

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERIA

**DISEÑO Y SIMULACION DE UN SISTEMA DE CALEFACCION POR
PISO RADIANTE**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO
MECANICO**

RONAL STALIN ARIAS SANTAFE

MARCO HERNAN LIMAICO LAHUASI

DIRECTOR: Ing. ADRIAN PEÑA

QUITO, febrero del 2008

DECLARACION

Nosotros, Arias Santafé Ronal Stalin, Limaico Lahuasi Marco Hernán, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado de calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Arias Santafé Ronal Stalin

Limaico Lahuasi Marco Hernán

CERTIFICACION

Certifico que bajo mi dirección, el presente proyecto de titulación fue realizado en su totalidad por los señores: RONAL STALIN ARIAS SANTAFE, MARCO HERNAN LIMAICO LAHUASI, bajo mi supervisión.

Ing. ADRIAN PEÑA.

DIRECTOR DE PROYECTO

DEDICATORIA

Este esfuerzo lo hice para dar un agradecimiento a mis padres que siempre se encontraron a mi lado apoyándome y dándome siempre motivos para seguir y alcanzar a culminar este proyecto.

RONAL

El proyecto se lo dedico de todo corazón a mi familia: Viky, Luis, Luis A. Andrés, Gustavo, Janeth, Mishell y Maria Fernanda, a mi novia Noemí y a mis amigos D.O.G. por el apoyo para culminar esta meta.

MARCO

AGRADECIMIENTO

- Al Ing. Adrian Peña por su acertada dirección, apoyo y amistad brindada durante la realización de este proyecto.
- A todos los ingenieros que forman parte de la carrera de Ingeniería Mecánica siempre abiertos a cualquier inquietud presentada.
- A las personas que colaboraron con la elaboración de este proyecto.

A TODOS GRACIAS

CONTENIDO

DECLARACION.....	II
CERTIFICACION.....	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
CONTENIDO	VI
LISTADO DE FIGURAS.....	XI
LISTADO DE GRAFICAS.....	XI
LISTADO DE TABLAS	XII
LISTADO DE ANEXOS.....	XIII
RESUMEN.....	XVI
PRESENTACION	XVII
INTRODUCCION	XVIII

CAPITULO 1

SISTEMAS DE CALEFACCION

1.1	CALEFACCION.....	1
1.1.1	DEFINICION	1
1.2.2	CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS DE CALEFACCION	2
1.1.2.1	Calefacción por agua caliente	3
1.1.2.2	Calefacción por vapor de agua	5
1.1.2.3	Calefacción por aire caliente	7
1.1.2.4	Calefacción por resistencia eléctrica	8
1.1.2.5	Calefacción por paneles radiantes	10
1.1.2.5.1	<i>Distribución y Ubicación</i>	11
	- Paneles hidrónicos de pared	13

	- Paneles hidrónicos de piso	13
	- Tubería empotrada en losa de concreto	13
	- Tuberías suspendidas en el piso	14
1.1.2.6	Calefacción electrónica	15
1.1.2.7	Calefacción termodinámica	15
1.1.2.8	Calefacción por radiación solar	15
	REFERENCIAS.....	17

CAPITULO 2

PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN EL SISTEMA

2.1	PRINCIPIOS DE TRANSFERENCIA DE ENERGIA RADIANTE.	19
2.2	TRANSFERENCIA DE CALOR POR SUPERFICIES DEL PANEL.	21
2.2.1	TRANSFERENCIA POR RADIACION	21
2.2.2	TRANSFERENCIA POR CONVECCION	23
2.2.3	TRANSFERENCIA DE CALOR COMBINADA (RADIACION Y CONVECCION).....	25
	REFERENCIAS.....	27

CAPITULO 3

PARAMETROS PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE CALEFACCION DE PISO

RADIANTE

3.1	CONSIDERACIONES DE DISEÑO	28
3.2	FASES DE DISEÑO.....	30
3.3	BALANCE ENERGETICO DEL SISTEMA	31
3.3.1	ECUACION GENERAL DE CONSERVACION DE LA ENERGIA..	31
3.3.1.1	Energía que entra.....	32
3.3.1.2	Energía que se genera	32

3.3.1.3	Energía que sale.....	32
3.3.1.4	Energía que se almacena	32
3.3.2	COMODIDAD TERMICA	33
3.3.2.1	Ecuación de comodidad	34
	- <i>Metabolismo</i>	35
	- <i>Influencia de vestimenta</i>	37
	- <i>Trabajo</i>	37
3.3.3.	ANÁLISIS TERMICO DEL PANEL	39
3.3.3.1	Resistencias térmicas del panel	40
3.3.3.2	Efectos del material que cubre el piso.....	43
3.3.3.3	Diseño del panel.....	45
3.3.3.4	Pérdidas o Ganancias de Calor en el Panel	46
3.3.3.5	Simulación en el programa Algor	47
3.3.3.5.1	Dimensiones del panel	47
	- Primer modelo	48
	- Segundo modelo	49
	- Tercer modelo	50
	- Cuarto modelo	52
	- Quinto modelo	54
	REFERENCIAS.....	58

CAPITULO 4

PROGRAMACION Y CALCULO DE CARGAS

4.1	CALCULO DE GARGAS EXTERNAS.....	59
4.1.1	CALOR DE CONDUCCION A TRAVES DE PAREDES, TECHOS PROYECCIONES.....	60

4.1.2	CARGA DE CALOR A TRAVES DE PAREDES.....	61
4.1.2.1	Cálculo del coeficiente de transferencia U de la pared.....	60
4.1.2.2	Cálculo de cargas a través del techo.....	62
4.1.2.3	Cálculo de carga de conducción a través de los vidrios.....	63
4.1.2.4.	Cálculo de carga solar a través del vidrio.....	63
4.2	CALCULO DE CARGAS INTERNAS.....	64
4.2.1	ILUMINACION.....	64
4.2.2	PERSONAS.....	65
4.3	CARGAS POR INFILTRACION Y VENTILACION.....	66
4.3.1	VENTILACION.....	66
4.3.1.1	Calor sensible.....	66
4.3.1.2	Calor Latente.....	66
4.3.1.3	Ventilación del aire	66
4.3.1.4	Cálculo del Calor Sensible	66
4.3.1.5	Cálculo del Calor Latente.....	67
4.3.2	CALOR POR INFILTRACION.....	67
4.3.2.1	Calor Sensible.....	68
4.3.2.2	Calor Latente.....	68
4.5	OBTENCION DE LA TEMPERATURA DEL PISO.....	68
4.6	ELABORACION DEL PROGRAMA.....	68
4.6.1	DIAGRAMA DE FLUJO.....	68
4.6.2	SOFTWARE EMPLEADO.....	68
4.6.3	MANEJO DE PANTALLA.....	69
	REFERENCIAS.....	70

CAPITULO 5**INTERPRETACION Y ANALISIS DE RESULTADOS**

5.1	CALCULO DE CARGAS EXTERNAS.....	71
5.1.1	PERDIDAS DE CALOR A TRAVES DE LAS PAREDES.....	71
5.1.2	CALCULO DE CARGAS A TRAVES DEL TECHO.....	72
5.1.3	CALCULO DE CARGA DE CONDUCCION A TRAVES DE LOS VIDRIOS.....	72
5.1.4	CALCULO DE CARGA SOLAR A TRAVES DE LOS VIDRIOS...	73
5.1.5	TOTAL CALOR EN CARGAS EXTERNAS.....	73
5.2	CALCULO DE CARGAS INTERNAS.....	73
5.2.1	ILUMINACION.....	73
5.2.2	PERSONAS.....	74
5.2.3	CARGA TOTAL INTERNA.....	74
5.3	INFILTRACION Y VENTILACION.....	74
5.3.1	CALOR DE VENTILACION.....	74
5.3.2	INFILTRACION.....	75
5.3.2	CALOR q TOTAL DE INFILTRACION Y VENTILACION.....	75
5.4	CALOR QUE PROPORCIONA EL PANEL.....	76

CAPITULO 6**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

CONCLUSIONES.....	82
RECOMENDACIONES.....	83
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	84
ANEXOS.....	86

LISTADO DE FIGURAS

CAPITULO 1

Figura 1.1	Instalación del sistema de calefacción por agua caliente con distribución superior.....	4
Figura 1.2	Instalación de un sistema de calefacción por agua caliente con distribución inferior.....	4
Figura 1.3	Instalación de un sistema de calefacción por agua caliente con distribución monotubular.....	6
Figura 1.4	Esquema de Calefacción por Vapor, sistema unitubular con retorno por gravedad y alimentación hacia arriba.....	6
Figura 1.5	Esquema de Calefacción por Vapor, sistema bitubular, alimentación hacia arriba y trampilla automática de retorno.....	7
Figura 1.6	Sistema de Convección Forzada, alimentación por medio de un ventilador en la parte superior.....	8
Figura 1.7	Paneles de Calefacción Eléctrica.....	9
Figura 1.8	Detalle de resistencias eléctricas colocadas en la parte inferior....	10
Figura 1.9	Calefacción por piso radiante.....	11
Figura 1.10	Tumbado Suspendido con acabados de yeso.....	12

CAPITULO 3

Figura 3.1	Componentes Fundamentales de un Sistema Hidrónico.....	29
Figura 3.2	Balance Energético del sistema.....	31

CAPITULO 4

Figura 4.1	Composición de la Pared.....	61
Figura 4.2	Pantalla de presentación del programa en Matlab.....	69

LISTA DE GRAFICOS

CAPITULO 3

Gráfica 3.1	Distribución de temperatura del panel en el primer modelo.....	48
Gráfica 3.2	Distribución de temperatura del panel en el segundo modelo.....	49
Gráfica 3.3	Distribución de flujo de calor del panel en el segundo modelo.....	50
Gráfica 3.4	Distribución de temperatura del panel en el tercer modelo.....	51
Gráfica 3.5	Distribución de flujo de calor del panel en el tercer modelo.....	52

Gráfica 3.6	Distribución de temperatura del panel en el cuarto modelo.....	53
Gráfica 3.7	Distribución de flujo de calor del panel en el cuarto modelo.....	54
Gráfica 3.8	Distribución de temperatura del panel en el quinto modelo.....	55
Gráfica 3.9	Distribución de flujo de calor del panel en el quinto modelo.....	56

CAPITULO 5

Gráfica 5.1	Pantalla de solución al problema planteado.....	77
Gráfica 5.2	Temperatura del piso vs. Temperatura de Comodidad.	78
Gráfica 5.3	Temperatura del agua vs. Temperatura de Comodidad.	78
Gráfica 5.4	Calor que suministra el panel vs. Temperatura de piso	79
Gráfica 5.4	Calor que suministra el panel vs. Temperatura de agua	79

LISTADO DE TABLAS

CAPITULO 3

TABLA 3.1	Cálculo del Metabolismo en Base a porcentaje de actividades de actividades realizadas en la oficina.....	36
TABLA 3.2	Resistencia Térmica de los paneles.....	42
TABLA 3.3	Conductividad Térmica de los Materiales.....	43
TABLA 3.4	Resistencia Térmica de Material que cubre los pisos.....	44

CAPITULO 4

TABLA 4.1	Resistencia Térmica de la pared.....	61
TABLA 4.2	Cálculo de la resistencia.....	62

CAPITULO 5

TABLA 5.1	Variación de la temperatura de comodidad para obtener la temperatura del agua	77
TABLA 5.2	Relación anual de costos para calentar el agua en paneles radiantes y por calefacción eléctrica.....	80

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1.1	
Detalle de Construcción para paneles de piso radiante.....	87
ANEXO 1.2	
Tubería Empotrada en Losa Delgada.....	89
ANEXO 1.3	
Tubería Encima del Subpiso.....	91
ANEXO 1.4	
Tubería Debajo del Subpiso.....	93
ANEXO 2.1	
Transferencia de calor por radiación de paneles calentados de tumbado, Piso o pared.....	95
ANEXO 2.2	
Transferencia de Convección Natural en Superficies de tumbado, piso o pared.	97
ANEXO 2.3	
Calor que evacua el panel por convección Natural en paneles calentados de Tumbado, piso o pared.....	99
ANEXO 2.4	
Coeficientes de convección para superficies y resistencias del aire.....	101
ANEXO 2.5	
Relación de las temperaturas de superficie interior al coeficiente global de transferencia de calor	103
ANEXO 3.1	
Generación Metabólica para varias actividades.....	105
ANEXO 3.2	
Temperatura de Superficie de Vestimenta.....	107
ANEXO 3.3	
Temperatura de Comodidad Térmica.....	109
ANEXO 3.4	
Propiedades Termo físicas de los materiales comunes.....	111
ANEXO 3.5	
Propiedades Termofísicas del agua.....	113

ANEXO 3.6	
Propiedades Termofísicas del aire.....	115
ANEXO 4.1	
Resistencia de los Materiales	117
ANEXO 4.2	
Resistencia de los Materiales	119
ANEXO 4.3	
Coefficiente de Transmisión de los Vidrios.....	121
ANEXO 4.4	
Coefficiente de Sombra.....	123
ANEXO 4.5	
Ganancia de calor para las personas	125
ANEXO 4.6	
Valores de promedio Fs....	127
ANEXO 4.7	
Clasificación para valores de luces.....	129
ANEXO 4.8	
Clasificación por iluminación	131
ANEXO 4.9	
Factores CLF.....	133
ANEXO 4.10	
Valores de CFM.....	135
ANEXO 4.11	
Tabla INAMHI.....	137
ANEXO 4.12	
Carta Psicrométrica de la ciudad de Quito.....	139
ANEXO 4.13	
Medición de la Humedad Relativa en la Zona.....	141
ANEXO 4.14	
Coefficiente Pico de Superficie K.....	143
ANEXO 4.15	
Factores de diseño.....	145

ANEXO 4.16	
Factor (Q/AKFd).....	147
ANEXO 4.17	
Diagrama de Flujo.....	149
ANEXO 4.18	
Programación en Matlab....	151
ANEXO 5.1	
Plano dimensiones oficina.....	167
ANEXO 5.2	
Tabla Prueba-Error.....	169

RESUMEN

El presente proyecto de titulación contiene el desarrollo de un sistema de calefacción por paneles radiantes, para llegar a ello en el primer capítulo se analiza la calefacción, su definición, diferentes características y clasificación de los mismos en base al fluido transmisor, como agua caliente, vapor de agua, aire caliente, electricidad, o radiación solar.

El segundo capítulo indica los procesos de transferencia de calor que ocurren en el sistema e involucra la convección, radiación y la transferencia combinada (radiación y convección).

El tercer capítulo trata los parámetros para el diseño, desarrollo del balance energético, temperatura de comodidad térmica y hallar la misma con el método del Dr. Fanger, además de la aplicación del programa de computación ALGOR para establecer distribución de la tubería en el panel.

En el cuarto capítulo se realiza el cálculo de cargas en base a la norma ASHRAE, además de la programación en MATLAB 7.0.

En el capítulo quinto se realiza un ejemplo del estudio realizado.

PRESENTACION

El presente proyecto de titulación se da gracias a que este país necesita tener a mano información, simulaciones que ayuden a la rápida comprensión de varios temas, el desarrollo de un programa que permita a las personas con nivel medio de conocimientos de transferencia de calor pueda desarrollar un sistema de calefacción con materiales disponibles en el país.

Existe la idea de promover la comodidad que no dañe el entorno, por lo que el estudio presenta un sistema que al instalarlo se vuelve parte del medio, elimina los caducos, que en la actualidad no se aplica o no es permitido, además que las edificaciones que eran utilizadas en vivienda actualmente se usan como oficinas, locales comerciales, etc.

Los sistemas de paneles radiantes son de poca aplicación en el país a causa del desconocimiento, mala arquitectura, poca motivación a nuevas formas de aplicación de la energía, falta de tecnología, poco conocimiento de materiales que presentan mejor comportamiento en la transferencia de calor pero no son utilizados en los países de origen ya que están sometidos a otros climas que modifican sus propiedades.

INTRODUCCION

Cuando se construyeron las edificaciones, el único sistema de calefacción existente fue la chimenea, por lo cual en el momento de la planificación los ingenieros no tomaron en cuenta un espacio para otro. Los sistemas modernos no poseen un diseño acorde con la arquitectura antigua razón por la cual la instalación de estos sistemas causa daños a la estética en los acabados, privando a sus ocupantes de la comodidad de la vida moderna.

En la búsqueda de información del tema, la biblioteca general de la E.P.N. posee una tesis acerca de una aplicación para una construcción moderna, en otras bibliotecas de la ciudad de Quito, Cuenca y Guayaquil no existe hasta la presente fecha. En libros la bibliografía brinda los conocimientos básicos para el logro del estudio, además de tener en la norma ASHRAE de 1997 el desarrollo de este sistema para los USA, y de encontrar los datos del clima que el INAMHI publica anualmente las condiciones ambientales en las distintas zonas del país.

La presente tesis se desarrolla gracias la inquietud de implementar en las edificaciones coloniales un sistema de calefacción para el centro ya que por ordenanzas municipales no se puede dañar la estética.

Un sistema de paneles radiantes básicamente consiste en un conjunto de cañerías distribuidas en la superficie del piso y cubierta por una protección la cual garantiza que el calor se distribuya a lo largo de todo el recinto, el fluido de trabajo es agua, la que es calentada en un caldero e insertada por varios serpentines llevando así el calor.

El tema requiere conocimientos en el área de termodinámica, transferencia de calor, fluidos, sistemas de aire acondicionado adquiridos a lo largo de los estudios de ingeniería mecánica, el programa contiene conocimientos del lenguaje adquiridos en seminarios facilitados por la AEIM (Asociación de Estudiantes de Ingeniería Mecánica).

Objetivos:

- Elaborar un programa que diseñe un sistema de paneles radiantes para el centro de la capital, en una casa como ejemplo de aplicación.
- Adquirir conocimientos en el área de la comodidad térmica para poder desarrollar un medio que tenga estas características.
- Conocer los materiales que se pueden ocupar para la construcción de un sistema de calefacción de este tipo.
- Diseñar un modelo que permita la transferencia de calor en el interior del panel.
- Encontrar si el sistema es o no aplicable en el centro histórico, en comparación con otro sistema.

CAPITULO 1

SISTEMAS DE CALEFACCION

El presente capítulo analiza la calefacción, su definición, las diferentes características y clasificación de los sistemas en base al fluido transmisor, como en agua caliente, vapor de agua, aire caliente, electricidad, así como el aprovechamiento de la radiación solar.

La descripción de cada sistema indica el funcionamiento, elementos que utilizan y a la vez indican factores indispensables para su aplicación en áreas que necesitan ser acondicionadas.

1.1 CALEFACCION

1.1.1 DEFINICION

Es un proceso que regula la pérdida de calor del cuerpo humano a condiciones ambientales estableciendo un equilibrio térmico entre el cuerpo y el ambiente que rodea al mismo para obtener la comodidad adecuada ^[1], ^[2].

La finalidad de un sistema de calefacción que se utiliza en el interior de un local o recinto cerrado es elevar la temperatura del ambiente, calentando al aire hasta obtener condiciones adecuadas para el cuerpo.

Un sistema de calefacción cumple y posee las siguientes características:

- a. Capacidad de calentamiento uniforme donde la temperatura ambiente sensitiva que es un valor medio entre la temperatura del aire y la temperatura de las paredes, debe ser lo más uniforme posible, esto es en sentido vertical, como horizontal, dentro de un rango de 20 a 23°C con una variación de $\pm 1^\circ\text{C}$

- b. Regulación de poder calórico es decir que la temperatura sensitiva debe ser variable entre los límites establecidos, dando la respuesta de calentamiento en el menor tiempo.
- c. El aire ambiente no debe verse afectado por los efectos de calefacción, es decir producir polvo, gases tóxicos, vapores, no ocasionar ruidos molestos o corrientes de aire.
- d. Rapidez de encendido, funcionamiento con facilidad de manejo.
- e. Mínimas pérdidas de calor
- f. Área mínima de instalación con mayor rendimiento y durabilidad.
- g. Bajo costo de instalación y funcionamiento

1.2.2 CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS DE CALEFACCION

La clasificación de los diversos sistemas de calefacción se da en función de la energía liberada por el fluido transmisor de calor, y entre los principales tenemos los siguientes ^[3]:

- 1.1.2.1 Calefacción por agua caliente
- 1.1.2.2 Calefacción por vapor de agua
- 1.1.2.3 Calefacción por aire caliente
- 1.1.2.4 Calefacción por resistencia eléctrica.
- 1.1.2.5 Calefacción por paneles radiantes
- 1.1.2.6 Calefacción electrónica
- 1.1.2.7 Calefacción termodinámica.
- 1.1.2.8 Calefacción por radiación solar.

1.1.2.1 Calefacción por agua caliente

El sistema utiliza agua en estado líquido como fluido para la transferencia de calor, calentado mediante una caldera central.

La red de tuberías constituye el mecanismo de circulación del fluido caliente que se intercala con un depósito de expansión, cuya finalidad es retener el exceso de volumen cuando se produzca expansión en el agua y eso se dirige hacia elementos emisores del mismo que a su vez pueden ser radiadores, tubos de aletas, serpentines o paneles y el fluido regresa a la caldera, por la red de retorno y a una temperatura más baja, la circulación es producida por una bomba centrífuga ^[4].

Sistema usado a baja presión, donde la cantidad de calor que se transmite es el peso del agua que circula, medida en kilogramos y multiplicada por la diferencia de la temperatura del agua, y su temperatura máxima de funcionamiento es de 80°C a 90°C ^[5].

Este sistema presenta tres disposiciones básicas:

- Distribuidor superior;
- Distribuidor inferior;
- Distribuidor monotubular.

La distribución superior: la acción de calor se produce de arriba abajo y su tubería de retorno son independientes. A continuación en la figura 1.1 se ilustra el sistema de calefacción con distribución superior ^[6].

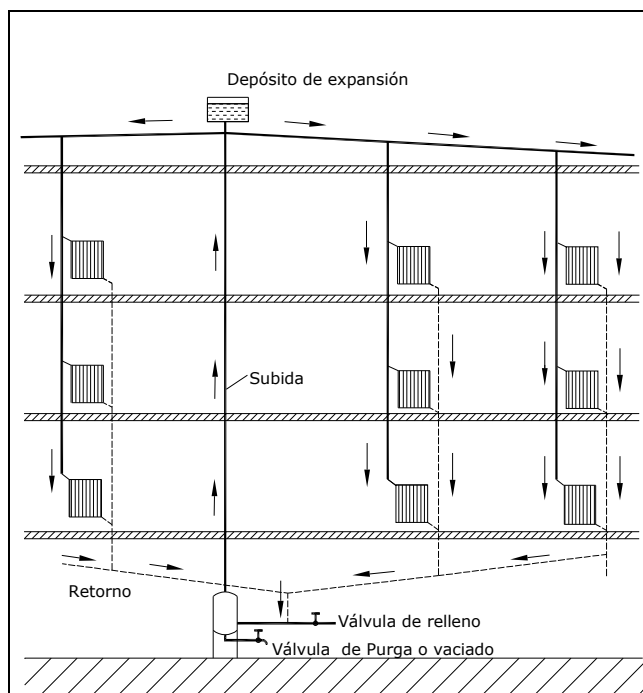


Figura 1.1.- Instalación del sistema de calefacción por agua caliente con distribución superior

La distribución inferior transmite el calor de abajo hacia arriba a diferencia de la anterior, las tuberías de retorno funcionan de manera similar, la figura 1.2 ilustra el sistema de calefacción por agua caliente con distribución inferior ^[7].

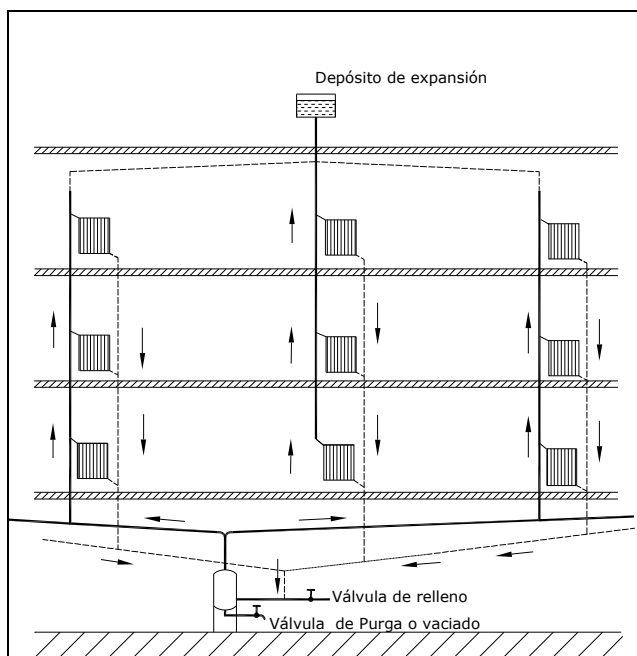


Figura 1.2.- Instalación de un sistema de calefacción por agua caliente con distribución inferior

El sistema monotubular es de tubería única, como indica la figura 1.3, que quiere decir que el retorno es el mismo que distribuye, entonces la transmisión de calor tiene lugar de arriba hacia abajo [8].

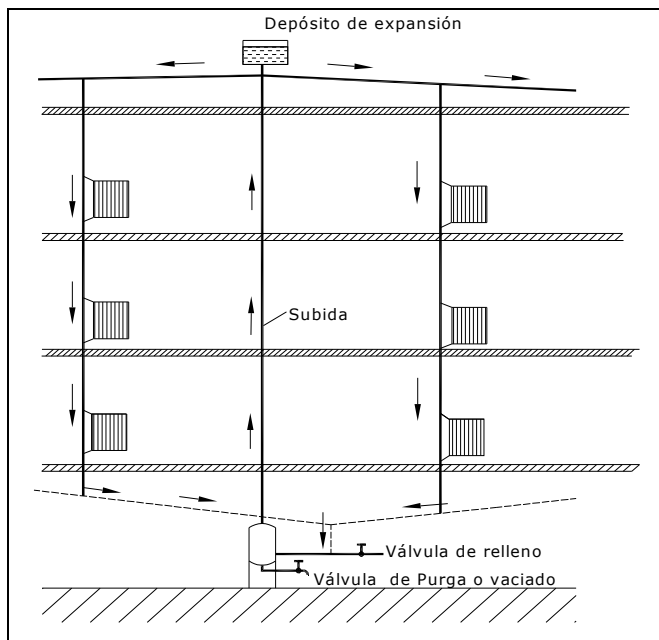


Figura 1.3.- Instalación de un sistema de calefacción por agua caliente con distribución monotubular

1.1.2.2 Calefacción por vapor de agua

Este sistema utiliza vapor a presión generado en la caldera, la circulación se lleva por las tuberías donde el vapor viaja hacia los intercambiadores que son radiadores y emplean un ventilador que acelera el movimiento del agua, que condensa y es devuelta a la caldera para reiniciar este proceso.

La calefacción por vapor puede funcionar a altas presiones ($> 0.5 \text{ Kg/cm}^2$), a baja presión ($< 0.500 \text{ Kg/cm}^2$, y la normal del régimen inferior a 0.150 Kg/cm^2) y por vacío [9].

Cuando la calefacción es para viviendas no es aconsejable usar vapor a alta presión, debido a la carbonización de impureza del aire que provoca.

El sistema a baja presión presenta desventajas: posibles fallos de dosificación, bajo rendimiento, reglaje impreciso de la instalación, pérdida de calorías en la red de canalización; ventajas; puesta a punto rápida, menor vulnerabilidad a los efectos de las heladas, y sobre todo, una instalación más económica ^[10].

El trabajo en vacío, en las tuberías no debe exceder de 0.03 Kg/cm^2 por cada 100 m de longitud equivalente, sin que la depresión total exceda el 0.07 Kg/cm^2 ^[11].

La variante para la distribución y retorno de fluido en un circuito de calefacción por vapor puede ser unitubular como se ilustra el figura 1.4 ^[12] o bitubular de la figura 1.5 ^[13], en función de la forma en la que el suministro de vapor a los radiadores y la recuperación del agua condensada tenga lugar por una sola tubería principal, o en su efecto dos tuberías de circulación independientes, una para la distribución de vapor y otra para el retorno.

La red de tuberías en una instalación de baja presión, será tal que no supere los 200 mm de columna de agua, para evitar el paso de vapor a la tubería de condensación. El punto más bajo de la tubería estará por encima del nivel de agua de la caldera, que se produce en las tuberías, aumentada, cuando menos 30 cm.

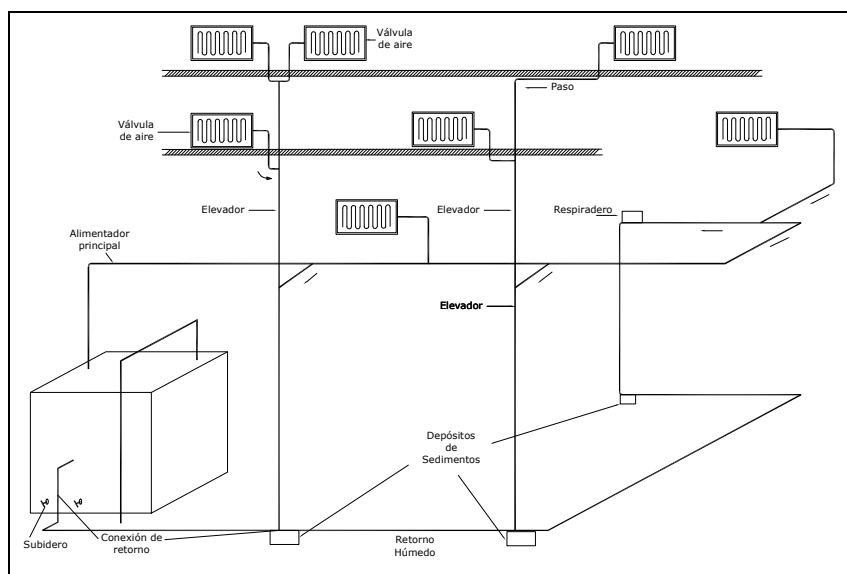


Figura 1.4.- Esquema de Calefacción por Vapor, sistema unitubular con retorno por gravedad y alimentación hacia arriba

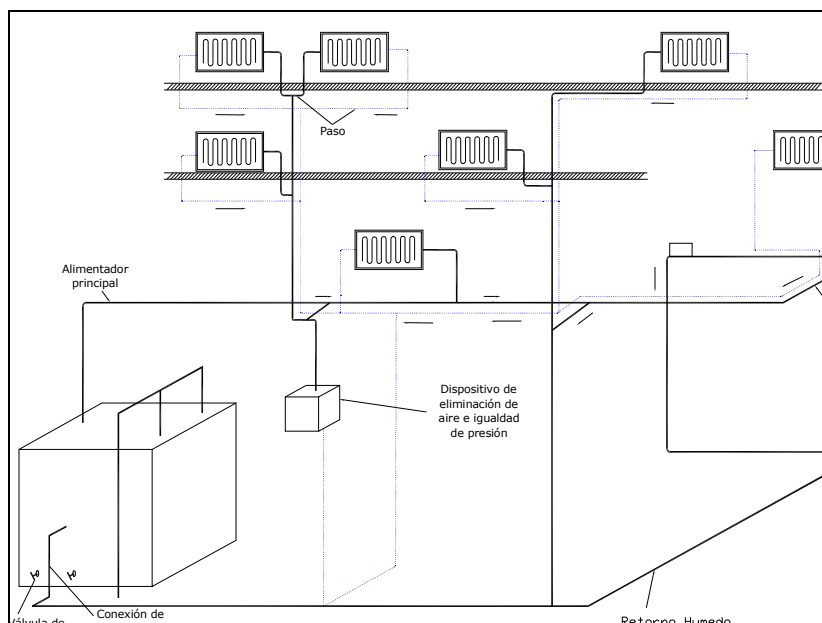


Figura 1.5.- Esquema de Calefacción por Vapor, sistema bitubular, alimentación hacia arriba y trampilla automática de retorno

1.1.2.3 Calefacción por aire caliente

Se denomina también calefacción por aire impulsado, este sistema filtra el aire, renovando el ambiente de locales sometidos a sus efectos, permite mantener el grado de humedad necesario en cada caso y convertir la calefacción en un sistema de refrigeración. Considerado como corriente de aire caliente controlada y dirigida que se encargará de calentar estancias en las que sea descargada ^[14].

Este sistema se halla constituido por un radiador encargado de elevar la temperatura de una masa de aire sometida a su acción, que luego circula por tuberías que distribuyen la masa de aire caliente hasta los locales que deban recibir sus efectos. Por lo común existen dos canales de evacuación: uno a nivel del suelo para el aire frío y en el techo, para el aire caliente, con su correspondiente damper de graduación.

La circulación del fluido puede tener efecto por la acción natural de la gravedad o bien ser impulsada con la ayuda de un ventilador centrífugo. En el primer caso se

denomina calefacción de aire por gravedad, y el segundo utilizado en forma moderna es la calefacción por aire forzado, como ilustra la figura 1.6.

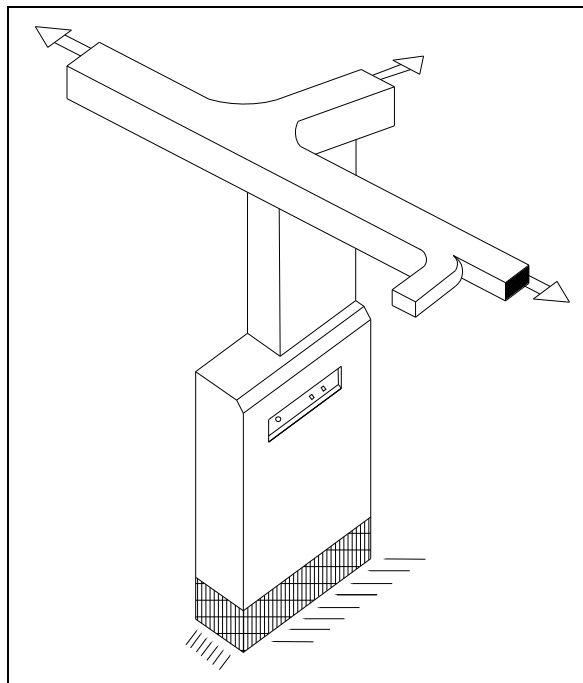


Figura 1.6.- Sistema de Convección Forzada, alimentación por medio de un ventilador en la parte superior

1.1.2.4 Calefacción por resistencia eléctrica

Son aquellas instalaciones que emplean electricidad para producir calor, por lo general utilizan una resistencia, o a la vez es sustituida por una bomba de calor. La figura 1.7 ilustra un sistema de calefacción por paneles de calefacción eléctrica^[15].

La electroconvección calienta por radiación del propio aparato generador, es decir que no puede producir y distribuir la energía calorífica mediante la debida canalización o red distribuidora, por lo que precisa de equipo completo para cada dependencia y son denominados en el mercado radiadores eléctricos que se enchufa a una toma de corriente y funcionan en el acto, prácticos y sencillos en la instalación, poco económicos en el consumo ^[16].

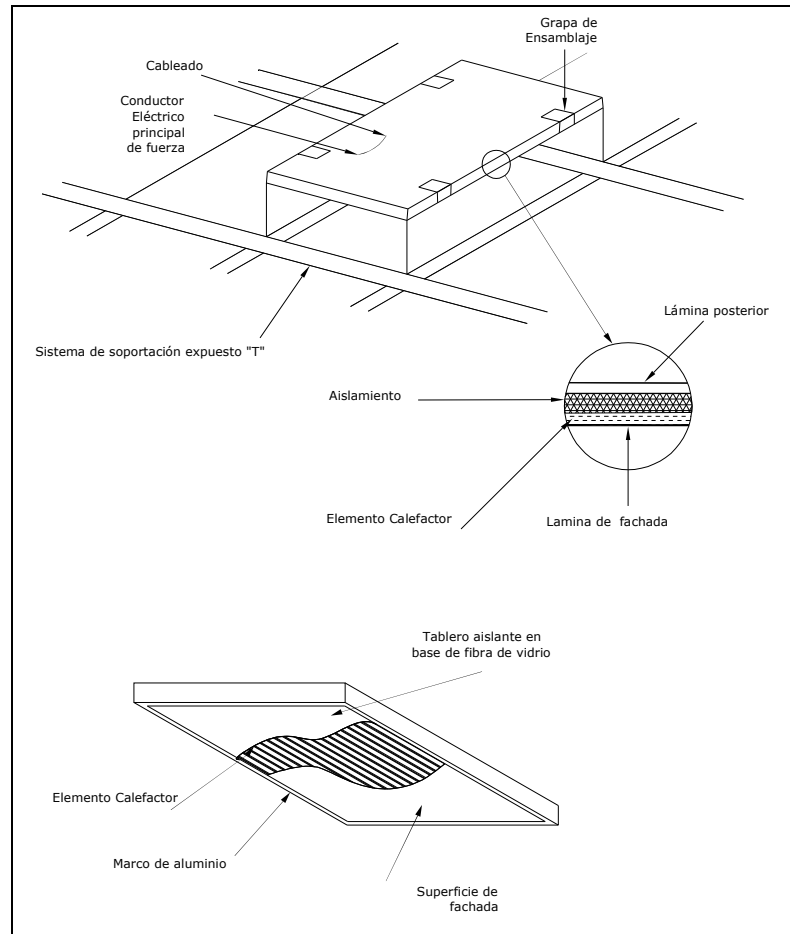


Figura 1.7 Paneles de Calefacción Eléctrica

El aprovechamiento de la conversión de energía eléctrica en calor, se utilizan en este tipo de aparatos hilos metálicos calificados, por la alta resistividad, que son a base de aleaciones de cromo-níquel, nicromo (cromo-níquel-hierro), cromo-níquel-silicio y cromo hierro-aluminio principalmente.

En la figura 1.8 se observa el detalle de la instalación de resistencias eléctricas en el piso.

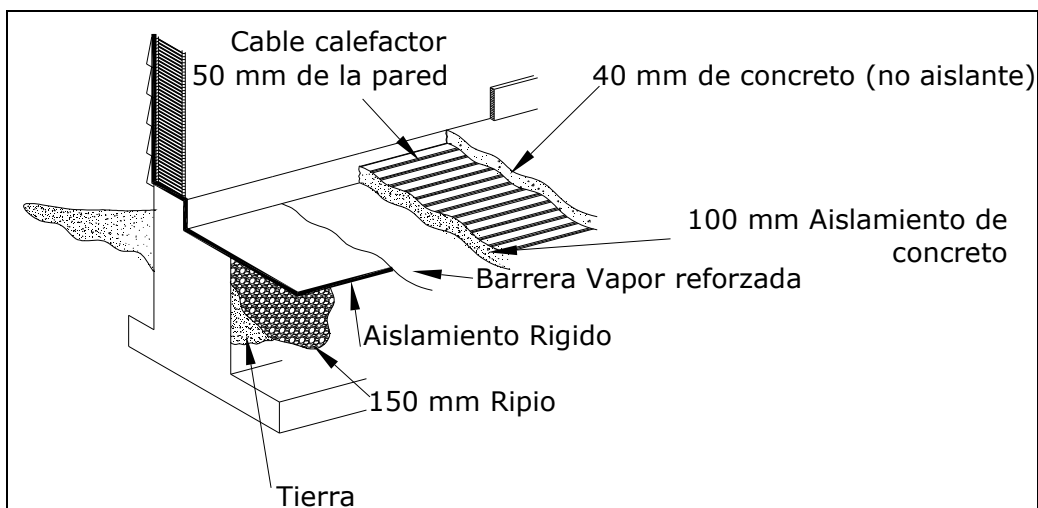


Figura 1.8.- Detalle de resistencias eléctricas colocadas la parte inferior

1.1.2.5 Calefacción por paneles radiantes

Se caracteriza en su uso para grandes áreas de las superficies que limitan los locales, relativamente a temperatura baja. Los elementos de calefacción son tuberías para agua caliente, conductos de aire caliente o resistencias eléctricas empotrados o situados detrás de techos, paredes o suelos.

La vigencia de calentar al local de abajo hacia arriba, con paneles empotrados en el suelo, como indica la figura 1.9^[17] y la disposición inversa, es radiar el calor de arriba hacia abajo, empleando al efecto los llamados paneles suspendidos, que cuelgan del techo a corta distancia del cielo raso.

Los últimos pueden ser: con fabricación de chapa metálica, donde se encuentran soldados los tubos calefactores y los que constan de una placa de material aislante que hace de pantalla a los citados tubos, sin establecer contacto con los mismos. Para el primer caso la superficie de la chapa, que constituye el panel radiante propiamente, sirve de base para la calefacción, cuando se calienta a su vez por conductividad.

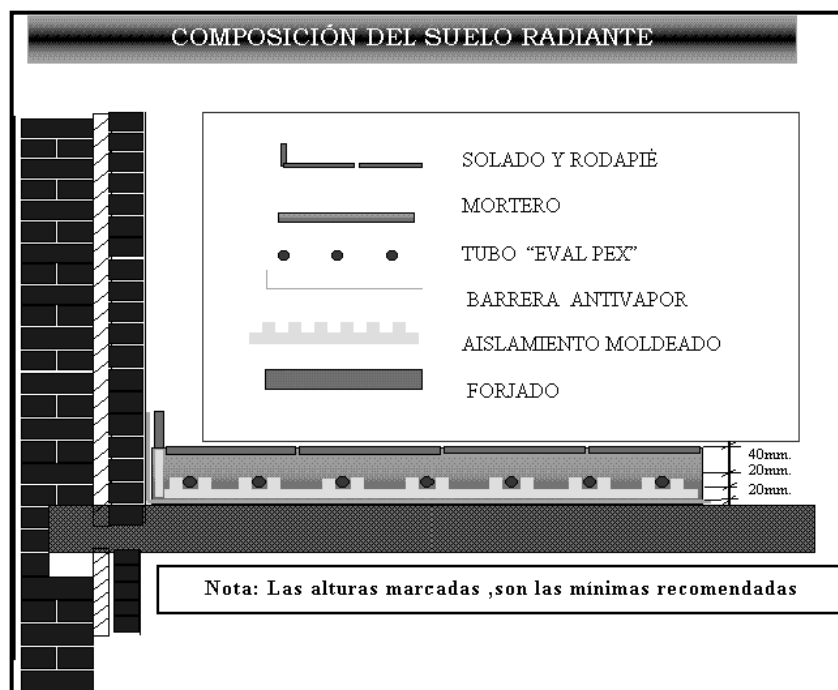


Figura 1.9.- Calefacción por piso radiante.

En la producción de calor emitido hacia abajo es de un 40%, donde aumenta un rendimiento hasta del 55%, pero su mayor problema es el inconveniente por la pérdida de calor ocasionada por las radiaciones que se elevan por la cara contraria que mira al suelo.

1.1.2.5.1 Distribución y Ubicación

Al inicio de un proyecto la ubicación y distribución de los sistemas de paneles radiantes para calefacción y acondicionamiento es prioritario, teniendo gran influencia en el tipo de techo escogido, y recíprocamente, las condiciones térmicas pueden dictar el tipo de techo a usar, es decir bajo diseño. La ubicación de los paneles de calefacción puede ser en el lado exterior de la pared.

Los paneles de calefacción que exceden 70 °C, no deberían ser ubicadas sobre áreas ocupadas. Por ejemplo en aplicaciones para hospitales, la válvulas deberían ser ubicadas en el corredor exterior del cuarto de pacientes ^[18].

Uno de los siguientes tipos de construcción es generalmente usado:

1. Una mínima porción de la losa esta empotrada cañería o tubo, en general 25 mm bajo la superficie. Si el yeso es aplicado a el concreto, la tubería podría ser directamente ubicada en el entablado. En el final de la losa no usa yeso, la tubería deberá ser instalada no menos de 20 mm sobre la superficie inferior de la losa. La figura del Anexo 1.1 muestra el detalle para el método de construcción. El fondo mínimo debe obedecer completamente a la normativa de edificios locales.
2. Las cañerías o tuberías están empotrados en metal compacto y techo de yeso. Si el compactado está suspendido para formar un techo colgado, el mismo con los radiadores de calefacción están cuidadosamente sujetos a los miembros de soporte, así esta bajo con un buen contacto con el radiador. El yeso es luego aplicado al metal cuidadosamente embebido al radiador, como se indica en la figura 1.10
3. La tubería plástica o de cobre de diámetro mas pequeño es atada a la parte inferior del cableado o yeso compactado. La masilla es luego aplicada al tubo empotrado.
4. Otras formas de construcción son de tableros compuestos, madera panelada, etc, con cañerías, tubería de agua caliente o canales construidos en las secciones del panel.

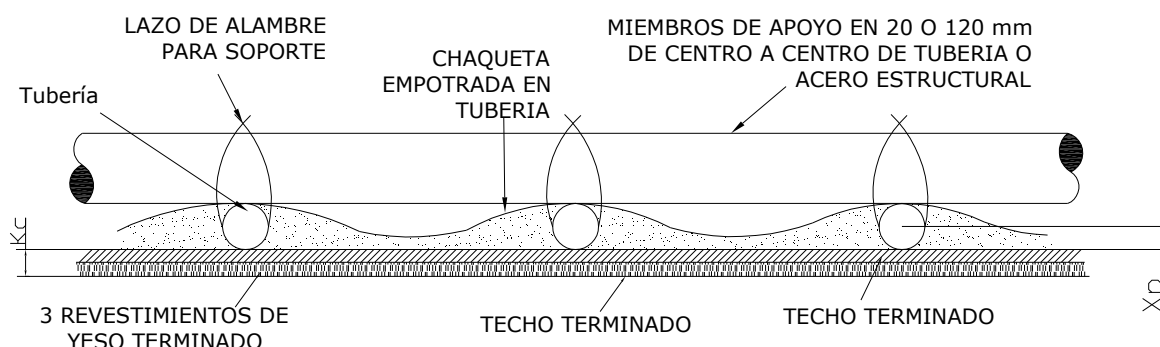


Figura 1.10 Tumbado Suspendido con acabados de yeso

Los radiadores pueden ser plásticos, ferrosos o no ferroso, y usualmente tienen forma sinusoidal o en el techo pueden usar del tipo reja, el espaciamiento de los tubos del radiador está desde 110 hasta 230 mm de centro a centro, dependiendo de la salida requerida, tubería o tamaño de cañería, entre otros factores.

La aplicación de un masillado en las cañerías, bajo una norma de tres-chaquetas de especificación de yeso masillado, es con mínimo de 10 mm de cubierta bajo los tubos cuando ellos están instalados bajo el compactado, donde la temperatura de superficie del panel masillado no exceda los 50 °C, acompañando por la limitación de la temperatura del agua en las tuberías en 60 °C. La ubicación del aislamiento debe estar sobre los radiadores para la reducción de pérdidas ^[19].

- Paneles Hidrónicos de Pared

La tubería empotrada en las paredes no es comúnmente usada como en pisos y techos, puede ser construido por algún método perfilado para pisos y techos. El diseño es similar a otros sistemas de paneles hidrónicos ^[20].

- Paneles Hidrónicos de Piso.

El control de las técnicas, nuevos diseños, introducción de cañería no metálica ha hecho que el incremento el uso de este tipo de sistema. El espaciamiento en general 100 a 300 mm de centro a centro en radiadores, El espaciamiento bajo la baldosa o piso desnudo pueden causar que la distribución de las temperaturas en la superficie sea desigual.

- Tubería Empotrada en Losa de Concreto.

La forma de construcción de los radiadores es de una sinusoide-continua o arreglos como cabeza espiral y un espaciamiento de 150 mm a 450 mm de centro a centro en la tubería. La instalación es generalmente de 40 a 100 mm de cubierta sobre el radiador. El aislamiento es recomendado para reducir el perímetro y las pérdidas. La ubicación del impermeabilizante es adecuado para la protección del aislamiento y la tubería ^[21].

Durante su vida los sistemas podrían fallar alguna vez. Las válvulas adecuadas y dibujos propiamente etiquetados ayudaran aislar el punto de falla.

- Tubería suspendida en el piso.

La tubería podría ser suspendida arriba o bajo los pisos de madera usando varios métodos de construcción. La tubería podría ser arreglada a la superficie del piso y embebida en una capa de masillado de yeso, montado encima o bajo el nivel inferior del piso, o atado directamente a la parte inferior del subpiso. Usando paneles metálicos para mejorar la transferencia de calor de la tubería. La instalación del aislamiento con una superficie reflectiva y dejando un espacio de aire de 50 a 100 mm del subpiso.. El espaciamiento de las tuberías en general es 100 a 300 mm separadamente. Un espacio exagerado bajo la baldosa o piso descubierto pueden causar desigualdad de temperaturas en las superficies ^[22].

La figura del Anexo 1.2 ilustra la construcción con tubería empotrada en concreto o yeso. Los espesores del material empotrado son generalmente 25 a 50 mm siendo aplicado a un subpiso de madera. La provisión de resistencia, flexibilidad y superficie lisa es lo que debe proporcionar el material empotrado que puede acoplarse a variedades de pisos cubiertos.

La figura del Anexo 1.3 indica que la cañería podría estar instalada encima del sub-piso. La cañería es instalada en la parte superior de las vigas entre los miembros del sub-piso. La difusión de calor y la temperatura de superficie puede ser mejorada uniformemente adicionando platos de transferencia de calor metálicos, el cual es un cobertor de calor bajo el piso terminado.

La figura del Anexo 1.4 muestra un arreglo de la cañería de la parte inferior de él sub-piso con o sin platos de transferencia de calor metálicos.

1.1.2.6 Calefacción electrónica

El sistema es producido por osciladores electrónicos de alta frecuencia alimentados por una corriente alterna continua, constituye el denominado calor radiante, que es el aprovechamiento de la radiación infrarroja, donde las ondas emitidas por los cuerpos calientes en determinadas condiciones y que tienen la propiedad de transformarse en calor al ponerse en contacto con un cuerpo que le oponga resistencia, perdiendo en cambio muy escasa energía calorífica en el aire, que actúa de medio de transmisión y se hallan entre la radiación visible roja y las ondas de la radio ^[23].

1.1.2.7 Calefacción Termodinámica

Es también llamado sistema de bomba de calor, aplicable en países con bajo coste de consumo eléctrico. Es un sistema de mucho mayor rendimiento que los radiadores por resistencia eléctrica. Constituye a un desarrollo de cuatro fases que corresponde a las cuatro fases del ciclo de Carnot ^[24].

La primera fase de ellas es el gas enfriado pasa por un radiador a contracorriente en contacto con aire, tomando su propia temperatura y evaporándose; en la segunda fase el fluido auxiliar es objeto de compresión por parte de la bomba, produciendo calor de compresión, la tercera fase que corresponde a la entrega del fluido al ambiente. Por último el fluido enfriado vuelve a tomar contacto con el agua o el aire para dar comienzo al nuevo ciclo, que se reproducirá sucesivamente.

1.1.2.8 Calefacción por Radiación Solar

Es el aprovechamiento de la energía por radiación solar para conseguir calor controlado. Que consiste en un colector de calor, energía calorífica recibida que se almacenará durante las horas de insolación a ser utilizada en las horas de la noche o en los días nublados o fríos.

Los radiaciones luminosas pasan a través de un vidrio que permiten la llegada a una plancha que actúa como cuerpo negro que tiene la capacidad de absorber todas las incidencias en su superficie, y el aire es recogido a su vez, en la cámara de almacenaje que consiste en un recipiente hermético adecuadamente dispuesto para el efecto.

REFERENCIAS

1. CALEFACCION Y SUMINISTRO DE AGUA CALIENTE. Colin Penn. Primera Edición. 1963. Pag. 18, 19- 21
2. Instalaciones en los Edificios, Gay Charles Merrick. Editorial Gustavo Gill. Barcelona, 1974. Pag, 278-279
3. Calefacción y Climatización, Ramos Juan de Cusa, Quinta Edición, Barcelona, 1972, pag. 23
4. CALEFACCION Y SUMINISTRO DE AGUA CALIENTE. Colin Penn. Primera Edición. 1963. Pag. 111
5. Calefacción y Climatización. Ramos Juan de Cusa. Quinta Edición. Barcelona. 1972. Pag. 24
6. Calefacción y Climatización. Ramos Juan de Cusa. Quinta Edición. Barcelona. 1972. Pag. 24
7. Calefacción y Climatización. Ramos Juan de Cusa. Quinta Edición. Barcelona. 1972. Pag. 25
8. Calefacción y Climatización. Ramos Juan de Cusa. Quinta Edición. Barcelona. 1972. Pag. 25
9. Calefacción y Climatización. Ramos Juan de Cusa. Quinta Edición. Barcelona. 1972. Pag. 30
10. Instalaciones en los Edificios, Gay Charles Merrick. Editorial Gustavo Gill. Barcelona, 1974. Pag, 310
11. Calefacción y Climatización. Ramos Juan de Cusa. Quinta Edición. Barcelona. 1972. Pag. 30
12. Calefacción y Climatización. Ramos Juan de Cusa. Quinta Edición. Barcelona. 1972. Pag. 31
13. Calefacción y Climatización. Ramos Juan de Cusa. Quinta Edición. Barcelona. 1972. Pag. 31
14. Calefacción y Climatización. Ramos Juan de Cusa. Quinta Edición. Barcelona. 1972. Pag. 54
15. ASHRAE HANDBOOK. Browse 1996 Systems and Equipment. Pag. 29
16. Calefacción y Climatización. Ramos Juan de Cusa. Quinta Edición. Barcelona. 1972. Pag. 62

17. <http://cuena.com/productos/DOMOTICA/domotica.pdf>
18. ASHRAE HANDBOOK. Browse 1996 Systems and Equipment. Pag. 25
19. ASHRAE HANDBOOK. Browse 1996 Systems and Equipment. Pag. 24
20. ASHRAE HANDBOOK. Browse 1996 Systems and Equipment. Pag. 26
21. ASHRAE HANDBOOK. Browse 1996 Systems and Equipment. Pag. 27
22. ASHRAE HANDBOOK. Browse 1996 Systems and Equipment. Pag. 27
23. Calefacción y Climatización. Ramos Juan de Cusa. Quinta Edición. Barcelona. 1972. Pag. 69
24. Calefacción y Climatización. Ramos Juan de Cusa. Quinta Edición. Barcelona. 1972. Pag. 69

CAPITULO 2

PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN EL SISTEMA

El capítulo menciona la transferencia de calor que se da en el sistema de calefacción por piso radiante, involucra la convección, la radiación y la transferencia combinada (radiación y convección).

Los usos de los paneles de calefacción en superficies de temperatura controlada se mantiene por circulación de agua, aire, o corriente eléctrica en un circuito empotrado en el panel sea este en el piso, paredes o techo.

2.1 PRINCIPIOS DE TRANSFERENCIA DE ENERGIA RADIANTE

Las características principales de energía radiante es:

1. Transmisión de la energía radiante con una velocidad igual a la luz.
2. Viaja en línea recta y puede ser reflejada.
3. La temperatura de los objetos sólidos se eleva por absorción mediante la energía la cual no calienta el aire o el medio a través del que viaja.

La tasa de energía radiante transferida depende de los siguientes factores:

- Temperatura (de la superficie emisora y la receptora)
- Emitancia (de la superficie radiante)
- Razón de flujo luminoso, reflejado, absorbido y transmitido (del que recibe)
- Factor de visión entre la superficie emitida y recibida (ángulo de visión del ocupante a la fuente radiante)

Los paneles de calefacción proveen un ambiente térmico, controlando bajo la temperatura de superficie dentro del espacio ocupado así afectando la transferencia de calor radiante. La temperatura radiante media (MRT) tiene gran influencia en la comodidad del cuerpo, y es cuando las temperaturas de las

superficies que comprenden el edificio se desvía excesivamente de la temperatura ambiente, los sistemas de convección a veces tienen la dificultad de neutralizar la incomodidad causada en superficies calientes o frías. Los paneles neutralizan estas deficiencias y reduce pérdidas o ganancias de radiación por el cuerpo.

Las ventajas principales de los sistemas de panel radiante son las siguientes:

- La comodidad es mejor que otros sistemas de acondicionamiento porque las cargas radiantes son tratadas directamente y el movimiento de aire en el espacio está en los niveles normales.
- El equipo para el espacio acondicionado no necesita de las paredes externas, paredes simples, piso y sistemas estructurales, en donde casi todos los equipos mecánicos pueden ser ubicados de manera central, con una operación y mantenimiento simple ^[25].
- Ningún espacio es requerido en el cuarto de aire acondicionado para equipos mecánicos. Característica útil en hospitales para cuartos de pacientes y otras aplicaciones para lugares aislados, donde el máximo de limpieza es esencial o donde sean dictados requisitos legales.
- El suministro de las cantidades de aire no excede a los requeridos para ventilación y dehumidificación ^[26].
- La calefacción y enfriamiento pueden ser simultáneos, sin división en zona central o cambios de estación, cuando se usan los sistemas de cuatro-tuberías.
- El sistema de panel puede utilizar el sistema automático de tubería tipo rociador. La máxima temperatura de agua no debe fundir las cabezas.
- Los paneles de calefacción y enfriamiento suministran cantidades de aire mínimas al ambiente.
- El ruido producido por las unidades ventilador-serpentin o unidades de inducción es eliminado ^[27].
- Las cargas pico son reducidas como resultado de la etapa térmica de energía en la estructura del panel, paredes expuestas y particiones.

- Los paneles pueden ser acoplados con otros sistemas para compensar la pérdida de calor para frío o pisos calientes, ventanas, etc.

2.2 TRANSFERENCIA DE CALOR POR SUPERFICIES DEL PANEL

La transferencia de calor producida por los paneles se da por radiación y por convección natural.

2.2.1 TRANSFERENCIA POR RADIACIÓN

La ecuación básica para un local de superficies múltiples grises, superficies isotérmicas difusas son derivadas de métodos de formulación de los cuales son^[28]:

$$q_r = J_p - \sum_{j=1}^n F_{pj} J_j \quad \text{Ec. 2.1}$$

Donde:

q_r = Transferencia de calor por radiación neta de la superficie del panel, W/m^2

J_p = Radiosidad total que sale de la superficie del panel, W/m^2

J_j = Radiosidad desde otra superficie del cuarto, W/m^2

F_{pj} = factor de visión entre las superficie del panel y otra superficie del cuarto(adimensional).

n = numero de superficies del cuarto adicionales al panel.

Simplificando la ecuación anterior reduciéndose en el método conocido como MRT (Walton 1980), el intercambio de radiación en una habitación se ha modelado asumiendo que cada superficie radia a una superficie ficticia de emitancia y temperatura que produce alrededor de la misma transferencia de calor que el caso de multi-superficies. Adicionalmente, los factores de ángulo no necesitan determinarse dentro de las dos superficies. La ecuación MRT puede escribirse:

$$q_r = \sigma * F_r (T_p^4 - T_r^4) \quad \text{Ec. 2.2}$$

Donde:

T_p = temperatura efectiva de superficie de panel K

σ = constante de Stefan Boltzmann $(5.67 * 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4)$

F_r = factor de intercambio de radiación (adimensional).

T_r = temperatura de superficie ficticia (sin calentar), K

La temperatura de superficie ficticia es dada por la siguiente expresión ^[29]:

$$T_r = \frac{\sum_{j \neq p}^n A_j \varepsilon_j T_j}{\sum_{j \neq p}^n A_j \varepsilon_j} \quad \text{Ec. 2.3}$$

Donde:

A_j = área de las superficies excepto la del panel

ε_j = emisividad térmica excepto la del panel (adimensional)

El factor de intercambio de radiación o ecuación Hottel (ecuación 2.4) para intercambio de calor entre dos superficies está dado por:

$$F_r = \frac{1}{\frac{1}{F_{p-r}} + \left(\frac{1}{\varepsilon_p} - 1 \right) + \frac{A_p}{A_r} \left(\frac{1}{\varepsilon_r} - 1 \right)} \quad \text{Ec. 2.4}$$

Donde:

F_{p-r} = factor de visión desde el panel a la superficie ficticia (1.0 para panel plano).

A_p, A_r = área de superficie del panel y superficie ficticia, respectivamente.

$\varepsilon_p, \varepsilon_r$ = emisividad térmica de la superficie de panel y superficie ficticia respectivamente (adimensional).

Los valores de la emisividad térmica para superficies no reflejantes, metálicas pintadas o no metálicas la emisividad térmica ($\varepsilon_p, \varepsilon_r$) es alrededor de 0.9. Al utilizar este valor de emisividad en la ecuación 2.4, el factor de intercambio de radiación F_r esta cerca de 0.87 para la mayoría. Sustituyendo este valor en la ecuación 2.2, σF_r es alrededor de 5×10^{-8} . Min. Et al. (1956) demostró que el valor de esta constante fue 5.03×10^{-8} en sus habitaciones experimentales.

La ecuación de radiación para calentamiento es:

$$q_r = 5 \times 10^{-8} \left[(t_p + 273)^4 - (AUST + 273)^4 \right] \quad \text{Ec. 2.5}$$

Donde:

t_p = temperatura efectiva de la superficie del panel °C

$AUST$ = temperatura promedio de las superficies no controladas en el cuarto, °C .

El intercambio de radiación calculado desde la ecuación 2.5 está dado en la grafica del Anexo 2.1. Los valores se aplican para paneles de tumbado, piso, o paredes.

2.2.2 TRANSFERENCIA POR CONVECCION

En general en los sistemas de paneles se tiene convección natural donde el aire en movimiento es generado por calentamiento o enfriamiento de la capa límite de aire, sin embargo muchos factores afectan a la convección natural, como la configuración de la habitación, infiltración, movimiento de personas, y sistemas de ventilación que pueden introducir alguna convección forzada que distorsiona el proceso natural

La convección en el panel está en función de la temperatura de la superficie del mismo y la temperatura de la capa de corriente junto al panel. Las mediciones más consistentes se obtienen cuando la temperatura del aire se mide donde la corriente de aire empieza a desarrollarse totalmente, usualmente 50 a 65 mm desde de los paneles ^[30].

Min et al (1956) determinó los coeficientes a 1.5 m sobre el piso en centro de una habitación de 3.6 m x 7.5 m. Las ecuaciones que se derivan de esta investigación se puede utilizar para calcular la transferencia de calor por convección ^[31].

- Convección natural de un tumbado calentado

$$q_c = 0.20(t_p - t_a)^{1.25} / D_e^{0.25} \quad \text{Ec. 2.6}$$

- Convección natural de un piso calentado

$$q_c = 2.42|t_p - t_a|^{1.31} / D_e^{0.08} \quad \text{Ec. 2.7}$$

- Convección natural de un panel de pared calentado

$$q_c = 1.87|t_p - t_a|^{1.32} / H^{0.05} \quad \text{Ec. 2.8}$$

Donde

q_c = calor transferido por convección natural, W/m^2

t_p = temperatura efectiva de la superficie de panel, °C

t_a = temperatura de aire, °C

D_e = diámetro equivalente de panel (4 x área/perímetro), m

H = Altura de panel de pared, m

Schutrum y Vouris (1954) establecieron que el efecto del tamaño del cuarto es insignificante excepto para espacios demasiados grandes, para el caso la ecuaciones 2.6 y 2.7 pueden no usarse. Y las ecuaciones de convección pueden modificarse para ^[32]:

a) Convección natural desde un piso calentado.

$$q_c = 2.12|t_p - t_a|^{0.31}(t_p - t_a) \quad \text{Ec. 2.9}$$

Donde su correspondiente Grafica del Anexo 2.2 muestra el calor que evacua el panel por medio de convección natural

b) Convección natural desde un panel de pared

$$q_c = 1.78 |t_p - t_a|^{0.32} (t_p - t_a) \quad \text{Ec. 2.10}$$

2.2.3 TRANSFERENCIA DE CALOR COMBINADA (RADIACION Y CONVECCION)

La transferencia de calor combinada desde un panel puede determinarse por aumento de calor radiante q_r calculado en la ecuación 2.5 o de la gráfica del anexo 2.2. Para la convección q_c calculadas de las ecuaciones 2.9, 2.10, o de la gráfica del anexo 2.3 muestra la convección natural para paneles de calefacción en pisos, paredes y tumbados.

El cálculo del AUST de la habitación o recinto requerido en la ecuación 2.5, se asume la temperatura de superficie de pared interior como la temperatura del aire en el cuarto.

La temperatura de superficie del lado interno de paredes exteriores y pisos o tumbados se calcula de la siguiente relación de transferencia de calor ^[33]:

$$h(t_a - t_u) = U(t_a - t_o) \quad \text{Ec. 2.11}$$

$$t_u = t_a - \frac{U}{h}(t_a - t_o) \quad \text{Ec. 2.12}$$

Donde:

h = conductancia de la superficie interior de pared o techo expuesto.

U = coeficiente global de transferencia de calor de pared, techo o piso, $W/(m^2K)$

t_a = temperatura del aire del cuarto °C

t_u = temperatura de la superficie interior de pared exterior, °C

t_o = temperatura del aire exterior, °C

Los siguientes valores son tomados de la Tabla del Anexo 2.4

$h = 9.26 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ para una superficie horizontal con flujo de calor para arriba

$h = 9.09 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ para una superficie vertical (pared)

$h = 8.29 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ para una superficie horizontal con flujo de calor para abajo

De la ecuación 2.12 se obtiene la gráfica del Anexo 2.5 para una pared exterior vertical donde $h = 9.09 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

REFERENCIAS

25. Heating, Ventilation and Air Conditioning Library. Brumbagh, James E. First Edition. Indianapolis. 1981. pag. 60
26. ASHRAE HANDBOOK. Browse 1996 Systems and Equipment. Chapter 6. Pag. 2
27. ASHRAE HANDBOOK. Browse 1996 Systems and Equipment. Chapter 6. Pag. 2
28. ASHRAE HANDBOOK. Browse 1996 Systems and Equipment. Chapter 6, Pag. 3
29. ASHRAE HANDBOOK. Browse 1996 Systems and Equipment. Chapter 6, Pag. 4
30. ASHRAE HANDBOOK. Browse 1996 Systems and Equipment. Chapter 6, Pag. 4
31. ASHRAE HANDBOOK. Browse 1996 Systems and Equipment. Chapter 6, Pag. 6
32. ASHRAE HANDBOOK. Browse 1996 Systems and Equipment. Chapter 6, Pag. 6
33. ASHRAE HANDBOOK. Browse 1996 Systems and Equipment. Chapter 6, Pag.8-9

CAPITULO 3

PARAMETROS PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE CALEFACCION POR PISO RADIANTE

Se establecen los parámetros de análisis para la solución del problema planteado, después se determina el balance energético en el cual se consideran todas las cargas que influyen sobre el sistema estableciendo que existen parámetros desconocidos y que no son de fácil obtención, es así que para determinar la temperatura de comodidad se realizan una serie de cálculos basados en el estudio realizado por el Dr. Fanger., la determinación de la distribución de tubería que cumpla con el requerimiento establecido es con la ayuda del programa de computación ALGOR en el cual mediante el proceso de prueba-error se halla la distancia que satisfaga las condiciones dadas anteriormente para un panel. Los resultados obtenidos se utilizan en el capítulo siguiente.

3.1 CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Para empezar con el análisis en la siguiente se da a conocer la forma básica de un sistema de calefacción por paneles radiante.

El sistema de paneles radiantes es similar al arreglo y componentes del sistema aire-agua (figura 3.1). Las cargas de calentamiento deben calcularse en forma convencional.

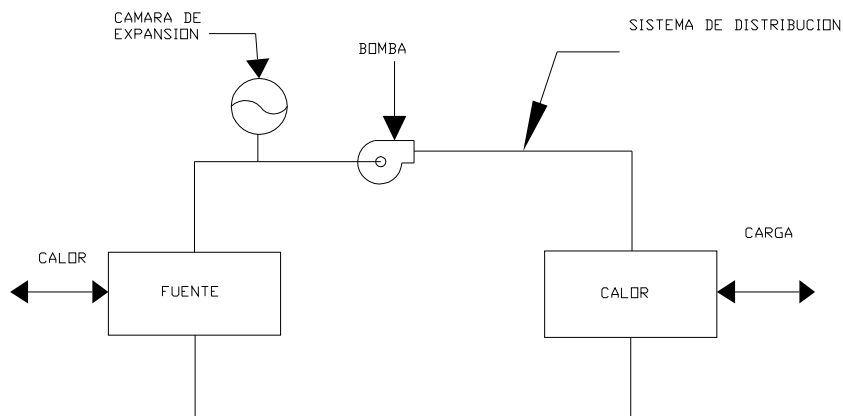


Figura 3.1 Componentes fundamentales de Un Sistema Hidrónico

1. Diseño del Sistema de Calefacción para un local ubicado en el centro histórico de Quito.
2. Se considera pérdidas y ganancias de calor en los materiales de construcción.
3. Las construcciones poseen paredes de ladrillo o de adobe, puerta de madera, baño, ventanas madera con vidrio sencillo, piso flotante, el tumbado es de yeso compactado, considerando un tipo de construcción que se elaboro en la época colonial.
4. La altura del panel es de 5 cm, dimensión máxima permitida por la norma ASHRAE.
5. Los paneles de calefacción radiante son considerados como equipos que transfieren más del 50% del calor, por medio de radiación.
6. Las pérdidas son: infiltración de aire por puertas, ventanas y ductos, por transmisión de calor en paredes, pisos y techos y absorción de calor por personas.

7. Diferencia de temperatura entre la entrada y salida del agua en el serpentín para el área a calentarse es de 10°C .
8. Emisividad de pared de color blanco $\varepsilon = 0.9$.

3.2 FASES DEL DISEÑO

1. Cálculo de la temperatura de comodidad térmica.
2. Cálculo de pérdidas por infiltración dentro del área a ser calentada.
3. Cálculo de pérdidas y ganancias de calor dentro por cada pared, tumbado, techo, ventanas y puerta.
4. Asumir el 20 % de pérdidas de calor dentro de la tubería por lo que es incrementado este porcentaje al calor total del área a calentarse.
5. Determinación de la temperatura superficial en el panel.
6. Selección del tipo de tubería a utilizar.
7. Selección del aislamiento en la parte inferior y extremos del panel.
8. Selección del tipo de piso a colocar y el cálculo de efectos causados por la variación de temperatura.

3.3 BALANCE ENERGETICO DEL SISTEMA

Para la resolución del problema primero se plantea el balance energético del sistema en base a la siguiente figura:

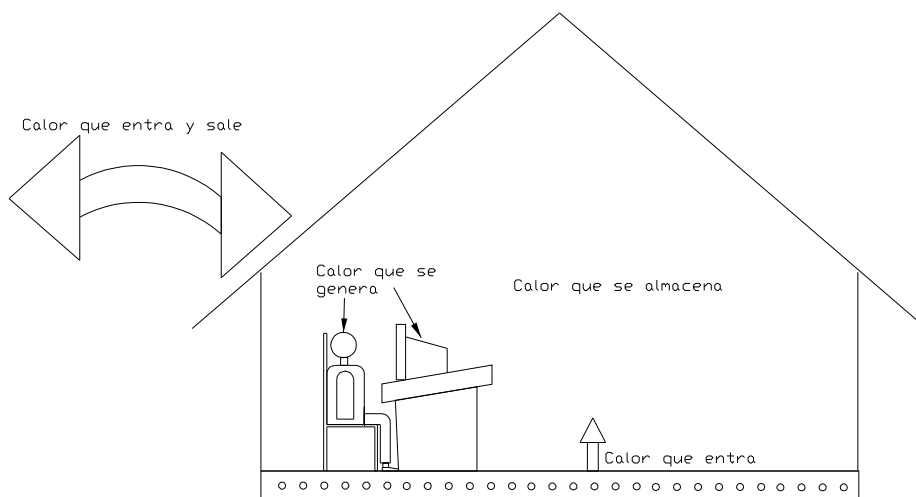


Figura 3.2.- Balance energético del sistema

3.3.1 ECUACION GENERAL DE CONSERVACION DE LA ENERGIA

Con la ayuda de la transferencia de calor se obtiene la ecuación de la conservación de la energía ^[34]:

$$\dot{E}_{ent} + \dot{E}_g - \dot{E}_{sale} = \dot{E}_{alm} \quad Ec.3.1$$

Donde:

\dot{E}_{ent} : Energía que entra.

\dot{E}_g : Energía que se genera.

\dot{E}_{sale} : Energía que sale

\dot{E}_{alm} : Energía que se almacena.

3.3.1.1 Energía que entra

Representada por el calor que ingresa al recinto por medio de convección y radiación dado por los paneles.

3.3.1.2 Energía que se genera

Es la energía que aportan las personas, luces y equipos que se encuentren en el local.

3.3.1.3 Energía que sale

Es la energía que sale o se transfiere a las paredes, techos, ventanas y puertas.

3.3.1.4 Energía que se almacena

Es la energía que guarda el recinto. Para el caso es igual a cero en vista de no tener elementos que absorban este calor.

Para la resolución del balance energético se debe utilizar las ecuaciones 2.5 y 2.9

$$q_r = 5 \times 10^{-8} \left[(t_p + 273)^4 - (AUST + 273)^4 \right] \quad (2.5)$$

$$q_c = 2.12 |t_p - t_a|^{0.31} (t_p - t_a) \quad (2.9)$$

Siendo el calor total útil del panel la suma de las ecuaciones anteriores

Bajo condiciones normales t_a puede tomarse igual a AUST:

$$q = 5 \times 10^{-8} \left[(t_p + 273)^4 - (t_a + 273)^4 \right] + 2.12 |t_p - t_a|^{0.31} (t_p - t_a) \quad Ec.3.2$$

La ecuación anterior requiere conocer las variables t_a , q , t_p , y al no existir una relación entre las mismas se deben establecer dos análisis:

- Analizar cual es la temperatura a la cual el ser humano se encuentra cómodo, mediante el estudio realizado por el Dr Fanger.
- Realizar un estudio sobre el panel para determinar las resistencias térmicas interiores.

3.3.2 COMODIDAD TERMICA

El cuerpo humano es un sistema termodinámico isotérmico, que frente a grandes o pequeños cambios ambientales mantiene una temperatura constante, y ese aumento o disminución causa molestias a la persona, y es allí donde se ve el concepto de comodidad ^[35].

La necesidad de establecer un equilibrio térmico para que la temperatura del cuerpo se mantenga constante dependa de:

- Temperatura ambiental
- Temperatura radiante media
- Velocidad del aire
- Características de resistencia térmica del vestido
- Nivel de actividad de la persona
- Humedad Relativa.

3.3.2.1 Ecuación de comodidad

Es una herramienta que mide parámetros físicos, evaluándose bajo condiciones se puede dar comodidad térmica dentro del espacio para acondicionar. La ecuación 3.1 desarrollada por Dr. Fanger puede resolverse mediante ordenador o con ayuda de tablas y gráficos.

Los parámetros que requiere la ecuación son:

- Un valor para el nivel metabólico y otro para el nivel de la vestimenta de las personas.
- Los parámetros que se miden describen el ambiente térmico en el lugar acondicionar (temperatura del aire, temperatura radiante media, velocidad del aire y humedad).

La ecuación de comodidad térmica es la siguiente:

$$M - W = q_{sk} + q_{res} + S = (C + R + E_{sk}) + (C_{res} + E_{res}) + (S_{sk} + S_{cr}) \quad Ec.3.3$$

Donde:

$$M = \text{tasa de producción de calor metabólico} \left[\frac{W}{m^2} \right].$$

$$W = \text{tasa de trabajo mecánico realizado} \left[\frac{W}{m^2} \right].$$

$$q_{sk} = \text{Tasa de calor perdido por la piel} \left[\frac{W}{m^2} \right].$$

q_{res} = Tasa de calor perdido a través de la respiración $\left[\frac{W}{m^2} \right]$.

$C+R$ = Calor sensible perdido por la piel $\left[\frac{W}{m^2} \right]$.

E_{sk} = Tasa total de calor perdido por evaporación de la piel $\left[\frac{W}{m^2} \right]$.

C_{res} = Tasa de calor de convección perdido por la convección $\left[\frac{W}{m^2} \right]$.

E_{res} = Tasa de pérdida de calor perdido por evaporación en la respiración $\left[\frac{W}{m^2} \right]$.

S_{sk} = Tasa de calor almacenado en secciones de la piel $\left[\frac{W}{m^2} \right]$.

S_{cr} = Tasa de calor almacenado en el compartimiento del núcleo $\left[\frac{W}{m^2} \right]$.

- Metabolismo M:

Existen dos formas para calcular el metabolismo :

1. Establecer los porcentajes de las actividades que desempeña en el local oficina durante todo el día y multiplicar por los valores respectivos tomados del Anexo 3.1

$$M = X_1M_1 + X_2M_2 + X_3M_3 + \dots + X_nM_n \quad Ec.3.4$$

2. Aplicar la ecuación siguiente ³⁶:

$$M = \frac{352(0.23RQ + 0.77)V_{O_2}}{S_c} \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad Ec.3.5$$

Donde:

RQ = cociente de respiración, o relación V_{CO_2} exhalado para V_{O_2} inhalado, adimensional.

V_{O_2} = tasa volumétrica de consumo de oxígeno para condiciones de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 101.325 kPa , L/min

S_C = Superficie del cuerpo (m^2)

La superficie del cuerpo se calcula mediante la siguiente fórmula ^[37]:

$$S_C = 0.202(W^{0.425})h^{0.725} \quad \text{Ec.3.6}$$

Donde:

W = peso del cuerpo en Kg

h = altura en m

Se utiliza la primera forma mediante el porcentaje de actividad de las personas, Tabla 3.1

Actividad	Porcentaje (%)	met	Equivalencia (met)
Leer, sentado	20	1,00	0,2
Escribir	18	1,00	0,18
Teclear	32	1,10	0,352
Caminar	12	1,70	0,204
Sentado	11	1,20	0,132
Parado	3	1,40	0,042
Salir	4	2,10	0,084
Metabolismo			1,194

TABLA 3.1 CALCULO DEL METABOLISMO EN BASE A PORCENTAJE DE ACTIVIDADES REALIZADAS EN LA OFICINA. ^[38]

- Influencia de la vestimenta.

Se mide en la unidad “*clo*”^[39] que equivale a una resistencia térmica de

$$1 \text{ clo} = 0.155 \frac{m^2 K}{W} .$$

- Sin ropa: 0 *clo*

- Ligero: 0,5 *clo* (atuendo tipo de verano)

- Medio: 1.0 *clo* (traje completo)

- Pesado: 1.5 *clo* (uniforme militar de invierno)

- Trabajo W:

El trabajo realizado por la persona se estima que es despreciable debido a tres consideraciones:

1. El trabajo mecánico es pequeño comparado con el trabajo metabólico, especialmente en actividades sedentarias.
2. La estimación en base al trabajo metabólico generalmente es incorrecta.

El cálculo de la temperatura de comodidad se empieza con los dos parámetros nivel metabólico que es de 1.194 met = 69.49 W/m² y la influencia de la

vestimenta que se toma un valor de $1 \text{ clo} = 0.155 \text{ m}^2 \text{K/W}$; aplicando la siguiente ecuación ^[40], que es resuelta en el anexo 3.2

$$t_{cl} = 35.7 - 0.028(M - W) - R_{cl} \left\{ 39.6 \times 10^{-9} (f_{cl}) \left[(t_{cl} + 273)^4 + (\bar{t}_r + 273)^4 \right] + (f_{cl})(h_c)(t_{cl} - t_a) \right\} \quad \text{Ec.3.7}$$

Donde:

t_{cl} = temperatura de la vestimenta °C

W = trabajo mecánico $\left[\frac{W}{m^2} \right]$, para este caso es cero.

R_{cl} = aislamiento de la ropa. $m^2 \text{K/W}$

f_{cl} = factor de área de vestimenta = $1.0 + 0.3R_{cl}$

\bar{t}_r = temperatura radiante media °C

h_c = coeficiente de calor por convección $\left[\frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ \text{C}} \right]$

Donde:

$$h_c = \left\{ 12.1\sqrt{V} \quad 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} < 12.1\sqrt{V} \right\} \quad \text{Ec.3.8}$$

V = velocidad relativa media del aire en los ocupantes = 0.2 m/s

Despejando t_a se tiene ^[41]:

$$t_a = \frac{(3.96 \times 10^{-8})(f_{cl}) \left[(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4 \right] + 3.05[5.73 - 0.007(M - W) - pa] + 0.42[(M - W) - 58.15] + 0.0173M(5.87 - pa) + f_{cl}h_c t_{cl} + 0.0014M(34) - M}{f_{cl}(h_c) + 0.0014M}$$

Ec.3.9

Donde:

$p_a =$ presión parcial del vapor de agua en el ambiente Pa

Resolviendo la ecuación 3.9 por el método de iteración se tiene un valor de 26 °C , (Anexo 3.3). Conociendo el valor de t_a , para la resolución de la ecuación 3.2 se requiere de t_p , por lo que se realiza un estudio profundo del panel.

3.3.3 ANALISIS TERMICO DEL PANEL

Para conocer datos que no tienen una relación directa, se establece una simulación del panel con el programa ALGOR para obtener el comportamiento térmico en las condiciones climáticas analizadas.

Para iniciar el análisis se establece la distribución del calor en el panel, para ello se requiere conocer el comportamiento de los materiales que lo constituyen.

3.3.3.1 Resistencias térmicas del panel

Las condiciones térmicas del local son mantenidas principalmente por el movimiento directo de la energía radiante, más bien, que el calentamiento por convección.

La temperatura radiante media (MRT) dentro de un espacio calentado por medio de un panel incrementan según el aumento de las cargas de calefacción, el controlar la temperatura del aire durante este proceso puede reducir la comodidad.

En estructuras sencillas con infiltración normal, la reducción de la temperatura de aire es pequeña, permitiendo el uso termostato convencional.

La resistencia térmica al flujo de calor puede variar considerablemente entre paneles, dependiendo del tipo de unión entre el tubo y el material, siendo la actual de cualquier sistema a verificarse a través de pruebas y datos de los fabricantes^[42].

La resistencia térmica incluye:

$r_t =$ resistencia térmica de la pared de tubo en un sistema hidrónico, $\left[\frac{mK}{W} \right]$

$r_s =$ resistencia térmica entre tubo y el panel por unidad, $\left[\frac{mK}{W} \right]$

$r_p =$ resistencia térmica del panel, $\left[\frac{m^2 K}{W} \right]$

$r_c =$ resistencia térmica del material que cubre el panel, $\left[\frac{m^2 K}{W} \right]$

La resistencia térmica característica del panel r_u , cuando el espaciamiento es un metro. Cuando los tubos están empotrados en la losa, r_s puede despreciarse, sin embargo, puede ser significativa dependiendo de la calidad de unión. La tabla 3.1 se muestra valores comunes de r_s para paneles de techo.

$$r_u = r_i(1) + r_s(1) + r_p + r_c \quad \text{Ec.3.10}$$

El valor de r_p puede calcularse si el espesor x_p y la conductividad k_p son conocidos. Las fórmulas para determinar la resistencia térmica se puede obtener en la tabla 3.2

La resistencia térmica por unidad de espaciamiento de un tubo circular con un diámetro interno D_i y conductividad térmica k_i es:

$$r_t = \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi k_i} \quad \text{Ec.3.11}$$

En tuberías metálicas, r_t esta virtualmente determinada por la resistencia térmica del lado del fluido.

$$r_t = \frac{1}{hD_i} \quad \text{Ec.3.12}$$

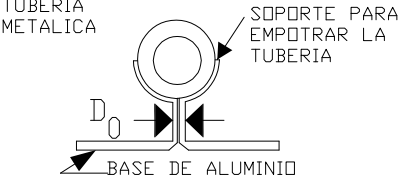
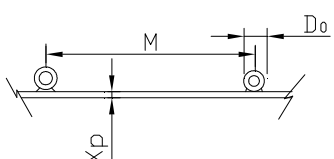
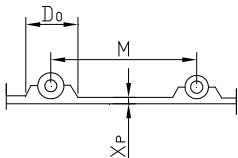
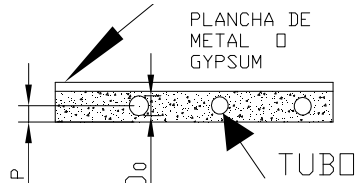
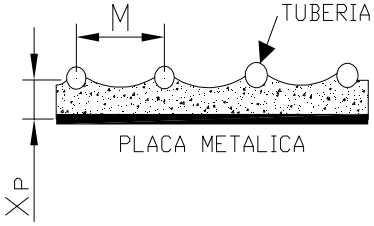
Tipo de panel	Resistencia térmica	
	r_p	r_s
	$\frac{m^2 K}{W}$	$\frac{mK}{W}$
 <p>TUBERIA METALICA</p> <p>SOPORTE PARA EMPOTRAR LA TUBERIA</p> <p>BASE DE ALUMINIO</p> <p>D_o</p>	$\frac{x_p}{k_p}$	0.32
 <p>TUBERIA DE COBRE SOLDADA A UNA PLACA DE ALUMINIO</p> <p>M</p> <p>D_o</p> <p>x_p</p>	$\frac{x_p}{k_p}$	0.13
 <p>TUBERIA DE COBRE ASEGURADA A UNA PLACA DE ALUMINIO POR EXTRUSION</p> <p>D_o</p> <p>M</p> <p>x_p</p>	$\frac{x_p}{k_p}$	0.10
 <p>PLANCHA DE METAL</p> <p>GYPSUM</p> <p>TUBO</p> <p>p</p> <p>D_o</p>	$\frac{(x_p - D_o)}{k_p}$	0
 <p>TUBERIA</p> <p>PLACA METALICA</p> <p>M</p> <p>x_p</p>	$\frac{(x_p - D_o)}{2k_p}$	<0.12

TABLA 3.2 RESISTENCIA TERMICA DE LOS PANELES ^[43]

La tabla 3.3 da los valores de k_i para diferentes materiales y tubos

Material	Conductividad térmica kt $\frac{W}{mK}$
Acero al carbono (AISI 1020)	52
Cobre	390
Bronce (85 Cu-15Zn)	159
Acero (AISI 202)	163
Polietileno de baja densidad (LDPE)	0,31
Polietileno de alta densidad (HDPE)	0,42
Polietileno entrecruzado (VPE o PEX)	0,38
Tubo flexible de caucho reforzado para transf. de calor (HTRH)	0,29
Conjunto de copolimero de polipropileno (PP-C)	0,23
Polibutileno	0,23

TABLA Nº 3.3 CONDUCTIVIDAD TERMICA DE LOS MATERIALES ^[44]

3.3.3.2 Efectos del material que cubre al Panel

La cubierta del panel es la encargada de dar un acabado o presentación al sistema, es por ello que se establece la investigación de los efectos del tipo de decorado que se coloca, ya que el aumento de la resistencia r_c reduce la transferencia de calor del panel y es la siguiente:

$$r_c = \frac{x_c}{k_c} \quad \text{Ec.3.13}$$

Donde:

x_c = espesor de cada cubierta de panel, m

k_c = conductividad térmica de cada cubierta de panel, $\frac{W}{mK}$

La tabla 3.4 indica valores de r_c , para diferentes tipos de acabados

Descripción	Resistencia termica r_c $\left[\frac{m^2 K}{W} \right]$
Base de concreto sin recubrimiento	0
Capa de asfalto	0,009
Capa de caucho	0,009
Alfombra liviana	0,106
Alfombra liviana con acolchado de caucho	0,176
Alfombra liviana con acolchado simple	0,247
Alfombra liviana con acolchado profundo	0,3
Alfombra gruesa	0,141
Alfombra gruesa con acolchado de caucho	0,211
Alfombra gruesa con acolchado simple	0,281
Alfombra gruesa con acolchado profundo	0,335
20 mm de madera dura	0,095
16 mm madera (Roble)	0,1
13 mm Parquet roble	0,12
Moqueta	0,021
Marmol y valdosa	0,031
Caucho	0,109
Primen reforzado 20 mm	0,284
1.5 kg/m ³ Esponja de caucho	0,137
Aglomerado	0,368

**TABLA 3.4 RESISTENCIA TERMICA DE MATERIAL
QUE CUBRE LOS PISOS ^[45]**

Con la determinación de los efectos que causan los materiales sobre el flujo de calor y temperatura se procede al diseño del panel.

3.3.3.3 Diseño del panel

El calor que provee el panel es controlado por circuitos eléctricos o hidráulicos que da el panel, es la suma entre el calor que brinda el panel por convección y radiación ($q = q_c + q_r$), con este valor se determina la temperatura del fluido (t_w), para lo cual se realiza una semejanza como si el sistema fuese eléctrico y se tiene t_d [46]

$$t_d = t_a + \frac{(t_p - t_a)}{2W\eta + D_o} + q(r_p + r_c + r_s M) \quad \text{Ec.3.14}$$

Donde:

$t_d =$ temperatura media de la superficie de la tubería °C

$q =$ flujo de calor combinado sobre la superficie del panel $\frac{W}{m^2}$

$t_a =$ temperatura interior del diseño del local °C

$D_o =$ diámetro exterior del tubo y características de contacto entre el tubo y el panel, m

$M =$ espacio entre tubos, m

$2W =$ espacio neto entre tubos $M - D_o, m$

$\eta =$ eficiencia de la aleta, adimensionales.

$$\eta = \frac{\tanh(fW)}{fW} \quad \text{Ec.3.15}$$

$$\eta \approx \frac{1}{fW} \quad \text{para } fW > 2$$

El coeficiente f se determina de acuerdo a:

$$f \approx \left[\frac{q}{m(t_p - t_a) \sum_{i=1}^n k_i + x_i} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{para } t_p \neq t_a \quad \text{Ec.3.16}$$

Donde:

$$m = 2 + \frac{r_e}{2r_p}$$

n = número de capas con diferentes materiales, incluido el panel

x_i = características del espesor de cada capa i , [m]

k_i = conductividad térmica de cada capa, $\frac{W}{(m)K}$

Para un sistema hidrónico se requiere la temperatura media del agua:

$$t_w = (q + q_b)Mr_t + t_d$$

Donde:

q_b = es el flujo de calor de pérdidas o ganancias en el perímetro del panel.

3.3.3.4 Pérdidas o Ganancias de Calor en el Panel.

Las pérdidas ocasionadas por la superficie posterior de los paneles que se encuentra sobre o bajo el nivel del suelo, o perímetros expuestos, considerados como pérdidas de calor, si este es transferido hacia el exterior de la edificación,

las cuales deben controlarse empleando sistema de aislamiento térmico, para lo cual $q_b = 0$.

3.3.3.5 Simulación en el programa Algor

Con el análisis realizado se encuentra que no es posible establecer una relación directa entre las variables: temperatura del ambiente, temperatura del piso, distancia entre tubería, temperatura del agua. Por lo tanto no se conoce como la temperatura y el calor se distribuye dentro del panel.

Para la resolución de lo mencionado se utiliza el programa ALGOR empleando el método prueba-error.

3.3.3.5.1 Dimensiones del panel

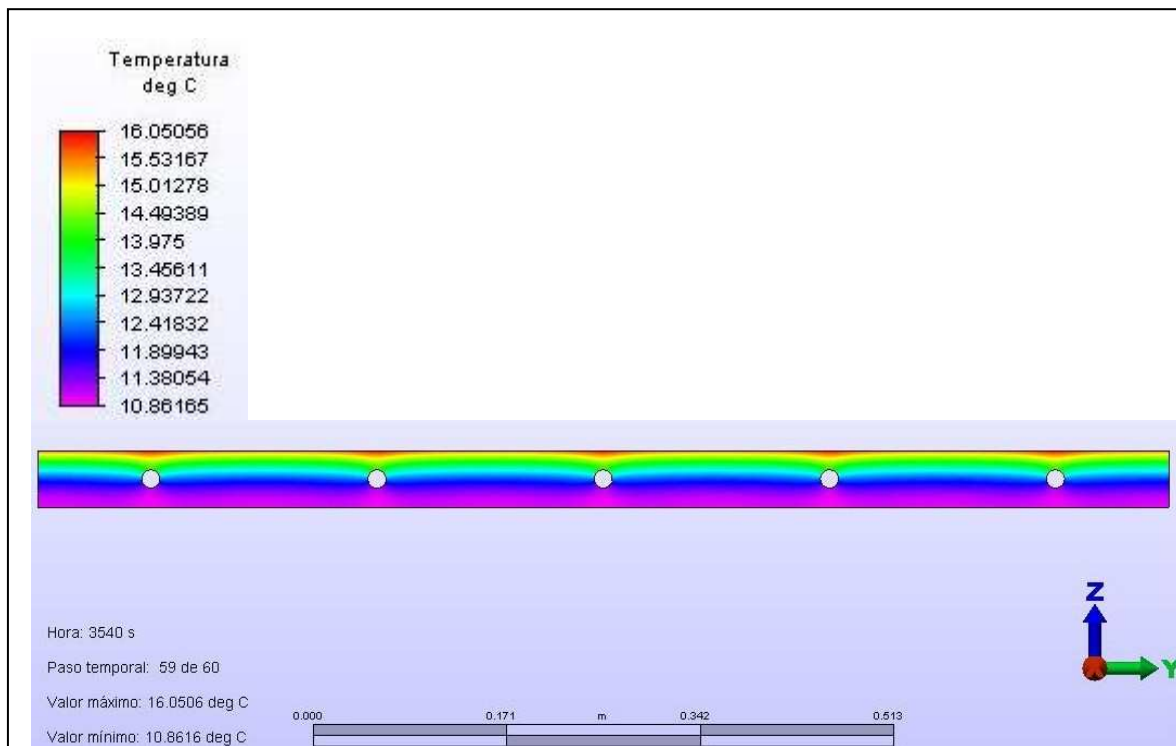
Se establece un panel de área unitaria (1m x 1m) y de espesor de 0.05 m, con tubería empotrada y distribuida en la superficie intermedia, respetando lo que establece la norma (La distancia entre la tubería y la parte superior del panel no puede superar los 0.03 m.). Considerando además que sobre el panel se coloca una cubierta (baldosa, alfombra, madera, etc)

Para el análisis de resultados se deben observar los colores que se encuentran distribuidos en el panel, ya que cada uno representa un valor de temperatura o calor según corresponda. Los valores se indican en la parte superior de cada gráfica.

- Primer modelo:

El primer modelo se lo realiza sin considerar ninguna carga térmica para entender como se distribuye la temperatura sobre el panel si este se encuentra sin funcionar. Se ingresan los siguientes datos:

- Diámetro de la tubería: $\frac{3}{4}$ "
- $t_a = 26 \text{ }^\circ\text{C}$
- $M = 20 \text{ cm}$
- Material concreto valores según anexo 3.4
- Propiedades del termofísicas del agua según anexo 3.5
- Propiedades termofísicas del aire anexo 3.6



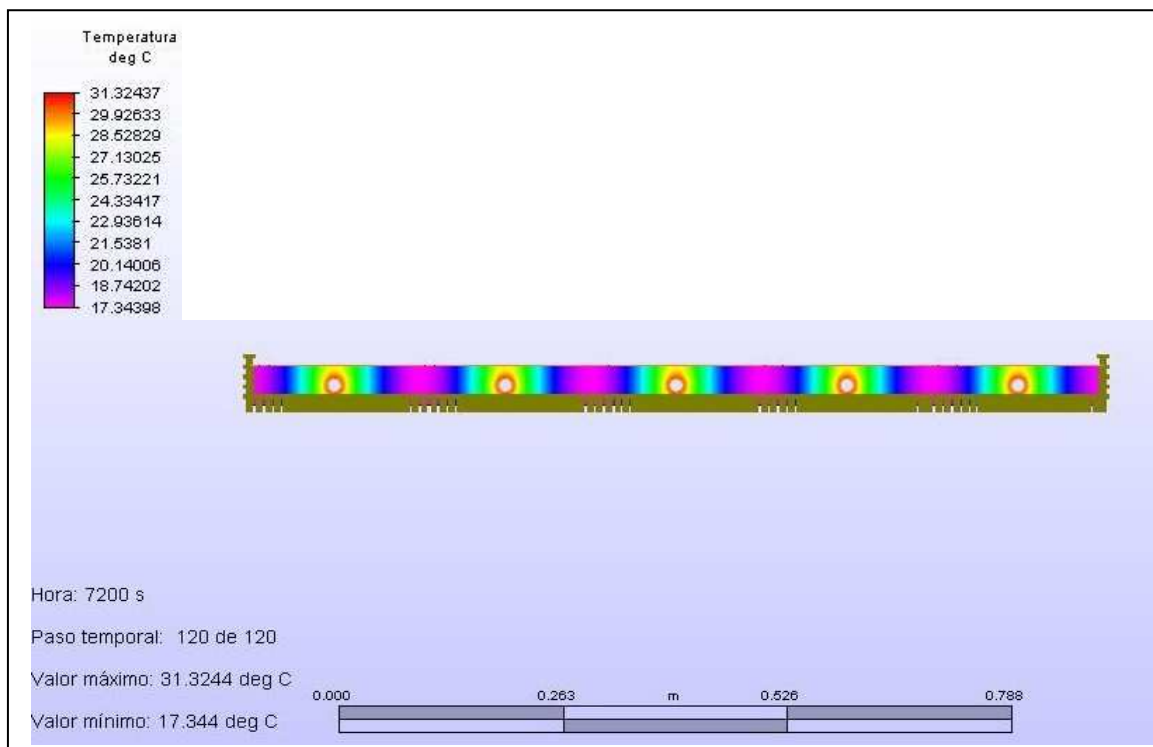
Gráfica 3.1.- Distribución de temperatura del panel en el primer modelo

La presente gráfica indica la distribución de tubería y muestra que es lo que sucede cuando el panel esta sin funcionar.

- Segundo modelo:

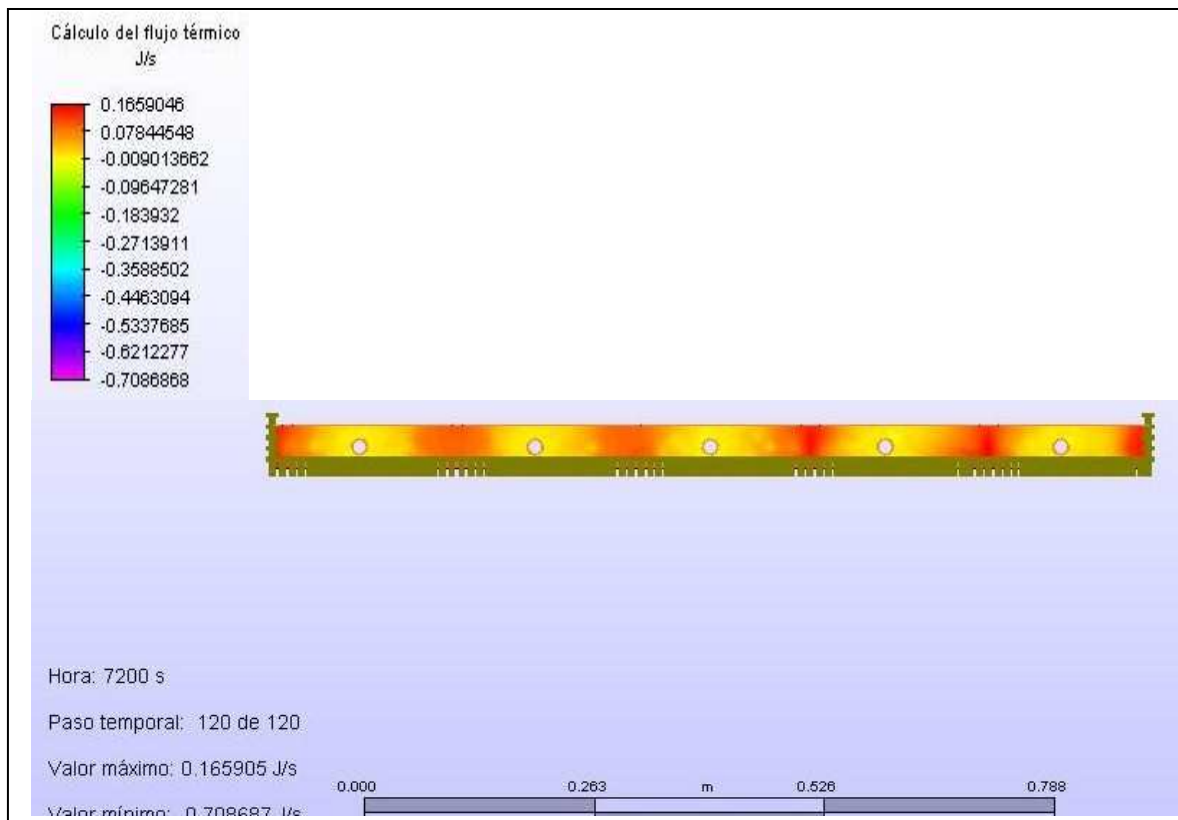
En el segundo modelo se asigna una distribución de tubería para conocer como se comporta el flujo de calor y temperatura para lo cual se ingresan los valores:

- Diámetro de la tubería: $\frac{3}{4}$ "
- $t_a = 26 \text{ }^\circ\text{C}$
- $M = 20 \text{ cm}$
- Material concreto valores según anexo 3.4
- Propiedades del termofísicas del agua según anexo 3.5
- Propiedades termofísicas del aire anexo 3.6
- $t_w = 35 \text{ }^\circ\text{C}$
- Velocidad del agua $v_w = 0.02 \text{ m/s}$
- Velocidad del aire en el interior = 0.
- Perdidas en los alrededores = 0



Gráfica 3.2.- Distribución de temperatura del panel en el segundo modelo

La temperatura no se distribuye uniformemente sobre la superficie, por lo que no suministrara el calor del ambiente en ciertas regiones del panel (Gráfica 3.2).



Gráfica 3.3.- Distribución de flujo de calor del panel en el segundo modelo

En la gráficas 3.3 se observa un flujo de calor no uniforme, y no llega a estabilizarse, aunque hayan pasado 7200 s.

- Tercer modelo:

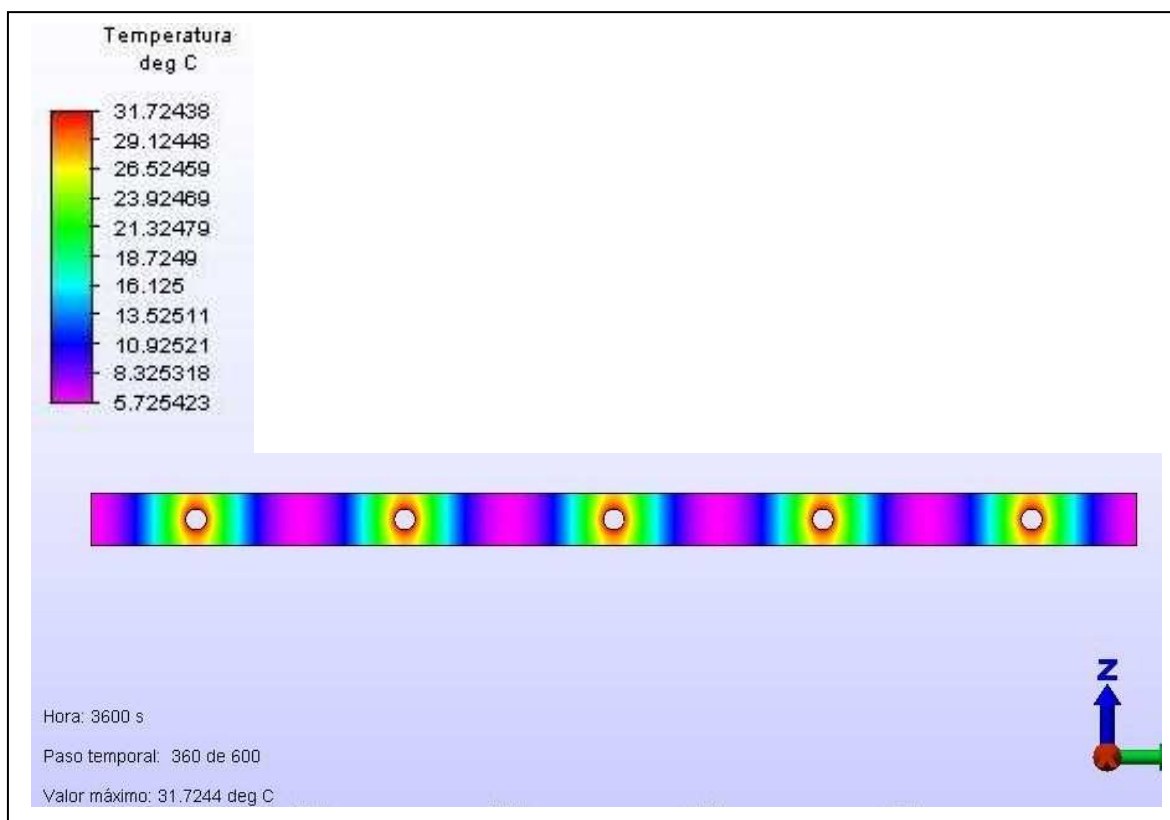
Manteniendo las condiciones iniciales se procede al incremento de la temperatura del agua a 60 °C como lo señalan los siguientes datos:

- Diámetro de la tubería: $\frac{3}{4}$ "

- $t_a = 26$ °C

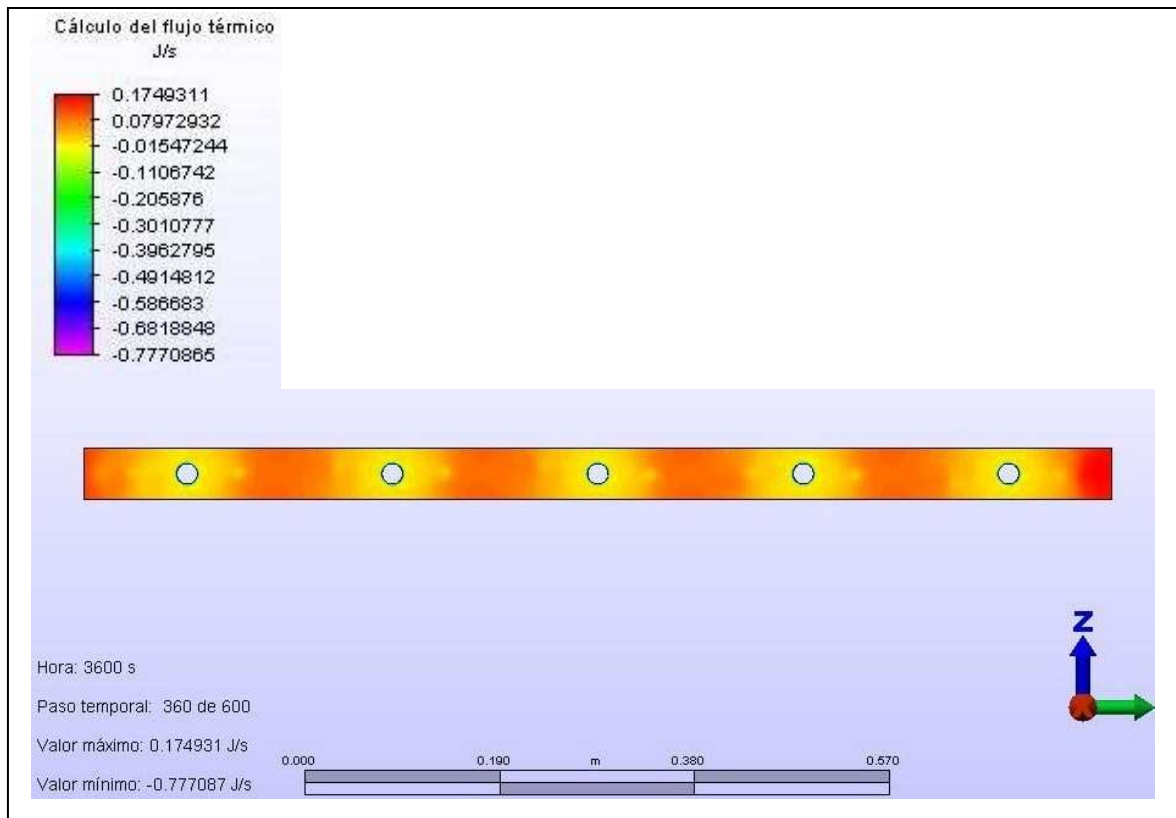
- $M = 20$ cm

- Material concreto valores según anexo 3.4
- Propiedades del termofísicas del agua según anexo 3.5
- Propiedades termofísicas del aire anexo 3.6
- $t_w = 35 \text{ }^\circ\text{C}$
- Velocidad del agua $v_w = 0.02 \text{ m/s}$
- Velocidad del aire en el interior = 0.
- Perdidas en los alrededores = 0



Gráfica 3.4.- Distribución de temperatura del panel en el tercer modelo

Se observa que al aumentar la temperatura del fluido no se obtiene una distribución uniforme, inclusive en ciertos lugares la temperatura del piso no supera a la del ambiente dificultando la transferencia de calor.



Gráfica 3.5.- Distribución de flujo de calor del panel en el tercer modelo

El flujo de calor no incrementa uniformemente pese haber pasado una hora, como sería deseable para un calentamiento controlado del espacio.

- Cuarto modelo:

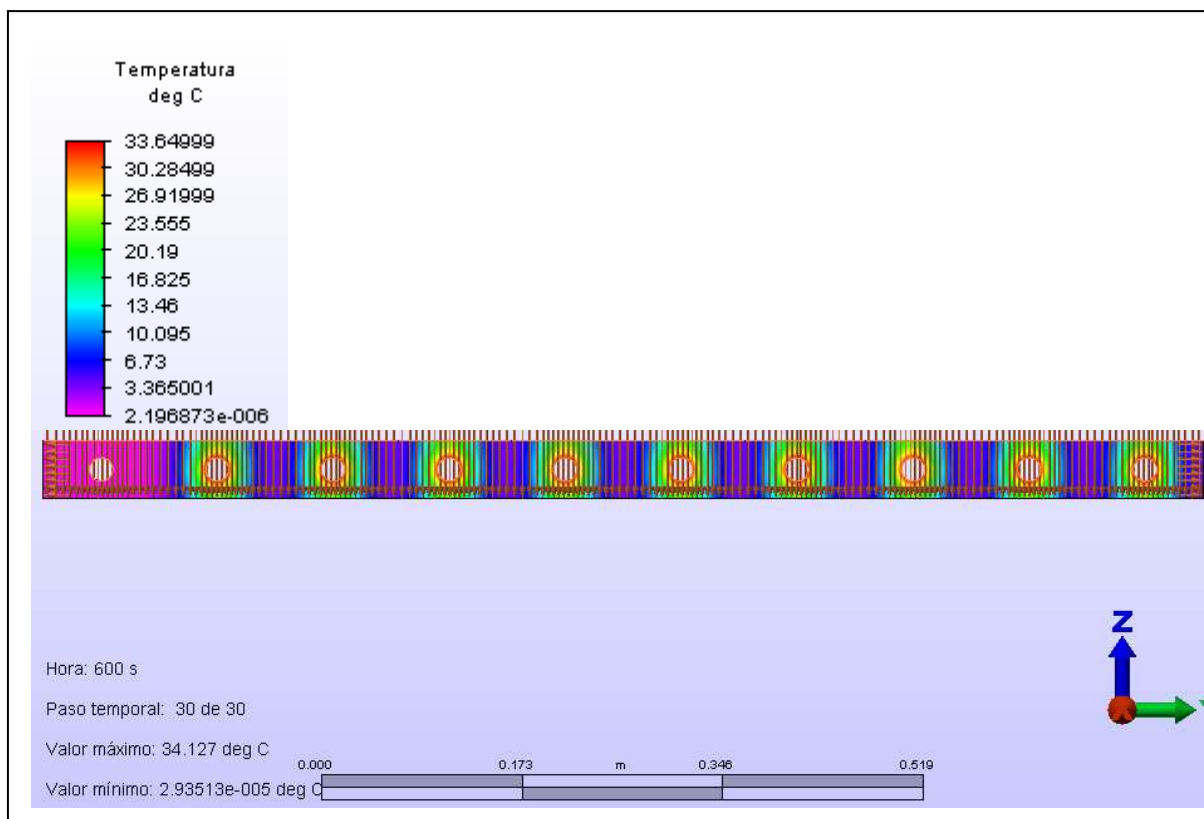
Para el desarrollo del cuarto modelo varía la distancia de separación entre tubería tal como lo señalan los valores asignados:

- Diámetro de la tubería: $\frac{3}{4}$ "

- $t_a = 26$ °C

- $M = 10$ cm

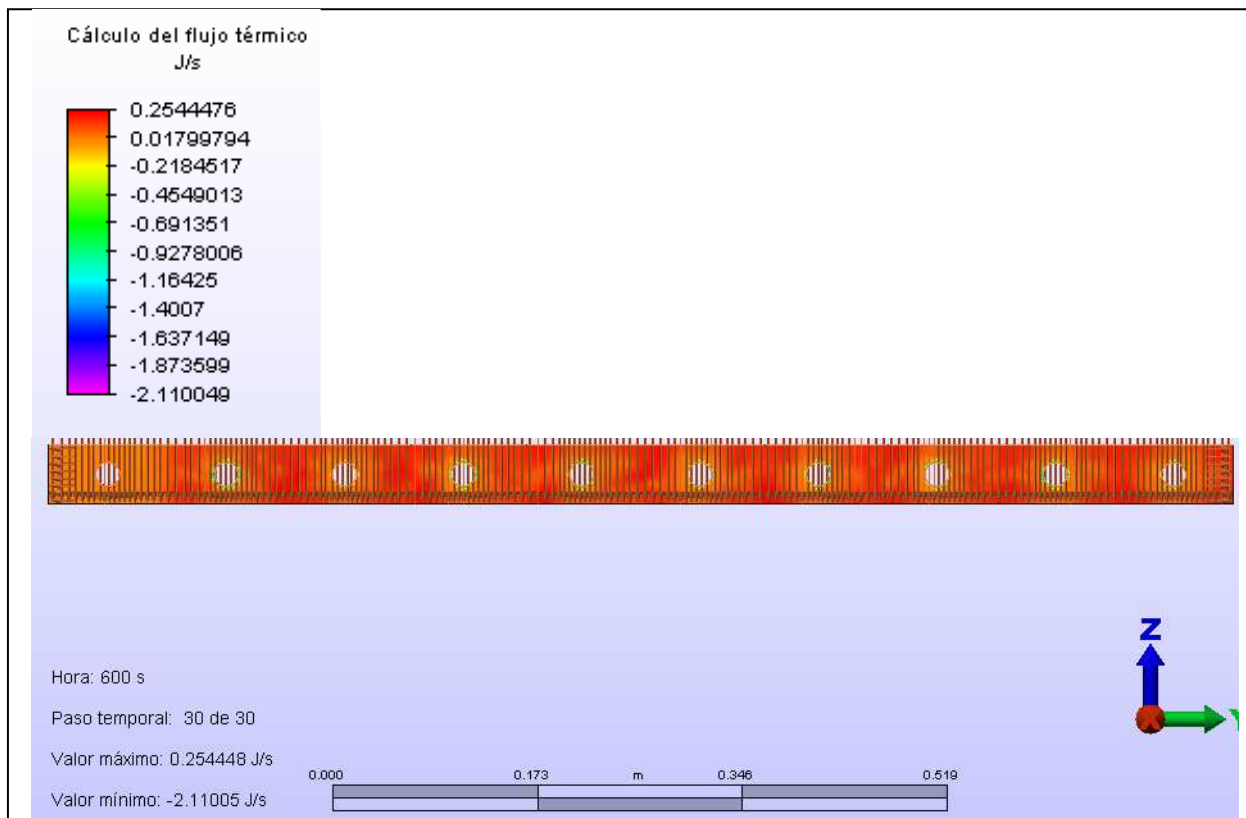
- Material concreto valores según anexo 3.4
- Propiedades del termofísicas del agua según anexo 3.5
- Propiedades termofísicas del aire anexo 3.6
- $t_w = 35 \text{ }^\circ\text{C}$
- Velocidad del agua $v_w = 0.02 \text{ m/s}$
- Velocidad del aire en el interior = 0.
- Perdidas en los alrededores = 0



Gráfica 3.6.- Distribución de temperatura del panel en el cuarto modelo

Se observa una gama de colores donde distribución no es uniforme y los valores no superan la temperatura del ambiente, lo que implica que no existe un flujo de calor al recinto.

Las líneas que se observa sobre la grafica son la carga sobre la base del panel señalando que el piso es adiabático.



Gráfica 3.7.- Distribución de flujo de calor del panel en el cuarto modelo

En el cuarto modelo el flujo de calor es uniforme, pero aún en ciertos sectores no existe un valor de flujo que permita la transferencia de calor.

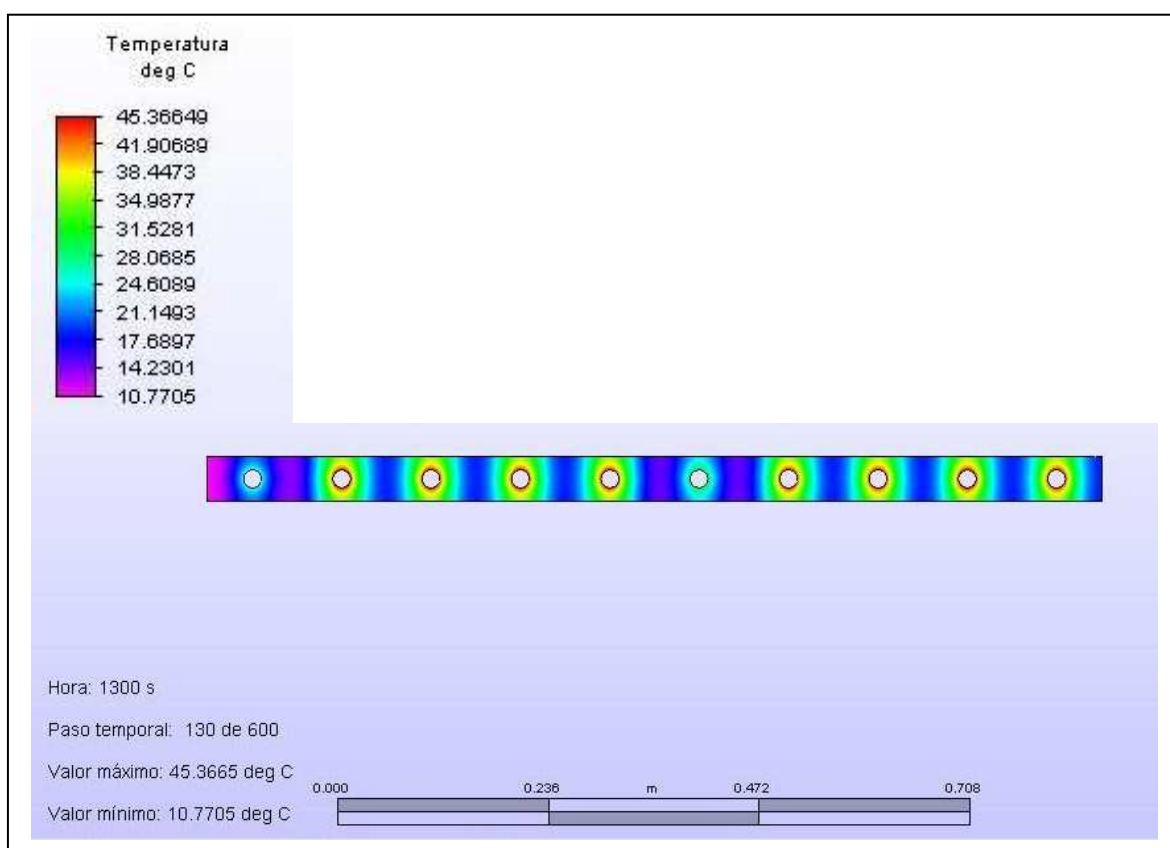
Las líneas que se encuentran sobre el panel son de carga de la base del panel donde la pared es adiabática.

- Quinto Modelo:

El quinto modelo se incrementa la temperatura del agua sin variar los otros parámetros tal como lo indica los siguientes datos:

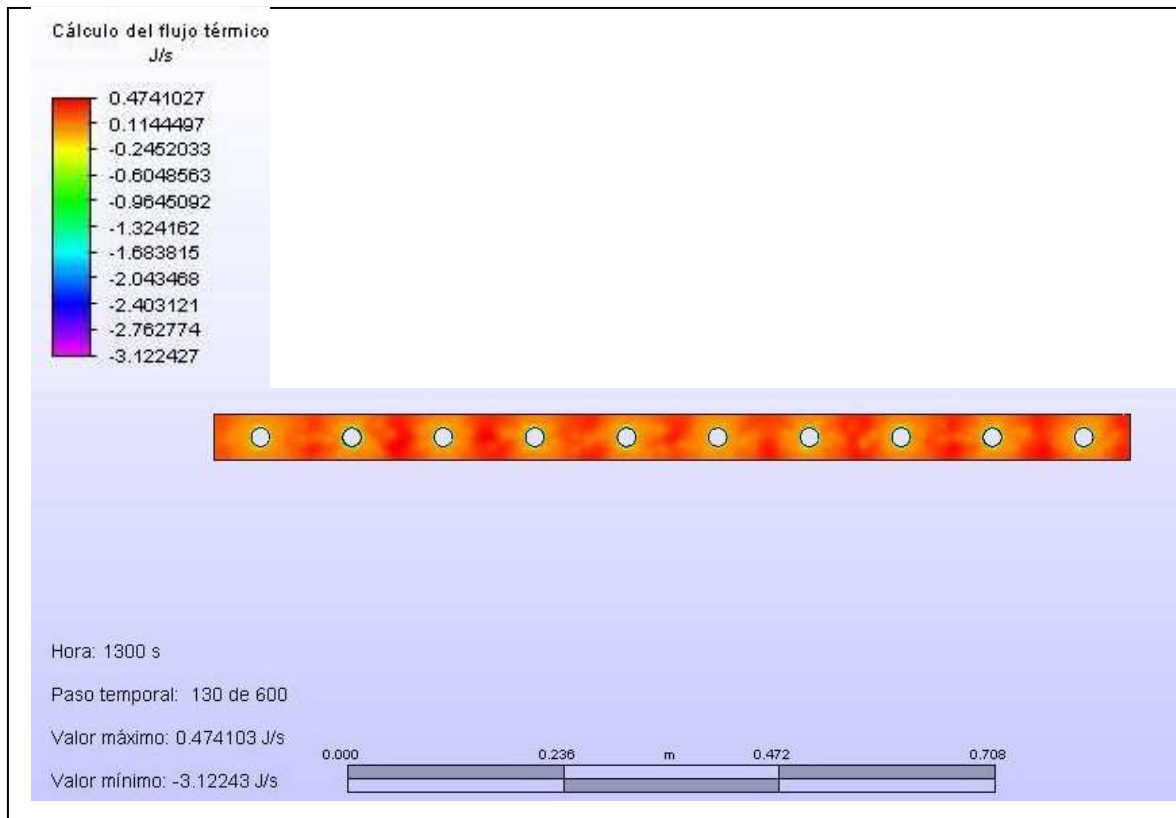
- Diámetro de la tubería: $\frac{3}{4}$ "
- $M = 10 \text{ cm}$

- Material concreto valores según anexo 3.4
- Propiedades del termofísicas del agua según anexo 3.5
- Propiedades termofísicas del aire anexo 3.6
- $t_w = 35 \text{ }^\circ\text{C}$
- Velocidad del agua $v_w = 0.02 \text{ m/s}$
- Velocidad del aire en el interior = 0.
- Perdidas en los alrededores = 0



Gráfica 3.8.- Distribución de temperatura del panel en el quinto modelo

La temperatura en la mayor parte supera la temperatura ambiente razón por la cual puede existir transferencia de calor al recinto.



Gráfica 3.9.- Distribución de temperatura del panel en el quinto modelo

El flujo de calor es uniforme y el tiempo para alcanzar este comportamiento es pequeño, además la temperatura en la superficie es mayor a la temperatura de comodidad, por lo que ya existe una transferencia de calor al medio.

En los 2 últimos modelos se observa una distribución de temperaturas y flujo de calor uniforme por lo que este arreglo de tubería es el que se requiere para la solución del problema, después se observa que al aumentar la temperatura del agua disminuye el tiempo de estabilización.

En el cuarto modelo no existe una transferencia de calor por lo cual fue descartado pero si un flujo de calor uniforme por esta razón se considero el modificar la temperatura del agua para desarrollar el quinto modelo ya que con incrementar la temperatura empieza la transferencia de calor, por tal motivo la temperatura del agua aun no ha quedado definida pero si la distribución de la tubería.

REFERENCIAS

34. Fundamentos de Transferencia de Calor. Frank P. Incropera. Cuarta Edición. México. 1999. Pag. 14
35. Fundamentals Handbook, Chapter 8, Thermal Comfort, pag.2
36. Fundamentals Handbook, Chapter 8, Thermal Comfort, pag.2
37. Fundamentals Handbook, Chapter 8, Thermal Comfort, pag. 4
38. Fundamentals Handbook, Chapter 8, Thermal Comfort, pag. 12
39. Fundamentals Handbook, Chapter 8, Thermal Comfort, pag. 17
40. Fundamentals Handbook, Chapter 8, Thermal Comfort, pag. 31
41. Fundamentals Handbook, Chapter 8, Thermal Comfort, pag. 29
42. ASHRAE HANDBOOK. Browse 1996 Systems and Equipment. Chapter 6, Pag. 11
43. Fundamentals Handbook, Chapter 6, Panel Heating and Cooling, pag. 12
44. Fundamentals Handbook, Chapter 6, Panel Heating and Cooling, pag. 12
45. Fundamentals Handbook, Chapter 6, Panel Heating and Cooling, pag. 13
46. Fundamentals Handbook, Chapter 6, Panel Heating and Cooling, pag. 15

CAPITULO 4

PROGRAMACION Y CALCULO DE CARGAS

Con la determinación del comportamiento de los parámetros que no se relacionan fácilmente, en el presente capítulo se establece el cálculo de cargas de pérdidas de calor, requisito indispensable para el diseño de los paneles tomando como base la norma respectiva y para obtener un cálculo rápido de los mismos; establece un software de fácil aplicación.

Para la resolución de las cargas se utiliza el “Cooling and Heating Load Calculation Manual” de la ASHRAE, debido a que tablas, y fórmulas se encuentran en el sistema inglés, se cambia el sistema de unidades al internacional.

4.1 CALCULO DE CARGAS EXTERNAS:

Se denominan así a los factores externos que aportan calor que no pueden controlarse y ofrecen una influencia sobre el sistema y son:

1. Calor de conducción a través de paredes y techos.
2. Calor de conducción a través de divisiones interiores, cielo raso y pisos.
3. Calor de conducción a través de ventanas.
4. Efectos de la radiación como son:
 - a. Conversión a conducción y efectos de convección a través de muros y techos o vidrios.
 - b. Transmisión directa a través de vidrios del exterior al espacio interior.

4.1.1 CALOR DE CONDUCCION A TRAVES DE PAREDES, TECHOS Y PROYECCIONES.

Para el cálculo de carga de calor por conducción a través de paredes, techos y proyecciones se utiliza las ecuaciones tomadas del manual de la ASHRAE GRP 158 ^[47].

$$q_p = U(A)\Delta t \quad \text{Ec. 4.1}$$

Donde:

q_p = Carga de calor a través de la pared piso o techo

U = Coeficiente de transmisión $\frac{Btu}{hr(ft^2)^{\circ}F} = \frac{1}{R_t}$

Δt = Diferencia de temperatura entre el exterior y el interior $^{\circ}F$

R_t = Suma individual de la resistencia térmica. $\frac{hr(ft^2)^{\circ}F}{Btu}$

t_{ext} = 10.1 $^{\circ}C$ (50.18 $^{\circ}F$) temperatura media mínima (anexo 4.11)

t_{ext} = 26 $^{\circ}C$ (78.8 $^{\circ}F$) temperatura de comodidad

4.1.2 CARGA DE CALOR A TRAVES DE PAREDES:

4.1.2.1 Calculo del coeficiente de transferencia U de la pared:

En la figura N° 4.1 se muestra la composición de la pared.

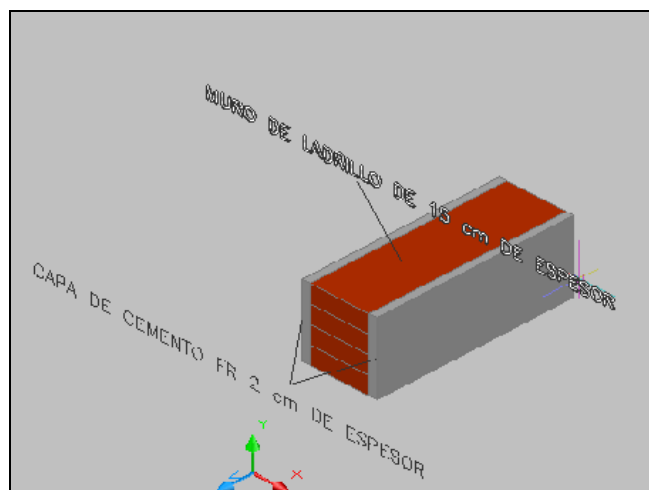


Figura N° 4.1.- COMPOSICION DE LA PARED

Tabla 4.1 : Resistencia térmica de la pared [48]

CONSTRUCCION	RESISTENCIA
1, SUPERFICIE EXTERIOR	0,68
2, ENLUCIDO	0,1
3, LADRILLO O ADOBE	1,2
4, ENLUCIDO	0,1
5, AREA INTERIOR	0,68
RESISTENCIA TERMICA TOTAL	2,76

Coeficiente global de transferencia de calor en la pared:

$$U = \frac{1}{R_t}$$

$$U = \frac{1}{2.76} = 0.36 \frac{Btu}{ft^2 \cdot (hr)F}$$

$$q_p = 0.36 * A_p (T_a - T_p)$$

$$q_p = 0.36 * A_p (78.8 - 50.18)$$

$$q_p = 10.2 * A_p \left[\frac{Btu}{hr(ft^2)} \right] \quad Ec. 4.2$$

4.1.2.2 Cálculo de carga a través del techo:

En la tabla N° 4.2 se muestra las constantes de resistencia térmica de materiales usados en la construcción del techo.

TABLA 4.2 : CALCULO DE LA RESISTENCIA ^[49]

MATERIAL	RESISTENCIA
TEJA	0.22
MADERA	1.38
RESISTENCIA	1.6

$$U = \frac{1}{R_t}$$

$$U = \frac{1}{1.6} = 0.625 \frac{Btu}{ft^2 \cdot (hr)F}$$

$$q_t = 0.625 * A_t (T_a - T_p)$$

$$q_t = 0.625 * A_t (78.8 - 50.18)$$

$$q_t = 17.89 * A_t \left[\frac{Btu}{hr(ft^2)} \right] \quad Ec. 4.3$$

4.1.2.3 Cálculo de carga de conducción a través de los vidrios

Coefficiente de transmisión: $1.04 \frac{Btu}{hr(ft^2)^{\circ}F}$ (Anexo 4.3)

$$q_v = (U)A_v(\Delta t)$$

$$q_v = 1.04(A_v)(t_a - t_v)$$

$$q = 1.04(78.8 - 50.18)A_v$$

$$q_v = 29.48A_v \left[\frac{Btu}{hr(ft^2)} \right] \quad Ec. 4.4$$

4.1.2.4 Cálculo de la carga solar a través del vidrio

Con la ayuda de la norma ASHRAE se calcula la carga solar a través del vidrio^[50].

$$q = A(SC)(SHFG)CLF$$

Donde:

A: Es el área de las ventanas

SC= Coeficiente de sombra Anexo 4.4 vidrios claros que corresponde 0.95

SHFG: Factor de ganancia de calor solar basado en la Anexo 4.5 es 238.

CLF: Factor de calentamiento de carga basado en el Anexo 4.9 es 0.43

$$q = A_v * 0.95 * 238 * 0.43$$

$$q = 97.233A_v \left[\frac{Btu}{hr(ft^2)} \right] \quad Ec. 4.5$$

4.2 CALCULO DE CARGAS INTERNAS

4.2.1. ILUMINACION

Con la ayuda de la norma ASHRAE se realiza el cálculo de cargas por iluminación^[51].

$$q_s = 3.41xq_1xF_b xF_s xCLF \quad Ec.4.6$$

Donde:

- q_s Calor sensible (Btu/h)
- q_1 Voltaje total de lámparas (W)
- F_b Fracción de q en uso
- F_s Factor especial estabilizador.
- CLF Factor de carga de calor

Para esta evaluación se requiere del número de lámparas, y el voltaje. Por tratarse de un estudio, no de un diseño específico este se deja planteado en la fórmula para el cálculo.

Las horas de iluminación que proveen las lámparas en el día es alrededor 10 horas, por lo que su fracción es:

$$F_u = \frac{10}{12} = 0.833$$

Del Anexo 4.6 se puede determinar el valor de F_s .

Del Anexo 4.7 establece el valor de a por ser un sistema no ventilado se toma el valor de a de 0.45.

En la Anexo 4.8 Clasificación por iluminación tomando en cuenta que el piso es de madera y existe una baja ventilación se obtiene el valor de $b=0.31$, por lo que el CLF es de 0.76 del Anexo 4.9.

Entonces la fórmula del calor queda modificado a:

$$q_s = 3.41 \times q_l \times 0.83 \times F_s \times 0.76$$

$$q_s = 2.15(n_{\text{lamparas}} \times V_{\text{lamparas}}) (F_s) \quad \text{Ec. 4.7}$$

4.2.2 PERSONAS

Para la resolución de esta carga se utiliza la norma ASHRAE ^[52]

Se estima que en el recinto trabaja una persona y en un día de reunión se prevé 5 como máximo.

Calor sensible:

$$q_s = \frac{q_s}{\text{persona}} * \# \text{de personas} * CLF \quad \text{Ec. 4.8}$$

Tomado de anexo 4.5: Sentado, trabajo ligero tecleando: $q_s=185$ $q_L=640$

CLF=0.21

$$q_s = 185 * 5 * 0.21 = 194.2 \text{ Btu/h}$$

Calor latente:

$$q_L = \frac{q_l}{\text{persona}} * \# \text{de personas} \quad \text{Ec. 4.9}$$

$$q_L = 640 * 5 = 3200 \text{ Btu/h}$$

4.3 CARGAS POR INFILTRACION Y VENTILACION

4.3.1. VENTILACIÓN

En el análisis de la carga de ventilación se utiliza la norma ASHRAE. ^[53]

4.3.1.1 Calor sensible

$$q_s = 1.1x(\Delta t)xscfm \quad \text{Ec.4.10}$$

Donde:

Δt Diferencia de temperatura entre el exterior y el interior en °F.

Scfm: Calor de infiltración o ventilación en cfm.

4.3.1.2 Calor latente

$$q_s = 4840x(\Delta W)xscfm \quad \text{Ec. 4.11}$$

Donde:

ΔW Diferencia de radio de humedad entre el exterior y el interior en °F.

scfm Calor de infiltración o ventilación en cfm .

4.3.1.3 Ventilación del aire:

$$Q = \frac{q}{\text{persona}} \# \text{de personas} \quad \text{Ec. 4.12}$$

Anexo 4.10 se tiene:

CFM=15

$$Q = 15 * 5 = 75 \text{ cfm} = \text{scfm}$$

4.3.1.4 Cálculo del Calor sensible

De la ecuación 4.10 y reemplazando el valor resultante de la ecuación 4.12.

$$q_s = 1.10 * 28.35 * 75$$

$$q_s = 2338.87 \frac{Btu}{h}$$

4.3.1.5 Cálculo del Calor latente:

Con la ecuación 4.11 para el cálculo del calor latente de debe conocer la humedad relativa, la cual fue tomada de datos dados por el INAMHI en el sector anexo 4.11

El radio de humedad se obtiene de las Cartas Psicrométricas de Quito del anexo 4.12

La humedad relativa del interior se toma en base a datos medidos en la zona anexo 4.13

$$w_e = 0.0072$$

$$w_i = 0.0132$$

$$q_L = 4840 * (0.0132 - 0.0072) * 75$$

$$q_L = 2178 \frac{Btu}{h}$$

4.3.2 CALOR POR INFILTRACION

Con la ayuda de la norma ASHRAE se obtiene la siguiente formula: ^[54]

$$Q = AxKxF_d x(Q / AKF_d) \quad Ec. 4.13$$

Donde:

A : área exterior de la construcción

K : Coeficiente pico de superficie de pared (Anexo 4.14) Por el tipo de construcción se obtiene un valor de $K= 1.3$

F_d : Factor de diseño (Anexo 4.15)

(Q/AKF_d) (Anexo 4.16)

4.3.2.1 Calor Sensible

$$q_s = 1.10 * 1.08 * A * 1.3 * (Q / AKF_d)$$

$$q_s = 1.54 * A * (Q / AKF_d) \quad \text{Ec. 4.14}$$

4.3.2.2 Calor Latente

$$q_L = 4840 * (0.0132 - 0.0072) * A * 1.3 * F_d * (Q / AKF_d)$$

$$q_L = 37.75 * A * F_d * (Q / AKF_d) \quad \text{Ec. 4.15}$$

4.5 OBTENCION DE LA TEMPERATURA DEL PISO

Para obtener la temperatura del piso se realiza el método de prueba error hasta llegar a obtener el calor necesario debido a que la resolución de la ecuación 3.2 es compleja.

4.6 ELABORACION DEL PROGRAMA.

A continuación se señalan los pasos a seguir para la elaboración del programa:

4.6.1 DIAGRAMA DE FLUJO.

El diagrama de flujo se presenta en el Anexo 4.17

4.6.2 SOFTWARE EMPLEADO

Como se puede observar en el diagrama de flujo existen un sin número de relaciones entre las variables para al final obtener como respuesta (la temperatura del agua), para ello se utiliza el MATLAB en el comando *guide* el cual permite presentar una pantalla para realizar el ingreso de información.

La programación se lista en el anexo 4.17

4.6.3 MANEJO DE PANTALLA

La columna de la izquierda enlista a los datos que debe conocer el diseñador para el uso del programa. Para escribir en cada uno de ellos se debe hacer un clic con el botón derecho del ratón, luego de dar a conocer todos los parámetros se hace clic en botón calcular y instantáneamente el programa entrega todos los valores enlistados en la columna de la derecha en la cual se debe poner más énfasis como respuesta en la temperatura media del agua (Fig. 4.2)

The screenshot shows a MATLAB GUI window titled "Temperatura". The window contains two columns of input fields, each with a label and a text box. At the bottom center, there is a button labeled "CALCULAR".

Parameter Label	Input Field	Parameter Label	Input Field
DIAMETRO INTERNO DE LA TUBERIA Di	<input type="text"/>	FLUJO DE CALOR POR RADIACION qr=	<input type="text"/>
COEFICIENTE DE CONVECCION DEL AGUA h=	<input type="text"/>	FLUJO DE CALOR POR CONVECCION qc=	<input type="text"/>
TEMPERATURA DEL PISO tp=	<input type="text"/>	CALOR TRANSFERIDO AL SISTEMA qt=	<input type="text"/>
TEMPERATURA DEL AIRE Ta=	<input type="text"/>	COEFICIENTE DEL PANEL m=	<input type="text"/>
COEF. DE CONDUCTIVIDAD TERMICA DEL PANEL kp=	<input type="text"/>	RESISTENCIA TERMICA DEL PANEL rp=	<input type="text"/>
ESPESOR CARACTERISTICO DE CADA PANEL xp=	<input type="text"/>	ESPACIO NETO ENTRE TUBOS w=	<input type="text"/>
COEF. DE COND. TERMICA DE LA CUBIERTAS DEL PISO kc=	<input type="text"/>	COEFICIENTE DE LA ALETA f=	<input type="text"/>
DIAMETRO DE LA TUBERIA Do=	<input type="text"/>	EFICIENCIA DE ALETA n=	<input type="text"/>
ESPACIO ENTRE TUBOS M=	<input type="text"/>	TEMPERATURA DE LA TUBERIA td=	<input type="text"/>
ESP. CARC. DE CADA PLACA SOBRE EL PANEL xc=	<input type="text"/>	TEMPERATURA DEL AGUA tw=	<input type="text"/>
CALOR PERDIDO A LOS ALREDEDORES qb=	<input type="text"/>	RESISTENCIA TERMICA DEL FLUIDO rt=	<input type="text"/>

CALCULAR

Figura 4.2 Pantalla de presentación del programa en Matlab

REFERENCIAS

47. Cooling and Heating Load Calculation Manual. .ASHRAE GRP 158. Pág. 3.1
48. VALORES TOMADOS DEL ANEXO 4.1
49. VALORES TOMADOS DEL ANEXO 4.2
50. Cooling and Heating Load Calculation Manual. .ASHRAE GRP 158. Pág. 3.25
51. Cooling and Heating Load Calculation Manual. .ASHRAE GRP 158. Pág. 4.1
52. Cooling and Heating Load Calculation Manual. .ASHRAE GRP 158. Pág. 4.5
53. Cooling and Heating Load Calculation Manual. .ASHRAE GRP 158. Pág. 5.1
54. Cooling and Heating Load Calculation Manual. .ASHRAE GRP 158. Pág. 5.5

CAPITULO 5

INTERPRETACION Y ANALISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se desarrolla el diseño de calefacción por paneles radiantes para un recinto, haciendo una evaluación de una edificación ubicada en el centro histórico.

CARACTERISTICAS:

- Recinto: Oficina
- Ubicación: Centro histórico de la ciudad de Quito.
- Dimensiones de la oficina (anexo 5.1)
- Las áreas corresponden a valores tomados del anexo 5.1 y son las siguiente:

Area de las paredes = 50.69 m²

Area del piso = 30.35 m²

Area de las ventanas= 3.59 m²

Area de las puertas =1.8 m²

Area del techo= 36.14 m²

- Posee 4 lámparas fluorescentes de 2 juegos de 75W

5.1 CALCULO DE CARGAS EXTERNAS

5.1.1 Pérdidas de calor a través de las paredes

Para el cálculo de pérdidas de calor a través de paredes se usa la ecuación 4.2

$$q_p = 10.2 * A_p \left[\frac{Btu}{h(ft^2)} \right]$$

Donde:

$$A_p = 50.69m^2 = 545.64 ft^2$$

$$q_p = 5568.8 \left[\frac{Btu}{h} \right]$$

5.1.2 Cálculo de cargas a través del techo

Para el cálculo se determina mediante la *Ec. 4.3* del capítulo 4

$$q_t = 17.89 * A_t \left[\frac{Btu}{h(ft^2)} \right]$$

Donde:

$$A_t = 36.19 m^2 = 389.55 ft^2$$

$$q_t = 6902.33 \left[\frac{Btu}{h} \right]$$

5.1.3 Cálculo de carga de conducción a través de los vidrios

Utilizando la ecuación 4.4 se obtiene

$$q = 29.38 A_v \left[\frac{Btu}{h(ft^2)} \right]$$

Donde:

$$A_v = 3.59m^2 = 38.64 ft^2$$

$$q = 1139.26 \left[\frac{Btu}{h} \right]$$

5.1.4 Cálculo de carga solar a través de los vidrios

Mediante la ecuación 4.5 del capítulo 4 se obtiene

$$q = 97.22 * A_v \left[\frac{Btu}{h.ft^2} \right]$$

Donde:

$$A_v = 3.59m^2 = 38.64 ft^2$$

$$q_t = 3756.58 \left[\frac{Btu}{h} \right]$$

5.1.5 Total de calor en cargas externas

Para obtener este valor se suman todos los valores de las cargas externas.

$$q_t = 5568.8 + 6902.33 + 1139.26 + 3756.58 \left[\frac{Btu}{h} \right]$$

$$q_t = 17366.97 \left[\frac{Btu}{h} \right]$$

5.2. CALCULO DE CARGAS INTERNAS

5.2.1. Iluminación

Tomando la ecuación 4.7:

$$q_s = 2.15 * n * \text{lamparas} * V_{\text{lamparas}} * F_s$$

De la tabla 4.1 del anexo 4.3 se determina que $F_s = 1$.

En el recinto existen 4 lámparas como lo indica los datos dados al inicio del presente capítulo.

$$q_s = 2.15 * 4 * 1.2 * 110$$

$$q_s = 1135.2 \left[\frac{Btu}{h} \right]$$

5.2.2 Personas

Tomando los valores encontrados en la sección 4.2.2.

Calor sensible:

$$q_s = 194.2 \left[\frac{Btu}{h} \right]$$

Calor latente:

$$q_L = 3200 \left[\frac{Btu}{h} \right]$$

5.2.3 Carga Total Interna

A continuación se suman todos los valores obtenidos en las cargas internas.

$$q_{INT} = 1135.2 + 194.2 + 3200$$

$$q_{INT} = 4529.4 \left[\frac{Btu}{h} \right]$$

5.3. INFILTRACION Y VENTILACION

5.3.1 CALOR DE VENTILACION

El valor es obtenido de la sección 4.3.1.4 y 4.3.1.5 respectivamente.

- **Calor sensible**

$$q_s = 2338.87 \left[\frac{Btu}{h} \right]$$

- **Calor latente:**

$$q_L = 2178 \left[\frac{Btu}{h} \right]$$

5.3.2 INFILTRACION

- Calor Sensible

Se toma la ecuación 4.13 para el desarrollo

$$q_s = 1.54 * A * (Q / AKF_d)$$

De los datos del inicio se toman los siguientes valores:

$$A = 29.44 \text{ m}^2 = 316.89 \text{ ft}^2$$

$$h = 6.56 \text{ ft}$$

La variación de temperatura es de 28.62 °F.

Con la ayuda del anexo 4.16 y los datos anteriores se obtiene el siguiente valor:

$$(Q/AKF_d) = 0.023$$

$$q_s = 1.54 * 316.89 * 0.023 \left[\frac{\text{Btu}}{\text{h}} \right]$$

$$q_s = 11.22 \left[\frac{\text{Btu}}{\text{h}} \right]$$

- Calor Latente

Se toma la ecuación 4.14 y se obtiene:

$$q_s = 1.54 * A * (Q / AKF_d)$$

$$q_L = 37.75 * 316.89 * 0.87 * 0.023$$

$$q_L = 239.35 \left[\frac{\text{Btu}}{\text{h}} \right]$$

5.3.3 CALOR q TOTAL DE INFILTRACION Y VENTILACION

Se toman los valores de cargas de infiltración calculados anteriormente y se suman.

$$q = 2338.87 + 2178 + 11.22 + 239.35$$

$$q = 4767.48 \left[\frac{\text{Btu}}{\text{h}} \right]$$

5.4. CALOR QUE PROPORCIONA EL PANEL

Se procede a tomar los valores de cargas externas, internas ventilación e infiltración y se asigna el signo según sea ganancia o pérdida de calor.

$$q = q_{\text{CARGAS EXTERNAS}} - q_{\text{CARGAS INTERNAS}} + q_{\text{INFILTRACION Y VENTILACION}}$$

$$q = 17366.97 - 4529.4 + 4767.48$$

$$q = 17605.05 \left[\frac{\text{Btu}}{\text{h}} \right] = 5159.3[\text{W}]$$

Con todos los parámetros analizados anteriormente se obtiene el valor que se

pierde a los alrededores y es de $q = 17605.05 \left[\frac{\text{Btu}}{\text{h}} \right] (2399.88[\text{W}])$, se debe tomar

como observación que a este valor se lo debe dividir para el área del piso (30.35 m^2) dando como resultado $169.99 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$

Para obtener la temperatura del piso se aplica el método de prueba-error en la ecuación 3.2 como se puede visualizar en el anexo 5.2, del cual se toma el valor de 41.77 °C como respuesta.

Como siguiente paso se determina los materiales con los que se construye el panel:

Material: Concreto

Material que se encuentra sobre el piso: Alfombra

Los datos del panel así como sus respuestas se pueden visualizar en la siguiente grafica:

Temperatura

Untitled 1

DIAMETRO INTERNO DE LA TUBERIA Di	0.108	FLUJO DE CALOR POR RADIACION qr=	91.2169
COEFICIENTE DE CONVECCION DEL AGUA h=	142.5	FLUJO DE CALOR POR CONVECCION qc=	80.8116
TEMPERATURA DEL PISO tp=	41.77	CALOR TRANSFERIDO AL SISTEMA qt=	172.028
TEMPERATURA DEL AIRE Ta=	26	COEFICIENTE DEL PANEL m=	0.00178571
COEF. DE CONDUCTIVIDAD TERMICA DEL PANEL kp=	1.4	RESISTENCIA TERMICA DEL PANEL rp=	0.04
ESPESOR CARACTERISTICO DE CADA PANEL Xp=	0.025	ESPACIO NETO ENTRE TUBOS w=	4.8
COEF. DE COND. TERMICA DE LA CUBIERTAS DEL PISO kc=	1	COEFICIENTE DE LA ALETA f=	4.01471
DIAMETRO DE LA TUBERIA Do=	0.02	EFICIENCIA DE ALETA n=	0.991492
ESPACIO ENTRE TUBOS M=	0.1	TEMPERATURA DE LA TUBERIA td=	60.4203
ESP. CARC. DE CADA PLACA SOBRE EL PANEL xc=	0.106	TEMPERATURA DEL AGUA tw=	61.5381
CALOR PERDIDO A LOS ALREDEDORES qb=	0	RESISTENCIA TERMICA DEL FLUIDO rt=	0.0649773

CALCULAR

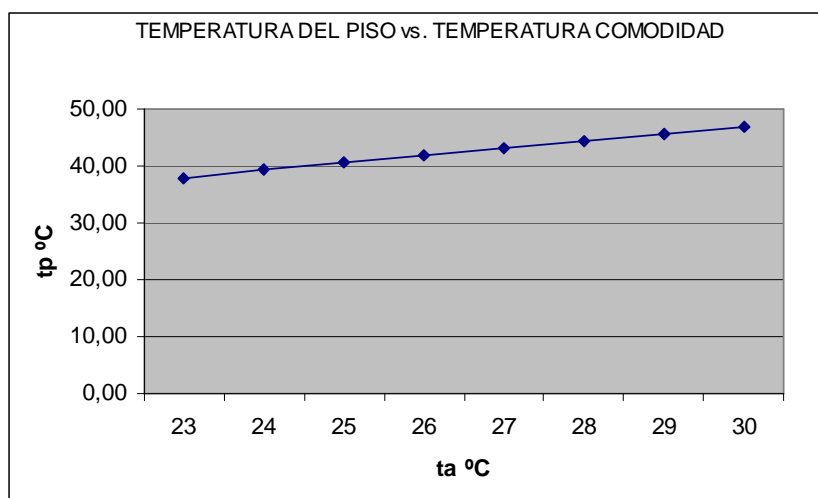
Gráfica 5.1 pantalla de solución al problema planteado

Para realizar el análisis de resultados se elabora la tabla 5.1 variando la temperatura de comodidad entre 23 y 30 °C.

TEMP. DE COMODIDAD	CALCULO DE CARGAS			CARGA TOTAL (Btu/h)	CARGA TOTAL W	AREA DEL PISO m ²	CALOR POR PANEL W/m ²	TEMP. DEL PISO °C	TEMP. DEL AGUA °C
	CARGAS EXTERNAS	CARGAS INTERNAS	VENTILACION E INFILTRACION						
23	16214,78	4529,4	4569,48	16254,86	4763,61	30,35	156,96	37,92	52,11
24	16598,85	4529,4	4635,48	16704,93	4895,50	30,35	161,30	39,23	55,28
25	16982,92	4529,4	4701,48	17155,00	5027,40	30,35	165,65	40,51	58,41
26	17366,98	4529,4	4767,48	17605,07	5159,30	30,35	169,99	41,77	61,53
27	17751,05	4529,4	4833,48	18055,13	5291,19	30,35	174,34	43,05	64,74
28	18135,12	4529,4	4899,48	18505,20	5423,09	30,35	178,68	44,30	67,91
29	18519,19	4529,4	4965,48	18955,27	5554,98	30,35	183,03	45,58	71,19
30	18903,25	4529,4	5031,48	19405,34	5686,88	30,35	187,38	46,83	74,43

TABLA 5.1 VARIACION DE LA TEMPERATURA DE COMODIDAD PARA OBTENER LA TEMPERATURA DEL AGUA

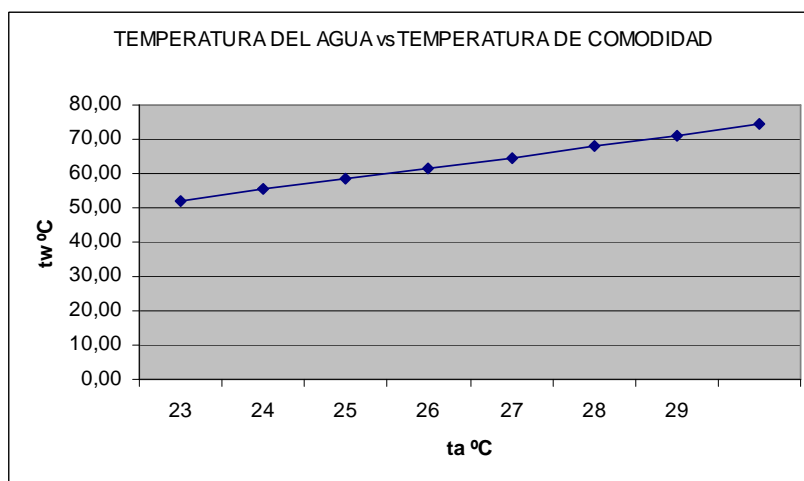
En la gráfica 5.2 se establece los efectos causados al variar la temperatura de comodidad sobre la temperatura del piso.



Gráfica 5.2 Temperatura de piso vs. Temperatura de comodidad

En la gráfica se puede observar una relación lineal entre la temperatura de comodidad y la temperatura piso ya que la pendiente es constante. Con variaciones mínimas.

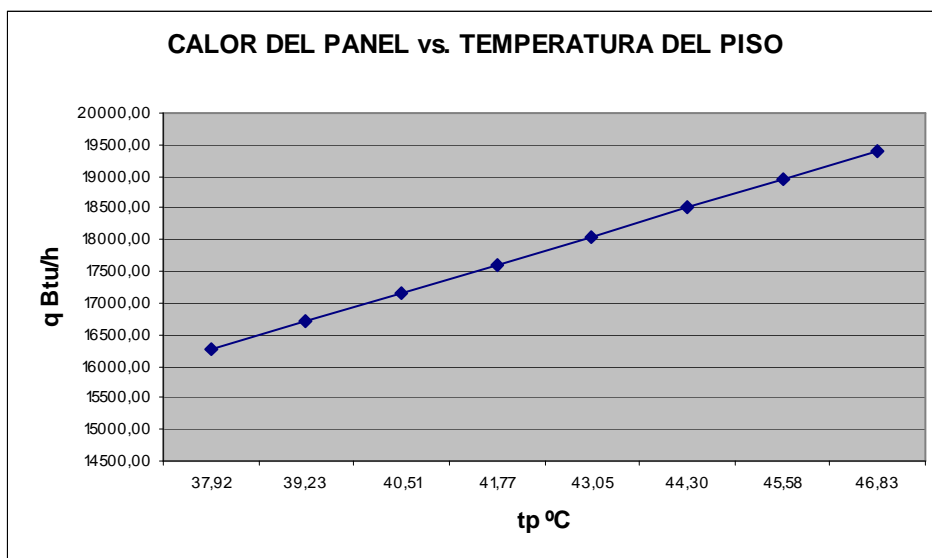
La grafica 5.3 Establece la relación existente entre la variación de la temperatura de comodidad y la temperatura del agua.



Gráfica 5.3 Temperatura de agua vs. Temperatura de comodidad

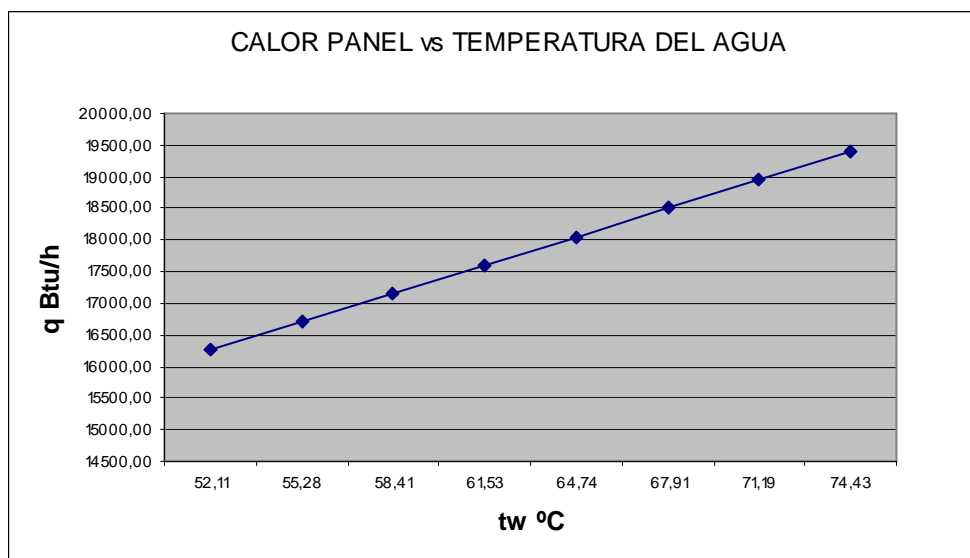
La grafica señala una pendiente casi constante por lo cual se establece una relación lineal.

La gráfica 5.4 Establece la relación existente entre la variación de la temperatura de piso y el calor.



Gráfica 5.4 Calor que suministra el panel vs. Temperatura de piso

La gráfica 5.5 Establece la relación existente entre la variación de la temperatura de agua y el calor



Gráfica 5.5 Calor que suministra el panel vs. Temperatura de piso

Las gráficas muestra una pendiente casi constante por lo cual se establece una relación lineal, para la zona de estudio que este caso es el centro histórico de la ciudad de Quito.

A continuación en tabla 5.2 se establece el costo anual para calentar el agua

DATOS			
TEMP, COMODIDAD	CALOR POR PANEL (Btu/h)	TEMP PISO °C	TEMP. AGUA °C
23	16254,86	37,92	52,11
24	16704,93	39,23	55,28
25	17155,00	40,51	58,41
26	17605,07	41,77	61,53
27	18055,13	43,05	64,74
28	18505,20	44,30	67,91
29	18955,27	45,58	71,19
30	19405,34	46,83	74,43

PANELES RADIANTES								
TEMP, COMODIDAD	EFICIENCIA DEL CALDERO	ENERGIA PRODUCIDA POR EL CALDERO	COSTO GALON DSESEL USD	PODER CALORICO (Btu/Galon)	COSTO DE LA ENERGIA POR HORA USD	DIA	COSTO MENSUAL POR HABITACION USD	COSTO ANUAL USD
23	0,7	23221,23	1,05	140000	0,174	12	62,70	752,37
24	0,7	23864,19	1,05	140000	0,179	12	64,43	773,20
25	0,7	24507,14	1,05	140000	0,184	12	66,17	794,03
26	0,7	25150,10	1,05	140000	0,189	12	67,91	814,86
27	0,7	25793,05	1,05	140000	0,193	12	69,64	835,69
28	0,7	26436,00	1,05	140000	0,198	12	71,38	856,53
29	0,7	27078,96	1,05	140000	0,203	12	73,11	877,36
30	0,7	27721,91	1,05	140000	0,208	12	74,85	898,19

CALEFACCION ELECTRICA				
TEMP, COMODIDAD	COSTO KILOWATIO (cc/KW) USD	COSTO DE LA ENERGIA POR HORA USD	COSTO MENSUAL USD	COSTO ANUAL USD
23	0,08	0,38	137,20	1646,45
24	0,08	0,39	141,00	1692,04
25	0,08	0,40	144,80	1737,62
26	0,08	0,41	148,60	1783,21
27	0,08	0,42	152,40	1828,80
28	0,08	0,43	156,20	1874,38
29	0,08	0,44	160,00	1919,97
30	0,08	0,45	163,80	1965,56

En a tabla 5.2 se visualiza una diferencia mayor del 100% en los costos entre un sistema de paneles radiantes y un sistema eléctrico motivo por el cual se observa que es sustentable la instalación del primero.

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Los sistemas de paneles radiantes para el centro de la ciudad presentan una relación lineal entre la temperatura de comodidad y la temperatura de piso así como la temperatura del agua de circulación, utilizando este criterio en otros ejemplos de aplicación.
- El material del que esta fabricado el panel, presenta poca influencia sobre la temperatura del agua, lo que permite buscar materiales de fácil fabricación y costos bajos, es el caso del concreto que la selección es hecha para facilidad de ensamblaje en la parte interior del recinto, o puede considerarse en el momento del diseño y construir la losa de la edificación.
- El aumento o disminución de la distancia de separación en la tubería presentan una influencia directa sobre la temperatura del agua, la distribución de temperaturas y flujo de calor en el panel, estos 3 factores son los que deben considerarse al momento de realizar la simulación del panel para su diseño.
- El programa desarrollado facilita el cálculo inmediato de la temperatura del agua al conocer los valores exactos de la carga.
- Al comparar los costos entre un sistema de calefacción hidrónico y un sistema eléctrico se observa claramente un menor costo en la producción del calor de comodidad en el primero.

- El programa desarrollado puede ser utilizado como herramienta para entender la influencia que presentan los datos sobre la temperatura del agua y así entender el fenómeno en el panel.

RECOMENDACIONES

- El programa puede mejorar en su presentación y tener un acceso de más fácil uso en la ingeniería
- Realizar un criterio integral de todo el sistema, incluyendo costos de instalación y operación.
- Buscar el calentamiento del agua con energías alternativas a fin de reducir costos de operación.

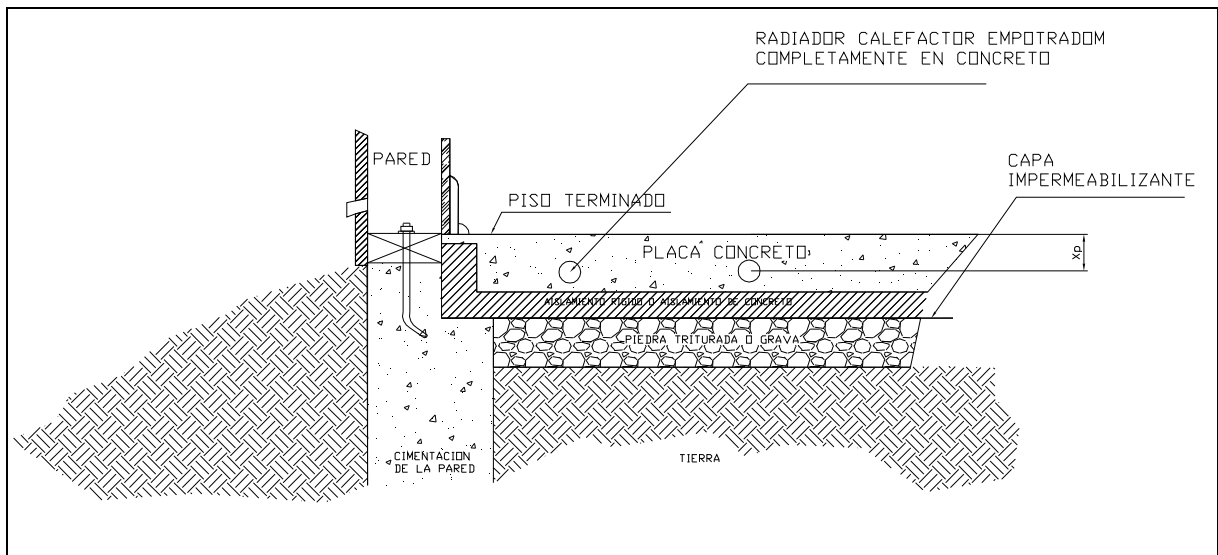
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. **ASHRAE.** Principles of Heating, Ventilation and Air Conditioning. 1997
2. **ASHRAE.** Systems and Equipment Handbook, 1996
3. **ASHRAE.** Handbook of Fundamentals , 1993
4. **ASHRAE.** Cooling and Heating Load Calculation, 1998
5. **Calefacción y Climatización.** Ramos Juan de Cusa, Editorial CEAC S.A. Quinta Edición. Barcelona, 1972
6. **Calefacción y Suministro de Agua Caliente.** Compañía Editorial Continental; Primera Edición; México, 1963
7. **Cartas Psicrométricas.** Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, Ing. Miguel Ortega, Ing Adrián Peña, Edit. Imprima, Primera Edición. Quito, 1998.
8. **Climatización de Locales.** Yves Guenand. Editorial Gustavo Gill, Primera Edición, Barcelona. 1997.
9. **Fundamentos de Transferencia de Calor.** Incropera Frank P. Dewit David P. Cuarta Edición. Editorial Prentice Hall Hispanoamericana S.A.; México. 1999
10. **Heating Ventilation and Air Conditioning Library.** Brumbaugh, James E. First Edition, Edit. Indianas 42268, Indianápolis. 1981
11. **Instalaciones en los Edificios.** Gay Charles Merrick. Sexta Edición; Edición n Gustavo Gill, S.A; Barcelona, 1974.

12. **Ingeniería Económica**, Blank Leland, Tarquin Anthony. Quinta Edición. Editorial McGraw Hill, México, 2003.
13. **Transferencia de Calor**. Mills A.F. Primera Edición; Editorial McGraw Hill, México, 1995.
14. **Transferencia de Calor aplicada a la Ingeniería**. Kenneth McNaughtom. Segunda Edición. Editorial McGraw Hill, México, 1999.
15. **Termodinámica**, Yunus A. Cengel. Segunda Edición, Editorial McGraw Hill, México, 1999.
16. http://www.uponor.es/documentacion/calc_rad.pdf
17. <http://www.mellafeysalas.cl/bases/p-604-3-5.pdf>
18. http://editorial.cda.ulpgc.es/servicios/3_calefaccion/calefaccion%20tema%2008.pdf
19. http://www.tdx.cesca.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0109103-155648//35CAPITULO5_3.pdf
20. http://digeset.ucol.mx/tesis_posgrado/Pdf/Luis_Fajardo_Velasco.pdf
21. <http://cuena.com/productos/DOMOTICA/domotica.pdf>
22. http://dsm.iea.org/NewDSM/Prog/Library/Upload/24/Report4_annex5_spanish.PDF
23. <http://www.mincomercio.gov.co/VBeContent/Documentos/Normatividad/Normastecnicas/NTC-2183.pdf>
24. <http://aesop.rutgers.edu/~horteng/ppt/papers/FloorHeating2.pdf>

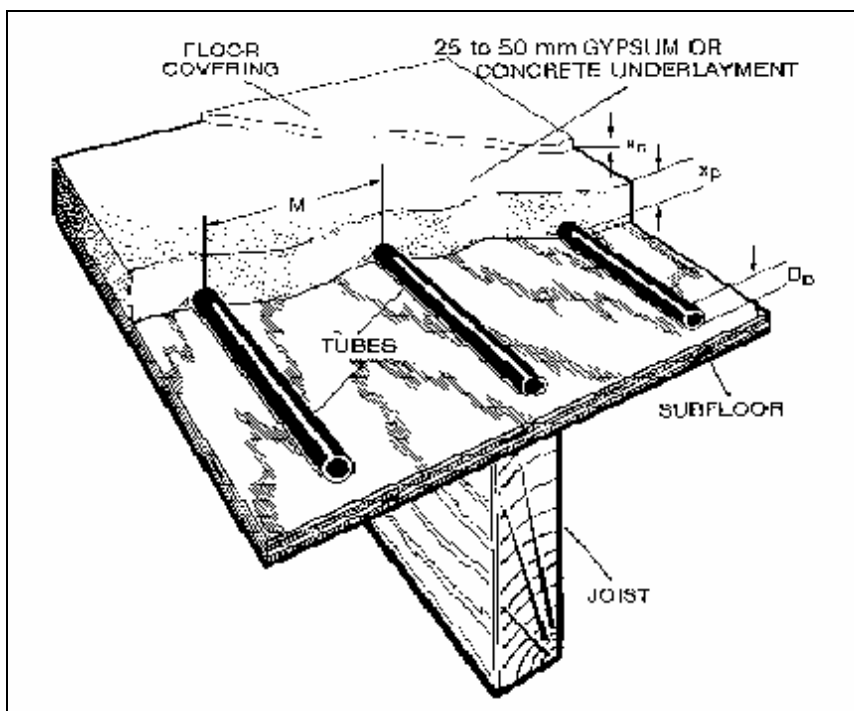
A N E X O S

ANEXO 1.1
DETALLE DE CONSTRUCCION PARA PANELES DE PISO
RADIANTE⁵⁵

DETALLE DE CONSTRUCCION PARA PANELES DE PISO RADIANTE

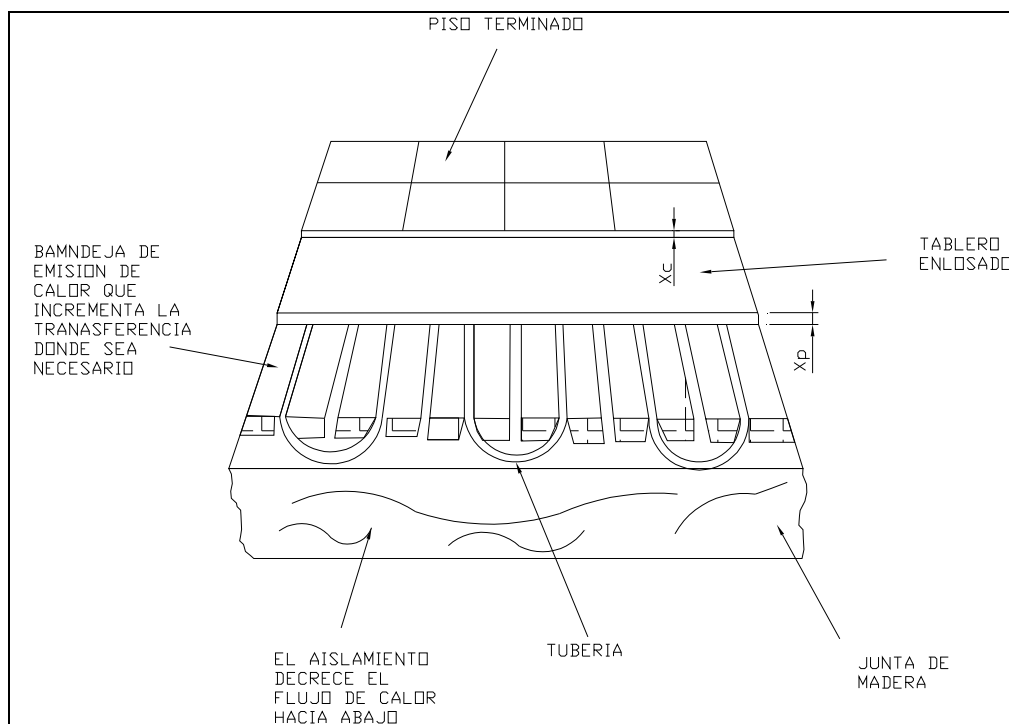
ANEXO 1.2
TUBERIA EMPOTRADA EN LOSA DELGADA⁵⁶

TUBERIA EMPOTRADA EN LOSA DELGADA



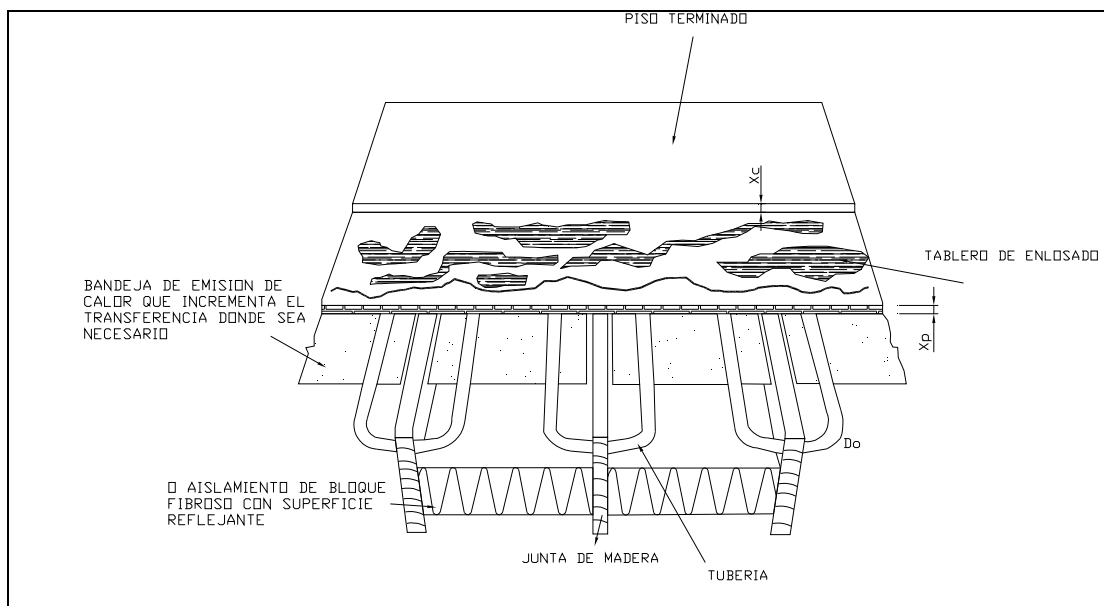
ANEXO 1.3
TUBERIA ENCIMA DEL SUBPISO⁵⁷

TUBERIA ENCIMA DEL SUBPISO



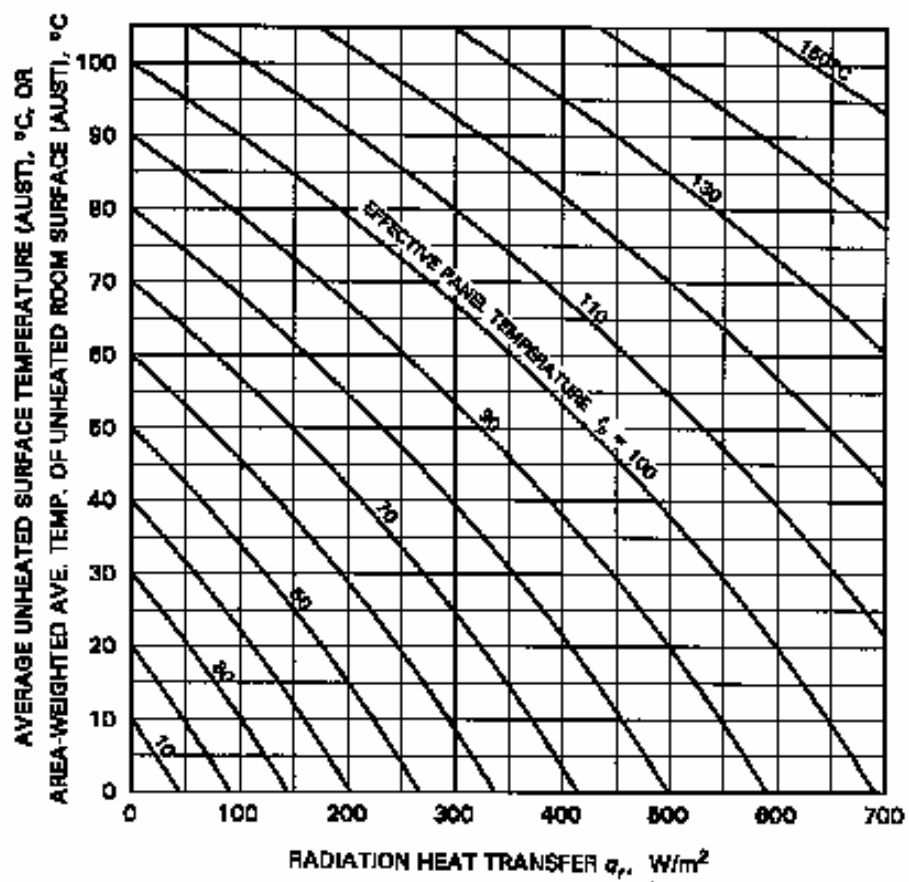
ANEXO 1.4
TUBERIA DEBAJO DEL SUBPISO⁵⁸

TUBERIA DEBAJO DEL SUBPISO



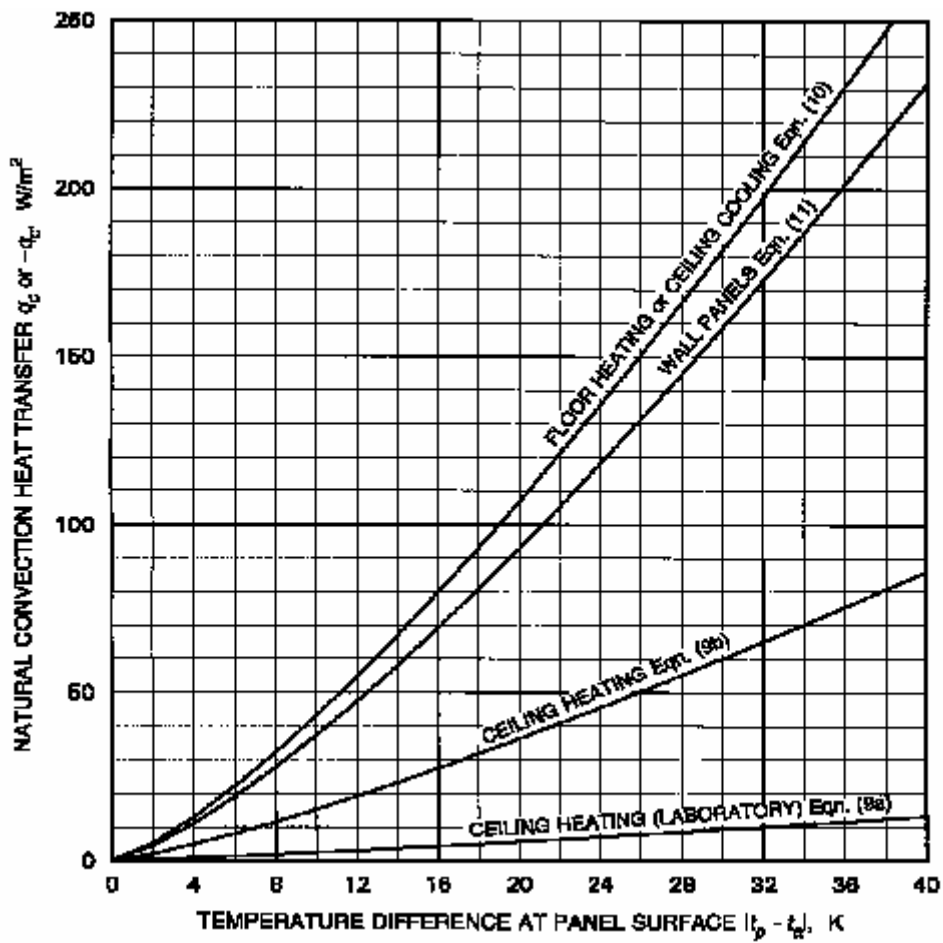
ANEXO 2.1
TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACION DE
PANELES CALENTADOS DE TECHO, PISO
O PARED⁵⁹

TRANFERENCIA DE CALOR POR RADIACION DE PANELES
CALENTADOS DE TECHO, PISO O PARED



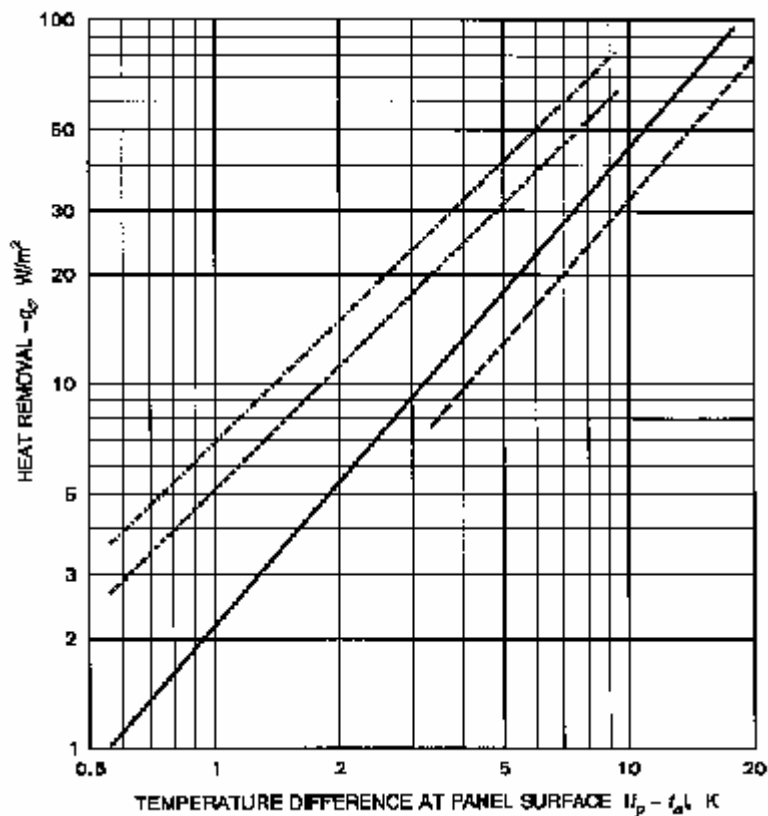
ANEXO 2.2
TRANSFERENCIA DE CONVECCION NATURAL
EN SUPERFICIES DE TUMBADO, PISO O PARED⁶⁰

**TRANSFERENCIA DE CONVECCION NATURAL
EN SUPERFICIES DE TUMBADO, PISO O PARED**



ANEXO 2.3
CALOR QUE EVACUA EL PANEL POR CONVECCION
NATURAL EN PANELES CALENTADOS DE TUMBADO,
PISO O PARED⁶¹

**CALOR QUE EVACUA EL PANEL POR CONVECCION NATURAL EN
PANELES CALENTADOS DE TUMBADO,
PISO O PARED**



- Recalculado de Wilkes y Peterson (1938) para $D_e \approx 300$ mm a $0.13 \frac{m}{s}$
- Basado en datos de convección natural de Wilkes y Peterson (1938) para $D_e \approx 1.5$ m con temperatura medida a 50 mm del panel
- Diagrama de la ecuación (2.9), el cual es $q_c = 2.12 |t_p - t_a|^{0.31} (t_p - t_a)$
- Basado en datos de convección natural de Min et al (1956) para $D_e \approx 300$ mm y t_a medida a 1.52 m sobre el piso.

ANEXO 2.4
COEFICIENTES DE CONVECCION PARA SUPERFICIES
Y RESISTENCIAS DEL AIRE⁶²

TABLA 1 COEFICIENTE DE CONVECCION Y RESISTENCIAS DEL AIRE							
Posición de Superficie	Dirección del Flujo de Calor	Emisividad de Superficie, ϵ					
		No-reflejante		Reflejante			
		$\epsilon = 0,9$		$\epsilon = 0,20$		$\epsilon = 0,20$	
AIRE INMOVIL		h_i	R	h_i	R	h_i	R
Horizontal	Hacia arriba	9,26	0,11	5,17	0,19	4,32	0,23
Inclinación-45°	Hacia arriba	9,09	0,11	5,00	0,20	4,15	0,24
Verical	Horizontal	8,29	0,12	4,20	0,24	3,35	0,30
Inclinación-45°	Hacia abajo	7,50	0,13	3,41	0,29	2,56	0,39
Horizontal	Hacia abajo	6,13	0,16	2,10	0,48	1,25	0,80
AIRE EN MOVIMIENTO (cualquier posición)		h_o	R				
Viento (durante primavera) 6,7 m/s (24 km/h)	Cualquier	34,00	0,03	-	-	-	-
Viento (durante verano)	Cualquier	22,70	0,044	-	-	-	-

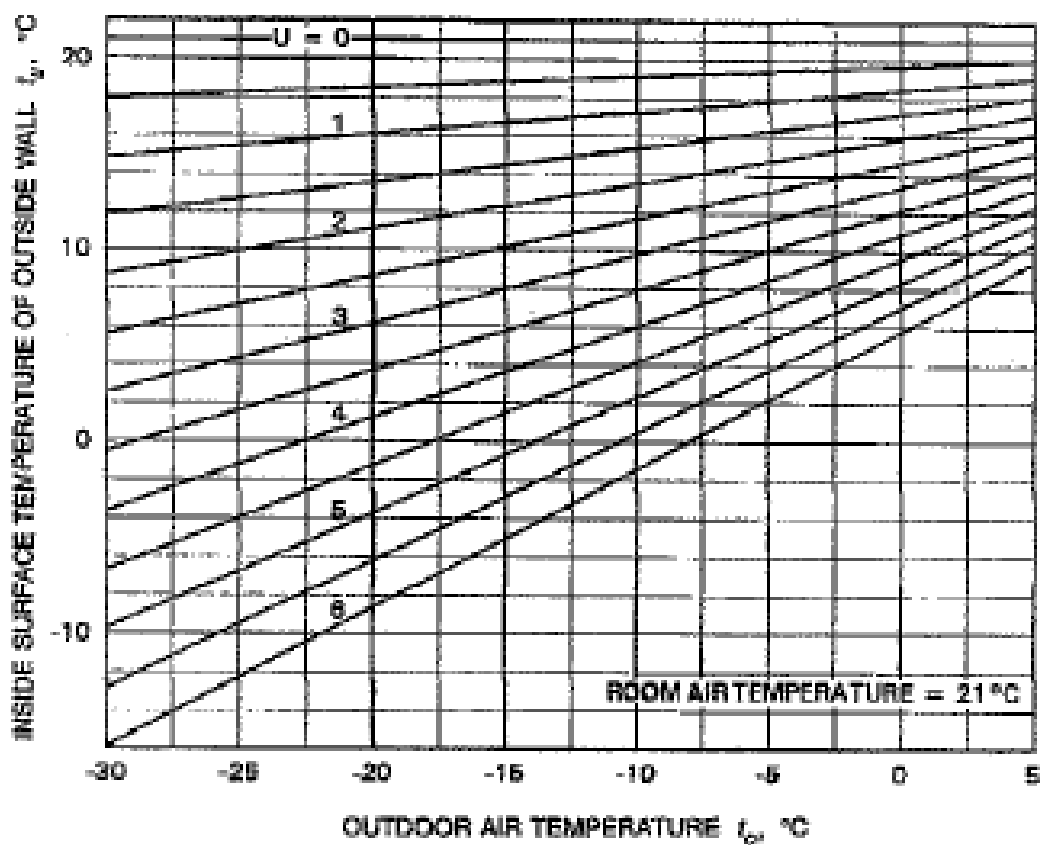
NOTAS:

1. Coeficiente de convección h_i y h_o medido en (W/m^2K) , resistencia R en (m^2K/W)
2. El valor de resistencia en espacio aéreo tienen son iguales con superficie o sin superficie
3. Para áticos ventilados o espacios sobre los techos bajo condiciones de verano (flujo de calor hacia abajo).
4. Los coeficientes de convección son para superficies de emisividad que enfrentan los ambientes virtuales del cuerpo negro a la misma temperatura como el aire ambiente. Los valores están basados en un diferencia de temperatura superficie–aire de 5.5 °C y para las temperaturas de superficie de 21 °C

ANEXO 2.5

**RELACION DE LA TEMPERATURA DE SUPERFICIE INTERIOR
AL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR ⁶³**

**RELACION DE LA TEMPERATURA DE SUPERFICIE INTERIOR AL
COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR**



ANEXO 3.1
GENERACION METABOLICA PARA VARIAS ACTIVIDADES⁶⁴

GENERACIÓN DE CALOR METABOLICA TIPICA PARA VARIAS ACTIVIDADES		
	W/m²	met^a
Descansando		
Durmiendo	40	0,70
Reclinado	45	0,80
Sentado, quieto	60	1,00
Parado, relajado	70	1,20
Caminando		
3,2 Km/h (0,9 m/s)	115	2,00
4,3 Km/h (1,2 m/s)	150	2,60
6,4 Km/h (1,8 m/s)	220	3,80
Actividades de Oficina		
Leyendo, sentado	55	1,00
Escribiendo	60	1,00
Tecleando	65	1,10
Archivando, sentado	70	1,20
Archivando, parado	80	1,40
Caminar alrededor	100	1,70
Levantando/ empacando	120	2,10
Manejando/ Volando		
Auto	60 - 115	1,0 - 2,0
Avión, rutina	70	1,20
Avión, instrumenta aterrizaje	70	1,20
Avión, combate	140	2,40
Vehículo pesado	185	3,20
Actividades miscelaneas ocupacionales		
Cocinando	95 - 115	1,6 - 2,0
Limpieza de casa	115 - 200	2,0 - 3,4
Sentado, movimiento de miembros pesados		
Trabajo en maquinaria		
Aserrar, (tabla de aserrar)	105	1,80
Iluminar (industria eléctrica)	115 - 140	2,0 - 2,4
Pesado	235	4,00
Manipulación de bolsas 50 Kg	235	4,00
Recoger y Trabajar con pala	235 - 280	4,0 - 4,8
Actividades misceláneas de ocio		
Bailar, social	140 - 255	2,4 - 4,4
Calistenia/ejercicio	175 - 235	3,0 - 4,0
Tenis, individuales	210 - 270	3,6 - 4,0
Baloncesto	290 - 440	5,0 - 7,6
Lucha libre, competidor	410 - 505	7,0 - 8,7
Recopilado de varias fuentes. Para información adicional, ver Buskirk(1960), Passmore y Durnin (1967), y Webb (1964)		
^a 1 met = 58,2 W/m²		

ANEXO 3.2
TEMPERATURA DE SUPERFICIE DE VESTIMENTA

TEMPERATURA DE SUPERFICIE DE VESTIMENTA DE LA ASHRAE

M <i>W/m²</i>	R_{cl} <i>m²K/W</i>	F_{cl}	T_{cl} <i>°C</i>	Tr <i>°C</i>	hc $\left[\frac{W}{m^2 °C} \right]$	T_{cl} <i>°C</i>
69,49	0,155	1,15	23,30	21,6	5,41	30,88
69,49	0,155	1,15	23,40	21,6	5,41	30,71
69,49	0,155	1,15	23,50	21,6	5,41	30,54
69,49	0,155	1,15	23,60	21,6	5,41	30,37
69,49	0,155	1,15	23,70	21,6	5,41	30,20
69,49	0,155	1,15	23,80	21,6	5,41	30,03
69,49	0,155	1,15	23,90	21,6	5,41	29,86
69,49	0,155	1,15	24,00	21,6	5,41	29,69
69,49	0,155	1,15	24,10	21,6	5,41	29,52
69,49	0,155	1,15	24,20	21,6	5,41	29,35
69,49	0,155	1,15	24,30	21,6	5,41	29,17
69,49	0,155	1,15	24,40	21,6	5,41	29,00
69,49	0,155	1,15	24,50	21,6	5,41	28,83
69,49	0,155	1,15	24,60	21,6	5,41	28,66
69,49	0,155	1,15	24,70	21,6	5,41	28,49
69,49	0,155	1,15	24,80	21,6	5,41	28,32
69,49	0,155	1,15	24,90	21,6	5,41	28,15
69,49	0,155	1,15	25,00	21,6	5,41	27,98
69,49	0,155	1,15	25,10	21,6	5,41	27,81
69,49	0,155	1,15	25,20	21,6	5,41	27,64
69,49	0,155	1,15	25,30	21,6	5,41	27,46
69,49	0,155	1,15	25,40	21,6	5,41	27,29
69,49	0,155	1,15	25,50	21,6	5,41	27,12
69,49	0,155	1,15	25,60	21,6	5,41	26,95
69,49	0,155	1,15	25,70	21,6	5,41	26,78
69,49	0,155	1,15	25,80	21,6	5,41	26,61
69,49	0,155	1,15	25,90	21,6	5,41	26,43
69,49	0,155	1,15	26,00	21,6	5,41	26,26
69,49	0,155	1,15	26,10	21,6	5,41	26,09
69,49	0,155	1,15	26,20	21,6	5,41	25,92
69,49	0,155	1,15	26,30	21,6	5,41	25,75

ANEXO 3.3
TEMPERATURA DE COMODIDAD TERMICA

CALCULO DE LA TEMPERATURA DE COMODIDAD TERMICA

M	W	lcl	fcl	Tcl	Tr	pa	hc	Ta
69,49	0	0,155	1,15	27,29	15,4	1,755812	5,41	28,36
69,49	0	0,155	1,15	27,12	15,4	1,755812	5,41	28,06
69,49	0	0,155	1,15	26,95	15,4	1,755812	5,41	27,76
69,49	0	0,155	1,15	26,78	15,4	1,755812	5,41	27,46
69,49	0	0,155	1,15	26,61	15,4	1,755812	5,41	27,16
69,49	0	0,155	1,15	26,43	15,4	1,755812	5,41	26,85
69,49	0	0,155	1,15	26,26	15,4	1,755812	5,41	26,55
69,49	0	0,155	1,15	26,09	15,4	1,755812	5,41	26,01
69,49	0	0,155	1,15	25,92	15,4	1,755812	5,41	25,95
69,49	0	0,155	1,15	25,75	15,4	1,755812	5,41	25,65
69,49	0	0,155	1,15	25,57	15,4	1,755812	5,41	25,34
69,49	0	0,155	1,15	25,4	15,4	1,755812	5,41	25,04
69,49	0	0,155	1,15	25,23	15,4	1,755812	5,41	24,74
69,49	0	0,155	1,15	25,06	15,4	1,755812	5,41	24,44
69,49	0	0,155	1,15	24,89	15,4	1,755812	5,41	24,15
69,49	0	0,155	1,15	24,71	15,4	1,755812	5,41	23,83
69,49	0	0,155	1,15	24,54	15,4	1,755812	5,41	23,54
69,49	0	0,155	1,15	24,37	15,4	1,755812	5,41	23,24
69,49	0	0,155	1,15	24,19	15,4	1,755812	5,41	22,93

ANEXO 3.4
PROPIEDADES TERMOFISICAS DE
LOS MATERIALES COMUNES ⁶⁵

TABLA A.3 Propiedades termofísicas de materiales comunes^a**Materiales estructurales de construcción**

Descripción/composición	Propiedades típicas a 300 K		
	Densidad, ρ (kg/m ³)	Conductividad térmica, k (W/m · K)	Calor específico, c_p (J/kg · K)
Tableros de construcción			
Tablero de asbesto-cemento	1920	0.58	—
Tablero de yeso	800	0.17	—
Madera contraplacada	545	0.12	1215
Revestimiento, densidad regular	290	0.055	1300
Teja acústica	290	0.058	1340
Madera prensada	640	0.094	1170
Madera prensada, alta densidad	1010	0.15	1380
Tablero de partículas, baja densidad	590	0.078	1300
Tablero de partículas, alta densidad	1000	0.170	1300
Maderas			
Maderas duras (roble, arce)	720	0.16	1255
Maderas suaves (abeto, pino)	510	0.12	1380
Materiales de mampostería			
Mortero de cemento	1860	0.72	780
Ladrillo, común	1920	0.72	835
Ladrillo, frente	2083	1.3	—
Teja de arcilla, hueca			
1 celda de profundidad, 10 cm de espesor	—	0.52	—
3 celdas de profundidad, 30 cm de espesor	—	0.69	—
Bloque de concreto, 3 núcleos ovales			
Arena/grava, 20 cm de espesor	—	1.0	—
Ceniza agregada, 20 cm de espesor	—	0.67	—
Bloque de concreto, núcleo rectangular			
2 núcleos, 20 cm de espesor	—	1.1	—
El mismo con núcleos llenos	—	0.60	—
Materiales de emplasto			
Emplasto de cemento, arena agregada	1860	0.72	—
Revoque de yeso, arena agregada	1680	0.22	1085
Revoque de eso, vermiculita agregada	720	0.25	—

ANEXO 3.5
PROPIEDADES TERMOFISICAS DEL AGUA ⁶⁶

TABLA A.6 Propiedades termofísicas de agua saturada*

Temperatura, T (K)	Presión P (bars) ^a	Volumen específico (m ³ /kg)		Entalpia de vaporización h_{fg} (kJ/kg)	Calor específico (kJ/kg · K)		Viscosidad (N · s/m ²)		Conductividad térmica (W/m · K)		Número de Prandtl		Tensión superficial $\sigma_f \cdot 10^3$ (N/m)	Coeficiente de expansión $\beta_f \cdot 10^6$ (K ⁻¹)	Temperatura T (K)
		$v_f \cdot 10^3$	v_g		$c_{p,f}$	$c_{p,g}$	$\mu_f \cdot 10^6$	$\mu_g \cdot 10^6$	$k_f \cdot 10^3$	$k_g \cdot 10^3$	Pr_f	Pr_g			
273.15	0.00611	1.000	206.3	2502	4.217	1.854	1750	8.02	569	18.2	12.99	0.815	75.5	-68.05	273.15
275	0.00697	1.000	181.7	2497	4.211	1.855	1652	8.09	574	18.3	12.22	0.817	75.3	-32.74	275
280	0.00990	1.000	130.4	2485	4.198	1.858	1422	8.29	582	18.6	10.26	0.825	74.8	-46.04	280
285	0.01367	1.000	99.4	2473	4.189	1.861	1225	8.49	590	18.9	8.81	0.833	74.3	114.1	285
290	0.01917	1.001	69.7	2461	4.184	1.864	1080	8.69	598	19.3	7.56	0.841	73.7	174.0	290
295	0.02617	1.002	51.94	2449	4.181	1.868	959	8.89	606	19.5	6.62	0.849	72.7	227.5	295
300	0.03531	1.003	39.13	2438	4.179	1.872	855	9.09	613	19.6	5.83	0.857	71.7	276.1	300
305	0.04712	1.005	29.74	2426	4.178	1.877	769	9.29	620	20.1	5.20	0.865	70.9	320.6	305
310	0.06221	1.007	22.93	2414	4.178	1.882	695	9.49	628	20.4	4.67	0.873	70.0	361.9	310
315	0.08132	1.009	17.82	2402	4.179	1.888	631	9.69	634	20.7	4.16	0.883	69.2	400.4	315
320	0.1051	1.011	13.98	2390	4.180	1.895	577	9.89	640	21.0	3.77	0.894	68.3	436.7	320
325	0.1351	1.013	11.06	2378	4.182	1.903	528	10.09	645	21.3	3.42	0.901	67.5	471.2	325
330	0.1719	1.016	8.82	2366	4.184	1.911	489	10.29	650	21.7	3.15	0.908	66.6	504.0	330
335	0.2167	1.018	7.09	2354	4.186	1.920	453	10.49	656	22.0	2.88	0.916	65.8	535.5	335
340	0.2713	1.021	5.74	2342	4.188	1.930	420	10.69	660	22.3	2.66	0.925	64.9	566.0	340
345	0.3372	1.024	4.683	2329	4.191	1.941	389	10.89	668	22.6	2.45	0.933	64.1	595.4	345
350	0.4163	1.027	3.846	2317	4.195	1.954	365	11.09	668	23.0	2.29	0.942	63.2	624.2	350
355	0.5100	1.030	3.180	2304	4.199	1.968	343	11.29	671	23.3	2.14	0.951	62.3	652.3	355
360	0.6209	1.034	2.645	2291	4.205	1.983	324	11.49	674	23.7	2.02	0.960	61.4	679.9	360
365	0.7514	1.038	2.212	2278	4.209	1.999	306	11.69	677	24.1	1.91	0.969	60.5	707.1	365
370	0.9040	1.041	1.861	2265	4.214	2.017	289	11.89	679	24.5	1.80	0.978	59.5	728.7	370
373.15	1.0133	1.044	1.629	2257	4.217	2.029	279	12.02	680	24.8	1.76	0.984	58.9	750.1	373.15
375	1.0815	1.045	1.574	2252	4.220	2.036	274	12.09	681	24.9	1.70	0.987	58.6	761	375
380	1.2869	1.049	1.337	2239	4.226	2.057	260	12.29	683	25.4	1.61	0.999	57.6	788	380
385	1.5233	1.053	1.142	2225	4.232	2.080	248	12.49	685	25.8	1.53	1.004	56.6	814	385

ANEXO 3.6
PROPIEDADES TERMOFISICAS DEL AIRE⁶⁷

TABLA A.4 Propiedades termofísicas de gases a presión atmosférica^a

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^5$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Aire							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	238	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	714	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	783	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	869	0.630
2500	0.1389	1.665	818	589	222	960	0.613
3000	0.1135	2.726	955	841	486	1570	0.536

ANEXO 4.1
RESISTENCIAS DE LOS MATERIALES⁶⁸

Table 3.1A Thermal Properties of Typical Building and Insulating Materials — (Design Values)^a

Conductivity and conductance are expressed in Btu per (hour) (square foot) (degree Fahrenheit temperature difference). Conductivities (*k*) are per inch thickness, and conductances (*C*) are for thickness or construction stated, not per inch thickness. All values are for a mean temperature of 75 F, except as noted by an asterisk (*) which have been reported at 45 F.

Description	Customary Unit								
	Density (lb/ft ³)	Conduc- tivity (<i>k</i>)	Conduc- tance (<i>C</i>)	Resistance ^b (<i>R</i>)		Specific Heat, Btu/(lb) (deg F)	Wt lb ft ²	Heat Capacity	
				Per inch thickness (1/ <i>k</i>)	For thick- ness listed (1/ <i>C</i>)			Btu ft ² · F	Btu ft ³ · F
BUILDING BOARD^c									
Boards, Panels, Subflooring, Sheathing									
Woodboard Panel Products									
Asbestos-cement board	120	4.0	—	0.25	—	0.24	—	—	28.8
Asbestos-cement board 0.125 in.	120	—	33.00	—	0.03	—	1.25	0.30	28.8
Asbestos-cement board 0.25 in.	120	—	16.50	—	0.06	—	2.50	0.60	28.8
Gypsum or plaster board 0.375 in.	50	—	3.10	—	0.32	0.26	1.56	0.41	13.0
Gypsum or plaster board 0.5 in.	50	—	2.22	—	0.45	—	2.08	0.54	13.0
Gypsum or plaster board 0.625 in.	50	—	1.78	—	0.56	—	2.60	0.68	13.0
Plywood (Douglas Fir)	34	0.80	—	1.25	—	0.29	—	—	9.86
Plywood (Douglas Fir) 0.25 in.	34	—	3.20	—	0.31	—	0.71	0.21	9.86
Plywood (Douglas Fir) 0.375 in.	34	—	2.13	—	0.47	—	1.06	0.31	9.86
Plywood (Douglas Fir) 0.5 in.	34	—	1.60	—	0.62	—	1.42	0.41	9.86
Plywood (Douglas Fir) 0.625 in.	34	—	1.29	—	0.77	—	1.77	0.51	9.86
Plywood or wood panels 0.75 in.	34	—	1.07	—	0.93	0.29	2.13	0.62	9.86
Vegetable Fiber Board									
Sheathing, regular density 0.5 in.	18	—	0.76	—	1.32	0.31	0.75	0.23	5.58
Sheathing, regular density 0.78125 in.	18	—	0.49	—	2.06	—	1.17	0.36	5.58
Sheathing intermediate density 0.5 in.	22	—	0.82	—	1.22	0.31	0.92	0.28	6.82
Nail-base sheathing 0.5 in.	25	—	0.88	—	1.14	0.31	1.04	0.32	7.75
Shingle backer 0.375 in.	18	—	1.06	—	0.94	0.31	0.56	0.17	5.58
Shingle backer 0.3125 in.	18	—	1.28	—	0.78	—	0.47	0.15	5.58
Sound deadening board 0.5 in.	15	—	0.74	—	1.35	0.30	0.62	0.19	4.50
Tile and lay-in panels, plain or acoustic									
Tile and lay-in panels, plain or 0.5 in.	18	0.40	—	2.50	—	0.14	—	—	2.52
Tile and lay-in panels, plain or 0.5 in.	18	—	0.80	—	1.25	—	0.75	0.11	2.52
Tile and lay-in panels, plain or 0.75 in.	18	—	0.53	—	1.89	—	1.13	0.16	2.52
Laminated paperboard	30	0.50	—	2.00	—	0.33	—	—	9.90
Homogeneous board from repulped paper									
Hardboard	30	0.50	—	2.00	—	0.28	—	—	8.40
Medium density	50	0.73	—	1.37	—	0.31	—	—	17.60
High density, service temp. service underlay	55	0.82	—	1.22	—	0.32	—	—	17.60
High density, std. tempered	63	1.00	—	1.00	—	0.32	—	—	20.16
Particleboard									
Low density	37	0.54	—	1.85	—	0.31	—	—	11.47
Medium density	50	0.94	—	1.06	—	0.31	—	—	15.50
High density	62.5	1.18	—	0.85	—	0.31	—	—	19.38
Underlayment 0.625 in.	40	—	1.22	—	0.82	0.29	2.08	0.6	11.60
Wood subfloor 0.75 in.	40	—	1.06	—	0.94	0.33	2.00	0.6	9.60
BUILDING MEMBRANE									
Vapor—permeable felt	—	—	16.70	—	0.06	—	—	—	—
Vapor—seal, 2 layers of mopped 15-lb felt	—	—	8.35	—	0.12	—	—	—	—
Vapor—seal, plastic film	—	—	—	—	Negl.	—	—	—	—
FINISH FLOORING MATERIALS									
Carpet and fibrous pad	—	—	0.48	—	2.08	0.34	—	—	—
Carpet and rubber pad	—	—	0.81	—	1.23	0.33	—	—	—
Cork tile 0.125 in.	—	—	3.60	—	0.28	0.48	—	—	—
Terrazzo 1 in.	—	—	12.50	—	0.08	0.19	11.7	2.22	26.60
Tile—asphalt, linoleum, vinyl, rubber vinyl asbestos	—	—	20.00	—	0.05	0.30	—	—	—
Tile—ceramic	—	—	—	—	—	0.24	—	—	—
Tile—ceramic	—	—	—	—	—	0.19	—	—	—
Wood, hardwood finish 0.75 in.	—	—	1.47	—	0.68	—	2.81	0.84	13.50
INSULATING MATERIALS									
BLANKET AND BATT									
Mineral Fiber, fibrous form processed from rock, slag, or glass									
approx. * 2–2.75 in.	0.3–2.0	—	0.143	—	7 ^d	0.17–0.23	12–40	.02–.09	0.1–0.46
approx. * 3–3.5 in.	0.3–2.0	—	0.091	—	11 ^d	—	16–54	.03–.12	0.1–0.46
approx. * 3.50–6.5	0.3–2.0	—	0.053	—	19 ^d	—	30–98	.05–.23	0.1–0.46
approx. * 6–7 in.	0.3–2.0	—	0.045	—	22 ^d	—	30–110	.05–.25	0.1–0.46
approx. * 8.5 in.	0.3–2.0	—	0.033	—	30 ^d	—	40–142	.07–.32	0.1–0.46
BOARD AND SLABS									
Cellular glass	8.5	0.38	—	2.63	—	0.24	—	—	2.64
Glass fiber, organic bonded	4–9	0.25	—	4.00	—	0.23	—	—	9–2.1
Expanded rubber (rigid)	4.5	0.22	—	4.55	—	0.40	—	—	1.8
Expanded polystyrene extruded	1.8	0.25	—	4.00	—	0.29	—	—	0.52
Expanded polystyrene extruded	2.2	0.20	—	5.00	—	0.29	—	—	0.64
Expanded polystyrene extruded	3.5	0.19	—	5.26	—	—	—	—	1.02
Expanded polystyrene, molded beads	1.0	0.28	—	3.57	—	0.29	—	—	0.29
Expanded polyurethane ^f (R-11 exp.)	1.5	0.16	—	6.25	—	0.38	—	—	0.57
(Thickness 1 in. or greater)	2.5	—	—	—	—	—	—	—	—

ANEXO 4.2
RESISTENCIAS DE LOS MATERIALES⁶⁹

Table 3.1A Thermal Properties of Typical Building and Insulating Materials—(Design Values)* (continued)

Description	Customary Unit							
	Density (lb/ft ³)	Conductivity (k)	Conductance (C)	Resistance ^b (R)		Specific Heat, Btu/(lb) (deg F)	Heat Capacity	
				Per inch thickness (1/k)	For thickness listed (1/C)		Wt lb ft ²	Btu ft ² · F
Mineral fiber with resin binder	15	0.29	—	3.45	—	0.17	—	9.15
Mineral fiberboard, wet felted								
Core or roof insulation	16-17	0.34	—	2.94	—	—	—	2.2-2.4
Acoustical tile	18	0.35	—	2.86	—	0.19	—	3.42
Acoustical tile	21	0.37	—	2.70	—	—	—	2.94
Mineral fiberboard, wet molded								
Acoustical tile ^s	23	0.42	—	2.38	—	0.14	—	3.22
Wood or cane fiberboard								
Acoustical tile ^s 0.5 in.	—	—	0.80	—	1.25	0.31	—	—
Acoustical tile ^s 0.75 in.	—	—	0.53	—	1.89	—	—	—
Interior finish (plank, tile)	15	0.35	—	2.86	—	0.32	—	4.80
Wood shredded (cemented in preformed slabs)	22	0.60	—	1.67	—	0.31	—	6.82
LOOSE FILL								
Cellulosic insulation (milled paper or wood pulp)	2.3-3.2	0.27-0.32	—	3.13-3.70	—	0.33	—	.76-1.06
Sawdust or shavings	8.0-15.0	0.45	—	2.22	—	0.33	—	2.64-4.45
Wood fiber, softwoods	2.0-3.5	0.30	—	3.33	—	0.33	—	.66-1.16
Perlite, expanded	5.0-8.0	0.37	—	2.70	—	0.26	—	1.3-2.08
Mineral fiber (rock, slag or glass)								
approx. ^e 3.75-5 in.	0.6-2.0	—	—	—	11	0.17	0.2- .71	.04-.12
approx. ^e 6.5-8.75 in.	0.6-2.0	—	—	—	19	—	.51-1.27	.06-.22
approx. ^e 7.5-10 in.	0.6-2.0	—	—	—	22	—	.45-1.46	.07-.25
approx. ^e 10.25-13.75 in.	0.6-2.0	—	—	—	30	—	.60-2.02	.1- .34
Vermiculite, exfoliated	7.0-8.2	0.47	—	2.13	—	3.20	—	1.4-1.64
4.0-6.0	0.44	—	—	2.27	—	—	—	0.8-1.2
ROOF INSULATION^h								
Preformed, for use above deck								
Different roof insulations are available in different thicknesses to provide the design C values listed. ^h Consult individual manufacturers for actual thickness of their material.			0.72 to 0.12		1.39 to 8.33			
MASONRY MATERIALS								
CONCRETES								
Cement mortar	116	5.0	—	0.20	—	—	—	23.2
Gypsum-fiber concrete 87.5% gypsum, 12.5% wood chips	51	1.66	—	0.60	—	0.21	—	10.71
Lightweight aggregates including expanded shale, clay or slate; expanded slags; cinders; pumice; vermiculite; also cellular concretes	120	5.2	—	0.19	—	—	—	24.0
100	3.6	—	0.28	—	—	—	—	20.0
80	2.5	—	0.40	—	—	—	—	16.0
60	1.7	—	0.59	—	—	—	—	12.0
40	1.15	—	0.86	—	—	—	—	8.0
30	0.90	—	1.11	—	—	—	—	6.0
20	0.70	—	1.43	—	—	—	—	4.0
Perlite, expanded	40	0.93	—	1.08	—	—	—	12.8
30	0.71	—	1.41	—	—	—	—	9.6
20	0.50	—	2.00	—	—	—	—	6.4
Sand and gravel or stone aggregate (oven dried)	140	9.0	—	0.11	—	0.32	—	30.8
Sand and gravel or stone aggregate (not dried)	140	12.0	—	0.08	—	0.22	—	28.0
Stucco	116	5.0	—	0.20	—	—	—	23.2
MASONRY UNITS								
Brick, common ¹	120	5.0	—	0.20	—	0.19	—	22.8
Brick, face ¹	130	9.0	—	0.11	—	—	—	24.7
Clay tile, hollow:								
1 cell deep 3 in.	—	—	1.25	—	0.80	0.21	15.0	3.2
1 cell deep 4 in.	—	—	0.90	—	1.11	—	16.0	3.4
2 cells deep 6 in.	—	—	0.66	—	1.52	—	25.0	5.25
2 cells deep 8 in.	—	—	0.54	—	1.85	—	30.0	6.3
2 cells deep 10 in.	—	—	0.45	—	2.22	—	35.0	7.4
3 cells deep 12 in.	—	—	0.40	—	2.50	—	40.0	8.4
Concrete blocks, three oval core:								
Sand and gravel aggregate 4 in.	—	—	1.40	—	0.71	0.22	23.0	5.1
. 8 in.	—	—	0.90	—	1.11	—	43.0	9.4
. 12 in.	—	—	0.78	—	1.28	—	63.0	13.9
Cinder aggregate 3 in.	—	—	1.16	—	0.86	0.21	17.0	3.6
. 4 in.	—	—	0.90	—	1.11	—	20.0	4.2
. 8 in.	—	—	0.58	—	1.72	—	37.0	7.9
. 12 in.	—	—	0.53	—	1.89	—	53.0	11.1
Lightweight aggregate 3 in.	—	—	0.79	—	1.27	0.21	15.0	2.6
(expanded shale, clay, slate 4 in.	—	—	0.67	—	1.50	—	17.0	3.6
or slag; pumice) 8 in.	—	—	0.50	—	2.00	—	32.0	6.7
. 12 in.	—	—	0.44	—	2.27	—	43.0	9.0
Concrete blocks, rectangular core: ¹								
Sand and gravel aggregate 2 core, 8 in. 36 lb. ^{k*}	—	—	0.96	—	1.04	0.22	43.1	9.5
Same with filled cores ^{k*}	—	—	0.52	—	1.93	0.22	—	—

ANEXO 4.3
COEFICIENTES DE TRANSMISION DE LOS VIDRIOS⁷⁰

Table 3.14 A Overall Coefficients of Heat Transmissions (U-Factor) of Windows and Skylights, Btu/(hr. ft² F)

Description	Exterior Vertical Panels				Exterior Horizontal Panels (Skylights)	
	Summer		Winter		Summer	Winter
	No Indoor Shade	Indoor Shade	No Indoor Shade	Indoor Shade		
Flat Glass						
Single Glass	1.04	0.81	1.10	0.83	0.83	1.23
Insulating Glass, Double						
3/16 in air space	0.65	0.58	0.62	0.52	0.57	0.70
¼ in air space	0.61	0.55	0.58	0.48	0.54	0.65
½ in air space	0.56	0.52	0.49	0.42	0.49	0.59
Low emittance coating						
e=0.20	0.38	0.37	0.32	0.30	0.36	0.48
e=0.40	0.45	0.44	0.38	0.35	0.42	0.52
e=0.60	0.51	0.48	0.43	0.38	0.46	0.56

ANEXO 4.4
COEFICIENTE DE SOMBRA⁷¹

Glazing	Glass Trans.	Glass SC*	SC for Index Letters in Fig. 3.1**																			
			A		B		C		D		E		F		G		H		I		J	
Single Glass																						
1/4 in. Clear	0.80	0.95	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35										
1/2 in. Clear	0.71	0.88	0.74	0.70	0.66	0.61	0.56	0.52	0.48	0.43	0.39	0.35										
1/4 in. Heat Abs.	0.46	0.67	0.57	0.54	0.52	0.49	0.46	0.44	0.41	0.38	0.36	0.33										
1/2 in. Heat Abs.	0.24	0.50	0.43	0.42	0.40	0.39	0.38	0.36	0.34	0.33	0.32	0.30										
Reflective Coated (See Manufacturers' literature for exact values)	—	0.60	0.57	0.54	0.51	0.49	0.46	0.43	0.41	0.38	0.36	0.33										
	—	0.50	0.46	0.44	0.42	0.41	0.39	0.38	0.36	0.34	0.33	0.31										
	—	0.40	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.30	0.29	0.28	0.27	0.26										
	—	0.30	0.25	0.24	0.24	0.23	0.23	0.23	0.22	0.21	0.21	0.20										
Insulating Glass (1/2 in. Air Space)																						
Clear Out and Clear In	0.64	0.83	0.66	0.62	0.58	0.56	0.52	0.48	0.45	0.42	0.37	0.35										
Heat Abs. Out and Clear In	0.37	0.56	0.49	0.47	0.45	0.43	0.41	0.39	0.37	0.35	0.33	0.32										
Reflective Coated (see Manufacturers' literature for exact values)	—	0.40	0.38	0.37	0.37	0.36	0.34	0.32	0.31	0.29	0.28	0.28										
	—	0.30	0.29	0.28	0.27	0.27	0.26	0.26	0.25	0.25	0.24	0.24										
	—	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15										

ANEXO 4.5
VALORES DE FACTORES⁷²

Table 4.5 Rates of Heat Gain from Occupants of Conditioned Spaces^a

Degree of Activity	Typical Application	ADULT MALE Total ($q_s/\text{person} + q_l/\text{person}$)		ADJUSTED GROUP ^b Total ($q_s/\text{person} + q_l/\text{person}$)		ADJUSTED GROUP ^b Sensible q_s/person		ADJUSTED GROUP ^b Latent q_l/person	
		Watts	Btu/hr	Watts	Btu/hr	Watts	Btu/hr	Watts	Btu/hr
Seated at rest	Theater, movie	115	400	100	350	60	210	40	140
Seated, very light work writing	Offices, hotels, apts	140	480	120	420	65	230	55	190
Seated, eating	Restaurant ^c	150	520	170	580 ^c	75	255	95	325
Seated, light work, typing	Offices, hotels, apts	185	640	150	510	75	255	75	255
Standing, light work or walking slowly	Retail Store, bank	235	800	185	640	90	315	95	325
Light bench work	Factory	255	880	230	780	100	345	130	435
Walking, 3 mph, light machine work	Factory	305	1040	305	1040	100	345	205	695
Bowling ^d	Bowling alley	350	1200	280	960	100	345	180	615
Moderate dancing	Dance hall	400	1360	375	1280	120	405	255	875 ^e
Heavy work, heavy machine work, lifting	Factory	470	1600	470	1600	165	565	300	1035
Heavy work, athletics	Gymnasium	585	2000	525	1800	185	635	340	1165

^aNote: Tabulated values are based on 78 F room dry-bulb temperature. For 80 F room dry-bulb, the total heat remains the same, but the sensible heat value should be decreased by approximately 8% and the latent heat values increased accordingly.

^bAdjusted total heat gain is based on normal percentage of men, women, and children for the application listed, with the postulate that the gain from an adult female is 85% of that for an adult male, and that the gain from a child is 75% of that for an adult male.

^cAdjusted total heat value for eating in a restaurant, includes 60 Btu/hr for food per individual (30 Btu sensible and 30 Btu latent).

^dFor bowling figure one person per alley actually bowling, and all others as sitting (400 Btu/hr) or standing and walking slowly (790 Btu/hr).

ANEXO 4.6
VALORES DE FACTORES⁷³

Table 4.1 Average Values of Ballast Factor, F _s , for fluorescent Lights		
Lamp Wattage	No. Of Lamps Per Fixture	F _s
35	1	1,3
40	1	1,3
35	2	1,2
40	2	1,2
60	1	1,3
75	1	1,3
60	2	1,2
75	2	1,2
110	1	1,25
110	2	1,07
160	1	1,15
160	2	1,08
185	1	1,08
215	1	1,08
185	2	1,06
215	2	1,06

ANEXO 4.7
CLASIFICACION PARA VALORES DE LUCES⁷⁴

Tabla 4.2 “a” Classification for Lights	
This table is base don rooms having an average amount of furnishings	
“a”	Lights fixture and Ventilation Arrangements
0.45	Recessed lights which are not vented Low air supply rate – less than 0.5 cfm/ft ² of floor area Supply and return diffusers below ceiling
0.55	Recessed lights which are not vented Medium to high air suplí rate – more than 0.5 cfm/ft ² of floor area Supply and return diffusers below ceiling or through ceiling space and grill
0.65	Vented Light mixtures Medium to high air suplí rate – more than 0.5 cfm/ft ² of floor area Supply air through ceiling or wall but return air flows around light fixtures and through ceiling space
0.75	Vented or free hanging lights Supply air through ceiling or wall but return air flows around light fixtures and through ceiling space

ANEXO 4.8
CLASIFICACION POR ILUMINACION⁷⁵

Table 4.3 b Classification for Lights					
This table is based on floor covered with carpet and rubber pad. For floor covered with floor tile use letter designation in next row down with the same floor weight					
	Floor Construction and Floor Weight in Pounds Per Square Foot of Floor Area				
Room Air Circulation and Type of Supply and Return	2 in. Wooden Floor 10 lb/ft ²	3 in. Concrete Floor 40 lb/ft ²	6 in. Concrete Floor 75 lb/ft ²	8 in. Concrete Floor 120 lb/ft ²	12 in. Concrete Floor 160 lb/ft ²
Low ventilation rate - minimum required to handle cooling load. Supply through floor, wall or ceiling diffuser. Ceiling space not vented.	B	B	C	D	D
Medium ventilation rate. Supply through floor, wall or ceiling diffuser. Ceiling space not vented.	A	B	C	D	D
High room air circulation induced by primary air of induction unit or by fan coil unit. Return through ceiling space.	A	B	C	C	D
Very high room air circulation used to minimize room temperature gradients. Return through ceiling space	A	A	B	C	D

ANEXO N° 4.9
FACTORES CLF⁷⁶

Table 4.4B Cooling Load Factors when Lights Are on for 10 Hours

°F Outside Dry-Bulb	°F Inside Dry-Bulb	Number of hours after lights are turned on																																				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23													
64	A	0.01	0.47	0.38	0.66	0.73	0.78	0.82	0.86	0.88	0.91	0.93	0.94	0.90	0.82	0.79	0.72	0.66	0.61	0.56	0.51	0.46	0.41	0.36	0.31	0.26	0.21	0.17	0.13	0.11	0.09	0.07	0.06	0.03	0.04			
	B	0.19	0.34	0.59	0.63	0.66	0.70	0.73	0.76	0.78	0.80	0.82	0.84	0.82	0.79	0.76	0.72	0.68	0.64	0.60	0.56	0.52	0.48	0.44	0.40	0.36	0.32	0.28	0.24	0.21	0.19	0.17	0.15	0.14	0.12	0.11		
	C	0.17	0.39	0.61	0.64	0.66	0.68	0.70	0.72	0.73	0.75	0.77	0.78	0.79	0.77	0.74	0.71	0.67	0.63	0.60	0.56	0.52	0.48	0.44	0.40	0.36	0.32	0.28	0.24	0.21	0.20	0.18	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	
	D	0.18	0.63	0.63	0.64	0.66	0.67	0.68	0.69	0.69	0.70	0.71	0.72	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	
65	A	0.02	0.37	0.63	0.72	0.78	0.82	0.85	0.88	0.91	0.92	0.94	0.94	0.90	0.82	0.79	0.72	0.66	0.61	0.56	0.51	0.46	0.41	0.36	0.31	0.26	0.21	0.17	0.14	0.11	0.09	0.07	0.06	0.03	0.04	0.03		
	B	0.08	0.62	0.66	0.69	0.73	0.77	0.78	0.80	0.82	0.84	0.85	0.82	0.79	0.76	0.72	0.68	0.64	0.60	0.56	0.52	0.48	0.44	0.40	0.36	0.32	0.28	0.24	0.21	0.19	0.17	0.15	0.14	0.12	0.11	0.10	0.09	0.04
	C	0.12	0.66	0.68	0.70	0.72	0.74	0.75	0.77	0.78	0.79	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81
	D	0.12	0.69	0.70	0.71	0.72	0.73	0.74	0.75	0.75	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	
68	A	0.02	0.66	0.73	0.78	0.83	0.86	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.95	0.91	0.82	0.79	0.72	0.66	0.61	0.56	0.51	0.46	0.41	0.36	0.31	0.26	0.21	0.17	0.14	0.11	0.08	0.07	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03	
	B	0.06	0.71	0.74	0.76	0.79	0.81	0.83	0.84	0.86	0.87	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
	C	0.09	0.74	0.75	0.77	0.78	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
	D	0.11	0.76	0.77	0.77	0.78	0.79	0.79	0.80	0.81	0.81	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82
73	A	0.01	0.76	0.81	0.84	0.88	0.90	0.92	0.93	0.93	0.96	0.97	0.97	0.93	0.84	0.81	0.74	0.68	0.63	0.58	0.53	0.48	0.43	0.38	0.33	0.28	0.23	0.18	0.14	0.11	0.08	0.07	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03	
	B	0.04	0.79	0.81	0.83	0.85	0.86	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
	C	0.07	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
	D	0.08	0.83	0.83	0.84	0.84	0.85	0.85	0.86	0.86	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87

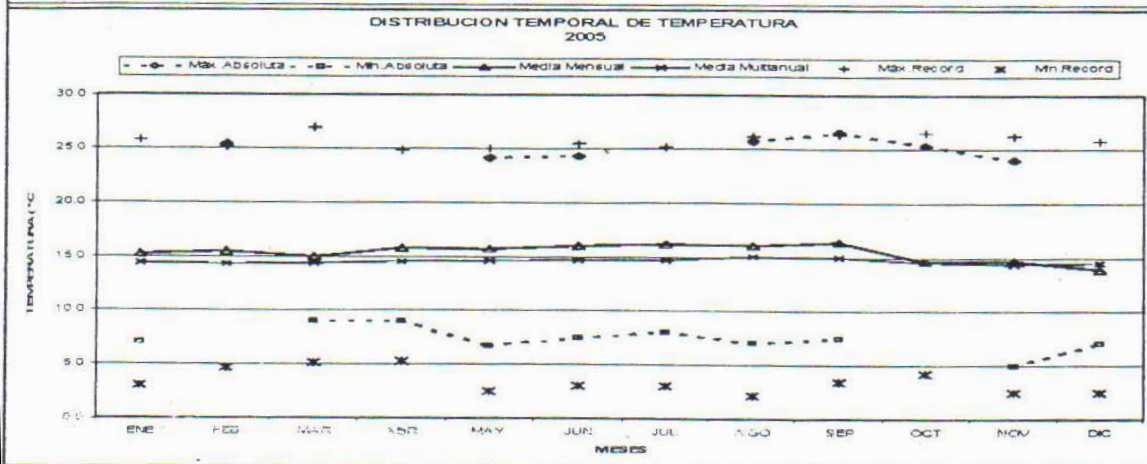
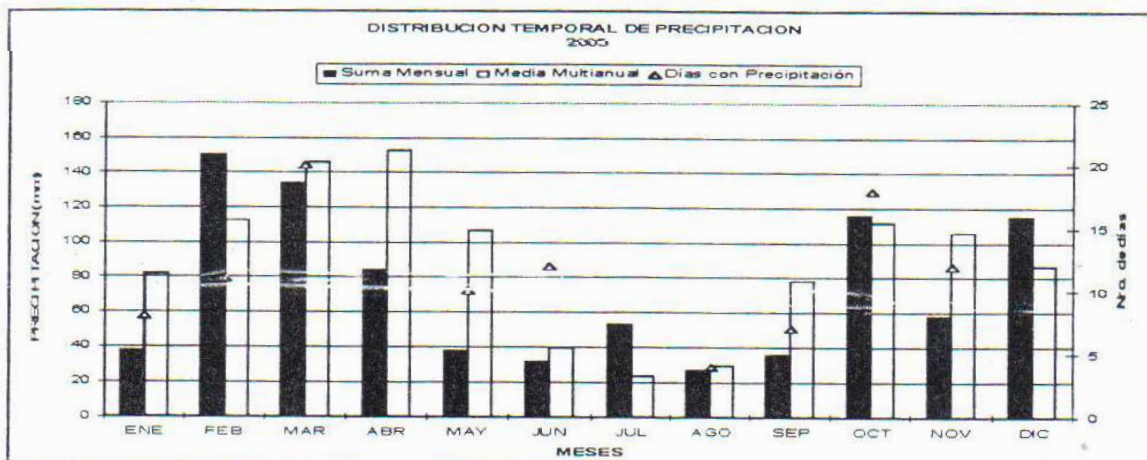
ANEXO N° 4.10
VALOR CFM⁷⁷

	Estimated persons/1000 ft ² floor area. ^a	Required ventilation air, per human occupant	
		Minimum cfm	Recommended cfm
Offices			
General Office Space	10	15	15-25
Conference Rooms	60	25	30-40
Drafting Rooms, Art Rooms	20	7	10-15
Doctors' Consultation Rooms	—	10	10-15
Waiting Rooms	30	10	15-20
Lithographing Rooms ^g	20	7	10-15
Diazo Printing Rooms ^g	20	7	10-15
Computer Rooms	20	5	7-10
Keypunching Rooms	30	7	10-15
Communication			
TV/Radio Broadcasting Booths, or Studios ^h	20	30	35-40
Motion Picture and TV Stages	20	30	35-40
Pressrooms	100	15	20-25
Composing Rooms	30	7	10-15
Engraving Shops	30	7	10-15
Telephone Switchboard Rooms (Manual)	50	7	10-15
Telephone Switchgear Rooms (Automatic)	—	7	10-15
Teletypewriter/Facsimile Rooms	—	5	7-10
INDUSTRIAL (including agricultural processing)			
(Occupational safety laws in the various states usually regulate the ventilation requirements. These are almost always far in excess of the ventilation requirements for the occupants.) ASHRAE Standard 62-73 lists requirements for occupants only. In general, 25 cfm per occupant is recommended except for mining or metalworking, where 40 cfm is recommended.			
INSTITUTIONAL			
Schools			
Classrooms	50	10	10-15
Multiple Use Rooms	70	10	10-15
Laboratories ^m	30	10	10-15
Craft and Vocational Training Shops ^m	30	10	10-15
Music, Rehearsal Rooms	70	10	15-20
Auditoriums	150	5	5-7.5
Gymnasiums	70	20	25-30
Libraries	20	7	10-12
Common Rooms, Lounges	70	10	10-15
Offices	10	7	10-15
Lavatories	100	15	20-25
Locker Rooms ^t	20	30 ^k	40-50 ^k
Lunchrooms, Dining Halls	100	10	15-20
Corridors	50	15	20-25
Utility Rooms	3	5	7-10
Dormitory Bedrooms	20	7	10-15
Hospitals, Nursing and Convalescent Homes			
Foyers	50	20	25-30
Hallways	50	20	25-30
Single, Dual Bedrooms	15	10	15-20
Wards	20	10	15-20
Food Service Centers	20	35	35
Operating Rooms, Delivery Rooms ⁿ	—	20	—
Amphitheatres	100	10	15-20
Physical Therapy Areas	20	15	20-25
Autopsy Rooms	10	30	40-50
Incinerator Service Areas ^o	—	5	7-10
Ready Rooms, Recovery Rooms ⁿ (For Shops, Restaurants, Utility Rooms, Kitchens, Bathrooms, and Other Service Items, see Hotels)	—	15	—
Research Institutes			
Laboratories ^m	50	15	20-25
Machine Shops	50	15	20-25
Darkrooms, Spectroscopy Rooms	50	10	15-20
Animal Rooms ^p	20	40	45-50

ANEXO N° 4.11
TABLA INAMHI⁷⁸

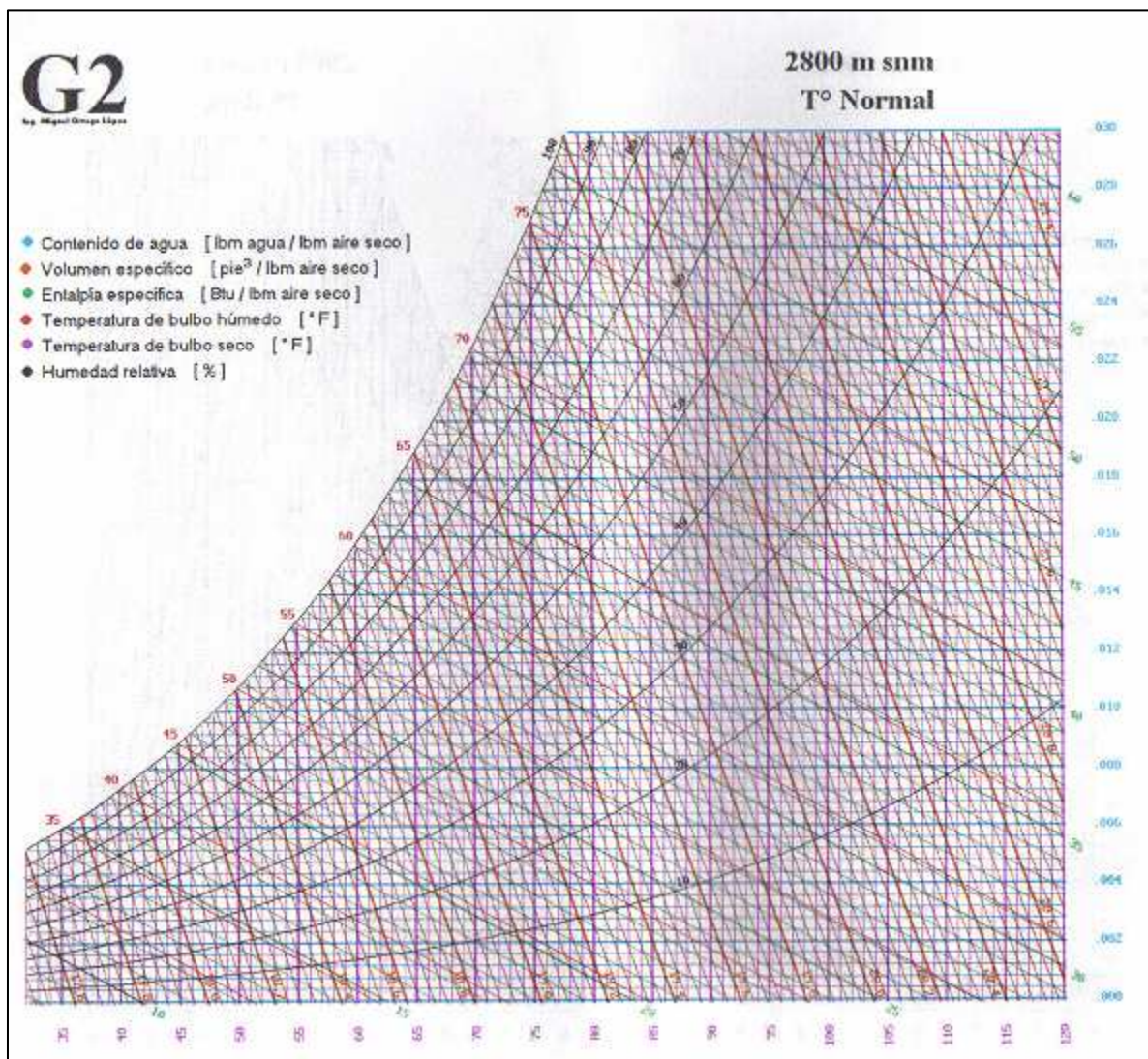
M024		QUITO INAMHI-INNAQUITO										INAMHI						
MES	HELIOFANIA (horas)	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C)					HUMEDAD RELATIVA (%)			PUNTO DE ROCÍO (°C)	TENSIÓN DE VAPOR (hPa)	PRECIPITACIÓN (mm)		Número de días con precipitación				
		ABSOLUTAS		MEDIAS			Máxima día	Mínima día	Media			Mensual	Máxima en 24hrs día					
ENERO	172,2	7,0	21	22,0	9,5	15,2	99	9	32	10	70	9,1	11,8	37,9	15,8	24	8	
FEBRERO	149,1	25,4	24	21,7	10,6	15,5					74	10,3	12,8	150,6	60,3	10	11	
MARZO	106,6		9,0	11	20,7	10,6	15,0				77	10,6	12,8	134,3	30,5	5	20	
ABRIL	125,5		9,0	22	21,9	11,0	15,8	100	26	37	14	72	10,2	12,5	84,2			
MAYO	192,0	24,2	18	6,7	24	22,3	9,8	15,7	96	25	29	21	68	9,3	11,9	37,7	13,4	17
JUNIO	184,5	24,3	26	7,5	25	22,3	10,0	16,0	99	10	32	26	66	8,9	11,5	31,8	9,4	29
JULIO	249,7		8,0	4	23,2	10,5	16,2	94	15	26	26	58	7,2	10,3	53,4			
AGOSTO	231,0	25,7	12	7,0	22	23,5	10,3	16,1	95	22	24	11	59	7,2	10,3	26,8	13,7	23
SEPTIEMBRE	220,0	26,6	19	7,5	29	24,2	10,1	16,4	94	21	25	29	59	7,3	10,3	35,6	21,5	28
OCTUBRE	125,7	25,3	5		21,7	9,5	14,6		97	9	39	18	73	9,3	11,7	116,0	29,2	20
NOVIEMBRE	158,5	24,0	20	5,0	27	21,8	9,1	14,7				71	9,0	11,6	58,4	17,4	11	
DICIEMBRE	123,1		7,0	31	20,6	9,8	13,9					77	9,6	12,0	115,1			
VALOR ANUAL	2037,9			22,2	10,1	15,4						68	9,0	11,6	881,8			

MES	EVAPORACIÓN (mm)		NUBOSIDAD MEDIA (Octas)	VELOCIDAD MEDIA Y FRECUENCIAS DE VIENTO												Vel. Mayor Observada (m/s) DIR	VELOCIDAD MEDIA (Km/h)									
	Suma Mensual	Máxima en 24hrs día		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CALMA	No OBS													
ENERO	125,7	6,8	1	6	3,1	1,6	2,3	2,6	2,2	7	1,0	1	1,9	9	3,0	2	2,0	1	0,0	0	39	93	8,0	N	2,6	
FEBRERO	101,1			6																						2,8
MARZO	88,4			7																						2,3
ABRIL	91,2			6	1,8	2,1	2,3	2,4	2,5	1,2	1,5	2	1,8	7	3,0	1	0,0	0	0,0	0	32	90	6,0	NE	2,3	
MAYO	116,2	7,2	11	5	2,4	1,4	2,0	2,7	2,9	1,1	0,0	0	1,6	8	2,3	7	2,0	1	0,0	0	33	93	6,0	E	2,6	
JUNIO	104,2			5	2,0	1,6	2,5	2,9	3,2	1,3	2,0	1	3,6	1,1	7,3	3	1,0	1	0,0	0	26	90	10,0	SW	2,8	
JULIO	139,6			4																						4,1
AGOSTO	151,6	7,1	5	4	3,0	9	2,9	3,2	3,0	8	3,5	7	2,8	9	4,7	1,6	2,0	1	0,0	0	19	93	10,0	NE	3,9	
SEPTIEMBRE	145,3	7,9	16	4	2,0	6	3,1	4,4	3,8	6	3,4	6	5,0	8	6,7	1,0	1,0	1	0,0	0	20	90	8,0	SW	3,8	
OCTUBRE	105,1	6,5	20	6	1,5	1,2	2,3	2,7	1,5	9	1,0	2	2,4	5	1,5	2	1,0	1	0,0	0	42	93	6,0	S	2,3	
NOVIEMBRE	96,4			5																						2,3
DICIEMBRE	71,3			6																						2,2
VALOR ANUAL	1336,1			5																						3,0



78. DATOS METEREOLÓGICOS DEL INAMHI 2005

ANEXO N° 4.12
CARTA PSICROMETRICA CIUDAD DE QUITO⁷⁹



79. CARTAS PSICROMETRICAS, ESCUELA POLITECNICA NACIONAL,
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

ANEXO N° 4.13
MEDICION DE DATOS DE HUMEDAD RELATIVA EN LA ZONA

DATOS DE HUMEDAD RELATIVA EN LA ZONA

DATOS	HUMEDAD RELATIVA	TEMPERATURA (⁰ C)
1	46.8	20
2	48.5	22
3	47.4	21
4	47.1	22
5	46.8	21

ANEXO N° 4.14
COEFICIENTE PICO DE SUPERFICIE K^{80}

Table 5.4 Curtain Wall Classification		
Leakage Coefficient	Description	Curtain Wall Construction
<i>K=0,22</i>	Tigh Fitting Wall	Constructed under close supervision or workmanship on wall joints. When joints seals appear inadequate they must be re-done
<i>K=0,66</i>	Average Fitting Wall	Conventional construction procedures are used
<i>K=1.30</i>	Loose Fitting Wall	Poor construction control or an older building having separated wall joints

ANEXO N° 4.15
FACTOR DE DISEÑO F_d^{81}

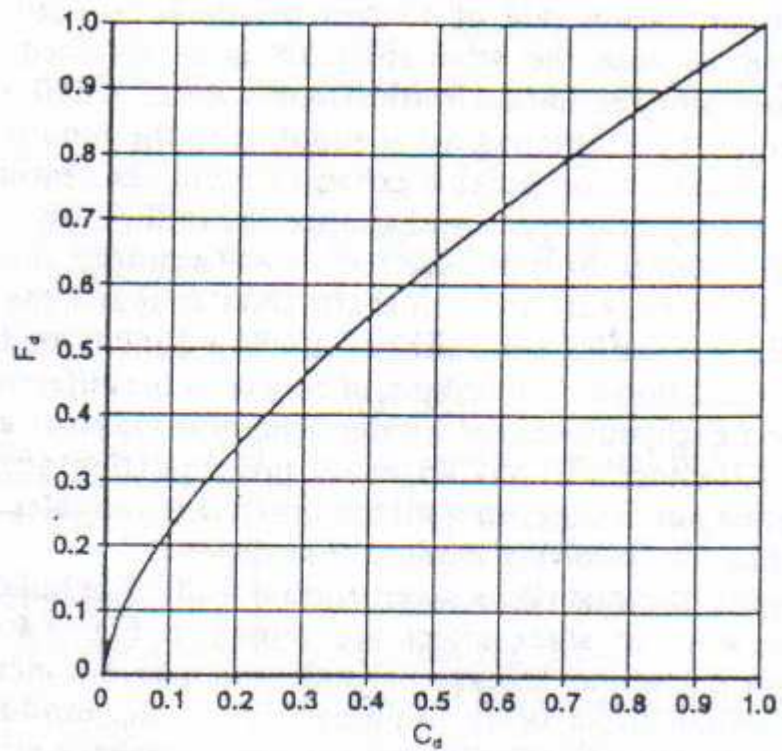
FACTOR DE DISEÑO F_d 

Fig. 5.5 Thermal Draft Factor vs Thermal Draft Coefficient

ANEXO N° 4.16
FACTOR (Q/AKFd)⁸²

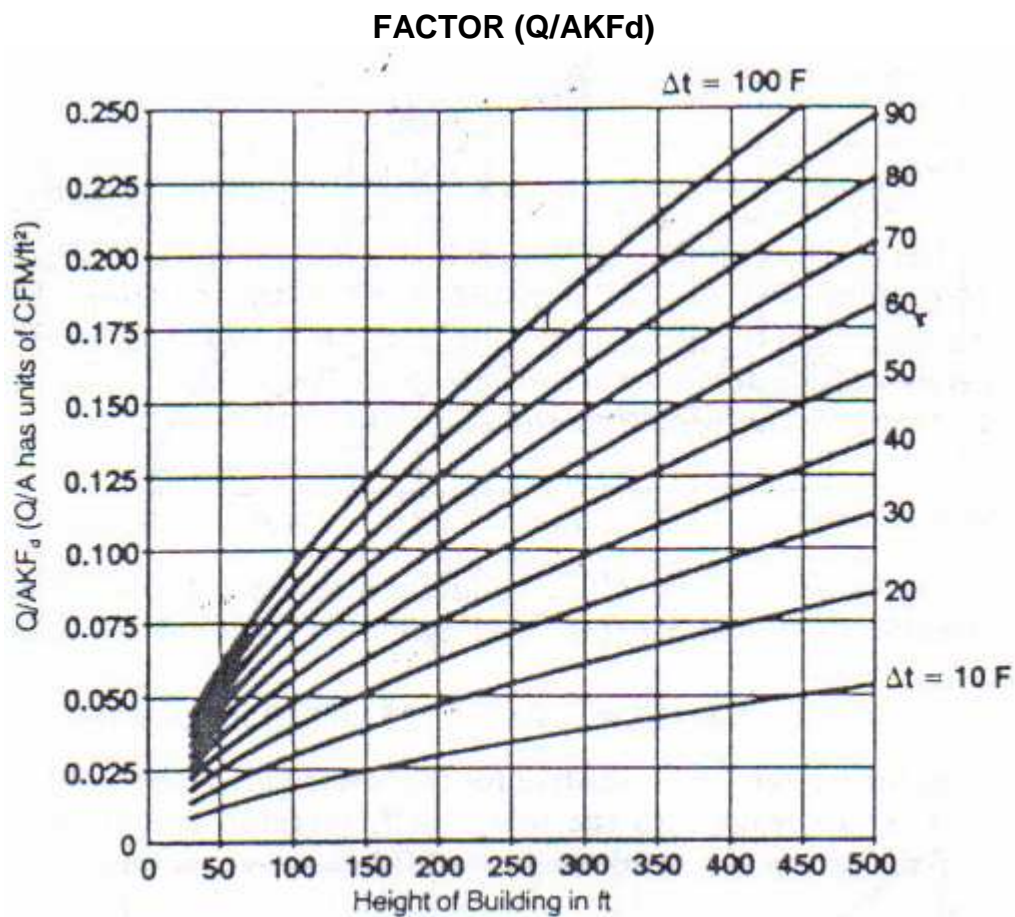
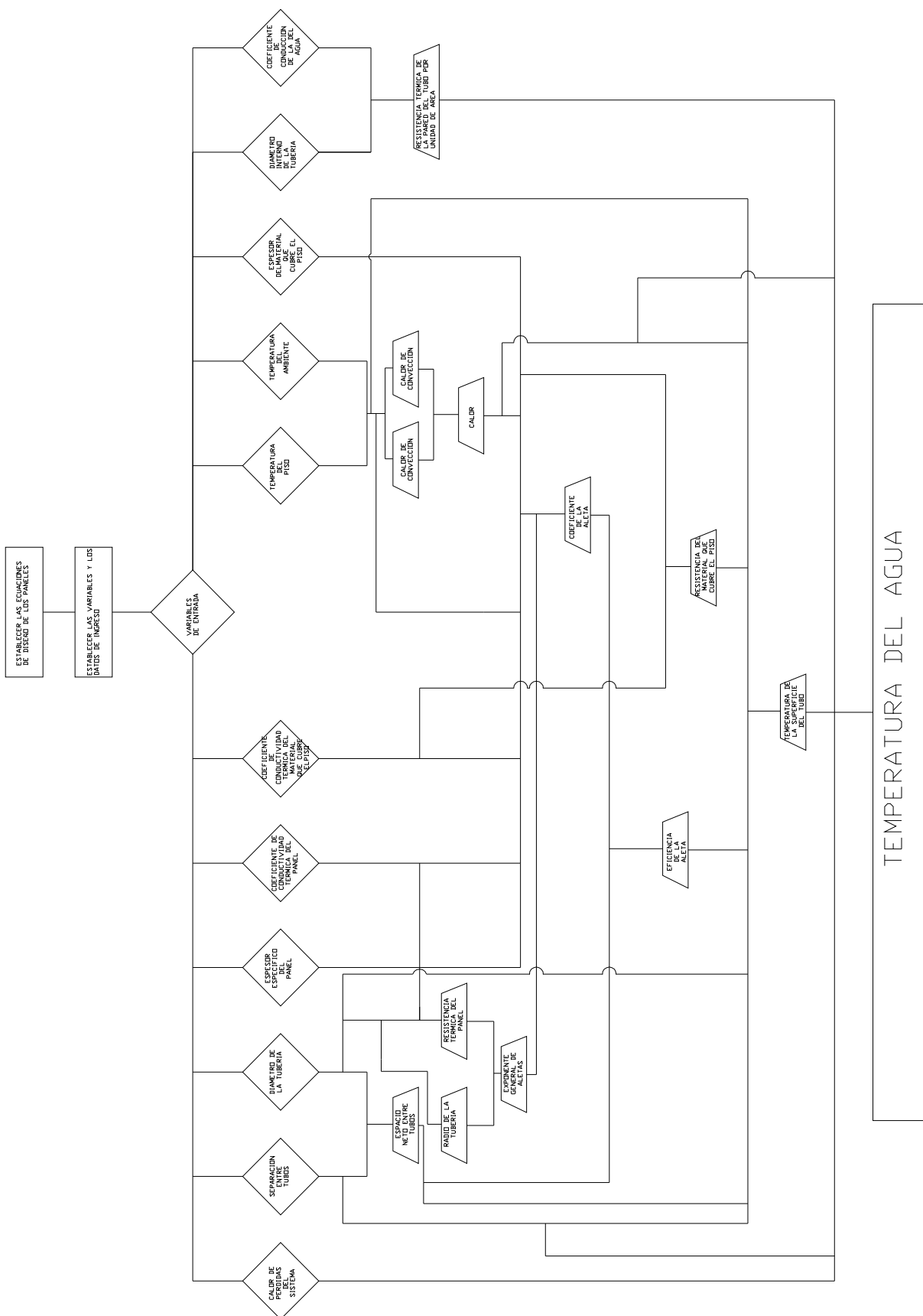


Fig. 5.6 Infiltration through Curtain Wall for Entire Building Due to Stack Effect and Zero Pressurization

ANEXO 4.17
DIAGRAMA DE FLUJO



ANEXO 4.18
PROGRAMACION EN MATLAB

DISEÑO DEL SISTEMA DE CALEFACCION

CODIGO FUENTE

```

function varargout = temperatura(varargin)
% TEMPERATURA M-file for temperatura.fig
%   TEMPERATURA, by itself, creates a new TEMPERATURA or raises the existing
%   singleton*.
%
%   H = TEMPERATURA returns the handle to a new TEMPERATURA or the handle
to
%   the existing singleton*.
%
%   TEMPERATURA('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%   function named CALLBACK in TEMPERATURA.M with the given input
arguments.
%
%   TEMPERATURA('Property','Value',...) creates a new TEMPERATURA or raises the
%   existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
%   applied to the GUI before temperatura_OpeningFunction gets called. An
%   unrecognized property name or invalid value makes property application
%   stop. All inputs are passed to temperatura_OpeningFcn via varargin.
%
%   *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
%   instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help temperatura

% Last Modified by GUIDE v2.5 16-Aug-2007 13:24:25

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
                  'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @temperatura_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn', @temperatura_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn', [] , ...
                  'gui_Callback', []);
if nargin & isstr(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end

```

```

% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before temperatura is made visible.
function temperatura_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to temperatura (see VARARGIN)

% Choose default command line output for temperatura
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes temperatura wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = temperatura_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function Tp_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to Tp (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function Tp_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

% hObject  handle to Tp (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles  structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of Tp as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of Tp as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function Ta_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject  handle to Ta (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles  empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function Ta_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject  handle to Ta (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles  structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of Ta as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of Ta as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function Kp_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject  handle to Kp (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles  empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

```

```

function Kp_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to Kp (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of Kp as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of Kp as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function Xp_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to Xp (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function Xp_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to Xp (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of Xp as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of Xp as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function Kc_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to Kc (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

```

```

function Kc_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to Kc (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of Kc as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of Kc as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function Do_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to Do (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function Do_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to Do (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of Do as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of Do as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function M_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to M (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

```

```

function M_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to M (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of M as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of M as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function Xc_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to Xc (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function Xc_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to Xc (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of Xc as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of Xc as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function qr_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to qr (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

```



```

function qr_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject   handle to qr (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of qr as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of qr as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function qc_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject   handle to qc (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function qc_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject   handle to qc (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of qc as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of qc as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function qt_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject   handle to qt (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

```

end

```
function qt_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to qt (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of qt as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of qt as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function rp_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to rp (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end
```

```
function rp_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to rp (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of rp as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of rp as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function W_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to W (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
```

```

    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

```

```

function W_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject   handle to W (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of W as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of W as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit14_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject   handle to edit14 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

```

```

function edit14_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject   handle to edit14 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit14 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit14 as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function f_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject   handle to f (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');

```

```

else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

```

```

function f_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to f (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of f as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of f as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function n_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to n (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

```

```

function n_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to n (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of n as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of n as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function td_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to td (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc

```

```

    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

```

```

function td_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject   handle to td (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of td as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of td as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function tw_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject   handle to tw (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   empty - handles not created until after all CreateFcns called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

```

```

function tw_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject   handle to tw (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of tw as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of tw as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function rt_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject   handle to rt (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   empty - handles not created until after all CreateFcns called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.

```

```

if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

```

```

function rt_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to rt (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of rt as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of rt as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit20_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit20 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

```

```

function edit20_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit20 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit20 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit20 as a double

```

```

% --- Executes on button press in calc.
function calc_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to calc (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
h=str2num(get(handles.h,'String'));
q_b=str2num(get(handles.qb,'String'));

```

```

d_i=str2num(get(handles.Di,'String'));
t_p=str2num(get(handles.Tp,'String'));
t_a=str2num(get(handles.Ta,'String'));
k_p=str2num(get(handles.Kp,'String'));
x_p=str2num(get(handles.Xp,'String'));
k_c=str2num(get(handles.Kc,'String'));
d_o=str2num(get(handles.Do,'String'));
m=str2num(get(handles.M,'String'));
x_c=str2num(get(handles.Xc,'String'));
q_r=(5e-8)*(((t_p+273)^4)-((t_a+273)^4));
set(handles.qr,'String',q_r);
q_c=(2.12)*((abs(t_p-t_a))^0.32)*(t_p-t_a);
set(handles.qc,'String',q_c);
q_t=q_c+q_r;
set(handles.qt,'String',q_t);
r_p=(x_p-d_o)/(2*k_p);
set(handles.rp,'String',r_p);
w=(m-d_o)/2;
set(handles.W,'String',w);
m_out=2+(d_o/(4*r_p));
set(handles.mout,'String',m_out);
f=(q_t/((m_out)*(t_p-t_a)*((k_p*x_p)+(k_c*x_c))))^(0.5);
set(handles.f,'String',f);
n=(tanh(f*w))/(f*w);
set(handles.n,'String',n);
t_d=t_a+(((t_p-t_a)*m)/((2*w*n)+d_o))+q_t*(r_p+(x_c/k_c));
set(handles.td,'String',t_d);
r_t=1/(h*d_i);
set(handles.rt,'String',r_t);
t_w=((q_t+q_b)*m*r_t)+t_d;
set(handles.tw,'String',t_w);
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function mout_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to mout (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function mout_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to mout (see GCBO)

```

```

% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of mout as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of mout as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function h_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to h (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

```

```

function h_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to h (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of h as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of h as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function Di_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to Di (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

```

```

function Di_Callback(hObject, eventdata, handles)

```



```

% hObject handle to Di (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of Di as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of Di as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function qb_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to qb (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function qb_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to qb (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of qb as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of qb as a double

```

ANEXO 5.1
PLANO DIMENSIONES OFICINA

ANEXO 5.2
TABLA PRUEBA-ERROR

-
- ¹ CALEFACCION Y SUMINISTRO DE AGUA CALIENTE. Colin Penn. Primera Edición. 1963. Pag. 18, 19- 21
- ² Instalaciones en los Edificios, Gay Charles Merrick. Editorial Gustavo Gill. Barcelona, 1974. Pag, 278-279
- ³ Calefacción y Climatización, Ramos Juan de Cusa, Quinta Edición, Barcelona, 1972, pag. 23
- ⁴ CALEFACCION Y SUMINISTRO DE AGUA CALIENTE. Colin Penn. Primera Edición. 1963. Pag. 111
- ⁵ Calefacción y Climatización. Ramos Juan de Cusa. Quinta Edición. Barcelona. 1972. Pag. 24
- ⁶ Calefacción y Climatización. Ramos Juan de Cusa. Quinta Edición. Barcelona. 1972. Pag. 24
- ⁷ Calefacción y Climatización. Ramos Juan de Cusa. Quinta Edición. Barcelona. 1972. Pag. 25
- ⁸ Calefacción y Climatización. Ramos Juan de Cusa. Quinta Edición. Barcelona. 1972. Pag. 25
- ⁹ Calefacción y Climatización. Ramos Juan de Cusa. Quinta Edición. Barcelona. 1972. Pag. 30
- ¹⁰ Instalaciones en los Edificios, Gay Charles Merrick. Editorial Gustavo Gill. Barcelona, 1974. Pag, 310
- ¹¹ Calefacción y Climatización. Ramos Juan de Cusa. Quinta Edición. Barcelona. 1972. Pag. 30
- ¹² Calefacción y Climatización. Ramos Juan de Cusa. Quinta Edición. Barcelona. 1972. Pag. 31
- ¹³ Calefacción y Climatización. Ramos Juan de Cusa. Quinta Edición. Barcelona. 1972. Pag. 31
- ¹⁴ Calefacción y Climatización. Ramos Juan de Cusa. Quinta Edición. Barcelona. 1972. Pag. 54
- ¹⁵ ASHRAE HANDBOOK. Browse 1996 Systems and Equipment. Pag. 29
- ¹⁶ Calefacción y Climatización. Ramos Juan de Cusa. Quinta Edición. Barcelona. 1972. Pag. 62
- ¹⁷ <http://cuena.com/productos/DOMOTICA/domotica.pdf>
- ¹⁸ ASHRAE HANDBOOK. Browse 1996 Systems and Equipment. Pag. 25
- ¹⁹ ASHRAE HANDBOOK. Browse 1996 Systems and Equipment. Pag. 24
- ²⁰ ASHRAE HANDBOOK. Browse 1996 Systems and Equipment. Pag. 26
- ²¹ ASHRAE HANDBOOK. Browse 1996 Systems and Equipment. Pag. 27
- ²² ASHRAE HANDBOOK. Browse 1996 Systems and Equipment. Pag. 27
- ²³ Calefacción y Climatización. Ramos Juan de Cusa. Quinta Edición. Barcelona. 1972. Pag. 69
- ²⁴ Calefacción y Climatización. Ramos Juan de Cusa. Quinta Edición. Barcelona. 1972. Pag. 69
- ²⁵ Heating, Ventilation and Air Conditioning Library. Brumbagh, James E. First Edition. Indianapolis. 1981. pag. 60
- ²⁶ ASHRAE HANDBOOK. Browse 1996 Systems and Equipment. Chapter 6. Pag. 2
- ²⁷ ASHRAE HANDBOOK. Browse 1996 Systems and Equipment. Chapter 6. Pag. 2
- ²⁸ ASHRAE HANDBOOK. Browse 1996 Systems and Equipment. Chapter 6, Pag. 3
- ²⁹ ASHRAE HANDBOOK. Browse 1996 Systems and Equipment. Chapter 6, Pag. 4
- ³⁰ ASHRAE HANDBOOK. Browse 1996 Systems and Equipment. Chapter 6, Pag. 4
- ³¹ ASHRAE HANDBOOK. Browse 1996 Systems and Equipment. Chapter 6, Pag. 6
- ³² ASHRAE HANDBOOK. Browse 1996 Systems and Equipment. Chapter 6, Pag. 6
- ³³ ASHRAE HANDBOOK. Browse 1996 Systems and Equipment. Chapter 6, Pag.8-9
- ³⁴ Fundamentos de Transferencia de Calor. Frank P. Incropera. Cuarta Edición. México. 1999. Pag. 14
- ³⁵ Fundamentals Handbook, Chapter 8, Thermal Comfort, pag.2
- ³⁶ Fundamentals Handbook, Chapter 8, Thermal Comfort, pag.2
- ³⁷ Fundamentals Handbook, Chapter 8, Thermal Comfort, pag. 4
- ³⁸ Fundamentals Handbook, Chapter 8, Thermal Comfort, pag. 12
- ³⁹ Fundamentals Handbook, Chapter 8, Thermal Comfort, pag. 17
- ⁴⁰ Fundamentals Handbook, Chapter 8, Thermal Comfort, pag. 31
- ⁴¹ Fundamentals Handbook, Chapter 8, Thermal Comfort, pag. 29
- ⁴² ASHRAE HANDBOOK. Browse 1996 Systems and Equipment. Chapter 6, Pag. 11
- ⁴³ Fundamentals Handbook, Chapter 6, Panel Heating and Cooling, pag. 12
- ⁴⁴ Fundamentals Handbook, Chapter 6, Panel Heating and Cooling, pag. 12
- ⁴⁵ Fundamentals Handbook, Chapter 6, Panel Heating and Cooling, pag. 13
- ⁴⁶ Fundamentals Handbook, Chapter 6, Panel Heating and Cooling, pag. 15
- ⁴⁷ Cooling and Heating Load Calculation Manual. .ASHRAE GRP 158. Pág. 3.1
- ⁴⁸ VALORES TOMADOS DEL ANEXO 4.1
- ⁴⁹ VALORES TOMADOS DEL ANEXO 4.2

-
- ⁵⁰ Cooling and Heating Load Calculation Manual. .ASHRAE GRP 158. Pág. 3.25
- ⁵¹ Cooling and Heating Load Calculation Manual. .ASHRAE GRP 158. Pág. 4.1
- ⁵² Cooling and Heating Load Calculation Manual. .ASHRAE GRP 158. Pág. 4.5
- ⁵³ Cooling and Heating Load Calculation Manual. .ASHRAE GRP 158. Pág. 5.1
- ⁵⁴ Cooling and Heating Load Calculation Manual. .ASHRAE GRP 158. Pág. 5.5
- ⁵⁵ ASHRAE, FUNDAMENTALS HANDBOOK, 1996, CHAPTER 6, Pág. 27
- ⁵⁶ ASHRAE, FUNDAMENTALS HANDBOOK, 1996, CHAPTER 6, Pág. 28
- ⁵⁷ ASHRAE, FUNDAMENTALS HANDBOOK, 1997, CHAPTER 6, Pág. 28
- ⁵⁸ ASHRAE, FUNDAMENTALS HANDBOOK, 1997, CHAPTER 6, Pág. 28
- ⁵⁹ ASHRAE, FUNDAMENTALS HANDBOOK, 1997, CHAPTER 6, Pág. 5
- ⁶⁰ ASHRAE, FUNDAMENTALS HANDBOOK, 1997, CHAPTER 6, Pág. 9
- ⁶¹ ASHRAE, FUNDAMENTALS HANDBOOK, 1997, CHAPTER 6, Pág. 8
- ⁶² ASHRAE, FUNDAMENTALS HANDBOOK, 1997, CHAPTER 24, Table 1
- ⁶³ ASHRAE, FUNDAMENTALS HANDBOOK, 1996, CHAPTER 6, pag. 8
- ⁶⁴ ASHRAE, FUNDAMENTALS HANDBOOK 1997, Thermal Comfort, Chapter 8, pag. 12
- ⁶⁵ INCROPERA, FRANK, FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR, APENDICE A-3, Tabla A3, Pag. 833
- ⁶⁶ INCROPERA, FRANK, FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR, APENDICE A, Tabla A.4, Pag. 846
- ⁶⁷ INCROPERA, FRANK, FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR, APENDICE A, Tabla A.4, Pag. 839
- ⁶⁸ TABLA 3.1, COOLING AN HEATING CALCULATION MANUAL,
- ⁶⁹ TABLA 3.2, COOLING AND HEATING CALCULATION MANUAL
- ⁷⁰ TABLA 3.14A, COOLING AND HEATING CALCULATION MANUAL
- ⁷¹ TABLA 3.20, COOLING AND HEATING CALCULATION MANUAL
- ⁷² TABLA 4.5, COOLING AND HEATING CALCULATION MANUAL
- ⁷³ TABLA 4.1, COOLING AND HEATING CALCULATION MANUAL
- ⁷⁴ TABLA 4.2, COOLING AND HEATING CALCULATION MANUAL
- ⁷⁵ TABLA 4.3 "b", COOLING AND HEATING CALCULATION MANUAL
- ⁷⁶ TABLA 4.4B, COOLING AND HEATING CALCULATION MANUAL
- ⁷⁷ TABLA 5.3B, COOLING AND HEATING CALCULATION MANUAL
- ⁷⁸ DATOS METEREOLÓGICOS DEL INAMHI 2005
- ⁷⁹ CARTAS PSICROMÉTRICAS, ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
- ⁸⁰ TABLA 5.4, COOLING AND HEATING CALCULATION MANUAL
- ⁸¹ FIGURA 5.5, COOLING AND HEATING CALCULATION MANUAL
- ⁸² FIGURA 5.6, COOLING AND HEATING CALCULATION MANUAL