

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

REDISEÑO DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO
Y VENTILACIÓN FORZADA
PARA EL BLOQUE OPERATORIO E INTENSIVO
DEL CENTRO MÉDICO MILITAR

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

ELWIN ILDEFONSO ELÍAS GRAMAJO

AL CONFERIRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECANICO

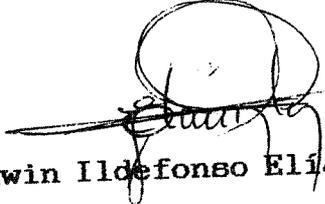
GUATEMALA, AGOSTO DE 1,997

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

"REDISEÑO DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO Y VENTILACIÓN FORZADA PARA EL BLOQUE OPERATORIO E INTENSIVO DEL CENTRO MÉDICO MILITAR".

Tema que me fuera asignado por la dirección de la escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 26 de septiembre de 1995,
Ref. E. I. M. 265.95


Elwin Ildelfonso Elías Gramajo.



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, Ingeniero Carlos Humberto Pérez Rodríguez, al trabajo de tesis titulado **Rediseño del Sistema de Aire Acondicionado y Ventilación Forzada para el Bloque Operatorio e Intensivo del Centro Médico Militar**, presentado por el estudiante universitario Elwin Ildefonso Elías Gramajo, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRIMASE

ING. HERBERT RENE MIRANDA BARRIOS

DECANO



Guatemala, julio de 1,997.

INDICE GENERAL

	Pag.
GLOSARIO	iii
INTRODUCCIÓN	iv
1 GENERALIDADES	
1.1 Centro Médico Militar	1
1.2 División de Ingeniería	8
2 VARIABLES DE DISEÑO EN EL CENTRO MEDICO MILITAR	
2.1 Serie Histórica de temperaturas y humedad	10
2.2 Análisis de las variables	14
2.3 Determinación de las variables para diseño	18
2.4 Equipos de aire acondicionado	19
2.4.1 Unidades split	25
2.4.2 Unidades chiller	29
2.4.3 Unidades tipo paquete	30
3. ANÁLISIS DE LA SITUACION ACTUAL	32
3.1 Evaluación del sistema de aire acondicionado	32
3.2 Situación del sistema de ventilación	41
3.3 Requerimientos deseables	42
4. REDISEÑO DEL SISTEMA	44
4.1 Teoría de diseño en aire acondicionado	44
4.2 Sistema de aire acondicionado	50
4.3 Sistema de ventilación forzada	65
4.4 Planos de construcción y distribución	66
CONCLUSIONES	vi
RECOMENDACIONES	vii
BIBLIOGRAFÍA	viii
ANEXO	

INDICE DE MAPAS, CUADROS, FIGURAS Y PLANOS

MAPAS:		
2.1	Red de estaciones climatológicas.....	11
2.2	Altimetría del hospital.....	15
 CUADROS:		
2.1	Listado de estaciones región central.....	12
2.2	Climatología de la estación Florinda.....	16
2.3	Climatología del Centro Médico Militar.....	17
4.1	Carga de calefacción de los recintos.....	53
4.2	Pérdida de presión del sistema.....	63
 FIGURAS:		
2.1	Sistema de calefacción hidrónico.....	20
2.2	Sistema solo aire para calefac. y enfriam....	20
2.3	Sistema combinado.....	22
2.4	Unidad acondicionadora "split".....	23
2.5	Unidad condensadora "split".....	25
2.6	Unidades "split" conectadas.....	27
2.7	Radiadores para sistema hidronico con agua caliente.....	28
2.8	Unidad "chiller".....	29
2.9	Acondicionador tipo paquete o ventana.....	31
2.10	Detalle de la unidad tipo ventana.....	31
3.3	Datos de los equipos acondicionadores.....	36
4.1	Procesos de calor sensible y calor latente...	46
4.2	Proceso combinado de calentamiento y deshumi- dificación.....	47
4.3	Formato para cálculo de carga de calefacción.	54
4.4	Formato para carga de calefacción total.....	55
 PLANOS:		
3.1	Planta, segundo nivel del hospital.....	33
3.2	Planta, ubicación de los quirófanos.....	34
4.1	Sistema hidrónico de cabezal de dos tubos con retorno directo.....	67
4.2	Planta, distribución del circuito hidrónico..	68
4.3	Planta, intercambiador, bomba, tanque.....	69
4.4	Sección, intercambiador, bomba, tanque.....	70
4.5	Elevación, tanque de compresión.....	71

GLOSARIO

ACONDICIONAMIENTO DE AIRE: tratamiento que se le da al aire, con el objeto de controlar en él, variables tales como la temperatura y la humedad.

AIRE SATURADO: es cuando el aire contiene la máxima cantidad de vapor de agua posible.

BTU: símbolo de la Unidad Térmica Británica (en inglés).

CALEFACCION: adición de calor en forma mecánica al aire, para elevar su temperatura.

CALOR: energía que se transfiere a través de una frontera, debido a una diferencia de temperatura.

CFM: por sus siglas en inglés, es el volumen en pies cúbicos movilizados por minuto.

CONFORT: confortabilidad. Sensación agradable al permanecer dentro de un recinto.

FLUIDO: dicese a la materia que tiende a fluir, los hay líquidos y gaseosos.

FLUJO RADIAL: flujo que sale en la misma dirección en que fue aspirado.

FLUJO AXIAL: flujo que es entregado en dirección perpendicular al que fue aspirado.

PUNTO DE ROCIO: indica la temperatura en la cual comienza la condensación del vapor de agua contenido en el aire.

QUIRÓFANO: sala de cirugías o sala de operaciones.

RECINTO: llámese así atodo ambiente delimitado que va a ser acondicionado. (Cuarto, sala, cocina, etc.)

SISTEMA HIDRÓNICO: sistema de acondicionamineto de aire que utiliza agua como agente útil, ya sea para enfriar o calentar el aire.

TEMPERATURA: medida del potencial térmico, debido a la acción molecular de un cuerpo.

INTRODUCCIÓN

La demanda constante de nuestra sociedad por un servicio hospitalario de calidad y económicamente accesible, motiva la creación de instituciones hospitalarias que aparte de ofrecer atención médica, brinden confortables instalaciones y buenos servicios a sus usuarios.

En el diseño del Centro Médico Militar, fueron involucrados profesionales especialistas de la ingeniería y otras ciencias, que guiados por estos preceptos dieron lo mejor de sí, con tal de satisfacer esta necesidad social; sin embargo, en la ejecución del proyecto algunas cosas dejaron de realizarse o se sustituyeron por algunas semejantes. En el caso del sistema de aire acondicionado, se dejó sin efecto la instalación del sistema de calefacción para el bloque operatorio, creyendo que no sería útil, empero el uso cotidiano e inesperado de las salas de operaciones ha demostrado lo contrario.

El aire al ser inyectado a los ambientes en los días y meses más fríos del año, se torna desagradable pues ingresa a la temperatura del aire del exterior, que generalmente está cercana a los 10 °C y lejos de la temperatura deseable para una persona que realiza o participa en una cirugía.



Por lo tanto, se requiere proveer a los quirófanos de una temperatura agradable para poderlos utilizar a cualquier hora del día; es decir, debe existir un control adecuado de la temperatura y humedad.

Para aliviar esta situación, en este trabajo se rediseña el sistema de aire acondicionado para el bloque quirúrgico y se evalúa el sistema de ventilación forzada para la unidad de tratados intensivos, con el propósito de ofrecer confortabilidad a los usuarios de estos ambientes. Con ello, se desea prestar un servicio calificado a los derecho habientes del hospital, manteniendo en perfecto estado de funcionamiento las instalaciones y equipo. Además de proporcionar a los estudiantes de Ingeniería Mecánica criterios de diseño en el área de aire acondicionado, que le puedan servir de base para aplicaciones futuras.

Los conceptos vertidos y criterios tomados en este trabajo, pueden tomarse en cuenta para tener una aplicación práctica en cualquier región del país, aunque está enfocado más para ser aplicado en las regiones central y noroccidental de Guatemala; es decir, en situaciones donde se requiera un sistema de aire acondicionado con calefacción y enfriamiento.

1,930.

En el reglamento interno redactado en 1,882, se designaba al Hospital como "Un cuerpo militar más", y no fue sino hasta 1,963 en que se inició la reorganización total del Centro Asistencial, para convertirlo desde el punto de vista teórico y científico en un verdadero Hospital Militar.

El 9 de octubre de 1,980 se conmemoró muy solemnemente el primer centenario de fundación del Hospital Militar; se le dio realce al acontecimiento organizando jornadas médicas (seminarios, conferencias, etc), actividades deportivas y culturales.

CENTRO MEDICO MILITAR: Desde 1,945, se notó de parte de las autoridades del Hospital Militar la preocupación por construir instalaciones modernas, amplias y eficientes, y abandonar las que se ocupaban por insuficientes e inadecuadas; se presentaron en su oportunidad varios proyectos, pero ninguno se llevó a ejecución, especialmente por circunstancias de tipo económico.

Sin embargo, la necesidad de tener un nuevo hospital se acrecentó a raíz del terremoto de 1,976, debido a que esta catástrofe, dañó muy severamente las instalaciones construidas en el período del Presidente Manuel Estrada Cabrera; y es por ello que se encargó a un grupo de selectos profesionales especialistas de la ingeniería, el

diseño y construcción del nuevo Hospital. El Centro Médico Militar, como se le llama actualmente, tiene un área construida de 60,000 m².; la edificación diseñada en forma de módulos consta de tres niveles todos con acceso a nivel del piso. El servicio de encamamiento tiene capacidad para 508 camas; se adquirió, para el equipamiento del nuevo hospital lo más sofisticado y moderno.

La obra se ejecutó bajo el criterio de "construcción por administración", prevaleciendo en ella la seguridad y calidad.

Los trabajos se iniciaron en marzo de 1,978, bajo la responsabilidad del Departamento de Finanzas del Ejército, toda la inversión realizada en la obra se erogó del presupuesto asignado al Ministerio de la Defensa, sin llegar a incurrir en préstamos externos ni endeudamiento interno para su culminación. No se escatimaron esfuerzos al destinar suficiente área física, calidad de materiales, diseños y cálculos basados en normas internacionales para hospitales, con el propósito de llegar a tener la infraestructura, instalaciones y equipo mejor dotados del área centroamericana.

Es por ello, que el Centro Médico Militar puede competir en materia hospitalaria con instituciones nacionales y extranjeras de mucho prestigio y lograr

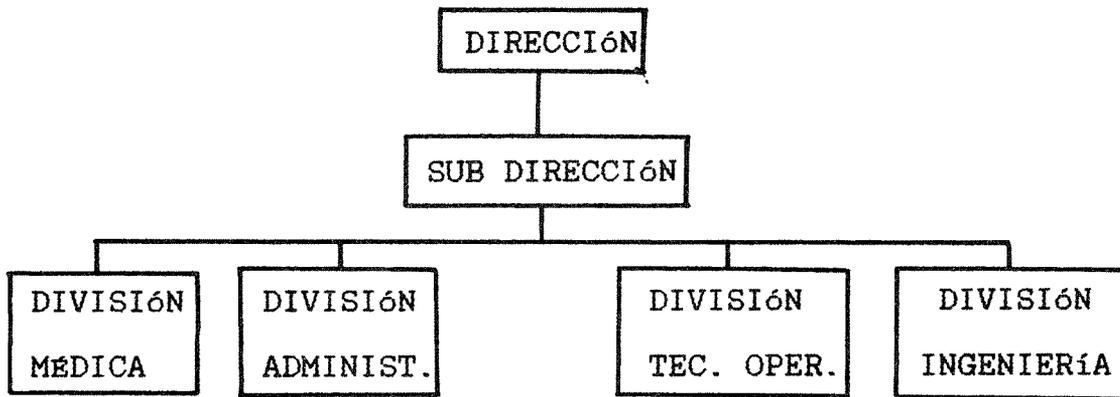
situarse en un nivel de categoría en el servicio médico.

MISIÓN: Con el fin último de enfrentar el siglo XXI con una institución médica moderna, fue creado el Centro Médico Militar, siendo su misión principal la de dotar a su población derecho habiente de una atención especializada, en un ambiente de alta tecnología apoyado en una infraestructura moderna y de larga vida útil, bajo una administración enfocada a utilizar eficientemente los recursos disponibles para brindar un servicio calificado.

ORGANIZACIÓN: El Centro Médico Militar, cuenta con una organización de tipo funcional, donde la dirección dicta los lineamientos y políticas para el buen desenvolvimiento de las cuatro Divisiones que conforman el hospital:

División médica: brinda asistencia profesional calificada a los integrantes del ejército; **División administrativa:** distribuye y optimiza los recursos financieros con los que se cuenta; **División técnica operacional:** responsable de la planificación general, de los procedimientos legales, procedimientos de enseñanza e investigación; y la última pero no menos importante, **División de ingeniería,** encargada de maximizar la disponibilidad en función del rendimiento de los recursos físicos, técnicos y de equipo.

ORGANIGRAMA GENERAL DEL CENTRO MÉDICO MILITAR



PERSPECTIVAS DE DESARROLLO: Las autoridades del Centro Médico Militar, conscientes de la importancia del rol que el hospital en proyección hacia nuestra sociedad, tanto a su población derecho-habiente, como a la población en general; a encaminado y aunado esfuerzos con el propósito de prestar un servicio calificado en atención al público y al paciente y a la vez, proyectarse positivamente hacia nuestra sociedad. Para el logro de este propósito, se han creado comités y al mismo tiempo, es miembro de otros que se han establecido a nivel nacional, como los siguientes:

CONAIMES: Comisión Nacional de Ingeniería y Mantenimiento de Establecimientos de Salud, que pretende desarrollar políticas comunes de organización y funcionamiento del

mantenimiento de los hospitales.

COMITÉ DE ACREDITACIÓN DE HOSPITALES: creado con el fin de investigar y luego cumplir con los requisitos internacionales para que el hospital sea clasificado como de primera categoría.

COMITE DE GARANTÍA DE CALIDAD: dirigido al personal laborante involucrado directa o indirectamente en la atención al paciente, con el objetivo de hacer partícipe al trabajador de la calidad de atención al paciente, permitiéndole trabajar con iniciativa y tomando en cuenta sus sugerencias.

Como parte de su proyección al pueblo, el hospital ha abierto una biblioteca al público en general; además, en él se han desarrollado jornadas médicas de gran beneficio a la población guatemalteca; ha participado activamente con el Comité Nacional de Emergencia en actividades de evacuación y atención de personas en caso de desastres.

1.2 DIVISIÓN DE INGENIERÍA

OBJETIVOS: Como parte fundamental dentro de la organización del nuevo Hospital Militar, fue creada la División de Ingeniería para cumplir con los siguientes objetivos:

Garantizar la disponibilidad del equipo, fluidos y energéticos para la atención de pacientes, preservando la instalación física en condiciones de funcionamiento económico, confiable y seguro, minimizando su deterioro.

Ser partícipe efectivo del éxito de las demás divisiones del Centro Médico Militar y recíprocamente estas coadyuven a la de Ingeniería a alcanzar la finalidad para la cual fue creada.

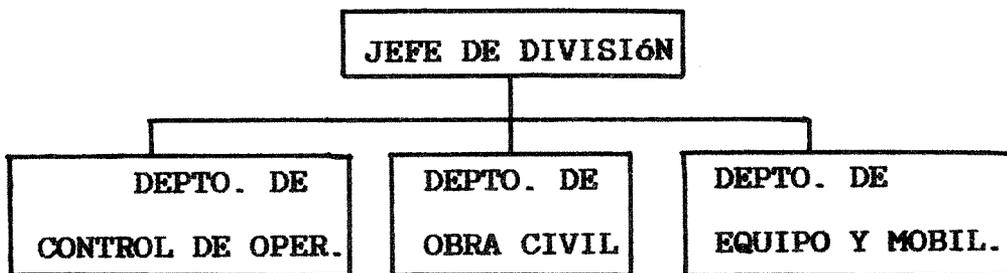
ORGANIZACIÓN: conscientes las autoridades de la importancia de la salvaguardia y buen funcionamiento de los bienes del hospital, se le ha dado la categoría de división, pretendiendo con esto que cumpla con la tarea encomendada, única y exclusivamente bajo la Dirección del Centro Médico Militar.

La organización de la División de ingeniería, está diseñada para tener la capacidad administrativa de delegar responsabilidades para adecuarse a nuevas necesidades de especialización, tomando en cuenta que el avance tecnológico de la atención médica en los últimos años y en los próximos ha sido y será sumamente

cambiante.

El logro de los objetivos se encuentra bajo la responsabilidad del Jefe de División quien traslada los lineamientos direccionales a seguir. La División de ingeniería trabaja bajo el concepto de administración por objetivos, de aquí se definen tres metas organizacionales claramente identificables, ubicándolas administrativamente como Departamentos, siendo ellos: Departamento de Planeación y Control de Operaciones, Departamento de Obra Civil y Departamento de Equipo y Mobiliario.

ORGANIGRAMA GENERAL DIVISIÓN DE INGENIERÍA



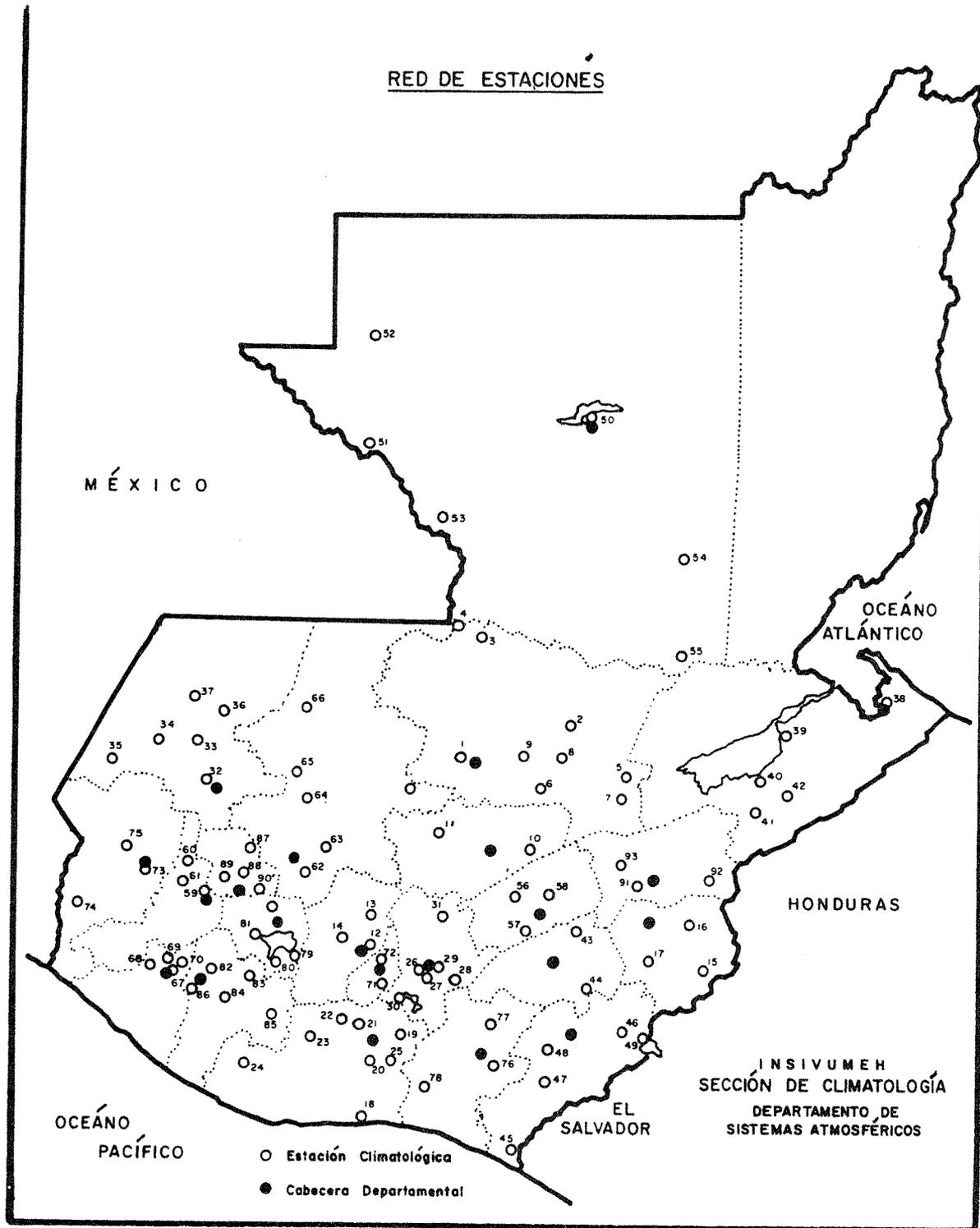
2. VARIABLES DE DISEÑO PARA EL CENTRO MEDICO MILITAR

2.1 SERIE HISTÓRICA DE TEMPERATURA Y HUMEDAD

El bloque operatorio del Centro Médico Militar, cuenta con nueve salas de operaciones las cuales tienen sistema de acondicionamiento de aire individual; el aire inyectado a las salas no satisface completamente las condiciones de confort requeridas, debido a fallas en la ejecución del proyecto original. Es por ello que se pretende determinar correctamente los factores que permitan corregir esta deficiencia.

Cuatro son los factores más importantes a controlar en el proceso de tratamiento de aire, con el fin de mantener los estándares requeridos en un ambiente interior dado. Temperatura, humedad, limpieza y movimiento son estos factores.

Conociendo de la importancia que para el acondicionamiento de aire tienen la temperatura y la humedad y de lo importante que son estas variables para el desarrollo de este trabajo, se hace necesario saber cual ha sido el comportamiento de estas durante los últimos diez años.

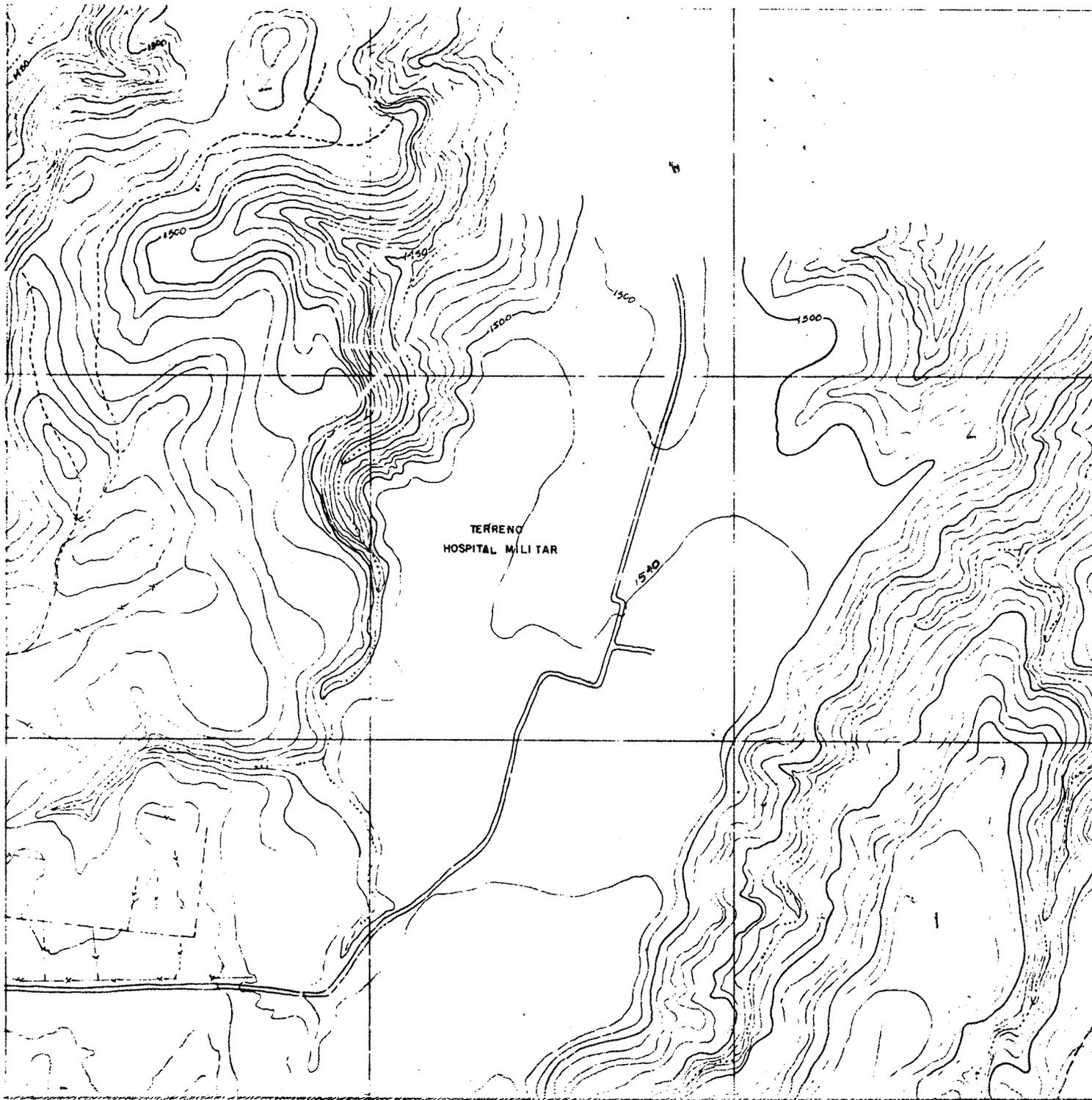


Mapa 2.1 Red de Estaciones Climatológicas

INSIVUMEH
SECCIÓN DE CLIMATOLOGÍA

DEPARTAMENTO	No.	CLAVE	NOMBRE	MUNICIPIO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
CHIMALTENANGO	1	3.1.2	Alameda (ICTA)	Chimaltenango	14°48'12"	90°48'12"	1766 msnm
	2	3.11.1	San Martín Jilotep	San Martín Jilotep.	14°46'43"	90°47'19"	1800
	3	3.14.1	Sta. Cruz Balanyá	Sta. Cruz Balanyá	14°41'12"	90°54'55"	2080
GUATEMALA	4	6.1.0	Insivumeh	Guatemala	14°35'11"	90°31'58"	1502
	5	6.1.32	Radio-sonda	Guatemala	14°34'16"	90°31'58"	1490
	6	6.9.3	La Soledad	San José Pinula	14°30'10"	90°23'50"	1650
	7	6.1.17	Florinda	Guatemala	14°38'12"	90°29'35"	1470
	8	6.2.3	Jardín Mil Flores	Amatitlán	14°28'12"	90°37'45"	1189
	9	6.12.1	San Pedro Ayampuc	San Pedro Ayampuc	14°46'35"	90°27'17"	1200
ESCUINTLA	10	5.8.5	Aeropuerto	Puerto San José	13°56'10"	90°50'04"	0006
	11	5.7.3	Palín	Palín	14°23'58"	90°41'48"	1120
	12	5.1.17	Chupadero	Escuintla	14°16'07"	90°47'33"	0270
	13	5.1.14	Sabana Grande	Escuintla	14°22'03"	90°49'48"	0730
	14	5.1.9	San Andrés Osuna	Escuintla	14°22'20"	90°55'00"	0730
	15	5.10.8	Camantulul	Sta. Lucía Cotz.	14°19'30"	90°03'03"	0280
	16	5.12.8	Tiguicate	Tiguicate	14°17'10"	91°22'21"	0070
17	5.1.18	Los Azacuanes	Escuintla	14°12'13"	90°43'13"	0120	

Cuadro 2.1 Listado de estaciones climatológicas en la región central.



Mapa 2.2 Altimetría del hospital

INSIVUMEH
SECCIÓN DE CLIMATOLOGÍA

DEPARTAMENTO: Guatemala MUNICIPIO: Guatemala NOMBRE DE ESTACION: Florida
 COD. DE ESTACION: 060117 ALTITUD: 1470 PERIODO DE REGISTRO: 1,985-1,995

PARAMETRO MES	TEMPERATURAS °C		PRECIPIT MILIMETROS	BRILLO SOLAR TOTAL/HORAS	HUMED. REL.	VEL. VIENTO Kms/h	EVAPORACION Milímetros	
	MAX	MIN						
ENERO	23.3	9.8	16.5	003.0	252.0	74	22.1	117.6
FEBRERO	24.1	12.2	17.4	003.6	227.5	72	20.7	132.1
MARZO	26.3	13.3	18.7	009.3	251.2	71	19.3	167.7
ABRIL	27.2	14.7	19.8	020.2	223.6	73	18.0	155.0
MAYO	26.8	15.6	20.0	125.8	195.6	77	14.8	134.8
JUNIO	24.6	15.7	19.0	249.5	148.0	84	13.4	097.3
JULIO	23.8	15.3	18.9	192.1	166.9	81	17.0	117.8
AGOSTO	24.6	15.2	18.9	183.8	188.5	81	15.6	104.0
SEPTIEMBRE	24.1	15.3	18.5	248.0	144.2	85	12.5	091.9
OCTUBRE	23.5	14.8	18.2	133.6	176.7	83	16.5	100.8
NOVIEMBRE	22.6	13.2	17.3	020.7	212.9	79	20.9	108.1
DICIEMBRE	22.9	12.3	16.8	007.2	235.8	76	21.5	114.9
ANUAL	24.5	14.0	18.3	1196.8	203.6	78	17.7	120.2

Cuadro 2.2 Climatología de la Estación Florida

**INSIVUMEH
SECCIÓN DE CLIMATOLOGÍA**

DEPARTAMENTO: Guatemala MUNICIPIO: Guatemala NOMBRE DE ESTACION: 1,985-1,995
 COD. DE ESTACION: ALTITUD: 1520 PERIODO DE REGISTRO:

PARAMETRO MES	TEMPERATURAS °C		PRECIPIT MILIMETROS	BRILLO SOLAR TOTAL/HORAS	HUMED. REL.	VEL. VIENTO Kms/h	EVAPORACION Milímetros
	MAX	MIN					
ENERO	22.9	9.4	003.0	252.0	74	22.1	117.6
FEBRERO	23.7	11.8	003.6	227.5	72	20.7	132.1
MARZO	25.9	12.9	009.3	251.2	71	19.3	167.7
ABRIL	26.8	14.3	020.2	223.6	73	18.0	155.0
MAYO	26.4	15.2	125.8	195.6	77	14.8	134.8
JUNIO	24.2	15.3	249.5	148.0	84	13.4	097.3
JULIO	23.4	14.9	192.1	186.9	81	17.0	117.8
AGOSTO	24.2	14.8	183.8	188.5	81	15.6	104.0
SEPTIEMBRE	23.7	14.9	248.0	144.2	85	12.5	091.9
OCTUBRE	23.1	14.4	133.6	176.7	83	16.5	100.8
NOVIEMBRE	22.2	12.8	020.7	212.9	79	20.9	108.1
DICIEMBRE	22.5	11.9	007.2	235.8	76	21.5	114.9
ANUAL	24.1	13.6	1196.8	203.6	78	17.7	120.2

Cuadro 2.3 Climatología del Centro Médico Militar

Las temperaturas mínimas se registran en horas de la mañana (06:00 - 08:00 hrs) y es en enero cuando más bajo es el valor de la temperatura (9.8 °C), sin embargo este valor no es muy extremo comparado con la temperatura mínima de los restantes meses, se puede decir entonces que el valor promedio anual de la temperatura mínima es de 14.0 °C.

En abril, se registra la temperatura máxima anual (27.2°C) y la temperatura promedio anual es de 24.5°C. Comparando las temperaturas promedio máxima y mínima, observamos que la diferencia es de 10.5 °C, la cual es relativamente pequeña en comparación a la que se registra en otros países.

La humedad relativa promedio anual se mantiene en 84% durante los meses lluviosos y en 72% en los meses secos.

2.3 DETERMINACIÓN DE VARIABLES PARA CONDICIONES DE DISEÑO

Para las condiciones exteriores de diseño, respecto a la temperatura existen varios criterios en los cuales debe basarse el valor apropiado, por ejemplo Allen³ y Jenning & Lewis⁴, recomiendan que la temperatura de proyecto no debe ser la extrema del exterior ya que ésta

³ Obra No. 1 de la bibliografía

⁴ Obra No. 5 de la bibliografía

solo permanece algunas horas durante el año, en cambio aconsejan el promedio de temperatura máxima y de acuerdo al cuadro 2.3 el valor tabulado es de 24.5°C, en tanto que la humedad relativa (la humedad relativa es la relación de presión de vapor de agua contenida en el aire, respecto a la presión de vapor de agua, si el aire estuviera saturado a la misma temperatura) que es una consecuencia directa de la evaporación, precipitación, temperatura y otros factores; no varía demasiado durante el año en la ciudad de Guatemala y los valores fluctúan entre 74 y 82 %. Para las condiciones de proyecto se toma el valor promedio de la humedad relativa anual tabulado en el cuadro 2.2. En resumen los valores para condiciones de proyecto para el área que ocupa el hospital son:

Temperatura: 24.5 °C

Humedad relativa: 78 %

Vale la pena, sin embargo recordar que lo que se diseñará aquí, es el sistema de calefacción, por lo tanto los datos anteriores, corresponden al diseño de un sistema de aire acondicionado.

2.4 EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO

Un equipo de acondicionamiento de aire, debe ser capaz de proporcionar un ambiente de confortabilidad a

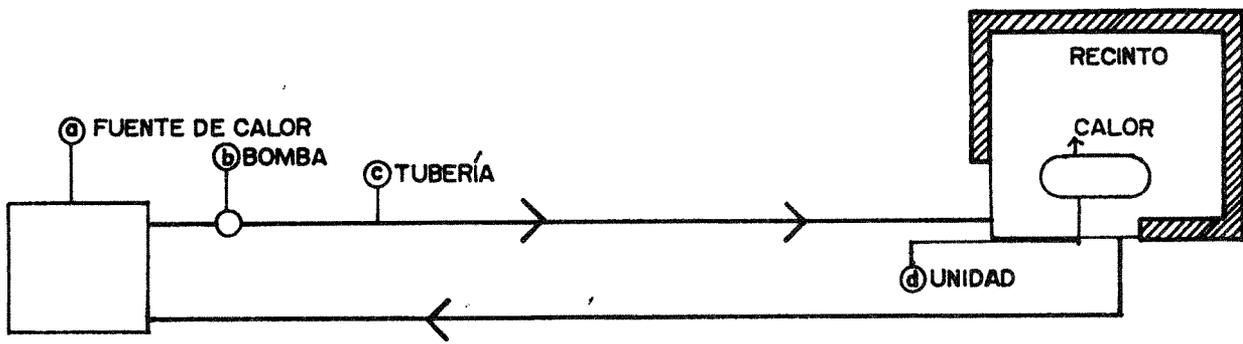


FIG. 2.1 SISTEMA DE CALEFACCIÓN HIDRÓNICO

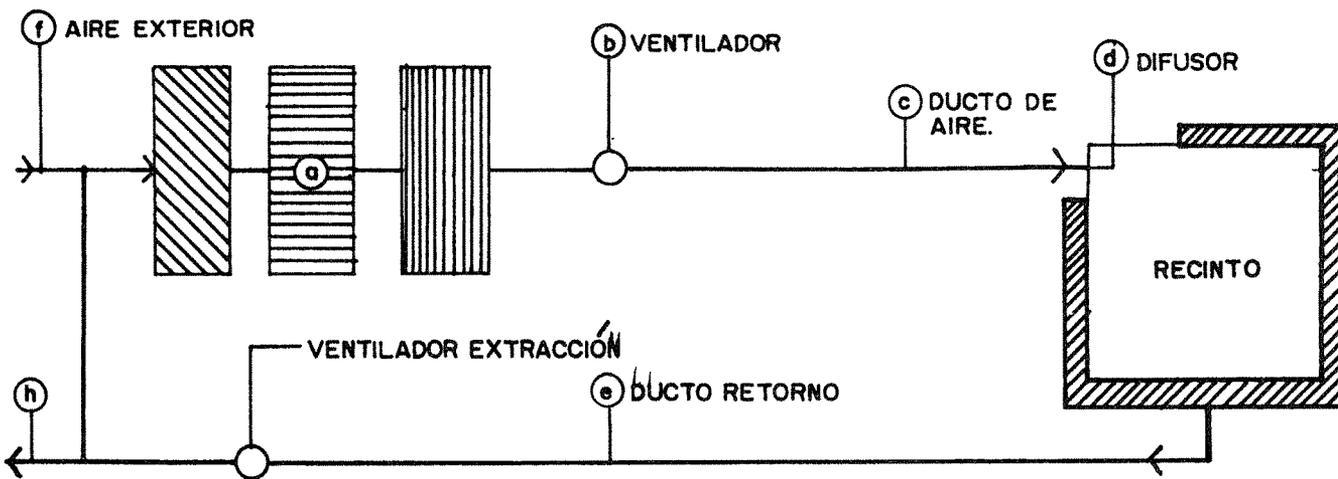
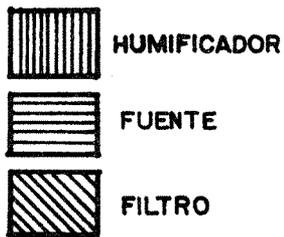


FIG. 2.2 SISTEMA SOLO AIRE, PARA CALEFACCIÓN Y ENFRIAMIENTO.



los ocupantes de un recinto, durante todo el año. Por eso proporciona calor en los meses fríos, esto lo consigue mediante un sistema de calefacción, y durante los meses cálidos elimina el exceso de calor, esto se realiza por medio de un sistema de enfriamiento.

Por lo tanto un equipo para aire acondicionado puede contar con uno de estos sistemas o con ambos, esto depende tanto del clima existente en el lugar, como a la aplicación, puesto que puede usarse para procurar la comodidad de las personas que ocupan un ambiente, o personas que realizan una actividad física dentro de un recinto, como para procesos industriales de fabricación. Existen pues, una gran variedad de equipos acondicionadores de aire, que difieren en tamaño y fabricación; pero, desde el punto de vista de funcionamiento todos se basan en los mismos principios básicos.

En nuestro país, se puede adquirir cualquier tipo de equipo de aire acondicionado, desde unidades integradas para ventana, hasta las enormes unidades acondicionadoras que manejan grandes volúmenes de aire. La selección de un equipo para aire acondicionado, dependerá básicamente del tipo de aplicación a que se destinará y del volumen de aire que manejará.

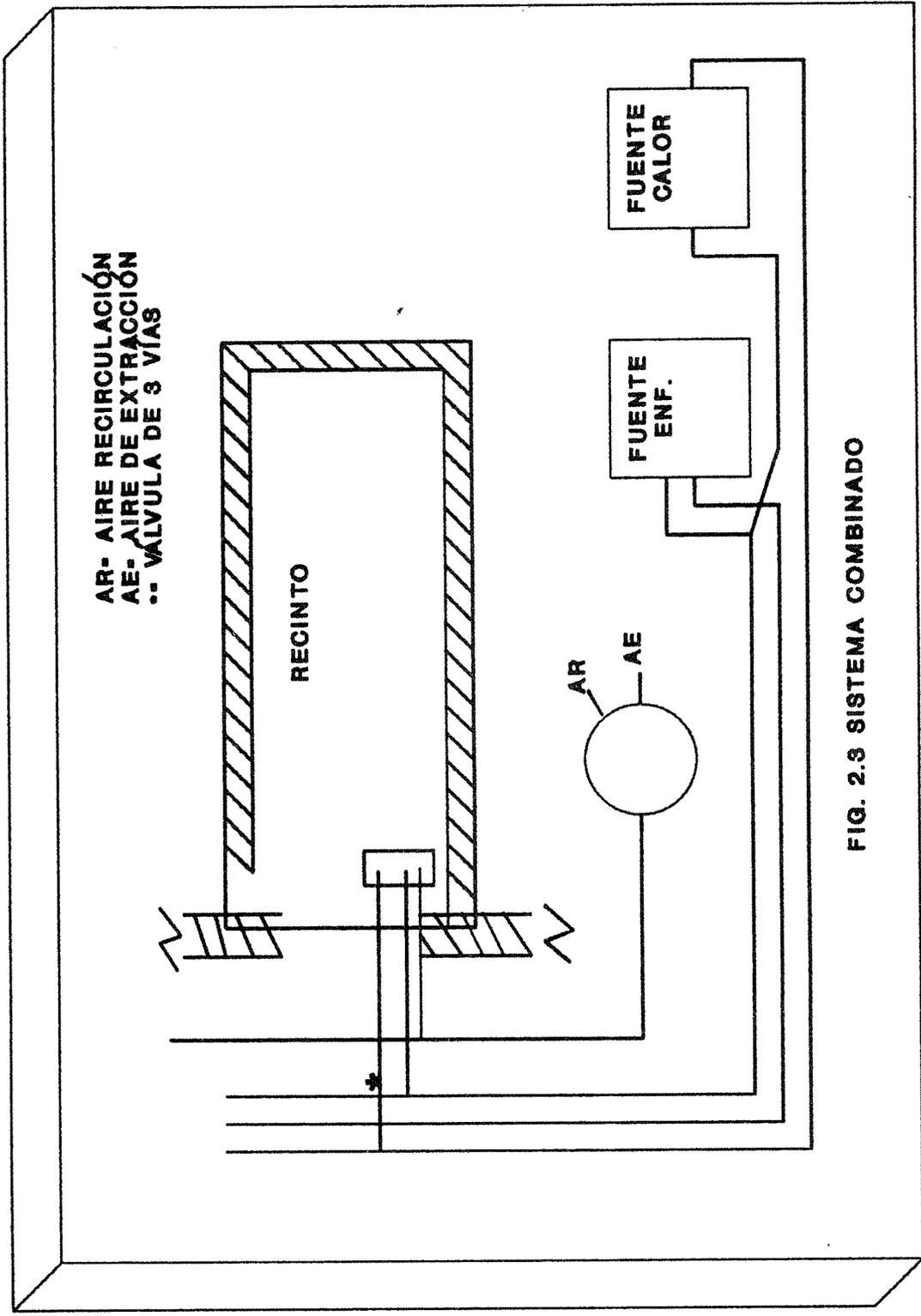


FIG. 2.3 SISTEMA COMBINADO

SISTEMAS DE ACONDICIONAMIENTO

Un sistema de aire acondicionado establece la forma en que se acondiciona el aire; en tal sentido existe una clasificación de estos sistemas, atendiendo al tipo de fluido que utiliza para la calefacción o enfriamiento del aire. Los que utilizan agua como fluido de calefacción o enfriamiento se les denomina sistemas **hidrónicos**, los que usan aire se llaman de **solo aire** y los que emplean aire y agua se les llama sistema **combinado**.

Un ejemplo de un sistema hidrónico de calefacción se muestra en la figura 2.1. De la fuente de calor (a) que puede ser una caldera, sale el agua caliente que se hace circular por una bomba (b), es conducido por tubería (c),

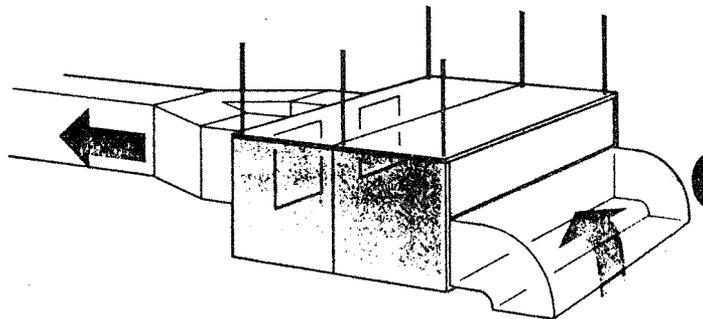


Fig. 2.4 Unidad acondicionadora "Split"

a la unidad acondicionadora (d) y de esta manera entrega su calor al recinto o zona acondicionada y por tubería es enviada nuevamente a la fuente, para iniciar otra vez el ciclo.

Un sistema solo aire, es como el que se ilustra en la figura 2.2. El aire pasa por la fuente (a) de calefacción o enfriamiento, luego es impulsado por un ventilador (b) y viaja por los ductos (c), para entrar al recinto por los difusores (d). Por las rejillas de extracción y por los ductos de retorno (e) regresa a la fuente, para su recirculación. Los cambios de aire, se logran al tomar aire del exterior (f) y el aire viciado es expulsado por los ductos de escape (h).

Al combinar los sistemas hidrónico y solo aire, se persigue ocupar el menor espacio posible para la colocación de las unidades acondicionadoras. En tal sentido, la fuente de calefacción o enfriamiento es el agua, que circula por serpentines en un sistema solo aire. Esto se aprecia en la figura 2.3, donde se ilustra el sistema combinado.

Existen también, equipos acondicionadores de aire, esto es, la apariencia física y la estructura interna de los aparatos, los aspectos físicos dependen tanto del fabricante, como del sistema (hidrónico, solo aire, combinado) en que se basa su funcionamiento.

EQUIPOS DE ACONDICIONAMIENTO

De los equipos acondicionadores de aire se establece una clasificación, atendiendo al tipo de instalación, en tres grupos y estos son:

- Unidades "Split"
- Unidades "Chiller"
- Unidades tipo paquete

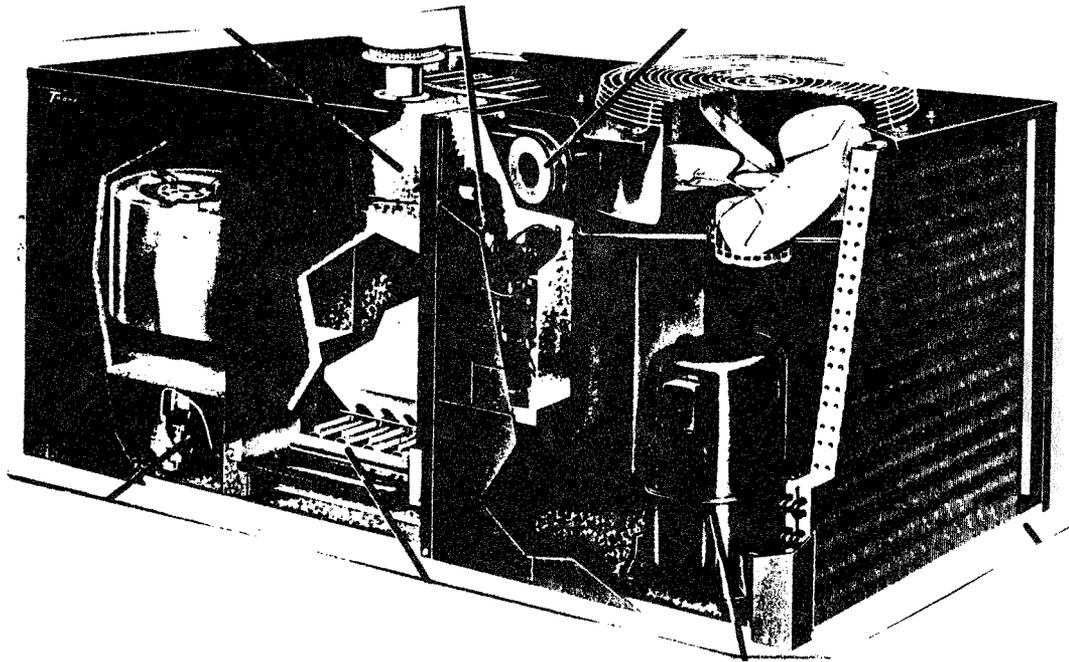


Fig. 2.5 Unidad condensadora "Split"

2.4.1 UNIDADES SPLIT

0 unidades acondicionadoras. Reciben este nombre, los equipos que tienen elementos (acondicionador, condensador) separados que en forma individual, cumplen

una función específica dentro del proceso de acondicionamiento de aire, están diseñados y contruirdos del tal forma que puedan conectarse muy fácil y rápidamente entre sí y a la red de conductos.

"Split", es el nombre de un modelo comercial de acondicionadores de aire, sin embargo, por haberse popularizado su uso, es común oír que se designa con el nombre de "Split" a las **Unidades acondicionadoras**.

Un equipo "Split", consta de dos unidades contruirdas en forma de compactos que facilitan enormemente su montaje y estas son:

- Unidad acondicionadora
- Unidad de condensación

La unidad acondicionadora "Split", consta generalmente (salvo variantes que caracterizan a cada producto de distinta fabricación) de: evaporador, filtro, ventilador y motor. La tarea de esta unidad es succionar el aire del exterior, haciéndolo pasar por los filtros y el evaporador, luego inyectarlo al recinto; esta parte de la tarea la realiza el ventilador, que es su vez movido por el motor. Los filtros se encargan de la limpieza y purificación del aire, en tanto que el evaporador absorbe el calor contenido en el aire, haciendo que el vapor de agua disperso en el aire se condense controlando de esta forma la humedad relativa.

La unidad acondicionadora del modelo "Split" se ilustra en la figura 2.4.

El fluido frigorífico en forma líquida entra al evaporador, y conforme circula por él, gana calor del exterior y se convierte en gas, en esta forma sale del evaporador y se dirige hacia la unidad de condensación, donde el compresor se encarga de elevarle la presión y la temperatura, es enviado luego al condensador donde se licua o condensa e inicia otra vez el ciclo. La unidad de condensación consta pues, de un compresor hermético, un condensador enfriado por aire, carga de refrigerante y aceite anticongelante. La figura 2.5, nos muestra la unidad de condensación "Split", con sus partes más importantes.

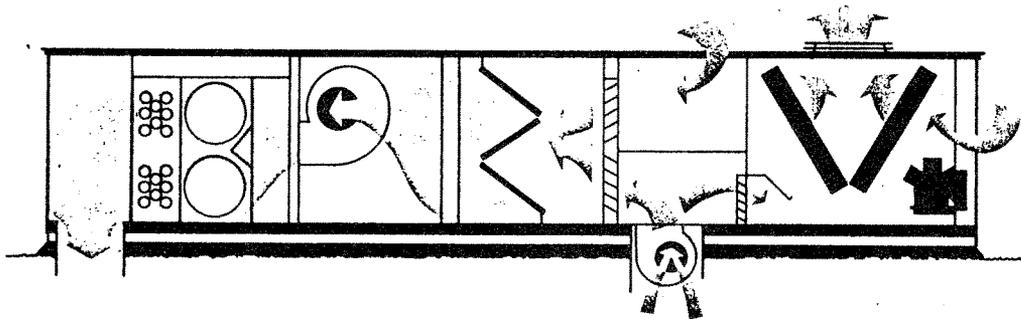
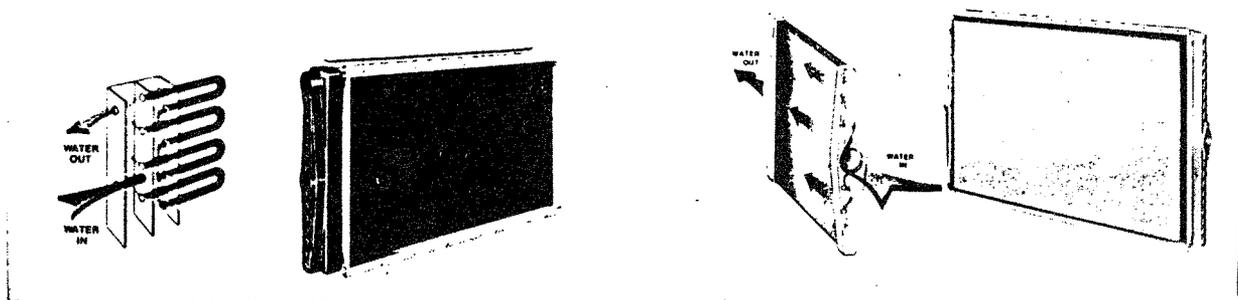


Fig. 2.6 Unidades Split conectadas

Las unidades de condensación y acondicionamiento "Split", conectadas entre sí, se pueden apreciar en la figura 2.6. De este tipo de equipo se pueden conseguir para capacidades que van desde 7 hasta 38 kfrigorias/h. Adicionalmente la unidad acondicionadora puede ser provista de elementos para calefacción o enfriamiento (fig. 2.7), estos pueden ser: resistencia eléctrica, circuitos de agua caliente o vapor a baja presión, o circuito de agua fría.

La aplicación que puede darse a estos equipos es muy amplia, va desde el acondicionamiento de un ambiente en particular, hasta el acondicionamiento de varios ambientes, como es el caso de oficinas, empleándose en ambos casos un sistema de ductos, para la inyección, extracción, circulación y tratamiento del aire.



**Fig. 2.7 Radiadores para sistema hidrónico con
agua caliente**

2.4.2 UNIDADES CHILLER

Cuando se desean acondicionar ambientes de un solo volumen, sobre todo si se trata de volúmenes grandes, tales como auditorios, salas, iglesias, se emplean las unidades Chiller. La característica de este equipo es la forma en que acondiciona el aire. El aire, previo a ser entregado al recinto se hace circular por un equipo "Chiller", donde también circula agua y que sin mezclarse, el aire es calentado (si circula agua caliente), o enfriado (si circula agua fría), mediante el intercambio de calor entre los dos fluidos, como se aprecia en la figura 2.8.

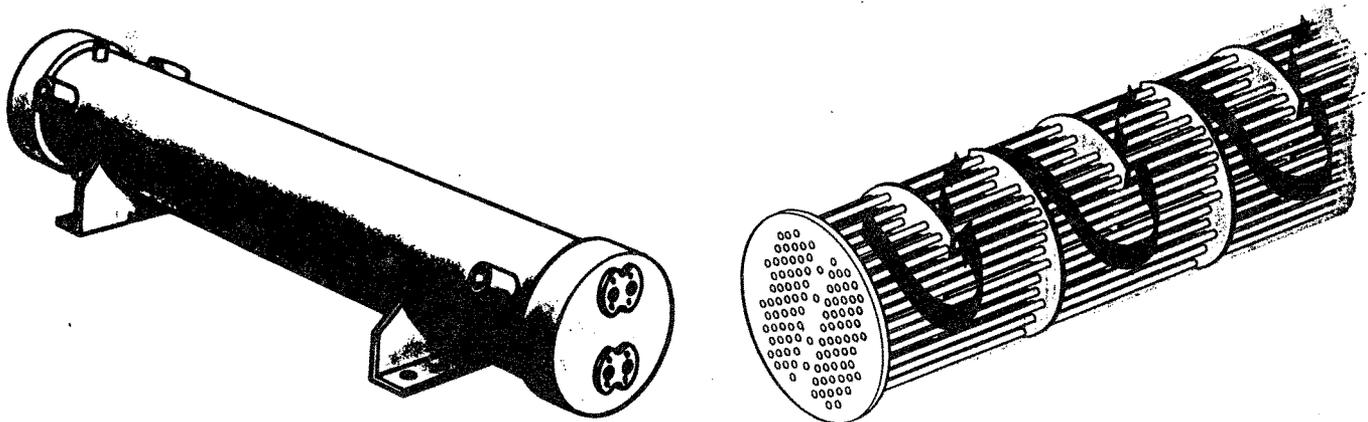


Fig. 2.8 Unidad "Chiller"

Al igual que en las unidades "Split", en las "Chiller" se logra hacer recircular el aire. Desde la

cámara de tratamiento, el aire viaja por los ductos y por medio de las rejillas de expulsión es entregado a la zona acondicionada; por otro sistema de rejillas el aire es retornado por ductos hacia la cámara de tratamiento para su recirculación.

2.4.3 UNIDADES TIPO PAQUETE

Este tipo de acondicionador de aire, llamado autónomo o individual, conforma un solo conjunto, es decir, que sus elementos están integrados dentro de una consola. Se utiliza mucho cuando se desea acondicionar un solo ambiente (habitación, despacho, sala, etc.), ya que generalmente es capaz de hacer circular, limpiar y enfriar el aire y en algunos casos puede incluir elementos para la calefacción y ventilación.

Diseñado especialmente para ser instalado a través de una pared o una ventana (Fig. 2.9), estas unidades consisten básicamente en: un compresor, un condensador, un evaporador, un motor-ventilador y viene además provisto de un sistema de control que automatiza el funcionamiento de las unidades tipo paquete; la característica especial del acondicionador autónomo es que no hace uso de conductos para transportar el aire, ya que el aire del exterior pasa directamente de la unidad al ambiente a acondicionar.

Un detalle de este equipo, se aprecia en la figura 2.10, con las principales elementos que conforman un equipo autónomo acondicionador de aire, del tipo ventana.

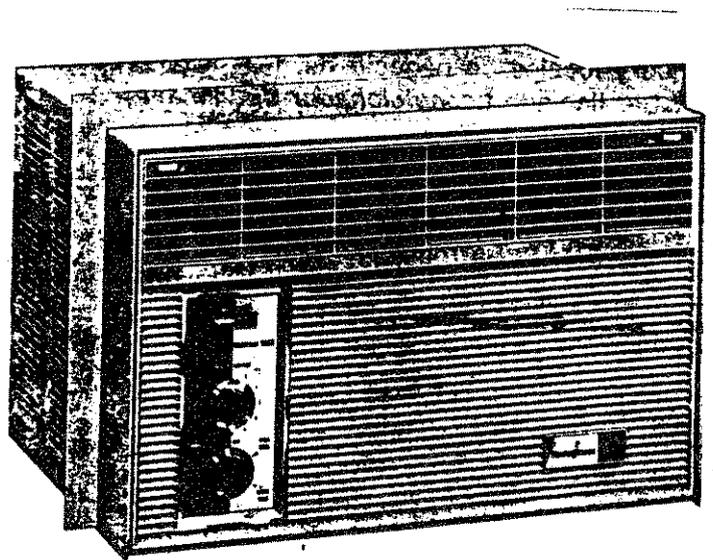


Fig. 2.9 Acondicionador tipo paquete o ventana

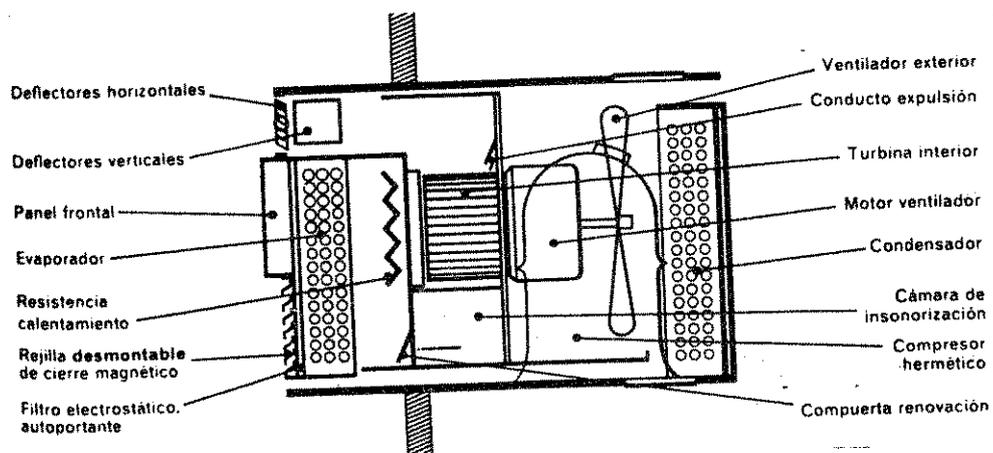


Fig. 2.10 Detalle de la unidad tipo ventana

3. ANALISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

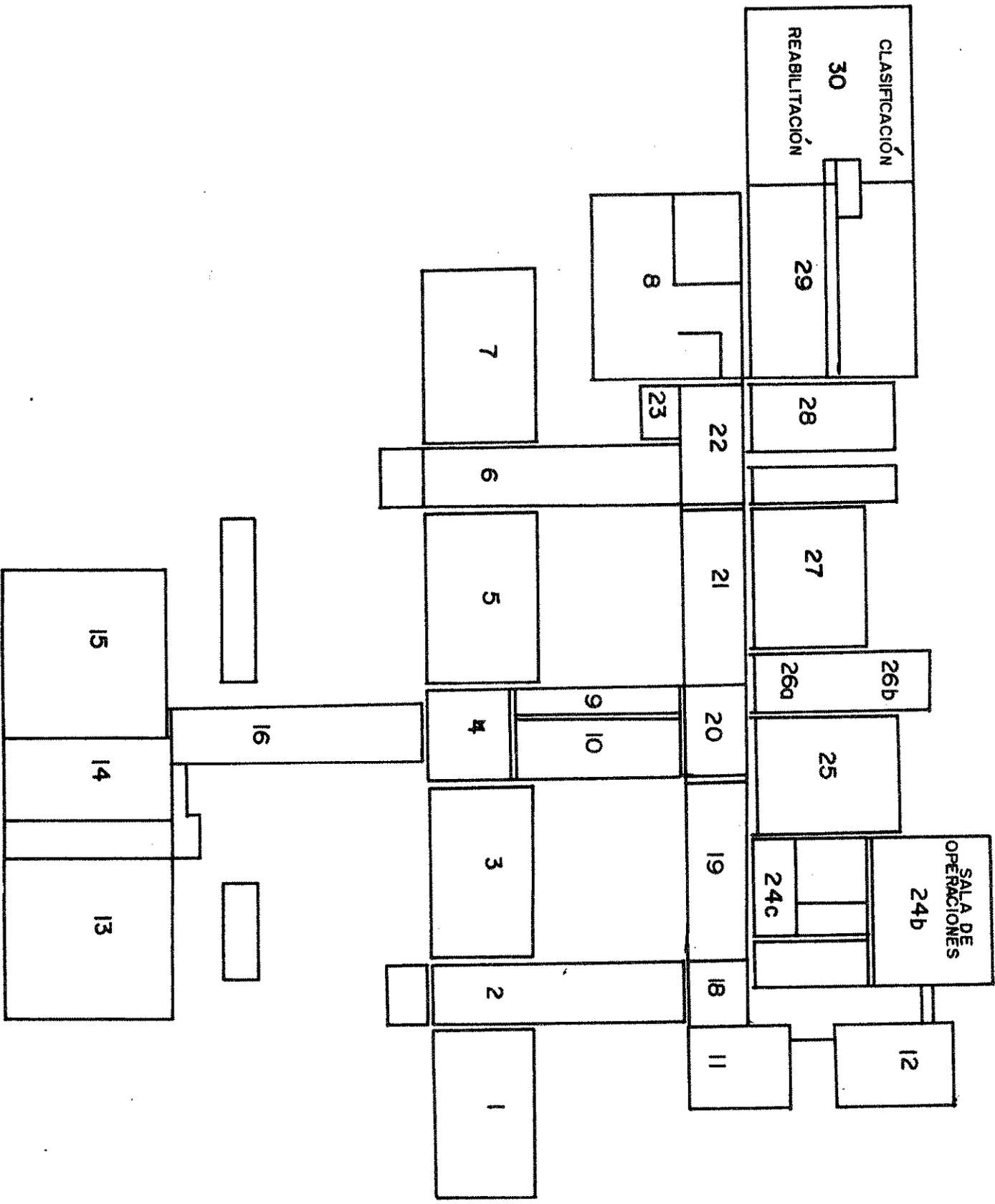
3.1 EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO

Es importante, analizar pormenorizadamente, desde el punto de vista funcional, el sistema de aire acondicionado, antes de considerar el rediseño del sistema, para con ello, se necesita conocer la problemática y poder así plantear las soluciones y desarrollar la forma de mejorar el sistema.

Los equipos adquiridos por el Centro Médico Militar, para el acondicionamiento de aire de las salas de operaciones, son del tipo "Split". Un equipo completo (acondicionador y condensador) acondiciona únicamente a un quirófano, es decir se cuenta con un equipo de acondicionamiento de aire por cada quirófano.

La ubicación de los quirófanos, se muestra en la figura 3.2. Todos están ubicados en el segundo nivel (fig. 3.1) del edificio 24 B, contiguo a la unidad de tratados intensivos, en el mismo plano donde está el servicio de emergencia y además, los quirófanos están accesibles desde todos los encamamientos.

Existe un equipo de aire acondicionado adicional, para los pasillos y vestidores del bloque operatorio. En

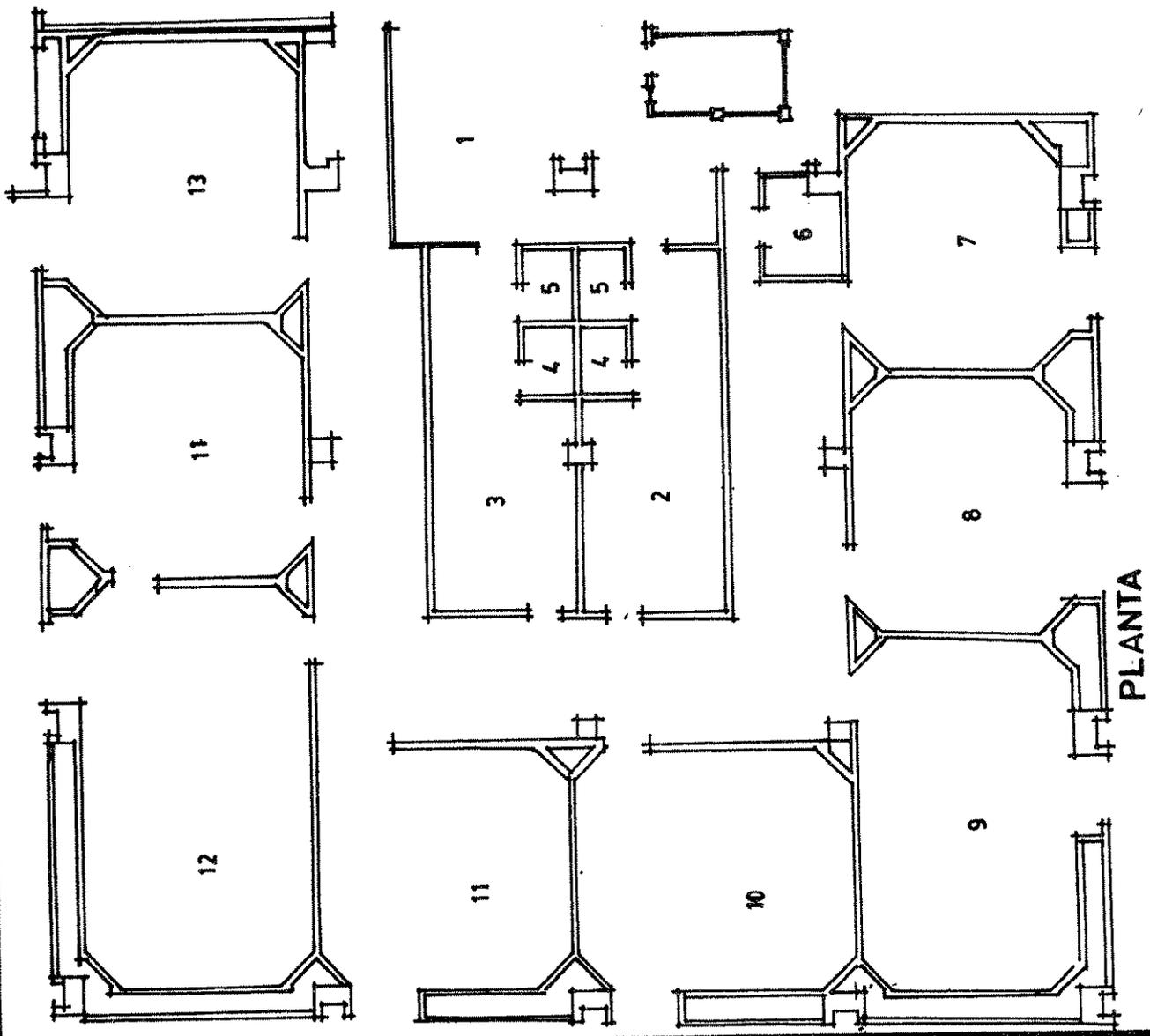


CENTRO MEDICO MILITAR

NIVEL 2

E. 24b NIVEL 2

NOMENCLATURA.	
No	AMBIENTES.
1	Descanso médico y enfermeras
2	Vestidor enfermeras.
3	Vestidor médicos.
4	Duchas.
5	S.S.
6	Aseo.
7	Sala operaciones Endoscopia.
8	S. operaciones Ginecología y Ped.
9	S. operaciones Traumatología y yeso
10	S. operaciones Ortopedia y Reconsti
11	S. operaciones General.
12	S. operaciones Cardiovascular.
13	S. operaciones Neurología y oftalmc



este bloque están instalados equipos de tres capacidades diferentes, puesto que los recintos que acondicionan difieren en volumen. Sin embargo, todos los equipos pertenecen a la serie "Split" y por consiguiente tienen igual forma de funcionamiento.

Para los quirófanos # (1,2,4,5,7 y 8) las unidades acondicionadoras o manejadoras de aire, tienen una capacidad de movilizar 2,198 cfm de aire; y la unidad condensadora una capacidad de 2 a 5 toneladas de refrigeración. Estos datos y los correspondientes a los restantes quirófanos, se enlistan en el cuadro 3.1

La figura 3.3, ilustra la unidad condensadora "Split", marca Trane instaladas en el hospital de 5 toneladas de capacidad, mismas que acondicionan los quirófanos 1,2,4,5,7,8.

En la Unidad acondicionadora o manejadora de aire, como se aprecia en la figura 3.4, va incorporado un sistema hidrónico, para el acondicionamiento de aire. Este sistema, por el que circularía agua caliente, proporcionaría calefacción a los recintos descritos, durante las horas más frías del día, lo mismo que en los meses más fríos del año. Esto manejado a voluntad desde los mismos recintos, mediante el manipuleo de un control de temperatura.

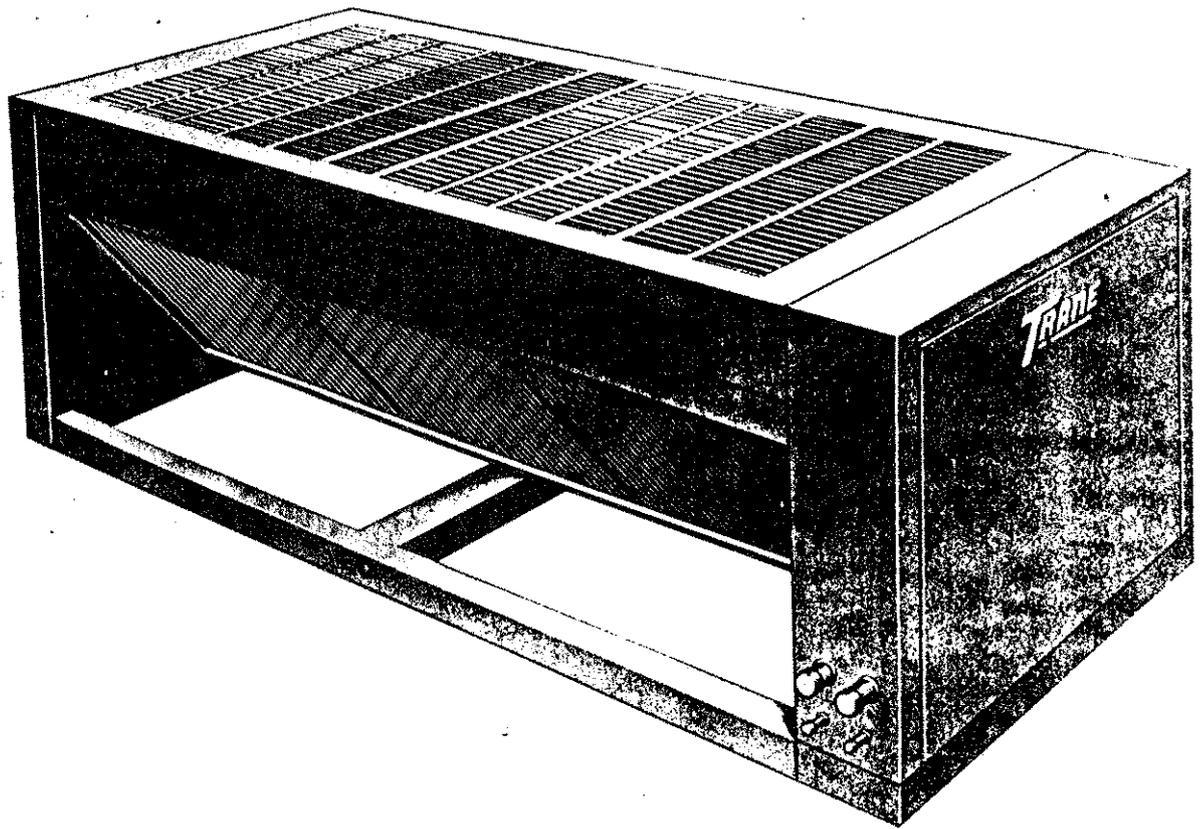


Fig. 3.3 Unidad condensadora instalada en el hospital

SALA #	MANEJADORA DE AIRE		UNIDAD DE CONDENSACIÓN	
	VENTILADOR	CFM	COMPRESOR	CONDENSADOR
1,2	3 HP	2198	5 TONS	MOTOR 1/4 HP
4,5	3 HP	2198	5 TONS	MOTOR 1/4 HP
7,8	3 HP	2198	5 TONS	MOTOR 1/4 HP
3,6	5 HP	3139	6.2 TONS	2 MOT. 3/4 HP
PASILLOS	20 HP	15088	25 TONS	3 MOT. 1 HP

Cuadro 3.1 Datos de los equipos acondicionadores

El análisis de la situación del aire acondicionado suministrado a los quirófanos, se hará con base en la descripción del equipo, especificaciones del fabricante y principalmente de los cuatro factores, que controlan el proceso de tratamiento de aire mencionados con anterioridad.

TEMPERATURA: En las horas más frías del día, que generalmente se registran en los meses más fríos del año (octubre-febrero), la temperatura del aire del exterior, alcanza un valor entre 10 y 12°C, según lo que se puede apreciar en el cuadro 2.3; estos valores, de acuerdo a los estándares de confort de temperatura para este tipo de recintos, no brindan un ambiente agradable a los ocupantes de una sala de operaciones. Dado esto, se necesita procurar a los ocupantes de los quirófanos, un sistema de calefacción, que ofrezca la temperatura que los ocupantes consideren adecuada, para desarrollar eficiente y confortablemente sus labores.

En el diseño original, para el suministro de aire del Centro Médico Militar, se contempló emplear un sistema hidrónico con agua caliente, para la calefacción del aire, y contrarrestar así, la falta de calor durante las horas frías del día. De este modo se adquirieron los equipos apropiados para este fin, pero en la ejecución del proyecto, se prefirió utilizar resistencias

eléctricas, para cumplir con la función de calentar el aire; se llegó a esta decisión, debido a que resultaba, en apariencia, mucho más económico el empleo de resistencias eléctricas, en lugar del sistema de calefacción a base de agua caliente.

Con el correr del tiempo y el uso diario del sistema de calefacción, se llegó a comprobar, que la elección que se hizo al preferir emplear resistencias eléctricas que agua caliente, no fue precisamente la mejor.

Las resistencias eléctricas, aún cuando son de la capacidad necesaria para calentar el aire, presentan el inconveniente, que no todas son variables, sino que las instaladas en su mayoría son resistencias fijas, por lo tanto estas últimas entregan un poder calorífico fijo; y lo que realmente se requiere en este caso es tener resistencias variables, para que caliente el aire conforme a la temperatura que se requiere en el recinto al accionar el control de temperatura.

Además, a la larga el costo del consumo de energía es mayor al emplear resistencias eléctricas, comparativamente con el costo que representaría el empleo de agua caliente, debido a que es un recurso que no se desecha completamente, sino que recircularía entregando únicamente su calor. También es necesario mencionar que no se necesitaría de una fuente adicional

de calor, puesto que la caldera instalada en el hospital y que sirve para otros procesos, serviría también para calentar el agua, la caldera está suficientemente capacitada para soportar la carga adicional que representaría calentar el agua para el sistema de calefacción propuesto.

En resumen, el sistema de calefacción instalado a base de resistencias eléctricas, no funciona eficientemente, por lo que en el capítulo siguiente se propone y se diseña un sistema de calefacción hidrónico con agua caliente.

HUMEDAD: En lo concerniente con la humedad relativa, se puede decir que en el sistema instalado, se tiene el mismo problema que se tiene con la temperatura, considerando, que la regulación de la humedad relativa, va directamente relacionada con la variación de la temperatura.

Dado que se tiene problemas en el control de la temperatura, cuando se requiere calefacción, igualmente se tiene problema con el control de la humedad relativa que penetra a los quirófanos. La humedad excesiva, puede llegar a ser molesta para personas que tienen problemas broncopulmonares, el asma por ejemplo, por eso es necesario mantenerla entre ciertos límites.

LIMPIEZA: La limpieza del aire que penetra a los quirófanos o salas de operaciones, como se supone, requiere que tenga los estándares de limpieza más altos posibles, por los procedimientos quirúrgicos que allí se practican.

En tal sentido, se instalaron cuatro tramos de filtros de aire a lo largo del ducto, para cumplir con la misión de limpiar el aire. Primero y a la entrada del aire del exterior, se colocaron filtros a base de metal, para atrapar basura y partículas grandes especialmente; después de estos filtros y antes del sistema de enfriamiento o calefacción, se colocaron filtros de bolsa de tela de algodón, con el objeto que atrapen partículas más pequeñas que pudieran escapar de los primeros filtros, como el polvo por ejemplo.

En la misma dirección y después de la manejadora de aire y del sistema térmico, está un último tramo de filtros de bolsa próximo a la inyección del aire ya tratado a los recintos. El aire ya utilizado, es extraído y antes de ser entregado al ambiente, es pasado por un sistema de filtros, para retener partículas que pudieran estar infectadas y limpiar de esta manera el aire ya viciado.

MOVIMIENTO: En cuanto al movimiento del aire, se hace recircular un porcentaje del aire, es decir que no todo

el aire que entra es expulsado completamente al exterior. En estas condiciones, se puede decir que se dan cinco cambios completos de aire por minuto.

No es conveniente recircular la totalidad del aire, puesto que este se tornaría pesado para los ocupantes, debido a que estaría muy viciado.

3.2 SITUACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN

Para el servicio del intensivo, está instalado un sistema de ventilación forzada, compuesto por un ventilador extractor y un ventilador que inyecta aire a los espacios ventilados. Son ventiladores centrífugos.

Los ventiladores se clasifican en dos grandes grupos: **centrífugos**: impulsan el aire a lo largo del eje del ventilador, y luego es desviado y entregado en forma radial respecto al eje, y **de flujo axial**: en este tipo de ventiladores, el aire se impulsa a lo largo del eje del ventilador y sale en la misma dirección.

Se hace uso de la ventilación durante el día en horas de calor, no así cuando en el exterior la temperatura está entre los 10 y 18°C. En el interior de este servicio, la mayoría de los ocupantes no realizan movimiento alguno; el movimiento del personal paramédico no es constante ni agitado.

Por lo anterior, el sistema de ventilación cumple bien con la función de extraer el aire caliente e inyectar aire fresco; pasando el aire por una buena limpieza por medio de filtros.

3.3 REQUERIMIENTOS DESEABLES

En un recinto casi hermético como el de una sala de operaciones, es necesario brindar a los ocupantes, que generalmente son más de cuatro, un ambiente confortable debido a que no existe una corriente de aire dirigida al local, que permita desplazar el aire ya respirado y aportar nueva cantidad de aire respirable. El sistema de aire acondicionado cumple con extraer aire caliente y proporciona al recinto aire a las temperaturas de confort.

Cuando se necesita adicionar calor (elevar la temperatura), para llegar a la temperatura de confort los equipos no cumplen muy bien con su función, como se apuntó anteriormente; entonces, por la necesidad que tienen los ocupantes de respirar aire renovado, se inyecta aire frío y esto ocasiona problemas para estas personas específicamente en horas frías del día. Se requiere entonces, de una forma de calefacción que permita a los ocupantes de un quirófano sentirse cómodos para realizar eficientemente su trabajo.

De acuerdo a recomendaciones de expertos internacionales, los requerimientos mínimos de temperaturas de confort y aire de ventilación necesario por persona son:

$$T = 68 - 72 \text{ } ^\circ\text{F} \quad (20 - 23 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$\text{Ventilación:} = 20 \text{ CFM}$$

para ocupantes de salas de cirugía y salas de parto.

4. REDISEÑO DEL SISTEMA

4.1 TEORIA DE DISEÑO EN AIRE ACONDICIONADO

Para acondicionar el aire, es necesario saber como se comporta este. El aire atmosférico que nos rodea es una mezcla de aire seco y vapor de agua, a la que se le llama aire húmedo; al estudio de las mezclas de aire y vapor de agua se le llama **Psicrometría**, en el cual, se analizan y determinan las propiedades físicas del aire y que se describen a continuación:

Temperatura de bulbo seco (BS): es la temperatura del aire, tal como la indica un termómetro.

Temperatura de bulbo húmedo (BH): es la temperatura que indica un termómetro cuyo bulbo está envuelto en una mecha empapada en agua.

Relación de humedad (W): llamada también humedad específica, es el peso del vapor de agua por libra de aire seco.

Humedad relativa (HR): es la relación de la presión real de vapor de agua en el aire con la presión de vapor de agua si el aire estuviera saturado.

Volumen específico (v): es el volumen de aire por unidad de peso de aire seco.

Entalpia específica (h): es el contenido de calor del aire, por unidad de peso.

Las propiedades del aire atmosférico descritas, se pueden representar en tablas o en forma de gráficas. **Carta Psicrométrica**, es el nombre que se le da a la forma gráfica de representarlas. Esta carta, contiene una gran cantidad de información en forma muy sencilla que ayuda a estudiar los procesos de acondicionamiento de aire y su uso es universal.

La carta psicrométrica nos facilita determinar las líneas de proceso de acondicionamiento de aire. El equipo de acondicionamiento de aire tiene como objetivo principal, cambiar el estado del aire del ambiente y llevarlo a otra condición; a este cambio se le denomina **proceso**. Se indican los procesos en la carta psicrométrica, trazando una línea desde el estado inicial del aire, es decir las condiciones del aire del exterior (temperatura, humedad, etc.), hasta su estado final y el aire cambia sus propiedades a lo largo de esa línea.

PROCESO DE CALOR SENSIBLE: Cuando se desea agregar calor al aire (o extraer calor del aire), como resultado de esta operación varía la temperatura de BS; pero si la humedad del aire permanece constante, es decir no varía

el contenido de vapor de agua, se dice que se está dando un proceso de variación de calor sensible.

Como se muestra en la figura 4.1, cuando se produce un calentamiento sensible (1-2), ocasiona un aumento en la temperatura de BS y en la entalpia; mientras que en la eliminación de calor (1-3) disminuye la temperatura de BS y la entalpia.

PROCESO DE CALOR LATENTE: es el proceso que trata de la regulación de la humedad. Cuando se agrega vapor de agua al aire, se le llama **humidificación** y a la eliminación del vapor de agua del aire se le llama **deshumidificación**.

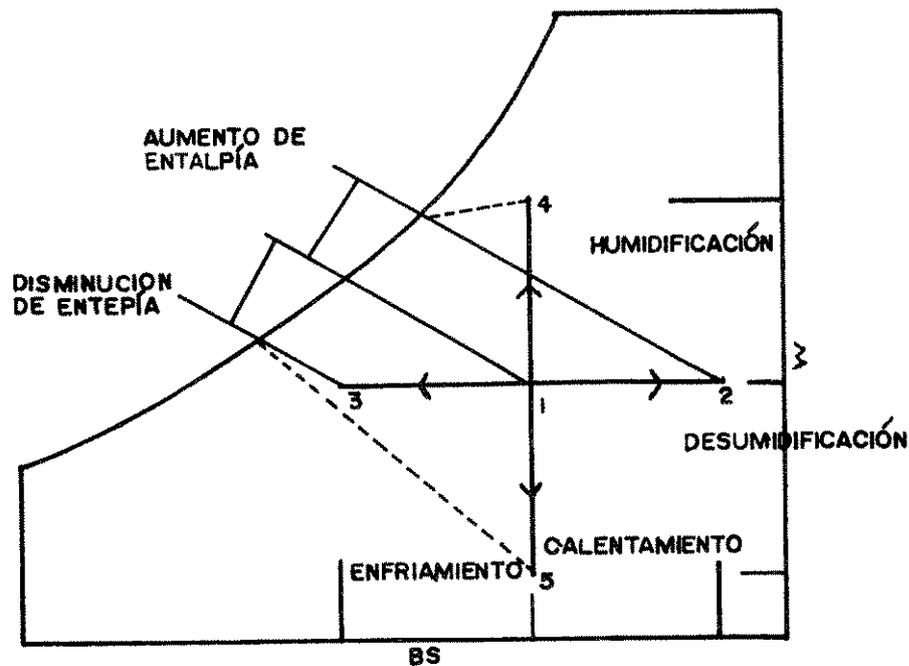


Fig. 4.1 Procesos de calor sensible y calor latente.

La humidificación en la figura 4.1, produce un aumento en la relación de humedad y la entalpía (1-4); en la deshumidificación (1-5), disminuye la entalpía y la relación de humedad.

PROCESO COMBINADO DE CALOR SENSIBLE Y CALOR LATENTE: es el proceso que interesa para este trabajo, porque según los datos de temperatura y humedad registrados en el capítulo 2 y de acuerdo a los objetivos de este trabajo, se desea proveer a los recintos o quirófanos de un calentamiento del aire y una disminución en el valor de la humedad.

Para el problema en cuestión, tomando como ejemplo el quirófano # 1, que tiene igual o semejante volumen que la mayoría de los quirófanos y con los datos tabulados en

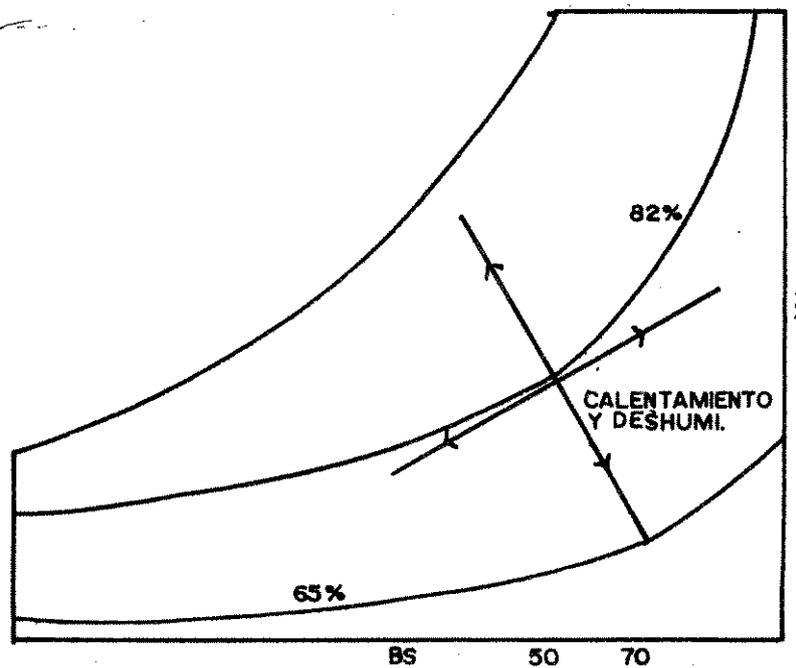


Fig. 4.2 Proceso combinado calentamiento y deshumidificación.

el cuadro 2.3, se traza la línea del proceso de calentamiento y deshumidificación, con la ayuda de la carta psicrométrica.

Las condiciones del aire del exterior son 9 °C y 82% de humedad relativa, en el interior del recinto, se desea tener una temperatura de BS de 20 °C y 65% de HR.

La figura 4.2 muestra la línea de este proceso combinado de calentamiento y deshumidificación.

La calefacción es necesaria cuando se experimenta un descenso en la temperatura. En un recinto cualquiera, la disminución de la temperatura se debe a dos motivos: la **transferencia de calor** desde el aire caliente del interior hasta el aire frío del exterior a través de paredes, ventanas, puertas y otras partes de la construcción, y el otro motivo se debe a la **infiltración** de aire frío a través de las aberturas del edificio. A todo esto se le llama pérdidas de calor.

Para mantener la temperatura deseada en el aire del recinto, se debe agregar continuamente energía al interior, para contrarrestar las pérdidas de calor; dicho de otra forma, el calor suministrado por el sistema de calefacción debe ser igual a las pérdidas de calor del recinto. Este es el principio de la conservación de la energía.

TRANSFERENCIA DE CALOR: El calor sólo se transmite

cuando existe una diferencia de temperatura entre dos lugares o dos cuerpos y el calor siempre fluye del lugar de mayor temperatura al de menor temperatura. De tres formas distintas puede efectuarse la transferencia de calor:

Conducción: es el resultado de acciones moleculares o electrónicas a través de un cuerpo, sin que se presente movimiento en él. En el acondicionamiento de aire, es la transferencia de calor que se tiene a través de paredes, ventanas, techos y piso de un recinto o construcción.

Convección: es el resultado del movimiento global de líquidos o gases. Por ejemplo al entrar aire caliente a un recinto frío, mediante el movimiento del aire, el aire caliente transfiere su energía en forma de calor al aire frío, hasta crear un ambiente cálido.

Radiación: es la forma de transferencia de calor que se presenta entre dos cuerpos, aun cuando entre ellos haya ausencia de materia, es decir, esten separados. Nuestro cuerpo recibe calor de esta forma, cuando nos paramos bajo el sol o frente a una fogata. En un recinto se recibe transferencia de calor por radiación, desde el sol a través de las ventanas.

CARGA DE CALEFACCIÓN:

De acuerdo a lo expresado en este capítulo, se deduce que la carga de calefacción es la cantidad de

energía que se debe agregar al interior de un ambiente para mantener la temperatura deseada. Es entonces función directa de las pérdidas de calor que se producen en el local.

A continuación se analizará cada una de las formas de pérdidas de calor que se toman en cuenta para el cálculo de la carga de calefacción y se explicará el por qué de cada una de ellas.

4.2 SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO

PÉRDIDAS POR TRANSFERENCIA DE CALOR: PAREDES Y TECHOS

Todos los materiales utilizados en la construcción, tienen la capacidad de transferir calor, a esta conducción se le llama coeficiente global de transferencia de calor (U). Mediante cálculos ya hechos, existen tablas elaboradas con este coeficiente para diferentes tipos de materiales; entonces, para el cálculo de la pérdida de calor (Q) en paredes, pisos y techos, se utiliza la ecuación 4.1

$$Q = U \times A \times DT \quad (4.1)$$

el área de la pared, o techo se representa por A y DT es la diferencia de temperatura a cada lado del material.

Paredes: Las paredes de las salas de operaciones están construidas de mampostería, con block de 8 pulgadas con acabado interior de 1/2 pul. conforme las tablas, a esta

pared le corresponde un valor de $U = 0.25 \text{ BTU/h-ft}^2\text{-}^\circ\text{F}$.

Pisos: de concreto con contrapiso de vinyl de $5/8''$ y flujo de calor hacia abajo, $U = 0.25 \text{ BTU/h-ft}^2\text{-}^\circ\text{F}$.

Cielo: cielo raso de yeso de $1/2''$, flujo de calor hacia arriba con $U = 0.23 \text{ BTU/h-ft}^2\text{-}^\circ\text{F}$.

Puertas: construidas de madera de $2''$ de espesor, con valor de $U = 0.43 \text{ BTU/h-ft}^2\text{-}^\circ\text{F}$.

Vidrios: instalados en las dos puertas que tiene cada quirófano, no existen ventanas, son vidrios sencillos con valor de $U = 1.10 \text{ BTU/h-ft}^2\text{-}^\circ\text{F}$.

PERDIDAS DE CALOR POR INFILTRACIÓN Y VENTILACIÓN:

Además de las pérdidas de calor por transferencia de calor, hay que considerar las que se producen por efecto del aire que se infiltra por aberturas en las construcciones, en este caso solo se tomaran en cuenta las fisuras alrededor de los marcos de las puertas. Revisando la figura 3.2, nos damos cuenta que las puertas principales de los quirófanos tienen las mismas dimensiones, por lo tanto, tienen la misma pérdida de calor por infiltración, las puertas secundarias difieren de las primaras en área y por consiguiente en pérdida de calor, las puertas secundarias son de iguales dimensiones en todos los quirófanos.

Para el cálculo de la pérdida de calor por

infiltración (Q_s), se emplea la ecuación 4.2

$$Q_s = 1.1 \times CFM \times CT \quad (4.2)$$

CT es el cambio de temperatura entre el aire interior y exterior en °F.; CFM resulta de multiplicar la longitud total de las fisuras en ft por la tasa máxima recomendada de infiltración para diseño a través de puertas en CFM/ft. La tasa máxima recomendada de infiltración a través de puertas para diseño es de 1.0 CFM/ft de fisura.

PÉRDIDA DE CALOR DEL RECINTO Y CARGA DEL RECINTO:

La carga de calefacción del recinto, es igual a la pérdida de calor del recinto y esta a su vez, es la suma de todas las pérdidas de calor por transferencia e infiltración del recinto. Empleando las ecuaciones 4.1 y 4.2 y apoyados en la figura 3.2 para determinar las áreas, se calcularon las pérdidas y la carga de calor para cada una de las salas de operaciones, algunos de los resultados de los cálculos se muestran (solo para ilustración) en los formatos de las figuras 4.3 y 4.4.

Los datos resumidos de las pérdidas de calor y la carga de calefacción, que se calcularon en los formatos, se registran en el cuadro 4.1.

SISTEMA HIDRÓNICO DE CALEFACCIÓN:

Luego de conocer la carga de calefacción de cada uno de los recintos, pasamos a describir la forma en que se

CUADRO 4.1

AMBIENTE	CARGA DE CALEFACCION	CFM	GPM
QUIROF. 1	138,496 BTU/h	2,198	7
QUIROF. 2	138,496	2,198	7
QUIROF. 3	172,382	3,139	9
QUIROF. 4	138,496	2,198	7
QUIROF. 5	138,496	2,198	7
QUIROF. 6	172,382	3,139	9
QUIROF. 7	138,496	2,198	7
QUIROF. 8	138,496	2,198	7
PASILLOS	1.161,466	15,088	60
TOTAL	2.337,206 BTU/h		120

Cuadro 4.1 Resumen de las Cargas de calefacción

Cálculos de carga de calefacción de recinto

Pág. _____ de _____ PP.

Proyecto _____ Localidad _____ BS interior _____ °F
 Ing. _____ Cálculó _____ Revisó _____ BS exterior _____ °F

Recinto												
Dimensiones de la planta												
Transferencia de calor	U x A x DT = BTU/h				U x A x DT = BTU/h				U x A x DT = BTU/h			
Pared												
Ventana												
Puerta												
Techo-cielo raso												
Piso												
División												
	Subtotal											
Infiltración	(CFM) 1.1 x A x B x CT =				(CFM) 1.1 x A x B x CT =				(CFM) 1.1 x A x B x CT =			
Ventana	//				//				//			
Puerta	//				//				//			
	Subtotal											
	Carga de recinto											

Recinto												
Dimensiones de la planta												
Transferencia de calor	U x A x DT = BTU/h				U x A x DT = BTU/h				U x A x DT = BTU/h			
Pared												
Ventana												
Piso												
Techo-cielo raso												
Piso												
División												
	Subtotal											
Infiltración	(CFM) 1.1 x A x B x CT =				(CFM) 1.1 x A x B x CT =				(CFM) 1.1 x A x B x CT =			
Ventana	//				//				//			
Puerta	//				//				//			
	Subtotal											
	Carga de recinto											

Fig. 4.3 Formato para la carga de calefacción de un recinto

distribuirá el fluido que, entregando su calor, restituirá las pérdidas de energía que se den en el sistema.

Unidad terminal se le llamará en adelante al serpentín o intercambiador de calor, instalado en la unidad manejadora de aire, por el cual circula agua caliente y al momento de ser este atravezado por el aire se da el intercambio de calor.

Trayectoria de la tubería: El agua impulsada por la bomba pasa por un intercambiador de calor, a base de vapor generado en una caldera; donde el agua es calentada y enviada directamente a las unidades terminales. El agua se hace circular por un sistema hidrónico llamado de cabezal de dos tubos con retorno directo, que consiste en dos cabezales, uno para el agua de suministro y el otro para el retorno. Así, cada unidad terminal, se alimenta mediante un ramal individual que se desprende del cabezal de suministro; un ramal de retorno lleva al agua al cabezal de retorno que llega hasta el tanque para ser calentada y hacerla circular nuevamente.

Empleando este sistema, todas las unidades terminales reciben agua en forma directa desde la fuente, con ello se asegura que la temperatura del agua de suministro es la misma en cada unidad. Este tipo de instalación, permite darle servicio por separada a cada

unidad, debido a que por la disposición del mismo no se interrumpe el flujo de agua caliente hacia las demás unidades terminales.

Del generador de agua caliente se desprenden dos circuitos, con el fin de minimizar las pérdidas de temperatura y presión por la distancia a recorrer; un circuito para la alimentación del sistema de calefacción de los quirófanos y el otro para la unidad terminal que calefacciona los vestidores y pasillos del bloque operatorio y que según lo registrado en el cuadro 4.1, esta unidad tiene una carga de calefacción casi similar a la de todos los quirófanos juntos. Esta es la razón por la que el sistema se divide en dos circuitos, además los caudales en ambos circuitos son similares.

Flujos y temperaturas del agua: de acuerdo con la temperatura, los sistemas hidrónicos de calefacción se clasifican en:

LTW (Low Temperature Hot Water) Agua caliente de baja temperatura, para temperaturas menores de 250 °F.

MTW (Medium Temperature Hot Water) Agua caliente de temperatura media, temperaturas de 250 a 350 °F.

HTW (High Temperature Hot Water) Agua caliente de alta temperatura, temperaturas de 350 a 450 °F.

La selección de cualquiera de estos sistemas, va directamente relacionada con el tipo de caldera con que

se cuente, trabajar con un sistema de alta temperatura implica contar con una caldera de más de 100 psi de presión, para evitar que el agua se evapore. Teóricamente se recomienda una temperatura alta del agua de suministro, porque las unidades terminales son más pequeñas y además porque se desea un descenso alto en la temperatura, de esa manera se emplearía menos agua circulando y esto reduce el consumo de energía en las bombas.

Existen motivos para limitar la temperatura del agua, presiones y temperaturas altas implican el uso de equipos más potentes y caros, por lo que en algunos casos es práctica usual diseñar sistemas de baja temperatura.

En el presente proyecto, el agua de suministro está a 250 °F y la temperatura del agua de retorno a 210 °F. Se escogió un sistema hidrónico de calefacción de baja temperatura debido a que, en las horas críticas la diferencia máxima de la temperatura entre el exterior y el interior del recinto será de 10 °C (50 °F), es decir que la diferencia de temperaturas es baja relativamente comparada con las que se registran en países donde se marcan bien las estaciones del año, por lo tanto es aplicable este sistema hidrónico. Conociendo la carga de calefacción total, con los datos de temperatura ya mencionados, se calcula el flujo de agua caliente que ha

de circular en GPM (galones por minuto), con la ecuación 4.3

$$\text{GPM} = Q / (500 \times \text{CT}) \quad (4.3)$$

CT= 40 °F., Q= 21 337,206 BTU/h,

entonces: GPM= 117

De acuerdo a los requerimientos de carga de calefacción de cada recinto, y revisando el cuadro 4.1, por el circuito 1 (que es el que comprende los ocho quirófanos) circularán 60 GPM; por el circuito 2 circularán también 60 GPM.

Dimensión del sistema de tubería: la ubicación del calentador de agua o intercambiador de calor, por razones de espacio y construcción, dista de las unidades terminales 30 metros como mínimo. La distancia entre el intercambiador y las unidades, y los cambios de dirección que se tienen para llegar hasta las unidades, provoca en el sistema pérdidas de presión y temperatura.

Pérdidas de presión por fricción: la fricción es una resistencia al flujo del agua como resultado de la viscosidad y de las paredes del tubo por donde circula. Las superficies más ásperas causan mayor resistencia por fricción, por ello, se emplean superficies lisas como la de los tubos de cobre y acero.

Pérdidas por fricción en tuberías: la caída de presión debida a la fricción en cualquier tipo de ducto se puede

calcular por fórmula, sin embargo, la pérdida por fricción en tubo recto se ha plasmado en forma de gráficas para algunos materiales y condiciones más comunes para agua fría, para sistemas de agua caliente la caída de presión es un 10% menor que la que se indica en la gráfica (ver gráfica 1 en anexo), debido al cambio en la viscosidad y la densidad.

En la gráfica, se escoge un valor de pérdida por fricción, que para los sistemas hidráulicos puede ser de 1 a 5 pies de agua por cada 100 pies de longitud de tubo; conociendo el flujo en GPM, se encuentra el diámetro del tubo que se empleará y la velocidad del agua en pies por segundo.

En la trayectoria de la tubería, se experimentan cambios de flujo, debido a que el flujo se va distribuyendo en cada unidad terminal, entonces para evitar que la pérdida por fricción se incremente demasiado, es conveniente cambiar el diámetro de la tubería, para ello se utiliza la misma gráfica partiendo de los datos iniciales y ubicados dentro del límite de valores descrito de la pérdida por fricción (1 a 5), se busca el diámetro de la tubería para el nuevo flujo circulante. El cambio de diámetro en la tubería además de mantener un valor de la pérdida por fricción casi constante, representa un ahorro económico al momento de

la ejecución del proyecto.

Según se sabe, circulan inicialmente 120 GPM por el sistema hidrónico diseñado, se escogió un valor de la pérdida por fricción inicial de 3.3 pies de agua por 100 pies de longitud de tubería; de los dos datos anteriores resulta un diámetro de tubería de 3" (tres pulgadas). De esta tubería se desprenden dos circuitos en cada uno circulan 60 GPM, para este flujo el diámetro de la tubería es de 2". Conforme se distribuye el flujo de agua por las unidades terminales disminuye el caudal, de ahí que la tubería cambia de diámetro a 1.2" y termina su recorrido el agua caliente en tubería de 1" de diámetro, todo esto se aprecia con detalle en los planos respectivos.

Selección de la bomba: Para que el agua viaje por el sistema hidrónico a la presión suficiente, tal que sea capaz de realizar el trabajo de calentar el aire y para que después de entregar su calor regrese al intercambiador de calor, se necesita del trabajo de una bomba sobre el sistema.

Para determinar la capacidad de la bomba, se necesita conocer y sumar las pérdidas de presión que se dan en el sistema, puesto que lo que la bomba hará será compensar estas pérdidas. Lo primero es determinar que circuito presenta la mayor pérdida de presión debido no

solamente a su mayor longitud sino también a los cambios de dirección que presenta.

En los planos de distribución de los circuitos de agua se aprecia que el de mayor longitud y cambios de dirección es el circuito 1, el paso siguiente es contar las conexiones y accesorios, calcular su longitud equivalente y sumarla a la de la tubería con su respectiva pérdida por fricción.

Los accesorios tales como codos y válvulas, ocasionan una pérdida de presión en un sistema de tubería. Para poder determinar la magnitud de estas pérdidas existen tablas ya elaboradas con la longitud equivalente para cada accesorio (ver tabla en anexo), dependiendo de su diámetro; sumadas las longitudes se multiplican por la pérdida por fricción para obtener la pérdida de presión en el sistema.

En el cuadro 4.2 se presenta un resumen del cálculo de la pérdida de presión para determinar el tamaño de la bomba. De acuerdo a este cuadro la pérdida o carga total es de 16.14 pies, entonces se requiere de una bomba de 1 HP de potencia trabajando con 53 % de su eficiencia, entregando 120 GPM y girando a 1750 RPM (revoluciones por minuto).

Tanque de compresión: el agua se expande, es decir; aumenta su volumen, cuando se incrementa su temperatura.

PÉRDIDA DE PRESIÓN DEL SISTEMA

TRAMO	ACCESORIO	DIAM.	GPM	LE (Ft)	Hf/100	Hf (Ft)
AB	TUBO	3"	120	39.36	3.3	
	VAL. COM.	3"		3.2		
	CODO (8)	3"		64.0		
	TEE	3"		<u>16.0</u>		
				122.65	$\times 3.3/100 = 4.00$	
BC	TUBO	2"	60	98.40	6.3	
	TEE	2"		<u>11.00</u>		
				109.40	$\times 6.3/100 = 6.80$	
CD	TUBO	1.5"	30	34.11	5.4	
	TEE	1.5"		<u>4.30</u>		
				38.41	$\times 5.4/100 = 2.10$	
DE	TUBO	1.5"	23	23.29	3.8	
	CODO	1.5"		3.30		
	TEE	1.5"		<u>3.30</u>		
				29.89	$\times 3.8/100 = 1.14$	
EF	TUBO	1.5"	16	35.75	1.8	
	TEE	1.5"		<u>3.30</u>		
				39.05	$\times 1.8/100 = 0.70$	
FG	TUBO	1"	7	36.74	3.15	
	CODO (3)			<u>7.80</u>		
				44.54	$\times 3.15/100 = 1.40$	
T O T A L						16.14

Cuadro 4.2 Pérdidas de presión del sistema.

En un sistema hidrónico la tubería generalmente se llena por completo, y si no hay espacio para que se expanda el agua, la tubería o el equipo podrían romperse. Para aliviar esta situación se instala al final del sistema un tanque cerrado de expansión que contiene un gas, en este caso será aire, así cuando se expanda el agua llenará el tanque y comprimirá el aire; por esta razón se le llama a este tanque de compresión.

Para el cálculo del tamaño del tanque de compresión se utilizó la ecuación siguiente:

$$(0.00041T - 0.0466)V_{\bullet} \\ H_{\bullet} / H_t - H_{\bullet} / H_o \quad (4.4)$$

V= volumen del tanque de compresión en galones

V_•= volumen del sistema (tubería) en galones

T= temperatura del agua para diseño en °F

H_•= Presión atmosférica en pies de agua absolutos

H_t= presión mínima en el tanque, que es igual a la presión de llenado más la presión estática en el tanque en pies de agua absolutos.

Aplicando entonces la ecuación 4.4, se obtuvo un tanque de capacidad de 50 galones, que se colocará en la succión de la bomba.

1.3 SISTEMA DE VENTILACIÓN FORZADA

El aire del sistema de ventilación que se tiene en el área de cuidados intensivos, no necesita ser calefaccionado, debido a que sólo se ventila cuando hace calor, que sucede muy poco pues en el interior del servicio del intensivo no registra movimiento semejante al que se dá en el interior de un quirófano, además los recintos no son herméticos como las salas de operaciones y generalmente no hay más de dos personas en su interior reposando.

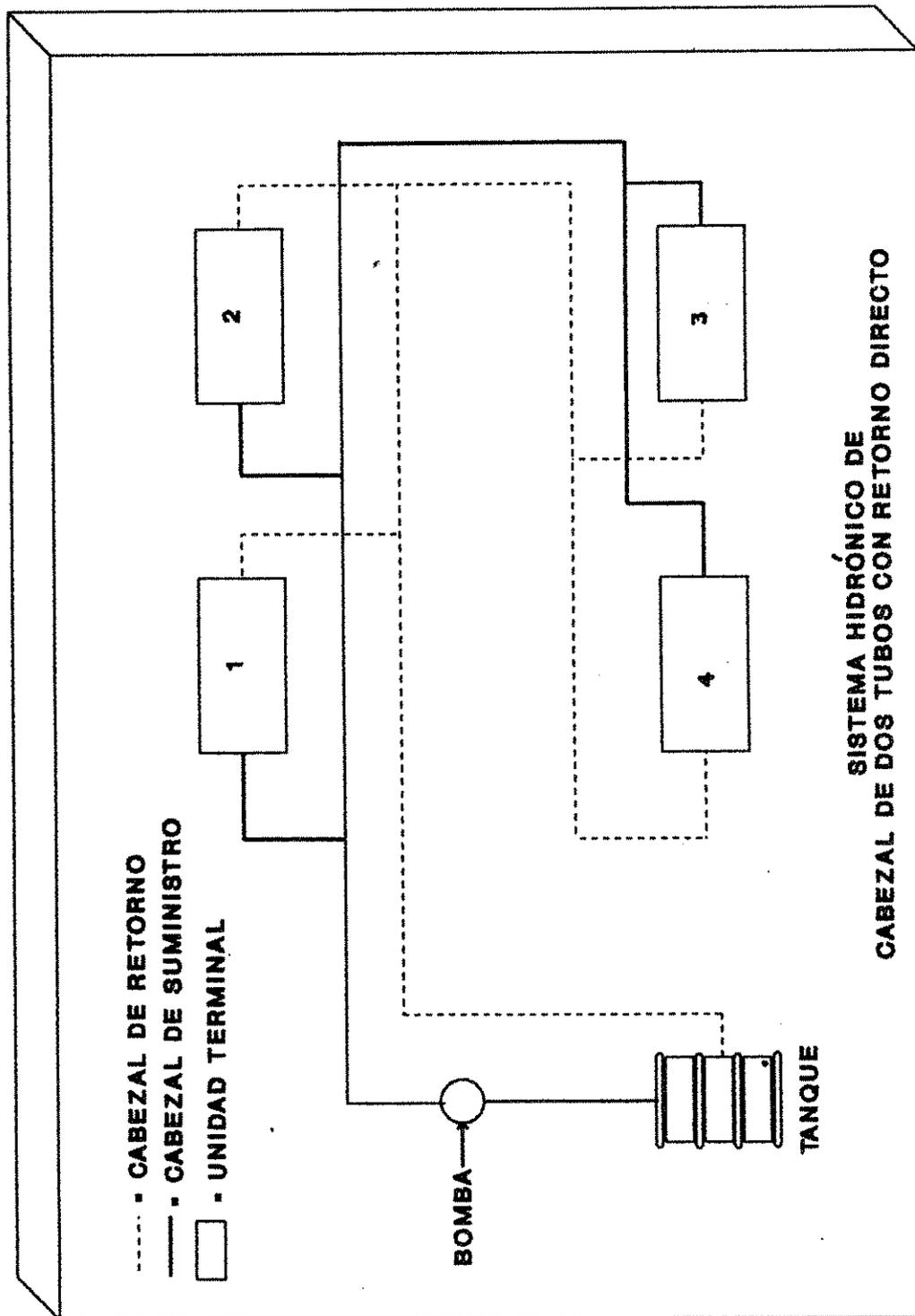
En los meses más fríos del año y en las horas más frías del día, no se experimenta un descenso significativo de la temperatura en el interior del Servicio, las pérdidas de calor son pocas, pues el edificio no recibe directamente la acción del aire frío, porque está rodeado de otros edificios.

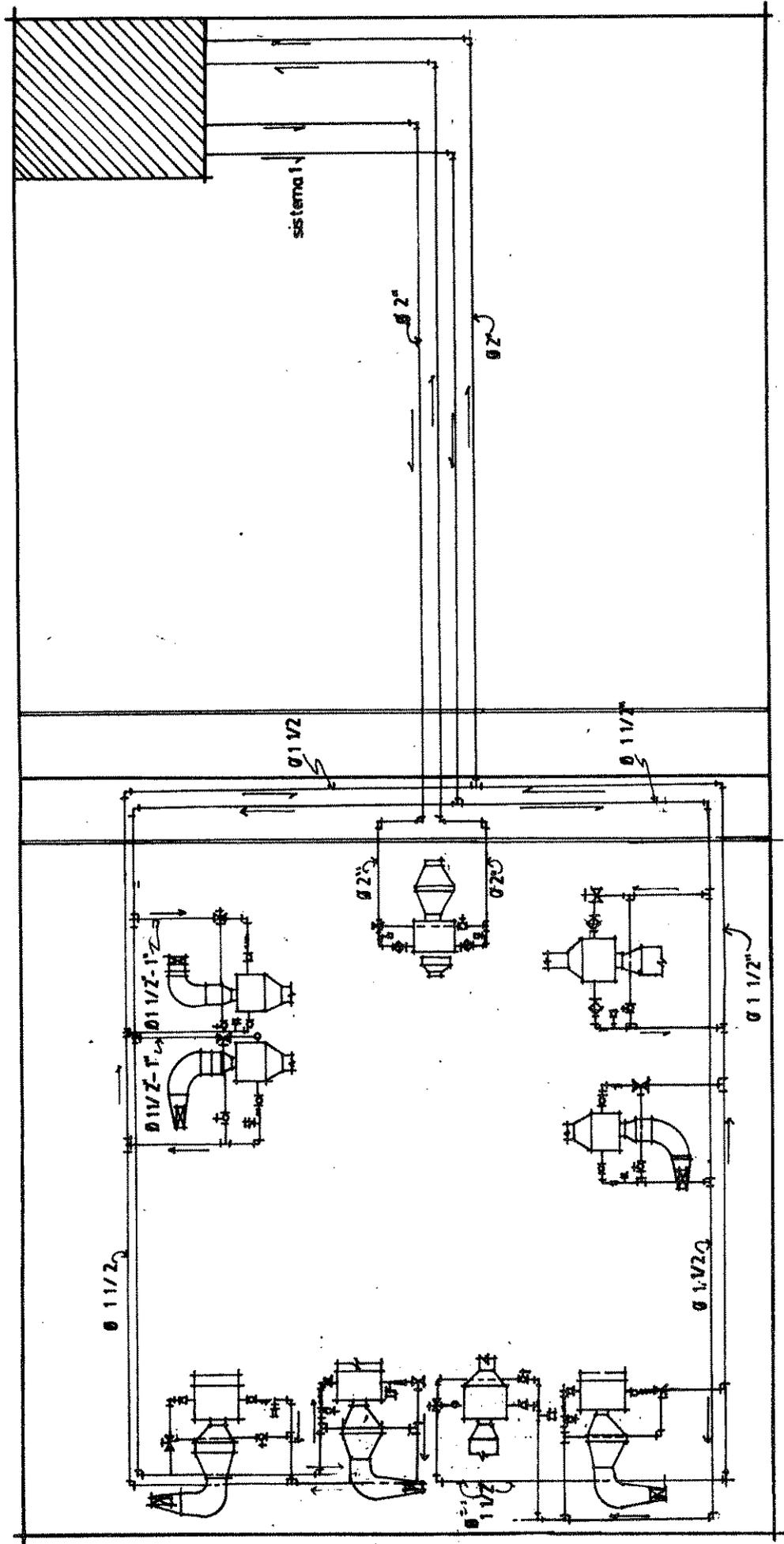
1.4 PLANOS DE CONSTRUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN

En los planos se detalla la forma en que se distribuyen los circuitos 1 y 2, además se aprecia la ubicación de las unidades terminales instaladas en las manejadoras de aire.

Se utilizan juntas de dilatación para reducir el impacto que supone la expansión del agua y para reducir el golpe de ariete. A la salida del intercambiador se instalan una válvula rompedora de vacío y un desaireador, para evitar así que se cree una sobrepresión en el sistema.

Las válvulas de tres vías, se incluyen para realizar trabajos de mantenimiento en las unidades terminales, sin necesidad de interrumpir el flujo del agua en el sistema.

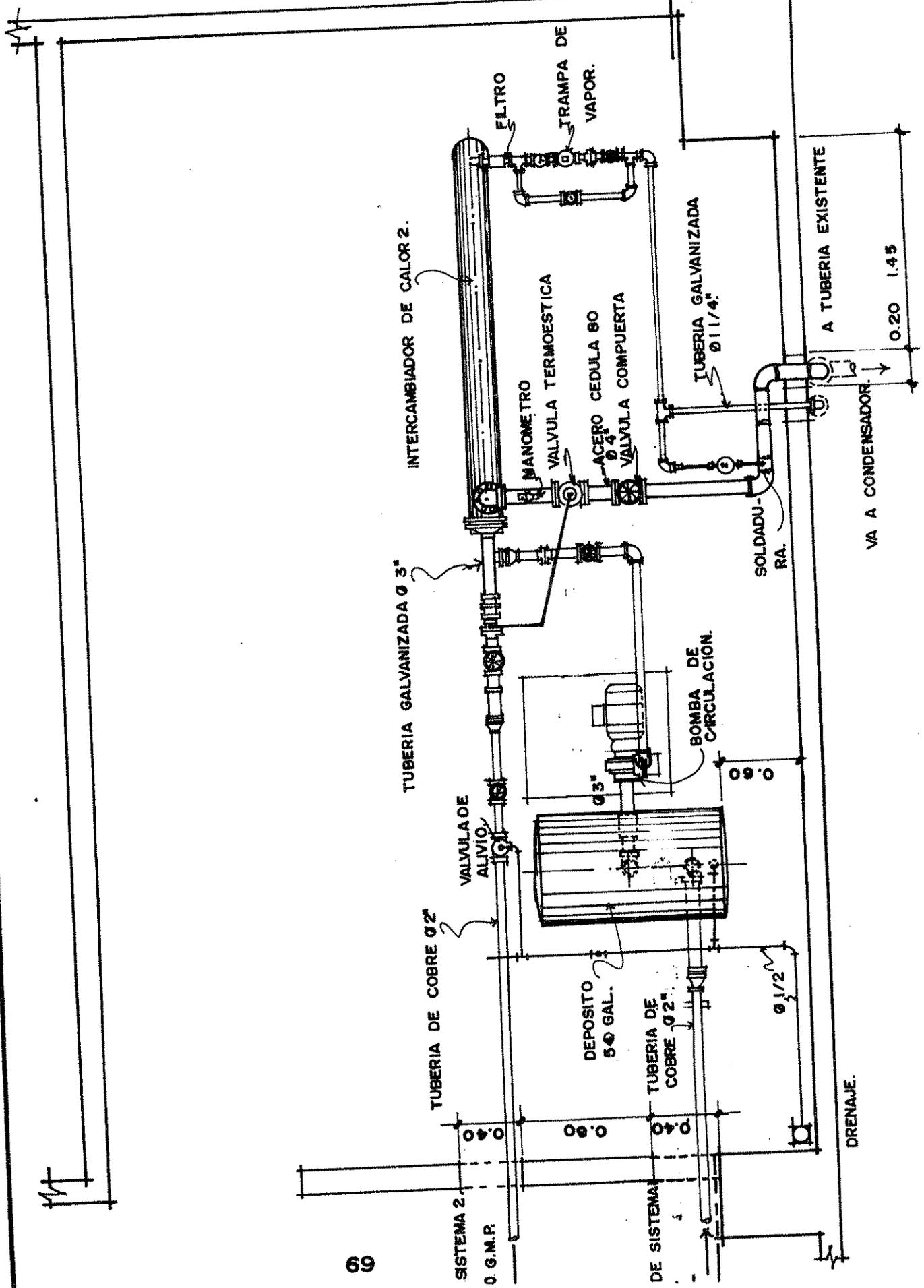




NOMENCLATURA.

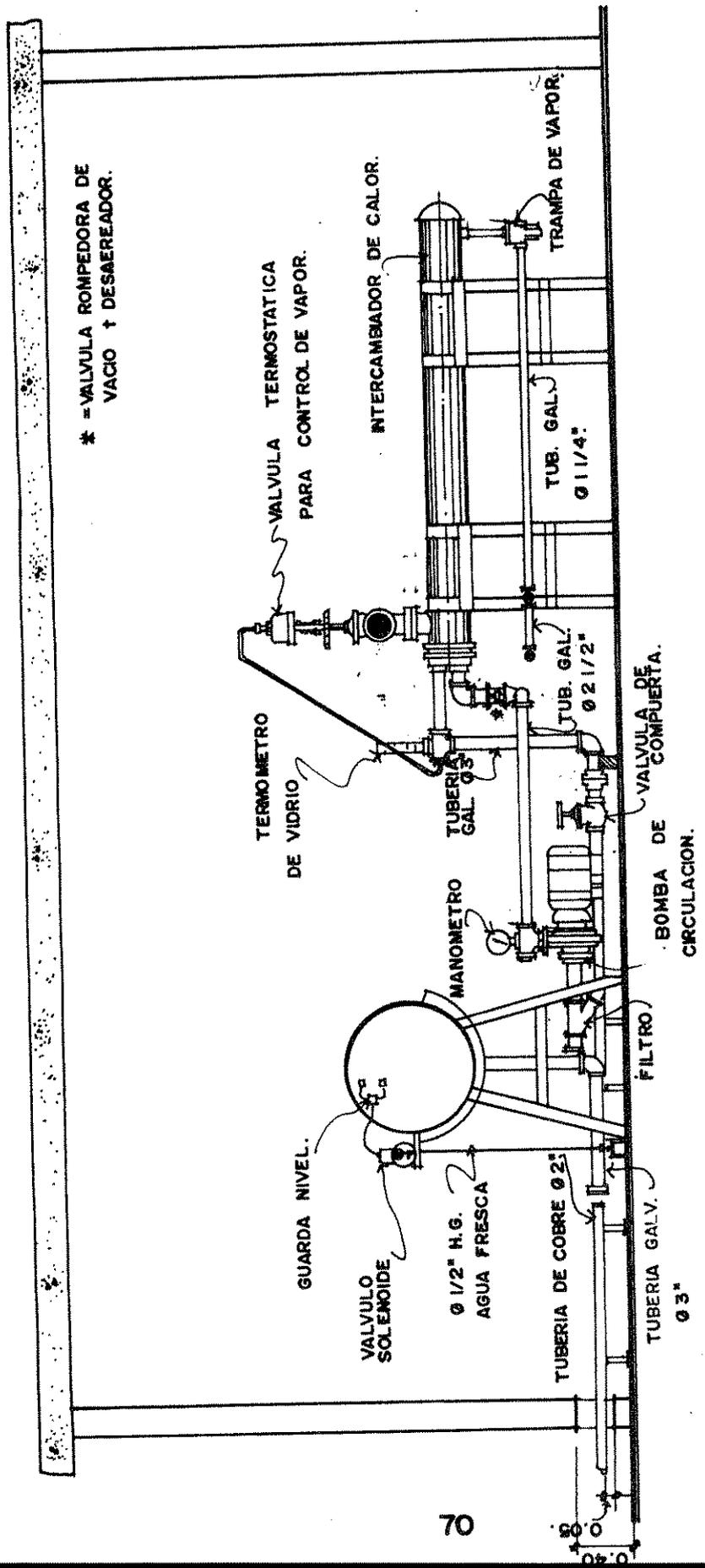
SIMB.	DESCRIP.
	REDUCTOR BUSHING.
	LLAVE DE COMPUERTA.
	REDUCTOR
	TEE
	CODO 90°
	VALVULA SOLENOIDE
	TUBERIA AGUA CALIENTE
	JUNTA DE DILATACION FLEXIBLE

SIMB.	DESCRIP.
	VALVULAS TRES VIAS
	LLAVE GLOBO
	JUNTA DILATACION TIPO FUELLE
	SENTIDO DE FLUJO



ESC. 1/125

PLANTA



CONCLUSIONES

1. En el Centro Médico Militar, el sistema de aire acondicionado no funciona como debiera, debido a que no se lleva un control adecuado de la temperatura ambiental dentro de las salas de operaciones.

2. En observaciones realizadas, se determinó que hasta el 80% de las personas sometidas a intervención quirúrgica experimentan pérdida de calor corporal o hipotermia, siendo el 15% de esta pérdida provocada por el sistema de aire acondicionado.

3. La implementación de un sistema hidrónico para calefaccionar el bloque operatorio del Centro Médico Militar es una adecuada y económica solución al problema de calentar el aire, debido a que se cuenta en abundancia con el fluido calefactor y porque urge proveer a los quirófanos de una temperatura confortable en las horas más frías.

4. El sistema de ventilación forzada, necesita más atención en lo referente al mantenimiento preventivo. Se comprobó que limpiando los filtros y lubricando las partes de las máquinas acondicionadoras, mejora tanto el rendimiento de las máquinas como la calidad del aire.

RECOMENDACIONES

A las autoridades del Centro Médico Militar:

- a) Analizar la posibilidad de la ejecución de este proyecto ya que permitiría la utilización confortable del sistema de aire acondicionado a cualquier hora y mes del año. Esto redundaría en beneficio directo del paciente.
- b) Para evitar la hipotermia debe mantenerse una temperatura ambiental dentro de los quirófanos entre 20 y 22 °C.
- c) El Jefe de mantenimiento, debe supervisar la ejecución de las rutinas de mantenimiento, con el propósito de lograr que los equipos de aire acondicionado trabajen eficientemente y se pueda prolongar así la vida útil de estos. Se recomienda limpieza de filtros y difusores: bimestralmente; lubricación y chequeo del sistema eléctrico semanalmente; chequeo del funcionamiento normal diariamente.

A los estudiantes de Ingeniería Mecánica:

- a) Interesarse en el estudio del diseño de sistemas de calefacción y su aplicación, especialmente en el área occidental del país.

BIBLIOGRAFIA

- Allen, B. H. **Refrigeración y aire acondicionado.**
México: CECSA, 1995.
- Bernhard R., Carlos. **Apuntes Históricos del Hospital Militar Centenario.** Guatemala: Ed. del Ejército, 1982.
- De Cusa Ramos, Juan. **Calefacción, Refrigeración y acondicionamiento de aire.** 14ava Edición; España: Ed. CEAC, 1993.
- INSIVUMEH. **Revista anual, sección de climatología**
Guatemala: s.e. 1996.
- Jenning & Lewis. **Aire acondicionado y refrigeración.** 2da. Edición; México: CECSA, 1985.
- Morán G. Otto. **Condiciones para el proyecto de instalaciones de aire acondicionado de la República de Guatemala.** Tesis Ing. Méc. USAC, Guatemala: s.e. 1972.
- Ortiz, Gustavo. **Manual de organización y funciones de la División de Ingeniería.** Guatemala: s.e. 1993.
- Pita, Edward G. **Acondicionamiento de aire.** 2da. Edición; México: CECSA, 1994.

ANEXO

PRESUPUESTO DEL PROYECTO

CANT.	DESCRIPCIÓN	PRECIO U.	P. TOTAL
1	Tanque de compresión 50 Gls.	Q. 4326.23	Q. 4326.23
1	Bomba centrifuga 1 HP agua cal.	Q. 6379.00	Q. 6379.00
1	Intercam. de calor 4", 250 °F	Q. 12657.00	Q. 12657.00
1	Válvula compuerta 4" céd. 80	Q. 2128.97	Q. 2128.97
6	Codo con flange 4" céd. 80	Q. 450.45	Q. 2702.70
4	Trampa de vapor termod. 1"	Q. 1589.70	Q. 6358.80
1	Vál. alivio HG 1/2"	Q. 159.34	Q. 159.34
1	Manómetro 0-60 psi	Q. 68.64	Q. 68.64
1	Manómetro 0-150 psi, p/vapor	Q. 82.37	Q. 82.37
1	Termómetro 0-300 °F	Q. 171.00	Q. 171.00
1	Vál. rompedora de vacío 3/4"	Q. 1250.75	Q. 1250.75
1	Vál. regulad. de presión 50 psi	Q. 4000.00	Q. 4000.00
1	Tubo 4" acero cédula 80	Q. 1761.60	Q. 1761.60
6	Flange 4" acero céd. 80	Q. 360.44	Q. 360.00
3	Tubo 1 1/4" HG	Q. 100.00	Q. 300.00
4	Vál. compuerta 1 1/4"	Q. 70.00	Q. 280.00
3	Tee 1 1/4" HG	Q. 22.30	Q. 66.90
9	Codo 1 1/4" HG	Q. 18.40	Q. 165.60
4	Tubo 3" HG	Q. 225.00	Q. 900.00
5	Tee 3" HG	Q. 75.35	Q. 376.75
8	Codo 3" HG	Q. 68.70	Q. 549.60
1	Válvula de cheque 3" agua cal.	Q. 639.00	Q. 639.00

CANT.	DESCRIPCIÓN	PRECIO U.	P. TOTAL
6	Red. Bushing de 3" a 2" cobre	Q. 40.00	Q. 240.00
2	Red. campana de 2" a 1/4" HG	Q. 32.00	Q. 64.00
1	Válvula compuerta 3"	Q. 305.35	Q. 305.35
22	Tubo 2" de cobre	Q. 800.00	Q. 17600.00
20	Copla 2" de cobre	Q. 35.00	Q. 700.00
10	Codo 2" de cobre	Q. 60.00	Q. 600.00
6	Tee 2" de cobre	Q. 110.00	Q. 660.00
4	Junta dilatación tipo fuelle 2"	Q. 1232.00	Q. 4928.00
1	Válvula de globo 2"	Q. 570.58	Q. 570.58
1	Válvula de 3 vias 2"	Q. 1347.75	Q. 1347.75
2	Junta dilatación flexible 2"	Q. 987.50	Q. 1975.00
4	Red. bushing de 2" a 1"	Q. 23.45	Q. 93.80
1	Vál. solenoide 2", 50 psi	Q. 4526.87	Q. 4526.87
20	Tubo 1 1/2" de cobre	Q. 83.88	Q. 1677.60
14	Tubo 1" de cobre	Q. 72.40	Q. 1013.60
2	Red. campana 2" a 1 1/2" cobre	Q. 25.00	Q. 50.00
20	Coplas 1 1/2" de cobre	Q. 10.80	Q. 216.00
2	Codo 1 1/2" de cobre	Q. 38.00	Q. 76.00
12	Tee 1 1/2" de cobre	Q. 66.00	Q. 793.00
10	Red. campana 1 1/2" a 1" cobre	Q. 40.00	Q. 400.00
16	Junta dilatación flexible 1"	Q. 910.00	Q. 14560.00
18	Codo 1" de cobre	Q. 12.27	Q. 220.88

CANT.	DESCRIPCIÓN	PRECIO U.	P. TOTAL
8	Válvulas de tres vias de 1"	Q. 875.00	Q. 7000.00
8	Válvula de globo de 1"	Q. 156.00	Q. 1248.00
8	Válvula solenoide 1"	Q. 1456.00	Q. 11648.00
20	Soporte para tubo de 2"	Q. 16.00	Q. 320.00
12	Soporte para tubo de 1 1/2"	Q. 16.00	Q. 192.00
12	soporte para tubo de 1"	Q. 14.00	Q. 168.00
200	metros de aislamiento para tube		
	ria de cobre de 1" grosor.	Q. 25.00	Q. 5000.00
TOTAL.....			Q.123878.68

Resumen:

Costo de materiales.....	Q. 123,878.68
Costo de montaje e instalación.....	Q. 37,163.60
Total del proyecto.....	<u>Q. 161,042.28</u>

Tiempo de ejecución: cuatro (04) meses.