15	25	17	20	15	14	12	10	8
NO	4	2	4	2	4	2	8	6	14	12	27	19	31	21	27	19	10	8
O	6	4	6	4	6	4	8	6	12	10	20	16	32	24	34	24	20	16
SO	2	2	2	2	4	2	6	4	10	8	14	12	25	21	33	25	12	10
S	0	0	0	0	0	0	2	2	8	8	12	12	12	12	12	12	8	8
SE	2	2	2	2	23	13	19	13	12	8	14	12	16	14	14	12	10	10
E	6	4	14	6	26	14	28	16	22	14	14	12	16	14	16	12	12	10
NE	4	2	4	2	17	9	20	13	21	15	16	14	16	14	14	12	10	8
SOMBRA	-2	-2	0	0	2	2	8	8	12	12	14	14	14	14	10	10	6	6

0 = Pared color obscuro.

Construcción Media = Paredes de concreto de 2" hasta 6".

C = Pared color claro.

TABLA B-5

DIFERENCIAL TOTAL DE TEMPERATURA EQUIVALENTE
PARA TECHOS, DICIEMBRE 21, 0°LATITUD SUR
(°F)

TIPO DE CONSTRUCCION	HORA DEL DIA									
	A.M.					P.M.				
	8	10	12	2	4	6	8	10	12	
CONSTRUCCION LIVIANA (1" Madera)	14.9	42.1	58.6	66.7	54.0	28.8	12.1	6.1	2.0	
CONSTRUCCION MEDIA:										
2" Concreto	8.5	33.8	52.5	62.7	54.1	35.1	16.2	8.0	4.0	
4" Concreto	2.2	23.2	42.0	54.3	56.2	43.5	24.7	14.3	8.2	
CONSTRUCCION PESADA										
10" Concreto	8.4	8.4	23.1	37.6	45.9	46.9	37.3	22.7	16.5	

FUENTE: TRANE "Solar Tables for Heat Gain Calculations", pág. 103, 1966.

TABLA B-6

BALANCEO DE LA CARGA DE ENFRIAMIENTO

FUENTE DE GANANCIA DE CALOR	CALOR DE RADIACION	CALOR DE CONVECCION
Solar, sin persianas interiores	100%	-
Solar, con persianas interiores	58%	42%
Lámparas fluorescentes	50%	50%
Lámparas de incandescencia	80%	20%
Personas	40%	60%
Transmisión	60%	40%
Infiltración y ventilación	-	100%
Maquinaria y utensilios	20-80%	80-20%

FUENTE: CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY, "Manual de Aire Acondicionado", pág. 1-20, 1972.

APENDICE C

TABLA C-1

CAUDALES DE AIRE EXTERIOR

APLICACION	NUMERO DE FUMADORES	CFM/PERSONA		CFM/Ft ²
		RECOMENDABLE	MINIMO	DE PISO MINIMO
Apartamento: Normal	Pequeño	20	15	-
Lujo	Muy pequeño	30	25	0.33
Hall de Banco	Pequeño	10	7 ¹ / ₂	-
Barbería	Grande	15	10	-
Salón de Belleza	Muy pequeño	10	7 ¹ / ₂	-
Bar	Grande	30	25	-
Corredores	-	-	-	0.25
Grandes almacenes	Pequeño	7 ¹ / ₂	5	0.05
Sala de Sesiones	Muy grande	50	30	-
Farmacias	Grande	10	7 ¹ / ₂	-
Garajes	-	-	-	1.00
Hospital: Quirófanos	Ninguno	-	-	2.00
Habitación privada	Ninguno	30	25	0.33
Sala común	Ninguno	20	15	-
Habitación de Hotel	Grande	30	25	0.33
Despacho: Común	Pequeño	15	10	-
Privado	Ninguno	25	15	0.25
Privado	Grande	30	25	0.25
Restaurante: Cafetería	Grande	12	10	-
Comedor	Grande	15	12	-

FUENTE: CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY, "Handbook of Air Conditioning System Design", pág. 1-97, 1965.

Nota.- CFM = pié cúbico/minuto.

TABLA C-2
GANANCIAS DEBIDAS A LOS OCUPANTES, EN BTU/HR.

GRADO DE ACTIVIDAD	TIPO DE APLICACION	METABOLISMO HOMBRE ADULTO	METABOLISMO MEDIO	80°F		75°F		70°F	
				Sensible.	Latente.	Sensible.	Latente.	Sensible.	Latente.
Sentados en reposo	Teatro, escuela primaria	390	350	195	155	230	120	260	90
Sentados, trabajo muy ligero	Escuela secundaria	450	400	195	205	240	160	275	125
Empleado de oficina	Oficina, hotel, apartamento	475	450	200	250	245	205	285	165
De pie, marcha lenta	Almacenes, tienda	550	450	200	250	245	205	285	165
Sentado, de pie	Farmacia	550	500	200	300	255	245	290	210
De pie, marcha lenta	Banco	550	500	200	300	255	245	290	210
Sentado	Restaurante	500	550	220	330	280	270	320	230
Trabajo ligero en el banco del taller	Fábrica, trabajo ligero	800	750	220	530	295	455	365	385
Baile o Danza	Sala de baile	900	850	245	605	325	525	400	450
Marcha, 5 Km/Hr.	Fábrica, trabajo bastante penoso	1000	1000	300	700	380	620	460	540
Trabajo penoso	Pista de bowling, Fábrica	1500	1450	465	985	525	925	605	845

FUENTE: ASHRAE, "Handbook of Fundamentals", pág. 416, 1972.

Nota.- Los valores de temperatura arriba indicados se refieren a la temperatura de bulbo seco del local.

TABLA C-3

PROPIEDADES TERMODINAMICAS DEL AIRE HUMEDO
(Presión atmosférica. 29.921 in.Hg.)

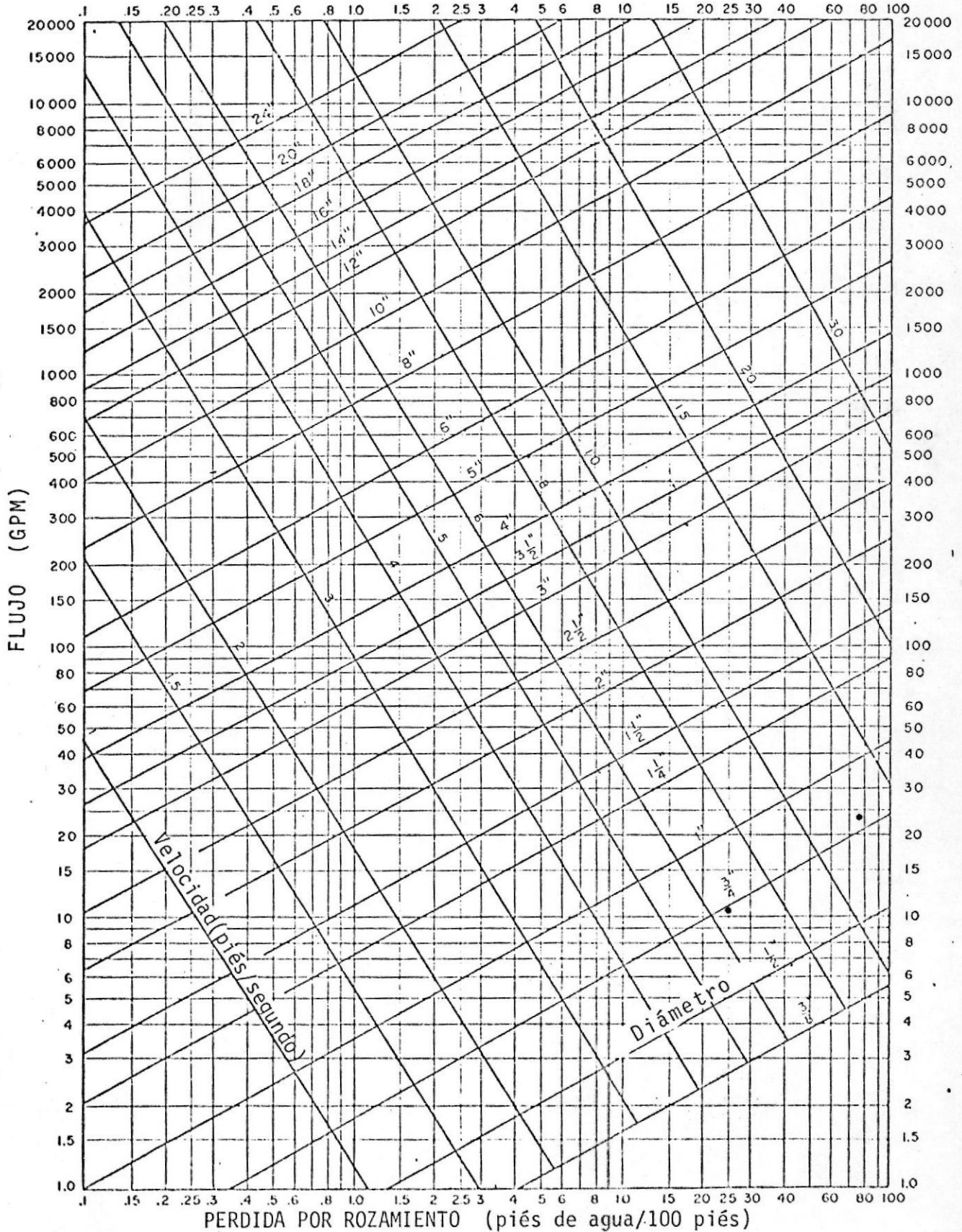
Temp. (°F)	$W_s \times 10^3$ lb/lb.	Volúmen Ft ³ /lb. a. s.			Entalpía BTU/lb. a. s.			Entropía BTU/(°F. lb. a. s.)			Agua Condensada			Temp. (°F)
		v_a	v_{as}	v_s	h_a	h_{as}	h_s	s_a	s_{as}	s_s	h_w BTU/ lb.	s_w BTU/ (°F. lb)	p_s in. Hg	
38	4.818	12.540	0.097	12.637	9.128	5.191	14.319	0.01909	0.01097	0.03005	6.03	0.0122	0.22904	33
39	5.012	12.565	0.101	12.666	9.358	5.103	14.771	0.01957	0.01139	0.03095	7.03	0.0142	0.23819	39
40	5.213	12.590	0.105	12.695	9.605	5.022	15.230	0.02005	0.01183	0.03188	8.09	0.0162	0.24767	40
41	5.421	12.616	0.109	12.725	9.848	5.819	15.697	0.02053	0.01228	0.03284	9.09	0.0182	0.25748	41
42	5.638	12.641	0.114	12.755	10.088	6.084	16.172	0.02101	0.01275	0.03376	10.09	0.0202	0.26763	42
43	5.860	12.666	0.119	12.785	10.329	6.328	16.657	0.02149	0.01323	0.03472	11.10	0.0222	0.27813	43
44	6.091	12.691	0.124	12.815	10.570	6.580	17.119	0.02197	0.01373	0.03570	12.10	0.0242	0.28899	44
45	6.331	12.717	0.129	12.846	10.809	6.811	17.650	0.02245	0.01423	0.03670	13.10	0.0262	0.30023	45
46	6.578	12.742	0.134	12.876	11.049	7.112	18.161	0.02293	0.01475	0.03771	14.10	0.0282	0.31185	46
47	6.835	12.767	0.140	12.907	11.289	7.391	18.690	0.02340	0.01524	0.03874	15.11	0.0302	0.32386	47
48	7.100	12.792	0.146	12.938	11.530	7.681	19.211	0.02387	0.01584	0.03978	16.11	0.0321	0.33629	48
49	7.374	12.818	0.151	12.969	11.770	7.981	19.751	0.02434	0.01650	0.04084	17.11	0.0341	0.34913	49
50	7.658	12.843	0.158	13.001	12.010	8.291	20.301	0.02481	0.01711	0.04192	18.11	0.0361	0.36210	50
51	7.952	12.868	0.164	13.032	12.250	8.612	20.862	0.02528	0.01771	0.04302	19.11	0.0381	0.37611	51
52	8.256	12.891	0.170	13.064	12.491	8.945	21.436	0.02575	0.01839	0.04414	20.11	0.0400	0.39028	52
53	8.569	12.919	0.178	13.097	12.731	9.289	22.020	0.02622	0.01906	0.04528	21.12	0.0420	0.40492	53
54	8.894	12.944	0.185	13.129	12.971	9.644	22.615	0.02669	0.01976	0.04645	22.12	0.0439	0.42004	54
55	9.229	12.970	0.192	13.162	13.211	10.01	23.22	0.02716	0.02047	0.04763	23.12	0.0459	0.43565	55
56	9.575	12.995	0.200	13.195	13.452	10.39	23.84	0.02762	0.02121	0.04883	24.12	0.0478	0.45176	56
57	9.934	13.020	0.208	13.228	13.692	10.79	24.48	0.02809	0.02197	0.05006	25.12	0.0497	0.46840	57
58	10.30	13.045	0.216	13.261	13.932	11.19	25.12	0.02855	0.02276	0.05131	26.12	0.0517	0.48555	58
59	10.69	13.071	0.224	13.295	14.172	11.61	25.78	0.02902	0.02357	0.05259	27.12	0.0536	0.50330	59
60	11.08	13.096	0.233	13.329	14.413	12.05	26.46	0.02948	0.02441	0.05389	28.12	0.0555	0.52159	60
61	11.49	13.121	0.242	13.363	14.653	12.50	27.15	0.02994	0.02527	0.05521	29.12	0.0574	0.54047	61
62	11.91	13.147	0.251	13.398	14.893	12.96	27.85	0.03040	0.02616	0.05656	30.12	0.0594	0.55994	62
63	12.35	13.172	0.261	13.433	15.134	13.41	28.57	0.03086	0.02708	0.05794	31.12	0.0613	0.58002	63
64	12.80	13.197	0.271	13.468	15.374	13.81	29.31	0.03132	0.02802	0.05935	32.12	0.0632	0.60073	64
65	13.26	13.222	0.282	13.504	15.614	14.45	30.06	0.03177	0.02898	0.06078	33.11	0.0651	0.62209	65
66	13.74	13.247	0.292	13.539	15.855	14.98	30.83	0.03223	0.02996	0.06225	34.11	0.0670	0.64411	66
67	14.24	13.273	0.303	13.576	16.095	15.53	31.62	0.03269	0.03095	0.06375	35.11	0.0689	0.66681	67
68	14.75	13.298	0.315	13.613	16.335	16.09	32.42	0.03314	0.03193	0.06527	36.11	0.0708	0.69019	68
69	15.28	13.323	0.327	13.650	16.576	16.67	33.25	0.03360	0.03293	0.06683	37.11	0.0727	0.71430	69
70	1.582	13.348	0.339	13.687	16.816	17.27	34.09	0.03405	0.03393	0.06842	38.11	0.0746	0.73915	70
71	1.639	13.373	0.351	13.724	17.056	17.89	34.95	0.03450	0.03494	0.07004	39.11	0.0765	0.76475	71
72	1.697	13.398	0.364	13.762	17.297	18.53	35.83	0.03495	0.03595	0.07170	40.11	0.0784	0.79112	72
73	1.757	13.424	0.377	13.801	17.537	19.20	36.74	0.03540	0.03698	0.07340	41.11	0.0803	0.81828	73
74	1.819	13.449	0.392	13.841	17.778	19.88	37.66	0.03585	0.03803	0.07513	42.10	0.0821	0.84624	74
75	1.882	13.474	0.407	13.881	18.018	20.59	38.61	0.03630	0.03909	0.07690	43.10	0.0840	0.87504	75
76	1.948	13.499	0.422	13.921	18.259	21.31	39.57	0.03675	0.04017	0.07872	44.10	0.0859	0.90470	76
77	2.016	13.525	0.437	13.962	18.499	22.07	40.57	0.03720	0.04127	0.08057	45.10	0.0877	0.93523	77
78	2.086	13.550	0.453	14.003	18.740	22.84	41.58	0.03765	0.04238	0.08247	46.10	0.0896	0.96665	78
79	2.168	13.575	0.470	14.045	18.980	23.64	42.62	0.03810	0.04341	0.08441	47.10	0.0914	0.99899	79
80	2.233	13.601	0.486	14.087	19.221	24.47	43.69	0.03854	0.04448	0.08638	48.10	0.0933	1.0323	80
81	2.310	13.626	0.501	14.130	19.461	25.32	44.78	0.03899	0.04557	0.08841	49.09	0.0952	1.0665	81
82	2.389	13.651	0.513	14.174	19.702	26.20	45.90	0.03943	0.04668	0.09048	50.09	0.0970	1.1017	82
83	2.471	13.676	0.524	14.218	19.942	27.10	47.04	0.03987	0.04781	0.09260	51.09	0.0989	1.1379	83
84	2.555	13.702	0.536	14.262	20.183	28.04	48.22	0.04031	0.04896	0.09477	52.09	0.1007	1.1752	84
85	2.642	13.727	0.551	14.308	20.423	29.01	49.43	0.04075	0.05014	0.09699	53.09	0.1025	1.2135	85
86	2.731	13.752	0.562	14.354	20.664	29.99	50.66	0.04119	0.05134	0.09926	54.08	0.1043	1.2529	86
87	2.824	13.777	0.574	14.401	20.904	31.03	51.93	0.04163	0.05255	0.10158	55.08	0.1062	1.2934	87
88	2.919	13.803	0.585	14.448	21.144	32.09	53.23	0.04207	0.05378	0.10394	56.08	0.1080	1.3351	88
89	3.017	13.828	0.598	14.496	21.385	33.18	54.56	0.04251	0.05503	0.10634	57.08	0.1098	1.3779	89
90	3.118	13.853	0.612	14.545	21.625	34.31	55.93	0.04295	0.05630	0.10880	58.08	0.1116	1.4219	90
91	3.223	13.879	0.626	14.595	21.865	35.47	57.33	0.04339	0.05759	0.11134	59.07	0.1135	1.4671	91
92	3.330	13.904	0.641	14.645	22.108	36.67	58.78	0.04382	0.05890	0.11397	60.07	0.1153	1.5135	92
93	3.441	13.929	0.656	14.697	22.346	37.90	60.25	0.04426	0.06023	0.11670	61.07	0.1171	1.5612	93
94	3.556	13.954	0.672	14.749	22.587	39.18	61.77	0.04469	0.06158	0.11949	62.07	0.1188	1.6102	94
95	3.673	13.980	0.688	14.802	22.827	40.49	63.32	0.04513	0.06295	0.12231	63.07	0.1206	1.6606	95
96	3.795	14.005	0.704	14.856	23.068	41.85	64.92	0.04556	0.06434	0.12519	64.06	0.1224	1.7123	96
97	3.920	14.030	0.721	14.911	23.308	43.24	66.55	0.04600	0.06575	0.12815	65.06	0.1242	1.7654	97
98	4.049	14.055	0.738	14.967	23.548	44.64	68.24	0.04643	0.06718	0.13117	66.06	0.1260	1.8199	98
99	4.182	14.081	0.756	15.023	23.789	46.07	69.96	0.04686	0.06864	0.13427	67.06	0.1278	1.8759	99
100	4.319	14.106	0.775	15.081	24.029	47.50	71.73	0.04729	0.07011	0.13745	68.06	0.1296	1.9333	100
101	4.460	14.131	0.794	15.140	24.270	49.28	73.55	0.04772	0.07159	0.14071	69.05	0.1314	1.9923	101
102	4.603	14.157	0.813	15.200	24.510	50.91	75.47	0.04815	0.07309	0.14406	70.05	0.1332	2.0528	102
103	4.750	14.182	0.833	15.261	24.751	52.59	77.44	0.04858	0.07461	0.14749	71.05	0.1350	2.1149	103
104	4.911	14.207	0.854	15.324	24.991	54.32	79.31	0.04900	0.07615	0.15100	72.05	0.1367	2.1788	104

FUENTE: ASHRAE "Handbook of Fundamentals", pág. 658-659, 1972.

APENDICE D

TABLA D-1

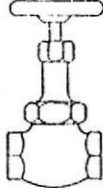
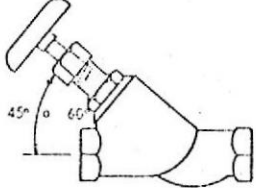
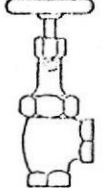
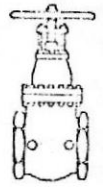
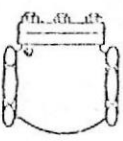
PERDIDAS POR ROZAMIENTO EN SISTEMAS DE TUBERIAS
(Tubo Cédula 40)



FUENTE: CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY, "Handbook of Air Conditioning System Design", pág. 3-22, 1965.

TABLA D-2

PERDIDAS DE CARGA EN LAS VALVULAS EXPRESADAS
EN LONGITUD EQUIVALENTE DE TUBO (piés)








Diámetro Nominal (pulg.)	ESFÉRICAS**		60°-Y	45°-Y	ANGULARES**	VÁLVULAS DE COMPUERTA *****	VÁLVULAS DE RETENCIÓN OSCILANTE***	DE CIERRE VERTICAL (horizontal de retención)
								
3/8	17	8	6	6	0.6	5	RECTAS COMO GRIPOS DE VÁLVULA ESFÉRICA ****	
1/2	18	9	7	7	0.7	6		
3/4	22	11	9	9	0.9	8		
1	29	15	12	12	1.0	10		
1 1/4	38	20	15	15	1.5	14		
1 1/2	43	24	18	18	1.8	16		
2	55	30	24	24	2.3	20		
2 1/2	69	35	29	29	2.8	25		
3	84	43	35	35	3.2	30		
3 1/2	100	50	41	41	4.0	35		
4	120	58	47	47	4.5	40	ANGULARES COMO GRIPOS DE VÁLVULA ANGULARES	
5	140	71	58	58	6	50		
6	170	88	70	70	7	60		
8	220	115	85	85	9	80		
10	280	145	105	105	12	100		
12	320	165	130	130	13	120		
14	360	185	155	155	15	135		
16	410	210	180	180	17	150		
18	460	240	200	200	19	165		
20	520	275	235	235	22	200		
24	610	320	265	265	25	240		

* Valores correspondientes a la posición de abertura total.
 ** Estos valores no se aplican a las válvulas de aguja.
 *** Estos valores se aplican también a las válvulas de retención rectas con obturador esférico.
 **** Para válvulas de retención inclinadas, cuyo diámetro de orificio es igual al del tubo, tomar los valores correspondientes a las válvulas con la inclinada 60°.
 ***** Las válvulas de macho presentan la misma pérdida de carga, en la posición de abertura total, que las de paso directo.

FUENTE: CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY, "Handbook of Air Conditioning System Design", pág. 3-16, 1965.

TABLA D-2 (Cont..)

PERDIDAS DE CARGA EN LOS CODOS Y "T" EXPRESADAS
EN LONGITUD EQUIVALENTE DE TUBO (pies)

Diámetro Nominal (pulg.)	CODOS						T			
	Radio pequeño 90° *	Radio grande 90° **	Macho Hembra 90° *	Radio pequeño 45° *	Macho Hembra 45° *	Radio pequeño 180° *	Cambio de dirección	PASO DIRECTO		
									Sin reducción	Reducción 1/4
3/8	1.4	0.9	2.3	0.7	1.1	2.3	2.7	0.9	1.2	1.4
1/2	1.6	1.0	2.5	0.8	1.3	2.5	3.0	1.0	1.4	1.6
3/4	2.0	1.4	3.2	0.9	1.6	3.2	4.0	1.4	1.9	2.0
1	2.6	1.7	4.1	1.3	2.1	4.1	5.0	1.7	2.3	2.6
1 1/4	3.3	2.3	5.6	1.7	3.0	5.6	7.0	2.3	3.1	3.3
1 1/2	4.0	2.6	6.3	2.1	3.4	6.3	8.0	2.6	3.7	4.0
2	5.0	3.3	8.2	2.6	4.5	8.2	10	3.3	4.7	5.0
2 1/2	6.0	4.1	10	3.2	5.2	10	12	4.1	5.6	6.0
3	7.5	5.0	12	4.0	6.4	12	15	5.0	7.0	7.5
3 1/2	9.0	5.9	15	4.7	7.3	15	18	5.9	8.0	9.0
4	10	6.7	17	5.2	8.5	17	21	6.7	9.0	10
5	13	8.2	21	6.5	11	21	25	8.2	12	13
6	16	10	25	7.9	13	25	30	10	14	16
8	20	13	—	10	—	33	40	13	18	20
10	25	16	—	13	—	42	50	16	23	25
12	30	19	—	16	—	50	60	19	26	30
14	34	23	—	18	—	55	68	23	30	34
16	38	26	—	20	—	62	78	26	35	38
18	42	29	—	23	—	70	85	29	40	42
20	50	33	—	26	—	81	100	33	44	50
24	60	40	—	30	—	94	115	40	50	60

* R/D sensiblemente igual a 1.
** R/D sensiblemente igual a 1.5.

FUENTE: CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY, "Handbook of Air Conditioning System Design", pág. 3-17, 1965.