

**EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE AHORRO DE ENERGIA Y AGUA EN LOS
SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO INSTALADOS EN EL EDIFICIO PS CAMPUS
LEMAITRE**

ENILDA ROSA GUERRA GOMEZ

VICTOR HUGO CORRALES ALVAREZ

UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA Y MECATRONICA

CARTAGENA DE INDIAS

2011

**EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE AHORRO DE ENERGIA Y AGUA EN LOS
SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO INSTALADOS EN EL EDIFICIO PS CAMPUS
LEMAITRE**

ENILDA ROSA GUERRA GOMEZ

VICTOR HUGO CORRALES ALVAREZ

Trabajo de Grado Presentado para Optar el Título de Ingeniero Mecánico.

Director

HERMES RAMIREZ LEON

Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA Y MECATRONICA

CARTAGENA DE INDIAS

2011

Cartagena de Indias D.T y C. Octubre 2011

Señores
COMITÉ CURRICULAR
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
Facultad de Ingeniería
Cartagena

Estimados Señores

Luego de revisar el trabajo de grado **“EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE AHORRO DE ENERGÍA Y AGUA EN LOS SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO INSTALADOS EN EL EDIFICIO PS CAMPUS LEMAITRE”** de los estudiantes Enilda Rosa Guerra Gómez y Víctor Hugo Corrales Álvarez; 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 Ingenieros Mecánicos.

Cordialmente

ING. HERMES RAMÍREZ LEÓN
Director del proyecto

Cartagena de Indias D.T y C. Octubre 2011

Señores
COMITÉ CURRICULAR
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
Facultad de Ingeniería
Cartagena

Estimados Señores

La presente tiene como objetivo presentar a ustedes, para que sea puesto a consideración, el estudio y aprobación del trabajo de grado titulado “**EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE AHORRO DE ENERGÍA Y AGUA EN LOS SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO INSTALADOS EN EL EDIFICIO PS CAMPUS LEMAITRE**” 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

ENILDA ROSA GUERRA GOMEZ
64.721.972

VICTOR HUGO CORRALES ALVAREZ
1.143.333.319

Cartagena de Indias D.T y C. Octubre 2011

AUTORIZACION

Nosotros, Enilda Rosa Guerra Gómez identificada con cedula de ciudadanía número 64.721.972 de Sampues y Víctor Hugo Corrales Álvarez identificado con cedula de ciudadanía número 1.143.333.319 de Cartagena, autorizamos a la UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLIVAR, para hacer uso de nuestro trabajo de grado y publicarlo en el catalogo on-line de su biblioteca.

Cordialmente

ENILDA ROSA GUERRA GOMEZ
64.721.972

VICTOR HUGO CORRALES ALVAREZ
1.143.333.319

Cartagena de Indias D.T y C. Octubre 2011

Señores:

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

Programa de Ingeniería Mecánica

Comité de Evaluación de Proyectos

Ciudad

Apreciados Señores:

Con el siguiente escrito presento y certifico que el trabajo de grado titulado, **“EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE AHORRO DE ENERGÍA Y AGUA EN LOS SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO INSTALADOS EN EL EDIFICIO PS CAMPUS LEMAITRE”**, fue elaborado por los estudiantes Enilda Rosa Guerra Gómez y Víctor Hugo Corrales Álvarez, bajo mi dirección.

Como Director del proyecto considero que el trabajo es satisfactorio y amerita ser presentado para su evaluación.

ING. HERMES RAMÍREZ LEÓN
Director del Proyecto

Nota de Aceptación

Firma Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

TABLA DE CONTENIDO

<i>Listado de Tablas</i>	11
<i>Listado de Figuras</i>	14
<i>Dedicatorias</i>	15
<i>Agradecimientos</i>	16
<i>Resumen de Contenido</i>	17
<i>Abstract</i>	18
1. INTRODUCCION.....	19
1.1 FORMULACION DEL PROBLEMA.....	20
1.2 JUSTIFICACION.....	21
1.3 OBJETIVOS.....	22
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	22
1.3.2 OBJETIVO ESPECIFICOS.....	22
2. MARCO TEORICO.....	23
2.1 REVISIÓN GENERAL E HISTÓRICA.....	23
2.2 BASES TEÓRICAS PARA CALCULO DE CARGAS TERMICAS.....	24
2.3 PSICROMETRIA.....	26
2.4 AHORRO ENERGÉTICO EN SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO.....	29
2.4.1 INDICADORES DE ENERGÍA.....	29
3. METODOLOGIA DE CÁLCULO.....	32
3.1 CALCULO DE LA CARGA TÉRMICA	32
3.1.1 CONDICIONES DE DISEÑO.....	32
3.1.2 MEDICIONES DIMENSIONALES.....	34
3.1.3 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.....	34
3.1.4 CALCULO DE COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR “U”.....	34
3.1.4.1 CIRCUITOS TÉRMICOS EN SERIE.....	35
3.1.4.2 CIRCUITOS TÉRMICOS EN PARALELO.....	36
3.1.4.3 VENTANAS.....	37
3.1.5 CALCULO DE CARGAS TERMICAS.....	38
3.1.5.1 CARGAS SENSIBLES.....	38
3.1.5.1.1 CALCULO DE CARGA TÉRMICA A TRAVES DE PAREDES Y TECHOS.....	39
3.1.5.1.2 CALCULO DE CARGA TÉRMICA A TRAVES DE VENTANAS.....	41

3.1.5.1.3	CALCULO DE CARGA TÉRMICA A TRAVES DE LUCES, EQUIPOS Y PERSONAS.....	42
3.1.5.1.4	CALCULO DE CARGA TÉRMICA SENSIBLE A TRAVES DE INFILTRACIONES.....	44
3.1.5.2	CARGAS LATENTES.....	49
3.1.5.2.1	CALCULO DE CARGA TÉRMICA A TRAVES DE EQUIPOS Y PERSONAS.....	50
3.1.5.2.2	CALCULO DE CARGA TÉRMICA LATENTE A TRAVES DE INFILTRACIONES.....	51
3.2	CALCULO DEL INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA (EER).....	55
3.2.1	CARGA DE ENFRIAMIENTO REAL SUMINISTRADA POR EL EQUIPO.....	55
3.2.2	POTENCIA ELÉCTRICA CONSUMIDA POR EL EQUIPO.....	55
3.3	CALCULO DE LA CANTIDAD DE AGUA GENERADA POR EL SISTEMA.....	56
3.3.1	CALCULO TEÓRICO	56
3.3.2	CALCULO REAL.....	56
4.	CALCULOS.....	57
4.1	CONDICIONES DE DISEÑO.....	57
4.2	MEDICIONES DIMENSIONALES.....	57
4.2.1	ORIENTACION.....	57
4.2.2	PARED NO.....	58
4.2.3	PARED NE.....	61
4.2.4	PARED SE.....	62
4.2.5	PARED SO.....	65
4.3	CALCULO DE CARGAS TÉRMICAS.....	67
4.3.1	CARGAS SENSIBLES.....	67
4.3.1.1	CALCULO DE CARGA TÉRMICA A TRAVES DE PAREDES	67
4.3.1.2	CALCULO DE CARGA TÉRMICA A TRAVES DE TECHO Y PISO.....	71
4.3.1.3	CALCULO DE CARGA TÉRMICA A TRAVES DE VENTANAS.....	71
4.3.1.4	CALCULO DE CARGA TÉRMICA A TRAVES DE LUCES, EQUIPOS Y PERSONAS.....	72
4.3.1.5	CALCULO DE CARGA TÉRMICA A TRAVES DE INFILTRACIONES.....	76
4.3.2	CARGAS LATENTES.....	76
4.3.2.1	CALCULO DE CARGA TÉRMICA A TRAVES DE EQUIPOS Y PERSONAS.....	76
4.3.2.2	CALCULO DE CARGA TÉRMICA A TRAVES DE INFILTRACIONES.....	77
4.4	CALCULO DE LA CARGA TOTAL.....	77

4.5 DETERMINACIÓN DE LAS TONELADAS DE REFRIGERACION.....	78
4.6 EVALUACIÓN ENERGÉTICA DEL SISTEMA DE REFRIGERACION EDIFICIO PS.....	81
4.6.1 BALANCE ENERGETICO.....	83
4.7 CALCULO DE LA CANTIDADTEORICA DE AGUA GENERADA POR PARTE DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACION DE LOS EDIFICIOS MB, PS Y AUDITORIO DE LA UTB CAMPUS LEMAITRE.....	86
4.8 CALCULO DE LA CANTIDAD REAL DE AGUA GENERADA POR PARTE DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACION DE LOS EDIFICIOS MB, PS Y AUDITORIO CAMPUS LEMAITRE.....	86
5. ANALISIS DE RESULTADOS.....	90
6. CONCLUSIONES.....	91
7. RECOMENDACIONES.....	93
8. BIBLIOGRAFIA.....	94
9. ANEXOS.....	95
9.1 LISTA DE ANEXOS.....	95

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Procesos en la Carta Psicrometrica.....	28
Tabla 2. Coeficiente k para ventanas.....	48
Tabla 3. Coeficiente k para puertas.....	48
Tabla 4. Propiedades del aire.....	54
Tabla 5. Orientación y medida del local.....	57
Tabla 6. Áreas Pared Noroeste Salón PS 304.....	58
Tabla 7. Áreas ventanas de pared Noroeste Salón PS 304.....	59
Tabla 8. Factor U de ventanas Pared Noroeste Salón PS 304.....	59
Tabla 9. Factor U. Secciones de pared Noroeste Salón PS 304.....	60
Tabla 10. Factor U para puerta de pared Noroeste Salón PS 304.....	60
Tabla 11. Áreas Pared Noreste Salón PS 304.....	61
Tabla 12. Factor U. Secciones de pared Noreste Salón PS 304.....	62
Tabla 13. Áreas Pared Sureste Salón PS 304.....	63
Tabla 14. Áreas de ventanas Pared Sureste Salón PS 304.....	63
Tabla 15. Factor U de ventanas Pared Sureste Salón PS 304.....	64
Tabla 16. Factor U. Secciones de pared Sureste Salón PS 304.....	64
Tabla 17. Áreas Pared Suroeste Salón PS 304.....	65
Tabla 18. Factor U. Secciones de pared Suroeste Salón PS 304.....	66
Tabla 19. Composición de la pared Sureste Salón PS 304.....	67
Tabla 20. Carga térmica a traves de la pared Sureste Salón PS 304.....	68
Tabla 21. Composición de la pared Suroeste Salón PS 304.....	68
Tabla 22. Carga térmica a traves de la pared Suroeste Salón PS 304.....	69
Tabla 23. Composición de la pared Noroeste Salón PS 304.....	70

Tabla 24. Carga térmica a traves de la pared Noroeste Salón PS 304.....	70
Tabla 25. Composición de la pared Noreste Salón PS 304.....	70
Tabla 26. Carga térmica a traves de la pared Noreste Salón PS 304.....	70
Tabla 27. Carga térmica a traves del piso Salón PS 304.....	71
Tabla 28. Carga térmica a traves de ventanas de la pared Sureste Salón PS 304.....	71
Tabla 29. Carga térmica a traves de ventanas de la pared Noroeste Salón PS 304.....	72
Tabla 30. Factor de carga sensible a traves de Personas.....	72
Tabla 31. Carga térmica sensible a traves de Personas Salón PS 304.....	73
Tabla 32. Carga térmica a traves de Iluminación Salón PS 304.....	73
Tabla 33. Carga térmica a traves de Equipos Salón PS 304.....	74
Tabla 34. Carga térmica sensible a traves de Infiltraciones Salón PS 304.....	75
Tabla 35. Carga térmica Total Sensible Salón PS 304.....	75
Tabla 36. Factor de Carga Latente a traves de personas.....	75
Tabla 37. Carga térmica latente a traves de Personas Salón PS 304.....	75
Tabla 38. Carga térmica latente a traves de Infiltraciones Salón PS 304.....	76
Tabla 39. Carga térmica Total Salón PS 304.....	77
Tabla 40. Carga térmica Total Edificio PS.....	77
Tabla 41. Toneladas de Refrigeracion Salón PS 304.....	80
Tabla 42. Toneladas de Refrigeracion Edificio PS.....	80
Tabla 43. Parámetros de operación Salón PS 304.....	82
Tabla 44. Velocidad y Flujo en el Salón PS 304.....	82
Tabla 45. Consumo eléctrico Chiller y 2 ventiladores.....	82
Tabla 46. EER Total del Sistema.....	83
Tabla 47. EER	83

Tabla 48. Cantidad Teórica de agua separada Salón PS 402.....	86
Tabla 49. Flujo Real de Agua-Edificio MB (Segundo Piso).....	87
Tabla 50. Flujo Real de Agua-Edificio MB (Tercer y Cuarto Piso).....	87
Tabla 51. Flujo Real de Agua-Edificio MB (Oficina).....	88
Tabla 52. Flujo Real de Agua-Edificio MB (TOTAL).....	88
Tabla 53. Flujo Real de Agua-Edificio PS.....	88
Tabla 54. Flujo Real de Agua-Edificio PS (TOTAL).....	89
Tabla 55. Flujo Real de Agua-Auditorio.....	89
Tabla 56. Flujo Real de Agua-Auditorio (TOTAL).....	89

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Carta Psicrometrica.....	27
Figura 2. Líneas de Proceso en la Carta Psicrometrica.....	28
Figura 3. Rango óptimo para salud y el confort humano.....	34
Figura 4. Diagrama de circuitos térmicos en serie.....	35
Figura 5. Diagrama de circuitos térmicos en Paralelo.....	36
Figura 6. Diagrama de las regiones de una ventana (también en puertas).....	37
Figura 7. Coeficiente de presión vs Angulo del viento.....	45
Figura 8. Diferencial de presión debido al efecto chimenea.....	46
Figura 9. Caudal de Infiltración.....	47
Figura 10. Punto de referencia o Index point.....	51
Figura 11: Proceso de determinación de condiciones de suministro.....	52
Figura 12: Carta Psicrometrica.Determinacion Punto de Mezcla.....	45
Figura 13. Carta Psicrometrica. Determinación punto de suministro.....	79
Figura 14. Carta Psicrometrica. Calculo teórico agua generada salón.....	85

DEDICATORIA

“Agradezco a Dios por ser mi guía para llegar a mis metas.

A mi hija, Sajara por ser el motor de cada logro en mi vida.

A mis padres, Eberth y Mavis por su amor, comprensión y paciencia.

A mi novio y compañero, Víctor por su amor, apoyo y paciencia.

A mis hermanos, por sus ánimos.

Enilda Guerra Gómez.

“A Dios por todo

A mis padres por su apoyo.

A mi novia y compañera, Enilda, por su adorable compañía, amor y apoyo.

A mi amigo Bienvenido Sarria por su apoyo.

Víctor Corrales Álvarez.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Tecnológica de Bolívar por brindarnos el apoyo necesario para la realización de este trabajo.

Al personal docente de la Universidad Tecnológica de Bolívar, por ser parte importante de nuestra formación.

Al Ingeniero Hermes Ramírez León quien nos orientó con sus mejores aportes académicos y su dedicación, logrando despertar en nosotros motivos de trabajo y de transformación humana.

RESUMEN DEL CONTENIDO

Autores:

Enilda Rosa Guerra Gómez

Víctor Hugo Corrales Álvarez

Título del Trabajo: Evaluación y propuesta de ahorro de energía y agua en los sistemas de aire acondicionado instalados en el edificio PS campus Lemaitre

Nombre del Director del Trabajo de grado:

Ingeniero Mecánico Hermes Ramírez León.

Resumen del Contenido:

Existe hace tiempo, y actualmente se acrecienta aceleradamente, una gran preocupación y temor por los elevados costos sociales y medioambientales asociados a la energía convencional, los combustibles fósiles y la energía nuclear. Las soluciones siempre han estado ahí, frente a nosotros, pero la cultura del derroche, la falta de visión de futuro o los intereses económicos siempre han obstaculizado cualquier iniciativa que tiende a corregir el desequilibrio entre los sistemas de producción energética y el entorno natural.

Las claves de la solución a este problema están en un uso más eficiente de la energía, a través del ahorro y un empleo inteligente y cuidadoso de la misma, por tal razón hemos escogido un proyecto ambicioso dirigido al uso racional de la energía identificando las oportunidades de ahorro de energía a través de la modernización de los sistemas de refrigeración instalados en el campus Lemaitre de la UTB y ahorro de agua a través de la reutilización del agua que genera el sistema.

ABSTRACT

Enilda Rosa Guerra Gómez

Víctor Hugo Corrales Álvarez

Title: Evaluation and proposed energy and water savings in air conditioning systems installed in the building PS, Campus Lemaitre.

Director:

Mechanical Engineer Hermes Ramirez León.

Abstract:

There is a long time and now is growing rapidly, a major concern and fear about the high social and environmental cost associate with conventional energy, fossil fuels and nuclear energy. The solutions have always been there in front of us, but the culture of waste, lack of vision or economic interests have always prevent any action which tends to correct the imbalance between energy production system and the natural environment.

The keys of the solution to this problem are in a more efficient use of energy, through savings and smart and careful job of it, for that reason we have chosen an ambitious project aimed at the rational use of energy identifying opportunities saving energy through the modernization of the cooling system installed in the building PS of the Lemaitre UTB campus and water savings through the reuse of water generate for the system.

1. INTRODUCCIÓN

La Universidad Tecnológica de Bolívar en búsqueda de colaborar a la solución del problema de mal manejo de los recursos y a su vez por implantar una cultura basada en el uso más eficiente de la energía, a través del ahorro y un empleo inteligente y cuidadoso de la misma ;ha permitido que sus estudiantes sean parte activa del programa de Uso Racional de la Energía aportando soluciones a través de la implementación de métodos de ahorro de energía en sus diferentes campus y en los que se encuentran en proceso de construcción con el fin de abaratar costos económicos, sociales y medio ambientales.

Por lo anterior se realizara la evaluación de los equipos de refrigeración con los que actualmente se cuenta en el Edificio PS ubicado en el Campus Lemaitre y se hará una propuesta de modernización de estos, calculando las cargas térmicas generadas en los diferentes locales que lo conforman con el fin de comparar estos resultados con los de la evaluación energética de cada equipo de refrigeración instalados actualmente basándonos en lo eficaz que son estos equipos. Determinando si el equipo utilizado en cada recinto sea el adecuado para la cantidad de carga térmica que se genera en este, con la finalidad que si el equipo no supe la cantidad de carga térmica se presentara una falla al momento de cumplir con estándares de confort y si está sobredimensionado estaríamos colaborando en el mal uso de los recursos con el desperdicio de energía.

1.1 FORMULACION DEL PROBLEMA

Actualmente en la universidad tecnológica de bolívar campus Lemaitre (Edificio PS) funcionan una serie de equipos de refrigeración en los distintos locales que la componen, los cuales deben ser analizados y evaluados con base a la carga térmica generada dependiendo de las distintas actividades que en estos se realiza. Nuestro trabajo será calcular estas cargas de manera precisa y así evaluar la eficiencia por parte de los equipos encargados de la refrigeración de estos locales.

Los años de funcionamiento de los equipos marcan una pauta importante en el ahorro de energía por parte de estos, es este problema el que nos ha llevado a un estudio preciso de los años de funcionamiento de los equipos que hacen parte de la universidad tecnológica de bolívar campus Lemaitre (Edificio PS), ya que hay muchos equipos que tienen muchos años y pueden no estar contribuyendo con el ahorro de la energía y mucho menos con la eficiencia.

1.2 JUSTIFICACION

Es necesario tomar conciencia de que la función de un sistema de aire acondicionado es brindar unas condiciones adecuadas de confort y también una buena calidad del aire, y así preservar la salud y el bienestar en la vida de las personas.

Los sistemas de aire acondicionado deben cumplir con unos requerimientos en base a la cantidad de calor que se genera en determinado local, y así brindar un eficiente funcionamiento, ya que si el sistema instalado es muy pequeño no se cumplirá con el objetivo de confort, y si está sobredimensionado se consumirá más energía de la necesaria y así no contribuiría con el ahorro energético.

Un sistema de aire acondicionado bien proyectado y ejecutado, orientado hacia el ahorro de energía, debe contar con equipos eficientes, uso de combustibles económicos, alternativas y a esto debe agregarse una correcta operación, mediante temperaturas, velocidad de distribución de fluidos, tiempos de utilización y sistemas de control óptimos. Por otra parte, la aplicación de un adecuado aislamiento térmico y la mejora en la hermeticidad de los edificios es fundamental, dado que ello implica equipos más pequeños con menor consumo energético durante toda la vida útil.

Nuestro proyecto se realizara en función de la característica de la instalación y estará estructurado de manera coherente, debiéndose efectuar un **balance energético con un análisis económico** para de esta forma definir las soluciones más convenientes.

Deben fraccionarse la capacidad de los equipamientos a fin de adaptar la Producción de aire acondicionado a la demanda de calor del sistema en la Magnitud y momento que se produce, con objeto de conseguir en cada instante, el régimen de potencia más cercano al de máximo rendimiento.

Para ello, es necesario establecer las distintas tecnologías a emplear ya sea agua fría o expansión directa, los tipos de condensación a agua o aire, etc., considerando el diseño de la instalación para la función a que va a ser utilizada.

El objetivo de este proyecto es calcular una aproximación real de las cargas térmicas, y así mejorar el sistema de aire acondicionado, haciéndolo más eficiente contribuyendo con el ahorro de energía.

Además de contribuir al ahorro energético nuestro proyecto está encaminado al ahorro de agua como recurso fundamental; por tal razón vemos en la reutilización del agua generada por los sistemas de refrigeración de la UTB campus Lemaitre un aporte significativo en cuanto al ahorro de recursos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar parámetros de operación y energéticos de los equipos de aire acondicionado de la UTB Campus Lemaitre (Edificio PS) que han cumplido años de funcionamiento y realizar un plan de modernización eficaz.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Evaluación energética de los equipos

Cálculo y análisis de carga térmica de los recintos

Identificación de ahorro energético por parte de los equipos en base a la carga térmica a controlar

Realizar un análisis económico

Estimar la cantidad de agua generada por el sistema de refrigeración

2. MARCO TEORICO

2.1 REVISIÓN GENERAL E HISTÓRICA

A través de la historia la necesidad de confort del ser humano ha jugado un papel fundamental en la calidad de vida.

Desde tiempos muy antiguos el hombre ha visto como una necesidad la calidad del aire en los recintos cerrados, y se ha dado cuenta del papel fundamental que juega el control de las propiedades del aire para dicha comodidad. El ingenio del hombre con el pasar del tiempo ha hecho que el aire sea tratado para mejorar no solo el confort sino que también ha contribuido a que muchos productos de su uso diario mejoren su calidad.

Los antiguos egipcios utilizaban las bajas temperaturas del desierto para enfriar las piedras que hacían parte del templo del faraón y así hacer que la temperatura del templo bajara. No fue sino hasta 1842 que se creó un circuito frigorífico hermético basado en la absorción de calor a través de un gas refrigerante por Lord Kelvin, basado en los principios fundamentales de la transferencia de calor y de termodinámica.

En 1902 Willis Carrier sentó las bases de la refrigeración moderna, controlando los problemas de humedad y limpieza además de la temperatura de confort por medio del tratamiento del aire a través de una máquina de tubos enfriados.

En 1921 Carrier patentó la primera máquina de refrigeración centrífuga que fue el primer método de refrigerar grandes espacios, mejorando los productos de la industria textil y de alimentos que fueron las más beneficiadas. Carrier es considerado el padre de la refrigeración hasta nuestros tiempos.

Hay que tener en cuenta que la sensación de calor y frío que sienten las personas no solo depende de la temperatura, también depende del grado de humedad y de la cantidad de aire suministrado de acuerdo a la demanda que exige la cantidad de cargas térmicas. Es por esto que muy importante tener claro lo que significa el proceso de climatización para controlar de manera perfecta la zona a acondicionar.

El proceso de mejorar el medio ambiente en recintos cerrados ha hecho que el hombre mejore su calidad de vida dando oportunidad al desarrollo industrial por medio del acondicionamiento de aire¹.

¹ http://www.elaireacondicionado.com/articulos/historia_aire_acondicionado.html

2.2 BASES TEÓRICAS PARA CALCULO DE CARGAS TERMICAS

CARGA TÉRMICA O CARGA DE ENFRIAMIENTO

Carga térmica que se define como la cantidad de energía que se requiere vencer en un área para mantener condiciones de temperatura y humedad para una aplicación específica, es de mucha importancia tenerla en cuenta para un sistema de refrigeración y aire acondicionado ya que de esta depende las dimensiones de instalación del sistema de enfriamiento y las unidades de tratamiento de aire para un área determinada.

Debido a la gran importancia que tiene el cálculo de cargas térmicas para un sistema eficiente de refrigeración y aire acondicionado, este cálculo debe ser de gran exactitud y para esto debemos tener unas condiciones a tener en cuenta en su estimación y son las siguientes:

1. Los procesos térmicos de transmisión de calor que se generan en una zona (conducción, convección y radiación)
2. La gran variedad de materiales implicados en los fenómenos térmicos.
3. Las dimensiones físicas de la zona a calcular.
4. Concentración de personal en el local.
5. Los elementos que pueden ser fuente de calor aumentando la carga térmica.
6. El momento del día en que la carga llega a su máxima expresión.
7. Los datos atmosféricos del sitio

Debido a que la evolución de las cargas térmicas en determinados momentos puede diferir bastante, es necesario elegir un buen método de cálculo que permita abarcar todos los factores que influyen en el cálculo a causa de la variación de la carga. Existen diversos métodos para la estimación de las cargas térmicas basados en cálculos de cada hora denotados por ASHRAE una institución especializada en estudios de refrigeración, los cuales se presentan a continuación²:

1. Método CLTD/SCL/CLF (ASHRAE 1997)
2. Método de Balance de Calor (ASHRAE 2001)
3. La Serie de Tiempo Radiante (ASHRAE 2001)
4. Función De Transferencia (ASHRAE 1997)

Para nuestro estudio se utilizara el método CLTD/SCL/CLF a causa de su facilidad para realizar cálculos manuales.

MÉTODO CLTD/SCL/CLF

El método CLTD/SCL/CLF conocido por sus ciclos como carga por temperatura diferencial/carga solar de enfriamiento/factor de carga de enfriamiento, es un método de cálculo que fue publicado por la ASHRAE (siglas en ingles de sociedad americana de ingenieros para la calefacción, refrigeración y aire acondicionado) para cargas térmicas. Es el más indicado a la hora de tomar en cuenta la forma más sencilla de hacer cálculos manuales, ya que su cálculo se basa en hallar las cargas, por medio de datos tabulados para simplificar su elaboración, igualmente es un método de cálculo hora a hora que

² <http://www.monografias.com/trabajos4/cargasterm/cargasterm.shtml>

permite determinar los valores de las cargas de refrigeración a diferentes horas del día, mes y año, la cual cosa hace posible determinar el valor punta de la carga tanto para un local como para el conjunto de un edificio, la demanda y su consumo energético.

CONFORT TÉRMICO

El confort térmico ha recibido mucha importancia por parte del hombre para estar cómodo en un ambiente determinado. Este confort por el que se preocupa el hombre tiene mucho que ver con refrigeración (en caso de estar en un ambiente caliente), calefacción (en caso de estar en un ambiente frío) , y otros términos que se usan para el tratamiento del aire como son humidificación, limpieza y deshumidificación.

La expresión aire acondicionado suele referirse a la refrigeración, pero no es correcto, puesto que también debe referirse a la calefacción, siempre que se traten (acondicionen) todos o algunos de los parámetros del aire de la atmósfera. Lo que ocurre es que el más importante que trata el aire acondicionado, la humedad del aire, no ha tenido importancia en la calefacción, puesto que casi toda la humedad necesaria cuando se calienta el aire, se añade de modo natural por los procesos de respiración y transpiración de las personas. De ahí que cuando se inventaron máquinas capaces de refrigerar, hubiera necesidad de crear sistemas que redujesen también la humedad ambiente.

Es muy importante destacar los factores más influyentes en determinado sistema, que tienen que ver con el confort y son temperatura, humedad y recirculación de aire. Para controlar estos factores se debe hacer un estudio previo y saber a qué condiciones se deben llevar para el ambiente sea agradable en determinada zona, teniendo en cuenta unas dimensiones eficientes que contribuyan al buen funcionamiento, durabilidad, fácil mantenimiento y al medio ambiente por medio del ahorro de la energía.

SISTEMAS HVAC

Un sistema HVAC es el conjunto de equipos que conforman un sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado (Heat, Ventilating and Air Conditioning) como sus ciclos lo dicen, y es el conjunto de equipos diseñados para mantener condiciones ideales en un área determinada.

Para la selección de estos equipos se debe tener claro cuáles son las condiciones de confort a las cuales se quiere llegar por medio de un sistema de acondicionamiento de aire en nuestro caso. Existen criterios que hay que tener en cuenta a la hora de la selección de un buen sistema de calidad que permita brindar un ambiente confortable como lo son:

1. Temperatura
2. Humedad
3. Movimiento del aire
4. Pureza o calidad del aire
5. Cambios del aire por horas
6. Velocidad requerida para el agua
7. Clima local
8. Temperatura media radiante
9. Requerimiento de presión del espacio
10. Costos iniciales
11. Costos de energía y potencia

12. Costos de mantenimiento
13. Confiabilidad
14. Flexibilidad
15. Análisis del ciclo de vida
16. Sostenibilidad
17. Vibración y acústica

Estos criterios son muy importantes a la hora de escoger el sistema HVAC apropiado y que brinde condiciones perfectas.

Al igual que se debe tener claro estos criterios y que se debe hacer un estudio previo a la escogencia de equipos HVAC óptimos, estos equipos también deben cumplir con especificaciones que los consideren en excelente estado para su funcionamiento por ejemplo:

1. Ajustarse adecuadamente para proporcionar una corriente de aire correcta, y cumplir con la carga especificada de enfriamiento.
2. Instalarse correctamente de acuerdo con las especificaciones del fabricante.
3. Tener sellados los conductos de suministro que proporcionan una corriente de aire adecuada.
4. Instalarse con un sistema de retorno de aire adecuado para proporcionar un adecuado retorno de corriente de aire.
5. Tener sellados los conductos de retorno de tal manera que no se contamine el aire del sistema a causa del ambiente (smoke, químicos etc.)³.

2.3 PSICROMETRÍA

Además de los métodos de cálculo de carga térmica también es importante saber las propiedades de las mezclas aire-agua de la zona a acondicionar, y la psicrometría nos brinda la información necesaria para saber estas propiedades.

Hay factores que influyen en el confort humano como lo son temperatura y humedad relativa, factores que deben ser controlados por el sistema de acondicionamiento de aire y así producir el efecto deseado.

La carta psicrométrica (ver figura 1) es el elemento más eficiente a la hora de evaluar las propiedades del aire, de una manera sencilla si se tienen los parámetros necesarios para utilizarla. La carta psicrométrica es un elemento que puede variar de acuerdo a la altura pero universalmente se puede utilizar a 1 atm de presión es decir a la altura del nivel del mar.

³ ASHRAE Fundamentals 2008-HVAC Systems

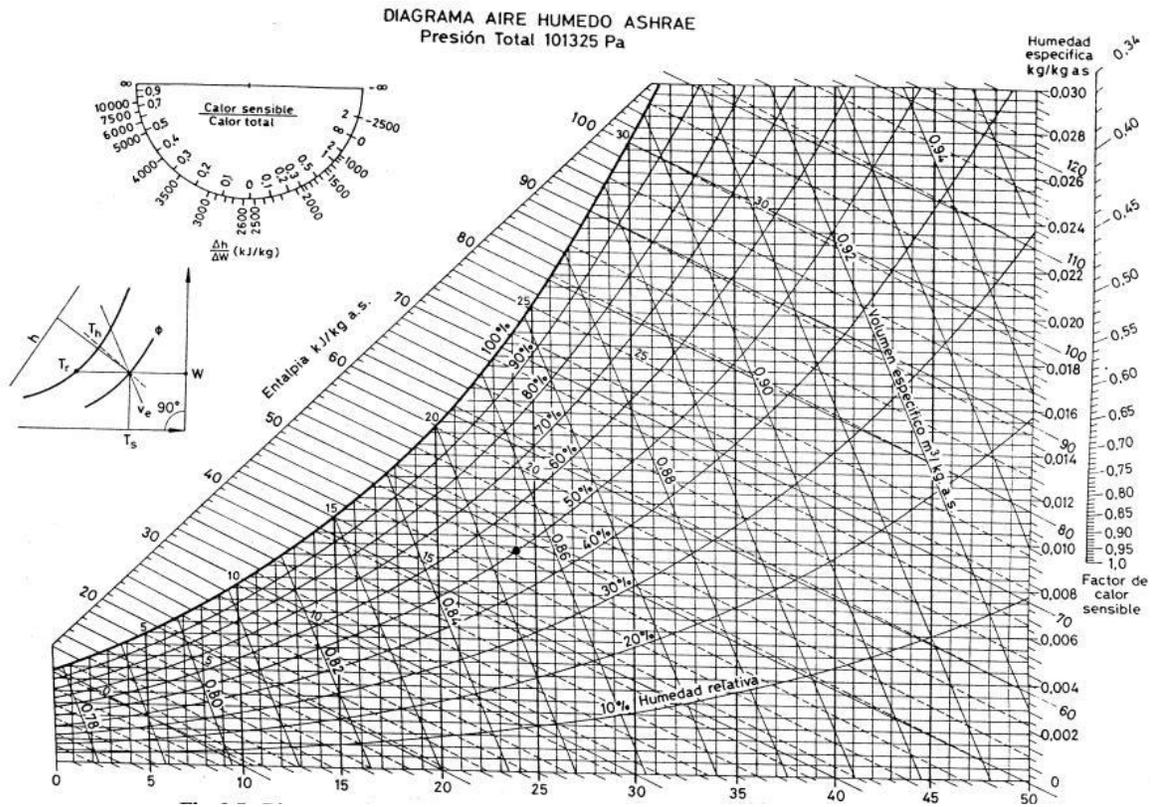
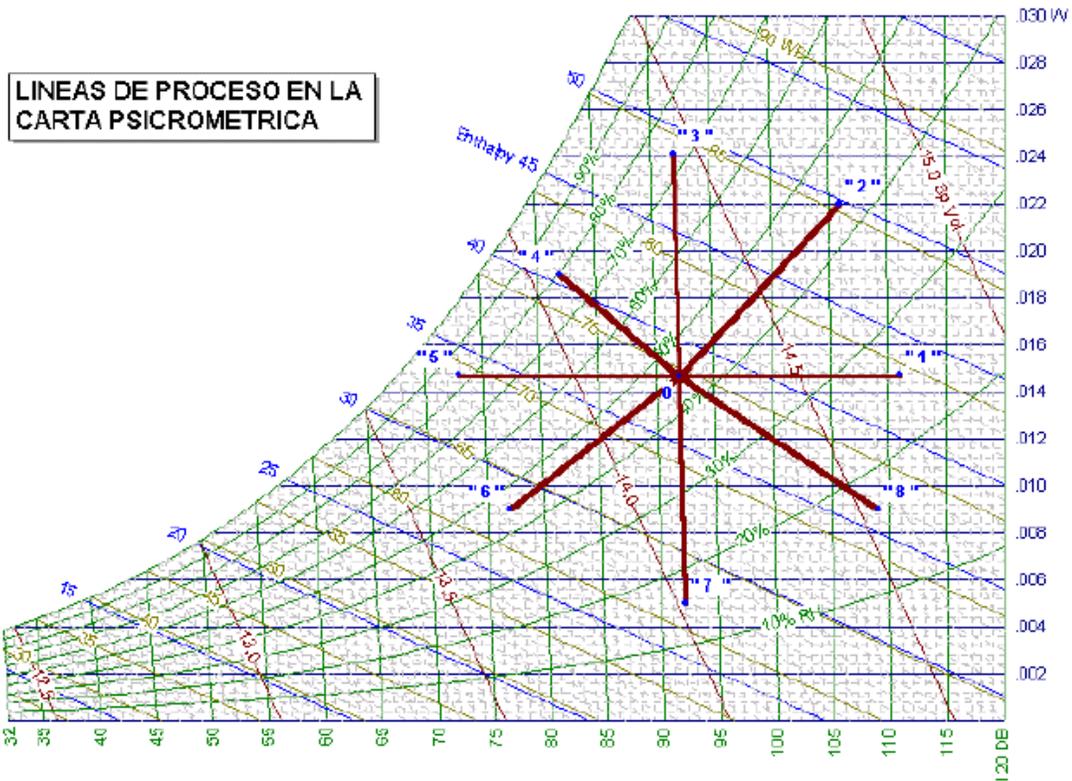


Figura 1. Carta Psicrometrica

Es un diagrama que relaciona múltiples parámetros del aire y es de gran importancia para su estudio, e incluso sirve para la selección de equipos. Su uso puede parecer complicado pero conociendo dos puntos de la tabla se puede usar correctamente. Los puntos de la tabla son: Temperatura de Bulbo Seco (TBS o DB), Temperatura de Bulbo Húmedo (TBH o WB), Humedad Relativa (HR), Volumen Especifico (VE), Humedad del Aire (W), Entalpia (h) y caída de presión (dp)⁴.

⁴ Air Conditioner Clinic Psicometry one of the fundamental series-Article



5 **Figura 2.** Líneas de Proceso en la Carta Psicrometrica

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 +	-	-	-	-	+	-

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

6 **Tabla 1:** Procesos en la Carta Psicrometrica

⁵ Determinación de cargas térmicas para garantizar el confort en los locales del piso 1 del edificio aulas 2 en la UTB

⁶ Determinación de cargas térmicas para garantizar el confort del edificio aulas 2 en la UTB

2.4 AHORRO ENERGÉTICO EN SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO

El ahorro energético en los sistemas de refrigeración juega un papel importante a la hora de verificar la eficiencia, ya que lo ideal es que la calidad de climatización sea excelente a un bajo costo energético, además de esto es muy importante tener en cuenta el bienestar del medio ambiente.

Hay muchas precauciones que hay que tener en el mantenimiento del sistema de refrigeración para que así este entregue su capacidad al máximo de manera eficiente, especialmente en el tema de limpieza de los conductos y de años de uso (teniendo en cuenta que el promedio de ciclo de vida de un compresor en los sistemas de aire es de 10 a 12 años con buen mantenimiento) esto contribuirá al ahorro de energía por parte del sistema.

Es muy importante tener en cuenta la actividad que se va a realizar en el área a acondicionar ya que de esto depende el sobredimensionamiento del sistema, por ende se debe saber la cantidad de cargas térmicas presentes y así entregar la potencia deseada. Un dimensionamiento adecuado del sistema puede llevar a un sistema energéticamente eficiente.

Un Uso Racional de la Energía de los sistemas de aire acondicionado. Se obtiene⁷:

- Seleccionando o diseñando la unidad apropiada (cálculo adecuado de cargas Térmicas)
- Minimizando las infiltraciones de aire externo, mayor aislamiento posible del exterior del recinto.
- Reduciendo el U de paredes
- Mejorando la eficiencia de la iluminación.
- Alta eficiencia de los equipos empleados en aire acondicionado: alto COP o REE.
- Alta eficiencia de ventiladores, compresores y motores eléctricos.
- Usar velocidad variable en ventiladores de manejadora o condensadora
- Optimización del diseño de ductos y distribución del aire.
- Aplicar un programa de mantenimiento apropiado (preventivo y predictivo)
- Emplear el control automático (PID). Con programación de eventos.
- Adoptar Sistemas de manejo de energía. (BMS)
- Emplear sistemas de recuperación de calor.

Para cada caso es necesario diseñar un procedimiento de cálculo de los ahorros y estimar el tiempo de recuperación de capital adicional invertido.

2.4.1 INDICADORES DE ENERGÍA

Cuando hablamos de eficiencia estamos hablando de la cantidad de energía consumida por un equipo en relación con su rendimiento para cumplir su trabajo, por lo cual la

7

<http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/UserFiles/File/Normatividad/ConceptosjuridicosEnergia/2008/2008%202008019906%20Normatividad%20aire%20acondicionado.pdf>

eficiencia es de gran importancia y por ende objeto de nuestro estudio. EER (Energy Efficiency Ratio), COP (Coefficient of Performance), SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio), son indicadores que permiten saber el grado de eficiencia de un equipo.

- EER (Energy Efficiency Ratio)

Cuando hablamos de sistemas de aire acondicionado debemos saber el rendimiento en función de la energía consumida del equipo para un determinado trabajo y el factor EER o razón de eficiencia de la energía es una medida de que tan eficiente es un sistema de refrigeración a unas condiciones determinadas (según normas ARI 95°F). El factor EER es un dato numérico que se obtiene dividiendo la cantidad de energía que se necesita suministrar, entre la cantidad de energía consumida por el equipo así:

$$EER = \frac{BTU/h \text{ de Refrigeracion a } 95^{\circ}F}{Watts \text{ usado a } 95^{\circ}F}$$

Es decir que un equipo que usa 100 W para producir 10000BTU/h tiene un EER de 10. Esto quiere decir que tiene una razón de eficiencia de 10. Si notamos la relación que nos da este factor nos permite concluir que entre mayor es este dato más eficiente es el equipo ya que entre menos energía eléctrica se usa para entregar una determinada cantidad de refrigeración el EER se incrementa, dando lugar a un mayor ahorro en consumo de energía⁸.

- SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio)

SEER (razón de energía de eficiencia estacional) mide que tan eficiente opera un sistema de aire acondicionado (enfriamiento o calentamiento) en una temporada de acondicionamiento, en oposición a la temperatura exterior. Igual que el EER, un SEER alto refleja un sistema de acondicionamiento más eficiente. SEER es calculado en base a la cantidad total de acondicionamiento (en Btu) que el sistema puede proveer durante la temporada completa dividida por el número total de vatio hora que puede consumir.

- COP (Coefficient of Performance)⁹

COP o coeficiente de desempeño es un indicador que nos permite saber cuál es el rendimiento de la bomba de calor en los sistemas de calefacción o del chiller en los sistemas de enfriamiento, operando a determinadas condiciones externas de temperatura. Existen dos métodos de cálculo del coeficiente, uno es referenciado a los sistemas de calefacción calculando el rendimiento de la bomba de calor a una temperatura exterior de 47F, dividido los BTU producidos por la bomba de calor entre los BTU consumidos en energía eléctrica necesarios para producir esta cantidad calor, la forma de cálculo es:

$$\frac{Btu \text{ of heat produced at } 47^{\circ}F}{\text{Energy consumed}}$$

⁸ http://www.energyguru.com/HERS_Certifications.htm

⁹ http://www.energyguru.com/HERS_Certifications.htm

$$\text{COP} = \frac{\text{Btu worth of electricity used at } 47^\circ}{\text{Btu worth of electricity used at } 47^\circ}$$

El segundo método es más usual para determinar el rendimiento del chiller. Este método consiste en dividir 3.516 entre los KW por toneladas usadas por el sistema así:

$$\text{COP} = \frac{3.516}{\text{KW/ton}}$$

Para nuestro estudio es de mucha importancia saber que tan eficiente es el refrigerador para disminuir la temperatura y crear condiciones óptimas de enfriamiento.

3. METODOLOGIA DE CÁLCULO

3.1 CALCULO DE LA CARGA TÉRMICA.

Para realizar el cálculo de carga térmica por el método CLTD/SCL/CLF con la mayor exactitud posible, analizaremos detalladamente los siguientes parámetros:

- Condiciones de diseño
- Mediciones dimensionales
- Materiales de construcción
- Calculo del coeficiente global de transferencia de calor "U"
- Calculo de la carga térmica
 - ◆ Cargas sensibles
 - ◆ Cargas latentes
- Calculo de la carga total

3.1.1 Condiciones de diseño

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

Temperatura Exterior: 93.2 °F
80% Humedad Relativa
Temperatura Interior de Diseño: 75.2 °F
55% Humedad Relativa
Variación de la Temperatura Diaria Exterior: 14.4 °F
Mes de Diseño: 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 se escogió según la ASHRAE, es uno de los más calurosos del año, el día 21 se toma debido a que ASHRAE tabula sus datos en este día de cada mes.

Como se puede ver, estos datos se escogieron por ser las condiciones más extremas que se pueden presentar en este lugar, por lo tanto es de afirmar que los cálculos finales obtenidos 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 podrá sentir confort térmico a esta misma temperatura.

El confort puede ser determinado a diferentes temperaturas de bulbo seco y humedad relativa, tanto que entidades dedicadas al estudio del confort térmico 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 enfermedad respiratoria reportada 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 60 % HR (en temperaturas ambientales normales) proporciona las mejores condiciones para la ocupación humana. En este rango, tanto el crecimiento de bacterias como de organismos biológicos y la velocidad en la cual interacciones químicas que ocurren son reducidas al mínimo (Ver figura 14)¹⁰La humedad relativa tiene un efecto significativo en el control de infección de aire. En 50 % HR, el índice de mortalidad de ciertos organismos es el más alto, y el virus gripe pierde la mayor parte de su virulencia. El índice de mortalidad se disminuye tanto encima como por debajo de este valor. La alta humedad puede apoyar el crecimiento de organismos patógenos o que producen alergias¹¹.

¹¹ ASHRAE 2004 Aplicaciones y Equipos Cap 20; Pag 1

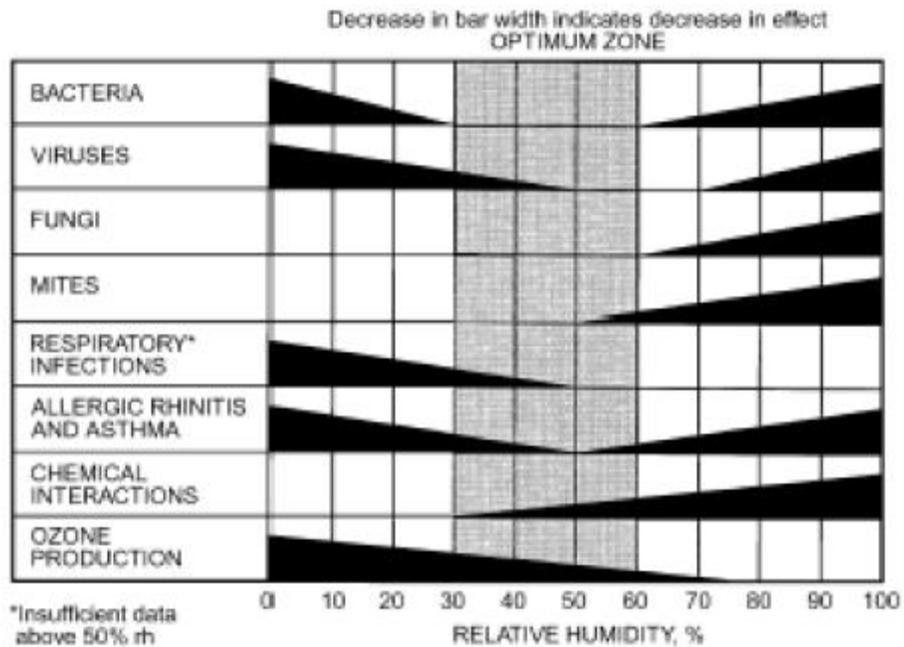


Figura 3. Rango óptimo para salud y el confort humano.

3.1.2 Mediciones dimensionales

Para realizar las mediciones dimensionales de las diferentes secciones (Paredes, ventanas, particiones, puertas, techos y pisos) que conforman el área a calcular se utilizarán instrumentos de medición tales como cinta métrica, calibrador, etc.

3.1.3 Materiales de construcción

Se deben identificar los materiales de construcción de las diferentes secciones (Paredes, ventanas, particiones, puertas, techos y pisos).

3.1.4 Calculo de coeficiente global de transferencia de calor "U"

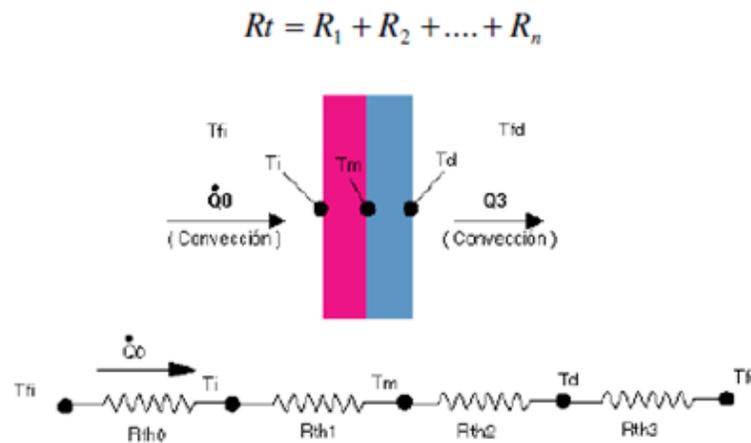
En la mayoría de los problemas de transferencia de calor se incluyen, más de un modo de transferencia de calor (conducción, convección, radiación).

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_0, T_i). La solución a esto es calculada por medio de circuitos térmicos, estos circuitos térmicos son ecuaciones análogas a los circuitos eléctricos¹².

3.1.4.1 Circuitos Térmicos en Serie.

Estos casos se presentan, cuando un flujo de calor debe atravesar una pared que está 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.



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

Figura 4. Diagrama de circuitos térmicos en serie.

R = Resistencia térmica de los materiales, este valor podemos hallarlo por medio de tablas o por la siguiente fórmula: $R = \frac{1}{k}$ para materiales sólidos

L = Longitud.

K = Coeficiente térmico de conducción, el cual se puede determinar por medio de tablas¹³.

¹² ASHRAE 2005 Fundamentos Cap 3; Pag 18

3.1.4.2 Circuitos Térmicos en Paralelo.

Estos caso se presentan, cuando el flujo de calor debe atravesar una pared 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 los circuitos en paralelo es la reciproca de la conductancia total equivalente, la cual es determinada por la suma entre cada una

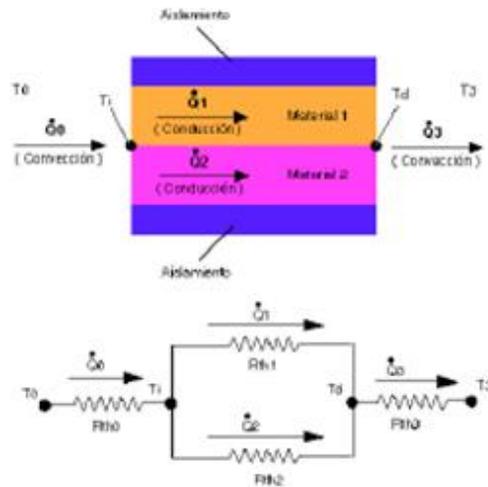


Figura 5. Diagrama de circuitos térmicos

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

de las conductancias de los materiales

R = Resistencia térmica de los materiales, este valor podemos hallarlo por medio de tablas o por la siguiente fórmula: $R = \frac{1}{k}$ para materiales sólidos

L = Longitud.

¹³ Determinación de cargas térmicas para garantizar el confort en los locales del piso 1 del edificio aulas 2 en la UTB

K = Coeficiente térmico de conducción, el cual se puede determinar por medio de tablas. Como vimos en la identificación de los materiales, una pared, un techo, ventana, entre otros. No contiene solamente un 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 respectivas ecuaciones¹⁴.

3.1.4.3 Ventanas

Las trayectorias de transferencia de calor de las ventanas incluyen una contribución unidimensional (centro del cristal) y una contribución de dos dimensiones (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 tres regiones: centro del cristal, borde del cristal y marco de la ventana, como se observa en la figura.

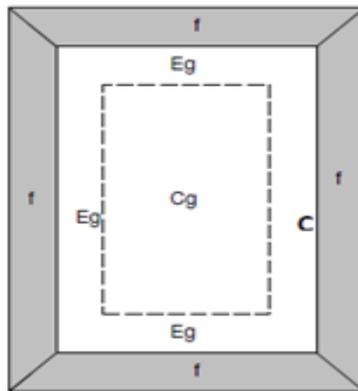


Figura 6. Diagrama de las regiones de una ventana (también en puertas)

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 “U” y área por cada contribución.

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

¹⁴ Determinación de cargas térmicas para garantizar el confort en los locales del piso 1 del edificio aulas 2 en la UTB

Donde los índices significan:

cg =center of glass = Centro Del Cristal

eg = edge of glass = borde Del Cristal

f= frame = marco de la ventana

A_{pf} = *Area total de la ventana*

U_0 = *Coeficiente global de transferencia de calor total de la ventana*

- Los factores U_{cg}, U_{eg}, U_f , están tabulados en cualquier libro de carga térmica, para este estudio se utilizaran la tabla del libro ASHRAE 2005 Fundamentos, Cap. 31, Tabla 4 (ver anexos).
- El área total de la ventana es la suma total de las áreas dentro del cristal, borde de cristal y marco de la ventana ($A_{pf} = A_{cg} + A_{eg} + A_f$), y es obtenido midiendo toda la ventana.
- El área del marco es obtenida por la diferencia del área total de la ventana (A_{pf}) y el área total de cristal (A_g): $A_f = A_{pf} - A_g$, A_g es obtenido midiendo los cristales¹⁵.

3.1.5 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

3.1.5.1 Cargas sensibles

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

3.1.5.1.1 Cálculo de carga térmica a través de paredes y techos

¹⁵ Determinación de cargas térmicas para garantizar el confort en los locales del piso 1 del edificio aulas 2 en la UTB

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

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

Dónde:

A: Área de la pared (ft²) obtenido de las mediciones hechas previamente

U: Coeficiente de transferencia de calor [Btu/ (h·ft²·°F)]

CLTD_c (Cooling Load Temperature Difference): Es un factor de corriente el cual depende del tipo de construcción, orientación, mes, color de la sección y temperatura exterior e interior. CLTD_c entonces se determina por la siguiente fórmula:

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

Dónde:

CLTD: Es la diferencia equivalente de temperatura según el grupo al cual pertenece la pared. Para determinar el grupo de la pared, se utilizara la tabla 6, cap. 25 del libro Manual 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, (ver anexos)¹⁶.

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 (ver anexos). Debido que no aparecen datos de nuestra latitud (Latitud 10° N), se utilizaran los valores de la latitud 8° N, como referencia.

T_r: Temperatura de diseño interior obtenidos de las consideraciones de diseño

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

K: Factor de corrección por color:

¹⁶ Determinación de cargas térmicas para garantizar el confort en los locales del piso 1 del edificio aulas 2 en la UTB

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:

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

Dónde:

A: Área de la partición o piso (ft²) obtenido de las mediciones hechas previamente.

U: Coeficiente de Transferencia de calor [Btu/ (h²ft²x°F)] (Tabla #1)

TD: Diferencia de temperatura entre los 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 consideran solamente cuando exista sótanos o se calcule la carga térmica en pisos.

3.1.5.1.2 Cálculo de carga térmica a través de ventanas

El cálculo de cargas térmicas a través de ventanas se divide en dos componentes, carga térmica por conducción y por radiación¹⁷:

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

Carga Térmica por conducción en ventanas

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

¹⁷ Determinación de cargas térmicas para garantizar el confort en los locales del piso 1 del edificio aulas 2 en la UTB

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

Dónde:

A: Área de la ventana (ft²) obtenido de las mediciones hechas previamente

U: Coeficiente de transferencia de calor [Btu/ (h·ft²·°F)]

CLTD_c (Cooling Load Temperature Difference): Es un factor de corriente el cual se determina por la siguiente fórmula:

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

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_r: Temperatura de diseño interior obtenidos de las consideraciones de diseño

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

Carga Térmica por radiación en ventanas

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 energía térmica total a través de la ventana se considerara 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 del calor absorbido por el piso(si no hay sombreado interior). Para determinar la carga térmica por radiación se utiliza la siguiente fórmula¹⁸:

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

¹⁸ Determinación de cargas térmicas para garantizar el confort en los locales del piso 1 del edificio aulas 2 en la UTB

Dónde:

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 HeatGain Factor) Factor de ganancia de calor solar. (Btu/hxft²) Depende de la latitud, orientación y mes. Para nuestros cálculos se va a utilizar la Tabla #10; Cap. 25 del libro ASHRAE 1977 Fundamentos. Debido a que no aparecen datos de nuestra latitud (Latitud 10°N), se utilizaran 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 seleccionara valores para construcción media. Y la Tabla 11 y 12; Cap. 25 de libro ASHRAE 1977 Fundamentos.

3.1.5.1.3 Cálculo de carga térmica a través de luces, equipos y personas

Carga Térmica debido a las luces

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

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

Dónde:

W: Potencia útil en vatios de las lámparas obtenida de las mediciones.

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 230V y 1.30 para una lámpara a 120V. Se recomienda 1.2 para aplicaciones generales para lámparas especiales, diferentes a 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 calculara la carga térmica por separado y después se sumaran aritméticamente para obtener una carga térmica total.

Carga Térmica sensible debido a personas

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

$$q = \# \text{ de personas} \times \text{Factor de Ocupación} \times \text{CLF} \times \text{Ganancia de Calor Sensible}$$

Dónde:

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 CFL = 1.

Ganancia de Calor Sensible: Factor de carga sensible de las personas, depende de las actividades en las cual la(s) persona(s) esté(n) realizando.

Carga Térmica debido a equipos

El cálculo de los equipos no implica, solo en caso de equipos de cocina o equipos que utilizan gas los cuales generan calor latente. Para este estudio, en el auditorio no encontramos ningún equipo de cocina o que funcione 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 tabulados, ASHRAE recomienda utilizar datos de placa y obtener la potencia y multiplicarlo por 0.5, según ASHRAE, el 50% de la potencia obtenida por placas se convierte en calor sensible.

3.1.5.1.4 Cálculo de carga térmica sensible a través de infiltraciones¹⁹

La carga térmica sensible generada por las infiltraciones la hallamos por medio de la siguiente ecuación:

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

Δt : Diferencia de temperatura exterior e interior

Donde se utilizó el método de fisuras para el cálculo de *cfm* explicado a continuación:

El aire exterior se infiltra al espacio interior a través de las fisuras alrededor de las puertas, ventanas, salidas de la instalación eléctrica y de las juntas entre las paredes y los pisos e incluso a través del propio material de construcción. La cantidad depende del área total de las fisuras, del tipo de las fisuras, y del diferencial de presión entre ambos lados de las fisuras.

Existen ecuaciones que permiten el cálculo del flujo volumétrico de infiltraciones, pero son necesarios datos experimentales para su uso. Es por esta razón que se utilizarán gráficas que describen los experimentos hechos por la ASHRAE para hacer el cálculo.

Sabiendo el diferencial de presión en las fisuras según el método es posible hallar el flujo de infiltraciones, pero este diferencial de presión total está ligado a varios factores que influyen en su comportamiento así:

Dónde:

$$\Delta P = \Delta P_w + \Delta P_s + \Delta P_p$$

ΔP_w : Diferencial de presión debido al viento

ΔP_s : Diferencial de presión debido al efecto chimenea

ΔP_p : Diferencial de presión debido a la presurización del edificio

¹⁹ Calefacción, Ventilación y Aire acondicionado; Análisis y Diseño; McQuison.

Cada uno de los diferenciales de presión se toma como positiva cuando causa un flujo de aire hacia el exterior del edificio.

Diferencial de Presión debido al Viento.

El diferencial de presión debido al viento se debe al incremento o decremento en la velocidad del aire, y se calcula por medio de la siguiente ecuación.

$$\frac{\Delta P_w}{C_p} = \frac{\rho}{2g_c} \bar{V}_w^2$$

Despejamos el diferencial de presión debido al viento.

$$\Delta P_w = \frac{\rho}{2g} x V_w^2 x C_p$$

Dónde:

V_w: Velocidad del viento

C_p: Coeficiente de presión sobre la pared, depende del ángulo del viento contra la pared.

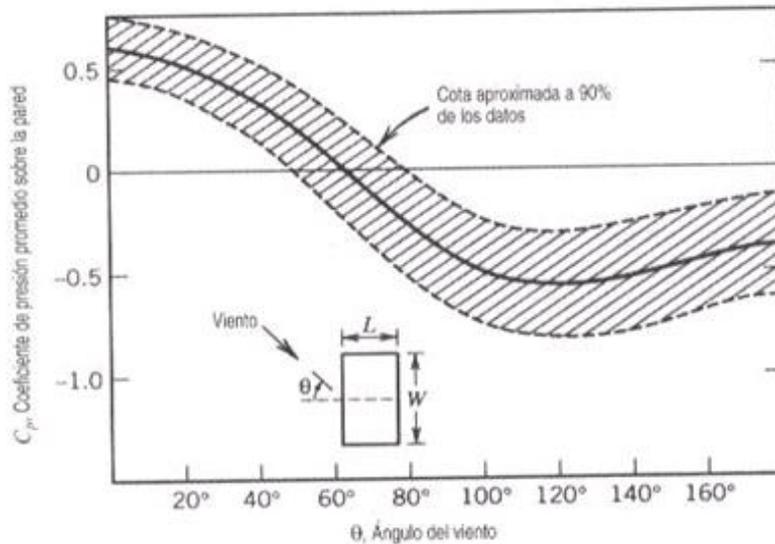


Figura 7. Coeficiente de presión vs Angulo del viento

Diferencial de Presión debido al Efecto Chimenea.

El efecto chimenea ocurre cuando la densidad del aire difiere entre el interior y el exterior del edificio. El ascenso del aire cálido dentro del edificio provoca un flujo hacia arriba, y esto a su vez causa una mayor presión en la parte superior del interior del edificio. Si solo se considera el efecto de chimenea, en un punto

ubicado a cierta altura del edificio no existe diferencial de presión entre el interior y el exterior. Al cual se le denomina nivel de presión (presión exterior = presión interior). En teoría el nivel de presión neutral se encuentra exactamente a la mitad de la altura del edificio si las fisuras y otras aperturas están distribuidas de manera uniforme a lo largo de la altura del edificio.

Para calcular el diferencial de presión se utiliza la grafica dada por la ASHRAE sabiendo los parametros de T, h nivel neutral y Cd que es un coeficiente de tiro que depende del hermetismo de las puertas.

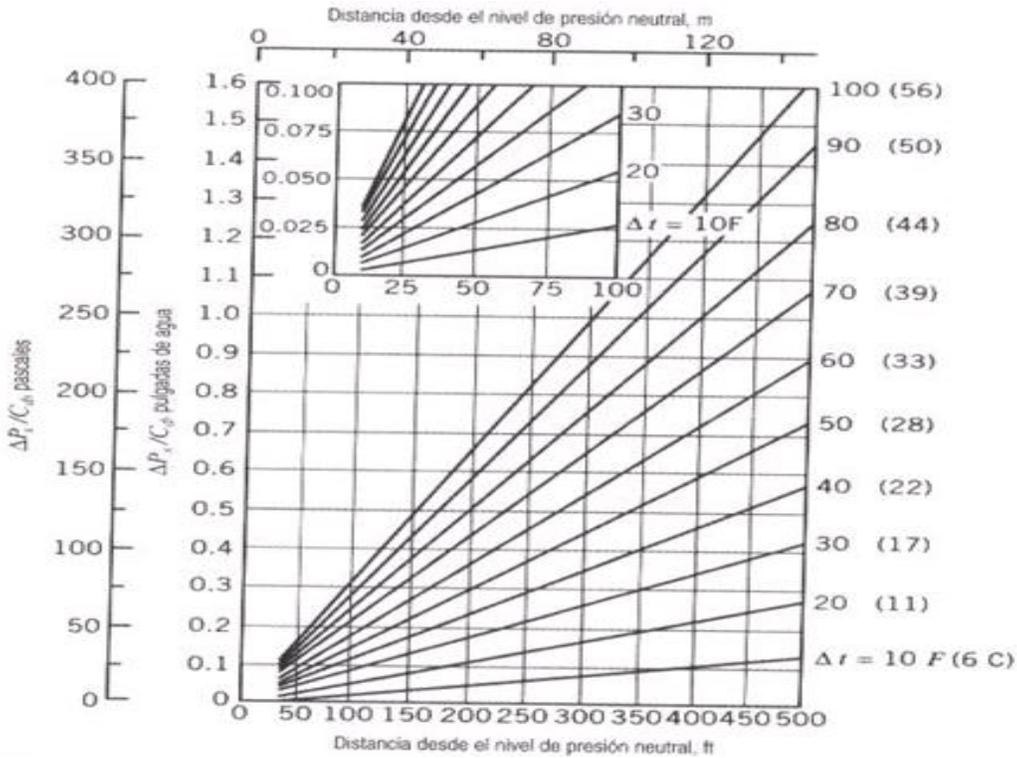


Figura 8. Diferencial de presión debido al efecto chimenea.

Diferencial de Presión debido a la presurización del edificio.

La presurización del espacio interior ocurre cuando se introduce un volumen de aire de reposición mayor que el volumen de aire expulsado, y esto depende del diseño del sistema de distribución del aire, no de los fenómenos naturales. La despresurización de un espacio, que generalmente no es algo deseable, puede deberse a un equipo inadecuado o mal ajustado. Para propósitos del diseño, el ingeniero debe asignar un valor ΔP_p , un valor que realmente se pueda alcanzar en la práctica.

Para nuestro calculo tomamos el valor de $\Delta P_p = 0$

Luego sabiendo el diferencial de presión total, el valor del coeficiente K (puerta y ventana), y el perímetro (puerta y ventana). Se puede utilizar la siguiente gráfica, la cual describe datos y experiencias experimentales dados por la ASHRAE.

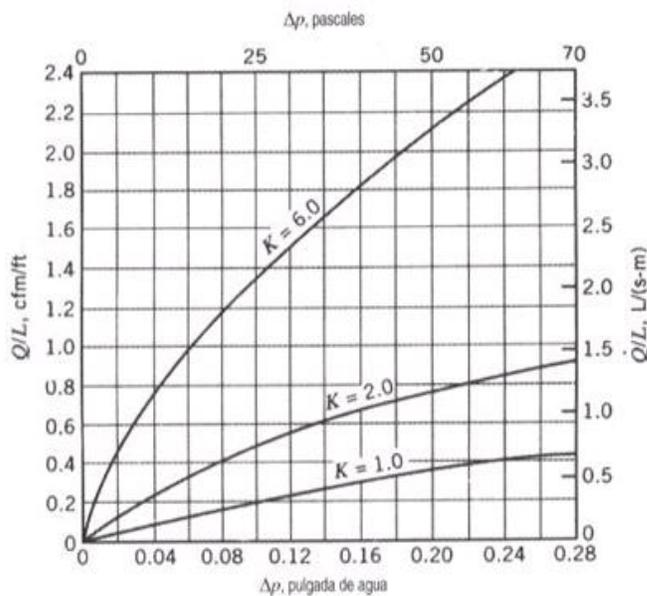


Figura 9. Caudal de Infiltración

Los valores de K dependen de la composición de la puerta o de la ventana, basados en la información de las siguientes tablas:

Tabla Clasificación de las ventanas

	De guillotina con marcos de madera (con chapa)	Otros tipos
Ventana de ajuste estrecho $K = 1.0$	Con burletes, huelgo mediano (fisura de $\frac{1}{64}$ de pulgada)	Ventanas de ventila de madera con burletes y ventanas con toldo. Ventanas de ventila de metal con burletes
Ventana de ajuste mediano $K = 2.0$	Sin burletes, huelgo mediano (fisura de $\frac{1}{64}$ de pulgada) o con burletes y mucho huelgo (fisura de $\frac{1}{32}$ de pulgada)	Todos los tipos de ventanas deslizantes verticales y horizontales, con burletes. Nota: Si es de huelgo mediano (fisura de $\frac{1}{64}$ de pulgada), ésta podría ser una ventana de ajuste estrecho
Ventana de ajuste flojo $K = 6.0$	Sin burletes, con amplio huelgo (fisura de $\frac{1}{32}$ de pulgada)	Ventanas de ventila con marco metálico, sin burletes. Nota: Si tiene mucho huelgo (fisura de $\frac{1}{32}$ de pulgada), ésta podría ser una ventana de ajuste suelto
		Ventanas deslizantes verticales u horizontales sin burletes

Fuente: Reimpresión con autorización del ASHRAE, *Cooling and Heating Load Calculations Manual*, segunda edición.

Tabla 2: Coeficiente k para ventanas**Tabla** Clasificación de las puertas

Puerta de ajuste estrecho $K = 1.0$	Huelgo perimetral muy pequeño y ajuste casi perfecto con burletes (característico de las puertas nuevas)
Ventana de ajuste mediano $K = 2.0$	Huelgo perimetral pequeño con empaque ajustado alrededor de la puerta y burletes
Ventana de ajuste flojo $K = 6.0$	Amplio huelgo perimetral con empaque de ajuste flojo alrededor de la puerta y burletes
	Poco huelgo perimetral y sin burletes

Fuente: Reimpresión con autorización del ASHRAE, *Cooling and Heating Load Calculations Manual*, segunda edición.

Tabla 3: Coeficiente k para puertas

3.1.5.2 Cargas latentes

La ganancia de calor por cargas latentes es debida a la humedad que se agrega al espacio condicionado. 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 la condensación y el calor latente de condensación²⁰. El calor latente es calculado a partir de las siguientes secciones; Personas, equipos (cuando son de cocina) e infiltraciones.

3.1.5.2.1 Calculo de carga térmica a traves de equipos y personas

Cargas Latentes por personas²¹

La carga térmica generada por personas depende de la actividad que esté realizando, para el cálculo de carga térmica latente se utiliza la siguiente fórmula:

$$q = \text{Numero de personas} * \text{factor de ocupacion} * \text{CLF} * \text{Ganancia de calor latente}$$

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

Ganancia de calor latente = Factor de carga sensible de las personas, depende de la actividad de la personas, se utilizara la tabla 16 del capítulo 25 de la ASHRAE (ver anexos).

CLF =Cooling load factor, factor de carga de enfriamiento de las personas, depende del tiempo en el cual la persona 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 h el CLF es 1.

²⁰ ASHRAE 1977 Fundamentos Cap 25, pag 25

²¹ Determinacion de cargas térmicas del edificio Aulas 2 de la UTB.

3.1.5.2.2 Cálculo de carga térmica latente a través de infiltraciones

El cálculo de carga latente por infiltración es el resultado de la diferencia de humedad (Δw) entre el aire entrante y el aire saliente en condiciones estándar de la ASHRAE.

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

Dónde:

CFM = es el flujo de aire que entra y sale al abrirse una puerta, ventana o grieta. (método de fisuras)

ΔW = Diferencia de humedad exterior e interior (lbw/lba) obtenida en tablas psicométricas.

3.1.6 Cálculo de la carga total y selección de equipo

El cálculo de la carga térmica es la suma total de las cargas sensibles más las cargas latentes, es decir:

$$CARGA\ TERMICA_{TOTAL} = CARGA\ TERMICA_{SENSIBLE} + CARGA\ TERMICA_{LATENTE}$$

Hay que tener en cuenta que las cargas térmicas se dieron en BTU/h, para manejar estas cargas en unidades comerciales (toneladas de refrigeración), la carga total debe ser dividida en 12000.

$$1\ Tonelada\ de\ Refrigeracion = 12000\ Btu/h$$

Con base a estas cargas térmicas calculadas se deben suministrar la cantidad de energía suficiente para vencer la cantidad de energía generada, por lo cual el proceso de selección de equipo juega un papel fundamental para el proceso de ahorro de energía. Y se explica a continuación:

Primero calculamos el valor del SHR (factor de calor sensible).

$$SHR = \frac{CALOR\ SENSIBLE}{CALOR\ TOTAL}$$

El factor de calor sensible, se refiere a la comparación de ganancia de calor sensible contra la ganancia de calor total.

Con este valor y las condiciones interior y exterior (TBS Y HR) podemos ir a la carta psicométrica y realizar el proceso manualmente.

Primero trazamos una línea del valor del SHR al punto de referencia de la carta o al Index Point que se encuentra en el medio de la carta y tiene unos parámetros aproximados a 78F DB Y 65F WB de temperatura. Conociendo las condiciones iniciales y finales (TBS, HR exterior y TBS, HR Interior), se proceden a colocarse los puntos en la carta psicrométrica. Enseguida establecemos 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. 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 requeriría de diferentes flujos de aire; el cual es un requerimiento de confort. Para determinar un punto de suministro, sin necesidad de tener una curva de serpentín de cualquier marca, se deben cumplir las siguientes condiciones:

- a) Debe estar ubicado en la recta trazada anteriormente.
- b) Debe tener una humedad relativa perteneciente al rango (90% - 100%) y al mismo tiempo 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 está garantizando que el factor de contacto del serpentín de enfriamiento del equipo varía 0.8 – 0.9, lo cual implica tener un serpentín económico y comercial²².

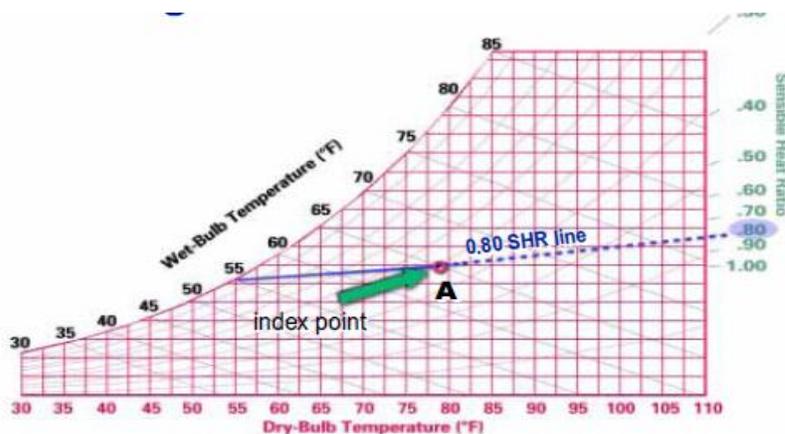


Figura 10. Punto de referencia o Index point

²² Determinación de cargas térmicas del edificio Aulas 2 de la UTB.

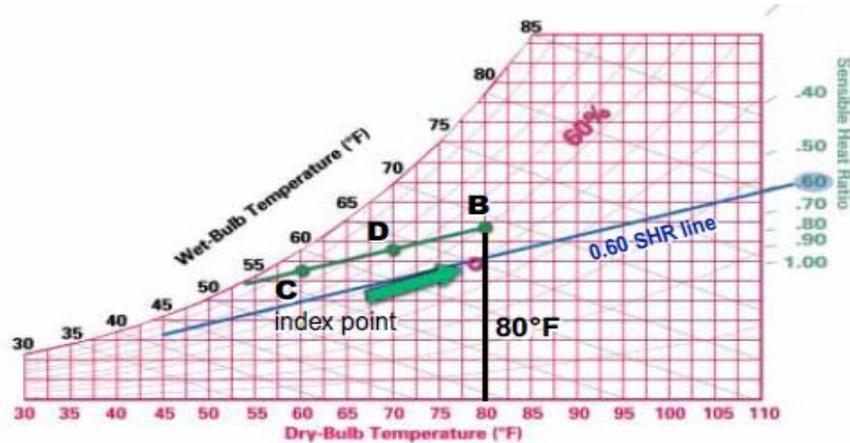


Figura 11: Proceso de determinación de condiciones de suministro

Además hay que 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 factor de derivación, bypass “FD”, de estas definiciones vemos que:

$$FC + FD = 1$$

Donde el factor de contacto se define como:

$$FC = 1 - \frac{TBS_s - TR}{TBS_l - TR}$$

Luego al tener las condiciones de suministro, se procede a calcular las condiciones de mezcla de aire debido a que para garantizar confort, el aire del local debe ser ventilado y recirculado.

Para calcular las condiciones de mezcla se debe valorar la cantidad de aire del local que debe ser ventilado con relación a la cantidad de personas concentradas en el local ya que por cada persona que esté en el local ASHRAE recomienda una cantidad de flujo a ventilar (CFM/Persona)(Ver Tabla).

Para calcular el flujo de suministro se utiliza la siguiente expresión:

$$CFM_{suministro} = \frac{Q_{sensible} (hora\ pico)}{1.1 (T_{ext.} - T_{int.})}$$

Conociendo los CFM de suministro y de ventilación se podrá calcular los CFM de mezcla ya que el flujo de mezcla es la suma de estos dos. Sabiendo el flujo de mezcla, podemos calcular la temperatura de la mezcla, la cual está ligada al porcentaje de temperatura aportado por la cantidad de flujo suministrado y de ventilación respectivamente. Y se puede calcular por la siguiente expresión:

$$T_{mezcla} = \left[T_{int.} \times \left(\frac{CFM_{suministro}}{CFM_{mezcla}} \right) \right] + \left[T_{ext.} \times \left(\frac{CFM_{ventilacion}}{CFM_{mezcla}} \right) \right]$$

Sabiendo la temperatura de la mezcla, e interceptando en la carta psicométrica la línea que une el interior con el exterior, podremos encontrar el punto de mezcla y sus parámetros de entalpia y HR así²³:

²³ Determinación de las cargas térmicas para garantizar el confort en el auditorio de la UTB.



PSYCHROMETRIC CHART
 © 2011 AMEREN TANK & EQUIPMENT INC.
 BAROMETRIC PRESSURE: 29.921in. HG

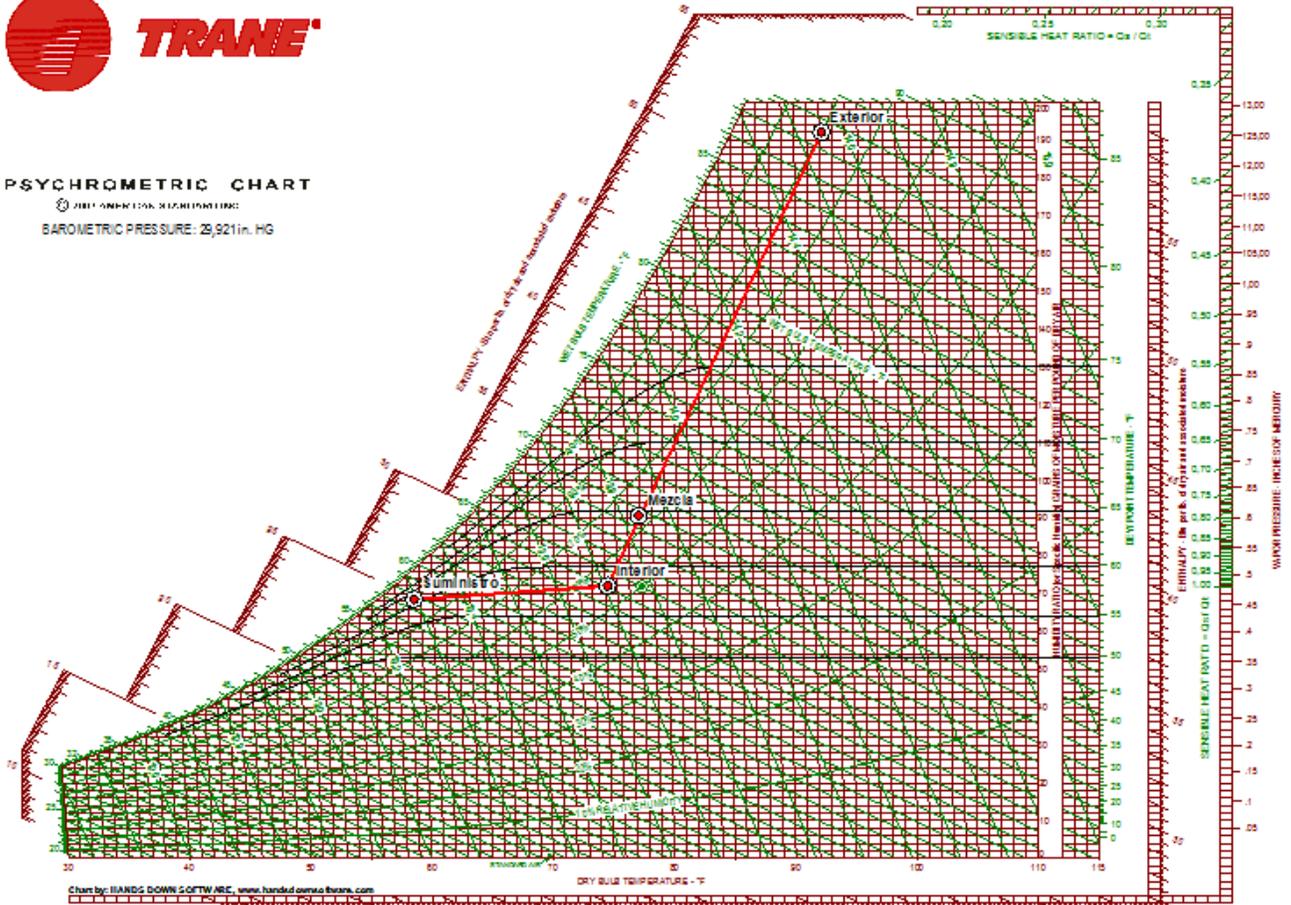


Figura 12: Carta Psicrometrica.Determinacion Punto de Mezcla

Y 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 4: Propiedades del aire

Teniendo todas las propiedades podremos calcular la carga.

$$Q_{total} = 4.5 * CFM_{sum} * (h_{mez} - h_{sum})$$

De esta manera se podrán calcular la carga necesaria para vencer la energía generada en el local.

3.2 CALCULO DEL INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA (EER)

Para realizar el cálculo del indicador de eficiencia energética (EER) se tomaron en cuenta los siguientes parámetros de operación:

3.2.1 Carga de enfriamiento real suministrada por el equipo

Para calcular la carga real suministrada por el sistema de refrigeración, se deben medir en tiempo real los parámetros de operación del equipo (T,HR). Estas mediciones se realizan con un higrómetro para determinar las propiedades del aire a la entrada y salida del coil y así por medio de la carta psicrométrica determinar las propiedades faltantes (h, w, WB, TR).

Luego con un anemómetro se promedia la velocidad del flujo y se calculan los CFM suministrados al local.

Sabiendo las propiedades del aire a la entrada y la salida del coil, y el flujo, se puede calcular la carga suministrada por medio de la siguiente expresión:

$$Q_{sum} = 4.5 * CFM_{sum} * (h_{in} - h_{sal})$$

3.2.2 Potencia eléctrica consumida por el equipo

La potencia eléctrica consumida se calcula midiendo el voltaje y la corriente consumida por el equipo.

$$W = V * I$$

Siendo el indicador de eficiencia energética el resultado de la relación entre la carga de enfriamiento suministrada y la potencia eléctrica consumida. Dado por la siguiente expresión:

$$EER = Q_{sum} \text{ (BTU/h)} / Pot \text{ (watts)}$$

3.3 CALCULO DE LA CANTIDAD DE AGUA GENERADA POR EL SISTEMA

3.3.1 Calculo teórico

La cantidad de agua teórica generada por el sistema de refrigeración, es posible calcularla por medio de la carta psicrométrica sabiendo las propiedades (T,HR) a la entrada y salida del coil ya que sabiendo estas condiciones se procede a calcular la humedad específica (w) en cada punto. El cambio de humedad específica entre estos dos puntos graficados en la carta representa la cantidad de agua generada en el sistema ya que el aire es enfriado por debajo de su temperatura de rocío.

3.3.2 Calculo real

Para estimar la cantidad de agua real generada por el sistema se procede a realizar mediciones para calcular la razón de volumen en función del tiempo, y así hallar el caudal generado. Con una probeta y un cronometro se mide la cantidad de agua generada en un tiempo determinado y se estima el caudal por el sistema de tubería de desagüe.

4 CALCULOS

Implementando la metodología descrita, realizaremos el análisis operativo y energético de los locales que conforman el edificio PS (Campus Lemaitre).

Teniendo en cuenta la cantidad de locales y la extensión de los cálculos, describiremos el análisis de un solo local.

SALON PS 304

4.1 CONDICIONES DE DISEÑO

Temperatura exterior: 93.2°F (34,44°C)

Temperatura interior de diseño: 75.2 °F (24°C)

Humedad Relativa: 80%

Humedad relativa interior: 55%

Variación de la temperatura diaria exterior: 14.4°F (8,33°C)

Mes: Julio

4.2 MEDICIONES DIMENSIONALES

- Ancho: 5.35m
- Largo: 6.88m
- Altura: 2.90m

4.2.1 Orientación

Pared	Ancho	Alto	Observaciones
NO	5.35m	2.90m	Colinda con el pasillo (aire libre)
NE	6.88m	2.90m	Adyacente al salón PS 303
SE	5.35m	2.90m	Vista trasera del edificio
SO	6.88m	2.90m	Colinda con casa vecina a laUTB

Tabla 5. Orientación y medida del local.

4.2.2 Pared NO

La pared Noroeste está constituida por una pared de bloques de concreto (100*200*400), 2 columnas de concreto, puerta de madera con marcos de madera, una ventana de cristal con marcos de madera y parte de la pared está cubierta por china.

Materiales	Pared NO			
Bloque #4	An (ft)	Al (ft)	Area (ft²)	e (in)
Pared en Bloque #4	13,510	6,560	88,63	
			0,00	
Total Pared en Bloque #4			88,63	
China	An (ft)	Al (ft)	Area (ft²)	e (in)
Pared en China	13,510	2,624	35,45	
Total Pared de China			35,45	
Concreto	An (ft)	Al (ft)	Area (ft²)	e (in)
Columnas en Concreto	0,524	9,514	4,99	
	0,524	9,514	4,99	
Total Columnas			9,97	
Puerta	An (ft)	Al (ft)	Area (ft²)	e (in)
Total en Madera	2,952	7,119	16,74	
Cristales	An (ft)	Al (ft)	Area (ft²)	e (in)
Cristales	2,329	1,837	4,28	
Total Cristales			4,28	
Marcos Cristal	Area (ft²)	Cantidad	Σ Area	
Σ Horizontal	0,293	2	0,59	
Σ Vertical	0,210	2	0,42	
Total Marcos Criatal			1,01	
Centro de Cristales	An (ft)	Al (ft)	Area (ft²)	e (in)
Centro de Cristal	1,912	1,420	2,72	
Total Centro de Cristal			2,72	
Total Borde del Cristal			1,56	
TOTAL PUERTA MADERA			22,02	

Tabla 6. Áreas Pared Noroeste Salón PS 304

VENTANAS DE MADERA

Materiales	Pared NO			
Cristales	An (ft)	Al (ft)	Area (ft ²)	e (in)
Cristales	2,854	2,198	6,27	
			0,00	
			0,00	
			0,00	
			0,00	
Total Cristales			6,27	
Marcos Ventanas	Area (ft ²)	Cantidad	Σ Area	
Σ Horizontal	0,421	2	0,84	
Σ Vertical	0,346	2	0,69	
Total Marcos Ventanas			1,53	
Centro de Cristales	An (ft)	Al (ft)	Area (ft ²)	e (in)
Centro de Cristal	2,437	1,781	4,34	
			0,00	
			0,00	
			0,00	
Total Centro de Cristal			4,34	
Total Borde del Cristal			1,93	
Total Ventana Madera			7,81	

Tabla 7. Áreas ventanas de pared Noroeste Salón PS 304

FACTOR U

VENTANA DE MADERA

Seccion: Ventana	Pared NO	
Materiales	Area (ft ²)	U [Btu/hxft ² x°F]
Marco	1,534	0,97
Centro del vidrio	4,342	1,04
Borde del vidrio	1,931	1,04
Total Ventana cristal claro	7,807	1,026

Tabla 8. Factor U de ventanas Pared Noroeste Salón PS 304

PARED

Seccion : Pared Externa (Acabado)		Pared NO	
Materiales		R	
	Aire Externo	0,25	
	Acabado	0,174	
	Bloque #4	1,51	
	Acabado	0,174	
	Aire Interno	0,68	
FACTOR U		U [Btu/hxft²xF]	
		0,359	
Seccion : Pared Externa (Bloque)		Pared NO	
Materiales		R	
	Aire Externo	0,25	
	Bloque #4	1,51	
	Aire Interno	0,68	
FACTOR U		U [Btu/hxft²xF]	
		0,410	
Seccion : Pared Externa (Columna)		Pared NO	
Materiales		R	U [Btu/hxft²xF]
	Aire Externo	0,25	
	Concreto	3,140	
	Aire Interno	0,68	
FACTOR U		U [Btu/hxft²xF]	
		0,246	

Tabla 9. Factor U. Secciones de pared Noroeste Salón PS 304

PUERTA

Seccion : Puerta		Pared NO	
Materiales		R	
	Aire Externo	0,25	
	Madera	2,39	
	Aire Interno	0,68	
	Factor U Madera	0,301	
	Factor U Borde de cristal	1,04	
	Factor U Marco	0,889	
	Factor U Centro de Cristal	1,04	
FACTOR U		U [Btu/hxft²xF]	
		0,472	

Tabla 10. Factor U para puerta de pared Noroeste Salón PS 304

4.2.3 Pared NE

La pared Noreste está constituida por La pared Noreste está constituida por una pared de bloques de concreto (100*200*400), 2 columnas de concreto, y parte de la pared está cubierta por china.

Materiales	Pared NE			
Bloque #4	An (ft)	Al (ft)	Area (ft ²)	e (in)
Pared en Bloque #4	21,550	6,561	141,39	
			0,00	
Total Pared en Bloque #4			141,39	
China	An (ft)	Al (ft)	Area (ft ²)	e (in)
Pared en China	21,550	2,624	56,55	
Total Pared de China			56,55	
Concreto	An (ft)	Al (ft)	Area (ft ²)	e (in)
Columnas en Concreto	0,492	9,514	4,68	
	0,918	9,514	8,73	
Total Columnas			13,41	
Puerta	An (ft)	Al (ft)	Area (ft ²)	e (in)
Total en Madera			0,00	
Cristales	An (ft)	Al (ft)	Area (ft ²)	e (in)
Cristales			0,00	
Total Cristales			0,00	
Marcos Cristal	Area (ft ²)	Cantidad	Σ Area	
Σ Horizontal			0,00	
Σ Vertical			0,00	
Total Marcos Criatal			0,00	
Centro de Cristales	An (ft)	Al (ft)	Area (ft ²)	e (in)
Centro de Cristal	-0,417	-0,417	0,17	
Total Centro de Cristal			0,17	
Total Borde del Cristal			-0,17	

Tabla 11. Áreas Pared Noreste Salón PS 304

FACTOR U

PARED

Seccion : Pared Interna (Bloque)		Pared NE	
Materiales		R	
	Aire Externo	0,68	
	Bloque #4	1,51	
	Aire Interno	0,68	
FACTOR U		U [Btu/hxft²xF]	
		0,348	
Seccion : Pared Interna (Acabado)		Pared NE	
Materiales		R	
	Aire Externo	0,68	
	Acabado	0,174	
	Bloque #4	1,51	
	Acabado	0,174	
	Aire Interno	0,68	
FACTOR U		U [Btu/hxft²xF]	
		0,311	
Seccion : Pared Interna (Columna)		Pared NE	
Materiales		R	U [Btu/hxft ² xF]
	Aire Externo	0,68	
	Concreto	3,140	
	Aire Interno	0,68	
FACTOR U		U [Btu/hxft²xF]	
		0,222	

Tabla 12. Factor U. Secciones de pared Noreste Salón PS 304

4.2.4 Pared SE

La pared Sureste está constituida por una pared de bloques de concreto (100*200*400), 2 columnas de concreto , 3 ventanas de cristal con marcos de aluminio y parte de la pared está cubierta por china.

Materiales	Pared SE			
Bloque #4	An (ft)	Al (ft)	Area (ft²)	e (in)
Pared en Bloque #4	16,732	1,213	20,30	
			0,00	
Total Pared en Bloque #4			20,30	
China	An (ft)	Al (ft)	Area (ft²)	e (in)
Pared en China	16,732	2,624	43,90	
Total Pared de China			43,90	
Concreto	An (ft)	Al (ft)	Area (ft²)	e (in)
Columnas en Concreto	0,492	9,514	4,68	
	0,492	9,514	4,68	
Total Columnas			9,36	
Puerta	An (ft)	Al (ft)	Area (ft²)	e (in)
Total en Madera			0,00	
Cristales	An (ft)	Al (ft)	Area (ft²)	e (in)
Cristales			0,00	
Total Cristales			0,00	
Marcos Cristal	Area (ft²)	Cantidad	Σ Area	
Σ Horizontal			0,00	
Σ Vertical			0,00	
Total Marcos Cristal			0,00	
Centro de Cristales	An (ft)	Al (ft)	Area (ft²)	e (in)
Centro de Cristal	-0,417	-0,417	0,17	
Total Centro de Cristal			0,17	
Total Borde del Cristal			-0,17	

Tabla 13. Áreas Pared Sureste Salón PS 304

VENTANAS DE ALUMINIO

Materiales	Pared SE			
Cristales	An (ft)	Al (ft)	Area (ft²)	e (in)
Cristales	4,133	2,821	11,66	
	7,545	2,821	21,28	
	4,133	2,821	11,66	
			0,00	
			0,00	
Total Cristales			44,60	
Marcos Ventanas	Area (ft²)	Cantidad	Σ Area	
Σ Horizontal	3,842	2	7,68	
Σ Vertical	0,370	2	0,74	
Total Marcos Ventanas			8,42	
Centro de Cristales	An (ft)	Al (ft)	Area (ft²)	e (in)
Centro de Cristal	3,716	2,404	8,94	
	7,128	2,404	17,14	
			0,00	
			0,00	
Total Centro de Cristal			26,08	
Total Borde del Cristal			18,53	
Total Ventana Aluminio			53,03	

Tabla 14. Áreas de ventanas Pared Sureste Salón PS 304

FACTOR U

VENTANAS DE ALUMINIO

Seccion: Ventana		Pared SE	
Materiales	Area (ft²)	U [Btu/hxft²xF]	
Marco	8,424	1,13	
Centro del vidrio	26,075	1,04	
Borde del vidrio	18,528	1,04	
Total Ventana cristal claro	53,027	1,054	

Tabla 15. Factor U de ventanas Pared Sureste Salón PS 304

PARED

Seccion : Pared Externa (Acabado)		Pared SE	
Materiales	R		
Aire Externo	0,25		
Acabado	0,174		
Bloque #4	1,51		
Acabado	0,174		
Aire Interno	0,68		
FACTOR U	U [Btu/hxft²xF]		
	0,359		
Seccion : Pared Externa (Bloque)		Pared SE	
Materiales	R		
Aire Externo	0,25		
Bloque #4	1,51		
Aire Interno	0,68		
FACTOR U	U [Btu/hxft²xF]		
	0,410		
Seccion : Pared Externa (Columna)		Pared SE	
Materiales	R	U [Btu/hxft²xF]	
Aire Externo	0,25		
Concreto	3,140		
Aire Interno	0,68		
FACTOR U	U [Btu/hxft²xF]		
	0,246		

Tabla 16. Factor U. Secciones de pared Sureste Salón PS 304

La pared Suroeste está constituida por La pared Noreste está constituida por La pared Noreste está constituida por una pared de bloques de concreto (100*200*400), 2 columnas de concreto, y parte de la pared está cubierta por china.

Materiales	Pared SO			
Bloque #4	An (ft)	Al (ft)	Area (ft²)	e (in)
Pared en Bloque #4	21,550	6,560	141,37	
			0,00	
Total Pared en Bloque #4			141,37	
China	An (ft)	Al (ft)	Area (ft²)	e (in)
Pared en China	21,550	2,624	56,55	
Total Pared de China			56,55	
Concreto	An (ft)	Al (ft)	Area (ft²)	e (in)
Columnas en Concreto	0,524	9,514	4,99	
	0,524	9,514	4,99	
Total Columnas			9,97	
Puerta	An (ft)	Al (ft)	Area (ft²)	e (in)
Total en Madera			0,00	
Cristales	An (ft)	Al (ft)	Area (ft²)	e (in)
Cristales			0,00	
Total Cristales			0,00	
Marcos Cristal	Area (ft²)	Cantidad	Σ Area	
Σ Horizontal			0,00	
Σ Vertical			0,00	
Total Marcos Criatal			0,00	
Centro de Cristales	An (ft)	Al (ft)	Area (ft²)	e (in)
Centro de Cristal	-0,417	-0,417	0,17	
Total Centro de Cristal			0,17	
Total Borde del Cristal			-0,17	

Tabla 17. Áreas Pared Suroeste Salón PS 304

FACTOR U

PARED

Seccion : Pared Externa (Acabado)		Pared SO	
Materiales		R	
	Aire Externo	0,25	
	Acabado	0,174	
	Bloque #4	1,51	
	Acabado	0,174	
	Aire Interno	0,68	
FACTOR U		U [Btu/hxft²xF]	
		0,359	
Seccion : Pared Externa (Bloque)		Pared SO	
Materiales		R	
	Aire Externo	0,25	
	Bloque #4	1,51	
	Aire Interno	0,68	
FACTOR U		U [Btu/hxft²xF]	
		0,410	
Seccion : Pared Externa (Columna)		Pared SO	
Materiales		R	U [Btu/hxft²xF]
	Aire Externo	0,25	
	Concreto	3,140	
	Aire Interno	0,68	
FACTOR U		U [Btu/hxft²xF]	
		0,246	

Tabla 18. Factor U. Secciones de pared Suroeste Salón PS 304

4.3 CALCULO DE CARGAS TÉRMICAS

4.3.1 Cargas sensibles

4.3.1.1 Calculo de carga térmica a traves de paredes

Las paredes que son exteriores y están en contacto con el sol son las paredes SO y SE. Las paredes NO y NE no están en contacto directo con el sol.

Para las paredes SO y SE hizo el cálculo similar variando algunos parámetros y usando la expresión explicada en la metodología.

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

PARED SE

Tipo de Pared:	bloques de concreto +acabado en china				
Tipo de Columna:	placa de concreto				
Pared	U (Btu/[hxf ² x°F])	0,410	Area (ft ²)	20,296	
Columna	U (Btu/[hxf ² x°F])	0,246	Area (ft ²)	9,362	
Bloq+Aca	U (Btu/[hxf ² x°F])	0,359	Area (ft ²)	43,905	
Variación de Temperatura diaria ext (°F)		14,4	Mes diseño	julio	
T. Ext °F	93,2	T. Int (Tr) °F	75,2	Text - Tint	18

Tabla 19. Composición de la pared Sureste Salón PS 304

Hora Solar	Pared							
	CLTD (Tabla 7)	LM	To	k	CLTDc =	U pared	A pared	q Bloque
7	5	-7	86	0,65	2,5	0,40984	20,295916	20,795
8	8				4,45			37,015
9	12				7,05			58,642
10	19				11,6			96,489
11	26				16,15			134,336
12	31				19,4			161,369
13	35				22			182,996
14	37				23,3			193,809
15	37				23,3			193,809
16	36				22,65			188,403
17	34				21,35			177,589
18	33				20,7			172,183
19	31				19,4			161,369
20	28				17,45			145,149

Columna de concreto								
CLTD (Tabla 7)	LM	To	k	CLTDc	U columna	A Columna	q columna	
5	-7	86	0,65	2,5	0,246	9,36178	5,750	
8				4,45			10,236	
12				7,05			16,216	
19				11,6			26,682	
26				16,15			37,148	
31				19,4			44,624	
35				22			50,604	
37				23,3			53,594	
36				22,65			52,099	
34				21,35			49,109	
33				20,7			47,614	
31				19,4			44,624	
28				17,45			40,138	
26				16,15			37,148	
Bloque+Acabado							TOTAL	
CLTD (Tabla 7)	LM	To	k	CLTDc	U bloq+aca	A bloq+aca	q bloq+aca	
5	-7	86	0,65	2,5	0,359	43,905	39,369	65,915
8				4,45			70,078	117,328
12				7,05			111,022	185,880
19				11,6			182,674	305,845
26				16,15			254,326	425,810
31				19,4			305,507	511,500
35				22			346,451	580,051
37				23,3			366,923	614,327
36				22,65			356,687	602,596
34				21,35			336,215	573,727
33				20,7			325,979	551,182
31				19,4			305,507	522,313
28				17,45			274,798	476,306
26				16,15			254,326	436,624

Tabla 20. Carga térmica a través de la pared Sureste Salón PS 304

PARED SO

Tipo de Pared:	bloques de concreto +acabado en china				
Tipo de Columna:	placa de concreto				
Pared	U (Btu/[hxft ² x°F])	0,410	Area (ft ²)	141,368	
Columna	U (Btu/[hxft ² x°F])	0,246	Area (ft ²)	9,971	
Bloq+Aca	U (Btu/[hxft ² x°F])	0,359	Area (ft ²)	56,547	
Variación de Temperatura diaria ext (°F)		14,4	Mes diseño	julio	
T. Ext °F	93,2	T. Int (Tr) °F	75,2	Text - Tint	18

Tabla 21. Composición de la pared Suroeste Salón PS 304

Pared								
Hora Solar	CLTD (Tabla 7)	LM	To	k	CLTDc =	U pared	A pared	q Bloque
7	6	-7	86	0,65	3,15	0,40984	141,368	182,504
8	5				2,5			144,844
9	5				2,5			144,844
10	6				3,15			182,504
11	7				3,8			220,163
12	9				5,1			295,482
13	12				7,05			408,461
14	18				10,95			634,418
15	24				14,85			860,375
16	32				20,05			1161,651
17	38				23,95			1387,608
18	43				27,2			1575,906
19	45				28,5			1651,225
20	44	27,85	1613,565					

Columna de concreto							
CLTD (Tabla 7)	LM	To	k	CLTDc	U columna	A Columna	q columna
6	-7	86	0,65	3,15	0,246	9,97067	7,717
5				2,5			6,124
5				2,5			6,124
6				3,15			7,717
7				3,8			9,309
9				5,1			12,494
12				7,05			17,271
18				10,95			26,825
24				14,85			36,379
32				20,05			49,118
38				23,95			58,673
43				27,2			66,634
45				28,5			69,819
44	27,85	68,227					

Bloque+Acabado								TOTAL
CLTD (Tabla 7)	LM	To	k	CLTDc	U bloq+aca	A bloq+aca	q bloq+aca	
6	-7	86	0,65	3,15	0,359	56,547	63,889	254,110
5				2,5			50,706	201,675
5				2,5			50,706	201,675
6				3,15			63,889	254,110
7				3,8			77,073	306,545
9				5,1			103,440	411,416
12				7,05			142,991	568,722
18				10,95			222,092	883,335
24				14,85			301,193	1197,947
32				20,05			406,661	1617,431
38				23,95			485,762	1932,043
43				27,2			551,680	2194,220
45				28,5			578,047	2299,091
44	27,85	564,864	2246,655					

Tabla 22. Carga térmica a través de la pared Suroeste Salón PS 304

Las paredes NE y NO no están en contacto directo con el sol por lo tanto su cálculo se hizo usando la expresión, explicada en la metodología.

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

PARED NO

Tipo de Pared	Factor U
Bloque	0,410
Bloque+Aca	0,359
Puerta	0,472
Columna	0,246
Piso	0,208
Temp Externa	93,2
Temp Externa 2	88,2
Temp Interna	75,2
ΔT	18

Tabla 23. Composición de la pared Noroeste Salón PS 304

PARED NO									TOTAL
A Bloque	A Bloque+Aca	A Puerta	A columna	ΔT	q Bloque	q Bloque+Aca	q Puerta	q Columna	Q PARED NO
88,626	35,450	22,021	9,971	18,0	653,795	228,875	186,931	44,096	1113,699

Tabla 24. Carga térmica a través de la pared Noroeste Salón PS 304

PARED NE

Tipo de Pared	Factor U
NE (Bloque)	0,348
NE (Bloque+Aca)	0,311
NE (Columna)	0,222
Piso	0,208
Temp Externa	93,2
Temp Externa 2	88,2
Temp Interna	75,2
ΔT	18

Tabla 25. Composición de la pared Noreste Salón PS 304

PARED NE							TOTAL
A Pared Int(Bloque+Aca)	A Pared Int(Columna)	A Pared Int(Bloque)	ΔT	q Pared Int(Bloque+Aca)	q Pared Int(Columna)	q Pared Int(Bloque)	Q PARED NE
56,547	13,415	141,390	13	228,438	38,754	640,440	907,632

Tabla 26. Carga térmica a través de la pared Noreste Salón PS 304

4.3.1.2 Calculo de carga térmica a traves de techo y piso

El techo tendrá una carga de 0 debido a que en el salón de arriba se asumirá que también ahí aire acondicionado por tanto el cambio de temperatura en nulo.

Para el cálculo de carga por piso se utilizara como antes explicada la expresión:

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

PISO		
U Piso	A Piso	q Piso
0,208	405,73	1519,05312

Tabla 27. Carga térmica a traves del piso Salón PS 304

4.3.1.3 Calculo de carga térmica a traves de ventanas

La pared SE está en contacto con el sol por lo tanto la carga por ventana será la suma de conducción y radiación. La carga por ventana en la pared NO será solo por conducción.

PARED SE

Pared SE											
Tipo de ventanería:		Vidrio claro de 1/4 in con persianas de aluminio			U (Btu/[hxt ² x°F])	1,054	Area (ft ²)	53,027			
ΔT diaria ext (°F)		14,4	Mes diseño	JULIO	T. Ext °F	93,2	T. Int (Tr) °F	75,2	Text - Tint	18	
CONDUCCIÓN						RADIACIÓN					
q= U x A x CLTDc		CLTDc=CLTD+(78-Tr)+(To-85)				TOTAL	q = A x SC x SHGF x CLF			TOTAL	TOTAL
Hora Solar	U	A	CLTDc =	CLTD (Tabla 9/3.31)	To	Q COND	SC (cap 26)	SHGF (Tabla 10)	CLF (Tabla 11 o 12)	Q RAD	Q
7	1,054	53,027	1,8	-2	86	100.631	1	93	0,56	2761.637	2862.268
8			3,8	0		212.443			0,74	3649.307	3861.750
9			5,8	2		324.255			0,81	3994.511	4318.766
10			7,8	4		436.067			0,79	3895.881	4331.949
11			10,8	7		603.785			0,68	3353.417	3957.202
12			12,8	9		715.598			0,49	2416.433	3132.030
13			15,8	12		883.316			0,33	1627.393	2510.709
14			16,8	13		939.222			0,28	1380.819	2320.041
15			17,8	14		995.128			0,25	1232.874	2228.002
16			17,8	14		995.128			0,22	1084.929	2080.057
17			16,8	13		939.222			0,18	887.669	1826.891
18			15,8	12		883.316			0,13	641.094	1524.410
19			13,8	10		771.504			0,08	394.520	1166.023
20			11,8	8		659.692			0,07	345.205	1004.896

Tabla 28. Carga térmica a traves de ventanas de la pared Sureste Salón PS 304

PARED NO

PARED NO											
Tipo de ventanería:	Vidrio claro de 1/4 in con persianas de madera				U (Btu/[hxft²x°F])	1,026	Area (ft²)	7,807			
ΔT diaria ext (°F)	14,4	Mes diseño	JULIO	T. Ext °F	93,2	T. Int (Tr) °F	75,2	Text - Tint	18		
CONDUCCIÓN						RADIACIÓN					
q= U x A x CLTDc		CLTDc=CLTD+(78-Tr)+(To-85)				TOTAL	q = A x SC x SHGF x CLF			TOTAL	TOTAL
Hora Solar	U	A	CLTDc =	CLTD (Tabla 9)	To	Q COND	SC (cap 26)	SHGF (Tabla 10)	CLF (Tabla 11 o 12)	Q RAD	Q
7	1,026	7,807	1,8	-2	86	14,422				0,000	14,422
8			3,8	0		30,446				0,000	30,446
9			5,8	2		46,470				0,000	46,470
10			7,8	4		62,494				0,000	62,494
11			10,8	7		86,530				0,000	86,530
12			12,8	9		102,554				0,000	102,554
13			15,8	12		126,590				0,000	126,590
14			16,8	13		134,602				0,000	134,602
15			17,8	14		142,614				0,000	142,614
16			17,8	14		142,614				0,000	142,614
17			16,8	13		134,602				0,000	134,602
18			15,8	12		126,590				0,000	126,590
19			13,8	10		110,566				0,000	110,566
20			11,8	8		94,542				0,000	94,542

Tabla 29. Carga térmica a través de ventanas de la pared Noroeste Salón PS 304

4.3.1.4 Cálculo de carga térmica a través de luces, equipos y personas

PERSONAS

La carga aportada por las personas, generan un cambio en la humedad (carga latente) y en la temperatura (carga sensible) en este cálculo se especificara la carga sensible en función de la actividad realizada. Se asumió para el cálculo que las personas podrían estar realizando una actividad alta (caminando) y baja (sentados) para así estimar una carga más aproximada. El salón tiene una capacidad de personas de 26 y se asumió que por lo menos una está caminando.

PERSONAS BTU/h			
Q	#	Baja	Alta
Qs	25	230	315
Ql	1	190	325
Actividad		Sentados	Caminando
Qsensible= # x CLF x Qs x FO			
Qlatente= # x Ql x CLF x FO			

Tabla 30. Factor de carga sensible a través de Personas

PERSONAS			
Factor Ocupacion	CLF	Actividad Baja	Actividad Alta
		Qsensible (Btu/h)	Qsensible (Btu/h)
1	1	5750	325

Tabla 31. Carga térmica sensible a través de Personas Salón PS 304

LUCES

El salón consta de 4 lámparas de potencia nominal de 40 (cada una) que se utilizan solo cuando se usa el salón.

ILUMINACIÓN (W)			
Tipo de Espacio	Cantidad	Potencia Nom	W Total
Clase	4	40	160
Conferencia			0
Oficina			0
Tipo de Lampara			
$q = 3,41 \times W \times CLF \times Ful \times Fsa$			
ILUMINACIÓN			
CLF ILUMINACIÓN	Ful	Fsa	TOTAL CLASES
1	1	1,18	643,81

Tabla 32. Carga térmica a través de Iluminación Salón PS 304

EQUIPOS

El salón consta de 24 computadores, que pueden aportar carga térmica al local por lo tanto se considera su cálculo.

EQUIPOS	#	Qs W/Equipo	QI W/Equipo
Computadores	24	20	
Video Proyector			
Total Equipos (W)		480	0
$Q_{sensible} = 3,41 \times \# \times CLF \times Q_s$			
$Q_{latente} = 3,41 \times \# \times Q_I \times CLF$			

EQUIPOS	
QTOTAL	
Qsensible (Btu/h)	1636,8
Qlatente (Btu/h)	0

Tabla 33. Carga térmica a través de Equipos Salón PS 304

4.3.1.5 Cálculo de carga térmica a través de infiltraciones

Para el cálculo de carga por infiltraciones se tomó en cuenta el método de las fisuras para hallar el flujo, explicado en la metodología de cálculo. La velocidad del viento promedio según ideam se tomó como 7.108fps, la densidad del aire 0.075 lb/ft³. Para calcular la carga se tomó en cuenta la expresión:

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

INFILTRACIONES			
Densidad de aire	0,075	Cd	1
Cp	0,6	h (ft)	4,76
Vw (fps)	7,108	ΔT (°F)	18
ΔP_w (in de agua)	0,000678186	ΔP_s (in de agua)	0,011
ΔP (in de agua)	0,011678186	$\Delta P_s/C_d$	0,011
Infiltracion Puerta		Infiltracion Ventana	
Kp	6	Kvm	2
		Kva	2
Q/Lp	0,43	Q/Lvm	0,1
		Q/Lva	0,1
Lp (ft)	20,144	Lvm	10,695
		Lva	39,622
		CFMva	3,9622
CFMp	8,66192	CFMvm	1,0695
W. Ext lbw/lba	0,026	W. Int lbw/lba	0,01025
$q_l = 4840 \times (cfm) \times (\Delta W)$		$q_s = 1,1 \times (cfm) \times (\Delta t)$	
ΔT	ΔW		
18	0,01575		
Qs	Ql	Qs	Ql
171,506016	660,2981616	99,62766	383,566491
Qs Total	271,133676	Ql Total	1043,864653

Tabla 34. Carga térmica sensible a través de Infiltraciones Salón PS 304

HORA SOLAR	Q PARED NO	Q PARED SO	Q PARED SE	Q PARED NE	Q VENTANA NO	Q VENTANA SE	Q TECHO	Q PISO	Q PERSONAS	Q LUCES	Q INFILTRACION	Q PUERTA	Q SENSIBLES
7	926,76704	254,110041	65,914884	907,6322	14,4215922	2862,26827	0	1519,05312	6075	643,81	271,1337	186,931465	13727,0403
8	926,76704	201,674636	117,32849	907,6322	30,4455836	3861,74955	0	1519,05312	6075	643,81	271,1337	186,931465	14741,5238
9	926,76704	201,674636	185,87997	907,6322	46,4695749	4318,76635	0	1519,05312	6075	643,81	271,1337	186,931465	15283,116
10	926,76704	254,110041	305,84506	907,6322	62,4935663	4331,94857	0	1519,05312	6075	643,81	271,1337	186,931465	15484,7227
11	926,76704	306,545447	425,81015	907,6322	86,5295533	3957,20229	0	1519,05312	6075	643,81	271,1337	186,931465	15306,4129
12	926,76704	411,416258	511,4995	907,6322	102,553545	3132,03031	0	1519,05312	6075	643,81	271,1337	186,931465	14687,8251
13	926,76704	568,722474	580,05098	907,6322	126,589532	2510,70926	0	1519,05312	6075	643,81	271,1337	186,931465	14316,3977
14	926,76704	883,334906	614,32672	907,6322	134,601527	2320,04056	0	1519,05312	6075	643,81	271,1337	186,931465	14482,6292
15	926,76704	1197,94734	602,59555	907,6322	142,613523	2228,00176	0	1519,05312	6075	643,81	271,1337	186,931465	14701,4837
16	926,76704	1617,43058	573,72651	907,6322	142,613523	2080,05691	0	1519,05312	6075	643,81	271,1337	186,931465	14944,153
17	926,76704	1932,04301	551,18194	907,6322	134,601527	1826,89103	0	1519,05312	6075	643,81	271,1337	186,931465	14975,043
18	926,76704	2194,22004	522,3129	907,6322	126,589532	1524,4102	0	1519,05312	6075	643,81	271,1337	186,931465	14897,8582
19	926,76704	2299,09085	476,30599	907,6322	110,56554	1166,02331	0	1519,05312	6075	643,81	271,1337	186,931465	14582,3112
20	926,76704	2246,65545	436,62355	907,6322	94,541549	1004,89623	0	1519,05312	6075	643,81	271,1337	186,931465	14313,0423

Tabla 35. Carga térmica Total Sensible Salón PS 304

La hora donde se da la mayor carga es a las 10 de la mañana por lo tanto es considerada la hora pico. Los cálculos están en BTU/h

4.3.2 Cargas latentes

4.3.2.1 Calculo de carga térmica a través de equipos y personas

El cálculo de carga latente por personas es:

PERSONAS BTU/h			
Q	#	Baja	Alta
Qs	25	230	315
Ql	1	190	325
Actividad		Sentados	Caminando
$Q_{sensible} = \# \times CLF \times Q_s \times FO$			
$Q_{latente} = \# \times Q_l \times CLF \times FO$			

Tabla 36. Factor de Carga Latente a través de personas

PERSONAS			
Factor Ocupacion	CLF	Actividad Baja	Actividad Alta
		Qlatente (Btu/h)	Qlatente (Btu/h)
1	1	190	325

Tabla 37. Carga térmica latente a traves de Personas Salón PS 304

4.3.2.2 Calculo de carga térmica a traves de infiltraciones

Para el cálculo de los cfm de igual manera se utilizó el método de fisuras, y para calcular la carga se usó la expresión:

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

INFILTRACIONES			
Densidad de aire	0,075	Cd	1
Cp	0,6	h (ft)	4,76
Vw (fps)	7,108	ΔT (°F)	18
ΔP_w (in de agua)	0,000678186	ΔP_s (in de agua)	0,011
ΔP (in de agua)	0,011678186	$\Delta P_s/Cd$	0,011
Infiltracion Puerta		Infiltracion Ventana	
Kp	6	Kvm	2
		Kva	2
Q/Lp	0,43	Q/Lvm	0,1
		Q/Lva	0,1
Lp (ft)	20,144	Lvm	10,695
		Lva	39,622
		CFMva	3,9622
CFMp	8,66192	CFMvm	1,0695
W. Ext lbw/lba	0,026	W. Int lbw/lba	0,01025
$q_l = 4840x(cfm)x(\Delta W)$		$q_s = 1,1x(cfm)x(\Delta t)$	
ΔT	ΔW		
18	0,01575		
Qs	Ql	Qs	Ql
171,506016	660,2981616	99,62766	383,566491
Qs Total	271,133676	Ql Total	1043,864653

Tabla 38. Carga térmica latente a traves de Infiltraciones Salón PS 304

4.4 CALCULO DE LA CARGA TERMICA TOTAL

La carga total generada en el salón será la suma de las cargas sensibles y latentes por cada componente.

HORA SOLAR	Q PARED NO	Q PARED SO	Q PARED SE	Q PARED NE	Q VENTANA NO	Q VENTANA SE	Q TECHO	Q PISO	Q PERSONAS	Q LUCES	Q INFILTRACION	Q PUERTA	Q SENSIBLES	Q LATENTES	CARGA TOTAL (BTU/h)
7	926,767	254,11004	65,91488	907,6322	14,421592	2862,2683	0	1519,0531	6075	643,81	271,134	186,93146	13727,04	1558,8647	15285,905
8	926,767	201,67464	117,3285	907,6322	30,445584	3861,7496	0	1519,0531	6075	643,81	271,134	186,93146	14741,524		16300,388
9	926,767	201,67464	185,88	907,6322	46,469575	4318,7664	0	1519,0531	6075	643,81	271,134	186,93146	15283,116		16841,981
10	926,767	254,11004	305,8451	907,6322	62,493566	4331,9486	0	1519,0531	6075	643,81	271,134	186,93146	15484,723		17043,587
11	926,767	306,54545	425,8102	907,6322	86,529553	3957,2023	0	1519,0531	6075	643,81	271,134	186,93146	15306,413		16865,278
12	926,767	411,41626	511,4995	907,6322	102,55354	3132,0303	0	1519,0531	6075	643,81	271,134	186,93146	14687,825		16246,69
13	926,767	568,72247	580,051	907,6322	126,58953	2510,7093	0	1519,0531	6075	643,81	271,134	186,93146	14316,398		15875,262
14	926,767	883,33491	614,3267	907,6322	134,60153	2320,0406	0	1519,0531	6075	643,81	271,134	186,93146	14482,629		16041,494
15	926,767	1197,9473	602,5956	907,6322	142,61352	2228,0018	0	1519,0531	6075	643,81	271,134	186,93146	14701,484		16260,348
16	926,767	1617,4306	573,7265	907,6322	142,61352	2080,0569	0	1519,0531	6075	643,81	271,134	186,93146	14944,153		16503,018
17	926,767	1932,043	551,1819	907,6322	134,60153	1826,891	0	1519,0531	6075	643,81	271,134	186,93146	14975,043		16533,908
18	926,767	2194,22	522,3129	907,6322	126,58953	1524,4102	0	1519,0531	6075	643,81	271,134	186,93146	14897,858		16456,723
19	926,767	2299,0909	476,306	907,6322	110,56554	1166,0233	0	1519,0531	6075	643,81	271,134	186,93146	14582,311		16141,176
20	926,767	2246,6554	436,6236	907,6322	94,541549	1004,8962	0	1519,0531	6075	643,81	271,134	186,93146	14313,042		15871,907

Tabla 39. Carga térmica Total Salón PS 304

Aplicando la misma metodología se calculo la carga térmica total para cada uno de los locales; descrita a continuación en la siguiente tabla:

Tabla general de carga termica		
Local	Carga Termica (BTU/h)	Hora Pico
Oficina Postgrado	18735,87	16:00
Oficina Tesoreria	13968,69	16:00
Salon PS-105	23465,07	10:00
Salon PS-202	25421,96	10:00
Salon PS-203	23465,07	10:00
Salon PS-204	23465,07	10:00
Salon PS-301	20753,95	10:00
Salon PS-302	17426,29	10:00
Salon Ps-303	16836,32	10:00
Salon PS-304	17043,68	10:00
Salon PS-401	17609,96	10:00
Salon PS-402	16317,95	10:00

Tabla 40. Carga térmica Total Edificio PS

4.5 DETERMINACIÓN DE LAS TONELADAS DE REFRIGERACION

Datos:

Condiciones Interiores
HR=55%; T=75.2°F

Condiciones Exteriores
HR=80%; T=93.2°F

Con los datos interiores y exteriores se proceden a graficarlos en la carta psicométrica. Luego calculamos el valor del SHR para proceder al proceso psicométrico y hallar las condiciones de suministro.

$$\text{Factor de Calor Sensible}(SHR) = SHR = \frac{Q_{SENSIBLE}}{Q_{TOTAL}}$$

SHR=0.90

Teniendo el SHR procedemos a realizar el proceso psicométrico para hallar las condiciones de suministro. Trazamos la línea del valor del SHR al index point en la carta psicométrica y luego trazamos la paralela del punto de condición interior hasta que la línea cruce la línea de saturación.

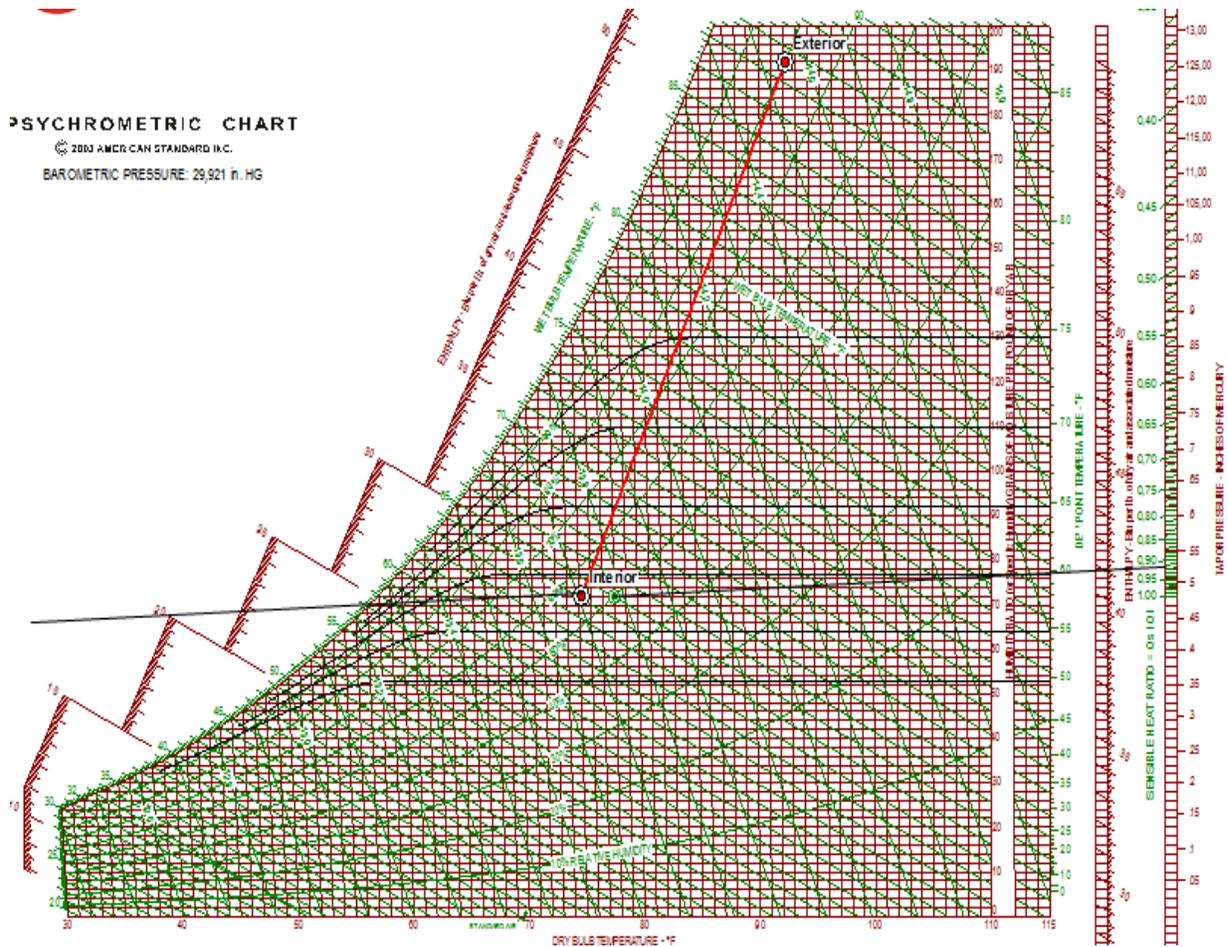


Figura 13. Carta Psicrometrica. Determinación punto de suministro.

En este punto encontramos de las condiciones de suministro son:

TBS=60.70°F; HR=90%; TR=57.75°F

Con estos datos calculamos un factor de contacto:

$$FC = 1 - \frac{TBS_s - TR}{TBS_i - TR}$$

Fc=0.83

El valor del Fc nos indica que el serpentín a escoger es comercial.

Con las condiciones de suministro, interior, y exterior. Procedemos a calcular la temperatura de mezcla como se explicó en la metodología. Los cálculos se muestran a continuación.

VENTILACION							
CFM/personas		15	CFM		117		
Estado	Entalpia (Btu/lb)	Temperatura (°F)	Volumen Especifico (ft³/lb)	Flujo Masico	Flujo (CFM)	Q TOTAL REF	Q TOTAL TON
Exterior	52,593	93,2	14,546				
Interior	29,306	75,2	13,702				
Suministro	25,681	60,7	13,329	4701,67928	782,056704	23857,0308	2
Mezcla	32,46	77,54			899,056704		

Tabla 41. Toneladas de Refrigeracion Salón PS 304

Con lo que podemos decir que el salón PS 304 necesita para garantizar las condiciones de confort para los estudiantes una carga de 2 TR en la hora pico.

Aplicando la misma metodología se calculo las toneladas de refrigeracion para cada uno de los locales; descrita a continuación en la siguiente tabla:

Tabla general de Toneladas de refrigeracion		
Local	Toneladas de Refrigeracion	CFM
Oficina Postgrado	3	782,679606
Oficina Tesoreria	2	571,616378
Salon PS-105	2	1076,10292
Salon PS-202	3	1167,86522
Salon PS-203	3	1076,10292
Salon PS-204	3	1076,10292
Salon PS-301	2	958,729572
Salon PS-302	2	790,66558
Salon Ps-303	2	760,88454
Salon PS-304	2	782,056704
Salon PS-401	2	799,941961
Salon PS-402	2	745,378113

Tabla 42. Toneladas de Refrigeracion Edificio PS

4.6 EVALUACIÓN ENERGÉTICA DEL SISTEMA DE REFRIGERACION EDIFICIO PS

Para la evaluación energética de los equipos se midieron los parámetros de operación en tiempo real para calcular la carga suministrada y la potencia eléctrica consumida. Hay que tener en cuenta para este cálculo que el sistema de refrigeración del edificio PS está constituido por 3 chillers, dos de 10 TR y uno con 5TR, con una capacidad de 25 toneladas de refrigeración total para todos los locales **que trabajan en circuito cerrado**; capacidad que posiblemente no se entregue completa debido a la condición de los equipos (es por esta razón que se mide la carga suministrada). Con un higrómetro se midió temperatura y HR, y con un anemómetro se midió velocidad de flujo para hallar el caudal suministrado, con estos parámetros se pudo calcular la carga suministrada. Luego se calculó el voltaje y la corriente consumida por los chillers. A causa de que los 3 chillers trabajan en circuito cerrado (es decir trabajan en conjunto para todo el edificio como si fuera uno solo), la evaluación energética se hizo para los 3 chillers en conjunto. La carga suministrada total es igual a la suma de las cargas suministradas a cada local y la potencia eléctrica consumida será la suma de consumos por cada chiller. Debido a la gran cantidad de cálculos de carga suministrada solo se mostrara el calculo para un local, las cargas de los demás locales se hizo de manera similar.

SALON PS 304

Las mediciones de TBS y HR se muestran a continuación:
1 representa entrada al coil, 2 representa salida del coil

T1 (°F)	T1 (°F)	T1 (°F)	Tp1 (°F)
80,10	80,00	80,40	80,167
Hr1 (%)	Hr1 (%)	Hr1 (%)	Hrp1 (%)
52	54	55	54
W1 (gr/Lba)	h1 (Btu/lb)		
89,8	33,314		
T2 (°F)	T2 (°F)	T2 (°F)	Tp2 (°F)
65,80	67,10	67,50	66,80
Hr2(%)	Hr2(%)	Hr2(%)	Hrp2(%)
91	90	91	91
W2 (gr/Lba)	h2 (Btu/lb)		
88,9	30,041		
ΔW (gr/Lba)	Δh (Btu/lb)		
0,9	3,273		

Tabla 43. Parámetros de operación Salón PS 304

Las mediciones de velocidad y cálculo de flujo se muestran a continuación:

Vel2(ft/min)	Vel2(ft/min)	Vel2(ft/min)	Vel2(ft/min)
288	289	178	252
A(ft²)			
2,501			
Flujo (cfm)			
629,418333			
Vel2(ft/min)	Vel2(ft/min)	Vel2(ft/min)	Vel2(ft/min)
355	375	360	363,33
A(ft²)			
2,501			
Flujo (cfm)			
908,696667			
Flujo TOTAL			
1538,115			

Tabla 44. Velocidad y Flujo en el Salón PS 304

Sabiendo el flujo suministrado y el cambio de entalpia procederemos a calcular la carga con la expresión:

$$Q_{sum} = 4.5 * cfm * (h_1 - h_2)$$

El cual nos da un valor de:

$$Q_{sum} = 21958.13 \text{ BTU/h}$$

Este dato es la carga suministrada a este local bajo ciertas condiciones de operación. De manera similar se calcularon las cargas suministradas al resto de locales del edificio PS y se llegó a que la cantidad total de carga suministrada es de **243432.14 BTU/h** para 13 locales. Lo que da una total carga en toneladas de **20.28TR**.

El consumo eléctrico se calculó midiendo el voltaje y la corriente consumida por los chillers. Por razones de brevedad se mostraran los cálculos para un chiller, de manera similar se calculó la potencia consumida para los demás chillers.

CHILLER 10 TR Y 2 VENTILADORES

CHILLER 10 TON-2 VENTILADORES		
V	I	Potencia
220	44,3	9746
Vven1	Iven2	Potencia
220	4,8	1056
Vven2	Iven2	Potencia
220	4,6	1012
ΣQsum	Σpot (w)	EER
	11814	0

Tabla 45. Consumo eléctrico Chiller de 2 ventiladores

La potencia en watts consumida por un chiller es de 11814watts, lo que da una suma de consumo eléctrico por parte de todo el sistema de edificio PS de **35013watts**.

Sabiendo la carga suministrada total a los locales y el consumo eléctrico de los chillers se procede a calcular el EER del sistema, para saber de esta manera si se está contribuyendo o no con el ahorro de energía; los cálculos se muestran a continuación:

Chillers 25 TON		
POT (W)	Qsum	EER
35013	243432,14	7,0

Tabla 46. EER Total del Sistema

El EER total que nos dio es de 7.0 lo que significa que está por debajo del valor recomendado por la ASHRAE para ahorrar un 30% de energía en los sistemas de refrigeración para edificios.

HVAC	Packaged DX Rooftops (or DX Split Systems)	Air conditioner (<65 kBtu/h)	13.0 SEER
		Air conditioner (≥65 and <135 kBtu/h)	11.3 EER
		Air conditioner (≥135 and <240 kBtu/h)	11.0 EER
		Air conditioner (≥240 kBtu/h)	10.6 EER and 11.2 IPLV
		Heat pump (<65 kBtu/h)	13.0 SEER/7.7 HPSF

Tabla 47. EER

4.6.1 Balance Energético.

Sabiendo que el consumo eléctrico de los 3 chillers instalados en el edificio PS, el cual es de 35Kw y sabiendo el costo del Kwh en el barrio manga, calcularemos el costo en pesos al año que consumen estos equipos, los cuales no son ahorradores de energía y son ineficientes. Con un tiempo de operación de 6:00am-10:00pm de lunes a viernes y de 6:00am-5:00pm sábados (información brindada por técnicos de refrigeración).

$$35Kw \times \frac{18h}{dia} \times \frac{5días}{semana} \times \frac{4sem}{mes} \times \frac{9meses}{año} \times 237.40 \frac{\$}{Kwh} = 26921160 \frac{\$}{año}$$

Instalando un equipo ahorrador de energía que suministre la carga necesaria y proporcione las condiciones de confort de los locales de manera eficiente, procederemos a calcular el costo anual y compararemos sus rendimientos. La carga necesaria es de 28 TR , pero esta capacidad no la encontramos en el mercado por lo tanto si consideramos el sistema como está instalado actualmente **en circuito cerrado**, se podría instalar un

equipo de 25TR debido a que no todos los locales trabajarían al mismo tiempo. Y el EER recomendado es entre 11.2-13 el consumo eléctrico que debería tener es:

Para EER=13

$$\frac{(25TR) \times \left(\frac{12000BTU}{h}\right)}{13} = 23Kw$$

El cual da un costo anual de:

$$23Kw \times \frac{18h}{dia} \times \frac{5días}{semana} \times \frac{4sem}{mes} \times \frac{9meses}{año} \times 237.40 \frac{\$}{Kwh} = 17691048 \frac{\$}{año}$$

Lo que da un ahorro de:

$$26921160 \frac{\$}{año} - 17691048 \frac{\$}{año} = 9230112 \frac{\$}{año}$$

Para EER=12

$$\frac{(25TR) \times \left(\frac{12000BTU}{h}\right)}{12} = 25Kw$$

El cual da un costo anual de:

$$25Kw \times \frac{18h}{dia} \times \frac{5días}{semana} \times \frac{4sem}{mes} \times \frac{9meses}{año} \times 237.40 \frac{\$}{Kwh} = 19229400 \frac{\$}{año}$$

Lo que da un ahorro de:

$$26921160 \frac{\$}{año} - 19229400 \frac{\$}{año} = 7691760 \frac{\$}{año}$$

El costo de un equipo tipo chiller de 25TR y EER de 13 oscila entre los 40 y 50 millones de pesos dependiendo la marca. Sabiendo que el ahorro anual según nuestro estudio es de $9.230.112 \frac{\$}{año}$. Se podría recuperar la inversión inicial en 4 o 5 años, sabiendo que el equipo instalado estaría contribuyendo con el ahorro energético.

4.7 CALCULO DE LA CANTIDAD TEORICA DE AGUA GENERADA POR PARTE DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACION DE LOS EDIFICIOS MB, PS Y AUDITORIO DE LA UTB CAMPUS LEMAITRE.

Para el cálculo de la cantidad de agua generada, se hizo una estimación teórica mediante un análisis psicrométrico, con las condiciones de entrada y salida del coil medidas en cada uno de los equipos.

Sabiendo las condiciones de TBS y HR en la entrada y salida del coil se calculó la variación de humedad específica entre estos dos puntos graficados en la carta psicrométrica, ya que esta variación de humedad representa la cantidad de agua desprendida por debajo de la temperatura de rocío en el punto de saturación de la condición de entrada así.

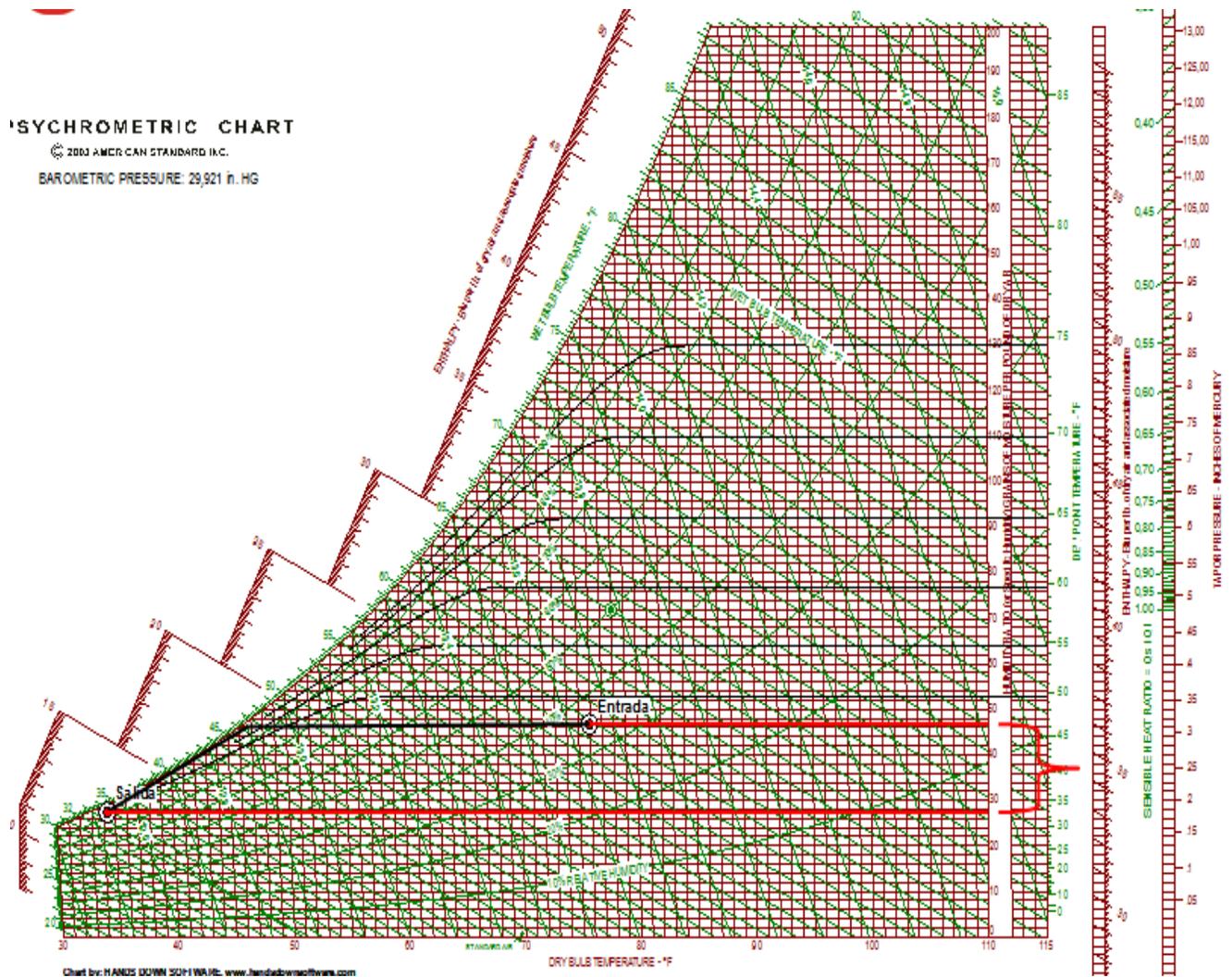


Figura 14. Carta Psicrometrica. Calculo teórico agua generada salón

CANTIDAD TEORICA DE AGUA SEPARADA EDIFICIO PS

Debido a lo extenso de los cálculos se mostrara el cálculo de un local, de manera similar se calculó en los otros locales.

SALON PS 402

T1 (°F)	T1 (°F)	T1 (°F)	TP1 (°F)
80,00	78,50	79,80	79,433
Hr1 (%)	Hr1 (%)	Hr1 (%)	Hrp1 (%)
58	59	57	58
W1 (gr/Lba)	h1 (Btu/lb)		
87,7	32,793		
T2 (°F)	T2 (°F)	T2 (°F)	TP2 (°F)
65,00	65,70	66,20	65,63
Hr2(%)	Hr2(%)	Hr2(%)	Hrp2(%)
91	91	90	91
W2 (gr/Lba)	h2 (Btu/lb)		
86,3	29,816		
ΔW (gr/Lba)	Δh (Btu/lb)		
1,4	2,977		

Tabla 48. Cantidad Teórica de agua separada Salón PS 402

La suma de la cantidad de humedad teórica separada en todos los locales del edificio es **22gr de humedad/lb de aire seco.**

De igual manera se hizo el cálculo para los otros edificios MB y AUDITORIO. Dando una cantidad de agua teórica total en los 3 edificios de **301.5gr de humedad/lb de aire seco.**

4.8 CALCULO DE LA CANTIDAD REAL DE AGUA GENERADA POR PARTE DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACION DE LOS EDIFICIOS MB, PS Y AUDITORIO CAMPUS LEMAITRE.

Para el cálculo de la cantidad de agua real generada por parte de los sistemas, fue necesario medir caudal en las tuberías de desagüe, cada edificio tiene su propio desagüe. Se mostrara el cálculo para un edificio y de manera similar se calcularon los otros 2 edificios.

EDIFICIO MB CAMPUS LEMAITRE

El edificio MB consta de 3 tubos por donde desagua el sistema de refrigeracion. Un tubo para el 2 piso de $\frac{3}{4}$ in, un tubo para el 3-4 piso de $1 \frac{1}{4}$ in y un tubo de $\frac{3}{4}$ in para la oficina del primer piso. El sistema de refrigeracion del edificio MB consta de 12 equipos tipo Split de techo cada uno de 3 toneladas (uno para cada salón) y un equipo de 5 ton para la

oficina del primer piso. Con un tiempo de trabajo del 2 piso de 6:00am-9:00pm de lunes a viernes y del 3-4 piso de 6:00pm-10:00pm de lunes a viernes, todos los pisos trabajan los sábados de 6:00am-1:00pm. Toda el agua es drenada por las tuberías antes mencionadas. A continuación se presenta el cálculo del agua real:

FLUJO DE AGUA REAL-TUBO 2 PISO EDIFICIO MB (3/4in)					
V (lt)	0lt-1lt	1lt-2lt	2lt-3lt	3lt-4lt	4lt-5lt
t (min)	03:21:25	03:15:48	03:12:14	03:14:10	03:11:05
t(seg)	201seg	195seg	192seg	194seg	191seg
flujo (lt/seg)	0,004975	0,005128	0,005208	0,005154	0,005235
flujop (lt/seg)	0,00514				
flujop (lt/h)	18,504				
flujop (ft3/seg)	0,000175618				
flujop (lt/año)	53291,52				
A (ft2)	0,003067				
vel (ft/seg)	0,057260352				

Tabla 49. Flujo Real de Agua-Edificio MB (Segundo Piso)

FLUJO DE AGUA REAL-TUBO 3-4 PISO EDIFICIO MB (1-1/4in)					
V (lt)	0lt-1lt	1lt-2lt	2lt-3lt	3lt-4lt	4lt-5lt
t (min)	01:33:20	01:26:20	01:40:27	01:20:23	01:22:15
t(seg)	93seg	86seg	100seg	80seg	82seg
flujo (lt/seg)	0,01075	0,01162	0,01	0,0125	0,01219
flujop (lt/seg)	0,011412				
flujop (lt/h)	41,0832				
flujop (ft3/seg)	0,000379475				
flujop (lt/año)	36974,88				
A (ft2)	0,008522				
vel (ft/seg)	0,044528866				

Tabla 50. Flujo Real de Agua-Edificio MB (Tercer y Cuarto Piso)

FLUJO DE AGUA REAL-TUBO OFICINA MB 1 PISO (3/4in)					
V (lt)	0lt-0,5lt	0,5lt-1lt	1lt-1,5lt	1,5lt-2lt	2lt-2,5lt
t (min)	06:35:10	06:38:50	06:29:27	06:31:14	06:28:12
t(seg)	395seg	398seg	389seg	391seg	388seg
flujo (lt/seg)	0,001265	0,001256	0,001285	0,001278	0,001288
flujop (lt/seg)	0,0012744				
flujop (lt/h)	4,58784				
flujop (ft3/seg)	4,46545E-05				
flujop (lt/año)	4129,056				
A (ft2)	0,003067				
vel (ft/seg)	0,014559667				

Tabla 51. Flujo Real de Agua-Edificio MB (Oficina)

FLUJO DE AGUA REAL TOTAL EDIFICIO MB			
flujop (lt/seg)	flujop (lt/h)	flujop (ft3/seg)	flujop (lt/año)
0,0178264	64,17504	0,000599747	94395,456

Tabla 52. Flujo Real de Agua-Edificio MB (TOTAL)

EDIFICIO PS

El edificio PS consta de un sistema de aire central, 3 chillers, 2 de 10 TR y 1 de 5 TR para todo el edificio. El tiempo de trabajo es de 6:00am-10:00pm de lunes a viernes y sábado todo el día. La tubería de drenaje es una sola para los 4 pisos y tiene una dimensión de ¾ in.

FLUJO DE AGUA REAL-TUBO EDIFICIO PS (3/4in)					
V (lt)	0lt-1lt	1lt-2lt	2lt-3lt	3lt-4lt	4lt-5lt
t (min)	01:32:25	01:34:10	01:28:59	01:29:54	01:30:48
t(seg)	92	94	88	90	90
flujo (lt/seg)	0,01086	0,010630	0,01136	0,01111	0,01111
flujop (lt/seg)	0,011014				
flujop (lt/h)	39,6504				
flujop (ft3/seg)	0,000383358				
flujop (ft3/h)	1,3800888				
A (ft2)	0,003067				
vel (ft/seg)	0,124994457				

Tabla 53. Flujo Real de Agua-Edificio PS

FLUJO DE AGUA REAL TOTAL EDIFICIO PS			
flujop (lt/seg)	flujop (lt/h)	flujop (ft3/seg)	flujop (lt/año)
0,011014	39,6504	0,000383358	128467,296

Tabla 54: Flujo Real de Agua-Edificio PS (TOTAL)

El auditorio consta de 3 equipos tipo Split de techo de 5 TR y un equipo de 2 TR. La tubería de drenaje es una para los equipos cuya dimensión es de ¾ in.

FLUJO DE AGUA REAL-TUBO AUDITORIO (3/4in)					
V (lt)	0lt-0,5lt	0,5lt-1lt	1,5lt-2lt	2,5lt-3lt	3,5lt-4lt
t (min)	01:58:10	02:02:25	02:00:58	02:01:49	01:57:15
t(seg)	118	122	121	121	117
flujo (lt/seg)	0,0042	0,004098	0,0041	0,0041	0,0042
flujop (lt/seg)	0,0041396				
flujop (lt/h)	14,90256				
flujop (ft3/seg)	0,00014826				
flujop (ft3/h)	0,533736				
A (ft2)	0,003067				
vel (ft/seg)	0,048340398				

Tabla 55. Flujo Real de Agua-Auditorio

FLUJO DE AGUA REAL TOTAL AUDITORIO			
flujop (lt/seg)	flujop (lt/h)	flujop (ft3/seg)	flujop (lt/año)
0,0041396	14,90256	0,00014826	19313,71776

Tabla 56. Flujo Real de Agua-Auditorio (TOTAL)

Sumando el caudal total de los 3 edificios, nos damos cuenta que la cantidad de agua generada por los sistemas de refrigeracion es igual a **118.72lt/h**. El cual teniendo en cuenta las horas de trabajo de los equipos llegamos a una suma de **242176lt/año de agua reutilizable**.

5 ANALISIS DE RESULTADOS

La mayor cantidad de carga generada en los locales es por personas, llegando casi al 50% de la cantidad total de la carga. Como es el caso de la oficina de tesorería (38%), aula PS 105(47%), oficina de postgrados (42%), PS 203(47%), no quitándole importancia al aporte de carga por parte de los otros componentes.

El contacto con el sol de algunas paredes en algunos locales, aportan una cantidad de carga considerable aumentando de esta manera la cantidad de energía generada en el recinto, aportando en todos los locales casi un 20% de la carga total generada.

Estas paredes que están en contacto con el sol en el edificio PS contienen la mayor cantidad de ventanas del local, con un área considerable por lo cual la cantidad de energía aumentada en el recinto por conducción y por radiación en ventanas representa un gran valor.

La cantidad de carga suministrada por parte del sistema de refrigeración del edificio PS no es suficiente para garantizar las condiciones necesarias de confort en los locales, ya que la cantidad de carga que entrega es aproximadamente 20TR los cuales no son suficientes. Esto se debe a la ineficiencia por parte del sistema, dándonos cuenta que el indicador de energía está por debajo del valor recomendado por ASHRAE para este tipo de recintos y este tipo de equipos instalados actualmente. El valor recomendado por ASHRAE es de 11.2-13 lo que representa un ahorro energético de un 30% y el valor calculado es de 7, por lo tanto el rendimiento del sistema es ineficiente.

Por otra parte un resultado positivo al que se llegó fue que la cantidad de agua generada por el sistema de refrigeración en los edificios MB, PS y Auditorio en campus Lemaitre, es una cantidad considerable de **118.72lt/h**. Lo que llega a ser una cantidad de **242176lt/año**, trabajando 6 días a la semana; la cual es una cantidad de agua a considerar.

Notamos que el gasto económico por parte del sistema de refrigeración solo en el edificio PS, donde los equipos tienen más años de funcionamiento es muy alto en comparación a los equipos ahorradores de energía modernos.

6 CONCLUSIONES

La carga real suministrada no corresponde a la capacidad de los equipos ya que los equipos deberían trabajar a una carga de 25TR y están entregando 20TR esto es debido a la ineficiencia de los equipos y a pérdidas en el sistema de refrigeración.

Con base a la investigación, los equipos instalados en el edificio PS campus lemaître no están contribuyendo al ahorro energético, debido a que son equipos que llevan muchos años de operación y además no son ahorradores de energía.

Debido a estos datos la carga suministrada real a los locales del edificio no es suficiente para la demanda, ya que se presenta un total de carga de 28 toneladas de refrigeración en comparación a las 20 entregadas por el equipo.

Estas condiciones de carga se dieron aclarando que:

1. Las condiciones climatológicas que se asumieron fueron máximas.
2. La ocupación total de los locales.
3. La latitud a la que nos encontramos es latitud 10, y los factores utilizados para el cálculo corresponden a latitud 8
4. Se obviaron cálculos de sombreado

Cabe aclarar que a pesar de estas condiciones, los cálculos se hicieron bajo datos reales de operación.

Por otra parte el indicador de energía EER, el cual nos califica el rendimiento del equipo está por debajo del valor recomendado, dado por la ASHRAE el cual debe ser de 11.2-13. Este indicador bajo las condiciones reales de operación de los chillers es de 7. Por lo tanto se llega a la conclusión que el sistema de refrigeración del edificio PS no contribuye al ahorro de energía, por lo tanto los equipos que brindan el enfriamiento en este edificio son obsoletos en comparación a otros existentes que pueden brindar las condiciones de confort de una manera eficiente, ahorrando un 30%-40% de energía.

La cantidad de agua generada por los sistemas de refrigeración de los edificios MB, PS y auditorio es considerable dando un valor de **118.72lt/h**, dando una suma anual de **242.176lt** el cual es una cantidad que se puede reutilizar sabiendo la problemática del agua a nivel mundial. Esta cantidad de agua se puede usar en la propia universidad para distintas actividades aclarando que:

1. Esta agua posiblemente no pueda ser utilizada para regar plantas, debido a que debe ser sometida a estudios de propiedades ya que es posible que durante el tratamiento que se le da al aire con refrigerantes pierda ciertas propiedades.

El ahorro económico por parte del sistema de refrigeración en el edificio PS, instalando un equipo ahorrador de energía que cumpla con un indicador de energía requerido, brindando condiciones de confort para el personal es de **9.230.112\$/año**. Pensando en que la crisis mundial de energía va en aumento, podemos poner de nuestra parte haciendo eficiente nuestro consumo.

7 RECOMENDACIONES

Tomando como base los cálculos de carga térmica para el edificio PS, notamos que una gran cantidad de energía es generada por personas y ventanearía. Por lo tanto es recomendable un control de concentración de personas y un estudio de ahorro de energía por medio de películas para disminuir la radiación. Una gran cantidad de infiltración es generada por medio de las puertas al entrar o salir de un respectivo local, por lo tanto controlar de manera rigurosa esta acción disminuirá la carga térmica.

La cantidad de agua generada por parte de los sistemas de refrigeración es considerable sumando una suma total anual de **242.176lt**, lo suficiente para usarse en varias actividades que tengan que ver con su uso. Es posible que se almacenara esta agua en tanques de almacenamiento para su uso o realizar un análisis para verificar si esta agua es apta para utilizar en una torre de enfriamiento para refrigeración. Dicho análisis se podría realizar considerando la cantidad de agua producida. Este proyecto sería interesante ya que el ahorro económico por parte del sistema de refrigeración sería alto, teniendo en cuenta que ***en refrigeración hay una gran oportunidad de ahorrar energía*** especialmente en zonas tropicales.

Notando que la eficiencia del sistema de refrigeración del edificio PS está muy por debajo de la recomendada para edificios, con un EER de 7. Y notando la cantidad de dinero que se ahorra instalando equipos de alta eficiencia y que igualmente proporcionen las condiciones necesarias de confort, es recomendable instalar equipos de alta eficiencia, y así contribuir al desarrollo sostenible y al ahorro de energía por parte de la UTB.

8 BIBLIOGRAFIA

- Tesis de Grado, Determinación de las Cargas Térmicas para Garantizar el Confort en los Locales del Piso uno del Edificio de Aulas 2 de la UTB, HERMES JAVIER RAMIREZ LEON.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineer (ASHRAE) 2005 Handbook Fundamental.
- ASHRAE 2004 Handbook Fundamental.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineer. (1997). ASHRAE Handbook Fundamental.
- Modulo Uso Racional de la Energia; Presentacion Psicometria.
- http://www.energyguru.com/HERS_Certifications.htm
- <http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/UserFiles/File/Normatividad/ConceptosJuridicosEnergia/2008/2008%2008019906%20Normatividad%20aire%20acondicionado.pdf>
- Air Conditioner Clinic Psicometry one of the fundamental series-Article.
- ASHRAE Fundamentals 2008-HVAC Systems

9 ANEXOS

9.1 LISTA DE ANEXOS

Anexo A.....	96
Anexo B.....	97
Anexo C.....	98
Anexo D.....	99
Anexo E.....	100
Anexo F.....	101
Anexo G.....	102
Anexo H.....	103
Anexo I.....	104
Anexo J.....	105
Anexo K.....	106

ANEXO A. DETERMINACION DE CONDICIONES DE AIRE

Coefficiente Convectivo del aire Fundamentals ASHRAE 1997. Capítulo 24.

Table 1 Surface Conductances and Resistances for Air

Position of Surface	Direction of Heat Flow	Surface Emittance, ϵ					
		Non-reflective $\epsilon = 0.90$		Reflective			
		h_f	R	$\epsilon = 0.20$		$\epsilon = 0.05$	
		h_f	R	h_f	R	h_f	R
STILL AIR							
Horizontal	Upward	1.63	0.61	0.91	1.10	0.76	1.32
Sloping—45°	Upward	1.60	0.62	0.88	1.14	0.73	1.37
Vertical	Horizontal	1.46	0.68	0.74	1.35	0.59	1.70
Sloping—45°	Downward	1.32	0.76	0.60	1.67	0.45	2.22
Horizontal	Downward	1.08	0.92	0.37	2.70	0.22	4.55
MOVING AIR (Any position)							
		h_o	R				
1.5-mph Wind (for winter)	Any	6.00	0.17	—	—	—	—
7.5-mph Wind (for summer)	Any	4.00	0.25	—	—	—	—

Notes:

1. Surface conductance h_f and h_o measured in $\text{Btu/h} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{F}$; resistance R in $^\circ\text{F} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{h/Btu}$.
2. No surface has both an air space resistance value and a surface resistance value.
3. For ventilated attics or spaces above ceilings under summer conditions (heat flow down), see Table 5.
4. 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°F and for surface temperatures of 70°F.
5. See Chapter 3 for more detailed information, especially Tables 5 and 6, and see Figure 1 for additional data.
6. Condensate can have a significant impact on surface emittance (see Table 2).

ANEXO B. DETERMINACION DEL FACTOR DE CORRECCION “LM” POR LATITUD Y MES PARA CALCULO DE $CLTD_c$.

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

ANEXO C. DETERMINACION DEL GRUPO AL QUE PERTENECE LA PARED

Wall Construction Group Description				
Group No.	Description of Construction	Weight(lb/ft ²)	U-value (Btu/(h·ft ² ·F))	Code Numbers of Layers (see Table 8)
4-in. Face Brick+(Brick)				
C	Air Space+4-in. Face Brick	83	0.358	A0, A2, B1, A2, E0
D	4-in. Common Brick	90	0.415	A0, A2, C4, E1, E0
C	1-in. Insulation or Air space+4-in. Common Brick	90	0.174-0.301	A0, A2, C4, B1/B2, E1, E0
B	2-in. Insulation+4-in. Common Brick	88	0.111	A0, A2, B3, C4, E1, E0
B	8-in. Common Brick	130	0.302	A0, A2, C9, E1, E0
A	Insulation or Air space+8-in. Common Brick	130	0.154-0.243	A0, A2, C9, B1/B2, E1, E0
4-in. Face Brick+(H. W. Concrete)				
C	Air Space+2-in. Concrete	94	0.350	A0, A2, B1, C5, E1, E0
B	2-in. Insulation+4-in. concrete	97	0.116	A0, A2, B3, C5, E1, E0
A	Air Space or Insulation+8-in. or more Concrete	143-190	0.110-0.112	A0, A2, B1, C10/11, E1, E0
4-in. Face Brick+(L. W. or H. W. Concrete Block)				
E	4-in. Block	62	0.319	A0, A2, C2, E1, E0
D	Air Space or Insulation+4-in. Block	62	0.153-0.246	A0, A2, C2, B1/B2, E1, E0
D	8-in. Block	70	0.274	A0, A2, C7, A6, E0
C	Air Space or 1-in. Insulation+6-in. or 8-in. Block	73-89	0.221-0.275	A0, A2, B1, C7/C8, E1, E0
B	2-in. Insulation+8-in. Block	89	0.096-0.107	A0, A2, B3, C7/C8, E1, E0
4-in Face Brick+(Clay Tile)-				
D	4-in. Tile	71	0.381	A0, A2, C1, E1, E0
D	Air Space+4-in. Tile	71	0.281	A0, A2, C1, B1, E1, E0
C	Insulation+4-in. Tile	71	0.169	A0, A2, C1, B2, E1, E0
C	8-in. Tile	96	0.275	A0, A2, C6, E1, E0
B	Air Space or 1-in. Insulation+8-in. Tile	96	0.142-0.221	A0, A2, C6, B1/B2, E1, E0
A	2-in. Insulation+8-in. Tile	97	0.097	A0, A2, B3, C6, E1, E0
H.W. Concrete Wall+(Finish)				
E	4-in. Concrete	63	0.585	A0, A1, C5, E1, E0
D	4-in. Concrete+1-in. or 2-in. Insulation	63	0.119-0.200	A0, A1, C5, B2/B3, E1, E0
C	2-in. Insulation+4-in. Concrete	63	0.119	A0, A1, B6, C5, E1, E0
C	8-in. Concrete	109	0.490	A0, A1, C10, E1, E0
B	8-in. Concrete+1-in. or 2-in. Insulation	110	0.115-0.187	A0, A1, C10, B5/B6, E1, E0
A	2-in. Insulation+8-in. Concrete	110	0.115	A0, A1, B3, C10, E1, E0
B	12-in. Concrete	156	0.421	A0, A1, C11, E1, E0
A	12-in. Concrete+Insulation	156	0.113	A0, C11, B6, A6, E0
L.W. and H.W. Concrete Block+(Finish)				
F	4-in. Block+Air Space/Insulation	29	0.161-0.263	A0, A1, C2, B1/B2, E1, E0
E	2-in. Insulation+4-in. Block	29-37	0.105-0.114	A0, A1, B3, C2/C3, E1, E0
E	8-in. Block	47-51	0.294-0.402	A0, A1, C7/C8, E1, E0
D	8-in. Block+Air Space/Insulation	41-57	0.149-0.173	A0, A1, C7/C8, B1/B2, E1, E0
Clay Tile+(Finish)				
F	4-in. Tile	39	0.419	A0, A1, C1, E1, E0
F	4-in. Tile+Air space	39	0.303	A0, A1, C1, B1, E1, E0
E	4-in. Tile+1-in. Insulation	39	0.175	A0, A1, C1, B2, E1, E0
D	2-in. Insulation+4-in. Tile	40	0.110	A0, A1, B3, C1, E1, E0
D	8-in. Tile	63	0.296	A0, A1, C6, E1, E0
C	8-in. Tile+Air Space/1-in. Insulation	63	0.151-0.231	A0, A1, C6, B1/B2, E1, E0
B	2-in. Insulation+8-in. Tile	63	0.099	A0, A1, B3, C6, E1, E0
Metal Curtain Wall				
G	With/without Air Space+1-in./2-in./3-in. Insulation	5-6	0.091-0.230	A0, A3, B5/B6/B12, A3, E0
Frame Wall				
G	1-in. to 3-in. Insulation	16	0.081-0.178	A0, A1, B1, B2/B3/B4, E1, E0

ANEXO D. DETERMINACION DEL CLTD PARA PAREDES SOLEADAS

Cooling Load Temperature Differences for Calculating Cooling Load from Sunlit Walls

South Latitude Wall Facing	Solar Time, hr																								Hr of Maxi- mum CLTD	Mini- mum CLTD	Maxi- mum CLTD	D of C	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24					
Group A Walls																													
N	14	14	14	13	13	12	12	11	11	10	10	10	10	10	10	11	11	12	12	13	13	14	14	2	10	14			
NE	19	19	19	18	17	17	16	15	15	15	15	16	16	17	18	18	18	19	19	20	20	20	20	22	15	20			
E	24	24	23	23	22	21	20	19	19	18	18	18	19	20	21	22	23	24	24	25	25	25	25	25	22	18	25		
SE	24	23	23	22	21	20	20	19	18	18	18	18	19	20	21	22	23	24	24	25	25	25	25	25	22	18	25		
S	20	20	19	19	18	18	17	16	16	15	14	14	14	14	15	16	17	18	19	20	20	20	20	23	18	24			
SW	25	25	25	24	24	23	22	21	20	19	18	17	17	17	17	18	18	19	20	22	23	24	24	25	24	17	25		
W	27	27	26	26	25	24	24	23	22	21	20	19	19	18	18	18	18	19	20	22	23	24	25	25	24	17	25		
NW	21	21	21	20	20	19	19	18	17	16	16	15	15	14	14	15	15	16	17	18	19	20	22	23	24	18	29		
Group B Walls																													
N	15	14	14	13	12	11	11	10	9	9	9	9	9	10	10	11	12	13	14	14	15	15	15	24	8	15			
NE	19	18	17	16	15	14	13	12	12	13	14	15	16	17	18	19	20	20	21	21	21	20	20	21	12	21			
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		
SE	23	22	21	20	18	17	16	15	14	14	15	16	18	20	21	23	24	25	26	26	26	25	24	21	14	26	1		
S	21	20	19	18	17	15	14	13	12	11	11	11	11	12	14	15	17	19	20	21	22	22	22	23	13	22	1		
SW	21	20	19	18	17	15	14	13	12	11	11	11	11	12	14	15	17	20	22	25	27	28	28	28	24	13	28	1	
W	29	28	27	26	24	23	21	19	18	17	16	15	14	14	14	15	17	20	22	25	27	29	29	30	24	14	30	1	
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	1		
Group C Walls																													
N	15	14	13	12	11	10	9	8	8	7	7	6	6	6	7	8	9	10	12	13	14	15	16	17	17	17	16	22	
NE	19	17	16	14	13	11	10	10	11	13	15	17	19	20	21	22	22	23	23	23	22	21	20	20	10	23	13		
E	22	21	19	17	15	14	12	12	14	16	19	22	25	27	29	29	30	30	29	28	27	26	24	18	12	30	18		
SE	22	21	19	17	15	14	12	12	13	16	19	22	24	26	28	29	29	29	29	28	27	26	24	19	12	29	17		
S	21	19	18	16	15	13	12	10	9	9	10	11	14	17	20	22	24	25	26	25	24	22	20	9	26	17			
SW	20	19	17	15	14	12	11	11	11	11	11	11	13	15	18	22	26	29	32	33	32	31	22	11	33	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	22	12	35	22		
NW	25	23	21	20	18	16	14	13	11	10	10	10	10	11	12	13	15	18	22	25	27	27	26	22	10	27	17		
Group D Walls																													
N	15	13	12	10	9	7	6	5	5	6	6	6	7	8	10	12	13	15	17	18	19	19	18	16	21	6	19	13	
NE	17	15	13	11	10	8	7	6	6	8	10	14	17	20	22	23	23	24	24	23	22	20	18	19	7	25	18		
E	19	17	15	13	11	9	8	7	7	9	12	17	22	27	30	32	33	32	31	30	28	26	24	18	8	33	25		
SE	20	17	15	13	11	10	8	8	8	10	13	17	22	26	29	31	32	32	31	30	28	26	24	18	8	32	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	18	6	29	23		
SW	24	23	22	19	16	14	12	10	9	8	8	8	10	12	16	21	27	32	36	38	38	37	34	31	8	38	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	9	41	32		
NW	25	22	19	17	14	12	10	9	8	7	7	8	9	10	12	14	18	22	27	31	32	32	30	27	7	32	29		
Group E Walls																													
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	
NE	13	11	9	7	6	4	5	6	7	9	13	20	24	25	25	26	26	26	26	25	24	22	19	17	15	4	26	22	
E	14	12	10	8	6	5	6	7	8	11	18	26	33	38	37	36	34	33	32	30	28	25	22	20	17	5	38	33	
SE	15	12	10	8	7	5	5	6	7	8	12	19	25	31	35	37	37	36	34	33	31	28	26	23	20	17	5	37	32
S	15	12	10	8	7	5	4	3	4	5	6	7	9	12	16	20	24	27	29	29	27	26	24	22	19	3	34	31	
SW	22	18	15	12	10	8	6	5	5	6	7	9	12	16	20	24	27	29	29	27	26	24	22	19	5	45	40		
W	25	21	17	14	11	9	7	6	6	6	7	9	11	14	18	24	30	36	40	41	40	38	34	31	21	8	38	30	
NW	20	17	14	11	9	7	6	5	5	5	6	8	10	13	16	20	26	32	37	38	36	32	28	24	20	5	38	33	
Group F Walls																													
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	3	23	23	
NE	9	7	5	3	2	1	2	4	6	7	9	11	14	17	19	21	22	23	24	23	20	16	13	11	11	3	30	29	
E	10	7	6	4	3	2	3	4	6	7	9	11	14	17	19	21	22	23	24	23	20	16	13	11	11	2	45	43	
SE	10	7	6	4	3	2	3	4	6	7	9	11	14	17	19	21	22	23	24	23	20	16	13	11	11	2	45	43	
S	10	8	6	4	3	2	3	4	6	7	9	11	14	17	19	21	22	23	24	23	20	16	13	11	11	2	43	41	
SW	15	11	9	6	5	3	2	2	4	5	8	11	17	26	35	44	50	53	52	48	43	37	32	28	23	18	2	53	48
W	17	13	10	7	5	4	3	3	4	6	8	11	17	26	35	44	50	53	52	48	43	37	32	28	23	18	2	53	48
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	
Group G Walls																													
N	3	2	1	0	-1	2	3	5	8	9	12	15	18	21	23	24	24	25	26	22	15	11	9	7	5	18	-1	26	27
NE	3	2	1	0	-1	2	3	5	8	9	12	15	18	21	23	24	24	25	26	22	15	11	9	7	5	9	-1	19	40
E	4	2	1	0	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SE	4	2	1	0	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S	4	2	1	0	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SW	5	4	3	1	0	0	2	5	8	12	16	20	26	38	50	63	72	77	76	72	67	61	55	50	45	40	-1	46	47
W	6	5	3	2	1	1	2	5	8	12	16	20	26	38	50	63	72	77	76	72	67	61	55	50	45	40	-1	46	47
NW	5	3	2	1	0	0	2	5	8	12	16	20	26	38	50	63	72	77	76	72	67	61	55	50	45	40	-1	46	47

ANEXO E. DETERMINACION DE $CLTD_c$, PARA VENTANAS (CONDUCCION).

**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

Corrections: The values in the table were calculated for an inside temperature of 78 F and an outdoor maximum temperature of 95 F with an outdoor daily range of 21 F. The table remains approximately correct for other outdoor maximums (93-102 F) and other outdoor daily ranges (16-34 F), provided the outdoor daily average temperature remains approximately 85 F. If the room air temperature is different from 78 F, and/or the outdoor daily average temperature is different from 85 F, the following rules apply: (a) For room air temperature less than 78 F, add the difference between 78 F and room air temperature; if greater than 78 F, subtract the difference. (b) For outdoor daily average temperature less than 85 F, subtract the difference between 85 F and the daily average temperature; if greater than 85 F, add the difference.

ANEXO F. COEFICIENTE DE SOMBREADO “SC” PARA VIDRIOS (RADIACION).

**Shading Coefficients for Single Glass
and Insulating Glass^a**

A. Single Glass			Shading Coefficient	
Type of Glass	Nominal Thickness^b	Solar Trans.^b	$h_o=4.0$	$h_o=3.0$
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. ^c	0.71 ^c	0.88	0.88
Clear Out, Clear In	1/4 in.	0.61	0.81	0.82
Heat Absorbing ^d Out, Clear In	1/4 in.	0.36	0.55	0.58

^aRefers to factory-fabricated units with 3/16, 1/4, or 1/2-in. air space or to prime windows plus storm sash.

^bRefer to manufacturer's literature for values.

^cThickness of each pane of glass, not thickness of assembled unit.

^dRefers to gray, bronze, and green tinted heat-absorbing float glass.

^eCombined transmittance for assembled unit.

ANEXO G. DETERMINACION DE FACTOR DE CALOR SOLAR “SHGF” PARA VENTANAS.

Maximum Solar Heat Gain Factors Btu/(h · ft ²)												
	8° N Latitude					8° N Latitude					HG	
	N	NE/NW	E/W	SE/SW	S	HOR	N	NE/NW	E/W	SE/SW		S
Jan.	34	88	234	235	118	296	32	71	224	242	162	2
Feb.	36	132	245	210	67	306	34	114	239	219	110	29
Mar.	38	170	242	170	38	303	37	156	241	184	55	36
Apr.	71	193	221	118	37	284	44	184	225	134	39	29
May	113	203	201	80	37	265	74	198	209	97	38	21
June	129	206	190	65	37	255	90	200	200	82	39	27
July	115	201	195	77	38	260	77	195	204	93	39	27
Aug.	75	187	212	112	38	276	47	179	216	128	41	28
Sep.	40	163	231	163	40	293	38	149	230	176	56	29
Oct.	37	129	236	202	66	299	35	112	231	211	108	28
Nov.	35	88	230	230	117	293	33	71	230	238	160	27
Dec.	34	71	226	241	138	288	31	54	215	247	180	26
	16° N Latitude					24° N Latitude					HG	
	N	NE/NW	E/W	SE/SW	S	HOR	N	NE/NW	E/W	SE/SW		S
Jan.	30	55	210	251	199	248	27	41	190	253	227	214
Feb.	33	96	231	233	154	275	30	80	220	243	192	245
Mar.	35	140	239	197	93	291	34	124	234	214	137	275
Apr.	39	172	227	150	45	289	37	159	228	169	75	282
May	52	189	215	115	41	282	43	178	218	132	46	282
June	66	194	207	99	41	277	56	184	212	117	43	279
July	55	187	210	111	42	277	45	176	213	129	46	276
Aug.	41	168	219	143	46	282	38	156	220	162	72	277
Sep.	36	134	227	191	93	282	35	119	222	206	134	266
Oct.	33	95	223	225	150	270	31	79	211	235	187	244
Nov.	30	55	206	247	196	246	27	42	187	249	224	213
Dec.	29	41	198	254	213	234	25	29	179	252	237	199
	32° N Latitude					40° N Latitude					HG	
	N	NE/NW	E/W	SE/SW	S	HOR	N	NE/NW	E/W	SE/SW		S
Jan.	24	29	175	249	246	176	20	20	154	241	254	133
Feb.	27	65	205	248	221	217	24	50	186	246	241	180
Mar.	32	107	227	227	176	252	29	93	218	236	206	223
Apr.	36	146	227	187	115	271	34	140	224	203	154	252
May	38	170	220	155	74	277	37	165	220	175	113	265
June	47	176	214	139	60	276	48	172	215	161	95	268
July	40	167	215	150	72	273	38	163	216	170	109	262
Aug.	37	141	219	181	111	265	35	135	216	196	149	247
Sep.	33	103	215	218	171	244	30	87	205	226	200	215
Oct.	28	63	198	239	215	213	23	49	180	238	234	177
Nov.	24	29	173	245	243	175	18	20	151	237	250	132
Dec.	22	22	162	246	252	158	18	13	135	232	253	112
	48° N Latitude					56° N Latitude					HG	
	N	NE/NW	E/W	SE/SW	S	HOR	N	NE/NW	E/W	SE/SW		S
Jan.	15	15	118	216	245	85	10	10	74	169	205	40
Feb.	20	36	168	242	250	138	16	21	139	223	244	91
Mar.	26	80	204	239	228	188	22	65	185	238	241	149
Apr.	31	132	219	215	186	226	28	123	211	223	210	195
May	35	158	218	192	150	247	36	149	215	206	181	222
June	47	165	215	180	134	252	53	161	213	195	167	231
July	37	156	214	187	146	244	37	147	211	201	177	221
Aug.	33	128	211	208	180	223	30	119	203	215	203	193
Sep.	27	72	191	228	220	182	23	58	171	227	231	144
Oct.	21	35	161	233	242	136	16	20	152	213	234	91
Nov.	15	15	115	212	240	85	10	10	72	165	200	40
Dec.	13	13	91	195	233	64	7	7	46	135	170	23
	64° N Latitude					HG						
	N	NE/NW	E/W	SE/SW	S							
Jan.	3	3	15	67	96	8						
Feb.	11	11	89	177	310	45						
Mar.	15	47	159	226	239	105						
Apr.	25	113	201	225	224	160						
May	48	150	211	215	204	192						
June	62	162	213	208	193	203						
July	49	148	207	211	200	192						
Aug.	27	109	193	217	217	159						
Sep.	19	43	148	213	227	101						
Oct.	11	11	85	167	199	46						
Nov.	4	4	15	66	93	8						
Dec.	0	0	1	10	14	1						

ANEXO H. DETERMINACION DE "CLF" PARA VENTANAS SIN SOMBREADO (RADIACION).

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		0.23	0.20	0.18	0.16	0.14	0.34	0.41	0.46	0.52	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	0.21	0.41	0.51	0.51	0.45	0.39	0.36	0.33	0.31	0.30	0.28	0.26	0.23	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	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	0.21	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
E	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
SE	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
S	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		0.12	0.11	0.09	0.08	0.07	0.08	0.11	0.14	0.21	0.31	0.42	0.52	0.57	0.58	0.53	0.47	0.41	0.36	0.29	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14
	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
SW	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
W	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		0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.09	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.19	0.29	0.40	0.50	0.56	0.55	0.41	0.33	0.27	0.23	0.20	0.17
	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
NW	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
HOR	L		0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.07	0.14	0.24	0.36	0.48	0.58	0.66	0.72	0.74	0.73	0.67	0.59	0.47	0.37	0.30	0.24	0.19	0.16	0.13
	M		0.16	0.14	0.12	0.11	0.09	0.11	0.16	0.24	0.33	0.43	0.52	0.59	0.64	0.67	0.66	0.62	0.55	0.47	0.38	0.32	0.28	0.24	0.21	0.18
	H		0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.15	0.20	0.27	0.36	0.45	0.52	0.59	0.62	0.64	0.62	0.58	0.51	0.42	0.35	0.29	0.26	0.23	0.21	0.19

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.

ANEXO I. DETERMINACION DE "CLF" PARA VENTANAS CON SOMBREADO (RADIACION).

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

N. Latitude	Fene- stration Facing	Room Con- struction	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		0.03	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
W	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	0.05	0.04	0.04	0.03	0.06	0.09	0.11	0.13	0.15	0.16	0.17	0.31	0.53	0.72	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	0.03	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
NW	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
HOR	L		0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.10	0.26	0.43	0.59	0.72	0.81	0.87	0.87	0.83	0.74	0.60	0.44	0.27	0.15	0.12	0.09	0.08	0.06	0.05
	M		0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.12	0.27	0.44	0.59	0.72	0.81	0.85	0.85	0.81	0.71	0.58	0.42	0.25	0.14	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06
	H		0.05	0.06	0.06	0.05	0.05	0.13	0.29	0.45	0.60	0.72	0.81	0.85	0.84	0.79	0.70	0.56	0.40	0.23	0.13	0.11	0.09	0.08	0.08	0.07

L=Light construction; frame exterior wall, 2-in. concrete floor slab, approximately 30 lb of material/sq ft of floor area.
M=Medium construction; 4-in. concrete exterior wall, 4-in. concrete floor slab, approximately 70 lb of building material/sq ft of floor area.

ANEXO J. DETERMINACION DE "CLTD" PARA TECHOS.

Cooling Load Temperature Differences (CLTD) for Calculating Cooling Load from Floors

Roof No	Description of Construction	Weight, lb/ft ²	U-value, Btu/h·ft ² ·°F	Solar Time																							
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Without Suspended Ceiling																											
1	Steel sheet with 1-in. (or 2-in.) insulation	7 (8)	0.213 (0.124)	1	-2	-3	-3	-5	-3	6	19	34	49	61	71	78	79	77	70	59	45	30	18	12	8	5	3
2	1-in. wood with 1-in. insulation	8	0.170	6	3	0	-1	-3	-3	-2	4	14	27	39	52	62	70	74	74	70	62	51	38	28	20	14	9
3	4-in. lightweight concrete	18	0.213	9	5	2	0	-2	-3	-3	1	9	20	32	44	55	64	70	73	71	66	57	45	34	25	18	13
4	2-in. heavyweight concrete with 1-in. (or 2-in.) insulation	29 (0.122)	0.206	12	8	5	3	0	-1	-1	3	11	20	30	41	51	59	65	66	66	62	54	45	36	29	22	17
5	1-in. wood with 2-in. insulation	9	0.109	3	0	-3	-4	-5	-7	-6	-3	5	16	27	39	49	57	63	64	62	57	48	37	26	18	11	7
6	6-in. lightweight concrete	24	0.158	22	17	13	9	6	3	1	1	3	7	15	23	33	43	51	58	62	64	62	57	50	42	35	28
7	2.5-in. wood with 1-in. ins.	13	0.130	29	24	20	16	13	10	7	6	6	9	13	20	27	34	42	48	53	55	56	54	49	44	39	34
8	8-in. lightweight concrete	31	0.126	35	30	26	22	18	14	11	9	7	7	9	13	19	25	33	39	46	50	53	54	53	49	45	40
9	4-in. heavyweight concrete with 1-in. (or 2-in.) insulation	52 (52)	0.200 (0.120)	25	22	18	15	12	9	8	8	10	14	20	26	33	40	46	50	53	53	52	48	43	38	34	30
10	2.5-in. wood with 2-in. ins.	13	0.093	30	26	23	19	16	13	10	9	8	9	13	17	23	29	36	41	46	49	51	50	47	43	39	35
11	Roof terrace system	75	0.106	34	31	28	25	22	19	16	14	13	13	15	18	22	26	31	36	40	44	45	46	45	43	40	37
12	6-in. heavyweight concrete with 1-in. (or 2-in.) insulation	75 (75)	0.192 (0.117)	31	28	25	22	20	17	15	14	14	16	18	22	26	31	36	40	43	45	45	44	42	40	37	34
13	4-in. wood with 1-in. (or 2-in.) insulation	17 (18)	0.106 (0.078)	38	36	33	30	28	25	22	20	18	17	16	17	18	21	24	28	32	36	39	41	43	43	42	40

ANEXO K. GANANCIA DE CALOR SENSIBLE Y GANANCIA DE CALOR LATENTE POR PERSONAS.

Rates of Heat Gain from Occupants of Conditioned Spaces

Degree of Activity		Total Heat, Btu/h		Sensible Heat, Btu/h	Latent Heat, Btu/h	% Sensible Heat that is Radiant ^b	
		Adult Male	Adjusted, M/F ^a			Low V'	High V'
		Seated at theater	Theater, matinee	390	330	225	105
Seated at theater, night	Theater, night	390	350	245	105	60	27
Seated, very light work	Offices, hotels, apartments	450	400	245	155		
Moderately active office work	Offices, hotels, apartments	475	450	250	200		
Standing, light work; walking	Department store; retail store	550	450	250	200	58	28
Walking, standing	Drug store, bank	550	500	250	250		
Sedentary work	Restaurant ^c	490	550	275	275		
Light bench work	Factory	800	750	275	475		
Moderate dancing	Dance hall	900	850	305	545	49	35
Walking 3 mph; light machine work	Factory	1000	1000	375	625		
Bowling ^d	Bowling alley	1500	1450	580	870		
Heavy work	Factory	1500	1450	580	870	54	19
Heavy machine work; lifting	Factory	1600	1600	635	965		
Athletics	Gymnasium	2000	1800	710	1090		

Notes:

1. Tabulated values are based on 75°F room dry-bulb temperature. For 80°F room dry-bulb, the total heat remains the same, but the sensible heat values should be decreased by approximately 20%, and the latent heat values increased accordingly.
2. Also refer to Table 4, Chapter 5, for additional rates of metabolic heat generation.
3. All values are rounded to nearest 5 Btu/h.
4. Adjusted 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.

^b Values approximated from data in Table 6, Chapter 5, where is air velocity with limits shown in that table.

^c Adjusted heat gain includes 60 Btu/h for food per individual (30 Btu/h sensible and 30 Btu/h latent).

^d Figure one person per alley actually bowling, and all others as sitting (400 Btu/h) or standing or walking slowly (550 Btu/h).