

**DETERMINACION DE LAS CARGAS TERMICAS PARA GARANTIZAR EL  
CONFORT EN LOS LOCALES DEL PISO 1 DEL EDIFICIO DE AULAS 2 EN LA  
UTB**

**HERMES JAVIER RAMIREZ LEON**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y MECATRÓNICA  
CARTAGENA DE INDIAS  
2007**

**DETERMINACION DE LAS CARGAS TERMICAS PARA GARANTIZAR EL  
CONFORT EN LOS LOCALES DEL PISO 1 DEL EDIFICIO DE AULAS 2 EN LA  
UTB**

**HERMES JAVIER RAMIREZ LEON**

**Trabajo de grado presentado para optar el título de Ingeniero Mecánico**

**Director**

**PhD. BIENVENIDO SARRÍA LOPEZ**

**Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y MECATRÓNICA  
CARTAGENA DE INDIAS**

**2007**

Cartagena de Indias D.T. y C. 14 de Noviembre de 2007

Señores  
COMITÉ CURRICULAR  
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
Facultad de Ingenierías  
Cartagena

Estimados Señores

Luego de revisar el trabajo de grado "**Determinación De La Carga Térmica Para Garantizar El Confort En Los Locales Del Piso 1 Del Edificio De Aulas 2 En La UTB**" del estudiante Hermes Javier Ramírez León; considero que cumple con los objetivos propuestos, por lo que estoy de acuerdo en presentarlo formalmente para su calificación y así optar por el título de Ingeniero Mecánico

Cordialmente,

---

BIENVENIDO SARRÍA LOPEZ  
Director del proyecto

Cartagena de Indias D.T. y C. 12 de Diciembre de 2007

Señores  
COMITÉ CURRICULAR  
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
Facultad de Ingenierías  
Cartagena

Estimados Señores

La presente tiene como objeto presentar a ustedes, para que sea puesto en consideración, el estudio y aprobación del trabajo de grado titulado **“Determinación De La Carga Térmica Para Garantizar El Confort En Los Locales Del Piso 1 Del Edificio De Aulas 2 En La UTB** la cual fue realizada cumpliendo con las pautas establecidas y los derechos de la información suministrada por la universidad, y así optar por el título de Ingeniero Mecánico

Cordialmente

---

HERMES JAVIER RAMIREZ LEON  
C.C. 73.008.646 de Cartagena

Cartagena de Indias D.T. y C. 12 de Diciembre de 2007

## **AUTORIZACION**

Yo, Hermes Javier Ramírez León identificado con la cedula de ciudadanía número 73.008.646 de Cartagena, autorizo a la UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR, para hacer uso de nuestro trabajo de grado y publicarlo en el catalogo on-line de su biblioteca

Cordialmente,

---

Hermes Javier Ramírez León  
73.008.646 de Cartagena

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

**Firma de presidente del jurado**

---

**Firma del Jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Cartagena de Indias D.T. y C., Noviembre de 2008**

*Todo lo realizado en este trabajo se lo debo principalmente a Dios, que me doto de mucha paciencia, razonamiento, Fe, fuerza y confianza, y además, me acompañó en esos momentos donde estuve solo y desesperado. A mis Padres, Anny y Hermes estos seres maravillosos que me dieron la vida y me apoyan en todo lo que hago y, en estos años de estudios la gran comprensión que tuvieron conmigo; especialmente en esta última etapa, en la realización de este trabajo. A mis hermanos Meyly, Duvis y Deimer y otros familiares que me apoyaron muchísimo, mis amigos del grupo de Oración Alianza Universitaria, los cuales me apoyaron con sus oraciones y voces de alientos. A los compañeros de Universidad que me ayudaron mucho durante este trayecto de mi vida. A estos grandes profesores que me formaron especialmente al PHD Bienvenido Sarria López y al Ing. Félix Julio Rada los cuales considero unos verdaderos maestros para mí. A Karol Jose y Carlos por la amistad que me brindaron. Y por último, pero no menos importantes a mis compadres (Ennuar, Arley, Juan, Fabián...) y amigas (Arlen, Enalvis, Ingrid, Sindi, Ana...) que estuvieron conmigo y me ayudaron a no volverme loco. A cada uno de ustedes le agradezco todo, porque he aprendido, crecido y madurado gracias a ustedes y he podido convertirme en la persona que soy ahora.*

**HERMES JAVIER**

## **AGRADECIMIENTOS**

- A Dios por permitir que pudiera terminar este trabajo
- A mi familia que me apoyo incondicionalmente en mis decisiones
- Al grupo de Oración Alianza Universitaria que me ayudo en mi vida espiritual
- Al PhD. Bienvenido Sarria López por brindarme su voto de confianza, su asesoría y su amistad
- A todos los profesores de la UTB que me formaron para realizar este proyecto
- A los Ing. Karol León y José Alarcón que me ayudaron en el desarrollo de este proyecto
- Al Ing. Carlos Rodríguez por su colaboración y su gran ayuda en la aclaración de dudas.
- Y a cada uno de aquellas personas que intervinieron para la realización de este trabajo, compañeros de la Universidad, trabajadores ubicados en el piso 1 del edificio de Aulas 2 y en la dirección de programa de Ingeniería Mecánica.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>20</b>
<b>1 MARCO TEORICO.....</b>	<b>21</b>
<b>1.1 Acondicionamiento De Aire .....</b>	<b>21</b>
<b>1.2 Sistemas HVAC .....</b>	<b>21</b>
<b>1.3 Calculo De La Carga Térmica .....</b>	<b>23</b>
1.3.1 Método Del CLTD/SCL/CLF .....	24
<b>1.4 Psicrometría .....</b>	<b>26</b>
1.4.1 Mezclas de aire.....	28
<b>2 METODOLOGÍA DE CÁLCULO.....</b>	<b>31</b>
<b>2.1 Calculo De La Carga Térmica .....</b>	<b>31</b>
2.1.1 Condiciones de diseño .....	31
2.1.2 Mediciones de las secciones .....	35
2.1.3 Identificación de los materiales de construcción .....	35
2.1.4 Calculo del coeficiente global de transferencia de calor "U" .....	36
2.1.4.1 Circuitos térmicos en serie.....	37
2.1.4.2 Circuitos térmicos en paralelo.....	37
2.1.4.3 Ventanas con marcos de aluminio sin interrupción térmica: .....	43
2.1.4.4 Puertas:.....	44
2.1.4.5 Pared:.....	45
2.1.4.6 Particiones: .....	46
2.1.4.7 Columna:.....	47
2.1.4.8 Piso: .....	48
2.1.5 Calculo de la carga térmica .....	50
2.1.5.1 Calculo de las cargas sensibles.....	50
2.1.5.1.1 Calculo de la carga térmica a través de paredes y techos.....	50
2.1.5.1.2 Calculo de la carga térmica a través de ventanas.....	52
2.1.5.1.3 Calculo de las cargas térmicas misceláneas (equipos, luces, personas) .....	53
2.1.5.1.4 Cálculos de las cargas térmicas a través de infiltraciones .....	55
2.1.5.1.5 Factor de Corrección por carga sensible .....	55
2.1.5.2 Calculo de las cargas latentes .....	56
2.1.5.2.1 Calculo de las cargas térmicas misceláneas (equipos, personas).....	57
2.1.5.3 Calculo de la carga total en toneladas de refrigeración.....	58
<b>2.2 Comparación De Las Cargas Térmicas Instaladas vs. Calculadas .....</b>	<b>58</b>
2.2.1 Proceso de selección de equipo en la carta psicrometrica .....	59
2.2.2 Proceso de selección con Mezcla de aire .....	62
<b>3 CALCULOS.....</b>	<b>64</b>
<b>3.1 Condiciones De Diseño .....</b>	<b>64</b>

<b>3.2</b>	<b>Mediciones.....</b>	<b>65</b>
3.2.1	Mediciones generales:.....	65
3.2.1.1	Orientación.....	65
3.2.1.2	Pared norte.....	66
3.2.1.3	Pared sur.....	67
3.2.1.4	Pared este.....	68
3.2.1.5	Pared oeste.....	70
3.2.1.6	Piso.....	71
<b>3.3</b>	<b>Calculo De La Carga Térmica .....</b>	<b>72</b>
3.3.1	Cargas sensibles .....	72
3.3.1.1	Paredes.....	72
3.3.1.2	Techo y piso.....	76
3.3.1.3	Ventanas.....	76
3.3.1.4	Puerta.....	79
3.3.1.5	Luces.....	80
3.3.1.6	Personas.....	80
3.3.1.7	Equipos.....	81
3.3.1.8	Infiltraciones.....	81
3.3.1.9	Corrección calor sensible.....	82
3.3.1.10	Cargas sensibles en el LAB. Física mecánica.....	83
3.3.2	Cargas latentes.....	87
3.3.2.1	Personas.....	87
3.3.2.2	Infiltraciones.....	87
3.3.2.3	Cargas latentes en el lab. Física mecánica.....	88
3.3.3	Calculo de la carga en el laboratorio de física mecánica.....	88
<b>3.4</b>	<b>Calculo De Carga Térmica En Los Locales Del Piso 1.....</b>	<b>90</b>
<b>3.5</b>	<b>Comparación Carga Instalada Vs. Carga Calculada – Lab. Fis. Mecánica .....</b>	<b>91</b>
<b>3.6</b>	<b>Comparación Carga Instalada Vs. Carga Calculada – Locales.....</b>	<b>95</b>
<b>4</b>	<b>ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>96</b>
4.1	Análisis De Locales Del Piso 1 Edificio De Aulas 2 De La UTB.....	96
4.2	Análisis De Locales De Informática De La UTB.....	99
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>102</b>
<b>6</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>106</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>109</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>110</b>

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1 Carta Psicrométrica.....	27
Fig. 2 Líneas de Proceso en la Carta Psicrométrica.....	28
Fig. 3 Proceso de Mezcla de Aire (equipo).....	29
Fig. 4 Proceso Mezcla de Aire (Carta psicrométrica).....	29
Fig. 5 Rango óptimo para salud y el confort humano.....	33
Fig. 6 Diagrama de un circuito térmico en serie.....	37
Fig. 7 Diagrama de circuito térmico en paralelo .....	38
Fig. 8 Diagrama de las regiones de una ventana (también en puertas).....	39
Fig. 9 Diagrama de las medidas de una ventana (también en puertas).....	40
Fig. 10 Carta psicrométrica TRANE .....	59
Fig. 11 Ubicación de las condiciones en la carta psicrométrica .....	59
Fig. 12 Trazado del factor de calor sensible en la carta psicrométrica .....	60
Fig. 13 Ubicación del punto de suministro en la carta psicrométrica .....	61
Fig. 14 Diagrama del Laboratorio de Física Mecánica .....	65
Fig. 15 Diagrama de la Pared Norte del Laboratorio de Física Mecánica .....	66
Fig. 16 Diagrama de la Pared Sur del Laboratorio de Física Mecánica.....	67
Fig. 17 Diagrama de la Pared Este del Laboratorio de Física Mecánica .....	69
Fig. 18 Diagrama de la Pared Oeste del Laboratorio de Física Mecánica.....	70
Fig. 19 Diagrama del Piso del Laboratorio de Física Mecánica .....	71
Fig. 20 Diagrama Psicrométrico proceso en el Laboratorio de Física Mecánica.....	94

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Procesos en la carta psicrometrica (+) Aumenta; (-) Disminuye; (=) Constante .....	28
Tabla 2 Condiciones de Diseño para una Sala de Cómputo típica .....	34
Tabla 3 Coeficiente Global de Transferencia de Calor para las secciones .....	49
Tabla 4 Propiedades de las condiciones psicrométrica .....	61
Tabla 5 Propiedades de las condiciones psicrométrica .....	63
Tabla 6 Orientación y medidas del local .....	65
Tabla 7 Información de la pared Norte.....	66
Tabla 8 Información pared Sur .....	68
Tabla 9 Información Pared Este.....	69
Tabla 10 Información pared Oeste .....	71
Tabla 11 Información Piso .....	71
Tabla 12 <i>CLTD</i> Corregido para paredes expuestas al sol .....	72
Tabla 13 Cálculos pared Norte.....	73
Tabla 14 Cálculos pared Este .....	73
Tabla 15 Cálculos columnas y cálculos finales pared Norte .....	74
Tabla 16 Columnas y cálculos finales pared Este .....	74
Tabla 17 Carga Pared Sur .....	75
Tabla 18 Carga Pared Oeste .....	75
Tabla 19 Carga Piso .....	76

<b>Tabla 20 Carga ventanas norte (conducción).....</b>	<b>76</b>
<b>Tabla 21 Carga ventanas norte (radiación).....</b>	<b>77</b>
<b>Tabla 22 Carga ventanas Este (conducción).....</b>	<b>77</b>
<b>Tabla 23 Carga ventanas Este (radiación).....</b>	<b>78</b>
<b>Tabla 24 Carga ventanas Sur.....</b>	<b>78</b>
<b>Tabla 25 Carga ventanas Oeste.....</b>	<b>79</b>
<b>Tabla 26 Carga puerta.....</b>	<b>80</b>
<b>Tabla 27 Carga Luces.....</b>	<b>80</b>
<b>Tabla 28 Carga Personas (calor sensible).....</b>	<b>81</b>
<b>Tabla 29 Equipos del laboratorio.....</b>	<b>81</b>
<b>Tabla 30 Cargas infiltraciones (calor sensible).....</b>	<b>81</b>
<b>Tabla 31 Corrección calor sensible.....</b>	<b>82</b>
<b>Tabla 32 Corrección por calor sensible en cargas misceláneas.....</b>	<b>83</b>
<b>Tabla 33 Corrección por calor sensible en paredes y piso.....</b>	<b>84</b>
<b>Tabla 34 Corrección por calor sensible en ventanas y puertas.....</b>	<b>85</b>
<b>Tabla 35 Total Cargas Sensibles.....</b>	<b>86</b>
<b>Tabla 36 Cargas Personas (Calor Latente).....</b>	<b>87</b>
<b>Tabla 37 Cargas Infiltraciones (Calor Latente).....</b>	<b>87</b>
<b>Tabla 38 Total Cargas Latentes.....</b>	<b>88</b>
<b>Tabla 39 Carga Térmica Total en el Lab. Fis. Mec.....</b>	<b>88</b>
<b>Tabla 40 Carga térmica por local y por hora en el piso 1 del edificios de aulas A2.....</b>	<b>90</b>
<b>Tabla 41 Propiedades de las condiciones psicrométrica Lab. Fis. Mec.....</b>	<b>92</b>
<b>Tabla 42 Comparación calculado vs instalado Lab. Fis. Mec.....</b>	<b>92</b>
<b>Tabla 43 Comparación calculado vs instalado piso 1 edificio A2.....</b>	<b>95</b>
<b>Tabla 44 Análisis por carga en los locales del piso 1 edificio A2.....</b>	<b>96</b>

<b>Tabla 45 Porcentaje de las cargas en los locales del piso 1 edificio A2.....</b>	<b>97</b>
<b>Tabla 46 Análisis de las cargas Externas en los locales del piso 1 edificio A2 .....</b>	<b>98</b>
<b>Tabla 47 Análisis de las cargas Internas en los locales del piso 1 edificio A2.....</b>	<b>98</b>
<b>Tabla 48 Análisis de las cargas en las salas de informática de la UTB campus de Ternera.....</b>	<b>99</b>
<b>Tabla 49 Análisis de las cargas internas en las salas de informática de la UTB campus de Ternera.....</b>	<b>100</b>
<b>Tabla 50 Análisis de las Cargas Externas en las salas de Informática de la UTB Campus Ternera .....</b>	<b>101</b>

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo A Diagrama Del Primer Piso Del Salón De Aulas 2 (Área De Estudio) .....	110
Anexo B Tablas Utilizadas Para El Cálculo De Carga Térmica Y Para La Psicrometría .....	111
Anexo C Graficas De Resultados En El Cálculo De La Carga Térmica.....	121
Anexo D Fotografías.....	126
Anexo E Ver CD Incluido Con Los Respective Cálculos Realizados En El Programa De Excel .....	130

## **RESUMEN**

### **Título del trabajo**

Determinación De La Carga Térmica Para Garantizar El Confort En Los Locales Del Piso 1 Del Edificio De Aulas 2 En La UTB

### **Autor**

Hermes Javier Ramírez León

### **Objetivo General**

Calcular y comparar las cargas térmicas de los locales ubicados en el primer piso del edificio de aulas 2.

### **Objetivos Específicos**

- Analizar los resultados de las cargas térmicas calculadas en los locales
- Identificar cualquier oportunidad de ahorro energético a través del sistema de refrigeración de los locales del primer piso del edificio de Aulas 2 en la UTB

### **Metodología**

La presente tesis de grado es una investigación dirigida al uso racional de energía, en el cual se desarrolló el cálculo de la carga térmica de diferentes locales, la carga térmica se refiere a los cálculos respectivos para determinar el calor que se genera en un espacio, ya sea de un local, una aula de estudio o una oficina; el calor se genera a través de las diferencia de temperatura en paredes, techos y/o pisos, por las luces, los equipos eléctricos o de gas utilizados en el espacio, por las personas que ocupan el espacio, específicamente por las actividades que realizan en el lugar y por la infiltración y/o ventilación que ocurre cuando se abre y cierra una puerta o si existe algún sistema de mezcla de aire. El cálculo se hace con el fin de conocer el calor acumulado en el local y poder compararse con los equipos que están instalados actualmente para identificar equipos sobredimensionados y/o elementos del local que aportan grandes cantidades de calor.

Los cálculos fueron aplicados a 10 locales ubicados en el primer piso del edificio de aulas 2, de los cuales, 8 ya tienen equipos instalados. Los cálculos fueron desarrollados a través del método de cálculo CLTD/CLF, el cual es una metodología desarrollada por ASHRAE (siglas en inglés de sociedad americana de ingenieros para la calefacción, refrigeración y aire acondicionado) aplicada desde hace más de 30 años y el método más aplicado en todo el mundo para el cálculo de carga térmica para residencias, edificios y locales comerciales.

### **Resultados**

1. La capacidad instalada en cada local difiere a la capacidad calculada, se presentan algunas sobredimensiones en los locales Laboratorio de Física Mecánica, Oficinas (1), Laboratorio de Telecomunicaciones y Laboratorio de Control Automático.
2. La capacidad instalada no cumple con la demandada en los locales: Laboratorio de Física Eléctrica, Sala de Cómputo y Laboratorio de Electrónica Análoga.
3. Los locales Oficina Hemiciclo y SAI son locales que no están equipados por lo tanto no existe un marco de comparación. El local COMPUCOLOR si tiene pero se considero como si no tuviera equipo.
4. El total de la carga térmica calculada en el piso 1 del edificio de Aulas 2 es de **34 Toneladas de Refrigeración** comparado con las **27 Ton de Refrigeración** Instalada actualmente.
5. Los locales que más aportan carga térmica son: Laboratorio Electrónica Análoga (17%), Sala de Cómputo y Laboratorio de Física Eléctrica (16%).
  - a. El laboratorio de Electrónica Análoga genera mucha carga debido a la constante entrada y salida de los ocupantes del laboratorio, causando mas cargas por infiltración.
  - b. La Sala de Cómputo debido a su contacto directo con el sol de dos de sus 4 paredes causando un aumento de la carga externa por paredes y por ventanas tanto por conducción como por radiación.

- c. El laboratorio de Física eléctrica debido a los grandes equipos que están en el local, causando una gran aumento de la carga
6. Las cargas térmicas en el piso 1 del Edificio de Aulas 2 son aportadas por: Cargas externas (41%), cargas por infiltración (28%) y Cargas Internas (31%)
  - a. En el Laboratorio de Física Mecánica, la Sala de Computo, el Laboratorio de Telecomunicaciones, el Laboratorio de Control Automático y COMPUCOLOR la mayor parte de energía térmica lo aporta las cargas externas (más del 45% de la energía total).
  - b. En el Laboratorio de Electrónica Análoga, la Oficina (1), la Oficina Hemiciclo y SAI la mayor parte de energía térmica lo aporta las cargas por infiltraciones (35%, 52%, 63% y 48% respectivamente).
7. En las cargas externas, se identifico que la carga térmica a través de ventanas, son las que más transmite calor en todos los locales. (80% de toda la carga externa en todo el piso 1)
8. De las diferentes cargas internas, se identifico que la carga térmica por personas son las que más genera calor en todos los locales. (46% de toda la carga interna en todo el piso 1)
9. Los locales de informática del Campus de Ternera generan en promedio de 4 a 5 TR a excepción de Laboratorio de Control Automático y los locales A1 406 y A1 407 debido a la poca cantidad de equipos y de actividad en el primero y a la gran cantidad de potencia de equipos en estos dos últimos
10. Las cargas térmicas en el los locales de informática en promedio son aportadas por: Cargas externas (34,4%), cargas por infiltración (19,6%) y Cargas Internas (45,9%)
  - a. En los locales Sala de Cómputo y Laboratorio de Control Automático la mayor parte de energía térmica lo aporta las cargas externas (más del 45% de la energía total).
  - b. En el resto de locales la mayor parte de energía térmica lo aporta las cargas internas (más del 40% de la energía total).

11. De las diferentes cargas internas, se identifico que la carga térmica por personas son las que más genera calor en todos los locales. (mas del 50% de toda la carga interna en todos los locales de informática)
12. De las diferentes cargas externas, se identifico la carga térmica a través de paredes, como las que más transmite calor en los locales del piso 4 en el edificio de aulas 1. (más del 50% de toda la carga externa) y en el resto, las cargas a través de ventanas (más del 60%)

Estas son las recomendaciones:

1. A los locales de mayor afluencia por los estudiantes (Laboratorio de Electrónica Análoga y Laboratorio de Telecomunicaciones) colocarles un brazo mecánico (gato) en la puerta, para evitar al máximo las perdidas por abrir y cerrar la puerta.
2. En el local Laboratorio de Telecomunicaciones colocar una ventana de vidrio en la parte inferior de la puerta.
3. Al momento del cálculo, tomar condiciones de diseño externas promedio en lugar de tomar las condiciones máximas para reducir los costos operación y de energía.
4. Realizar estudios para determinar ahorro a través de las ventanas, ya sea algo simple como cuanto se ahorra con películas para disminuir la radiación o algo mas complejo como reemplazar las ventanas instaladas por unas ahorradoras de energía (reflectivas y/o de absorción)
5. Realizar un estudio de viabilidad para reemplazar los equipos instalados, con el sistema de refrigeración por absorción de chiller de la UTB, el cual actualmente funciona con una capacidad de 75% de la carga que el puede generar según los diseñadores del sistema.

### **Asesor**

PH.D Bienvenido Sarria López

## INTRODUCCION

La Universidad Tecnológica de Bolívar, en búsqueda de un uso eficiente de la energía, ha puesto en marcha el programa de Uso Racional de la Energía, con el fin de implementar métodos de ahorro de energía en los campus de la universidad (Ternera y Manga) para la reducción de costo de electricidad y agua. La ejecución del programa de URE constituyo de una series de estudios, entre estos, se planteó calcular las cargas térmicas generadas en cada local, aula y oficina de los campus de la UTB, con el objetivo de comparar los resultados obtenidos con la capacidad del equipo instalado y determinar, si los equipos cumplen con la demanda de confort, o si el equipo presenta sobredimensionamiento. Como método de ahorro de energía; en los resultados se identifican los elementos que aportan las grandes cantidades de calor, y así sugerir métodos para disminuir la carga térmica.

Los cálculos de la carga térmica pueden ser realizados a través de software de cálculos y/o metodología presentado y avalado por especialistas de esta área; para los cálculos se consideran diferentes elementos que aportan o transmiten calor al local; además, se debe considerar los criterios de confort. La demanda de confort, se refiere a la sensación de una(s) persona(s) a estar en un ambiente propicio para ejercer su actividad, ya sea trabajando en un computador, bailar, comer, cocinar, dormir, etc.; por lo tanto, en los cálculos a realizar se debe considerar no solo lo que se genera por temperatura y equipos, sino la actividad que se esté realizando y el movimiento de personas.

Este trabajo de grado comprenderá los cálculos de carga térmicas en 10 locales del campus de Ternera, ubicados en el piso 1 del edificio de aulas 2, a los cuales se compararán lo instalado con lo calculado para conocer la condición del local de estudio (sobredimensión del equipo, poca capacidad del equipo comparado con el local o si cumple con la demanda). Para profundizar en este estudio, se analizará las cargas térmicas para conocer elementos que más aportan calor en los locales a fin de presentar métodos para reducir la cargar térmica y en consecuencia ahorrar energía en estos locales.

# 1 MARCO TEORICO

## 1.1 Acondicionamiento De Aire

Desde que los humanos vivían en cuevas ha buscado siempre la necesidad de mantenerse cómodo en el ambiente que lo rodea incluyendo en su temperatura corporal, a través del tiempo, varias culturas han ideado diferentes formas de para mantenerse calentados, pero no fue sino hasta el siglo XIX cuando el hombre se interesó en la investigación de producir el enfriamiento y/o la refrigeración. Al referirse el término “acondicionamiento de aire” generalmente se suele usar para describir al enfriamiento del aire, sin embargo, su verdadero termino, es *acondicionar* el aire hasta un nivel deseado de calentamiento, enfriamiento, humidificación, deshumidificación, limpieza y desodorización. La finalidad del sistema de acondicionamiento del aire de un edificio es proporcionar una *comodidad térmica completa* para sus ocupantes. La comodidad del cuerpo humano depende principalmente de tres factores ambientales: La **temperatura**, la **humedad relativa** y el **movimiento del aire**.<sup>1</sup> La temperatura, se puede controlar ya sea calentando o enfriando el aire, la humedad del aire se puede controlar añadiendo o reduciendo el contenido del vapor de agua (humidificación o deshumidificación) y el movimiento del aire se puede controlar mediante un adecuado sistema de distribución de aire. Todo esto se puede realizar gracias a los equipos diseñados para realizar estos controles.

## 1.2 Sistemas HVAC

Un sistema HVAC (siglas en ingles Heat, Ventilation and Air Conditionated), son equipos diseñados para mantener las condiciones ambientales deseadas en un espacio. Están disponibles en muchas opciones para que el ingeniero de diseño pueda satisfacer esta finalidad básica. En la selección y la combinación de estas opciones, el ingeniero de diseño

---

<sup>1</sup> Y.A. Çengel, *Transferencia de Calor*, 2 ED Cáp. 1 Pág. 40

debe considerar algunos criterios para así llevar a cabo los requisitos de operación relacionados con el objetivo. Los sistemas HVAC son clasificados por el método usado para controlar calefacción, la ventilación, y aire acondicionado en el área condicionado.

El ingeniero de diseño debe considerar varios sistemas y recomendar uno o dos diseños que alcanzarán el objetivo y funcionarán según las recomendaciones. Esto no debe ser realizado solamente por el ingeniero de diseño; es necesario que el ingeniero de diseño y el propietario se reúnan para opinar, identificar y priorizar los criterios asociados con el diseño. Los criterios a considerar son:

- Confort del ocupante
- Proceso de calentamiento/enfriamiento
- Criterios de ventilación.
- Temperatura
- Humedad
- Movimiento del Aire
- Pureza o calidad del aire
- Cambios del aire por horas
- Velocidad requerida para el agua y/o aire
- Clima local
- Temperatura media radiante
- Requerimiento de presión del espacio
- Requerimiento de la capacidad, de un análisis de carga térmica
- Redundancia
- Requerimiento del espacio
- Costos Iniciales
- Costos de Operación incluyendo costos de energía y potencia
- Costos de Mantenimiento
- Confiabilidad
- Flexibilidad
- Análisis del ciclo de vida
- Sostenibilidad del diseño
- Vibración y Acústica
- Prevención de hongos y moho

Debido que estos factores están relacionados, el dueño y el ingeniero de diseño deben considerar cómo inciden estos criterios uno al otro. Por ejemplo, la mayoría de los propietarios se preocupan más por el costo inicial que por el costo de operación, el tiempo y la frecuencia para realizar el

mantenimiento; mientras que el ingeniero de mantenimiento prefieran más equipos basándose en la frecuencia esperada de falla del sistema, el efecto de una falla, y el tiempo requerido para corregir la falla.<sup>2</sup>

Habiendo determinado los criterios de diseño, el ingeniero de diseño debe conocer cuanto calor se debe estar generando en el local, para esto, se procede a determinar la carga térmica con ayuda de software de calculo, de métodos empíricos o como se hará en este estudio, por método de cálculo de la carga térmica

### **1.3 Cálculo De La Carga Térmica**

Existen diferentes entidades que han desarrollado diferentes metodologías para el cálculo de carga térmica, debido a la gran cantidad de variables que existe para el desarrollo del cálculo, cada método de cálculo de carga térmica, tienen sus beneficios y limitaciones sin embargo todo se puede agrupar en dos grandes términos, simplicidad y exactitud. La simplicidad y la exactitud del método son dos objetivos que se contraponen. Si se pudiese considerar que un método es simple, su exactitud sería cuestión de interrogante, y viceversa. Sin embargo existe una correlación entre estos métodos estándar para el cálculo de carga térmica; se basan en el cálculo de cada hora de la carga térmica.

Estos métodos fueron diseñados por **ASHRAE**, **CIBSE** y **VDI**, instituciones especializadas en refrigeración de Norteamérica, Inglaterra y Alemania respectivamente, los cuales han desarrollado los siguientes métodos:

1. El Método de Balance de Calor (ASHRAE 2001)
2. La Serie de Tiempo Radiante (ASHRAE 2001)
3. El método CLTD/SCL/CLF (ASHRAE 1997)
4. El Método de Admitancia (CIBSE 1986)
5. Los métodos VDI (VDI 1996)

---

<sup>2</sup> Manual ASHRAE, *Sistemas HVAC y Aplicaciones 2004*, Cáp. 1 Pág. 1

Los dos primeros métodos, los mas recientes presentados por ASHRAE, son metodologías mas exactas, debido al calculo de las mayorías de las variables, sin embargo, debido a lo anterior también es su desventaja, ya que, se necesitaría la ayuda de una computadora (software especial) para realizar los cálculos, además que la precisión del método hace que se deba tomar muchas variables ya sea de temperatura (Balance de Calor) o de tiempo (Tiempo Radiante). Los métodos presentados por CIBSE y VDI, son metodologías simples de fácil realización, sin embargo, no son aplicables a esta región del planeta debido que fueron diseñados específicamente para las regiones de estas instituciones (Inglaterra y Alemania respectivamente), en el caso del método de admitancia (CIBSE), se presenta sobredimensión y además, se obviaron algunos puntos de importancias para la metodología ASHRAE la cual esta basada esta metodología.

Estas metodologías sin embargo, son validas y reconocidas para su utilización en cualquier tipo de situación, pero, para la realización de este estudio se aplicara unos de los primeros métodos para el calculo de carga térmica, el método **CLTD/SCL/CLF**.

### **1.3.1 Método Del CLTD/SCL/CLF**

En 1975 ASHRAE desarrolló un método denominado calculo de carga por temperatura diferencial/factores de carga de enfriamiento CLTD/CLF que se derivó del TFM (Método de Función de Transferencia), el cual fue introducido en 1967. El método del CLTD/CLF depende de datos tabulados para simplificar su operación para el uso manual. Este método fue sometido a varias revisiones para acomodar los problemas que aumentaron en aproximaciones y limitaciones para cubrir más datos tabulados precisos. Debido a esto, ASHRAE publicó el calculo de carga por temperatura diferencial/carga solar de enfriamiento/factores de carga de enfriamiento (CLTD/SCL/CLF) (ASHRAE 1993, 1997), el cual es un método revisado del CLTD/CLF. Este método es un método simplificado, más simple que el método RTS.

### **Características Principales**

- La temperatura del aire es asumida constante.
- Tres factores se usan para hallar las ganancias de calor: por conducción, por calor solar, y las ganancias internas, las cuáles son respectivamente, CLTD/SCL/CLF. Esos factores se calculan usando el método de función de transferencia (TFM) y produce cargas térmicas para las condiciones ambientales estándar y los tipos de zona.

### **Suposiciones**

- La temperatura de aire del sol es asumida por el aire exterior
- La temperatura de aire está tomada como una constante

### **Metodología**

Este método utiliza datos tabulados de CLTD (cálculo de carga de temperatura diferencial), SCL (factor solar de carga térmica), y CLF (factor de carga térmica), los cuales incluyen el efecto de:

- (1) Intervalos de tiempo de calor generado por conducción a través de superficies exteriores opacas.
- (2) El tiempo de retraso del almacenamiento térmico en la conversión de calor generado por radiación a carga térmica.

Esta simplificación genera que la carga térmica se pueda calcular manualmente. Los datos son generados con factores del material de diseño y coeficientes de transferencia por conducción, el cuál produce cargas térmicas en condiciones ambientales estándar y los tipos de zona. Las cargas térmicas son entonces estandarizados para condiciones especificadas de una zona, así es que sería posible calcular las cargas térmicas para cada hora con una multiplicación simple.

### **Ventajas**

- Un método simplificado
- Más apropiados para ser un método de cálculo **manual** incluyendo uso de la hoja de calculo (Excel)

- Los resultados del local pueden tener una mayor exactitud usando las tablas disponibles las cuales contienen la mayoría de construcciones comunes, o usando un programa de computadora se puede generar un set de tablas para una zona específica, latitud y mes

#### **Desventajas**

- El ajuste para una pared o techo que no corresponde a uno de los grupos listados es una fuente de errores
- La inexactitud de corregir para otros meses y otras latitudes<sup>3</sup>

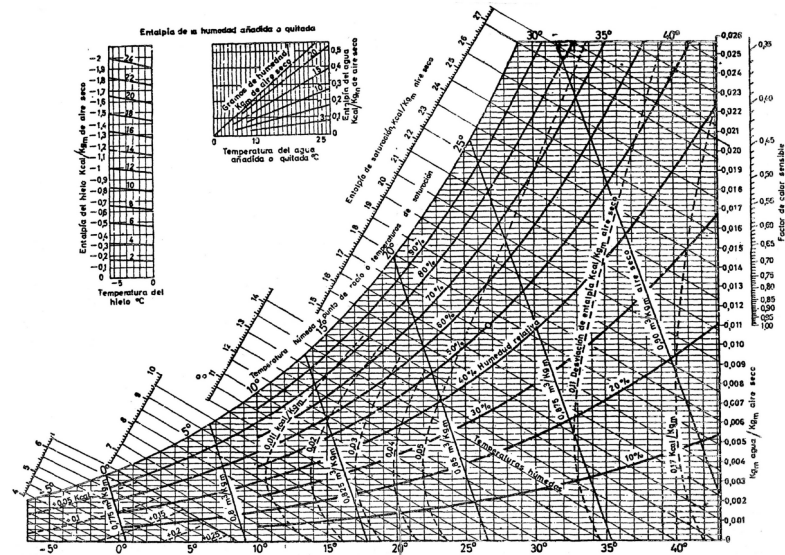
### **1.4 Psicrometría**

El método de cálculo no es el paso final para determinar la carga que necesita un espacio para estar acondicionado, debido que, lo determinado en los cálculos fue la carga térmica generada en el local, y no se tuvo en cuenta las propiedades del aire en el espacio ni el proceso que se quiere realizar para acondicionar el espacio, por lo tanto el paso final debe ser la psicrometría. **La Psicrometría** es la ciencia que trata sobre las leyes físicas de las mezclas de aire – agua. Para poder diseñar un sistema de aire acondicionado, se debe conocer la temperatura y el contenido de humedad del aire a ser condicionado, así como también las mismas propiedades del aire requerido para producir el efecto deseado de aire acondicionado. Una vez conocidas estas propiedades, se podrá determinar la tarea del aire acondicionado. Este análisis puede realizarse con el uso de una **carta psicrométrica** (ver Fig. 1). La carta psicrométrica muestra gráficamente diversas propiedades físicas del aire en un amplio rango de condiciones. Su empleo es universal por que presenta una gran cantidad de información en forma muy sencilla y por que ayuda a estudiar los procesos de acondicionamiento de aire. A primera vista, la gráfica psicrométrica aparenta ser una complicada red de líneas entrelazadas. Sin embargo, cuando se utiliza apropiadamente, proporciona valiosa información acerca de las propiedades del aire. Para utilizar la carta psicrométrica, se debe conocer por lo menos 2 de los 7 puntos de la tabla: Temperatura de Bulbo seco (TBS o DB),

---

<sup>3</sup> Ala Hasan, *REVIEW OF COOLING LOAD CALCULATION METHODS*

Temperatura de Bulbo húmedo (TBH o WB), Humedad Relativa (HR), Humedad del aire (W), Volumen específico (v), Entalpía (h) y caída de presión ( $\Delta P$  o dp) para poder colocar el punto del proceso en la tabla (condición inicial).



**Fig. 1 Carta Psicrométrica**

Si se presentan cambios en el contenido de calor o en el contenido de humedad del aire, el punto de la gráfica psicrométrica que representa la condición original del aire se desplaza a una posición que representa la nueva condición de temperatura y/o humedad, estas son llamadas líneas de proceso, las cuales determinan que proceso se está llevando a cabo (Enfriamiento, calefacción, humidificación y/o des humidificación).

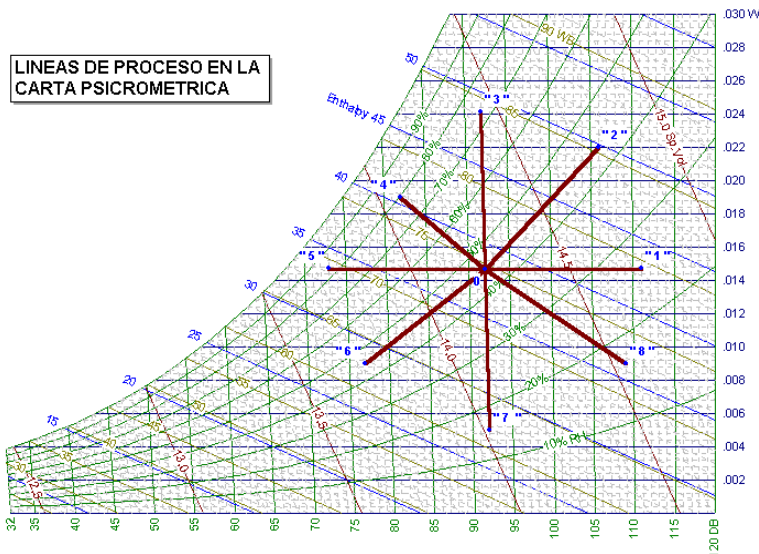


Fig. 2 Líneas de Proceso en la Carta Psicrométrica

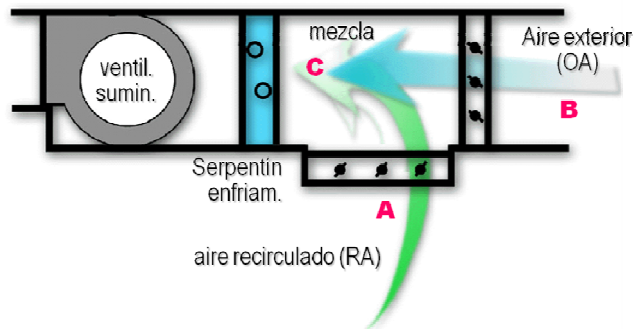
Proceso	Nombre	DB	WB	HR	h	W	V	Dp
0 – 1	Calentamiento Sensible	+	+	-	+	=	+	=
0 – 2	Calentamiento con Humidificación	+	+	+ ó -	+	+	+	+
0 – 3	Humidificación	=	+	+	+	+	+	+
0 – 4	Enfriamiento con Humidificación	-	+ ó -	+	+ ó -	+	+ ó -	+
0 – 5	Enfriamiento Sensible	-	-	+	-	=	-	=
0 – 6	Enfriamiento con Deshumidificación	-	-	+ ó -	-	-	-	-
0 – 7	Deshumidificación	=	-	-	-	-	-	-
0 – 8	Calentamiento Deshumidificación	con +	-	-	-	-	+	-

Tabla 1 Procesos en la carta psicrometrica (+) Aumenta; (-) Disminuye; (=) Constante

Para este estudio, el proceso es para deshumidificar y enfriar los locales, por lo tanto el proceso es de forma 0-6, en el cual HR disminuye.

#### 1.4.1 Mezclas de aire

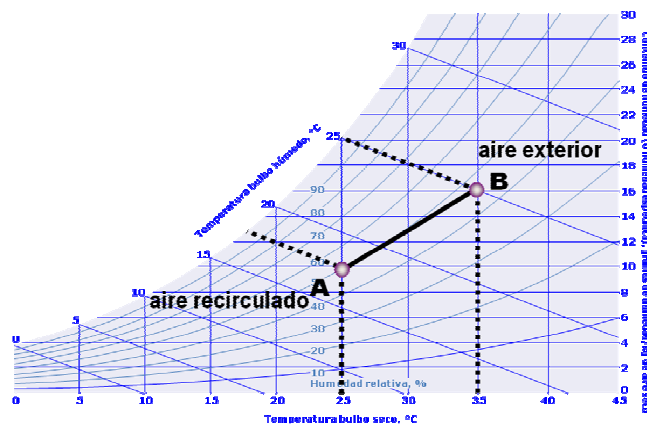
El diseñador debe conocer las actividades que se van a realizar en el espacio, para determinar si el equipo deba re circular completamente el aire interior, o si exista un sistema de mezclado de aire (Ver Fig. 3). La mezcla de aire es utilizado para regenerar el aire en el espacio acondicionado, limpiando el espacio acondicionado de olores y/o bacterias que puedan generar inconformidad en el espacio (por ejemplo en laboratorios químicos y/o en hospitales). En caso de que exista mezcla de aire, esta influye en la carga que el equipo debe manejar, aumentando la carga del local en comparación de que no deba tener un sistema de mezcla de aire.



**Fig. 3 Proceso de Mezcla de Aire (equipo)**

Observemos el proceso de mezcla de aire en la carta psicrométrica, si el aire exterior (B) se mezcla con aire re circulado (A), las condiciones de la mezcla resultante se encuentran en alguna parte de la línea recta que conecta ambos puntos (ver Fig. 4).

Si la mezcla es por partes iguales, esta condición caerá en el punto medio de la línea entre A y B. Si más de la mitad de la mezcla es de aire re circulado (A), la condición de la mezcla caerá más cerca de A que de B.<sup>4</sup>



**Fig. 4 Proceso Mezcla de Aire (Carta psicrométrica)**

Más adelante se explicará porque una mezcla de aire influye en el aumento de la carga térmica. Conociendo que si existe (o no) una mezcla de aire, el equipo debe estar diseñado para realizar el sistema escogido, para eso existe diferentes tipos de sistemas de Fan coils diseñados para permitir este tipo de mezcla.

El FAN-COIL es un equipo de aire acondicionado compuesto de un ventilador y un sistema de enfriamiento/calentamiento (según sea el caso); puede variar tanto en la disposición para su

<sup>4</sup> Tomado del ppt "Psicrometría – Clínica de Aire Acondicionado" TRANE

instalación como en cuando a su potencia. El caudal de aire da idea de esta última característica y su gama va desde los 300 a los 1.400 m<sup>3</sup>/hora aproximadamente. Entre las modalidades en las que lo que varía es el tipo de instalación, podemos distinguir fundamentalmente dos clases de FAN-COIL: vertical y horizontal.

Los modelos verticales se instalan generalmente a lo largo de las paredes exteriores y presentan tres variantes que designamos para facilitar la descripción como (a), (b) y (c). Los modelos (a) no prevén la introducción de aire exterior, los modelos (b) tienen un damper que puede admitir hasta un 25% de aire exterior a través de una abertura de la pared, y los modelos (c) tienen un damper que permite la introducción de la totalidad de aire exterior.

Los modelos tipo (a) se aplican cuando se recircula totalmente el aire sin prever ventilación. En este caso los modelos deben seleccionarse para compensar la máxima carga sensible y latente del local. Los modelos tipo (b) deben elegirse de forma que sean capaces de aportar el frío necesario para la carga total sensible y latente de la mezcla de aire recirculado y un 25% de aire exterior a las condiciones extremas. No se suelen emplear los modelos tipo (c) con la intención de introducir 100 % de aire exterior en los meses de invierno y de verano. Estos modelos se seleccionan según las instrucciones de los fabricantes.

Los modelos horizontales para aplicación de techo son de construcción similar a los modelos verticales tipo (a). Tal como el tipo (a), pueden aplicarse sin prever ventilación; con aire de ventilación suministrado por un sistema de conductos; o con todo un sistema de tratamiento del aire de ventilación. Por tanto, los modelos horizontales se dimensionan en la forma descrita al referirnos a los modelos verticales tipo (a) para cada una de estas tres aplicaciones.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> [http://www.tecnicsuport.com/clima/taulesconsulta/acondicionamiento\\_fan-coil/Tipos\\_de\\_fan-coil/distintos\\_tipos\\_de\\_fan.htm](http://www.tecnicsuport.com/clima/taulesconsulta/acondicionamiento_fan-coil/Tipos_de_fan-coil/distintos_tipos_de_fan.htm)

## 2 METODOLOGÍA DE CÁLCULO

### 2.1 Calculo De La Carga Térmica

Para facilitar el estudio de este trabajo, se ha dividido el cálculo de Carga térmica en 6 pasos generales, los cuales se explicarán a continuación, los pasos son.

1. Condiciones de Diseño
2. Mediciones de las secciones
3. Identificación de los materiales
4. Calculo del coeficiente global de transferencia de calor
5. Calculo de la carga térmica
  - a. Calculo de las cargas sensibles
    - i. Paredes Externas y Techos
    - ii. Ventanas
    - iii. Particiones
    - iv. Misceláneas (Equipos, Luces, Personas)
    - v. Infiltraciones
    - vi. Factor de corrección
  - b. Calculo de las cargas latentes
    - i. Misceláneas (Equipos (si las tiene), Luces)
    - ii. Infiltraciones
6. Calculo de la carga total (Sensible + Latente) en Toneladas de Refrigeración

#### 2.1.1 Condiciones de diseño

Las condiciones de diseño, son los parámetros del edificio y condiciones climáticas, que se toman para el cálculo de carga térmica. Este estudio se va a realizar en las siguientes condiciones:

**Temperatura Exterior:** 94 °F (34.4444 °C)

**80% humedad relativa**

**Temperatura Interior de Diseño:** 75,2 °F (24 °C)

**55% humedad relativa**

**Variación de la temperatura diaria exterior:** 17°F (8.33°C)

**Mes y día de Diseño:** 21 de Julio

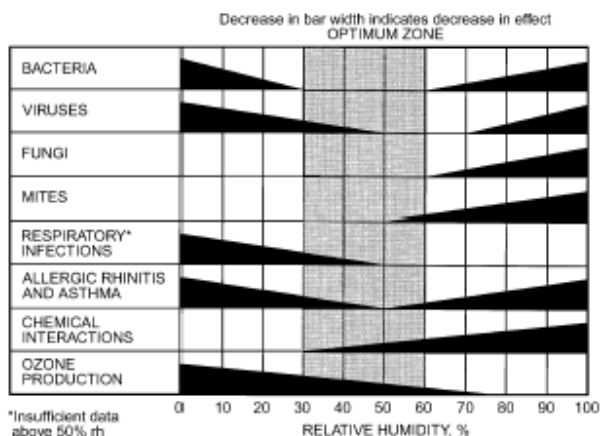
Los datos de temperatura exterior y humedad relativa según el IDEAM, son datos extremos reales de la ciudad de Cartagena, el mes de diseño el cual se escogió según la ASHRAE, es uno de los más calurosos del año, el día 21 se toma debido que ASHRAE tabula sus datos en este día de cada mes.

Como se puede ver, estos datos se escogieron por ser las condiciones mas extremas que se pueden presentar en este lugar, por lo tanto es de afirmar que los cálculos obtenidos finales se sobredimensiona pero bajo condiciones reales de diseño.

Los datos de temperatura interior de diseño y humedad relativa son datos ideales en el cual se presenta el confort térmico. Según la ASHRAE el confort térmico es *“la sensación mental que expresa la satisfacción con el ambiente térmico”* sin embargo, debido a la complejidad del ser humano (genero, edad, raza) y también la ubicación geográfica hace que estos puntos de confort varíe (Una persona nacida en Bogotá no se sentirá en confort a una temperatura de 26°C mientras que una persona nacida en Cartagena si). El confort puede ser determinado a diferentes temperaturas de bulbo seco y humedad relativa, tanto que entidades dedicadas al estudio del confort tienen diferentes puntos de TBS y HR lo cual representa un problema en la escogencia de la temperatura de diseño.

Para el caso de la humedad relativa, las condiciones son similares: *“el efecto completo de humedad relativa sobre todos los aspectos de comodidad humana aún no ha sido establecido. Estudios epidemiológicos han encontrado que las tasas inferiores de enfermedad respiratoria reportadas se ha realizado por los inquilinos de edificios con humedad relativa a medio rango que entre los inquilinos de edificios con la humedad*

relativa baja. Los extremos de humedad son los más perjudiciales para el confort humano, la productividad, y la salud. Estudios demuestran que un rango entre 30 y el 60 % HR (en temperaturas ambiente normales) proporciona las mejores condiciones para la ocupación humana. En este rango, tanto el crecimiento de bacteria como organismos biológicos y la velocidad en la cual interacciones químicas que ocurren son reducidos al mínimo (ver Fig. 5). La humedad relativa tiene un efecto significativo en el control de infección en el aire. En 50 % HR, el índice de mortalidad de ciertos organismos es el más alto, y el virus de gripe pierde la mayor parte de su virulencia. El índice de mortalidad se disminuye tanto encima como debajo de este valor. La alta humedad puede apoyar el crecimiento de organismos patógenos o que producen alergias.”<sup>6</sup>



**Fig. 5 Rango óptimo para salud y el confort humano**

Correspondiente a este estudio, algunos locales de este estudio (Laboratorios y Sala de Cómputo), tienen características similares a *Áreas De Oficina Electrónicas Y De Procesamiento De Datos*, la cual ASHRAE nos presentan unos criterios de diseños para TBS y HR y lo presenta en la siguiente tabla:

<sup>6</sup> Tomado del manual ASHRAE 2004 Aplicaciones y Equipos Cáp. 20 Pág. 1

<b>Condiciones de Diseño para una Sala de Cómputo típica</b>	
<i>Manual ASHRAE 1999, HVAC Aplicaciones, Cap. 16</i>	
<b>Condición</b>	<b>Nivel Recomendado</b>
Rango de control de temperatura <sup>a</sup>	72 °F ± 2 °F
Rango de control de humedad relativa <sup>a</sup>	50 ± 5%
Calidad de Filtrado <sup>b</sup>	45%, min. 20%
a Estas condiciones típicas son recomendadas por la mayoría fabricantes de equipo de cómputo.	
b De ASHRAE Standard 52.1 prueba de eficiencia de polvo en sitio.	

**Tabla 2 Condiciones de Diseño para una Sala de Cómputo típica**

Para el resto de locales de estudio (COMPUCOLOR, SAI, Oficina y Oficina Hemiciclo) se utilizarán los criterios de diseño para oficinas de Edificios que nos presenta la ASHRAE en la tabla 2 del Manual ASHRAE 1999, HVAC Aplicaciones, Cap. 3, la cual nos dice que las condiciones internas en verano deben ser de 74 a 78°F y un HR de 50 a 60%.

En conclusión, a partir de los datos explicados anteriormente fueron que se escogieron los datos de temperatura y humedad para todos los locales.

**Otras consideraciones:**

- Los laboratorios y los locales en donde van a realizarse los cálculos se tomarán como si no estuvieran acondicionados; la diferencia de temperatura entre los locales y entre locales y pasillo será la diferencia entre la temperatura exterior de diseño 94°F (34,44°C) menos 5 °F dando un total de 89°F (31,67°C), a excepción de **Sala de cómputo, Laboratorio de Electrónica Análoga** y el local **COMPUCOLOR** los cuales permanecen siempre abiertos, con personas y equipos funcionando de 8:00 AM a 6:00 PM de lunes a viernes
- La Carga térmica generada a través del techo es considerada 0 en todos los locales, debido que arriba de los laboratorios, existen los salones de Aulas A2-20X, los cuales están en clases (y por lo tanto con aire acondicionado) cada vez que haya clase en los laboratorios. Y arriba de los locales, existe las oficinas de investigación; las cuales funcionan como oficinas y tienen aire acondicionado durante ese horario establecido
- La Carga Térmica generada a través de suelo es considerada 0 en los siguientes locales:

- Laboratorio de Física Eléctrica y Salón de Computo: Debajo de estos laboratorios existe la Sala de Profesores de Ing. Mecánica, el cual permanece siempre con el aire encendido.
- Laboratorio de Control Automático: Debajo de este laboratorio, existe el Laboratorio de Ciencias Integradas el cual permanece siempre con el aire encendido
- Aunque existan en todos los laboratorios y locales, ventanas operables, estas se considerarán como ventanas fijas para su calculo, considerando que no se abrirán durante la operación del equipo.
- Los laboratorios y locales no tendrán cielo raso o cielo falso y tendrán una altura total de 3.25m

### **2.1.2 Mediciones de las secciones**

Con elementos de mediciones (cinta métrica, calibrador, etc.) se toman las medidas de todas las secciones que conforman el área a calcular eso incluye: paredes, ventanas, particiones, puertas, techos y pisos. Existen planos del Área a calcular, estos planos serán usados como guía, pero debido a los constantes cambios que se hacen y sin modificación de plano, se tomaron las medidas de nuevo para confirmar. En el Anexo A se muestra el plano del área de estudio con los locales y su norte.

### **2.1.3 Identificación de los materiales de construcción**

Realizadas las mediciones, se identifican los materiales de todos los locales; algunas informaciones fueron suministradas por el Centro de Servicios de Ingeniería (OSI) y otras informaciones por las mediciones hechas en el área:

- Información suministrada por el Centro de Servicios de Ingeniería (**OSI**)
  - Paredes hechas con bloque de concreto No 4 (tamaño nominal 100 x 200 x 400 mm.), sin ningún material agregado, solamente la pintura en el interior.

- Techos y pisos de placas de concreto de 12 cm. de espesor, sin ningún material agregado, solamente pintura para el techo y con baldosas cerámicas para el acabado del piso.
- Información obtenidas por mediciones
  - Particiones de laboratorio en madera prensada de 1/4 in de espesor, con marcos de aluminio.
  - Ventanas de cristal de 4mm de espesor (se utilizara 3mm ( $1/8$  in) de espesor para el calculo, debido que 4mm no aparece tabulado)
  - Ventanas de cristal de 4mm de espesor con polarizado
  - Ventanas de cristal de 4mm de espesor con 16 persianas de aluminio fijas.
  - Viga de pared construida en placa de concreto de 4 in de espesor, sin ningún material agregado, solamente pintura en el interior.
  - Puertas en marcos de aluminio, 2m de alto, con 2 vidrios y la parte inferior recubierta con 22 persianas de aluminio fijas. (Puerta tipo A)
  - Puertas en marcos de aluminio, 2m de alto, con 1 vidrio y la parte inferior recubierta con madera prensada de  $1/4$  in. (Puerta tipo B)

#### **2.1.4 Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor “U”**

En la mayoría de los problemas de transferencia de calor se incluyen, más de un modo de transferencia de calor (conducción, convección, radiación). Estos diferentes coeficientes se pueden combinar en un coeficiente global de transferencia de calor para poder determinar la razón total de transferencia de calor a temperaturas finales ( $T_o$ ,  $T_i$ ). La solución a esto es calculada por medio de *circuitos térmicos*, estos circuitos térmicos son ecuaciones análogas a los circuitos eléctricos.<sup>7</sup>

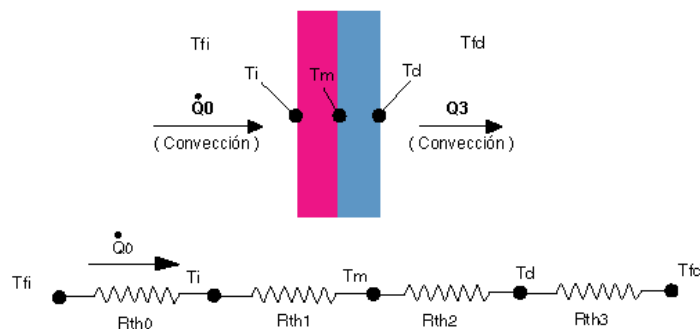
---

<sup>7</sup> Tomado del Manual ASHRAE 2005 Fundamentos Cáp. 3 Pág. 18

### 2.1.4.1 Circuitos térmicos en serie

Estos casos se presentan, cuando un flujo de calor debe atravesar una pared que esta compuesta de n material y estos materiales están en dirección perpendicular al flujo de calor; la resistencia total equivalente para circuitos térmicos en serie es el resultado de la suma entre ellos:

$$R_t = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$



**Fig. 6 Diagrama de un circuito térmico en serie**

Donde  $1,2...n$  = Diferentes materiales que conforman la placa y crean un circuito en serie

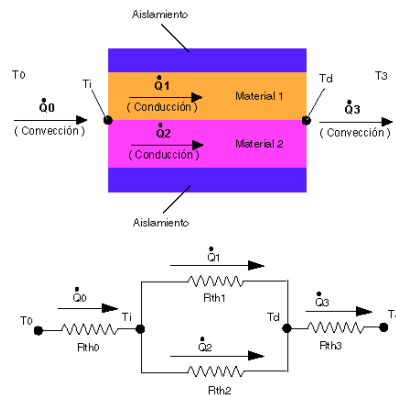
$R$  = Resistencias Térmicas de los materiales, este valor es hallado en tablas, o por medio de la formula  $R = \frac{L}{k}$  para materiales sólidos

( $L$ =Longitud;  $K$ = Coeficiente térmico de conducción el cual es hallado en tablas)

### 2.1.4.2 Circuitos térmicos en paralelo

Estos casos se presentan, cuando un flujo de calor debe atravesar una pared que esta compuesta de n material y estos materiales están en dirección paralela al flujo de calor, causando que el flujo de calor fluya a través de los n materiales; la resistencia total equivalente para circuitos térmicos en paralelo es la recíproca de la conductancia total equivalente, la cual es determinada por la suma entre cada una de las conductancias de los materiales:

$$C_{total} = C_1 + C_2 + \dots + C_n \equiv \frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$



**Fig. 7 Diagrama de circuito térmico en paralelo**

Donde  $1,2...n$  = Diferentes materiales que conforman la placa y crean un circuito en serie

$R$  = Resistencias Térmicas de los materiales, este valor es hallado en tablas, o por medio de la fórmula  $R = \frac{L}{k}$  para materiales sólidos

( $L$ =Longitud;  $K$ = Coeficiente térmico de conducción el cual es hallado en tablas)

Como vimos en la identificación de materiales, una pared, un techo, una ventana, etc. no contiene solamente un solo material, está compuesto de diferentes materiales en los cuales el flujo de calor atraviesa cada uno de esos materiales, por lo tanto es importante conocer los tipos de circuitos térmicos y sus ecuaciones.

**Coefficiente global de transferencia de calor  $U$  en Ventanas:** Las trayectorias de transferencia de calor de las ventanas incluyen una contribución unidimensional (centro del cristal) y una contribución de dos dimensiones (el borde del cristal). El aporte del marco es sobre todo de dos dimensiones. Por lo tanto, el flujo de transferencia de calor a través de las ventanas se puede calcular conociendo la transferencia de calor por separados de 3 regiones: centro de cristal, borde del cristal, y marco de la ventana como se presenta en la Fig. 8 (En ventanas de hojas dobles, triples, se presentan, espaciadores, tales como aisladores, fibra de vidrio, aluminio, afectan el flujo de calor, también, y su contribución se debe considerar.) El factor  $U$  total se determina usando los factores  $U$  y área para cada contribución:

$$U_o = \frac{U_{cg} A_{cg} + U_{eg} A_{eg} + U_f A_f}{A_{pf}}$$

Donde los índices significan:

*cg* = *center of glass* = centro de cristal

*eg* = *edge of glass* = borde de cristal

*f* = *frame* = Marco de la ventana

$U_o$  = Coeficiente global de transferencia de calor Total de la ventana

$A_{pf}$  = Área Total de la ventana

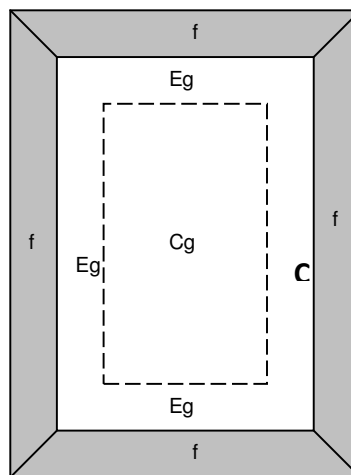


Fig. 8 Diagrama de las regiones de una ventana (también en puertas)

- Los factores  $U_{cg}$ ,  $U_{eg}$ , y  $U_f$  están tabulados en cualquier libro de carga térmica, para este estudio, se utilizarán la tabla del libro ASHRAE 2005 Fundamentos, Cap. 31, Tabla 4
- El área total de la ventana es la suma total de las áreas del centro de cristal, borde de cristal y marco de la ventana, es decir:  $A_{pf} = A_{cg} + A_{eg} + A_f$  y es obtenido midiendo toda la ventana.
- El área del marco, es obtenido por la diferencia del área total de la ventana ( $A_{pf}$ ) y el área total del cristal ( $A_g$ ):  $A_f = A_{pf} - A_g$ ,  $A_g$  es obtenido midiendo los cristales.

- El borde-de-cristal se toma típicamente para un perímetro de 0.0635 metros de ancho alrededor del cristal. Entonces para determinar el área del centro del cristal se determina de la siguiente forma:

$$A_{cg} = (Ancho_{cristal} - 0.127m) \times (Largo_{cristal} - 0.127m) \text{ (Ancho y largo en m)}$$

- Y por último, el área del borde de cristal es la diferencia entre el área del cristal completo y el área del centro de cristal:  $A_{eg} = A_g - A_{cg}$
- Para el caso de ventanas simples el efecto de borde del vidrio (eg), no es tan significativo para tomarse en cuenta, por lo tanto el  $U_{eg} = U_{cg}$ , como aparecen en los libros.

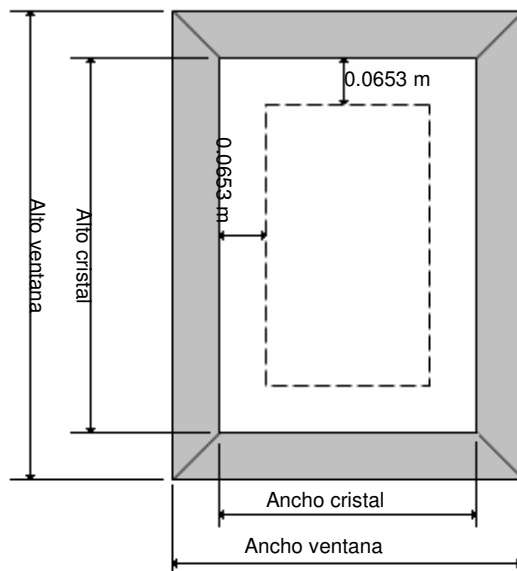


Fig. 9 Diagrama de las medidas de una ventana (también en puertas)

**Coefficiente Global de Transferencia de calor a través de Paredes y techos:** Las paredes y los techos de los edificios constan de varias capas de materiales; la estructura, las condiciones de operación de las paredes y los techos pueden diferir de manera significativa de un edificio a otro. La resistencia térmica total de una placa plana de espesor  $L$  y conductividad térmica  $k$  se puede determinar a partir de  $R = l/k$ .

La transferencia de calor a través de una sección de pared o techo también se ve afectada por los coeficientes de transferencia de calor por convección y radiación en las superficies expuestas. Los efectos de la convección y la radiación sobre las superficies interior y exterior de las paredes y techos suelen combinarse en los coeficientes combinados de transferencia de calor  $h_i$  y  $h_o$ , respectivamente. El coeficiente de transferencia de calor de la superficie interior  $h_i$  permanece muy constante durante todo el año, pero el valor de  $h_o$  varía de manera considerable a causa de su dependencia de la orientación y de la velocidad del viento, la cual puede variar desde menos de 1km/h (clima tranquilo) hasta 40km/h (clima tormentoso). Otro factor que causa la variación del coeficiente global de transferencia de calor es la emisividad ( $\epsilon$ ); las superficies que tienen una baja emisividad también tienen una baja conductancia artificial

Los componentes de construcción a menudo contienen *espacios con aire atrapado* entre varias capas. Las resistencias térmicas de esos espacios llenos de aire dependen del espesor de la capa, la diferencia de temperatura a través de ésta, la temperatura media del aire, la orientación de la capa del aire, la dirección de la transferencia de calor y la emisividad efectiva<sup>8</sup>. **La emisividad efectiva de un espacio aéreo  $E$**  es el efecto combinado de emisividades de las superficies de la frontera de un espacio de aire, donde las fronteras son paralelas y de una dimensión mucho mayor que la distancia entre ellas, se expresa por:

$$\frac{1}{\epsilon_{efectiva}} = \frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1$$

Donde  $\epsilon_1$  y  $\epsilon_2$  son las emisiones de las superficies del espacio lleno de aire

En conclusión, La resistencia térmica total de flujo de calor a través de un componente plano del edificio compuesto de capas paralelas entre los entornos en ambos lados es dado por:

$$R_t = R_i + R + R_o$$

---

<sup>8</sup> Tomado del libro TRANSFERENCIA DE CALOR – Yunus Çengel Cáp. 3 Pág. 175-176-177

Donde:

$R_i$  = Resistencia térmica de la capa interior de aire, [(h<sub>x</sub>ft<sup>2</sup>x°F)/Btu]

$R_o$  = Resistencia térmica de la capa exterior de aire, [(h<sub>x</sub>ft<sup>2</sup>x°F)/Btu]

$R$  = Resistencia térmica de la pared o techo, [(h<sub>x</sub>ft<sup>2</sup>x°F)/Btu]

Para determinar R, se aplican los conceptos de circuitos térmicos en series y/o en paralelo según sea el caso.

Y el Factor U de un componente plano (pared, techo) de un edificio es el recíproco de  $R_T$ .<sup>9</sup>

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

- Los materiales en este estudio tienen son materiales de superficies comunes, por lo tanto tienen una emisividad de  $\epsilon = 0.90$ , a excepción de los marcos de aluminio los cuales es una superficie reflectora y se escogerá una emisividad de  $\epsilon = 0.12$
- Las tablas a utilizar son tomadas del libro Manual ASHRAE Fundamentos 1977, Cap. 25 tabla 8 y Cap. 22 tabla 3A para los materiales de  $\epsilon = 0.90$  (Ver Anexo B)
- Condiciones del aire (tomado de la tabla 1a, Cap. 22 ASHRAE 1977) (Anexo B)
  - Tipo de clima: verano,
  - $R_o = 0.25[(h_{xft^2} \times F)/Btu]$ , velocidad del viento 7.5mph
  - $R_i = 0.685 [(h_{xft^2} \times F)/Btu]$ , aire quieto
- Para el caso de los marcos de aluminio se encuentran en una emisividad  $\epsilon = 0.12$  se debe utilizar : (Tabla 1, Cap. 22 ASHRAE 1977) para determinar la Resistencia interna, la cual después de realizar una iteración nos da  $R_i = 1.536 [(h_{xft^2} \times F)/Btu]$
- Los marcos de aluminios son huecos, por lo tanto se debe determinar la resistencia del espacio lleno de aire, a partir de las funciones dichas anteriormente y utilizar los datos del libro Manual ASHRAE Fundamentos 1977, Cap. 22 tabla 2. (Nota: Los datos de la tabla se pueden interpolar y extrapolar)

---

<sup>9</sup> Tomado del Manual ASHRAE 2005 – Fundamentos Cáp. 23 Pág. 23.3-23.4

Teniendo claro los conceptos anteriores, se procede a hallar el coeficiente global de transferencia de calor de cada una de las secciones con sus respectivos materiales los cuales fueron descritos en el punto anterior:

#### 2.1.4.3 Ventanas con marcos de aluminio sin interrupción térmica:

Para hallar el U de las ventanas se utiliza la siguiente fórmula

$$U_o = \frac{U_{cg} A_{cg} + U_{eg} A_{eg} + U_f A_f}{A_{pf}}$$

En nuestro campo de estudio existen 3 tipos de ventanas:

Ventanas de cristal claro fijo

Ventanas de cristal polarizado fijos

Ventanas de cristal claro fijo con persianas de aluminios (paneles horizontales)

A continuación se determinará el factor U para cada uno de estas ventanas

Ventanas de cristal claro de  $1/8$  in: (Tabla 4, Cap. 31 ASHRAE 2005)

$$U_{cg} = 1.04 \text{ Btu/ [hxft}^2\text{x }^\circ\text{F]}$$

$$U_{eg} = 1.04 \text{ Btu/ [hxft}^2\text{x }^\circ\text{F]}$$

$$\text{Ventanas fijas} \rightarrow U_f = 1.13 \text{ Btu/ [hxft}^2\text{x }^\circ\text{F]}$$

#### Ventanas fijas

$$U_o = \frac{\{(1.04) \times [(A_{n_{cristal}} - 0.127) \times (A_{l_{cristal}} - 0.127)]\} + [(1.04) \times (A_g - A_{cg})] + [(1.13) \times (A_{pf} - A_g)]}{A_{pf}}$$

*Ventanas con cristal polarizado:* El polarizado no tiene efecto en el Factor U pero reduce la ganancia solar de calor lo cuál puede ser un beneficio en el verano y una desventaja en el invierno dependiendo en las condiciones locales de clima. Por lo tanto tiene el mismo factor U que una ventana con cristal claro<sup>10</sup>

<sup>10</sup> [www.efficientwindows.org](http://www.efficientwindows.org) – glazing types – single-glazed with bronze or Gray tinted glass

*Ventanas con persianas de aluminio fijas:* Considerando que, las persianas de aluminio están unida al marco de aluminio y no al vidrio, esto no afecta el factor U, y debido que no están en contacto directo como el Sol, se concluye que no se tomarán en cuenta esas persianas y se tomarán como ventanas simples de cristal claro.

#### 2.1.4.4 Puertas:

Para hallar el U de las puertas se utiliza la siguiente formula

$$U_o = \frac{U_{cg} A_{cg} + U_{eg} A_{eg} + U_f A_f}{A_{pf}}$$

En nuestro campo de estudio existen 2 tipos de puertas:

Puertas en marcos de aluminio de 1 ½ in de espesor de 2m de alto, con 2 vidrios y la parte inferior recubierta con 22 persianas de aluminio fijas. (Puerta tipo A)

Puertas en marcos de aluminio de 1 ½ in de espesor de 2m de alto, con 1 vidrio y la parte inferior recubierta con madera prensada de ¼ in. (Puerta tipo B)

A continuación se determinara el factor U para cada uno de estas puertas

*Puertas tipo A:* (Tabla 4, Cap. 31 ASHRAE 2005)

$$U_{cg} = 1.04 \text{ Btu/ [h}\cdot\text{ft}^2\cdot\text{x}^\circ\text{F]}$$

$$U_{eg} = 1.04 \text{ Btu/ [h}\cdot\text{ft}^2\cdot\text{x}^\circ\text{F]}$$

$$U_f = 1.27 \text{ Btu/ [h}\cdot\text{ft}^2\cdot\text{x}^\circ\text{F]}$$

$$U_o = \frac{\{(1.04) \times [(A_{n_{cristal}} - 0.127) \times (A_{l_{cristal}} - 0.127)]\} + [(1.04) \times (A_g - A_{cg})] + [(1.27) \times (A_{pf} - A_g)]}{A_{pf}}$$

*Puertas tipo B:*

En este caso, se le agrega el U de la madera prensada y también el área de la madera, a la formula de ventanas y puertas, y el área total será la suma de todas las aéreas incluyendo la de madera

$$U_{cg} = 1.04 \text{ Btu/ [hxf}^2\text{x}^\circ\text{F]} \text{ Tabla 4, Cap. 31 ASHRAE 2005}$$

$$U_{eg} = 1.04 \text{ Btu/ [hxf}^2\text{x}^\circ\text{F]} \text{ Tabla 4, Cap. 31 ASHRAE 2005}$$

$$U_f = 1.27 \text{ Btu/ [hxf}^2\text{x}^\circ\text{F]} \text{ Tabla 4, Cap. 31 ASHRAE 2005}$$

- **Madera Prensada de 0.25in**

$$R_{\text{sup. Externa}} \text{ [(hxf}^2\text{x}^\circ\text{F)/Btu]} = 0.685 \text{ (Tabla 8, Cap. 25 ASHRAE 1977)}$$

$$R_{\text{plywood}} \text{ [(hxf}^2\text{x}^\circ\text{F)/Btu]} = 0.31 \text{ (Tabla 3A, Cap. 22 ASHRAE 1977)}$$

$$R_{\text{sup. Interna}} \text{ [(hxf}^2\text{x}^\circ\text{F)/Btu]} = 0.685 \text{ (Tabla 8, Cap. 25 ASHRAE 1977)}$$

$$U_{\text{madera}} \text{ [Btu/ (hxf}^2\text{x}^\circ\text{F)}] = \frac{1}{0.685 + 0.31 + 0.685} = 0.595$$



$$U_o = \frac{\{(1.04) \times [(A_{n_{\text{cristal}}} - 0.127) \times (A_{l_{\text{cristal}}} - 0.127)]\} + \{(1.04) \times (A_g - A_{cg})\} + \{(1.27) \times (A_{pf} - A_g)\} + \{(0.595) \times (A_{\text{madera}})\}}{A_{pf}}$$

2.1.4.5 Pared:

Para el caso de la pared, la cual contiene varios materiales, (bloques de concretos y placas de concreto) se determina de forma independiente el factor U de los materiales que conforman la pared a partir de tablas estipuladas en el Manual ASHRAE fundamentos 1977

Elementos que conforman las paredes:

- **Bloque de Concreto de 4in**

$$R_{\text{sup. Externa}} \text{ [(hxf}^2\text{x}^\circ\text{F)/Btu]} = 0.25 \text{ (Tabla 1a, Cap. 22 ASHRAE 1977)}$$

$$R_{\text{Bloque}} \text{ [(hxf}^2\text{x}^\circ\text{F)/Btu]} = 1.51 \text{ (Tabla 8, Cap. 25 ASHRAE 1977)}$$

$$R_{\text{sup. Interna}} \text{ [(hxf}^2\text{x}^\circ\text{F)/Btu]} = 0.685 \text{ (Tabla 1a, Cap. 22 ASHRAE 1977)}$$

$$U_{\text{Placa}} \text{ [Btu/ (hxf}^2\text{x}^\circ\text{F)}] = \frac{1}{0.25 + 1.51 + 0.685} = 0.408$$

- **Placa de Concreto de 4in**

$$R_{\text{sup. Externa}} \text{ [(hxf}^2\text{x}^\circ\text{F)/Btu]} = 0.25 \text{ (Tabla 1a, Cap. 22 ASHRAE 1977)}$$

$$R_{\text{Placa}} \text{ [(hxf}^2\text{x}^\circ\text{F)/Btu]} = 3.33 \text{ (Tabla 8, Cap. 25 ASHRAE 1977)}$$

$$R_{\text{sup. Interna}} \text{ [(hxf}^2\text{x}^\circ\text{F)/Btu]} = 0.685 \text{ (Tabla 1a, Cap. 22 ASHRAE 1977)}$$

$$U_{\text{Placa}} [\text{Btu}/(\text{h}\cdot\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F})] = \frac{1}{0.25 + 3.33 + 0.685} = 0.234$$

#### 2.1.4.6 Particiones:

Contiene dos materiales (madera y marcos de aluminio), por lo tanto se debe hallar el U por independiente

##### - Madera Prensada de 0.25in

$$R_{\text{sup. Externa}} [(\text{h}\cdot\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F})/\text{Btu}] = 0.685 \text{ (Tabla 1a, Cap. 22 ASHRAE 1977)}$$

$$R_{\text{plywood}} [(\text{h}\cdot\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F})/\text{Btu}] = 0.31 \text{ (Tabla 3A, Cap. 22 ASHRAE 1977)}$$

$$R_{\text{sup. Interna}} [(\text{h}\cdot\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F})/\text{Btu}] = 0.685 \text{ (Tabla 1a, Cap. 22 ASHRAE 1977)}$$

$$U_{\text{madera prensada}} [\text{Btu}/(\text{h}\cdot\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F})] = \frac{1}{0.685 + 0.31 + 0.685} = 0.595$$

##### - Placa de Concreto de 4in

$$R_{\text{sup. Externa}} [(\text{h}\cdot\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F})/\text{Btu}] = 0.685 \text{ (Tabla 1a, Cap. 22 ASHRAE 1977)}$$

$$R_{\text{Placa}} [(\text{h}\cdot\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F})/\text{Btu}] = 3.33 \text{ (Tabla 8, Cap. 25 ASHRAE 1977)}$$

$$R_{\text{sup. Interna}} [(\text{h}\cdot\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F})/\text{Btu}] = 0.685 \text{ (Tabla 1a, Cap. 22 ASHRAE 1977)}$$

$$U_{\text{Placa}} [\text{Btu}/(\text{h}\cdot\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F})] = \frac{1}{0.685 + 3.33 + 0.685} = 0.213$$

##### - Marcos de Aluminio de 0.1in ( $\epsilon = 0.12$ )

$$R_{\text{sup. Externa}} [(\text{h}\cdot\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F})/\text{Btu}] = 1.536 \text{ (Tabla 1, Cap. 22 ASHRAE 1977)}$$

$$R_{\text{sup. Interna}} [(\text{h}\cdot\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F})/\text{Btu}] = 1.536 \text{ (Tabla 1, Cap. 22 ASHRAE 1977)}$$

$$K_{\text{Aluminio}} [\text{Btu}/(\text{h}\cdot\text{ft}\cdot^\circ\text{F})] = 128 \text{ (Tabla 3, Cap. 36 ASHRAE 1997)}$$

$$R_{\text{marcos}} [(\text{h}\cdot\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F})/\text{Btu}] = \frac{L}{K} = \frac{0.1}{128} = 7.8125 \times 10^{-4}$$

$R_{\text{espacio lleno de aire}} [(\text{h}\cdot\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F})/\text{Btu}] =$  Para este caso, se procede a realizar unas series de interpolaciones para determinar la resistencia, debido que el espacio de aire que tiene el marco no aparece en tabla por lo tanto se debe determinar a partir de la siguiente interpolación basada en la Tabla 2, Cap. 22 ASHRAE 1977

Emisividad  $\varepsilon = 0.12$

Posición del espacio de aire: Vertical

Dirección del flujo: Horizontal

$$\text{Temperatura Media: } \frac{85.2 + 75.2}{2} = 80.2$$

Diferencia de Temperatura: 10°F

Espacio de Aire = 2.5 in

$$\frac{1}{E} = \frac{1}{e} + \frac{1}{e} - 1 = \frac{1}{0.12} + \frac{1}{0.12} - 1 \Rightarrow E = 0.064$$

Espacio 1.5			
E = 0.05		E = 0.2	
Tm= 90	R=3.66	Tm= 90	R=2.25
Tm=50	R=3.55	Tm=50	R=2.39
Interpolación		Interpolación	
Tm=80.2	R=3.63305	Tm=80.2	R=2.2843
Espacio 3.5			
E = 0.05		E = 0.2	
Tm= 90	R=3.4	Tm= 90	R=2.15
Tm=50	R=3.4	Tm=50	R=2.32
Interpolación		Interpolación	
Tm=80.2	R=3.4	Tm=80.2	R=2.19165
Espacio 1.5, Tm = 80.2		Espacio 3.5, Tm = 80.2	
E=0.05	R=3.63305	E=0.05	R=2.25
E=0.2	R=2.2843	E=0.2	R=2.39
Interpolación		Interpolación	
E=0.064	R=3.5072	E=0.064	R=3.2873
Resistencia R espacio de aire (hxft <sup>2</sup> x°F/ Btu)			
Espacio = 1.5		R=3.5072	
Espacio = 3.5		R=3.2873	
Interpolación			
Espacio = 2.5		R=3.39725	

$$U_{\text{marcos}} [\text{Btu}/ (\text{hxft}^2 \times \text{°F})] = \frac{1}{1.536 + 7.8125 \times 10^{-4} + 3.39725 + 1.536} = 0.1545$$

#### 2.1.4.7 Columna:

Están ubicada en las 4 paredes e intervienen en el cuarto por lo tanto se le debe realizar el cálculo correspondiente. Está compuesta por una placa de concreto de 24in de espesor en cualquier orientación.

$$R_{\text{sup. Externa}} [( \text{hxft}^2 \times \text{°F} ) / \text{Btu}] = 0.25 \text{ (Tabla 1a, Cap. 22 ASHRAE 1977)}$$

$$R_{\text{sup. Interna}} [( \text{hxft}^2 \times \text{°F} ) / \text{Btu}] = 0.685 \text{ (Tabla 1a, Cap. 22 ASHRAE 1977)}$$

#### - Columna (placa de Concreto reforzado de 24in)

$$R_{\text{placa}} [( \text{hxft}^2 \times \text{°F} ) / \text{Btu}] = 0.19 \text{ por pulgada de espesor (tabla 3A, Cap. 22 ASHRAE 1977)}$$

$$R_t [( \text{hxft}^2 \times \text{°F} ) / \text{Btu}] = R_i + R + R_o = 0.25 + (0.19 \times 24) + 0.685 = 5.495$$



$$U_{\text{Columna}} [\text{Btu}/ (\text{hxft}^2 \times \text{°F})] = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{5.495} = 0.182$$

Este coeficiente global para columnas que están en contacto con el exterior, para columnas que no están en contacto con el exterior se aplica la siguiente formula:

$$R_{\text{sup. Externa}} [(h \times ft^2 \times F) / \text{Btu}] = 0.685 \text{ (tabla 8, Cap. 25 ASHRAE 1977)}$$

$$R_{\text{sup. Interna}} [(h \times ft^2 \times F) / \text{Btu}] = 0.685 \text{ (tabla 8, Cap. 25 ASHRAE 1977)}$$

- **Columna (placa de Concreto reforzado de 24in)**

$$R_{\text{placa}} [(h \times ft^2 \times F) / \text{Btu}] = 0.19 \text{ por pulgada de espesor (tabla 3A, Cap. 22 ASHRAE 1977)}$$

$$R_i [(h \times ft^2 \times F) / \text{Btu}] = R_i + R + R_o = 0.685 + (0.19 \times 24) + 0.685 = 5.93 \text{ | } \leftarrow$$

$$U_{\text{Columna}} [\text{Btu} / (h \times ft^2 \times F)] = \frac{1}{R_i} = \frac{1}{5.93} = 0.169$$

2.1.4.8 Piso:

Contiene varios materiales, por lo tanto se debe hallar la resistencia térmica R por el método de circuito en serie para conseguir la resistencia total Rt por la ecuación ya descrita y así determinar el factor U de la pared.

$$R_{\text{sup. Externa}} [(h \times ft^2 \times F) / \text{Btu}] = 0.61 \text{ (tabla 1A, Cap. 22 ASHRAE 1977)}$$

$$R_{\text{sup. Interna}} [(h \times ft^2 \times F) / \text{Btu}] = 0.61 \text{ (tabla 1A, Cap. 22 ASHRAE 1977)}$$

Elementos que conforman el piso

- **Placa de Concreto de 4in**

$$R_{\text{placa}} [(h \times ft^2 \times F) / \text{Btu}] = 3.33 \text{ (tabla 8, Cap. 25 ASHRAE 1977)}$$

- **Acabado del piso (baldosa cerámica)**

$$R_{\text{baldosa}} [(h \times ft^2 \times F) / \text{Btu}] = 0.05 \text{ (tabla 3A, Cap. 22 ASHRAE 1977)}$$

$$R_i [(h \times ft^2 \times F) / \text{Btu}] = R_i + R + R_o = 0.61 + 0.208 + 3,33 + 0.05 + 0.61 = 4.808 \text{ | } \leftarrow$$

$$U_{\text{Pared}} [\text{Btu} / (h \times ft^2 \times F)] = \frac{1}{R_i} = \frac{1}{4.808} = 0.208$$

En la tabla 3, muestran el resumen de cada uno de los coeficientes globales de transferencia de calor "U" para cada una de las secciones de un laboratorio y/o local, en función del Área de la superficie total de la sección y de los materiales que conforman la sección.

Sección	U [Btu/ (hxft <sup>2</sup> x°F)]
Ventanas (cristal claro y polarizados)	$U_o = \frac{[(1.04) \times (A_{cg})] + [(1.04) \times (A_{eg})] + [(1.13) \times (A_f)]}{A_{pf}}$
Puertas	$U_o = \frac{[(1.04) \times (A_{cg})] + [(1.04) \times (A_{eg})] + [(1.27) \times (A_f)]}{A_{pf}} \text{ Tipo A}$
	$U_o = \frac{[(1.04) \times (A_{cg})] + [(1.04) \times (A_{eg})] + [(1.27) \times (A_f)] + [(0.595) \times (A_{madera})]}{A_{pf}} \text{ Tipo B}$
Pared	0.408 [Btu/ (hxft <sup>2</sup> x°F)] Placa
	0.234 [Btu/ (hxft <sup>2</sup> x°F)] Bloque
Columna	0.182 [Btu/ (hxft <sup>2</sup> x°F)] Exterior
	0.169 [Btu/ (hxft <sup>2</sup> x°F)] Pasillos
Piso	0.208 [Btu/ (hxft <sup>2</sup> x°F)]
Particiones	0.595 [Btu/ (hxft <sup>2</sup> x°F)] Madera
	0.15 [Btu/ (hxft <sup>2</sup> x°F)] Aluminio
	0.213 [Btu/ (hxft <sup>2</sup> x°F)] Concreto

Tabla 3 Coeficiente Global de Transferencia de Calor para las secciones

## 2.1.5 Cálculo de la carga térmica

El procedimiento a utilizar el cálculo de carga térmica, es la metodología CLTD/CLF, explicada en el libro Manual ASHRAE 1977 Fundamentos, la cual utiliza los siguientes pasos:

### 2.1.5.1 Cálculo de las cargas sensibles

La ganancia de calor es sensible cuando hay una adición directa de calor al espacio condicionado por cualquier o todos los mecanismos de conducción, convección, y radiación<sup>11</sup>.

El calor sensible es calculado a partir de las siguientes secciones: Paredes Externas, Techos, Ventanas, Particiones, Misceláneas (Equipos, Luces, Personas), Infiltraciones.

#### 2.1.5.1.1 Cálculo de la carga térmica a través de paredes y techos

El cálculo de la carga a través de paredes y techos exteriores se determina a través de la siguiente ecuación:

$$q = U \times A \times CLTD_c$$

Donde:

A: Área de la pared (ft<sup>2</sup>) obtenido de las mediciones hecha previamente

U: Coeficiente de Transferencia de Calor [Btu/ (h·ft<sup>2</sup>·°F)] (tabla 1)

CLTD<sub>c</sub> (Cooling Load Temperature Difference): Es un factor de corrección el cual depende del tipo de construcción, orientación, mes, color de la sección y temperatura exterior e interior. CLTD<sub>c</sub> entonces se determina por la siguiente formula:

$$CLTD_c = [(CLTD + LM)k + (78 - T_r) + (T_o - 85)]$$

Donde:

CLTD = Es la diferencia equivalente de temperatura según el grupo al cual pertenece la pared. Para determinar el grupo de la pared, se utilizará la *tabla 6, Cap. 25 del libro Manual*

---

<sup>11</sup> Tomado del libro ASHRAE 1977 Fundamentos Cáp.25 Pág. 25.1

ASHRAE 1977 Fundamentos; teniendo el grupo de pared, se procede a determinar el CLTD a partir de la *tabla 7, Cap. 25 del libro Manual ASHRAE 1977 Fundamentos*

LM = Es la corrección que se debe tener en cuenta por latitud y mes, para eso se utilizara los datos de la *Tabla 32, Cap. 26 del libro ASHRAE 1989 Fundamentos*. Debido que no aparecen datos de nuestra latitud (Latitud 10° N), se utilizarán los valores de la *latitud 8° N*, como referencia.

$T_r$  = Temperatura de diseño interior obtenidos de las consideraciones de diseño

$$T_o = \text{Temperatura promedio exterior} = T_{ext.diseño} - \left( \frac{\Delta T_{diaria.ext}}{2} \right) = 94 - \left( \frac{17}{2} \right) = 85.5$$

$k$  = Factor de corrección por color:

0,65 = para paredes de colores claros (crema entre otros)

0,83 = para paredes de color medio (azul medio, verde medio, rojo claro, café claro, madera sin pintar, concreto color natural, etc.)

1 = para colores oscuros (azul oscuro, rojo, café, verde, etc.)

Las cargas térmicas a través de particiones, pisos y techos no asoleados se determinan de la siguiente manera:

$$q = U \times A \times TD$$

Donde

A: Área de la partición o piso (ft<sup>2</sup>) obtenido de las mediciones hecha previamente

U: Coeficiente de Transferencia de Calor [Btu/ (h×ft<sup>2</sup>×°F)] (tabla 1)

TD: Diferencia de temperatura entre los dos espacios (interior y adyacente), Si se desconoce la temperatura del espacio adyacente y se sabe que no existe una fuente de calor en ese espacio, TD se puede tomar como la diferencia de temperatura del aire exterior con el interior menos 5°F.

La carga térmica a través de los pisos se considerarán solamente cuando exista sótanos o se calcule la carga térmica en pisos.

#### 2.1.5.1.2 Calculo de la carga térmica a través de ventanas

El cálculo total de la carga térmica a través de las ventanas se divide en 2 componentes, carga térmica por conducción y por radiación:

$$\text{Carga Térmica Ventanas} = \text{Cargas por Conducción} + \text{Cargas por Radiación}$$

##### 2.1.5.1.2.1 Las cargas térmicas por conducción

Es debido a la diferencia de temperatura interior y exterior, es determinada por la formula:

$$q = U \times A \times CLTD_c$$

Donde:

A: Área de la ventana (ft<sup>2</sup>) obtenido de las mediciones hecha previamente

U: Coeficiente de Transferencia de Calor [Btu/ (h·ft<sup>2</sup>·°F)] (tabla 1)

CLTD<sub>c</sub> (Cooling Load Temperature Difference): Es un factor de corrección el cual se determina por la siguiente formula:

$$CLTD_c = CLTD + (78 - T_r) + (T_o - 85)$$

Donde:

CLTD = Es un factor que depende de la hora, se determina a partir de la *tabla 9, Cap. 25 del libro Manual ASHRAE 1977 Fundamentos.*

T<sub>r</sub>= Temperatura de diseño interior obtenidos de las consideraciones de diseño

$$T_o = \text{Temperatura promedio exterior} = T_{ext.diseño} - \left( \frac{\Delta T_{diaria.ext}}{2} \right) = 94 - \left( \frac{17}{2} \right) = 85.5$$

##### 2.1.5.1.2.2 Las cargas térmicas por radiación

Es debida a la energía solar transmitida y absorbida, esta carga es tomada en cuenta cuando la ventana está en contacto directo con el sol, en caso de que la ventana no esté en contacto con el sol, la carga térmica total a través de la ventana se considerará solo por conducción. Para cálculo de carga térmica por radiación se debe tener en cuenta la presencia o ausencia de sombreado interior, esta consideración es debido que el calor

absorbido por las cortinas, polarizado o cualquier tipo de sombreado interior difiere del calor absorbido por el piso (si no hay sombreado interior). Para determinar la carga térmica por radiación se utiliza la siguiente fórmula:

$$q = A \times SC \times SHGF \times CLF$$

Donde:

A = Área de la ventana

SC = (Shading Coefficient) Coeficiente de sombreado para vidrio. Se utiliza las *Tablas 28, 33-36, 38 y 40; Cap. 26 del libro ASHRAE 1977 Fundamentos*

SHGF = (Solar Heat Gain Factor) Factor de ganancia de calor solar. (Btu/hxft<sup>2</sup>) Depende de la latitud, orientación y mes. Para nuestro cálculo se va a utilizar la *Tabla 10; Cap. 25 del libro ASHRAE 1977 Fundamentos*. Debido que no aparecen datos de nuestra latitud (Latitud 10° N), se utilizarán los valores de la *latitud 8° N*, como referencia.

CLF = (Cooling load Factor) Factor de carga de enfriamiento para vidrios. Depende de la hora solar, tipo de construcción, presencia o no de elementos de sombreado y de la orientación. Se Seleccionará valores para construcción media. Y la *Tabla 11 y 12; Cap. 25 del libro ASHRAE 1977 Fundamentos*.

#### 2.1.5.1.3 Calculo de las cargas térmicas misceláneas (equipos, luces, personas)

##### 2.1.5.1.3.1 Luces:

Para el cálculo de cargas térmicas debido a las luces se utiliza:

$$q = 3.41 \times W \times CLF \times Ful \times Fsa$$

Donde:

W = Potencia útil en vatios de las lámparas obtenida de las mediciones de los locales

CLF = (Cooling Load Factor) Factor de carga de enfriamiento para luces. Depende del tiempo de uso de las luces, en casos de que el equipo funcione solamente cuando las luces estén encendidas, el CLF = 1, también es 1 cuando se utilice las luces las 24 h

Ful = Factor de uso de iluminación, depende del uso total de las lámparas en edificios o locales el factor es 1 cuando se usa y 0 cuando no se usa

Fsa = Factor especial de iluminación, este factor es introducido debido a las lámparas fluorescentes y especiales, generalmente son perdidas por balastro, para lámparas simples de 32W y un voltaje de 230V usar un factor de 2.19, En lámparas de arranque rápido de 40W el factor varía de 1,18 para 2 lámparas a 230 V y 1,30 para una lámpara a 120 V. Se recomienda 1,2 para aplicaciones generales Para lámparas especiales, diferentes a las fluorescentes, como las lámparas de sodio, este factor varía entre 1,04 a 1,37 dependiendo del fabricante.

En caso de que exista locales con diferentes tipos de iluminaciones (fluorescentes, incandescentes, especiales) se calculará la carga térmica por separado y después se sumarán aritméticamente para obtener una carga térmica total.

#### 2.1.5.1.3.2 Personas:

La carga térmica generada por personas depende del tipo de actividad en la cual la(s) persona(s) esté(n) realizando. Para cálculo de cargas térmicas sensibles se utiliza la siguiente formula:

$$q = \text{No Personas} \times \text{Factor de Ocupación} \times \text{CLF} \times \text{Ganancia de Calor Sensible}$$

Donde:

Factor de Ocupación = Fracción del total de personas que ocupan el espacio según la hora (0 o 1)

CLF = (Cooling Load Factor) Factor de Carga de enfriamiento para las personas, depende del tiempo en el cual la(s) persona(s) se mantiene en el espacio acondicionado y el tiempo en el cual se entro por primera vez. Si el espacio acondicionado no se mantiene constante durante las 24 horas, el CLF = 1.

Ganancia de Calor Sensible = Factor de carga sensible de las personas, depende de las actividades en la cual la(s) persona(s) este(n) realizando, se utilizará la *Tabla 16; Cap. 25 del libro ASHRAE 1977 Fundamentos*.

#### 2.1.5.1.3.3 Equipos:

El cálculo de equipos no implica factores de corrección, solo en casos de equipos de cocina o equipos que utilizan gas los cuales generan calor latente. Para este estudio, ninguno de los locales utilizan equipos de cocina o funcionan a gas, por lo tanto para el cálculo de equipos en este estudio se aplicaran los datos de cargas en tablas ASHRAE para los equipos. En caso de no estar tabulado, ASHRAE recomienda utilizar datos de placa y obtener la potencia y multiplicarlo por 0.5, según ASHRAE, el 50% de la potencia obtenida por placa se convierte en calor sensible.

#### 2.1.5.1.4 Cálculos de las cargas térmicas a través de infiltraciones

El cálculo de la carga térmica sensible a través de las infiltraciones es el resultado de la diferencia de temperatura del aire saliente y entrante en condiciones estándar de la ASHRAE:

$$q = cfm \times 60 \times 0.075 \times (0.24 + 0.45W) \Delta t$$

En la mayoría de los casos de aire acondicionados encontramos que  $W = 0.01$ , por lo tanto de la anterior ecuación queda que:

$$q = 1.10 \times cfm \times \Delta t$$

Donde:

Cfm = es el flujo de aire que entra y sale al abrirse una puerta, ventana o una grieta (para este caso, se utilizará datos del libro CARRIER, Cap. 6, tabla 41.e)

$\Delta t$  = diferencia de temperatura exterior e interior

#### 2.1.5.1.5 Factor de Corrección por carga sensible

Al calcular los 5 componentes de carga térmica del espacio descrito anteriormente, se asume que toda la energía se transfirió a la carga térmica. En algunos casos, sin embargo, esto no es cierto: Una fracción de la energía de aporte es perdida hacia los alrededores. Esta fracción,  $F_c$ ,

depende de la conductancia termal entre el aire del espacio y los alrededores y es llamada Factor de corrección:

$$F_c = 1 - 0.02K_t$$

Donde  $K_t$  es la conductancia en unidades de longitud entre el aire del espacio y los alrededores en [Btu/ (h $\times$ ft $\times$ °F)] dados por:

$$K_t = \left( \frac{1}{L_f} \right) \times (U_w A_w + U_{ow} A_{ow} + U_c A_c)$$

Donde:

$L_f$  = longitud de las paredes (espacio condicionado) realizado en medidas

$U$  = Coeficiente de transferencia de calor [Btu/ (h $\times$ ft $\times$ °F)] de la sección

$A$  = Área de la sección

Los coeficientes  $w$ ,  $ow$ ,  $c$ , referencia la sección la cual pertenece ( $w$  = partición,  $ow$  = pared externa,  $c$  = corredor) también se deben de tener en cuenta las ventanas, puertas, techos y pisos. Teniendo este factor, se tiene que multiplicar a cada uno de los resultados de las cargas térmicas obtenidas en los 5 puntos anteriores.

El cálculo total de las cargas sensibles es por lo tanto:

$$q_{sensible} = (q_{pared} \times F_c) + (q_{ventanas} \times F_c) + (q_{particiones} \times F_c) + (q_{misc\_sensibles} \times F_c) + q_{inf\_sensibles}$$

#### 2.1.5.2 *Calculo de las cargas latentes*

La ganancia de calor por cargas latentes es debido a la humedad que se agrega al espacio condicionado (ejemplo: por vapor emitido por los ocupantes). Para mantener una tasa de humedad constante en el espacio cerrado, El vapor de agua en el aparato de enfriamiento debe condensarse hacia afuera en una tasa igual a su tasa de adición en el espacio. La suma total de la energía requerida para hacer esto, esencialmente es igual al producto de la tasa de condensación y el calor latente de condensación.<sup>12</sup> El calor latente es calculado a partir de las

<sup>12</sup> Tomado del libro ASHRAE 1977 Fundamentos Cáp.25 Pág. 25.1

siguientes secciones: Personas, Equipos cuando son equipos de cocina (microondas, hornos, estufas, etc.) e Infiltraciones.

#### 2.1.5.2.1 Calculo de las cargas térmicas misceláneas (equipos, personas)

##### 2.1.5.2.1.1 Personas:

La carga térmica generada por personas depende del tipo de actividad en la cual la(s) persona(s) esté(n) realizando. Para cálculo de cargas térmicas latentes se utiliza la siguiente formula:

$$q = \text{No Personas} \times \text{Factor de Ocupación} \times \text{CLF} \times \text{Ganancia de Calor Latente}$$

Donde:

Factor de Ocupación = Fracción del total de personas que ocupan el espacio según la hora (0 o 1)

CLF = (Cooling Load Factor) Factor de Carga de enfriamiento para las personas, depende del tiempo en el cual la(s) persona(s) se mantiene en el espacio acondicionado y el tiempo en el cual se entro por primera vez. Si el espacio acondicionado no se mantiene constante durante las 24 horas, el CLF = 1.

Ganancia de Calor Latente = Factor de carga sensible de las personas, depende de las actividades en la cual la(s) persona(s) este(n) realizando, se utilizará la *Tabla 16; Cap. 25 del libro ASHRAE 1977 Fundamentos*.

##### 2.1.5.2.1.2 Cálculos de las cargas térmicas a través de infiltraciones

El cálculo de cargas latente es resultado de la diferencia de humedad ( $\Delta W$ ) entre el aire entrante y el aire saliente en condiciones estándar de la ASHRAE:

$$q = 4840 \times cfm \times \Delta W$$

Donde:

CFM = es el flujo de aire que entra y sale al abrirse una puerta, ventana o una grieta (para este caso, se utilizará datos del libro CARRIER, Cap. 6, tabla 41.e)

$\Delta W$  = diferencia de humedad exterior e interior (lbw/lba) obtenidos en tablas psicometricas

El cálculo total de las cargas latentes es por lo tanto:

$$q_{latente} = q_{misc\_latentes} + q_{inf\_latentes}$$

### 2.1.5.3 Cálculo de la carga total en toneladas de refrigeración

El cálculo total de la carga térmica es la suma total de las cargas sensibles y latentes:

$$\text{CALCULO TOTAL CARGA TERMICA} = \text{CARGAS SENSIBLES} + \text{CARGAS LATENTES}$$

Hay que tener en cuenta que las cargas se dieron en unidades de Btu/h, para manejar estas cargas en unidades comerciales (Toneladas de refrigeración) la carga total debe ser dividida en 12000, ya que **1 Ton de Refrigeración = 12000 Btu/h.**

Por último se agregará un factor de diseño el cual sirve para corregir errores de diseño, este factor de diseño es de 10% por lo tanto:

$$\text{CALCULO REAL CARGA TERMICA} = \text{CALCULO TOTAL (TON)} \times 1.1$$

El método CLTD/CLF corresponde a un método de 24 horas, gracias a esto, se pueden determinar la carga térmica por hora y determinar cual es la hora pico (hora en la cual el equipo tiene que trabajar mas) y el comportamiento de la carga por hora.

## 2.2 Comparación De Las Cargas Térmicas Instaladas vs. Calculadas

Teniendo el resultado de la carga térmica generada en el local, continuamos con la selección de equipo con la carga térmica calculada y así comparar con los equipos instalados. Recordemos que se hace esto porque lo calculado en el paso anterior fue la carga térmica que se genera en el local, en otras palabras, el calor producido por todos los elementos sometidos a estudios; y ahora, procedemos a hallar un equipo que genere las suficientes toneladas de refrigeración para crear un ambiente de confort en el local.

Para esto, diferentes marcas de aire acondicionados (TRANE, YORK, CARRIER, LG, Etc.) generan cartas psicrométricas propias, donde presentan todas las variables mencionadas anteriormente, pero con una diferencia, incluyen las “curvas del serpentín”; cada una de las marcas

se tomaron el tiempo para probar y calcular como se comporta la TBS y TBH del flujo de aire al pasar por un determinado serpentín de diferentes geometrías, y de otras variables (a condiciones nominales) y los resultados fueron impuestos en la carta psicrométrica, para que el diseñador al realizar los cálculos pueda escoger el equipo más adecuado para su local; como se puede ver en la Fig. 10 donde las líneas purpuras representan curvas de diferentes serpentines de referencia TRANE. Sin embargo para no utilizar una marca en específico, aplicaremos otro método.

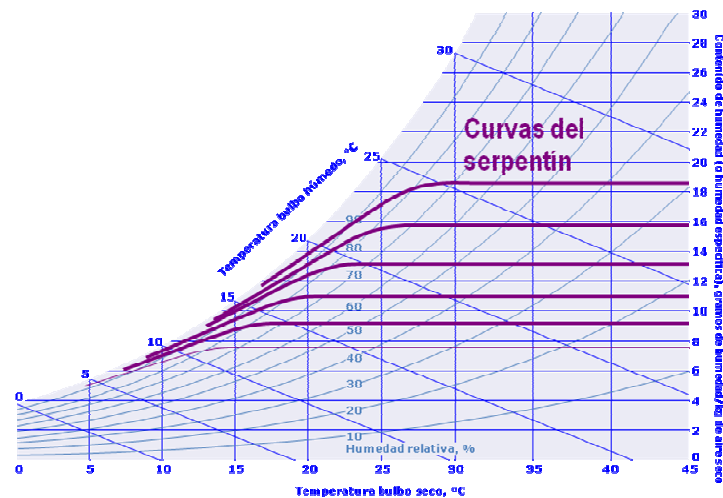


Fig. 10 Carta psicrométrica TRANE

### 2.2.1 Proceso de selección de equipo en la carta psicrométrica

Conociendo las condiciones iniciales y finales (TBS, HR Exterior y TBS, HR Interior), se proceden a colocarse los puntos en la carta psicrométrica:

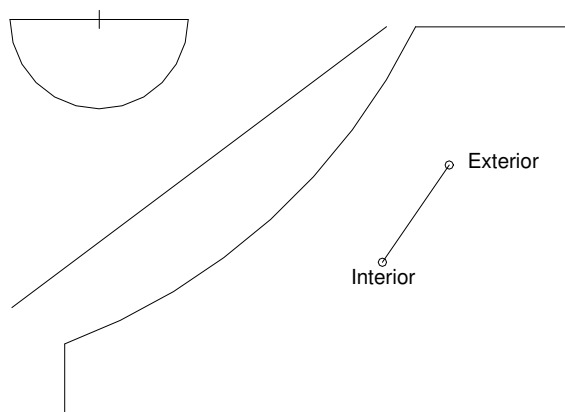


Fig. 11 Ubicación de las condiciones en la carta psicrométrica

Se procede a calcular el SHR (Factor Calor Sensible =  $\frac{\text{Calor Sensible}}{\text{Calor Total}}$ )

El factor de calor sensible, cuya abreviación en inglés es SHR, se refiere a la comparación de ganancia de calor sensible contra ganancia de calor total (calor sensible más calor latente). Enseguida, establezcamos la línea de referencia SHR alineando la marca en la escala con el punto de referencia y trazando una línea desde entre estos dos puntos.

Después, trace una segunda línea, en paralelo con la primera, a través del punto "Interior" que representa las condiciones de diseño del cuarto.

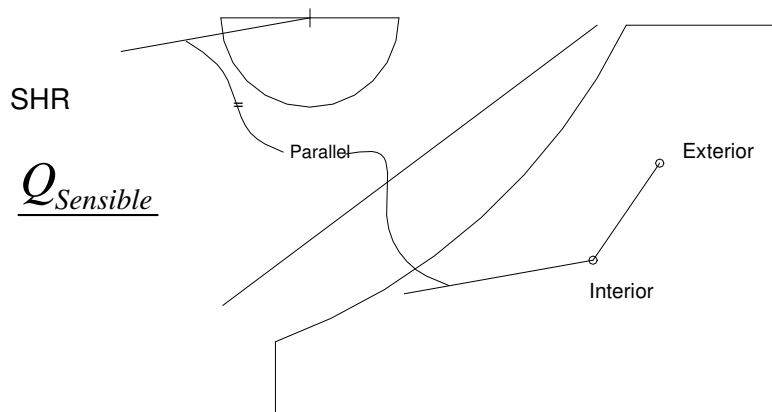


Fig. 12 Trazado del factor de calor sensible en la carta psicrométrica

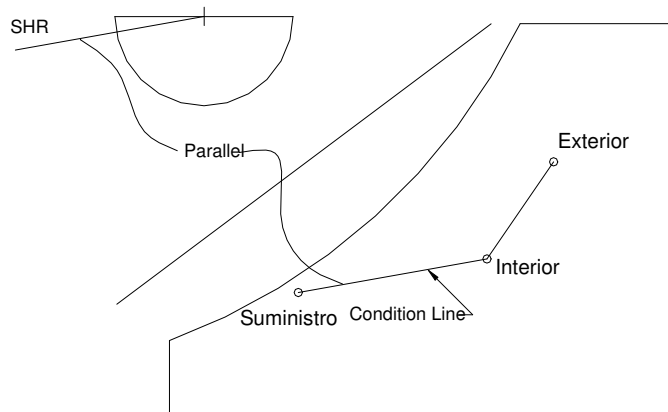
Cualquier punto que este en esta última línea que se trazo puede servir como condición de suministro, la cual puede mantener las condiciones deseadas del cuarto, sin embargo requerirá de diferentes flujos de aire, el cual es un requerimiento de confort. Además, hay q tener en cuenta que el fan-coil es un intercambiador de calor de tubos, y por lo tanto existe una parte del aire que pasa por el serpentín, que toca la superficie de enfriamiento y se enfría por este mecanismo esto se conoce como factor de contacto (FC). La parte del aire que no toca la superficie y no se enfría por este mecanismo se define como el factor de derivación, bypass (FD). De estas definiciones vemos que: **FC + FD = 1**

Donde el factor de contacto se define de la siguiente manera:  $FC = 1 - \frac{TBS_s - TR}{TBS_l - TR}$

Para determinar un punto de suministro, sin necesidad de tener una curva del serpentín de cualquier marca, se debe cumplir las siguientes condiciones:

- 1) debe estar ubicado en la recta trazada anteriormente.
- 2) debe tener una humedad relativa perteneciente al siguiente rango (90% - 100%) y a la vez cumplir con el siguiente rango de temperatura ( $15^{\circ}\text{F} \leq T_{\text{interior}} - T_{\text{suministro}} \leq 30^{\circ}\text{F}$ ).

Cuando se determina el punto de suministro de esta manera, se esta garantizando que el factor de contacto del serpentín de enfriamiento del equipo varíe entre  $< 0.8 - 0.9 >$ , lo cual implica tener un serpentín económico y comercial.



**Fig. 13 Ubicación del punto de suministro en la carta psicrométrica**

Ya identificado estos 3 puntos se procede a llenar la siguiente tabla:

Estado	Entalpia (Btu/lb)	Temperatura (°F)	Volumen Especifico (ft³/lb)
Exterior	$h_E$	$TBS_E$	$v_E$
Interior	$h_I$	$TBS_I$	$v_I$
Suministro	$h_S$	$TBS_S$	$v_S$

**Tabla 4 Propiedades de las condiciones psicrométrica**

Ahora se procede a determinar el flujo de masa que se encuentra en el local:

$$\dot{m}_s = \frac{Q_{Total} \left[ \frac{BTU}{h} \right]}{(h_I - h_S) \left[ \frac{BTU}{lb} \right]} \dots \dots \dots \left[ \frac{lb}{h} \right]$$

Ahora determinaremos el flujo de aire de suministro requerido para mantener un grupo de condiciones de diseño de cuarto.

$$\dot{V}_S = \dot{m}_s \left( \frac{lb}{h} \right) \times v_s \left( \frac{ft^3}{lb} \right) \times \frac{1}{60} \left( \frac{h}{min} \right) \dots \dots \dots [CFM]$$

Ya obtenido el flujo de aire de suministro, procedemos a determinar la carga total del refrigerante a partir de la formula:

$$Q_{Total} = 4,5 \times \dot{V}_S (CFM) \times (h_i - h_s) \left( \frac{BTU}{lb} \right) \dots \dots \dots \left[ \frac{BTU}{h} \right]$$

Donde 4,5 es el resultado de la densidad del aire (0,075 lb/ft<sup>3</sup>) con la conversión de min a horas (60min = 1 h).

Finalmente el resultado se pasa a unidades de toneladas de refrigeración para poder compararse con la carga instalada.

### 2.2.2 Proceso de selección con Mezcla de aire

En caso de que el espacio requiera una mezcla de aire, el diseñador debe determinar la mezcla de aire que se esta produciendo en el fan-coil; para eso, se determina el flujo de aire exterior:

$$\dot{V}_E = \# \text{ Personas} \times F_1 \dots \dots \dots [CFM]$$

Donde F<sub>1</sub> es un factor el cual se obtiene en tablas, en este caso se utiliza la tabla de la ASHRAE Standard 62.

El porcentaje de aire que se está re circulando se determina a partir de la siguiente formula:

$$\%AE = \frac{\dot{V}_E (CFM)}{\dot{V}_{Si} (CFM)} \times 100 \dots \dots \dots [\%]$$

A partir del resultado obtenido se procede a llenar la siguiente tabla:

Estado	Entalpia (Btu/lb)	Temperatura (°F)	Volumen Especifico (ft³/lb)
Exterior	$h_E$	$TBS_E$	$v_E$
Interior	$h_I$	$TBS_I$	$v_I$
Suministro	$h_S$	$TBS_S$	$v_S$
Mezcla	$h_M$	$TBS_M$	$v_M$

Tabla 5 Propiedades de las condiciones psicrométrica

Donde:

$$Mezcla = Interior + [\%AE \times (Exterior - Interior)]$$

Para cualquier punto que necesite, p. ej. si se desea saber la temperatura de mezcla:

$$T_{mezcla} = T_{Interior} + [\%AE \times (T_{Exterior} - T_{interior})]$$

Finalmente

$$Q_{Total} = 4,5 \times \overset{o}{v}_s (CFM) \times (h_M - h_s) \left( \frac{BTU}{lb} \right) \dots \dots \dots \left[ \frac{BTU}{h} \right]$$

El resultado se convierte a Toneladas de Refrigeración y luego comparado con lo instalado.

Como se puede observar, en el calculo del  $Q_{total}$  existe una variación en la diferencia de entalpía, mientras que en el  $Q_{total}$  sin mezcla de aire la diferencia es entre la entalpía del punto interior y el de suministro, en el  $Q_{total}$  con mezcla de aire la diferencia es entre la entalpía del punto de mezcla y el de suministro. Siendo por lo tanto diferentes si se escoge un mismo local con las mismas condiciones, generalmente el resultado con mezcla de aire es mayor.

Conociendo los procesos, procedemos a realizar los cálculos a los locales de nuestro estudio, sin embargo, para no ser repetitivo solamente en este trabajo se presentará lo realizado en un solo local. Para conocer todos los cálculos en todos los locales, remítase al CD entregado con este trabajo.

### 3 CALCULOS

Conociendo los 5 pasos para determinar la carga térmica total en los locales, procedemos a utilizarlos en cada uno de los locales o área de estudio, sin embargo, debido a la gran cantidad de cálculos y de locales, solo se vera el análisis de un solo local:

#### **LABORATORIO DE FÍSICA MECÁNICA.**

Además como solamente nos interesa las horas de comprendida entre las **8 y 17 horas**, las cuales son las horas de mayor actividad en estos locales; los resultados que se presentaran comprenderán en esas horas:

#### **3.1 Condiciones De Diseño**

**Temperatura Exterior:** 94 °F (34.4444 °C)

**80% humedad relativa**

**Temperatura Interior de Diseño:** 75,2 °F (24 °C)

**55% humedad relativa**

**Variación de la temperatura diaria exterior:** 17°F (8.33°C)

**Mes y día de Diseño:** 21 de Julio

**Otras Consideraciones:**

- El laboratorio se tomara como si no estuviera acondicionado; la diferencia de temperatura entre los locales y entre locales y pasillo será de 89 °F (31,67 °C)
- La Carga térmica generada a través del techo es considerada 0, debido que arriba del laboratorio, existe el salón A2-201, el cual se considerará que está en clases (y por lo tanto con aire acondicionado) cada vez que haya clase en el laboratorio

El laboratorio no tendrá cielo raso o cielo falso y tendrán una altura total de 3.25m

### 3.2 Mediciones

#### 3.2.1 Mediciones generales:

- Ancho : 7 m
- Largo : 7 m
- Altura : 3.25m

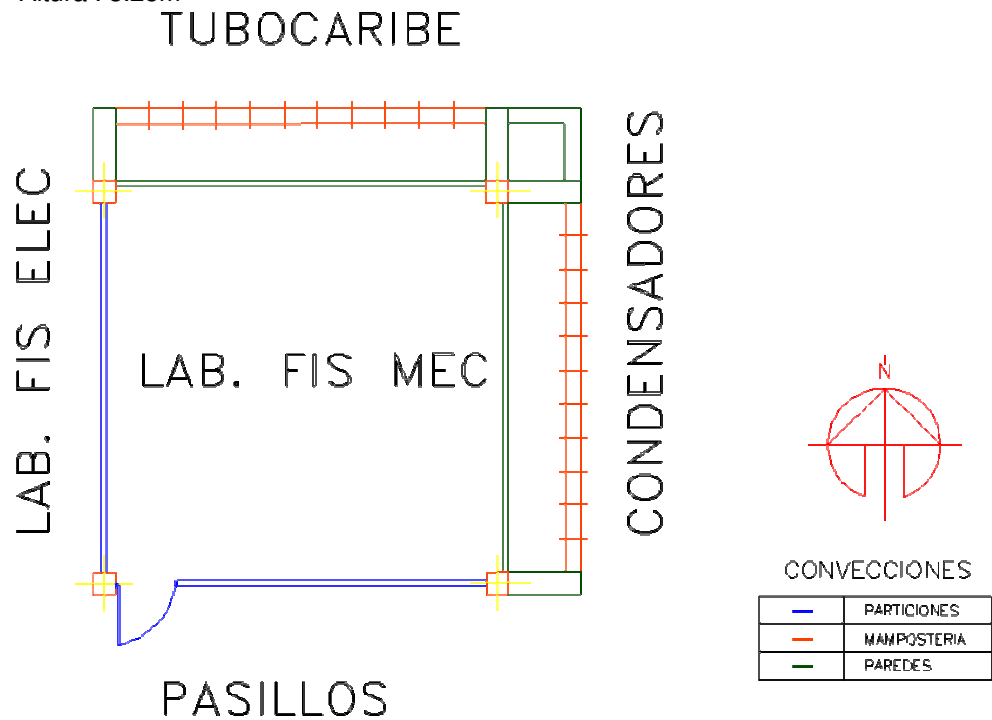


Fig. 14 Diagrama del Laboratorio de Física Mecánica

#### 3.2.1.1 Orientación

Pared	Ancho	Alto	Observaciones
<b>Norte</b>	6,4m	3,25m	Colinda con TUBOCARIBE
<b>Sur</b>	6,4m	3,25m	Colinda con el pasillo del salón de aulas A2
<b>Este</b>	6,4m	3,25m	Colinda con los condensadores ubicados en planta baja
<b>Oeste</b>	6,4m	3,25m	Colinda con el Laboratorio de Física Eléctrica
<b>Cenit</b>	7m	7m	Colinda con el salón A2201
<b>Nadir</b>	7m	7m	Colinda con el Laboratorio de Resistencia de Materiales

Tabla 6 Orientación y medidas del local

El laboratorio esta construido en 4 columnas, las cuales sobresalen de las paredes (30 cm. en toda las direcciones), por lo tanto se debe considerar su cálculo en las 4 direcciones

### 3.2.1.2 Pared norte

La pared norte consta de una pared de bloques de concreto de tamaño nominal (100x200x400) junto con un bloque de concreto de 4in de espesor, contiene 8 ventanas de cristal de 1/8 de espesor y 2 columnas de concreto

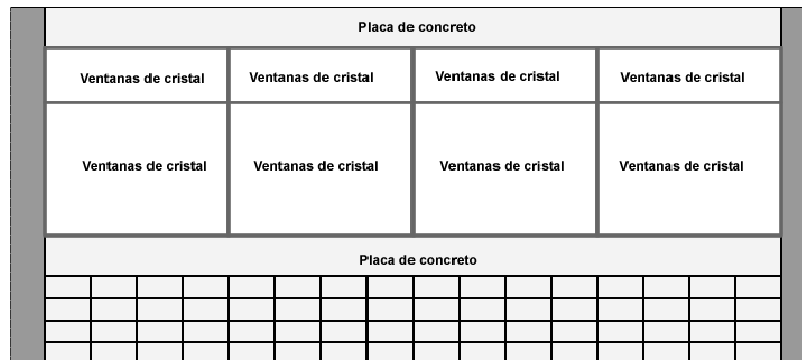


Fig. 15 Diagrama de la Pared Norte del Laboratorio de Física Mecánica

Pared Norte (LAB - Tubocaribe)					Factor U pared Norte		
Ventanas	An (ft)	Al (ft)	Área (ft <sup>2</sup> )	e (in)	Sección	Área (ft <sup>2</sup> )	U [Btu/hxft <sup>2</sup> x°F]
Cristales	4,987	3,937	19,63	1/8	Bloque	65,142	0,408
	4,987	3,937	19,63	1/8	Placa	40,944	0,234
	4,987	3,937	19,63	1/8	Columna	20,989	0,182
	4,987	3,937	19,63	1/8	Ventana	114,353	1,055
	4,987	0,820	4,09	1/8	Cristal	94,892	
	4,987	0,820	4,09	1/8	Centro del vidrio	71,730	1,04
	4,987	0,820	4,09	1/8	Borde del vidrio	23,162	1,04
	4,987	0,820	4,09	1/8	Marco	19,461	1,13
<b>Total Ventanas</b>			<b>94,89</b>				
<b>Marcos Ventanas</b>							
Σ Horizontal	20,997	0,230	4,82				
	20,997	0,230	4,82				
	20,997	0,230	4,82				
Σ Vertical	1,050	3,937	4,13				
	1,050	0,820	0,86				
<b>Total Marcos Ventanas</b>			<b>19,46</b>				
<b>Pared</b>							
Bloque concreto	20,997	3,102	65,14	4			
Placa de Concreto	20,997	1,950	40,94	4			
<b>Total Pared</b>			<b>106,09</b>				
<b>Columna</b>							
Placa de concreto	1,968	10,663	20,99	24			
<b>Total Columna</b>			<b>20,99</b>				

Tabla 7 Información de la pared Norte

### 3.2.1.3 Pared sur

Consta de una división de madera prensada de 1/4 in de espesor y marcos de aluminio de 0.1 in de espesor (aire interior), tiene una placa de concreto de 4 in de espesor en la parte superior, con 11 ventanas de cristal de 1/8 in de espesor y una puerta tipo A.

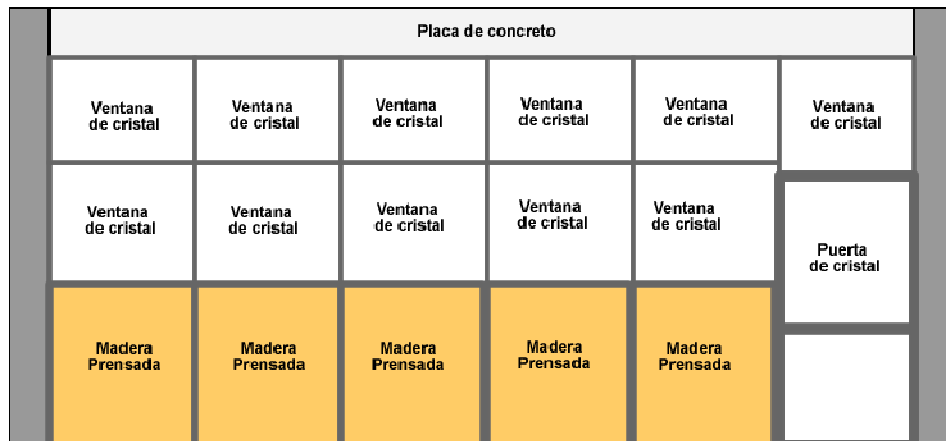


Fig. 16 Diagrama de la Pared Sur del Laboratorio de Física Mecánica

Pared Sur (Lab - Pasillo)				
Ventanas	An (ft)	Al (ft)	Área (ft <sup>2</sup> )	e (in)
Cristales	3,051	2,297	7,01	1/8
	3,166	2,297	7,27	1/8
	3,166	2,297	7,27	1/8
	3,166	2,297	7,27	1/8
	3,051	2,297	7,01	1/8
	3,051	2,526	7,71	1/8
	3,166	2,526	8,00	1/8
	3,166	2,526	8,00	1/8
	3,166	2,526	8,00	1/8
	3,051	2,526	7,71	1/8
	3,051	2,526	7,71	1/8
<b>Total Ventanas</b>			<b>82,94</b>	
Marcos Ventanas				
Σ Horizontal	20,997	0,230	4,82	
	20,997	0,230	4,82	
	17,913	0,230	4,11	
Σ Vertical	2,313	2,297	5,31	
	2,346	2,526	5,93	
<b>Total Marcos Ventanas</b>			<b>19,07</b>	

Factor U pared Sur		
Sección	Área (ft <sup>2</sup> )	U [Btu/hxft <sup>2</sup> x°F]
Madera	59,945	0,595
Marcos Aluminio	12,929	0,150
Placa Concreto	25,197	0,213
Columna	20,989	0,169
Ventana	102,014	1,057
<i>Cristal</i>	82,944	
<i>Centro del vidrio</i>	59,482	1,04
<i>Borde del vidrio</i>	23,462	1,04
<i>Marco</i>	19,070	1,13
Puerta tipo A	21,527	1,069
<i>Cristal</i>	14,587	
<i>Centro del vidrio</i>	10,423	1,04
<i>Borde del vidrio</i>	4,164	1,04
<i>Marco</i>	6,940	1,13

<b>Pared</b>				
Madera prensada	3,051	3,839	11,71	
	3,051	3,839	11,71	
	3,182	3,839	12,22	
	3,166	3,839	12,15	
	3,166	3,839	12,15	
	3,051	3,839	11,71	
<b>Total Pared Madera Prensada</b>	<b>59,94</b>			
<b>Marcos de Aluminio</b>				
Σ Horizontal	17,913	0,230	4,11	0.1
Σ Vertical	2,297	3,839	8,82	0.1
<b>Total Marcos de Aluminio</b>	<b>12,929</b>			
<b>Puerta</b>				
Cristales	2,526	2,100	5,30	$\frac{1}{8}$
	2,526	3,674	9,28	$\frac{1}{8}$
<b>Total Puerta</b>			<b>14,59</b>	
<b>Marcos Puerta</b>				
Σ Horizontal	2,526	0,787	1,99	
Σ Vertical	0,755	6,562	4,95	
<b>Total Marcos Puerta</b>			<b>6,94</b>	
<b>Pared</b>				
Placa de concreto de 4in	20,997	1,2	25,20	4
<b>Total Pared</b>			<b>25,20</b>	
<b>Columna</b>				
Placa de concreto de 24in	1,968	10,663	20,99	24
<b>Total Columna</b>			<b>20,99</b>	

Tabla 8 Información pared Sur

#### 3.2.1.4 Pared este

La pared este consta de una pared de bloques de concreto de tamaño nominal (100x200x400) junto con un bloque de concreto de 4in de espesor, contiene 8 ventanas de cristal de 1/8 de espesor y 2 columnas de concreto



Fig. 17 Diagrama de la Pared Este del Laboratorio de Física Mecánica

Pared Este (Lab - condensadores Planta baja)				
Ventanas	An (ft)	Al (ft)	Área (ft <sup>2</sup> )	e (in)
Cristales	4,593	3,937	18,08	1/8
	4,593	3,937	18,08	1/8
	4,593	3,937	18,08	1/8
	4,593	3,937	18,08	1/8
	4,593	0,820	3,77	1/8
	4,593	0,820	3,77	1/8
	4,593	0,820	3,77	1/8
	4,593	0,820	3,77	1/8
<b>Total Ventanas</b>			<b>87,40</b>	
Marcos Ventanas				
Σ Horizontal	20,997	0,230	4,82	
	20,997	0,230	4,82	
	20,997	0,230	4,82	
Σ Vertical	2,625	3,937	10,33	
	2,625	0,820	2,15	
<b>Total Marcos Ventanas</b>			<b>26,95</b>	
Pared				
Bloque de concreto	20,997	3,102	65,14	4
Placa de Concreto	20,997	1,950	40,94	4
<b>Total Pared</b>			<b>106,09</b>	
Columna				
Placa de concreto	1,968	10,663	20,99	24
<b>Total Columna</b>			<b>20,99</b>	

Factor U pared Este		
Sección	Área (ft <sup>2</sup> )	U [Btu/hxft <sup>2</sup> x°F]
Bloque	65,142	0,408
Placa	40,944	0,234
Columna	20,989	0,182
Ventana cristal claro	114,353	1,061
<i>Cristal</i>	<i>87,401</i>	
<i>Centro del vidrio</i>	<i>65,551</i>	<i>1,04</i>
<i>Borde del vidrio</i>	<i>21,850</i>	<i>1,04</i>
<i>Marco</i>	<i>26,952</i>	<i>1,13</i>

Tabla 9 Información Pared Este

### 3.2.1.5 Pared oeste

La pared oeste consta de una división hecha de madera prensada de 1/4 in de espesor y marcos de aluminio de 0.1in de espesor (aire interior), tiene un bloque de concreto de 4 in de espesor en la parte superior y 12 ventanas de cristal de 1/8 in de espesor.

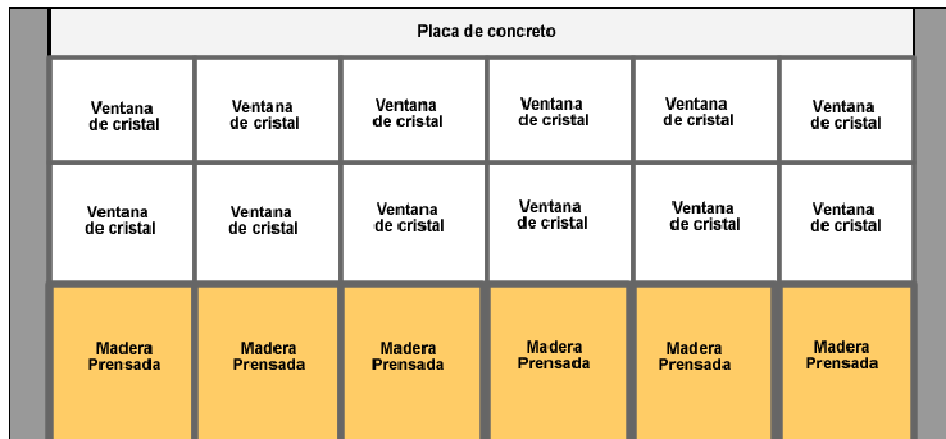


Fig. 18 Diagrama de la Pared Oeste del Laboratorio de Física Mecánica

Pared Oeste (Lab - Lab Física Eléctrica)					Factor U pared Oeste		
Ventanas	An (ft)	Al (ft)	Área (ft <sup>2</sup> )	e (in)	Sección	Área (ft <sup>2</sup> )	U [Btu/hxft <sup>2</sup> x°F]
Cristales	3,084	2,297	7,08	1/8	Madera	73,798	0,595
	3,215	2,297	7,38	1/8	Marcos Aluminio	11,623	0,150
	3,215	2,297	7,38	1/8	Placa Concreto	25,197	0,213
	3,215	2,297	7,38	1/8	Columna	20,989	0,169
	3,215	2,297	7,38	1/8	Ventana	115,731	1,058
	3,281	2,297	7,53	1/8	<i>Cristal</i>	92,720	
	3,084	2,526	7,79	1/8	<i>Centro del vidrio</i>	60,683	1,04
	3,215	2,526	8,12	1/8	<i>Borde del vidrio</i>	32,037	1,04
	3,215	2,526	8,12	1/8	<i>Marco</i>	23,011	1,13
	3,215	2,526	8,12	1/8			
	3,215	2,526	8,12	1/8			
	3,281	2,526	8,29	1/8			
<b>Total Ventanas</b>			<b>92,72</b>				
<b>Marcos Ventanas</b>							
Σ Horizontal	20,997	0,230	4,82				
	20,997	0,230	4,82				
	20,997	0,230	4,82				
Σ Vertical	1,772	2,297	4,07				
	1,772	2,526	4,48				
<b>Total Marcos Ventanas</b>			<b>23,01</b>				

Pared				
Madera prensada	3,084	3,839	11,84	
	3,215	3,839	12,34	
	3,215	3,839	12,34	
	3,215	3,839	12,34	
	3,215	3,839	12,34	
	3,281	3,839	12,59	
<b>Total Pared Madera Prensada</b>			<b>73,80</b>	
Marcos de Aluminio				
$\Sigma$ Horizontal	20,997	0,230	4,82	0.1
$\Sigma$ Vertical	1,772	3,839	6,80	0.1
<b>Total Marcos de Aluminio</b>			<b>11,62</b>	
Pared				
Placa de concreto	20,997	1,2	25,20	4
<b>Total Marcos Puerta</b>			<b>25,20</b>	
Columna				
Placa de concreto	1,968	10,663	20,99	24
<b>Total Columna</b>			<b>20,99</b>	

Tabla 10 Información pared Oeste

### 3.2.1.6 Piso

El piso esta formado de baldosas cerámicas para el acabado del piso, el cual esta sobre una placa de concreto de 12 cm. de espesor, sin ningún material agregado.

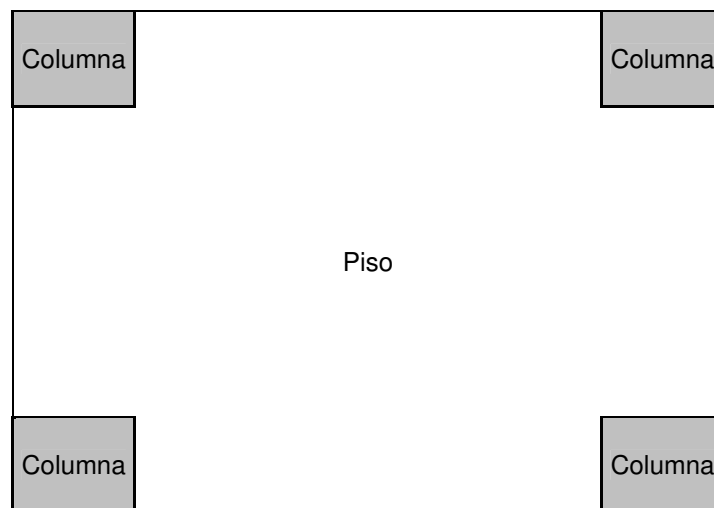


Fig. 19 Diagrama del Piso del Laboratorio de Física Mecánica

Piso					Factor U piso		
Techo	An (ft)	L (ft)	Área (ft <sup>2</sup> )	e (in)	Sección	Área (ft <sup>2</sup> )	U [Btu/hxft <sup>2</sup> x°F]
Bloque de concreto	22,966	22,966	523,54	4	Bloque de concreto	523,54	0,208

Tabla 11 Información Piso

### 3.3 Cálculo De La Carga Térmica

#### 3.3.1 Cargas sensibles

##### 3.3.1.1 Paredes

Las paredes externas en este local son las paredes, norte y este, mientras que las paredes Sur y Oeste son particiones:

#### Características

Las paredes Norte y Este, son de características similares, sus datos son:

Lo que hace variar la carga entre los dos, es el CLTD corregido:

$$CLTD_c = [(CLTD + LM)k + (78 - T_r) + (T_o - 85)]$$

La cual varía en la corrección por latitud y mes LM = 7 (Norte) y LM = -2 (Este) y en el CLTD (Tabla 7, Grupo E).

Los datos: Tr = 75,2; k = 0.65: To = 85,5 son iguales para las dos orientaciones

#### CLTD<sub>c</sub>:

Norte						Este				
Hora Solar	CLTD (Tabla 7)	LM	To	k	CLTD <sub>c</sub>	CLTD (Tabla 7)	LM	To	k	CLTD <sub>c</sub>
9	5	7	85,5	0,65	11,1	18	-2	85,5	0,65	13,7
10	6				11,75	26				18,9
11	7				12,4	33				23,45
12	9				13,7	36				25,4
13	11				15	38				26,7
14	13				16,3	37				26,05
15	15				17,6	36				25,4
16	17				18,9	34				24,1
17	19				20,2	33				23,45

Tabla 12 CLTD Corregido para paredes expuestas al sol

Para determinar la carga térmica en la pared, se suma las cargas térmicas a través de los bloques de concreto y la placa de concreto:

**Norte**

Hora Solar	Bloque de concreto				Placa de concreto			
	U pared	A pared	CLTDc =	q Bloque	U Placa	A Placa	CLTDc	q Placa
9	0,408	65,142	11,1	295,124	0,234	40,944	11,1	106,479
10			11,8	312,406			11,8	112,715
11			12,4	329,688			12,4	118,950
12			13,7	364,252			13,7	131,421
13			15	398,816			15	143,891
14			16,3	433,380			16,3	156,362
15			17,6	467,944			17,6	168,832
16			18,9	502,508			18,9	181,303

Tabla 13 Cálculos pared Norte

**Este**

Hora Solar	Bloque de concreto				Placa de concreto			
	U pared	A pared	CLTDc	q Bloque	U Placa	A Placa	CLTDc	q Placa
9	0,408	65,142	13,7	364,252	0,234	40,944	13,7	131,421
10			18,9	502,508			18,9	181,303
11			23,45	623,482			23,5	224,950
12			25,4	675,328			25,4	243,656
13			26,7	709,892			26,7	256,126
14			26,05	692,610			26,1	249,891
15			25,4	675,328			25,4	243,656
16			24,1	640,764			24,1	231,185

Tabla 14 Cálculos pared Este

Sumando se obtiene la carga térmica a través de la pared, pero no es el total, para obtener el total se debe obtener la carga térmica a través de las columnas y así determinar la carga térmica Total de la pared Norte y Este:

Q columna:					Q Pared			Q PARED NORTE:		
Hora Solar	U columna	A Columna	CLTDc	q columna	q Bloque	q Placa	Q Pared	q columna	q pared	Q total
9	0,182	20,989	11,1	42,399	295,124	106,479	401,603	42,399	401,603	<b>444,002</b>
10			11,75	44,882	312,406	112,715	425,121	44,882	425,121	<b>470,002</b>
11			12,4	47,365	329,688	118,950	448,638	47,365	448,638	<b>496,002</b>
12			13,7	52,330	364,252	131,421	495,672	52,330	495,672	<b>548,003</b>
13			15	57,296	398,816	143,891	542,707	57,296	542,707	<b>600,003</b>
14			16,3	62,261	433,380	156,362	589,742	62,261	589,742	<b>652,003</b>
15			17,6	67,227	467,944	168,832	636,776	67,227	636,776	<b>704,003</b>
16			18,9	72,193	502,508	181,303	683,811	72,193	683,811	<b>756,004</b>

Tabla 15 Cálculos columnas y cálculos finales pared Norte

Q columna:					Q Pared			Q PARED ESTE:		
Hora Solar	U columna	A Columna	CLTDc	q columna	q Bloque	q Placa	q Pared	q columna	q pared	Q total
9	0,182	20,989	13,7	52,334	364,252	131,421	495,672	52,334	495,672	<b>548,007</b>
10			18,9	72,198	502,508	181,303	683,811	72,198	683,811	<b>756,009</b>
11			23,45	89,579	623,482	224,950	848,432	89,579	848,432	<b>938,012</b>
12			25,4	97,028	675,328	243,656	918,984	97,028	918,984	<b>1016,012</b>
13			26,7	101,995	709,892	256,126	966,019	101,995	966,019	<b>1068,013</b>
14			26,05	99,511	692,610	249,891	942,501	99,511	942,501	<b>1042,013</b>
15			25,4	97,028	675,328	243,656	918,984	97,028	918,984	<b>1016,012</b>
16			24,1	92,062	640,764	231,185	871,949	92,062	871,949	<b>964,012</b>

Tabla 16 Columnas y cálculos finales pared Este

### Características

Las paredes Sur y Oeste, son particiones, por lo tanto se utiliza la ecuación:

$$q = U \times A \times TD$$

Temp. 1	89	Temp. 2	75,2	TD = T1-T2	13,8
---------	----	---------	------	------------	------

Los valores de U, A y TD no varían con respecto a las horas ni latitud ni mes, por lo tanto a cualquier hora la carga va ser la misma.

La carga total de la pared será la suma de las cargas de los paneles, marcos, placa, columna y puerta (solo en caso de la pared Sur)

#### PARED SUR

U paneles	A paneles	TD	q paneles
0,595	59,945	13.8	492,445

U Marcos	A Marcos	TD	q Marcos
0,150	12,929	13.8	26,764

U Placa	A Placa	TD	q Placa
0,213	25,197	13.8	73,931

U Columna	A columna	TD	q Columna
0,17	20,989	13.8	48,846

q paneles	q Marcos	q Placa	q Columna	q Total
492,445	26,764	73,931	48,846	641,985

Tabla 17 Carga Pared Sur

#### PARED OESTE

U paneles	A paneles	TD	q paneles
0,595	73,798	13.8	606,245

U Marcos	A Marcos	TD	q Marcos
0,150	11,623	13.8	24,059

U Placa	A Placa	TD	q Placa
0,21	25,197	13.8	73,931

U Columna	A columna	TD	q Columna
0,17	20,989	13.8	48,846

q paneles	q Marcos	q Placa	q Columna	q Total
606,245	24,059	73,931	48,846	753,081

Tabla 18 Carga Pared Oeste

### 3.3.1.2 Techo y piso

Como fue indicado anteriormente el techo tendrá una carga térmica de 0, con respecto al piso se aplicará la formula utilizada para particiones:

$$q = U \times A \times TD$$

Temp. 1	89	Temp. 2	75,2	TD = T1-T2	13,8
---------	----	---------	------	------------	------

Los valores de U, A y TD no varían con respecto a las horas ni latitud ni mes, por lo tanto a cualquier hora la carga va ser la misma.

U Piso	A Piso	TD	Q piso
0,208	523,544	13.8	1502,780

Tabla 19 Carga Piso

### 3.3.1.3 Ventanas

#### Pared Norte

La pared norte está expuesta al sol, por lo tanto, la carga total por ventanas es la suma de las cargas por conducción y por radiación:

#### CONDUCCIÓN

Tipo de ventana:	Vidrio claro de 1/4 in		
U (Btu/[hxf <sup>2</sup> x °F])	1,061	Área (ft <sup>2</sup> )	114,353
Variación de Temperatura diaria Ext. (°F)	17	Mes diseño	Julio
T. Ext. °F	94	T. int. (Tr) °F	75,2
		Text - Tint	18,8

Hora Solar	U	A	CLTDc	CLTD (Tabla 9)	To	q
9	1,061	117,797	3,3		85,5	412,413
10			7,3	4		912,308
11			3,3			412,413
12			12,3	9		1537,177
13			3,3			412,413
14			16,3	13		2037,071
15			3,3			412,413
16			17,3	14		2162,045

Tabla 20 Carga ventanas norte (conducción)

**RADIACION**

Tipo de ventana:	Vidrio claro de 1/4 in (2 tipos de ventanas)				
Área (ft²)			114,353		
Variación de Temperatura diaria Ext. (°F)	17	Mes diseño	Julio		
T. Ext. °F	94	T. int. (Tr) °F	75,2	Text - Tint	18,8

Hora Solar	A	SC (Cap. 26)	SHGF (Tabla 10)	CLF (Tabla 11 o 12)	q
9	114,353	1	77	0,52	4716,607
10				0,59	5351,535
11				0,65	5895,758
12				0,7	6349,278
13				0,73	6621,390
14				0,75	6802,798
15				0,76	6893,502
16				0,74	6712,094

**Tabla 21 Carga ventanas norte (radiación)**

**Pared Este**

La pared este está expuesta al sol, por lo tanto, la carga total por ventanas es la suma de las cargas por conducción y por radiación:

**CONDUCCIÓN**

Tipo de ventanería:	Vidrio claro de 1/4 in				
U (Btu/[hxf <sup>2</sup> x°F])	1,061	Área (ft²)	114,353		
Variación de Temperatura diaria Ext. (°F)	17	Mes diseño	Julio		
T. Ext. °F	94	T. int. (Tr) °F	75,2	Text - Tint	18,8

Hora Solar	U	A	CLTDc	CLTD (Tabla 9)	To	q
9	1,061	117,797	3,3		85,5	<b>412,413</b>
10			7,3	4		<b>912,308</b>
11			3,3			<b>412,413</b>
12			12,3	9		<b>1537,177</b>
13			3,3			<b>412,413</b>
14			16,3	13		<b>2037,071</b>
15			3,3			<b>412,413</b>
16			17,3	14		<b>2162,045</b>

**Tabla 22 Carga ventanas Este (conducción)**

RADIACION

Tipo de ventanería:	Vidrio claro de 1/4 in				
Área (ft²)			114,353		
Variación de Temperatura diaria Ext. (°F)		17	Mes diseño	Julio	
T. Ext. °F	94	T. int. (Tr) °F	75,2	Text - Tint	18,8

Hora Solar	A	SC (Cap. 26)	SHGF (Tabla 10)	CLF (Tabla 11 o 12)	q
9	114,353	1	204	0,5	12015,33
10				0,51	12255,64
11				0,45	10813,8
12				0,39	9371,959
13				0,35	8410,732
14				0,32	7689,812
15				0,29	6968,892
16				0,26	6247,973

Tabla 23 Carga ventanas Este (radiación)

**Pared Sur**

La carga total de las ventanas en esta pared, es solamente por conducción ya que, las ventanas no tienen contacto directo con el sol

Tipo de ventana:	Vidrio claro de 1/4 in (2 tipos de ventanas)				
U (Btu/[hxft²x°F])		1,057		Área (ft²)	102,014
Variación de Temperatura diaria Ext. (°F)		17	Mes diseño	Julio	
T. Ext. °F	89	T. int. (Tr) °F	75,2	Text - Tint	18,8

Para casos en el cual  $T_o < 85$ , se aplica lo siguiente:

$$CLTD_c = CLTD + (78 - Tr) + (85 - T_o)$$

Hora Solar	U	A	CLTD <sub>c</sub>	CLTD (Tabla 9)	T <sub>o</sub>	q
9	1,057	102,014	3,3		85,5	<b>355,776</b>
10	1,057	102,014	7,3	4	85,5	<b>787,020</b>
11	1,057	102,014	3,3		85,5	<b>355,776</b>
12	1,057	102,014	12,3	9	85,5	<b>1326,075</b>
13	1,057	102,014	3,3		85,5	<b>355,776</b>
14	1,057	102,014	16,3	13	85,5	<b>1757,319</b>
15	1,057	102,014	3,3		85,5	<b>355,776</b>
16	1,057	102,014	17,3	14	85,5	<b>1865,130</b>

Tabla 24 Carga ventanas Sur

### Pared Oeste

La carga total de las ventanas en esta pared, es solamente por conducción ya que, las ventanas no tienen contacto directo con el sol

Tipo de ventanería:		Vidrio claro de 1/4 in			
U (Btu/[hxft <sup>2</sup> x °F])		1,057		Área (ft <sup>2</sup> )	102,014
Variación de Temperatura diaria Ext. (°F)		17		Mes diseño	Julio
T. Ext. °F	89	T. Int (Tr) °F	75,2	Text - Tint	18,8

Hora Solar	U	A	CLTDc	CLTD (Tabla 9)	To	q
9	1,058	115,731	3,3		85,5	404,022
10			7,3	4		893,746
11			3,3			404,022
12			12,3	9		1505,900
13			3,3			404,022
14			16,3	13		1995,624
15			3,3			404,022
16			17,3	14		2118,055

Tabla 25 Carga ventanas Oeste

### 3.3.1.4 Puerta

Debido que esta puerta esta compuesta de vidrio completamente con marcos de aluminio (Tipo A), el cálculo para determinar la carga térmica será del método para determinarlo a través de ventanas; y por su ubicación solamente la carga es causado por conducción:

Tipo de ventana:		Vidrio claro de 1/4 in			
U (Btu/[hxft <sup>2</sup> x °F])		1,069		Área (ft <sup>2</sup> )	21,527
Variación de Temperatura diaria ext. (°F)		17		Mes diseño	Julio
T. Ext. °F	94	T. Int (Tr) °F	75,2	Text - Tint	18,8

Hora Solar	U	A	CLTDc =	CLTD (Tabla 9)	To	q
9	1,069	21,527	3,3		85,5	75,943
10			7,3	4		167,995
11			3,3			75,943
12			12,3	9		283,060
13			3,3			75,943
14			16,3	13		375,112
15			3,3			75,943
16			17,3	14		398,125

Tabla 26 Carga puerta

### 3.3.1.5 Luces

En este laboratorio, se encuentran 12 lámparas fluorescentes, 6 en montajes dobles las cuales tienen una potencia nominal de 39W individualmente, por lo tanto el cálculo es:

Tipo de Luces	Luces Fluorescentes
Potencia en vatios Total	468
CLF	1
Fsa	1.18

Las luces permanecen encendidas solamente cuando el aire es utilizado, por lo tanto Ful = 1 a partir de las 9 hasta las 16, por lo tanto la carga térmica por luces es:

Hora Solar	W.	CLF	Ful	Fsa	q
1 a 8 y 17a 24	468	1	0	1,18	0
9 a 16	468	1	1	1,18	1883,1384

Tabla 27 Carga Luces

### 3.3.1.6 Personas

La actividad más rigurosa que se aplica en este laboratorio es equivalente a los trabajos de un banco (ver tabla 16 Cap. 25 del libro ASHRAE 1977 Fundamentos). La capacidad máxima que puede tener este laboratorio es de 20 personas, teniendo esto el cálculo se determina:

Número máximo de personas	10
Grado de actividad	Media
Tipo de Aplicación	Realizando laboratorios
Temp. del espacio °F	75,2
CLF	1
Ganancia de Calor Btu/h Sensible (por personas)	315

Hora Solar	CLF	Factor de Ocupación	qsensible (Btu/h)
1 a 8 y 17a 24	1	0	0
9 a 16	1	1	3150

Tabla 28 Carga Personas (calor sensible)

### 3.3.1.7 Equipos

Los Equipos que se encuentran en el laboratorio son:

Equipo	Cant
Cronometro electrónico	1
Modulo de adquisición de datos	1
fuelle de voltaje	1
Generador de señales	1

Tabla 29 Equipos del laboratorio

Estos equipos son usados muy poco en el laboratorio, por lo tanto no se considerara su cálculo.

### 3.3.1.8 Infiltraciones

El cálculo por infiltraciones que se va a realizar es solamente por la entrada y salida de aire al abrirse la puerta:

m <sup>3</sup> /h por m <sup>2</sup>	82	Referencia	Puerta Cristal
A puerta m <sup>2</sup>	2	CFM	96,53
T. Ext. °F	94	T. int. (Tr) °F	75,2
H. relativa Ext.	80	H. relativa int.	55
Variación de Temperatura (°F)			18,8

El siguiente cálculo se da las 24h

cfm	$\Delta T$	q sensible
96,53	18,8	1996,174

Tabla 30 Cargas infiltraciones (calor sensible)

3.3.1.9 Corrección calor sensible

Lf (ft)	91,862			UxA
A bloque Norte (ft <sup>2</sup> )	65,142	U (Btu/[hxft <sup>2</sup> x °F])	0,408	26,588
A placa Norte (ft <sup>2</sup> )	40,944	U (Btu/[hxft <sup>2</sup> x °F])	0,234	9,593
A columna Norte (ft <sup>2</sup> )	20,989	U (Btu/[hxft <sup>2</sup> x °F])	0,182	3,820
A Ventanas Norte (ft <sup>2</sup> )	117,797	U (Btu/[hxft <sup>2</sup> x °F])	1,055	124,276
A bloque Este (ft <sup>2</sup> )	65,142	U (Btu/[hxft <sup>2</sup> x °F])	0,408	26,588
A placa Este (ft <sup>2</sup> )	40,944	U (Btu/[hxft <sup>2</sup> x °F])	0,234	9,593
A columna Este (ft <sup>2</sup> )	20,989	U (Btu/[hxft <sup>2</sup> x °F])	0,182	3,820
A Ventanas Este (ft <sup>2</sup> )	117,797	U (Btu/[hxft <sup>2</sup> x °F])	1,061	124,974
A paneles Sur (ft <sup>2</sup> )	59,945	U (Btu/[hxft <sup>2</sup> x °F])	0,595	35,684
A marcos Sur (ft <sup>2</sup> )	12,929	U (Btu/[hxft <sup>2</sup> x °F])	0,150	1,939
A placa Sur (ft <sup>2</sup> )	25,197	U (Btu/[hxft <sup>2</sup> x °F])	0,213	5,357
A columna Sur (ft <sup>2</sup> )	20,989	U (Btu/[hxft <sup>2</sup> x °F])	0,169	3,540
A Ventanas Sur (ft <sup>2</sup> )	102,014	U (Btu/[hxft <sup>2</sup> x °F])	1,057	107,811
A paneles Oeste (ft <sup>2</sup> )	73,798	U (Btu/[hxft <sup>2</sup> x °F])	0,595	43,931
A marcos Oeste (ft <sup>2</sup> )	11,623	U (Btu/[hxft <sup>2</sup> x °F])	0,150	1,743
A placa Oeste (ft <sup>2</sup> )	25,197	U (Btu/[hxft <sup>2</sup> x °F])	0,213	5,357
A columna Oeste (ft <sup>2</sup> )	20,989	U (Btu/[hxft <sup>2</sup> x °F])	0,169	3,540
A ventanas Oeste (ft <sup>2</sup> )	115,731	U (Btu/[hxft <sup>2</sup> x °F])	1,058	122,431
A puertas (ft <sup>2</sup> )	21,527	U (Btu/[hxft <sup>2</sup> x °F])	1,07	23,013
Fc	0,851	Kt (Btu/[hxftx °F])	7,44	

Tabla 31 Corrección calor sensible

### 3.3.1.10 Cargas sensibles en el LAB. Física mecánica

Para determinar la carga térmica sensible en el laboratorio de física mecánica, se sumas todas las cargas halladas anteriormente, pero, antes de eso, las cargas de las paredes externas, las particiones, la puerta, el piso, las ventanas y las misceláneas, deben ser multiplicadas por el factor de corrección Fc.

LUCES				PERSONAS		
Hora Solar	Luces	Fc	Carga Luces	Personas	Fc	Carga Personas
9	1883,138	0,851	1602,870	3150,000	0,851	2681,183
10	1883,138	0,851	1602,870	3150,000	0,851	2681,183
11	1883,138	0,851	1602,870	3150,000	0,851	2681,183
12	1883,138	0,851	1602,870	3150,000	0,851	2681,183
13	1883,138	0,851	1602,870	3150,000	0,851	2681,183
14	1883,138	0,851	1602,870	3150,000	0,851	2681,183
15	1883,138	0,851	1602,870	3150,000	0,851	2681,183
16	1883,138	0,851	1602,870	3150,000	0,851	2681,183

Tabla 32 Corrección por calor sensible en cargas misceláneas

PARED NORTE

PARED SUR

PARED ESTE

Hora Solar	Pared Norte	Fc	Carga Pared Norte	Pared Sur	Fc	Carga Pared Sur	Pared Este	Fc	Carga Pared Este
9	444,002	0,851	377,921	641,985	0,851	546,438	548,003	0,851	466,443
10	470,002	0,851	400,052	641,985	0,851	546,438	756,004	0,851	643,487
11	496,002	0,851	422,182	641,985	0,851	546,438	938,005	0,851	798,401
12	548,003	0,851	466,443	641,985	0,851	546,438	1016,005	0,851	864,792
13	600,003	0,851	510,704	641,985	0,851	546,438	1068,005	0,851	909,053
14	652,003	0,851	554,965	641,985	0,851	546,438	1042,005	0,851	886,923
15	704,003	0,851	599,226	641,985	0,851	546,438	1016,005	0,851	864,792
16	756,004	0,851	643,487	641,985	0,851	546,438	964,005	0,851	820,531

PARED OESTE

PISO

Hora Solar	Pared Oeste	Fc	Carga Pared Oeste	Piso	Fc	Carga Piso
9	753,081	0,851	640,999	1502,780	0,851	1279,120
10	753,081	0,851	640,999	1502,780	0,851	1279,120
11	753,081	0,851	640,999	1502,780	0,851	1279,120
12	753,081	0,851	640,999	1502,780	0,851	1279,120
13	753,081	0,851	640,999	1502,780	0,851	1279,120
14	753,081	0,851	640,999	1502,780	0,851	1279,120
15	753,081	0,851	640,999	1502,780	0,851	1279,120
16	753,081	0,851	640,999	1502,780	0,851	1279,120

Tabla 33 Corrección por calor sensible en paredes y piso

VENTANA NORTE (CONDUCCION + RADIACION)				VENTANAS SUR CONDUCCION			VENTANA ESTE (CONDUCCION + RADIACION)		
Hora Solar	Ventanas Norte (C+R)	Fc	Carga Ventana Norte	Ventanas Sur ( C )	Fc	Carga Ventana Sur	Ventanas Este (C+R)	Fc	Carga Ventana Este
9	5129,020	0,851	4365,665	355,776	0,851	302,826	12427,745	0,851	10578,116
10	6263,843	0,851	5331,591	787,020	0,851	669,887	13167,947	0,851	11208,153
11	6308,172	0,851	5369,322	355,776	0,851	302,826	11226,212	0,851	9555,408
12	7886,455	0,851	6712,709	1326,075	0,851	1128,714	10909,135	0,851	9285,522
13	7033,803	0,851	5986,958	355,776	0,851	302,826	8823,146	0,851	7509,991
14	8839,870	0,851	7524,226	1757,319	0,851	1495,776	9726,884	0,851	8279,225
15	7305,915	0,851	6218,571	355,776	0,851	302,826	7381,306	0,851	6282,741
16	8874,139	0,851	7553,396	1865,130	0,851	1587,541	8410,018	0,851	7158,349

VENTANA OESTE				PUERTA (CONDUCCION)		
Hora Solar	Ventanas Oeste ( C )	Fc	Carga Ventana Oeste	Puerta	Fc	Carga Puerta
9	404,022	0,851	343,891	75,943	0,851	64,640
10	893,746	0,851	760,729	167,995	0,851	142,992
11	404,022	0,851	343,891	75,943	0,851	64,640
12	1505,900	0,851	1281,776	283,060	0,851	240,932
13	404,022	0,851	343,891	75,943	0,851	64,640
14	1995,624	0,851	1698,614	375,112	0,851	319,284
15	404,022	0,851	343,891	75,943	0,851	64,640
16	2118,055	0,851	1802,824	398,125	0,851	338,872

Tabla 34 Corrección por calor sensible en ventanas y puertas

**CARGAS SENSIBLES DEL LABORATORIO DE FISICA MECANICA**

Hora Solar	Carga Pared Norte	Carga Pared Sur	Carga Pared Este	Carga Pared Oeste	Carga Piso	Carga Ventana Norte	Carga Ventana Sur	Carga Ventana Este	Carga Ventana Oeste	Carga Puerta	Carga Luces	Carga Personas	Carga Infiltración	Cargas Sensibles
9	377,92	546,44	466,45	641,00	1279,12	4365,66	302,83	10578,12	343,89	64,64	1602,87	2681,18	1996,17	25246,29
10	400,05	546,44	643,49	641,00	1279,12	5331,59	669,89	11208,15	760,73	142,99	1602,87	2681,18	1996,17	27903,68
11	422,18	546,44	798,41	641,00	1279,12	5369,32	302,83	9555,41	343,89	64,64	1602,87	2681,18	1996,17	25603,46
12	466,44	546,44	864,80	641,00	1279,12	6712,71	1128,71	9285,52	1281,78	240,93	1602,87	2681,18	1996,17	28727,68
13	510,70	546,44	909,06	641,00	1279,12	5986,96	302,83	7509,99	343,89	64,64	1602,87	2681,18	1996,17	24374,86
14	554,97	546,44	886,93	641,00	1279,12	7524,23	1495,78	8279,23	1698,61	319,28	1602,87	2681,18	1996,17	29505,81
15	599,23	546,44	864,80	641,00	1279,12	6218,57	302,83	6282,74	343,89	64,64	1602,87	2681,18	1996,17	23423,48
16	643,49	546,44	820,54	641,00	1279,12	7553,40	1587,54	7158,35	1802,82	338,87	1602,87	2681,18	1996,17	28651,79

Tabla 35 Total Cargas Sensibles

En la tabla anterior se resalto la hora 14 la cual es la que mayor carga tiene, por lo tanto es considerada como **la hora pico**

Las unidades en la cual se determina la carga son en Btu/h

### 3.3.2 Cargas latentes

#### 3.3.2.1 Personas

El cálculo de cargas latentes por persona es:

Número máximo de personas	10
Grado de actividad	Media
Tipo de Aplicación	Realizando laboratorios
Temp del espacio °F	75,2
Ganancia de Calor Btu/h Latente (Por personas)	325

Hora Solar	CLF	Factor de Ocupación	qlatente (Btu/h)
1 a 8 y 17a 24	1	0	0
9 a 16	1	0	3250

Tabla 36 Cargas Personas (Calor Latente)

#### 3.3.2.2 Infiltraciones

m <sup>3</sup> /h por m <sup>2</sup>	82	Referencia	Puerta Cristal
A puerta m <sup>2</sup>	2	CFM	96,53
T. Ext. °F	94	T. Int (Tr) °F	75,2
H. relativa Ext.	80	H. relativa Int	55
W. Ext. lbw/lba	0,02814	W. Int lbw/lba	0,0103
Variación de la humedad (lbw/lba)			0,01785

El siguiente cálculo se da las 24h

cfm	$\Delta W$	qlatente (Btu/h)
96,53	0,01785	8338,635

Tabla 37 Cargas Infiltraciones (Calor Latente)

### 3.3.2.3 Cargas latentes en el lab. Física mecánica

Hora Solar	Carga Personas	Carga Infiltración	Cargas Latentes
9	3250	8338,635	11588,635
10	3250	8338,635	11588,635
11	3250	8338,635	11588,635
12	3250	8338,635	11588,635
13	3250	8338,635	11588,635
14	3250	8338,635	11588,635
15	3250	8338,635	11588,635
16	3250	8338,635	11588,635

Tabla 38 Total Cargas Latentes

En la tabla anterior la hora 14 es la que mayor carga tiene, por lo tanto es considerada como **la hora pico**

Las unidades en la cual se determina la carga son en Btu/h

### 3.3.3 Calculo de la carga en el laboratorio de física mecánica

Hora Solar	Total Cargas sensibles	Total Cargas Latentes	CARGA TÉRMICA (Btu/h)
9	25246,291	11588,635	36834,925
10	27903,681	11588,635	39492,316
11	25603,461	11588,635	37192,096
12	28727,680	11588,635	40316,315
13	24374,856	11588,635	35963,491
14	29505,805	11588,635	41094,440
15	23423,480	11588,635	35012,115
16	28651,791	11588,635	40240,426

Tabla 39 Carga Térmica Total en el Lab. Fis. Mec

Teniendo en cuenta la hora pico (la cual esta resaltada), la carga térmica que se está generando en el Laboratorio es de 41094,44 BTU/hr, para cumplir con la máxima demanda que se puede generar en este local, se procede a calcular que tipo de equipo se debe colocar en el local.

Para resumir, se presenta la siguiente tabla la cual presenta cada uno de los locales con sus respectivas cargas a las horas estipulada y presentando un gran total de Carga Térmica para este

piso. Esto se hace, debido a la gran cantidad de cálculos que se tienen que realizar a cada uno de los 10 locales, además los cálculos serían los mismos que los realizados en el Laboratorio de Física Mecánica, con simple diferencia en orientación, medidas, ocupación y actividad, condiciones que no cambian las ecuaciones para el cálculo de la carga térmica.

**Para tener en cuenta:** Los locales, Sala de computo, Laboratorio Electrónica Análoga y COMPUCOLOR, son locales que están todo el día con los equipos de aire acondicionado encendido, por lo tanto cualquier local que colinde con algunos de los locales mencionados anteriormente, tendrá una carga térmica de cero (0) desde su posición hacia el local colindante, sin embargo, esta situación no es igual para los locales mencionados hacia sus locales colindante, esto es debido que, se supone que la diferencia de temperatura entre el local colindante y uno de los mencionados será de cero (0) por que tendrán la misma temperatura, por lo tanto la carga térmica es cero (0). Por ejemplo: las cargas por particiones desde el laboratorio de Física Eléctrica hacia la Sala de Computo es cero (0); debido que el equipo de la Sala de Computo siempre permanecerá encendido y la temperatura de la sala (75 °F) será igual a la del Laboratorio e Física Eléctrica (75 °F), la diferencia de temperatura será de cero (0) y por lo tanto el calor generado desde la Sala al Laboratorio ( $q = U \times A \times TD$ ) será de cero (0), sin embargo, el equipo del Laboratorio de Física Eléctrica solo se encenderá cuando exista practicas en el Laboratorio (unas 3 o 4 veces a la semana), debido a esto la temperatura permanecerá mayor a la de la Sala (89° F) y por lo tanto el calor generado por particiones, desde el Laboratorio hacia la Sala ( $q = U \times A \times TD$ ) no será igual a cero (0).

### 3.4 Cálculo De Carga Térmica En Los Locales Del Piso 1

Hora Solar	LAB FIS MEC	LAB FIS Elec.	Sala Computo	Oficinas	LAB Elec. Análoga	LAB Telecom	LAB Control	COMPUCOLOR	Oficina Hemiciclo	SAI	CARGA TOTAL A2 1
9	3,07	4,30	3,26	1,26	3,94	2,33	2,91	1,62	0,99	0,69	24
10	3,29	4,49	3,48	1,30	4,09	2,39	3,10	1,71	1,01	0,73	26
11	3,10	4,39	3,39	1,27	3,98	2,37	2,93	1,64	0,99	0,70	25
12	3,36	4,74	3,77	1,35	4,29	2,48	3,16	1,86	1,04	0,79	27
13	3,00	4,45	3,67	1,32	4,09	2,60	2,83	1,73	1,03	0,71	25
14	3,42	4,91	4,48	1,49	4,69	3,04	3,21	2,11	1,25	0,85	29
15	2,92	4,47	4,30	1,47	4,46	3,20	2,73	1,95	1,22	0,74	27
16	3,35	4,95	4,95	1,65	5,11	3,50	3,11	2,35	1,32	0,90	31

Tabla 40 Carga térmica por local y por hora en el piso 1 del edificios de aulas A2

### 3.5 Comparación Carga Instalada Vs. Carga Calculada – Lab. Fis. Mecánica

Datos iniciales:

Condiciones Exteriores

TBS= 94 °F; HR= 80%

Condiciones Interiores

TBS=75,2°F; HR=55%

$$\text{Factor de Calor Sensible (SHR)} = SHR = \frac{Q_{sensible}}{Q_{Total}} = \frac{29505,805}{41094,440} \Rightarrow SHR = 0,72$$

Se colocan los datos de condiciones exteriores e interiores y se traza la recta desde el SHR dado hacia la línea de condición estándar. Se traza una línea paralela a la trazada anteriormente, iniciando en el punto de condiciones interiores y terminando en la línea de saturación, hay q tener en cuenta que esta línea **debe** cruzar la línea de saturación, si no lo cruza, el proceso no se puede llevar a cabo. Existen soluciones como utilizar un recalentador en el proceso para que pueda aumentar un poco la temperatura y así llegar a la línea de saturación.

Teniendo en cuenta lo anterior y las condiciones para hallar el punto de suministro, se determina que las condiciones de suministro son:

**Condiciones Suministro** TBS=52,05°F; HR=90%

**Temperatura de Rocío del Aparato** = 49,212°F

El punto de suministro tiene una HR=90% por lo tanto cumple con la condición 1

Condición 2 >  $T_{Interior} - T_{Su\ min\ istro} = 75,2 - 52,05 = 23,2$  Lo cual cumple con la condición 2

$$\text{Determinando el factor de contacto: } FC = \frac{75,2 - 49,2}{52,05 - 49,2} \Rightarrow FC = 0,89$$

El factor de contacto nos indica que el serpentín a escoger es comercial.

Ya comprobando que la condición de suministro es la adecuada se procede a llenar la tabla

Estado	Entalpía (Btu/lb)	Temperatura (°F)	Volumen Especifico (ft³/lb)
Exterior	53,59	94,0	14,58
Interior	29,31	75,2	13,70
Suministro	23,21	56,7	13,20

Tabla 41 Propiedades de las condiciones psicrométrica Lab. Fis. Mec.

Y se procede a determinar el flujo de masa, el flujo de aire y la carga total del proceso.

#### Flujo de Masa ( $\dot{m}$ )

$$\dot{m}_s = \frac{41094,44}{(29,31 - 20,55)} = 6742,32 \left[ \frac{lb}{h} \right]$$

#### Flujo de Aire ( $\dot{V}$ )

$$\dot{V}_s = 6742,32 \times 13,20 \times \frac{1}{60} = 1483,09 [CFM]$$

#### Carga Total ( $Q_{Total}$ )

$$Q_{Total} = 4,5 \times 1483,09 \times (29,31 - 20,55) = 40677,332 \left[ \frac{BTU}{h} \right]$$

Y en Tonelada de refrigeración nos da: **3,39Ton de refrigeración**

Para terminar se le agrega un factor de diseño, el cual es dado por el diseñador en este caso el factor de diseño es del 10% lo cual nos da una carga térmica de: 3,73 Ton de Refrigeración.

Comparándolo con la capacidad instalada:

Laboratorio Física Mecánica	
UMA Instalada	
Código	UMA-DX-48-A2-101-01-030
Serie	6099D46030
Carga Instalada	4
Carga Calculada Ton	
	3,73

Tabla 42 Comparación calculado vs instalado Lab. Fis. Mec.

El proceso en el diagrama psicrométrico se muestra en la Fig.14. Así, como se realizó en el laboratorio de Física Mecánica, se realiza en los diferentes locales, y el resultado se muestra a continuación:



**PSYCHROMETRIC CHART**  
© 2003 AMERICAN STANDARD INC.  
BAROMETRIC PRESSURE: 29.921 in. HG

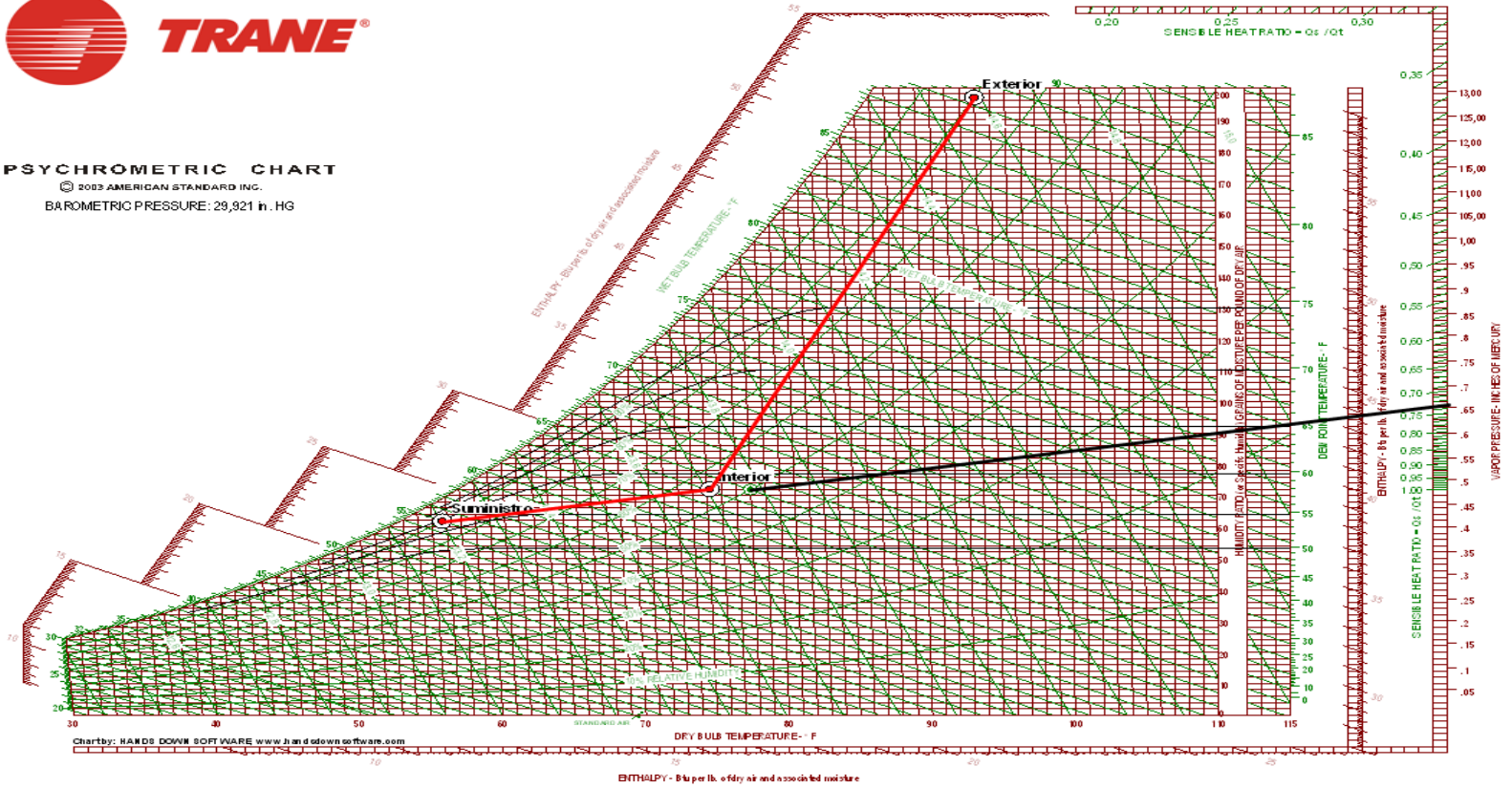


Fig. 20 Diagrama Psicrométrico proceso en el Laboratorio de Física Mecánica

### 3.6 Comparación Carga Instalada Vs. Carga Calculada – Locales

<b>LAB FIS Eléctrica</b>	
<b>UMA Instalada</b>	
Código	UMA-DX-48-A2-102-01-031
Serie	6098K40769
Carga Instalada	4
<b>Carga Calculada Ton</b>	
5,44	

<b>Sala Computo</b>	
<b>UMA Instalada</b>	
Código	UMA-DX-48-A2-103-01-032
Serie	
Carga Instalada	4
<b>Carga Calculada Ton</b>	
5,45	

<b>Oficinas</b>	
<b>UMA Instalada</b>	
Código	UMA-DX-36-A2-104-01-033
Serie	
Carga Instalada	3
<b>Carga Calculada Ton</b>	
1,82	

<b>LAB Elec. Análoga</b>	
<b>UMA Instalada</b>	
Código	UMA-DX-48-A2-105-01-034
Serie	6098K40768
Carga Instalada	4
<b>Carga Calculada Ton</b>	
5,62	

<b>LAB Telecom</b>	
<b>UMA Instalada</b>	
Código	UMA-DX-48-A2-106-01-035
Serie	6099D48028
Carga Instalada	4
<b>Carga Calculada Ton</b>	
3,85	

<b>LAB Control</b>	
<b>UMA Instalada</b>	
Código	UMA-DX-48-A2-107-01-036
Serie	
Carga Instalada	4
<b>Carga Calculada Ton</b>	
3,53	

<b>COMPUCOLOR</b>	
<b>UMA Instalada</b>	
Código	
Serie	
Carga Instalada	0
<b>Carga Calculada Ton</b>	
2,58	

<b>Oficina Hemiciclo</b>	
<b>UMA Instalada</b>	
Código	
Serie	
Carga Instalada	0
<b>Carga Calculada Ton</b>	
1,45	

<b>SAI</b>	
<b>UMA Instalada</b>	
Código	
Serie	
Carga Instalada	0
<b>Carga Calculada Ton</b>	
0,99	

Tabla 43 Comparación calculado vs instalado piso 1 edificio A2

## 4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

### 4.1 Análisis De Locales Del Piso 1 Edificio De Aulas 2 De La UTB

Los resultados de los cálculos de la ganancia de calor de todos los locales, se presentan en los siguientes grupos; Cargas Externas, Cargas Internas y Cargas por Infiltraciones en la tabla 44:

Locales \ Cargas	Carga Exterior	Carga Interior	Cargas Infiltraciones	TOTAL
	(TR)	(TR)	(TR)	(TR)
Laboratorio Física Mecánica	1,94	0,63	0,86	<b>3,42</b>
Laboratorio Física Eléctrica	1,12	2,91	0,81	<b>4,84</b>
Sala de Computo	2,47	1,59	0,88	<b>4,95</b>
Oficinas (I)	0,56	0,22	0,86	<b>1,65</b>
Laboratorio Electrónica Análoga	1,76	1,55	1,81	<b>5,11</b>
Laboratorio Telecomunicaciones	1,70	1,14	0,81	<b>3,65</b>
Laboratorio Control Automático	1,47	0,92	0,81	<b>3,21</b>
COMPUCOLOR	1,09	0,61	0,64	<b>2,35</b>
Oficina Hemiciclo	0,35	0,15	0,84	<b>1,34</b>
SAI	0,37	0,10	0,43	<b>0,90</b>
<b>TOTAL</b>	<b>12,83</b>	<b>9,83</b>	<b>8,75</b>	<b>31,40</b>

Tabla 44 Análisis por carga en los locales del piso 1 edificio A2

El Laboratorio Electrónica Análoga (5,11 TR), Laboratorio de Física eléctrica (4,84 TR) y Sala de Computo (4,95 TR) son los locales que generan más calor en todo el piso. En el caso particular del Laboratorio de Física eléctrica la gran cantidad potencia que manejan los equipos electrónicos utilizados en este laboratorio, es la causa fundamental del calor total generado en el local, en el laboratorio de Electrónica Análoga la gran cantidad de flujo de aire que se infiltra debido al uso constante de la puerta, genera un aumento del flujo de calor en el local y en la Sala de computo debido a las exposición de dos paredes y de 16 ventanas de cristales al sol son las razones principales de la considerable cantidad de flujo de calor que se genera en el local. Los porcentajes de cada tipo de cargas aparecen en la tabla 45:

Locales \ Cargas	Carga Exterior	Carga Interior	Cargas Infiltraciones
	(%)	(%)	(%)
Laboratorio Física Mecánica	57%	18%	25%
Laboratorio Física Eléctrica	23%	60%	17%
Sala de Computo	50%	32%	18%
Oficinas (I)	34%	14%	52%
Laboratorio Electrónica Análoga	34%	30%	35%
Laboratorio Telecomunicaciones	47%	31%	22%
Laboratorio Control Automático	46%	29%	25%
COMPUCOLOR	47%	26%	27%
Oficina Hemiciclo	26%	11%	63%
SAI	41%	11%	48%
<b>TOTAL</b>	<b>41%</b>	<b>31%</b>	<b>28%</b>

Tabla 45 Porcentaje de las cargas en los locales del piso 1 edificio A2

En la mayoría de los locales las cargas que más se generan es debido a las cargas exteriores, los locales que presentan mas carga a través de infiltraciones son locales de pequeñas áreas superficiales (Oficinas (1) 21 m<sup>2</sup>, Oficina Hemiciclo 8 m<sup>2</sup> SAI 12,35m<sup>2</sup>), lo cual nos permite decir que las cargas por infiltraciones se hacen más importantes a medida de que el área superficial del cuarto a acondicionar sea pequeña (A excepción del Laboratorio de Electrónica Análoga que es debido a la constante entrada y salida del local).

Para profundizar en el análisis, se dividió la carga externa en tres categorías, Cargas de Paredes (incluyen particiones, techos y pisos), Cargas de las Ventanas y Cargas de Puerta; arrojando lo siguientes resultados (Tabla 46):

Locales \ Cargas Ext.	Carga a través de Ventana		Carga a través de Pared		Carga a través de Puerta	
	(TR)	(%)	(TR)	(%)	(TR)	(%)
Laboratorio Física Mecánica	1,58	82%	0,33	17%	0,03	1%
Laboratorio Física Eléctrica	0,92	82%	0,17	15%	0,03	2%
Sala de Computo	2,23	90%	0,22	9%	0,03	1%
Oficinas (I)	0,45	80%	0,08	15%	0,03	5%
Laboratorio Electrónica Análoga	1,39	79%	0,32	18%	0,05	3%
Laboratorio Telecomunicaciones	1,47	87%	0,20	12%	0,03	2%
Laboratorio Control Automático	1,24	84%	0,20	14%	0,03	2%
COMPUCOLOR	0,62	57%	0,46	42%	0,01	1%
Oficina Hemiciclo	0,23	67%	0,09	26%	0,02	7%
SAI	0,15	41%	0,20	55%	0,01	4%
<b>TOTAL</b>	<b>10,29</b>	<b>80%</b>	<b>2,27</b>	<b>18%</b>	<b>0,26</b>	<b>2%</b>

Tabla 46 Análisis de las cargas Externas en los locales del piso 1 edificio A2

Locales \ Cargas Int.	Carga a través de Personas		Carga a través de Luces		Carga a través de Equipos	
	(TR)	(%)	(TR)	(%)	(TR)	(%)
Laboratorio Física Mecánica	0,49	79%	0,00	0%	0,13	21%
Laboratorio Física Eléctrica	0,74	25%	2,04	70%	0,13	5%
Sala de Computo	0,94	59%	0,52	33%	0,13	8%
Oficinas (I)	0,08	35%	0,08	36%	0,07	29%
Laboratorio Electrónica Análoga	0,99	64%	0,42	27%	0,13	9%
Laboratorio Telecomunicaciones	0,50	44%	0,39	34%	0,25	22%
Laboratorio Control Automático	0,48	51%	0,22	24%	0,23	25%
COMPUCOLOR	0,20	32%	0,37	61%	0,04	7%
Oficina Hemiciclo	0,08	54%	0,05	31%	0,02	15%
SAI	0,07	65%	0,00	0%	0,04	35%
<b>TOTAL</b>	<b>4,55</b>	<b>46%</b>	<b>4,10</b>	<b>42%</b>	<b>1,18</b>	<b>12%</b>

Tabla 47 Análisis de las cargas Internas en los locales del piso 1 edificio A2

Existen locales donde más del 50% del total de la carga se generan por personas como en los locales Laboratorio de Física mecánica (79%), Sala de Computo (59%), Laboratorio de Electrónica Análoga (64%), Laboratorio de Control Automático (51%), Oficina Hemiciclo (54%) y SAI (65%). Se

muestra una serie de datos de muy poca tendencia pero muestra que la gran parte de las cargas internas es generada por las cargas asociadas a las personas.

#### 4.2 Análisis De Locales De Informática De La UTB

En otro análisis, los resultados de la carga térmica total en la Sala de Computo y el Laboratorio de Control Automático de este estudio, y con colaboración de alumnos del curso de Refrigeración y Aire Acondicionado 1P07, se procedió a realizar un análisis de distintas Salas de Informática ubicadas en el campus de Ternera de la UTB para conocer los elementos que más aportan calor a estos locales, los estudiantes realizaron los cálculos de cargas térmicas a varios locales del campus de Ternera entre los cuales se encuentran el piso 4 del edificio de aulas 1 y el Laboratorio de Simulación ubicado en el edificios de Aulas 2; para este análisis, se dividen las cargas de los locales según el tipo (Externa, Interna, Infiltraciones) como se puede ver en la tabla 48:

Locales	Cargas	Carga Total	Distribución de la Carga Total					
			Carga Exterior		Carga Interior		Cargas Infiltraciones	
			(TR)	%	(TR)	%	(TR)	%
Sala de Computo		4,95	2,47	50%	1,59	32%	0,88	18%
Laboratorio Control Automático		3,21	1,47	46%	0,92	29%	0,81	25%
Laboratorio de Simulación		4,15	1,50	36%	1,74	42%	0,90	22%
A1 402		4,52	1,36	30%	2,26	50%	0,90	20%
A1 403		3,95	1,36	34%	1,69	43%	0,90	23%
A1 404		4,66	1,36	29%	2,40	52%	0,90	19%
A1 405		4,24	1,36	32%	1,98	47%	0,90	21%
A1 406		5,85	1,66	28%	3,29	56%	0,90	15%
A1 407		6,66	1,57	24%	4,19	63%	0,90	14%
<b>TOTAL</b>		<b>42,19</b>	<b>14,12</b>	<b>34,4%</b>	<b>20,08</b>	<b>45,9%</b>	<b>7,99</b>	<b>19,6%</b>

Tabla 48 Análisis de las cargas en las salas de informática de la UTB campus de Ternera

Se identificó un rango de la carga total en la mayoría de los locales de informática (4 TR a 5 TR), sin embargo los locales A1 406 y A1 407 presentan una mayor carga total (5,85 TR y 6,66 TR respectivamente) esto es debido al gran aumento de la carga interior en comparación de los otros locales (3,29 TR y 4,19 TR respectivamente) y el Laboratorio de Control Automático presenta una

carga menor (3,21 TR), debido a la poca carga interior que existe en el local (0,92 TR). Analizando las cargas, se identifica que la carga Exterior de los locales del piso 4 del edificio de Aulas 1 disminuye en comparación a los locales Sala de Computo y Laboratorio de Control Automático; esto se debe a la pocas ventanas que existen en los locales del piso 4, además, estas ventanas tienen películas polarizadas para reducir la transmisión de calor y por último, estos locales siempre estarán en funcionamiento lo que disminuye la carga térmica entre locales.

En los locales del piso 4 del edificio de aulas 1 y en el Laboratorio de Simulación, se identificó a las cargas internas como la carga térmica que mas calor aporta, con un rango mayor del 40%; y en los locales Sala de Cómputo y Laboratorio de Control Automático, la carga interna aporta en un rango mayor del 30%; por lo tanto se procede a analizar la carga interna distribuyéndola en cargas térmicas generadas por luces, personas, computadores y otros equipos como se presenta en la tabla 49:

Locales	Cargas	Carga Total Interior	Distribución de la Carga Interna Total							
			Carga Luces		Carga Personas		Cargas Computadores		Cargas Otros Equipos	
			(TR)	%	(TR)	%	(TR)	%	(TR)	%
Sala de Computo		1,59	0,13	8%	0,94	59%	0,52	32%	0,00	0%
Lab. Control Automático		0,92	0,23	25%	0,48	51%	0,22	24%	0,00	0%
Laboratorio de Simulación		1,74	0,15	8%	1,05	60%	0,52	30%	0,03	2%
A1 402		2,26	0,10	4%	1,03	46%	0,52	23%	0,61	27%
A1 403		1,69	0,10	6%	1,03	61%	0,52	31%	0,05	3%
A1 404		2,40	0,10	4%	1,28	53%	0,55	23%	0,47	20%
A1 405		1,98	0,10	5%	1,28	65%	0,55	28%	0,05	2%
A1 406		3,29	0,10	3%	2,19	66%	0,96	29%	0,05	1%
A1 407		4,19	0,10	2%	2,41	57%	1,07	26%	0,61	15%
<b>TOTAL</b>		<b>20,08</b>	<b>1,10</b>	<b>7,3%</b>	<b>11,68</b>	<b>57,6%</b>	<b>5,43</b>	<b>27,3%</b>	<b>1,87</b>	<b>7,7%</b>

Tabla 49 Análisis de las cargas internas en las salas de informática de la UTB campus de Ternerá

Las cargas generadas por personas aportan mas calor en comparación de las otras cargas internas (mas del 45% en todas los locales), por lo tanto la cantidad de personas que se encuentran en un local es un factor determinante para el calculo de cargas térmicas de locales de

informática. Los computadores son otros factores importantes en la carga, representan entre el 25 y 30% de las cargas en todos los locales.

De igual forma se analizaron las cargas externas en tres tipos de cargas: Cargas de Paredes (incluyen particiones, techos y pisos), Cargas de las Ventanas y Cargas de Puerta; arrojando lo siguientes resultados (Tabla 50):

Locales	Cargas	Carga Total Exterior	Distribución de la Carga Externa Total					
			Carga a través de Ventana		Carga a través de Pared		Carga a través de Puerta	
			(TR)	(%)	(TR)	(%)	(TR)	(%)
Sala de Computo		2,47	2,23	90%	0,22	9%	0,03	1%
Lab. Control Automático		1,47	1,24	84%	0,20	14%	0,03	2%
Laboratorio de Simulación		1,50	1,01	67%	0,38	25%	0,12	8%
A1 402		1,36	0,56	41%	0,73	54%	0,07	5%
A1 403		1,36	0,56	41%	0,73	54%	0,07	5%
A1 404		1,36	0,56	41%	0,73	54%	0,07	5%
A1 405		1,36	0,56	41%	0,73	54%	0,07	5%
A1 406		1,66	0,86	52%	0,73	44%	0,07	4%
A1 407		1,57	0,54	35%	0,96	61%	0,07	4%
<b>TOTAL</b>		<b>14,12</b>	<b>8,11</b>	<b>57%</b>	<b>5,42</b>	<b>38%</b>	<b>0,59</b>	<b>4%</b>

Tabla 50 Análisis de las Cargas Externas en las salas de Informática de la UTB Campus Temera

Las ventanas transmiten una gran parte de la carga Externa (mas del 40%), las áreas totales de las ventanas en el piso 4 del edificio de Aulas 1 es mas pequeña comparada con los locales de Sala de Computo, Laboratorio Control Automático y Laboratorio de Simulación, los cuales se ubican en el Edificios de Aulas 2, existe una disminución de las cargas térmicas transmitida por las ventanas y un aumento de las cargas transmitida por las paredes, siendo esta última la carga externa que más calor aporta en los locales del piso 4 en el Edificio de Aulas 1 a excepción del A1 406.

En la sección de anexo (ANEXO C) se presentan gráficos basados con los datos de las tablas presentadas en este Capítulo.

## 5 CONCLUSIONES

1. La capacidad instalada en cada local difiere a la capacidad calculada, se presentan algunas sobredimensiones en los locales Laboratorio de Física Mecánica, Oficinas (1), Laboratorio de Telecomunicaciones y Laboratorio de Control Automático. La capacidad instalada no cumple con la demandada en los locales: Laboratorio de Física Eléctrica, Sala de Cómputo y Laboratorio de Electrónica Análoga. Se presentan un total de carga calculada máxima de **34 Toneladas de Refrigeración** comparado con las **27 Ton de Refrigeración** Instalada actualmente; Estos resultados bajo las condiciones de los cálculos, de las cuales podemos aclarar que:
  - a. Los cálculos se están realizando en condiciones extremas, es decir que el cálculo se hizo con las condiciones climáticas del día más caluroso del año, con todos los equipos funcionando a máxima capacidad, todas las luces encendidas y una ocupación total del local Lo cual muy poco ocurre en el año.
  - b. En los cálculos de los 5 laboratorios, la Sala de computo y la oficina del coordinador de laboratorio / David Senior, las paredes y ventanas soleadas se encontraban en pleno contacto con el sol, lo cual no es totalmente cierto debido a la mampostería colocada alrededor del edificio lo cual reduce el contacto directo del sol con las paredes. (ver Anexo A)
  - c. Además de la mampostería externa, en la orientación Este del edificio existe un edificio cilíndrico el cual comunica los pisos del edificio de Aulas 2 a través de las escaleras, para locales que están en este sector no se tomo en cuenta el sombreado de la sección que sobresale del edificio. (Ver Anexo A)
  - d. Algunos datos de corrección por latitud fueron tomados de una latitud diferente (latitud 8º Norte) lo cual puede variar el cálculo.

Debido a la dificultad de los cálculos que se debe realizar, por ser estudio nuevo y el tiempo en el cual se debe tomar para realizar este estudio (1 año), los cálculos de

sombreado se obviaron; se conoce que de estos cálculos reducen la carga térmica por lo tanto la carga térmica real puede ser mas bajo que lo calculado.

Para finalizar, debo aclarar que los cálculos, a pesar de lo que se dijo en los puntos anteriores, se consideran correctos, ya que, las medidas, los materiales y todo lo que genera y transmite calor fue tomado de forma real. Y además teniendo en cuenta todas estas variables y haciéndolo de una forma más exacta, el cálculo no variaría tan significativamente para considerar errados los cálculos presentados aquí.

2. Para las determinar medidas de ahorros, se realizaron diferentes graficas a partir de los resultados dados en cada local, en el cual se pudo determinar las siguientes conclusiones (Ver Anexo C):

- a. Los locales que más aportan carga térmica son: Laboratorio Electrónica Análoga (17%), Sala de Cómputo y Laboratorio de Física Eléctrica (16%).
- b. El laboratorio de Electrónica Análoga genera mucha carga debido a la constante entrada y salida de los ocupantes del laboratorio, causando mas cargas por infiltración.
- c. La Sala de Cómputo debido a su contacto directo con el sol de dos de sus 4 paredes causando un aumento de la carga externa por paredes y por ventanas tanto por conducción como por radiación.
- d. El laboratorio de Física eléctrica debido a los grandes equipos que están en el local, causando una gran aumento de la carga
- e. Las cargas térmicas en el piso 1 del Edificio de Aulas 2 son aportadas por: Cargas externas (41%), cargas por infiltración (28%) y Cargas Internas (31%)
- f. En el Laboratorio de Física Mecánica, la Sala de Computo, el Laboratorio de Telecomunicaciones, el Laboratorio de Control Automático y COMPUCOLOR la

- mayor parte de energía térmica lo aporta las cargas externas (más del 45% de la energía total).
- g. En el Laboratorio de Electrónica Análoga, la Oficina (1), la Oficina Hemiciclo y SAI la mayor parte de energía térmica lo aporta las cargas por infiltraciones (35%, 52%, 63% y 48% respectivamente).
  - h. En las cargas externas, se identifico que la carga térmica a través de ventanas, son las que más transmite calor en todos los locales. (80% de toda la carga externa en todo el piso 1)
  - i. De las diferentes cargas internas, se identifico que la carga térmica por personas son las que más genera calor en todos los locales. (46% de toda la carga interna en todo el piso 1)
3. Los locales de informática del Campus de Ternera generan en promedio de 4 a 5 TR a excepción de Laboratorio de Control Automático y los locales A1 406 y A1 407 debido a la poca cantidad de equipos y de actividad en el primero y a la gran cantidad de potencia de equipos en estos dos últimos
- a. Las cargas térmicas en el los locales de informática en promedio son aportadas por: Cargas externas (34,4%), cargas por infiltración (19,6%) y Cargas Internas (45,9%)
  - b. En los locales Sala de Cómputo y Laboratorio de Control Automático la mayor parte de energía térmica lo aporta las cargas externas (más del 45% de la energía total).
  - c. En el resto de locales la mayor parte de energía térmica lo aporta las cargas internas (más del 40% de la energía total).
  - d. De las diferentes cargas internas, se identifico que la carga térmica por personas son las que más genera calor en todos los locales. (mas del 50% de toda la carga interna en todos los locales de informática)

- e. De las diferentes cargas externas, se identificó la carga térmica a través de paredes, como las que más transmite calor en los locales del piso 4 en el edificio de aulas 1. (más del 50% de toda la carga externa) y en el resto, las cargas a través de ventanas (más del 60%).

También como se pudo anotar en diferentes puntos, los materiales de construcción es un factor importante para el cálculo de carga térmica, en especial las ventanas como se pudieron resaltar, estas aumentan en consideración la carga térmica de los locales y si estas se encuentran en grandes cantidades, la carga térmica de los locales aumentará.

Conociendo esta distribución de cargas térmicas se proceder a realizar un plan de acción para reducir estas cargas térmicas.

## 6 RECOMENDACIONES

1. En el Laboratorio de Electrónica Análoga y Laboratorio de Telecomunicaciones los estudiantes al entrar o salir, no cierran la puerta y esto causa que el aire caliente exterior entre a grandes cantidades al local causando así un aumento en la carga térmica teniendo que así, el equipo deba suplir esa infiltración causando un mayor gasto de energía y equipo. Por lo tanto si los estudiantes cierran la puerta al entrar / salir, o si se coloca un brazo mecánico (gato) en la puerta, el equipo y las condiciones del local estarán en óptimas condiciones (Ver Anexo D).
2. Todas las puertas de los locales de estudio consisten en un marco de aluminio con dos vidrios uno superior y otro inferior, en algunos caso, el inferior es sustituido por una placa de madera prensada, sin embargo, en el Laboratorio de Telecomunicaciones no existe nada en la parte inferior de la puerta, el cual al no estar allí, representa un gran gasto innecesario para el equipo, si un vidrio o placa de madera es instalado, el equipo no tendrá que suplir el aire filtrado por esa ventana, caso que se está presentando actualmente y se estaría utilizando el equipo apropiadamente (Ver Anexo D).
3. Bajo las condiciones de diseño que se tomaron, se puede afirmar que la capacidad Real puede ser menor que la calculada, debido que:
  - a. El horario y el uso de los laboratorios (a excepción del laboratorio de Electrónica Análoga y de la Sala de Computo) no es de tiempo completo, solamente es usado cada vez que se presenten clases lo cual no llega a las 8 horas como fue realizado este estudio
  - b. Las condiciones climáticas, la ocupación y los equipos se tomaron como puntos máximos, es decir, teniendo un clima muy caluroso, con ocupación máxima usando todos los equipos del Laboratorio u oficina, situaciones que se dan en realidad pero muy poco a año y además durante mucho tiempo, a excepción del Laboratorio de Electrónica Análoga.
4. Para tener en cuenta:

*“Un equipo de aire acondicionado, para garantizar el confort en todo momento, debe estar diseñado para las condiciones de pico. Sin embargo, ¿Cuáles son los extremos?, para la mayoría de los edificios no sería práctico escoger una elección de condiciones meteorológicas más extremas y además de añadir un factor de seguridad. Ese sobredimensionamiento de los equipos de aire acondicionado sería excesivo, y no sólo en el costo inicial, sino también en el coste de explotación; La mayor parte del tiempo, el equipo iría con los pobres parte de la eficiencia de carga. Por lo tanto, como compromiso es necesario reducir el costo del equipo de aire acondicionado significativamente aun aceptando el riesgo de ligero malestar en virtud de las condiciones meteorológicas extremas. Ya que cuanto mayor sea el extremo, más raramente se produce.”<sup>13</sup>*

Esto nos indica que en algunas ocasiones las condiciones extremas pueden causar más costo de lo previsto, por lo tanto es recomendable en ciertos locales de uso no tan regular, reducir los equipos a unas capacidades menores. Esto fue comprobado en el local que fue tomado de ejemplo en este trabajo (Lab. Fis. Mecánica) en el cual se presentó una disminución de la carga en un 8% (0,32 TR) variando la temperatura de Diseño Exterior de 94°F a 89,6 °F

5. *De acuerdo con el departamento de energía de USA, 1/3 del costo del aire acondicionado está relacionado con calor que entra por las ventanas*
- *Solar 32%*
  - *Luces 42%*
  - *Personas 17%*
  - *Equipos eléctricos 7%*
  - *Equipos no-eléctricos 1%*
  - *Techo 1%*

---

<sup>13</sup> The CRC Handbook of Mechanical engineering 2nd Edition Cap 9 Unidad 6

*Más del 50% de las ventanas en los edificios comerciales poseen un control del calor muy débil<sup>14</sup>*

Esta información confirma lo reflejado en los resultados de los locales, en los cuales, grandes cantidades de energía térmica se genera a través de las ventanas. Se recomendaría realizar un estudio para determinar ahorro a través de las ventanas, ya sea algo simple como colocar películas para disminuir la radiación generada en ventanas, o más complejo como reemplazar las ventanas normales instaladas por unas ahorradoras de energía, como son los casos de las ventanas reflectivas o de absorción.

6. Como metodología de ahorro de energía, realizar un estudio de viabilidad para reemplazar los equipos instalados, y llevar esta nueva carga al sistema de refrigeración por absorción de chiller de la Universidad Tecnológica de Bolívar, el cual le suministra aire acondicionado a 3 de los 4 pisos del edificio de aulas 2 y está funcionando con una capacidad de 75% según los diseñadores del sistema.

---

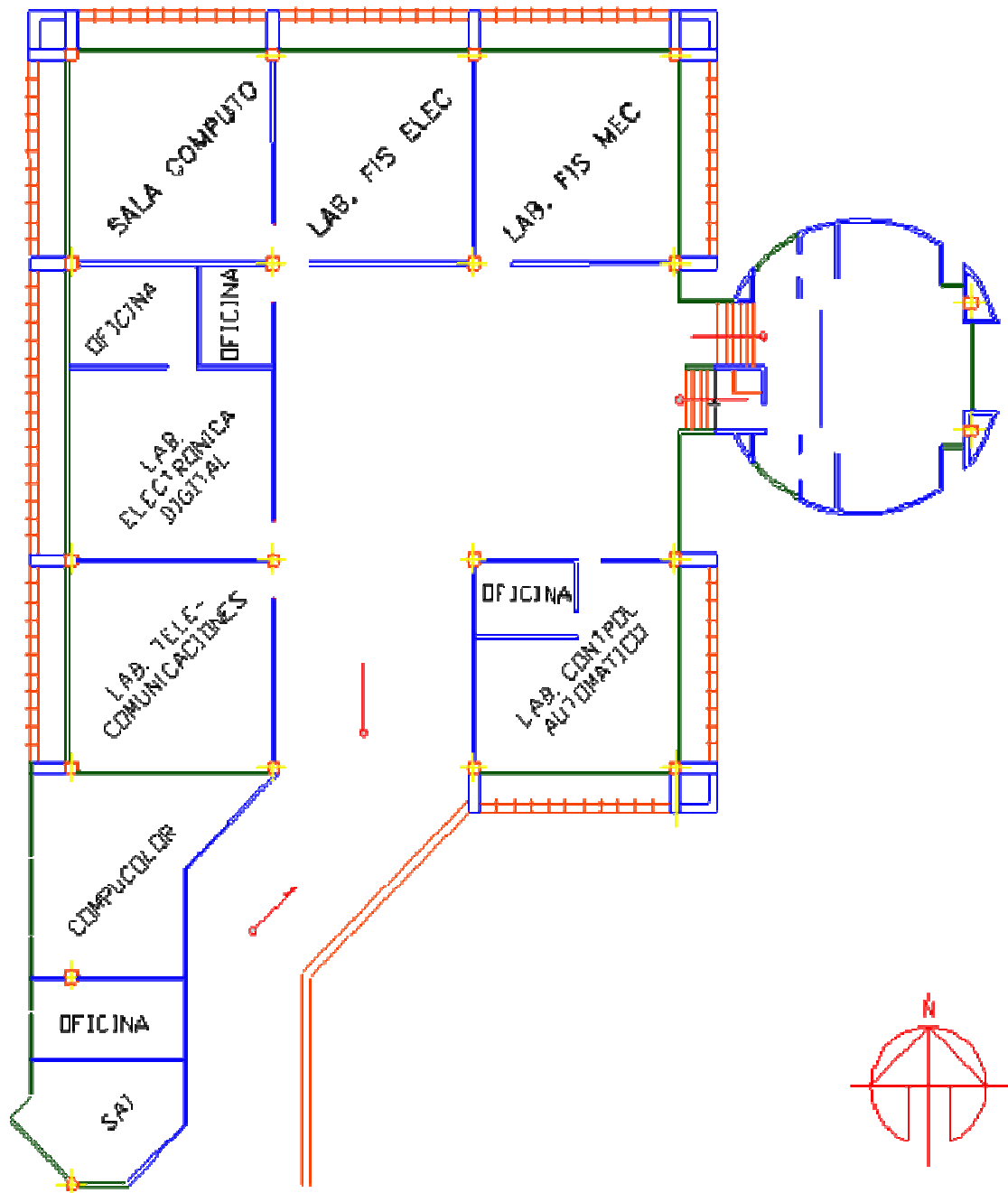
<sup>14</sup> Presentación V Congreso de sistemas y tecnologías de cerramientos de edificios

## BIBLIOGRAFÍA

- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineer. (1977). *(ASHRAE) Handbook Fundamental*.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineer. (1997). *ASHRAE Handbook Fundamental*.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineer. (2005). *ASHRAE Handbook Fundamental*.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineer. (2004). *ASHRAE Handbook HVAC System & Equipment*.
- Presentación titulada *Psicrometría*, Módulo de Refrigeración; Minor de Uso Racional de la Energía Universidad Tecnológica de Bolívar Cartagena Colombia 2006
- <http://courses.washington.edu/me425/notes.htm>
- <http://www.emc.uji.es/assignatura/obtener.php?letra=9&codigo=29&fichero=1056628636929>
- <http://www.invironment.com/research/v1n4f2.pdf>
- <http://www99.pair.com/vsfamu/et2/descool1.htm>
- <http://www99.pair.com/vsfamu/et2/descool2.htm>
- [http://www.ashraethailand.org/download/ashraethailand\\_org/20010908humidity\\_control.pdf](http://www.ashraethailand.org/download/ashraethailand_org/20010908humidity_control.pdf)
- <http://www.unisanet.unisa.edu.au/Resources/10767/Energy%20System%20Design/>
- [http://asaun3.tripod.com/documentos/Proyecto\\_Cargas\\_termicas2.pdf](http://asaun3.tripod.com/documentos/Proyecto_Cargas_termicas2.pdf)
- [http://www.eps.montana.edu/met/faculty/cook/MET%20465\\_07/Supplement/system\\_capacity.doc](http://www.eps.montana.edu/met/faculty/cook/MET%20465_07/Supplement/system_capacity.doc)
- [http://www.motiva.fi/attachment/f16d4d543f99d7a59f54560a69063a0e/d87782b2d9185c5456501cbd3c400d80/Tiedosto+11+Cooling+load+calculation+methods\\_20.8.03.pdf](http://www.motiva.fi/attachment/f16d4d543f99d7a59f54560a69063a0e/d87782b2d9185c5456501cbd3c400d80/Tiedosto+11+Cooling+load+calculation+methods_20.8.03.pdf)
- [http://www.sisteccer.com/congreso\\_05/actas\\_05/pdf/prado\\_01.pdf](http://www.sisteccer.com/congreso_05/actas_05/pdf/prado_01.pdf)

## ANEXOS

### Anexo A Diagrama Del Primer Piso Del Salón De Aulas 2 (Área De Estudio)



**Anexo B Tablas Utilizadas Para El Cálculo De Carga Térmica Y Para La Psicrometría**

**Table 1 Surface Conductances and Resistances for Air**

All conductance values expressed in Btu/(hr · ft<sup>2</sup> · F).

A surface cannot take credit for both an air space resistance value and a surface resistance value. No credit for an air space value can be taken for any surface facing an air space of less than 0.5 in.

SECTION A. Surface Conductances and Resistances <sup>a,b,d</sup>						SECTION B. Reflectivity and Emittance Values of Various Surfaces <sup>c</sup> and Effective Emittances of Air Spaces						
Position of Surface	Direction of Heat Flow	Surface Emittance						Surface	Reflectivity in Percent	Average Emittance $\epsilon$	Effective Emittance $E$ of Air Space	
		Non-reflective $\epsilon = 0.90$		Reflective $\epsilon = 0.20$		Reflective $\epsilon = 0.05$					One surface emittance $\epsilon$ ; the other 0.90	Both surfaces emittances $\epsilon$
		$h_i$	R	$h_i$	R	$h_i$	R					
<b>STILL AIR</b>												
Horizontal	Upward	1.63	0.61	0.91	1.10	0.76	1.32	Aluminum foil, bright . . .	92 to 97	0.05	0.05	0.03
Sloping—45 deg	Upward	1.60	0.62	0.88	1.14	0.73	1.37	Aluminum sheet . . . . .	80 to 95	0.12	0.12	0.06
Vertical	Horizontal	1.46	0.68	0.74	1.35	0.59	1.70	Aluminum coated paper,				
Sloping—45 deg	Downward	1.32	0.76	0.60	1.67	0.45	2.22	polished . . . . .	75 to 84	0.20	0.20	0.11
Horizontal	Downward	1.08	0.92	0.37	2.70	0.22	4.55	Steel, galvanized, bright . .	70 to 80	0.25	0.24	0.15
								Aluminum paint . . . . .	30 to 70	0.50	0.47	0.35
<b>MOVING AIR</b>												
(Any Position)		$h_0$	R	$h_0$	R	$h_0$	R	Building materials: wood,				
15-mph Wind	Any	6.00	0.17					paper, masonry,				
(for winter)								nonmetallic paints . . . . .	5 to 15	0.90	0.82	0.82
7.5-mph Wind	Any	4.00	0.25					Regular glass	5 to 15	0.84	0.77	0.72
(for summer)												

<sup>a</sup>For ventilated attics or spaces above ceilings under summer conditions (heat flow down) see Table 6.  
<sup>b</sup>Conductances are for surfaces of the stated emittance facing virtual blackbody surroundings at the same temperature as the ambient air. Values are based on a surface-air temperature difference of 10 deg F and for surface temperature of 70 F.  
<sup>c</sup>See also Chapter 2, Table 4.  
<sup>d</sup>See Fig. 1 for additional data.

Table 2 Thermal Resistances of Plane<sup>a</sup> Air Spaces<sup>d,e\*</sup>

Position of Air Space	Direction of Heat Flow	Air Space		1.5-in. Air Space <sup>d</sup>					3.5-in. Air Space <sup>d</sup>				
		Mean Temp. <sup>b</sup> (F)	Temp Diff. <sup>b</sup> (deg F)	Value of E <sup>b,c</sup>					Value of E <sup>b,c</sup>				
				0.03	0.05	0.2	0.5	0.82	0.03	0.05	0.2	0.5	0.82
Horiz.	Up	90	10	2.55	2.41	1.71	1.08	0.77	2.84	2.66	1.83	1.13	0.80
		50	30	1.87	1.81	1.45	1.04	0.80	2.09	2.01	1.58	1.10	0.84
		50	10	2.50	2.40	1.81	1.21	0.89	2.80	2.66	1.95	1.28	0.93
		0	20	2.01	1.95	1.63	1.23	0.97	2.25	2.18	1.79	1.32	1.03
		0	10	2.43	2.35	1.90	1.38	1.06	2.71	2.62	2.07	1.47	1.12
		-50	20	1.94	1.91	1.68	1.36	1.13	2.19	2.14	1.86	1.47	1.20
45° Slope	Up	90	10	2.92	2.73	1.86	1.14	0.80	3.18	2.96	1.97	1.18	0.82
		50	30	2.14	2.06	1.61	1.12	0.84	2.26	2.17	1.67	1.15	0.86
		50	10	2.88	2.74	1.99	1.29	0.94	3.12	2.95	2.10	1.34	0.96
		0	20	2.30	2.23	1.82	1.34	1.04	2.42	2.35	1.90	1.38	1.06
		0	10	2.79	2.69	2.12	1.49	1.13	2.98	2.87	2.23	1.54	1.16
		-50	20	2.22	2.17	1.88	1.49	1.21	2.34	2.29	1.97	1.54	1.25
Vertical	Horiz.	90	10	3.99	3.66	2.25	1.27	0.87	3.69	3.40	2.15	1.24	0.85
		50	30	2.58	2.46	1.84	1.23	0.90	2.67	2.55	1.89	1.25	0.91
		50	10	3.79	3.55	2.39	1.45	1.02	3.63	3.40	2.32	1.42	1.01
		0	20	2.76	2.66	2.10	1.48	1.12	2.88	2.78	2.17	1.51	1.14
		0	10	3.51	3.35	2.51	1.67	1.23	3.49	3.33	2.50	1.67	1.23
		-50	20	2.64	2.58	2.18	1.66	1.33	2.82	2.75	2.30	1.73	1.37
45° Slope	Down	90	10	5.07	4.55	2.56	1.36	0.91	4.81	4.33	2.49	1.34	0.90
		50	30	3.58	3.36	2.31	1.42	1.00	3.51	3.30	2.28	1.40	1.00
		50	10	5.10	4.66	2.85	1.60	1.09	4.74	4.36	2.73	1.57	1.08
		0	20	3.85	3.66	2.68	1.74	1.27	3.81	3.63	2.66	1.74	1.27
		0	10	4.92	4.62	3.16	1.94	1.37	4.59	4.32	3.02	1.88	1.34
		-50	20	3.62	3.50	2.80	2.01	1.54	3.77	3.64	2.90	2.05	1.57
Horiz.	Down	90	10	6.09	5.35	2.79	1.43	0.94	10.07	8.19	3.41	1.57	1.00
		50	30	6.27	5.63	3.18	1.70	1.14	9.60	8.17	3.86	1.88	1.22
		50	10	6.61	5.90	3.27	1.73	1.15	11.15	9.27	4.09	1.93	1.24
		0	20	7.03	6.43	3.91	2.19	1.49	10.90	9.52	4.87	2.47	1.62
		0	10	7.31	6.66	4.00	2.22	1.51	11.97	10.32	5.08	2.52	1.64
		-50	20	7.73	7.20	4.77	2.85	1.99	11.64	10.49	6.02	3.25	2.18
		-50	10	8.09	7.52	4.91	2.89	2.01	12.98	11.56	6.36	3.34	2.22

<sup>a</sup> See Chapter 20, section on Factors Affecting Heat Transfer across Air Spaces.  
<sup>b</sup> Interpolation is permissible for other values of mean temperature, temperature differences, and effective emittance E. Interpolation and moderate extrapolation for air spaces greater than 3.5 in. are also permissible.  
<sup>c</sup> Effective emittance of the space E is given by  $1/E = 1/e_1 + 1/e_2 - 1$ , where  $e_1$  and  $e_2$  are the emittances of the surfaces of the air space (See section B of Table 1.)  
<sup>d</sup> Credit for an air space resistance value cannot be taken more than once and only for the boundary conditions established.  
<sup>e</sup> Resistances of horizontal spaces with heat flow downward are substantially independent of temperature difference.  
<sup>f</sup> Thermal resistance values were determined from the relation  $R = 1/C$ , where  $C = h_c + Eh_r$ ,  $h_c$  is the conduction-convection coefficient,  $Eh_r$  is the radiation coefficient  $\approx 0.00686 E [(460 + t_m)/100]^3$ , and  $t_m$  is the mean temperature of the air space. For interpolation from Table 2 to air space thicknesses less than 0.5 in. (as in insulating window glass), assume  $h_c = 0.795 (1 + 0.0016)$  and compute R-values from the above relations for an air space thickness of 0.2 in.  
<sup>\*</sup> Based on National Bureau of Standards data presented in Housing Research Paper No. 32, Housing and Home Finance Agency 1954, U. S. Government Printing Office, Washington 20402.

Table 28 Shading Coefficients for Single Glass and Insulating Glass<sup>a</sup>

Type of Glass	Nominal Thickness <sup>b</sup>	Solar Trans. <sup>b</sup>	Shading Coefficient	
			$h_0=4.0$	$h_0=3.0$
Clear	1/8 in.	0.84	1.00	1.00
	1/4 in.	0.78	0.94	0.95
	3/8 in.	0.72	0.90	0.92
	1/2 in.	0.67	0.87	0.88
Heat Absorbing	1/8 in.	0.64	0.83	0.85
	1/4 in.	0.46	0.69	0.73
	3/8 in.	0.33	0.60	0.64
	1/2 in.	0.24	0.53	0.58
B. Insulating Glass				
Clear Out, Clear In	1/8 in. <sup>c</sup>	0.71 <sup>c</sup>	0.88	0.88
Clear Out, Clear In	1/4 in.	0.61	0.81	0.82
Heat Absorbing <sup>d</sup> Out, Clear In	1/4 in.	0.36	0.55	0.58

<sup>a</sup> Refers to factory-fabricated units with 3/16, 1/4, or 1/2-in. air space or to prime windows plus storm sash.  
<sup>b</sup> Refer to manufacturer's literature for values.  
<sup>c</sup> Thickness of each pane of glass, not thickness of assembled unit.  
<sup>d</sup> Refers to gray, bronze, and green tinted heat-absorbing float glass.  
<sup>e</sup> Combined transmittance for assembled unit.



Table 3A Thermal Properties of Typical Building and Insulating Materials—(Design Values)<sup>a</sup>

Description	Customary Unit						SI Unit	
	Density (lb/ft <sup>3</sup> )	Conduc- tivity (k)	Conduc- tance (C)	Resistance <sup>b</sup> (R)		Specific Heat, Btu/(lb (deg F)	Resistance <sup>b</sup> (R)	
				Per inch thickness (1/k)	For thick- ness listed (1/C)		(m · K) W	(m <sup>2</sup> · K) W
Mineral fiber with resin binder	15	0.29	—	3.45	—	0.17	23.91	
Mineral fiberboard, wet felted								
Core or roof insulation	16-17	0.34	—	2.94	—		20.38	
Acoustical tile	18	0.35	—	2.86	—	0.19	19.82	
Acoustical tile	21	0.37	—	2.70	—		18.71	
Mineral fiberboard, wet molded								
Acoustical tile <sup>c</sup>	23	0.42	—	2.38	—	0.14	16.49	
Wood or cane fiberboard								
Acoustical tile <sup>c</sup> . . . . . 0.5 in.	—	—	0.80	—	1.25	0.31		0.22
Acoustical tile <sup>c</sup> . . . . . 0.75 in.	—	—	0.53	—	1.89			0.33
Interior finish (plank, tile)	15	0.35	—	2.86	—	0.32	19.82	
Wood shredded (cemented in preformed slabs)	22	0.60	—	1.67	—	0.31	11.57	
<b>LOOSE FILL</b>								
Cellulosic insulation (milled paper or wood pulp)	2.3-3.2	0.27-0.32	—	3.13-3.70	—	0.33	21.69-25.64	
Sawdust or shavings	8.0-15.0	0.45	—	2.22	—	0.33	15.39	
Wood fiber, softwoods	2.0-3.5	0.30	—	3.33	—	0.33	23.08	
Perlite, expanded	5.0-8.0	0.37	—	2.70	—	0.26	18.71	
Mineral fiber (rock, slag or glass)								
approx. <sup>e</sup> 3.75-5 in.	0.6-2.0	—	—	—	11	0.17		1.94
approx. <sup>e</sup> 6.5-8.75 in.	0.6-2.0	—	—	—	19			3.35
approx. <sup>e</sup> 7.5-10 in.	0.6-2.0	—	—	—	22			3.87
approx. <sup>e</sup> 10.25-13.75 in.	0.6-2.0	—	—	—	30			5.28
Vermiculite, exfoliated	7.0-8.2 4.0-6.0	0.47 0.44	—	2.13 2.27	—	3.20	14.76 15.73	
<b>ROOF INSULATION<sup>b</sup></b>								
Performed, for use above deck								
Different roof insulations are available in different thicknesses to provide the design C values listed. <sup>b</sup>			0.72		1.39			0.24
Consult individual manufacturers for actual thickness of their material.			0.12		8.33			1.47
<b>MASONRY MATERIALS</b>								
<b>CONCRETES</b>								
Cement mortar	116	5.0	—	0.20	—		1.39	
Gypsum-fiber concrete 87.5% gypsum, 12.5% wood chips	51	1.66	—	0.60	—	0.21	4.16	
Lightweight aggregates including ex- panded shale, clay or slate; expanded slags; cinders; pumice; vermiculite; also cellular concretes	100 80 60 40 30 20	3.6 2.5 1.7 1.15 0.90 0.70	— — — — — —	0.28 0.40 0.59 0.86 1.11 1.43	— — — — — —		1.94 2.77 4.09 5.96 7.69 9.91	
Perlite, expanded	40 30 20	0.93 0.71 0.50	— — —	1.08 1.41 2.00	— — —		7.48 9.77 13.86	
Sand and gravel or stone aggregate (oven dried)	140	9.0	—	0.11	—	0.32	0.76	
Sand and gravel or stone aggregate (not dried)	140	12.0	—	0.08	—		0.55	
Stucco	116	5.0	—	0.20	—		1.39	

Table 3A Thermal Properties of Typical Building and Insulating Materials—(Design Values)<sup>a</sup>

Description	Density (lb/ft <sup>3</sup> )	Conduc- tivity (k)	Conduc- tance (C)	Customary Unit		Specific Heat, Btu/(lb) (deg F)	SI Unit	
				Resistance <sup>b</sup> (R)			Resistance <sup>b</sup> (R)	
				Per inch thickness (1/k)	For thick- ness listed (1/C)		(m·K) W	(m <sup>2</sup> ·K) W
Plywood or wood panels . . . . . 0.75 in.	34	—	1.07	—	0.93	0.29		0.16
Vegetable Fiber Board								
Sheathing, regular density . . . . . 0.5 in.	18	—	0.76	—	1.32	0.31		0.23
Sheathing, intermediate density . . . . . 0.78125 in.	18	—	0.49	—	2.06	0.31		0.36
Nail-base sheathing . . . . . 0.5 in.	22	—	0.82	—	1.22	0.31		0.21
Shingle backer . . . . . 0.5 in.	25	—	0.88	—	1.14	0.31		0.20
Shingle backer . . . . . 0.375 in.	18	—	1.06	—	0.94	0.31		0.17
Shingle backer . . . . . 0.3125 in.	18	—	1.28	—	0.78	0.31		0.14
Sound deadening board . . . . . 0.5 in.	15	—	0.74	—	1.35	0.30		0.24
Tile and lay-in panels, plain or acoustic . . . . . 0.5 in.	18	0.40	—	2.50	—	0.14	17.33	
Laminated paperboard . . . . . 0.5 in.	18	—	0.80	—	1.25	0.31		0.22
Homogeneous board from recycled paper . . . . . 0.75 in.	18	—	0.53	—	1.89	0.31		0.33
Hardboard . . . . . 30	30	0.50	—	2.00	—	0.33	13.86	
Medium density . . . . . 30	30	0.50	—	2.00	—	0.28	13.86	
High density, service temp. service underlay . . . . . 50	50	0.73	—	1.37	—	0.31	9.49	
High density, std. tempered . . . . . 55	55	0.82	—	1.22	—	0.32	8.46	
Particleboard . . . . . 63	63	1.00	—	1.00	—	0.32	6.93	
Low density . . . . . 37	37	0.54	—	1.85	—	0.31	12.82	
Medium density . . . . . 50	50	0.94	—	1.06	—	0.31	7.35	
High density . . . . . 62.5	62.5	1.18	—	0.85	—	0.31	5.89	
Underlayment . . . . . 0.625 in.	40	—	1.22	—	0.82	0.29		0.14
Wood subfloor . . . . . 0.75 in.	—	—	1.06	—	0.94	0.33		0.17
<b>BUILDING MEMBRANE</b>								
Vapor—permeable felt . . . . .	—	—	16.70	—	0.06			0.01
Vapor—seal, 2 layers of mopped 15-lb felt . . . . .	—	—	8.35	—	0.12			0.02
Vapor—seal, plastic film . . . . .	—	—	—	—	Negl.			
<b>FINISH FLOORING MATERIALS</b>								
Carpet and fibrous pad . . . . .	—	—	0.48	—	2.08	0.34		0.37
Carpet and rubber pad . . . . .	—	—	0.81	—	1.23	0.33		0.22
Cork tile . . . . . 0.125 in.	—	—	3.60	—	0.28	0.48		0.05
Terrazzo . . . . . 1 in.	—	—	12.50	—	0.08	0.19		0.01
Tile— <del>asphalt, linoleum, vinyl, rubber</del> vinyl asbestos . . . . .	—	—	20.00	—	0.05	0.30		0.01
ceramic . . . . .	—	—	—	—	—	0.24		0.19
Wood, hardwood finish . . . . . 0.75 in.	—	—	1.47	—	0.68			0.12

Table 3A Thermal Properties of Typical Building and Insulating Materials—(Design Values)<sup>a</sup>

(For Industrial Insulation Design Values, see Table 3B). These constants 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. The SI units for Resistance (last two columns) were calculated by taking the values from the two Resistance columns under Customary Unit, and multiplying by the factor 1/k (r/in.) and 1/C (R) for the appropriate conversion factor in Table 18.

Description	Density (lb/ft <sup>3</sup> )	Conduc- tivity (k)	Conduc- tance (C)	Customary Unit		Specific Heat, Btu/(lb) (deg F)	SI Unit	
				Resistance <sup>b</sup> (R)			Resistance <sup>b</sup> (R)	
				Per inch thickness (1/k)	For thick- ness listed (1/C)		(m·K) W	(m <sup>2</sup> ·K) W
<b>BUILDING BOARD</b>								
<b>Boards, Panels, Subflooring, Sheathing</b>								
<b>Woodboard Panel Products</b>								
Asbestos-cement board . . . . .	120	4.0	—	0.25	—	0.24	1.73	
Asbestos-cement board . . . . . 0.125 in.	120	—	33.00	—	0.03			0.005
Asbestos-cement board . . . . . 0.25 in.	120	—	16.50	—	0.06			0.01
Gypsum or plaster board . . . . . 0.375 in.	50	—	3.10	—	0.32	0.26		0.06
Gypsum or plaster board . . . . . 0.5 in.	50	—	2.22	—	0.45			0.08
Gypsum or plaster board . . . . . 0.625 in.	50	—	1.78	—	0.56			0.10
Plywood (Douglas Fir) . . . . .	34	0.80	—	1.25	—	0.29	8.66	
Plywood (Douglas Fir) . . . . . 0.25 in.	34	—	3.20	—	0.31			0.05
Plywood (Douglas Fir) . . . . . 0.375 in.	34	—	2.13	—	0.47			0.08
Plywood (Douglas Fir) . . . . . 0.5 in.	34	—	1.60	—	0.62			0.11
Plywood (Douglas Fir) . . . . . 0.625 in.	34	—	1.29	—	0.77			0.19

Total heat transmission through glass = Heat Gain + Heat Gain (8) In this way, the heat gain is divided into two components: (1) the *conduction heat gain* (or loss), due to dif-

Table 7 Cooling Load Temperature Differences for Calculating Cooling Load from Sunlit Walls

North Latitude Wall Facing	Solar Time, hr																								Hr of Maxi- mum CLTD	Mini- mum CLTD	Maxi- mum CLTD	Differ- ence CLTD			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24							
<b>Group A Walls</b>																															
N	14	14	14	13	13	13	12	12	11	11	10	10	10	10	10	10	11	11	12	12	13	13	14	14	2	10	14	4			
NE	19	19	19	18	17	17	16	15	15	15	15	15	16	16	17	17	18	18	18	19	19	20	20	20	20	22	15	20	5		
E	24	24	23	23	22	21	20	19	18	18	18	18	18	19	19	20	21	22	23	24	24	25	25	25	25	25	22	18	24	6	
SE	24	23	23	22	21	20	20	19	18	18	18	18	19	19	20	21	22	23	24	24	24	24	24	24	24	24	20	14	20	6	
S	20	20	19	19	18	18	17	16	16	15	14	14	14	14	14	15	16	17	18	19	19	20	20	20	20	20	23	14	20	6	
SW	25	25	25	24	24	23	22	21	20	19	18	17	17	17	17	18	19	20	22	23	24	25	25	24	24	25	24	17	25	8	
W	27	27	26	26	25	24	24	23	22	21	20	19	18	18	18	18	19	20	22	23	25	26	26	21	18	27	9	27	9		
NW	21	21	21	20	19	19	18	17	16	16	15	15	14	14	14	15	15	16	17	18	19	20	21	1	14	21	7	21	7		
<b>Group B Walls</b>																															
N	15	14	14	13	12	11	11	10	9	9	9	8	9	9	9	10	11	12	13	14	14	15	15	15	24	8	15	7	7		
NE	19	18	17	16	15	14	13	12	12	13	14	15	16	17	18	19	19	20	20	21	21	21	20	20	21	12	21	9	9		
E	23	22	21	20	18	17	16	15	15	15	17	19	21	22	24	25	26	26	27	27	26	26	25	24	20	15	27	12	12		
SE	23	22	21	20	18	17	16	15	14	14	15	16	18	20	21	23	24	25	26	26	26	26	25	24	21	14	26	12	12		
S	21	20	19	18	17	15	14	13	12	11	11	11	11	12	14	15	17	19	20	21	22	22	22	21	23	11	22	11	11		
SW	27	26	25	24	22	21	19	18	16	15	14	14	13	13	14	15	17	20	22	25	27	28	28	24	13	28	15	15			
W	29	28	27	26	24	23	21	19	18	17	16	15	14	14	14	15	17	19	22	25	27	29	29	30	24	14	30	16	16		
NW	23	22	21	20	19	18	17	15	14	13	12	12	12	11	12	12	13	15	17	19	21	22	23	24	11	23	9	9	9		
<b>Group C Walls</b>																															
N	15	14	13	12	11	10	9	8	8	7	7	8	8	9	10	12	13	14	15	16	17	17	17	16	22	7	17	10	10		
NE	19	17	16	14	13	11	10	10	11	13	15	17	19	20	21	22	23	23	23	23	23	22	21	20	20	10	23	13	13		
E	22	21	19	17	15	14	12	12	14	16	19	22	25	27	29	29	30	30	30	29	28	27	26	24	18	12	30	18	18		
SE	22	21	19	17	15	14	12	12	13	16	19	22	24	26	28	29	29	29	29	29	28	27	26	24	19	12	29	17	17		
S	21	19	18	16	15	13	12	10	9	9	9	10	11	14	17	20	22	24	25	26	25	25	24	22	9	26	17	17			
SW	29	27	25	22	20	18	16	15	13	12	11	11	11	13	15	18	22	26	29	32	33	33	32	31	22	11	33	22	22		
W	31	29	27	25	22	20	18	16	14	13	12	12	12	13	14	16	20	24	29	32	35	35	33	32	12	35	23	23	23		
NW	25	23	21	20	18	16	14	13	11	10	10	10	10	11	12	13	15	18	22	25	27	27	27	26	22	10	27	17	17		
<b>Group D Walls</b>																															
N	15	13	12	10	9	7	6	6	6	6	6	7	8	8	9	10	12	13	14	15	17	18	19	19	19	18	16	21	6	19	13
NE	17	15	13	11	10	8	7	8	8	8	10	14	17	20	22	23	23	24	24	25	25	24	23	22	20	18	19	7	25	18	
E	19	17	15	13	11	9	8	9	12	17	22	27	30	32	33	33	32	32	31	30	28	26	24	22	16	8	33	25	25		
SE	20	17	15	13	11	10	8	8	10	13	17	22	26	29	31	32	32	32	31	30	28	26	24	22	17	8	32	24	24		
S	19	17	15	13	11	9	8	7	6	6	7	9	12	16	20	24	27	29	29	29	27	26	24	22	19	6	29	23	23		
SW	28	25	22	19	16	14	12	10	9	8	8	8	10	12	16	21	27	32	36	38	38	37	34	31	21	8	38	30	30		
W	31	27	24	21	18	15	13	11	10	9	9	9	10	11	14	18	24	30	36	40	41	40	38	34	21	9	41	32	32		
NW	25	22	19	17	14	12	10	9	8	7	7	8	9	10	11	12	14	18	22	27	31	32	32	30	27	7	32	25	25		
<b>Group E Walls</b>																															
N	12	10	8	7	5	4	3	4	5	6	7	9	11	13	15	17	19	20	21	23	20	18	16	14	20	3	22	19	19		
NE	13	11	9	7	6	4	5	9	15	20	24	25	25	26	26	26	26	26	25	24	22	19	17	15	16	4	26	22	22		
E	14	12	10	8	6	5	6	17	18	26	33	36	38	37	36	34	32	30	28	25	22	20	17	13	5	38	33	33	33		
SE	15	12	10	8	7	5	5	8	12	19	25	31	35	37	37	36	34	33	31	28	26	23	20	17	15	5	37	32	32		
S	15	12	10	8	7	5	4	5	4	5	9	13	19	24	29	32	34	33	31	29	26	23	20	17	13	3	38	33	33		
SW	22	18	15	13	10	8	6	5	6	7	9	12	18	24	32	38	43	45	44	40	35	30	26	19	5	45	40	40			
W	25	21	17	14	10	9	7	6	6	7	9	11	14	20	27	36	43	49	49	45	40	34	29	20	6	49	43	43			
NW	20	17	14	11	9	7	6	5	5	6	8	10	13	16	20	26	32	37	38	36	32	28	24	20	5	38	33	33	33		
<b>Group F Walls</b>																															
N	8	6	5	3	2	1	2	4	6	7	9	11	14	17	19	21	22	23	24	23	20	16	13	11	19	1	23	23	23		
NE	9	7	5	3	2	1	5	14	23	28	30	29	28	27	27	27	26	24	22	19	16	13	11	11	1	30	29	29			
E	10	7	6	4	3	2	6	17	28	38	44	45	43	39	36	34	32	30	27	24	21	17	15	12	2	45	43	43			
SE	10	7	6	4	3	2	4	10	19	28	36	41	43	42	39	36	34	31	28	25	21	18	15	12	13	2	43	41	41		
S	10	8	6	4	3	2	1	3	7	13	20	27	34	38	39	38	35	31	26	22	18	15	12	16	1	39	38	38			
SW	15	11	9	6	5	3	2	2	4	5	8	11	17	26	35	44	50	53	52	45	37	28	23	18	2	53	48	48			
W	17	13	10	7	5	4	3	3	4	6	8	11	14	20	28	39	49	57	60	54	43	34	27	21	19	3	60	57	57		
NW	14	10	8	6	4	3	2	2	3	5	8	10	13	15	21	27	35	42	46	43	35	28	22	18	19	2	46	44	44		
<b>Group G Walls</b>																															
N	3	2	1	0	-1	2	7	8	9	12	15	18	21	23	24	24	25	26	22	15	11	9	7	5	18	-1	26	27	27		
NE	3	2	1	0	-1	9	27	36	39	35	30	26	26	27	27	26	25	22	18	14	11	9	7	5	9	-1	39	40	40		
E	4	2	1	0	-1	11	31	47	54	55	50	40	33	31	30	29	27	24	19	15	12	10	8	6	10	-1	55	56	56		
SE	4	2	1	0	-1	5	18	32	42	49	51	48	42	36	32	30	27	24	19	15	12	10	8	6	11	-1	51	52	52		
S	4	2	1	0	-1	0	1	5	12	22	31	39	45	46	43	37	31	25	20	15	12	10	8	5	14	-1	46	47	47		
SW	5	4	3	1	0	0	2	5	8	12	16	26	38	50	59	63	61	52	37	24	17	13	10	8	16	0	63	63	63		
W	6	5	3	2	1	1	2	5	8	11	15	19	27	41	56	67	72	67	48	29	20	15	11	8	17	1	72	71	71		
NW</																															

**Table 32 CLTD Correction For Latitude and Month Applied to Walls and Roofs, North Latitudes**

Lat.	Month	N	NNE NNW	NE NW	ENE WNW	E W	ESE WSW	SE SW	SSE SSW	S	HOR
0	Dec	-3	-5	-5	-5	-2	0	3	6	9	-1
	Jan/Nov	-3	-5	-4	-4	-1	0	2	4	7	-1
	Feb/Oct	-3	-2	-2	-2	-1	-1	0	-1	0	0
	Mar/Sept	-3	0	1	-1	-1	-3	-3	-5	-8	0
	Apr/Aug	5	4	3	0	-2	-5	-6	-8	-8	-2
	May/Jul	10	7	5	0	-3	-7	-8	-9	-8	-4
	Jun	12	9	5	0	-3	-7	-9	-10	-8	-5
8	Dec	-4	-6	-6	-6	-3	0	4	8	12	-5
	Jan/Nov	-3	-5	-6	-5	-2	0	3	6	10	-4
	Feb/Oct	-3	-4	-3	-3	-1	-1	1	2	4	-1
	Mar/Sept	-3	-2	-1	-1	-1	-2	-2	-3	-4	0
	Apr/Aug	2	2	2	0	-1	-4	-5	-7	-7	-1
	May/Jul	7	5	4	0	-2	-5	-7	-9	-7	-2
	Jun	9	6	4	0	-2	-6	-8	-9	-7	-2
16	Dec	-4	-6	-8	-8	-4	-1	4	9	13	-9
	Jan/Nov	-4	-6	-7	-7	-4	-1	4	8	12	-7
	Feb/Oct	-3	-5	-5	-4	-2	0	2	5	7	-4
	Mar/Sept	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	0	0	-1
	Apr/Aug	-1	0	-1	-1	-1	-3	-3	-5	-6	0
	May/Jul	4	3	3	0	-1	-4	-5	-7	-7	0
	Jun	6	4	4	1	-1	-4	-6	-8	0	-7

**Air-Conditioning Cooling Load**

**Table 9 Cooling Load Temperature Differences for Conduction through Glass**

Hour	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
CLTD-F	0	-2	-2	0	4	9	13	14	12	8	4	2

25.12

**CHAPTER 25**

1977 Fundamentals Handbook

**Table 10 Maximum Solar Heat Gain Factors Btu/(h · ft<sup>2</sup>)**

	0°N Latitude						8°N Latitude					
	N	NE/NW	E/W	SE/SW	S	HOR	N	NE/NW	E/W	SE/SW	S	HOR
Jan.	34	88	234	235	118	296	32	71	224	242	162	275
Feb.	36	132	245	210	67	306	34	114	239	219	110	294
Mar.	38	170	242	170	38	303	37	156	241	184	55	300
Apr.	71	193	221	118	37	284	44	184	225	134	39	289
May	113	203	201	80	37	265	74	198	209	97	38	277
June	129	206	190	65	37	255	90	200	200	82	39	269
July	115	201	195	77	38	260	77	195	204	93	39	272
Aug.	75	187	212	112	38	276	47	179	216	128	41	282
Sep.	40	163	231	163	40	293	38	149	230	176	56	290
Oct.	37	129	236	202	66	299	35	112	231	211	108	288
Nov.	35	88	230	230	117	293	33	71	220	238	160	273
Dec.	34	71	226	241	138	288	31	54	215	247	180	264

**Table 11 Cooling Load Factors for Glass without Interior Shading (includes reflective and heat absorbing glass)**

N. Latitude	Fenestration Facing	Room Construction	Solar Time, hr																							
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	L		0.17	0.14	0.11	0.09	0.08	0.33	0.42	0.48	0.56	0.63	0.71	0.76	0.80	0.82	0.82	0.79	0.80	0.84	0.61	0.48	0.38	0.31	0.25	0.20
	M		0.13	0.10	0.08	0.06	0.04	0.33	0.41	0.46	0.53	0.59	0.65	0.70	0.73	0.75	0.76	0.74	0.75	0.79	0.61	0.50	0.42	0.36	0.31	0.27
	H		0.25	0.23	0.21	0.20	0.19	0.38	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.69	0.72	0.73	0.72	0.70	0.70	0.74	0.57	0.46	0.39	0.34	0.31	0.28
NE	L		0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.23	0.41	0.51	0.51	0.45	0.39	0.36	0.33	0.31	0.28	0.26	0.23	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05
	M		0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.21	0.36	0.44	0.45	0.40	0.36	0.33	0.31	0.30	0.28	0.26	0.23	0.21	0.17	0.15	0.13	0.11	0.09	0.08
	H		0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.23	0.37	0.44	0.44	0.39	0.34	0.31	0.29	0.27	0.26	0.24	0.22	0.20	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10
SE	L		0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.19	0.37	0.51	0.57	0.57	0.51	0.42	0.36	0.32	0.29	0.25	0.22	0.19	0.14	0.12	0.09	0.08	0.06	0.05
	M		0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.18	0.33	0.44	0.50	0.51	0.45	0.39	0.35	0.32	0.29	0.26	0.23	0.21	0.17	0.15	0.13	0.11	0.10	0.08
	H		0.09	0.09	0.08	0.08	0.07	0.21	0.34	0.45	0.50	0.49	0.43	0.36	0.32	0.29	0.26	0.24	0.22	0.19	0.17	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10
S	L		0.05	0.04	0.04	0.03	0.02	0.13	0.28	0.43	0.55	0.62	0.63	0.57	0.48	0.42	0.37	0.33	0.28	0.24	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.07
	M		0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.14	0.26	0.38	0.48	0.54	0.55	0.51	0.45	0.40	0.36	0.33	0.29	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14	0.12	0.10
	H		0.11	0.10	0.10	0.09	0.08	0.17	0.28	0.40	0.49	0.53	0.53	0.48	0.41	0.36	0.33	0.30	0.27	0.24	0.20	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12
SW	L		0.08	0.07	0.05	0.04	0.04	0.06	0.09	0.14	0.22	0.34	0.48	0.59	0.65	0.65	0.59	0.50	0.43	0.36	0.28	0.22	0.18	0.15	0.12	0.10
	M		0.13	0.12	0.09	0.08	0.07	0.08	0.11	0.14	0.17	0.24	0.33	0.43	0.51	0.56	0.55	0.50	0.43	0.38	0.32	0.26	0.22	0.20	0.18	0.16
	H		0.13	0.12	0.12	0.11	0.10	0.12	0.14	0.17	0.24	0.33	0.43	0.51	0.56	0.55	0.50	0.43	0.38	0.32	0.26	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15
W	L		0.12	0.10	0.08	0.06	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.24	0.36	0.49	0.60	0.66	0.66	0.58	0.43	0.33	0.27	0.22	0.18	0.14
	M		0.15	0.13	0.12	0.10	0.09	0.09	0.10	0.12	0.13	0.15	0.17	0.23	0.33	0.44	0.53	0.58	0.59	0.53	0.41	0.33	0.28	0.24	0.21	0.18
	H		0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.12	0.13	0.14	0.16	0.17	0.19	0.25	0.34	0.44	0.52	0.56	0.56	0.49	0.37	0.30	0.25	0.21	0.19	0.17
NW	L		0.12	0.10	0.08	0.07	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	0.11	0.13	0.14	0.20	0.32	0.45	0.57	0.64	0.61	0.44	0.34	0.27	0.22	0.18	0.14
	M		0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.11	0.12	0.13	0.13	0.14	0.15	0.16	0.21	0.30	0.40	0.49	0.54	0.52	0.38	0.30	0.24	0.21	0.18	0.16
	H		0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.11	0.12	0.13	0.13	0.14	0.15	0.16	0.21	0.30	0.40	0.49	0.54	0.52	0.38	0.30	0.24	0.21	0.18	0.16
HOR	L		0.11	0.09	0.08	0.06	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.17	0.19	0.23	0.33	0.47	0.59	0.60	0.43	0.33	0.26	0.21	0.17	0.14
	M		0.14	0.12	0.11	0.09	0.08	0.09	0.10	0.11	0.13	0.14	0.16	0.17	0.18	0.21	0.30	0.42	0.51	0.53	0.39	0.32	0.26	0.22	0.19	0.16
	H		0.14	0.12	0.11	0.11	0.10	0.11	0.12	0.13	0.15	0.16	0.18	0.19	0.19	0.22	0.30	0.41	0.50	0.51	0.36	0.29	0.23	0.20	0.17	0.15

L=Light construction: frame exterior wall, 2-in. concrete floor slab, approximately 30 lb of material/square feet of floor area.  
 M=Medium construction: 4-in. concrete exterior wall, 4-in. concrete floor slab, approximately 70 lb of building material/square feet of floor area.  
 H=Heavy construction: 6-in. concrete exterior wall, 6-in. concrete floor slab, approximately 130 lb of building materials/square feet of floor area.

**Table 12 Cooling Load Factors for Glass with Interior Shading (includes reflective and heat absorbing glass)**

N. Latitude	Fenestration Facing	Room Construction	Solar Time, hr																							
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	L		0.07	0.05	0.04	0.04	0.05	0.70	0.65	0.65	0.74	0.81	0.87	0.91	0.91	0.88	0.84	0.77	0.80	0.92	0.27	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08
	M		0.08	0.07	0.06	0.06	0.07	0.73	0.66	0.65	0.73	0.80	0.86	0.89	0.89	0.86	0.82	0.75	0.78	0.91	0.24	0.18	0.15	0.13	0.11	0.09
	H		0.09	0.09	0.08	0.07	0.09	0.75	0.67	0.66	0.74	0.80	0.86	0.89	0.88	0.85	0.80	0.73	0.76	0.88	0.23	0.17	0.14	0.13	0.11	0.10
NE	L		0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.55	0.76	0.75	0.60	0.39	0.31	0.28	0.27	0.25	0.23	0.20	0.16	0.12	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02
	M		0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.56	0.76	0.74	0.58	0.37	0.29	0.27	0.26	0.24	0.22	0.20	0.16	0.12	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03
	H		0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.57	0.77	0.74	0.58	0.36	0.28	0.26	0.25	0.23	0.21	0.19	0.16	0.11	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04
E	L		0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.45	0.71	0.80	0.77	0.64	0.43	0.29	0.25	0.23	0.20	0.17	0.14	0.10	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02
	M		0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.47	0.72	0.80	0.76	0.62	0.41	0.27	0.24	0.22	0.20	0.17	0.14	0.11	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03
	H		0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.48	0.72	0.80	0.75	0.61	0.40	0.25	0.22	0.21	0.19	0.16	0.14	0.10	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04
SE	L		0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.29	0.56	0.74	0.82	0.81	0.70	0.52	0.35	0.30	0.26	0.22	0.18	0.13	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03
	M		0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.30	0.56	0.74	0.81	0.79	0.68	0.49	0.33	0.28	0.25	0.22	0.18	0.13	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04
	H		0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.31	0.57	0.74	0.81	0.79	0.67	0.48	0.31	0.27	0.23	0.20	0.17	0.13	0.07	0.07	0.06	0.05	0.05	0.05
S	L		0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.08	0.15	0.22	0.37	0.58	0.75	0.84	0.82	0.71	0.53	0.37	0.29	0.20	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.04
	M		0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.09	0.16	0.22	0.38	0.58	0.75	0.83	0.80	0.68	0.50	0.35	0.27	0.19	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05
	H		0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.11	0.17	0.24	0.39	0.59	0.75	0.82	0.79	0.67	0.49	0.33	0.26	0.18	0.10	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05
SW	L		0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.06	0.10	0.13	0.16	0.18	0.22	0.38	0.59	0.76	0.84	0.83	0.72	0.48	0.18	0.13	0.11	0.08	0.07	0.06
	M		0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.07	0.11	0.14	0.16	0.19	0.22	0.38	0.59	0.75	0.83	0.81	0.69	0.45	0.15	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06
	H		0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.08	0.12	0.15	0.18	0.20	0.23	0.39	0.59	0.75	0.82	0.80	0.68	0.43	0.14	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06
NW	L		0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.05	0.08	0.11	0.13	0.14	0.15	0.17	0.30	0.53	0.72	0.83	0.83	0.63	0.19	0.14	0.11	0.08	0.07	0.06
	M		0.05	0.04	0.04	0.04	0.03	0.06	0.09	0.11	0.13	0.13	0.14	0.17	0.31	0.54	0.73	0.82	0.81	0.61	0.16	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06
	H		0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.07	0.10	0.12	0.14	0.16	0.17	0.18	0.31	0.54	0.71	0.81	0.80	0.59	0.15	0.11	0.09	0.07	0.06	0.06
HOR	L		0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.06	0.10	0.13	0.16	0.19	0.20	0.21	0.22	0.30	0.52	0.73	0.83	0.71	0.19	0.13	0.10	0.08	0.07	0.05
	M		0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.07	0.11	0.14	0.17	0.19	0.20	0.21	0.22	0.30	0.52	0.73	0.82	0.69	0.16	0.12	0.09	0.08	0.07	0.06
	H		0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.08	0.12	0.15	0.18	0.20	0.21	0.22	0.23	0.30	0.52	0.73	0.81	0.67	0.15	0.11	0.08	0.07	0.06	0.05

**Table 16 Rates of Heat Gain from Occupants of Conditioned Spaces<sup>a</sup>**

Degree of Activity	Typical Application	Total Heat Adults, Male			Total Heat Adjusted <sup>b</sup>			Sensible Heat			Latent Heat		
		Watts	Btuh	kcal/hr	Watts	Btuh	kcal/hr	Watts	Btuh	kcal/hr	Watts	Btuh	kcal/hr
Seated at rest	Theater, movie	115	400	100	100	350	90	60	210	55	40	140	30
Seated, very light work writing	Offices, hotels, apts	140	480	120	120	420	105	65	230	55	55	190	50
Seated, eating	Restaurant <sup>c</sup>	150	520	130	170	580 <sup>c</sup>	145	75	255	60	95	325	80
Seated, light work, typing	Offices, hotels, apts	185	640	160	150	510	130	75	285	60	75	285	65
Standing, light work or walking slowly	Retail Store, bank	235	800	200	185	640	160	90	315	80	95	325	80
Light bench work	Factory	255	880	220	230	780	195	100	345	90	130	435	110
Walking, 3 mph, light machine work	Factory	305	1040	260	305	1040	260	100	345	90	205	695	170
Bowling <sup>d</sup>	Bowling alley	350	1200	300	280	960	240	100	345	90	180	615	150
Moderate dancing	Dance hall	400	1360	340	375	1280	320	120	405	100	255	875	220
Heavy work, heavy machine work, lifting	Factory	470	1600	400	470	1600	400	165	565	140	300	1035	260
Heavy work, athletics	Gymnasium	585	2000	500	525	1800	450	185	635	160	340	1165	290

<sup>a</sup>Note: 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.  
<sup>b</sup>Adjusted 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.  
<sup>c</sup>Adjusted total heat value for eating in a restaurant, includes 60 Btuh for food per individual (30 Btu sensible and 30 Btu latent).  
<sup>d</sup>For bowling figure one person per alley actually bowling, and all others as sitting (400 Btuh) or standing and walking slowly (790 Btuh).  
 Also refer to Tables 4 and 5, Chapter 8.  
 All values rounded to nearest 5 watts or kcal/hr or to nearest 10 Btuh.

**Table 7 Recommended Heat Gain from Typical Laboratory Equipment**

Equipment	Nameplate, W	Peak, W	Average, W
Analytical balance	7	7	7
Centrifuge	138	89	87
	288	136	132
	5500	1176	730
Electrochemical analyzer	50	45	44
	100	85	84
Flame photometer	180	107	105
Fluorescent microscope	150	144	143
	200	205	178
Function generator	58	29	29
Incubator	515	461	451
	600	479	264
	3125	1335	1222
Orbital shaker	100	16	16
Oscilloscope	72	38	38
	345	99	97
Rotary evaporator	75	74	73
	94	29	28
Spectronics	36	31	31
Spectrophotometer	575	106	104
	200	122	121
	N/A	127	125
Spectro fluorometer	340	405	395
Thermocycler	1840	965	641
	N/A	233	198
Tissue culture	475	132	46
	2346	1178	1146

Source: Hosni et al. (1999).

Nota: Están en unidades internacionales (W) para convertir a unidades inglesas (BTU/h) multiplique el dato de la tabla por 3,41214

**Table 8 Recommended Heat Gain from Typical Computer Equipment**

	Continuous, W	Energy Saver Mode, W
<b>Computers<sup>a</sup></b>		
Average value	55	20
Conservative value	65	25
Highly conservative value	75	30
<b>Monitors<sup>b</sup></b>		
Small (13 to 15 in.)	55	0
Medium (16 to 18 in.)	70	0
Large (19 to 20 in.)	80	0

Sources: Hosni et al. (1999), Wilkins and McGaffin (1994).

<sup>a</sup>Based on 386, 486, and Pentium grade.

<sup>b</sup>Typical values for monitors displaying Windows environment.

**Table 9 Recommended Heat Gain from Typical Laser Printers and Copiers**

	Continuous, W	1 page per min., W	Idle, W
<b>Laser Printers</b>			
Small desktop	130	75	10
Desktop	215	100	35
Small office	320	160	70
Large office	550	275	125
<b>Copiers</b>			
Desktop	400	85	20
Office	1,100	400	300

Source: Hosni et al. (1999).

Nota: Están en unidades internacionales (W) para convertir a unidades inglesas (BTU/h) multiplique el dato de la tabla por 3,41214

**TABLA 41. INFILTRACIONES POR LAS PUERTAS Y VENTANAS EN VERANO \* (Cont.)**  
Velocidad del viento: 12 km/h \*\*

TABLA 41 c - PUERTAS EN UNA FACHADA O EN DOS FACHADAS ADYACENTES

DESIGNACIÓN	m³/h por m² de superficie ****		m³/h	
	No utilizada	Utilización media	Constantemente abierta	
			Sin vestíbulo	Con vestíbulo
Puerta giratoria - funcionamiento normal paneles abiertos	14,5	95	-	-
Puerta de cristal - Rendija 5 mm	82,0	183	2040	1530
Puerta de madera (2,1 x 0,9 m)	18,0	119	1190	850
Pequeña puerta de fábrica	14,0	119	-	-
Puerta de garage o de carga	36,5	82	-	-
Rampa de garage	36,5	124	-	-

**TABLE 2**  
**OUTDOOR AIR REQUIREMENTS FOR VENTILATION\* (Continued)**  
**2.1 COMMERCIAL FACILITIES (offices, stores, shops, hotels, sports facilities)**

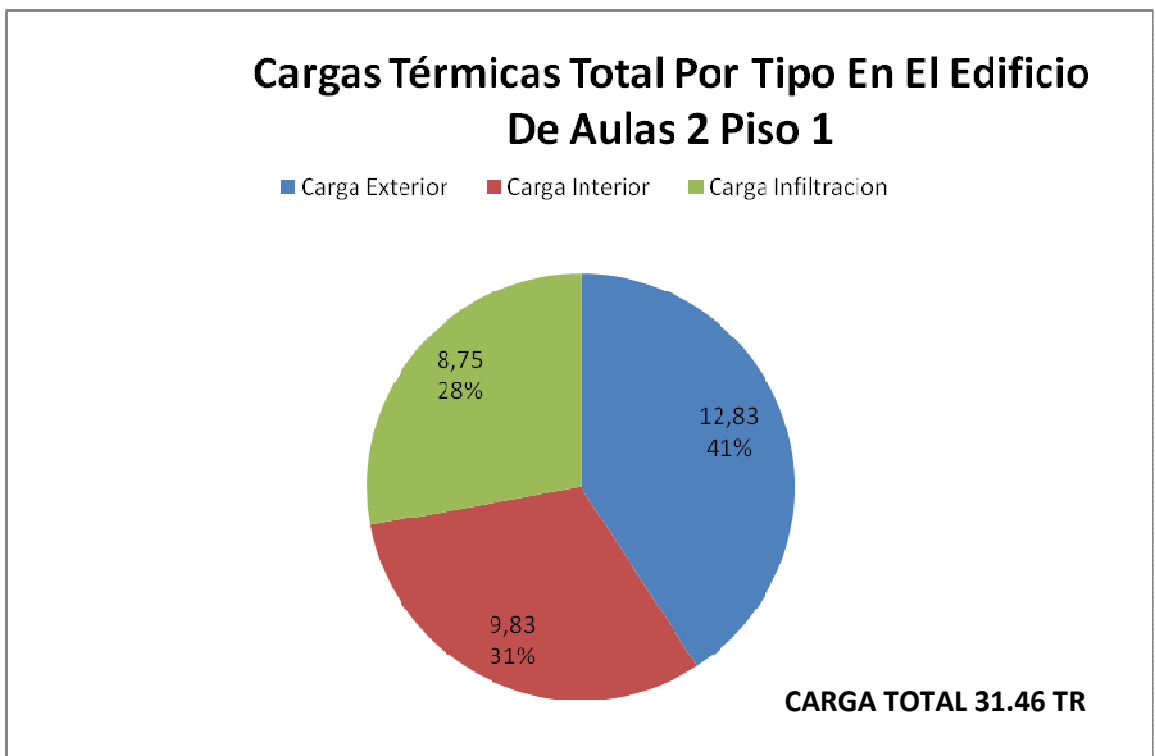
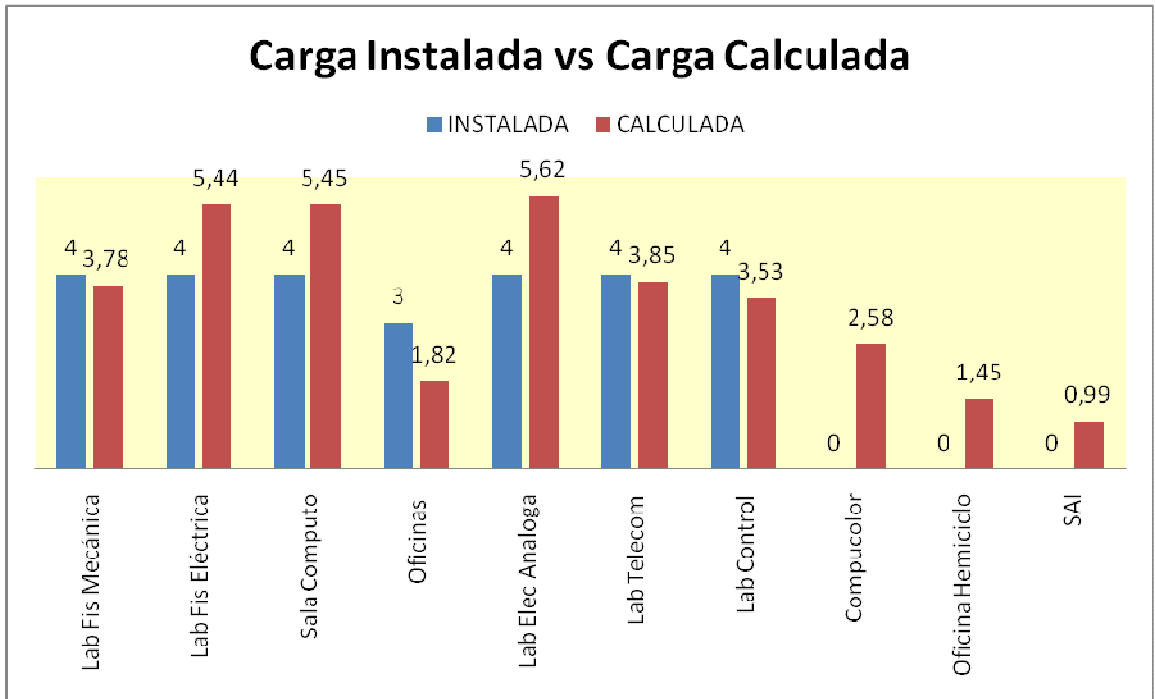
Application	Estimated Maximum** Occupancy P/1000 ft² or 100 m²	Outdoor Air Requirements				Comments
		cfm/ person	L/s person	cfm/ft²	L/s·m²	
Photo studios	10	15	8			
Darkrooms	10			0.50	2.50	
Pharmacy	20	15	8			
Bank vaults	5	15	8			
Duplicating, printing				0.50	2.50	Installed equipment must incorporate positive exhaust and control (as required) of undesirable contaminants (toxic or otherwise).

**2.2 INSTITUTIONAL FACILITIES**

<b>Education</b>						
Classroom	50	15	8			
Laboratories	10	20	10			Special contaminant control systems may be required for processes or functions including laboratory animal occupancy.
Training shop	30	20	10			
Music rooms	50	15	8			
Libraries	20	15	8			
Locker rooms				0.50	2.50	
Corridors				0.10	0.50	
Auditoriums	150	15	8			
Smoking lounges	70	60	30			Normally supplied by transfer air. Local mechanical exhaust with no recirculation recommended.

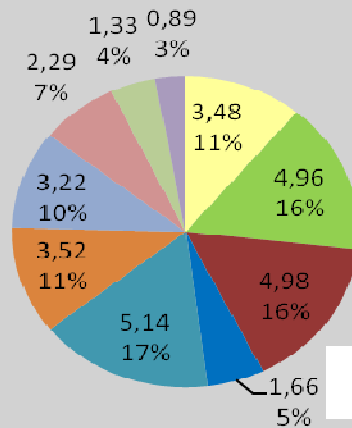
## Anexo C Resultados En El Cálculo De La Carga Térmica Del Edificios De Aulas 2

### Locales Edificios de Aulas 2



## Cargas Térmicas Por Local En El Edificios De Aulas 2 Piso 1

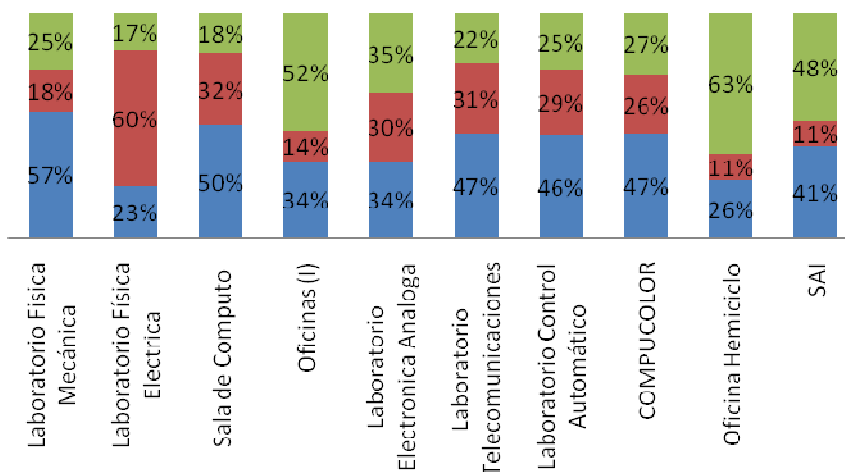
- Laboratorio Física Mecánica
- Laboratorio Física Electrica
- Sala de Computo
- Oficinas (I)
- Laboratorio Electronica Analoga
- Laboratorio Telecomunicaciones
- Laboratorio Control Automático
- COMPUCOLOR
- Oficina Hemiciclo
- SAI



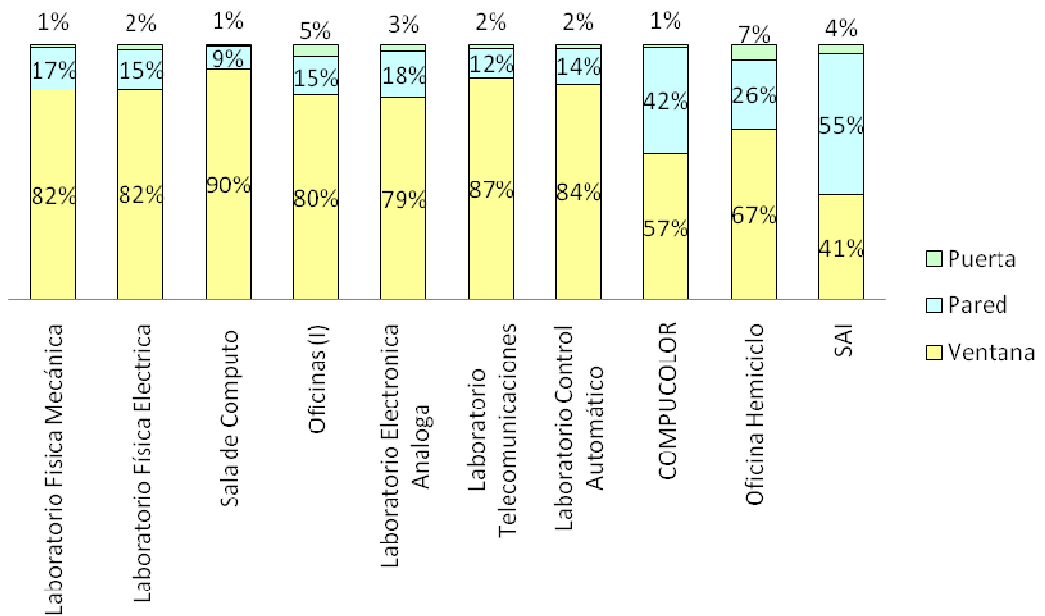
**CARGA TOTAL 31.46 TR**

## Cálculo De Cargas Por Tipo y Por Local

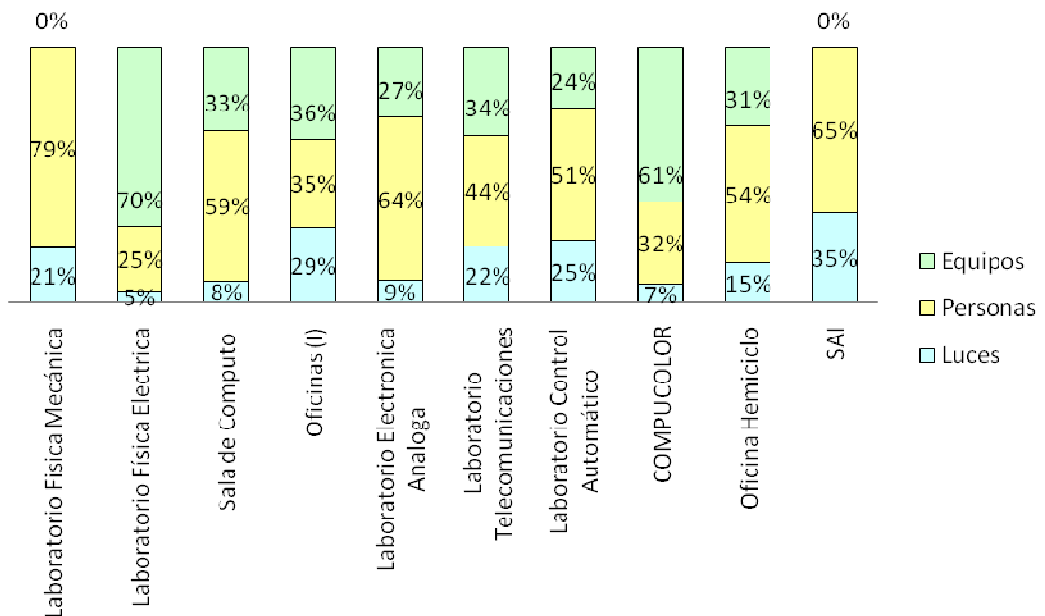
- Carga Infiltracion
- Carga Interior
- Carga Exterior



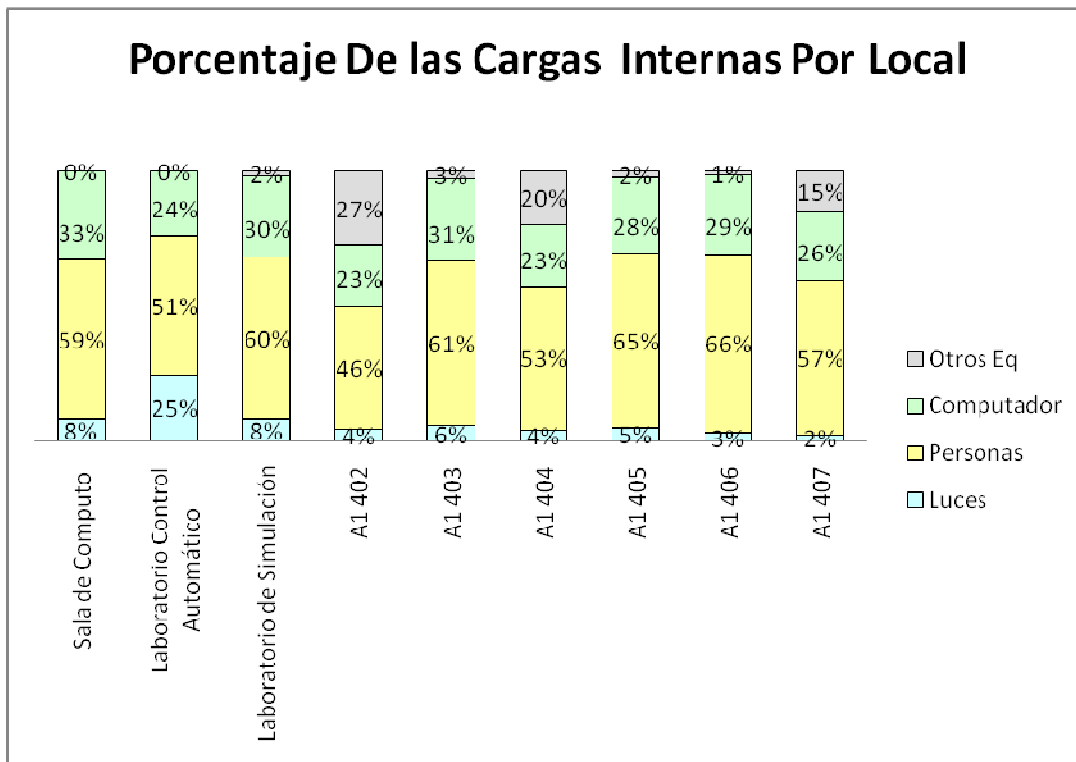
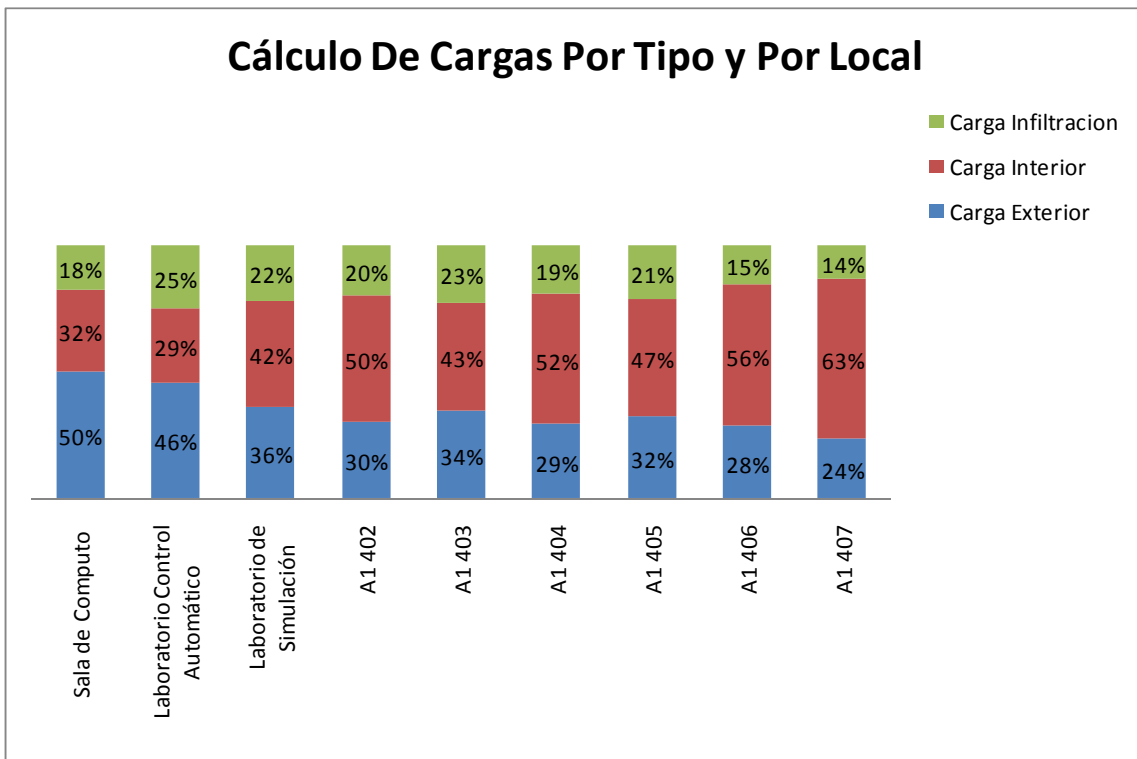
## Porcentaje De las Cargas Externas Por Local



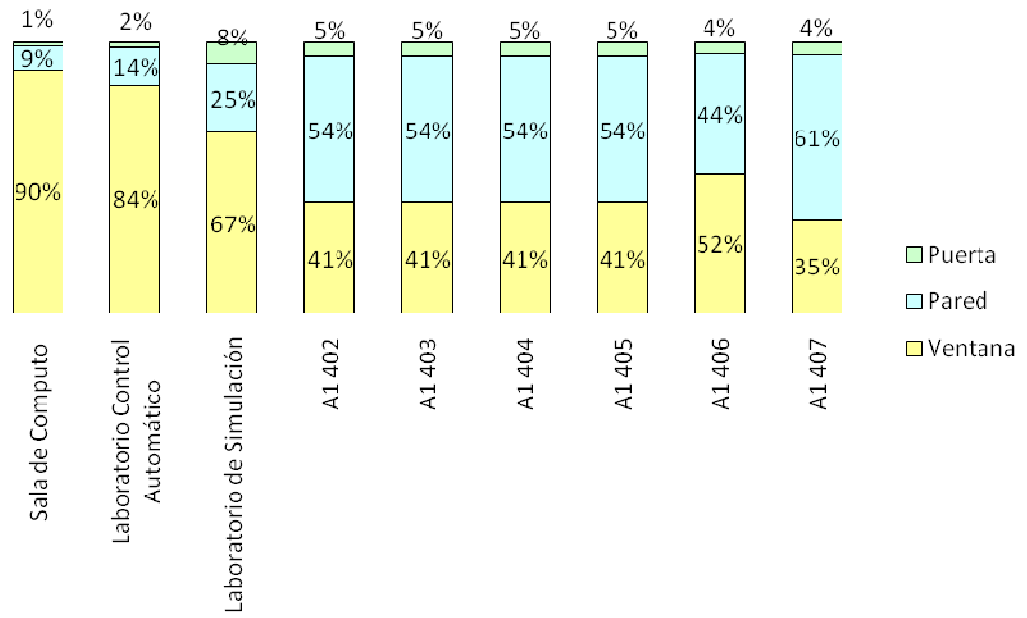
## Porcentaje De las Cargas Internas Por Local



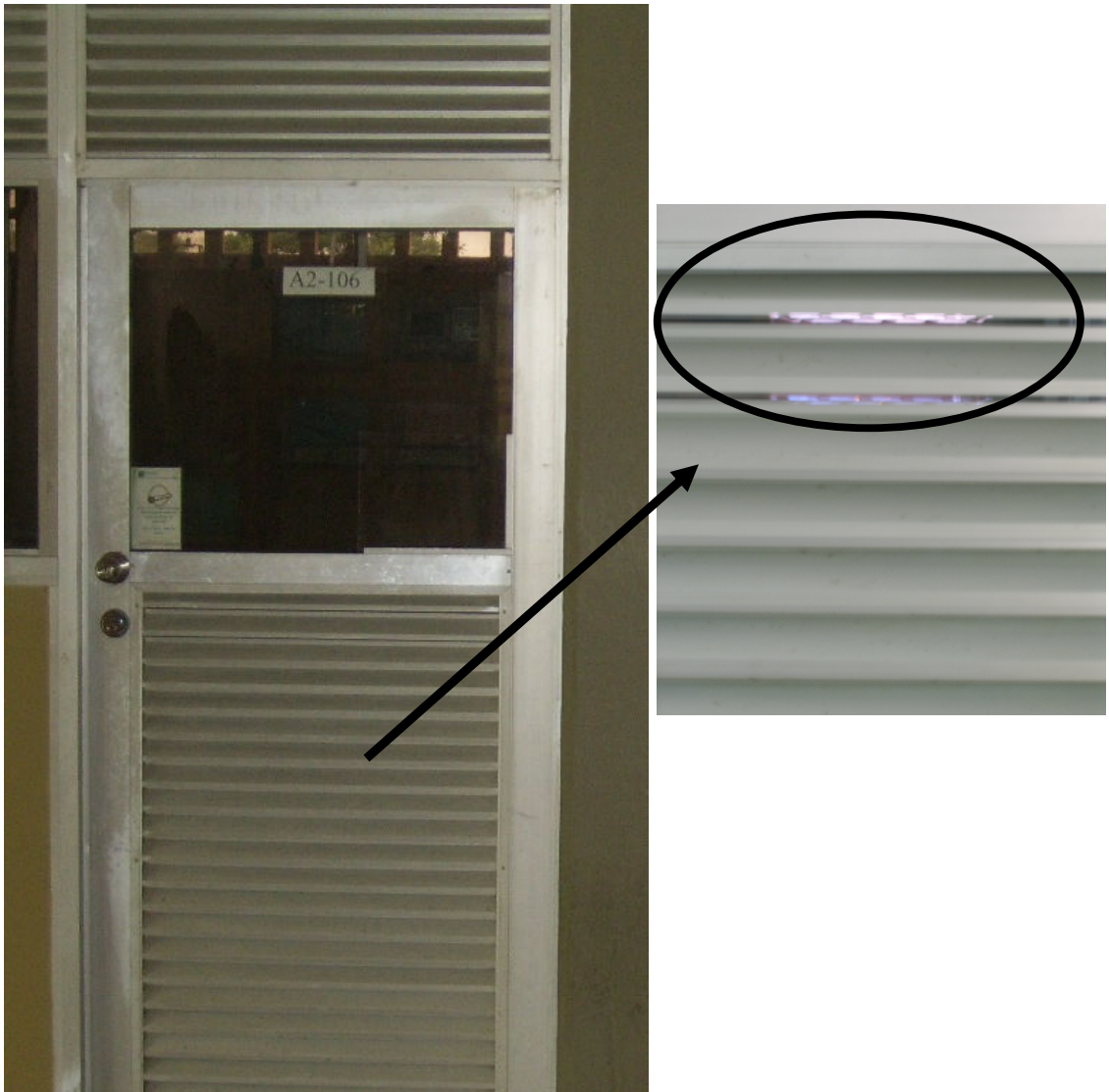
**Locales de informática del Campus de Ternera en la UTB**



## Porcentaje De las Cargas Externas Por Local



#### Anexo D Fotografías



En esta puerta, no existe cristal inferior, lo que permite que se filtre más aire de lo que está calculado causando así mas trabajo en el equipo.



Los Estudiantes que realizan las prácticas en este laboratorio, generalmente dejan la puerta abierta, generando así mas trabajo al equipo instalado.





La poca resistencia que ofrece las ventanas transmite mas flujos de calor a través de estas, dando por ejemplo condensación en ellas.

**Anexo E Ver CD Incluido Con Los Respectivos Cálculos Realizados En El Programa De Excel**