

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería

Evaluación del ahorro de energía en los sistemas de aire acondicionado por medio de la instalación de polarizado en las ventanas de un edificio de una industria dedicada a la recepción de llamadas.

Trabajo de graduación presentado por Raúl Estuardo Ramírez Mejía para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica

Guatemala
2012

Evaluación del ahorro de energía en los sistemas de aire acondicionado por medio de la instalación de polarizado en las ventanas de un edificio de una industria dedicada a la recepción de llamadas.

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería

Evaluación del ahorro de energía en los sistemas de aire acondicionado por medio de la instalación de polarizado en las ventanas de un edificio de una industria dedicada a la recepción de llamadas.

Trabajo de graduación presentado por Raúl Estuardo
Ramírez Mejía para optar al grado académico de
Licenciado en Ingeniería Mecánica

Guatemala

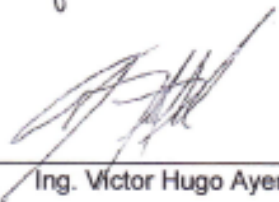
2012

Vo.Bo. :

(f) 
Ing. José Miguel Par-González López

Tribunal:

(f) 
Ing. José Miguel Par-González López

(f) 
Ing. Víctor Hugo Ayerdi

(f) 
Ing. Manuel Ruano

Fecha de aprobación: 02 de Noviembre de 2012

PREFACIO

El principal objetivo de la formación académica es el de contribuir al desarrollo social y económico de Guatemala y la región centroamericana, se espera que los egresados de la carrera de Ingeniería Mecánica sepan analizar el entorno en el que se desempeñan para adaptar los conocimientos y destrezas desarrolladas en la solución de problemas, creación de oportunidades y optimización de recursos principalmente en este mundo actual tan competitivo.

Desde hace algunos meses, me he dado a la interesante tarea de observar e identificar oportunidades de mejora y ahorro en varios aspectos de la empresa donde laboro, para luego proponer soluciones y ejecutarlas, esto con el objetivo de hacerla más competitiva bajando sus costos de operación. Este trabajo, que servirá para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Mecánica, surgió como la solución a la necesidad de ahorrar energía y proporcionar mejores ambientes al personal que atiende llamadas en uno de los negocios de tercerización de la división de servicios de Xerox en Guatemala. Este trabajo me significó trabajar de forma independiente y solamente con la ayuda de mi asesor, ya que aparte de mí, nadie tenía algún conocimiento en refrigeración o aire acondicionado dentro de la empresa; entender el entorno y las condiciones fue el primer paso, quizás el más difícil, porque luego de eso, con la ayuda de los conocimientos, los libros de texto y el programa de cómputo el problema se convirtió en solución, y al final, debo decir que la selección del producto resultó emocionante.

El arduo resultado de estos últimos años de formación académica fue debido a aquellas personas que me apoyaron y siguen apoyándome; sin lugar a duda mi agradecimiento principal es para Dios, que me ha demostrado su infinita misericordia, piedad y grandeza mediante el privilegio de tener como madre a un ser excepcional, Violeta Mejía Hernández, que dedicó cada segundo, cada esfuerzo y cada pensamiento en mi beneficio. Gracias madre sin ti, simplemente no habría podido culminar esta carrera, gracias por tu apoyo incondicional, por enseñarme a esforzarme para alcanzar mis objetivos y proponerme nuevos, te debo todo lo que soy.

También tengo un agradecimiento especial a mi familia quienes han sido un apoyo fundamental en todos los sentidos, demostrándome su cariño a cada paso y en múltiples formas.

Tengo que agradecer a mi asesor y amigo, el Ing. José Miguel Par-González López quién me ofreció su tiempo y me transmitió sus conocimientos para que este trabajo fuera realizado además de Xerox, quienes no tuvieron reparo en dejarme tomar y mostrar todos los datos necesarios.

ÍNDICE

PREFACIO.....	V
LISTA DE CUADROS.....	X
LISTA DE GRAFICOS.....	XI
RESUMEN.....	XII

Capítulos

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	2
2.1. Historia.....	2
2.2. Importancia y justificación del proyecto.....	4
2.3. Objetivos.....	5
2.3.1. Objetivos generales.....	5
2.3.2. Objetivos específicos.....	5
2.4. Limitantes del proyecto.....	6
2.5. Confort y salud: calidad del ambiente en interiores.....	6
2.5.1. Confort.....	6
2.5.2. Evolución del confort en la salud.....	7
2.5.3. El cuerpo humano.....	7
2.5.4. La calidad del aire.....	10
2.5.5. La contaminación del aire.....	10
2.6. Transmisión del calor en la estructuras de los edificios.....	11
2.6.1. Paredes y techos.....	12
2.6.2. Humedad.....	14
2.6.3. Ventanas.....	14
2.6.4. Puertas.....	16
2.7. Radiación solar.....	17
2.7.1. Ganancia de calor a través de la ventanería.....	23
2.7.2. Cálculos de energía.....	27
2.8. La carga de enfriamiento.....	29
2.9. Polarizado.....	32

2.9.1. Apariencia y propiedad de la película solar.....	33
2.9.2. Beneficios del polarizado.....	34
3. ESTUDIO DEL CASO.....	35
3.1. Evaluación térmica de la carga de calor de las áreas	37
3.1.1. Aspectos físicos del edificio y de la industria en estudio.....	37
3.1.2. Condiciones exteriores.....	38
3.1.3. Ganancia de calor interior.....	40
3.1.3.1. Personas.....	40
3.1.3.2. Iluminación.....	40
3.1.3.3. Aparatos electrónicos y equipos informáticos.....	41
3.1.3.4. Diversas fuentes de calor.....	41
3.1.4. Ganancia de calor exterior.....	41
3.1.4.1. Radiación solar a superficies transparente.....	42
3.1.4.2. Transmisión de calor a través de cerramientos externos.....	44
3.1.4.3. Transmisión de calor a través de tabiques interiores.....	44
3.1.4.4. Infiltración de aire exterior.....	44
3.1.5. Ganancia de calor total.....	44
3.2. Evaluación de los equipos de aire acondicionado instalados.....	50
3.2.1. Características.....	50
3.3. Simulación de la reducción de carga de calor.....	52
3.4. Consideración de propuestas de polarizado.....	53
3.4.1. Propuesta 1.....	53
3.4.2. Propuesta 2.....	53
3.4.3. Propuesta 3.....	53
4. ANALISIS DE RESULTADOS.....	55
4.1. Análisis de propuestas de polarizado.....	55
4.2. Mejora de la calidad de aire interior.....	58
4.3. Aplicación del sistema en otros proyectos.....	58
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	60
5.1. Conclusiones.....	60
5.2. Recomendaciones.....	61

6. BIBLIOGRAFÍA.....	63
7. ANEXOS.....	64
Glosario.....	64
Distribución de zonas en los niveles.....	65
Áreas de paredes, ventanas, techos y pisos.....	68
Fotografías de las áreas.....	72
Presupuestos de los proveedores.....	75

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
Cuadro 1	Temperaturas de aceptabilidad térmica para personas sedentarias....	9
Cuadro 2	Coeficientes de transmisión U de paredes de mampostería.....	13
Cuadro 3	Coeficientes de transmisión U de techos prefabricados planos.....	13
Cuadro 4	Factores U para varios productos de ventanería.....	15
Cuadro 5	Factor U de la ventanería para varias velocidades del viento.....	16
Cuadro 6	Coeficientes de transmisión U para puertas de madera y acero.....	16
Cuadro 7	Coeficientes de sombreado para cristal sencillo y cristal aislante.....	27
Cuadro 8	Áreas de las zonas de atención de llamadas.....	37
Cuadro 9	Condiciones climáticas en la ciudad de Guatemala.....	39
Cuadro 10	Temperaturas ambiente por hora en la ciudad de Guatemala.....	39
Cuadro 11	Ganancia de calor interior debido a las personas.....	40
Cuadro 12	Ganancia de calor interior debido a la iluminación.....	40
Cuadro 13	Ganancia de calor interior debido a computadoras y monitores.....	41
Cuadro 14	Ganancia de calor interior debido a los televisores.....	41
Cuadro 15	Área de paredes y ventanas con radiación solar.....	44
Cuadro 16	Cuadro de carga de calor por hora en el ala norte del tercer nivel.....	45
Cuadro 17	Cuadro de carga de calor por hora en el ala norte del quinto nivel.....	46
Cuadro 18	Cuadro de carga de calor por hora en el ala sur del quinto nivel.....	47
Cuadro 19	Cuadro de carga de calor por hora en el ala norte del sexto nivel.....	48
Cuadro 20	Cuadro de carga de calor por hora en el ala sur del sexto nivel.....	49
Cuadro 21	Cuadro de datos de manejadoras de aire instaladas.....	50
Cuadro 22	Cuadro de datos de compresores instalados.....	51
Cuadro 23	Cuadro de consumo energético por equipos instalados.....	51
Cuadro 24	Cuadro de carga de calor debido al calor solar.....	52
Cuadro 25	Ahorro energético con propuesta de Airetec.....	56
Cuadro 26	Ahorro energético con propuesta de JR Centrocar.....	56
Cuadro 27	Ahorro energético con propuesta de Protección Solar.....	57
Cuadro 28	Comparación de propuestas de polarizado.....	57

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
Figura 1	Rango aceptable de temperatura y humedad para una persona.....	8
Figura 2	Latitud, ángulo horario y declinación del Sol.....	21
Figura 3	Distribución de la radiación solar en una placa transparente de cristal..	24
Figura 4	Disminución de la radiación solar que incide en una vivienda (ejemplo).	28
Figura 5	Relación entre la ganancia de calor y la carga de enfriamiento.....	30
Figura 6	Carga de calor por hora en el ala norte del tercer nivel.....	45
Figura 7	Carga de calor por hora en el ala norte del quinto nivel.....	46
Figura 8	Carga de calor por hora en el ala sur del quinto nivel.....	47
Figura 9	Carga de calor por hora en el ala norte del sexto nivel.....	48
Figura 10	Carga de calor por hora en el ala sur del sexto nivel.....	49

RESUMEN

Todos apreciamos el alivio a las incomodidades que proporcionan los modernos sistemas de aire acondicionado. Muchos de los hogares y la mayoría de las oficinas e instalaciones comerciales no serían confortables si no contaran con un sistema de control permanente del ambiente interior. La denominación de “artículo de lujo” con que se etiquetaba a los equipos de aire acondicionado antes de la Segunda Guerra Mundial ha dado paso a otra que aprecia su lado práctico para hacer más saludables y productivas nuestras vidas. Además del incremento del confort humano, pronto se volvió evidente que en un medio apropiadamente controlado los bienes se podían producir de mejor manera, más rápido y más económicamente.

La sociedad actual exige lugares seguros, limpios y bien climatizados, para lo que es necesario integrar percepciones y exigencias de los habitantes y alcanzar un óptimo equilibrio entre estándares sociales, uso de la energía y desarrollo sostenible, buscando confort sin contaminar y sin aumentar el consumo de fuentes energéticas que degraden el medio ambiente.

Este trabajo consistió en realizar una evaluación de ciertos aspectos de la calidad del ambiente interior de un recinto de una industria dedicada a la recepción de llamadas, hacer un estudio energético y económico de factibilidad en la instalación de polarizado en las ventanas del edificio con el fin de mejorar la calidad del ambiente interior y de ahorrar energía consumida por los equipos de aire acondicionado existentes. Se analizaron 3 propuestas con diferentes características y precio, seleccionándose finalmente una.

La evaluación energética y económica sobre el uso de polarizado en ventanas de edificios tiene como misión en sí la ayuda a entidades que actualmente desean obtener ahorros a corto plazo al hacer uso de equipos de aire acondicionado. Así también, dicho trabajo pretende servir de ayuda a instituciones de investigación sobre el uso eficiente de energía de Guatemala a tener una noción sobre cuál debe ser el uso adecuado de polarizado, y así, proponer normas de construcción en nuestro país, que tendrán un papel importante como parte de nuestra responsabilidad medioambiental y energética.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Ahorrar energía ha dejado de ser una opción y se ha convertido en una necesidad para hacer frente al déficit originado por el incesante aumento de su consumo y el uso eficaz constituye la alternativa más efectiva para la protección del medio ambiente.

Un sistema de climatización bien proyectado y ejecutado, orientado hacia el ahorro de energía, debe contar con equipos eficientes, uso de combustibles económicos o fuentes de energía alternativas y a esto debe agregarse una correcta operación, tanto en lo relativo a la producción de los fluidos portadores como a la zonificación de los espacios, la flexibilidad de funcionamiento y el adecuado control de temperaturas, velocidad de distribución de aire y tiempos de utilización.

Son muchas las posibilidades de ahorro energético en el diseño de las instalaciones de climatización, pero para lograr la mejor solución, es indispensable que haya una adecuada conjunción con el destino en el uso del proyecto. Existen numerosas tecnologías y medio de aplicación para disminuir el consumo energético, por lo que se deben analizar las características particulares de cada caso, de modo de aplicar los conceptos de diseño en la selección de los sistemas, que permitan obtener menores gastos en las fases de diseño y mantenimiento; en este trabajo se considera la disminución de las necesidades de energía en el diseño del edificio.

Las nuevas soluciones de polarizado de ventanas de alta tecnología están diseñadas para bloquear el calor y permitir un ambiente más cómodo, particularmente en los meses más calientes del verano. Los polarizados de ventanas pueden proveer medio prácticos para solucionar muchos aspectos complicados sobre el manejo del control del sol alrededor de los lugares de trabajo para crear un ambiente más cómodo y ahorrar energía a través de la reducción de la necesidad de acondicionamiento.

CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES

2.1 Historia

En sus inicios, el acondicionamiento de aire significaba simplemente el enfriamiento del aire para mejorar los ambientes interiores durante los meses calurosos de año. En los tiempos modernos esta expresión ha adquirido un significado más literal y puede definirse como el control de los ambientes interiores a lo largo de todo el año. Actualmente el término “acondicionamiento de aire” se refiere al control de la temperatura, el nivel de humedad y la calidad (pureza) del aire, así como a los volúmenes de circulación requeridos por los ocupantes, los procesos que se realizan y los productos que se almacenan en un espacio determinado. Esta definición fue propuesta por Willis Carrier, uno de los pioneros en esta materia.

Los avances en electrónica y computación han proporcionado las herramientas que convirtieron a la CVAA en una industria de alta tecnología. No obstante, aun cuando las herramientas y métodos han evolucionado y existe una mejor comprensión de los parámetros que definen el confort y la calidad del aire en interiores, muchos de los postulados básicos del buen diseño de sistemas no han cambiado. Estos elementos básicos del diseño de sistemas no han cambiado. Estos elementos básicos del diseño de sistemas de CVAA, calefacción, ventilación y aire acondicionado, son los que enfatizan en este trabajo y constituyen los cimientos sobre los que se basa la presentación de los avances importantes y procedimientos en el diseño de sistemas funcionales, bien controlados y eficientes en el uso de la energía para sustentar el confort y la salud, así como la productividad industrial.

Existe evidencia del uso de la evaporación y del hielo para propósitos de enfriamiento desde tiempo antiguos; sin embargo, no fue sino hasta mediados del siglo XIX cuando se construyó la primera máquina de refrigeración práctica. Para finales del siglo XIX el concepto de calefacción central estaba medianamente bien desarrollado, y a principios del siglo XX comenzaron a fabricarse equipos de enfriamiento de aire para propósitos de confort. Fue Carrier quien, en 1902, realizó el primer intento exitoso de reducir la humedad del aire y mantenerla a un nivel específico. Esto marcó el

nacimiento del verdadero control del ambiente interior, tal como lo conocemos actualmente. Desde entonces los avances se han seguido uno a otro rápidamente.

El arte y la ciencia de la calefacción, la ventilación, la refrigeración y el acondicionamiento de aire han continuado su progreso en los últimos años. Los mercados de equipos de CVAA se están convirtiendo rápidamente en un motivo de interés mundial (como resultado de la globalización) y esto está conduciendo a estrictas especificaciones en cuanto a los materiales y métodos empleados en los sistemas de CVAA. Hay una creciente sofisticación entre el público consumidor, lo cual crea mayores demandas sobre el desempeño de los equipos y la confiabilidad de los sistemas. El confort se ha vuelto una necesidad que debe ser satisfecha por los propietarios de edificios y por los empleadores.

Todos apreciamos el alivio a las incomodidades que proporcionan los modernos sistemas de aire acondicionado. Muchos de los hogares y la mayoría de las oficinas e instalaciones comerciales no serían confortables si no contaran con un sistema de control permanente del ambiente interior. La denominación de “artículo de lujo” con que se etiquetaba a los equipos de aire acondicionado antes de la Segunda Guerra Mundial ha dado paso a otra que aprecia su lado práctico para hacer más saludables y productivas nuestras vidas. Además del incremento del confort humano, pronto se volvió evidente que en un medio apropiadamente controlado los bienes se podían producir de mejor manera, más rápido y más económicamente. De hecho, muchos de los productos actuales no podrían fabricarse si no se dispusiera de instalaciones con un ambiente cuya temperatura, humedad y calidad del aire pueden ser controlados dentro de límites precisos. El desarrollo e industrialización de Estados Unidos, especialmente de los estados del sur, no hubiera sido posible sin el control del ambiente interior a lo largo de todo el año. Basta con observar las plantas manufactureras u otras instalaciones de alta tecnología, así como los vastos complejos de oficinas asociados con la economía de los países industrializados para estar de acuerdo con esta aseveración. De hecho, virtualmente todos los edificios residenciales, comerciales, industriales e institucionales de Estados Unidos, Canadá y otros países tienen un ambiente interior que es controlado continuamente.

La mayoría de los sistemas instalados antes de la década de 1970 se diseñaban prestando poca atención a la conservación de la energía, puesto que los combustibles eran abundantes y baratos; sin embargo, el incremento de los costos desde esa década ha provocado un mayor interés en la eficiencia de los equipos. Además, durante el mismo período se ha incrementado la necesidad de contar con ambientes estrictamente controlados en laboratorios, hospitales e instalaciones industriales. Un tercer factor que contribuyó a aumentar esta conciencia fue la creciente importancia que tenía el confort y a la calidad en interiores tanto para la salud como para el desempeño laboral. Así que quienes se dedican al arte y a la ciencia del diseño y simulación de los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (CVAA) se enfrentaban a un reto sin precedentes.

2.2 Importancia y justificación del proyecto

La sociedad actual exige lugares seguros, limpios y bien climatizados, por lo que es necesario integrar necesidades y exigencias de los habitantes y alcanzar un óptimo equilibrio entre estándares sociales, uso de la energía y desarrollo sostenible. La meta es el confort sin contaminar y sin aumentar el consumo de fuentes energéticas que degraden el medio ambiente. La calidad ambiental interior en el interior en los edificios se ha descubierto como un importante factor que afecta a la salud de las personas, aunque antes era considerada menos significativa. Este es un factor que colabora con el desempeño laboral, a través de la mayor capacidad de trabajo de las personas que utilizan las instalaciones, la reducción de su absentismo, mayor atención y respuesta, que aumenta la productividad de las organizaciones. Los beneficios anteriores tienen su correspondiente costo.

Por otro lado, el uso racional y eficiente de energía ha evolucionado hacia calidad en uso o el uso inteligente de la energía como un concepto de cadena productiva, siendo uno de los factores más importantes en el desarrollo del mercado energético los costos relacionados con el manejo de los impactos ambientales, razón por la cual, se considera que las tecnologías “limpias” están llamadas a cumplir un rol fundamental para asegurar el desarrollo sostenible. El análisis para la instalación de polarizado está dirigido hacia aquellas entidades interesadas en reducir sus costos de energía eléctrica en sus empresas, llevando de la mano la eficiencia energética y a la

vez la sustentabilidad del mismo. Por tanto, un estudio de esta categoría puede ayudar a la existencia de nuevas normativas de construcción en nuestro país; y así tener una mayor responsabilidad con el uso de la energía eléctrica y el cuidado del ambiente. Además, dicho análisis servirá de guía a aquellos que deseen profundizar más en el tema y los resultados obtenidos serán un impulso para futuras investigaciones.

2.3 Objetivos

2.3.1 Objetivos generales

- Determinar la aplicación óptima del polarizado en ventanas.
- Evaluar si en edificios de oficinas con sistemas de aire acondicionado en nuestro país existe rentabilidad económica al utilizarlo; así como, el impacto energético y económico.
- Determinar las condiciones necesarias de temperatura y humedad para brindar un ambiente de confort en un recinto de una industria de atención de llamadas.

2.3.2 Objetivos específicos

- Obtener todos los datos que permitan establecer la temperatura y humedad para mejorar la calidad del ambiente interior del caso de estudio.
- Determinar la reducción en el uso de energía por medio de la reducción en la carga de calor en el recinto.
- Determinar el beneficio en la utilización de programas de computación para el estudio de casos de ahorro de energía en aires acondicionados.
- Determinar el tiempo de recuperación de la inversión por la instalación de polarizado en la zonas de estudio.

2.4 Limitantes del proyecto

- Existieron dificultades en la toma de datos que sirvió como base fundamental en el estudio de caso debido a la variación de escenarios mostrados específicamente en horarios y días de trabajo de los colaboradores que ocupan las zonas.
- En Guatemala se tiene acceso a las últimas tendencias en el campo del ahorro de energía en aires acondicionados, lamentablemente, en las empresas locales del ramo consultadas, no existe una tecnificación en los departamentos de ventas para ofrecer estudios profundos y a conciencia de los casos.
- En la legislación nacional no existen normas que nos indiquen los parámetros a seguir para la construcción y diseño de recintos.
- En la industria de servicios guatemalteca, no existen departamentos que tengan experiencia en el estudio de la calidad del ambiente interior.
- Existe incertidumbre acerca de los precios de la electricidad, pueden cambiar en los próximos años.

2.5 Confort y salud: calidad del ambiente en interiores

2.5.1 Confort: Uno de los principales puntos de interés de la industria de CVAA es el confort. La experiencia ha demostrado mediante estudios en el desempeño en el trabajo a raíz de la satisfacción de las personas con su entorno, que un solo conjunto de condiciones ambientales no puede proporcionar pleno confort a toda la gente presente en un recinto, aunque cada vez se comprende mejor qué es lo que se requiere para lograrlo. El confort implica el control de la temperatura, la humedad, el movimiento de aire y de las fuentes radiantes que interactúan con los ocupantes de dicho espacio. Los olores desagradables, el polvo (partículas suspendidas), el ruido y la vibración son factores adicionales que pueden hacer que los ocupantes del mismo se sientan incómodos. Un sistema de CVAA bien diseñado puede mantener estas variables dentro de los límites especificados por el cliente, por los reglamentos de construcción y por un criterio de ingeniería adecuado. También deben tomarse en cuenta factores no ambientales tales como la vestimenta y el nivel de actividad de los ocupantes. Los usuarios y clientes están cada vez más conscientes de la importancia del confort de quienes ocuparán los edificios, así que el ingeniero tiene que utilizar toda la información

y aplicar las herramientas disponibles para diseñar sistemas que proporcionen este ambiente de confort.

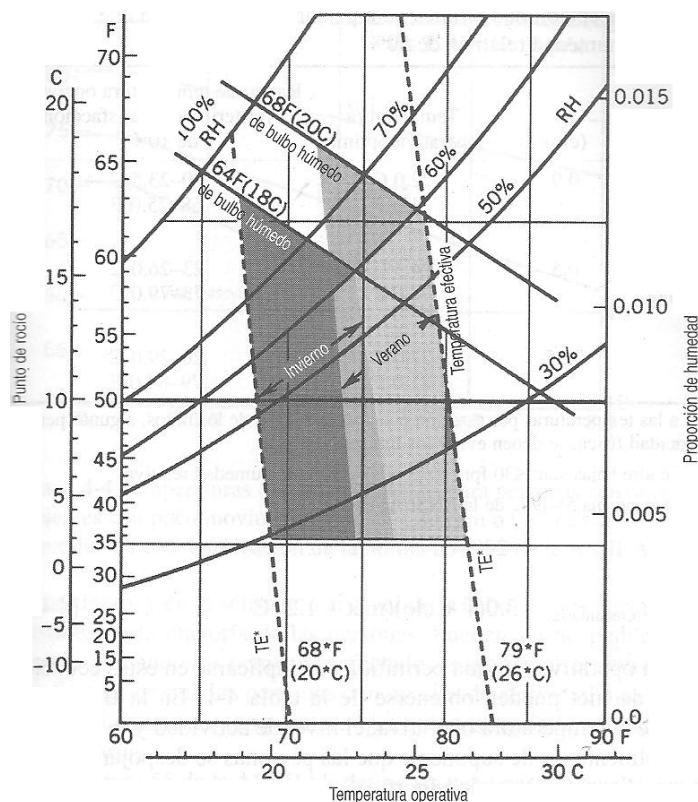
2.5.2 Evolución del confort en la salud: En épocas pasadas, el confort, bajo la definición más a un costo razonable constituía la preocupación fundamental en la industria de CVAA. Por lo general, se creía que un ambiente confort era lo mismo que un ambiente saludable. En los años 1970, la amenaza de la escasez de energía y los factores económicos provocaron la construcción de edificios más herméticos, lo que redujo la ventilación con aire exterior. A menudo, se ignoró la importancia del control de humedad, y se emplearon nuevos materiales y equipos en los edificios. Las actividades dentro de estos cambiaron, y era común que los sistemas de CVAA con los que contaban no recibieran el mantenimiento adecuado. Todos estos factores contribuyeron a que surgiera una variedad de incidentes que ponían en riesgo la salud de los ocupantes. La divulgación de litigios, la conciencia y la opinión públicas, la economía y la reglamentación fueron factores que en conjunto hicieron que todos los implicados tomaran conciencia de la necesidad de contar con una calidad del ambiente interior (IAQ) adecuada, o en un concepto más general, con una calidad del ambiente interior (IEQ) adecuada. La salud de los ocupantes adquirió igual importancia que el confort. Uno de los factores más importantes es el uso de aire exterior o aire tratado para mantener condiciones aceptables en los espacios.

2.5.3 El cuerpo humano: La cantidad de calor generada y disipada por el cuerpo humano varía de manera considerable en función de la actividad y la edad, así como de la talla corporal y el género de la persona. El cuerpo humano posee un complejo sistema de regulación que funciona para mantener la temperatura interna a unos 98.6 F (36.9C), independientemente de las condiciones ambientales. Por lo general, una persona normal y sana se siente más cómoda cuando el ambiente se mantiene en condiciones en las que su cuerpo puede conservar fácilmente un balance térmico con su entorno. La norma 55 de la ASHRAE especifica las condiciones ambientales que satisfacen a 80 por ciento, o más, de los ocupantes de un recinto.

Los factores ambientales que afectan el balance térmico de una persona y que, por lo tanto, influyen en el confort térmico son la temperatura de bulbo seco del aire circundante, la humedad del aire circundante y la velocidad relativa del aire circundante.

La temperatura de toda superficie que incida directamente sobre cualquier parte del cuerpo y que de esta manera puedan intercambiar radiación. Además, las variables personales que influyen en el confort térmico son la actividad física y la vestimenta. La otras variables personales que afectan el confort es el tipo y la cantidad de ropa que lleva puesta una persona. La norma 55 de la ASHRAE establece las condiciones requeridas para un ambiente térmico aceptable. La mayoría de los estudios de confort utilizan la escala de sensación térmica de la ASHRAE. En la Figura 1 aparecen los rangos aceptables de temperatura operativa y humedad para personas en ropa típica de verano y de invierno durante la realización de actividades ligeras y principalmente sedentarias (≤ 1.2 mets). Los rangos están basados en un criterio de 10 por ciento de insatisfacción.

Figura 1 Rango aceptable de temperatura y de húmeda para una persona.



Las coordenadas de las zonas de confort son:

Invierno: Temperatura operativa $t_o = 68$ a 74 F (20 a 23.5 °C), a 64 F (18 °C) de bulbo húmedo, y $t_o = 69$ a 76 F (20.5 a 24.5 °C), con un punto de rocío a 36 F (2 °C). Los límites laterales de inclinación de la zona de invierno corresponden a las líneas 68 y 74 F

(20 a 23.5°C) de temperatura efectiva y son sitios de confort o de las sensaciones térmicas contantes.

Verano: Temperatura operativa $t_o = 73$ a 79°F (22.5 a 26°C), a 68°F (20°C) de bulbo seco, y $t_o = 74$ a 81°F (23.5 a 27°C), con punto de rocío a 36°F (2°C). Los límites laterales de inclinación de la zona de verano corresponden a las líneas de 73 y 79°F (23 y 26°C) de temperatura efectiva. Las líneas de bulbo húmedo están basadas en una humedad de aproximadamente 0.20.

En la Figura 1, los límites superiores e inferior de humedad están basados en observaciones respecto a la resequedad de la piel, irritación de los ojos, problemas respiratorios, crecimiento microbiano y otros fenómenos asociados con el exceso o falta de humedad. Para evitar la condensación en las superficies y materiales de un edificio se debe controlar la temperatura de los mismos.

Como puede verse en la Figura 1, las zonas de confort de invierno y verano se traslapan. En esta región, las personas en ropa de verano tienden a sentir una ligera sensación de frescura, mientras que quienes llevan ropa de invierno tienen una ligera sensación de calor. En realidad, los límites mostrados en la Figura 1 no deben considerarse como absolutos, puesto que los individuos difieren considerablemente en su forma de reaccionar frente a las mismas condiciones. El Cuadro 1 proporciona el rango de temperaturas operativas para personas sedentarias vestidas con prendas ligeras, como calzoncillos. Los rangos del cuadro son para una velocidad del aire inferior a 30fpm (0.15 m/s) y una humedad relativa de 50 por ciento.

Cuadro1 Temperaturas operativas de aceptabilidad térmica para personas sedentarias

Estación del año	Descripción de la ropa típica	Icl (clo)	Temperatura operativa óptima	Rango de temperatura operativa (criterio de insatisfacción de 10%)
Invierno	Pantalón grueso, camisa de manga larga y suéter	0.9	22.0C 71.0F	20-23.5C 68-75.0F
Verano	Pantalón ligero y camisa de manga corta	0.5	24.5C 76.0F	23-26.0C 73-79.0F
	Mínima	0.05	27.0C 81.0F	26-39.0C 79-84.0F

2.5.4 La calidad del aire: La norma 62 de la ASHRAE establece que el aire interior tiene una calidad aceptable cuando no contiene contaminantes en concentraciones consideradas como dañinas por las autoridades competentes y cuando la mayoría de los ocupantes (80 por ciento o más) expuestos a este ambiente no expresan insatisfacción. Cuando el aire tiene una calidad aceptable, los ocupantes no solo sienten confort, sino que disfrutan de un ambiente libre de olores molestos y de niveles dañinos de contaminantes. Mantener el confort térmico no solo es deseable y útil para asegurar un ambiente de trabajo productivo, sino que en muchos casos tiene un efecto directo sobre la salud de los ocupantes del edificio. Además del confort térmico que proporciona el sistema CVAA, existen otros factores que se relacionan con el mantenimiento de un ambiente interior limpio, saludable y libre de malos olores. Con frecuencia estos factores se agrupan bajo el rubro denominado calidad de aire interior (IAQ). Para obtener una buena calidad del aire interior de los gases y partículas contaminantes se deben mantener a un nivel aceptable en los recintos. Entre los contaminantes se incluyen dióxido de carbono, monóxido de carbono y otros gases y vapores tóxicos, así como materiales radiactivos, microorganismos patógenos, sustancias alergénicas y partículas suspendidas.

2.5.5 La contaminación del aire: La contaminación de los espacios interiores es causada por los ocupantes humanos y animales, la liberación de contaminantes de muebles y accesorios o por los procesos que tienen lugar dentro del recinto y por la introducción de aire contaminado del exterior. Los contaminantes pueden ser percibidos por la vista o por el olfato, como ocurre con las partículas suspendidas grandes y con los olores, o pueden detectarse únicamente por medio de instrumentos o por el efecto que causan en los ocupantes. Síntomas tales como jaqueca, náusea e irritación de los ojos o la nariz pueden constituir indicios de que la calidad del aire interior de un edificio es insatisfactoria. En ocasiones se dice que los edificios en los que un número inusual de ocupantes tienen problemas, padecen del síndrome del edificio enfermo. Debido a que cada vez se pone más énfasis en que el lugar de trabajo debe ser sano y confortable, así como el creciente número de litigios alrededor de este tema, los constructores, propietarios, administradores e ingenieros especializados en CVAA tienen la responsabilidad de estar bien informados y de ser técnicamente competentes, así como ser totalmente éticos con respecto a las acciones que afectan la calidad del aire interior. La buena calidad del aire interior generalmente cuesta dinero, y las

presiones para hacer recortes en el presupuesto tanto en la inversión original como en los costos de operación pueden a veces provocar que se tomen malas decisiones que causan padecimientos a las personas y que haya gastos adicionales aún más altos.

2.6 Transmisión del calor en la estructuras de los edificios

En la jerga CVAA el término envoltura del edificio se refiere a las paredes, techos, pisos y ventanearía que envuelve a un edificio. A través de estos componentes la energía entra y sale del edificio por medio de la transferencia (transmisión o conducción) de calor. Es necesario hacer estimaciones adecuadas de las tasas correspondientes de transferencia de calor para diseñar un sistema aceptable de acondicionamiento de aire. En la estructura habitual las paredes y los techos son ensambles complejos de diferentes materiales. Con frecuencia, las ventanas están hechas de dos o más capas de cristales, con espacio de aire entre ellas, y tiene persianas o cortinas. En los sótanos, los pisos y las paredes están en contacto con el suelo. Debido a estas condiciones, es difícil elaborar cálculos precisos de las tasas de transferencia de calor; no obstante, la experiencia y los datos experimentales permiten hacer estimaciones confiables. Debido a que la mayoría de los cálculos requieren mucho trabajo repetitivo, se utilizan tablas de coeficientes y otros datos para situaciones típicas. La resistencia térmica es un concepto útil, que aparece sistemáticamente en todos los casos. La capacitancia térmica es otro concepto importante en los cálculos de todo análisis transitorio.

La radiación térmica es la transferencia de energía por medio de ondas electromagnéticas. Es un fenómeno enteramente diferente del de la conducción y la convección. De hecho, el fenómeno de la radiación térmica puede ocurrir en el vacío más completo, e incluso puede decirse que cualquier tipo de materia constituye un impedimento para su transmisión. La transferencia neta directa de energía por radiación entre dos superficies que están frente a frente, separadas por un medio no absorbente, puede calcularse con la siguiente ecuación:

$$q_{12} = \frac{\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1 - \epsilon_1}{A\epsilon_1} + \frac{1}{A_1F_{12}} + \frac{1 - \epsilon_2}{A\epsilon_2}}$$

donde:

σ = constante de Boltzmann, $0.1713 \times 10^{-8} \text{ Btu}/(\text{hr}\cdot\text{ft}^2\cdot\text{R}^4) = 5.673 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{k}^4)$

T = temperatura absoluta, R o K

ϵ = emitancia de cada superficie

A = área superficial, ft^2 o m^2

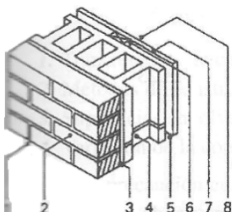
F = factor de configuración, una función geométrica

Para auxiliar al diseñador, se han elaborado tablas de coeficientes de transferencia de calor global para muchas partes de los edificios, incluyendo paredes, pisos, puertas, ventanas y tragaluces. Las tablas utilizadas en el manual de la ASHRAE permiten mucha flexibilidad y programas de cómputo para hacer los cálculos. En las siguientes páginas aparece un resumen de estas tablas.

2.6.1 Paredes y techos: Las paredes y los techos varían considerablemente en lo relativo a los materiales que los constituyen. Por lo tanto, la resistencia térmica o el coeficiente de transferencia de calor global generalmente se calcula sobre una base individual. En los Cuadros 2 y 3 se muestra la manera en que se utiliza este procedimiento para una pared y un techo. Observe que en cada caso se ha cambiado un elemento. La presentación tabular simplifica el cálculo de la resistencia térmica. En cada caso la resistencia térmica unitaria y el coeficiente de transferencia de calor global han sido calculados para un conjunto de condiciones.

Cuadro 2 Coeficientes de transmisión U de paredes huecas de mampostería, Btu/(hr-ft²-F)

Ítem	Resistencia R (hr-ft ² -F)/Btu			
	Construcción 1		Construcción 2	
	Entre el embutido	Entre el embutido	Entre el embutido	Entre el embutido
1. Superficie exterior (viento de 15mph)	0.17	0.17	0.17	0.17
2. Ladrillo de fachada de 4 pulgadas	0.44	0.44	0.44	0.44
3. Mortero de cemento de 0.5 pulgadas	0.10	0.10	0.10	0.10
4. Bloque de concreto	1.72	1.72	2.99	2.99
5. Espacio de aire reflejante de 0.75 pulgadas (temperatura medio: 50F. Diferencial de temperatura: 30F)	2.77	-	2.77	-
6. Embutido vertical nominal: 1X3 pulgadas	-	0.94	-	0.94
7. Revestimiento de yeso de 0.5 pulgadas	0.45	0.45	0.45	0.45
8. Superficie interna (aire tranquilo)	0.68	0.68	0.68	0.68
<i>Resistencia térmica total R</i>	<i>R_i = 6.33</i>	<i>R_s = 4.50</i>	<i>R_i = 7.60</i>	<i>R_s = 5.77</i>

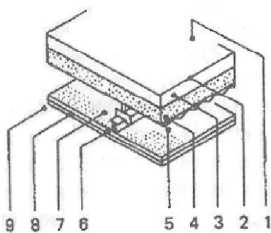


Construcción 1: $U_i = 1/6.33 = 0.158$; $U_s = 1/4.5 = 0.222$. Con 20% de estructura (típica de 1X3 pulgadas de embutido vertical sobre mampostería @ de 16 pulgadas o.c.), $U_{av} = 0.80(0.158) + 0.2(0.222) = 0.171$.

Construcción 2: $U_i = 1/7.60 = 0.132$; $U_s = 1/5.77 = 0.173$. Con estructura sin cambios, $U_{av} = 0.8(0.132) + 0.2(0.173) = 0.140$

Cuadro 3 Coeficientes de transmisión U de techos prefabricados planos

Ítem	Resistencia R (hr-ft ² -F)/Btu	
	Construcción 1	Construcción 2
1. Superficie exterior (viento de 15mph)	0.17	0.17
2. Techumbre prefabricada de 0.375 pulgadas	0.44	0.44
3. Aislamiento de azotea rígido	0.10	0.10
4. Losa de concreto de agregado ligero de 2 pulgadas	1.72	2.99
5. Lamina de metal corrugado	2.77	2.77
6. Sistema de suspensión del cielo o plafón con varillas de suspensión metálicas	-	-
7. Espacio de aire no reflejante de no mas de 3.5 pulgadas (temperatura media: 50F; diferencial de temperatura: 10F)	0.45	0.45
8. Malla metálica y emplaste de agregado ligero de 0.75 pulgadas.	0.68	0.68
<i>Resistencia térmica total R</i>	<i>4.73</i>	<i>8.90</i>



2.6.2 Humedad: Los espacios de plafón deben estar ventilados con la finalidad de remover la humedad proveniente del aislamiento, para lo cual solo se requieren tasas moderadas de ventilación. El efecto de la ventilación sobre la transferencia de calor a través del espacio de aire no es significativo, bajo el supuesto de que el plafón está aislado y de que su resistencia térmica unitaria es de 15 ó más. Esto es para que las condiciones prevalecientes tanto en verano como en invierno. Antes se pensaba que el incremento de la ventilación durante el verano reduciría dramáticamente la ganancia de calor en el espacio interior; sin embargo parece que esta apreciación es incorrecta. Por lo general, no es factible desde el punto de vista económico utilizar ventiladores para airear esta área, debido al hecho de que la transferencia de calor ocurre principalmente por radiación térmica entre el techo y el aislamiento del plafón. Por lo tanto, es más útil emplear superficies reflejantes para reducir la transferencia de calor.

2.6.3 Ventanas: El Cuadro 4 contiene coeficientes de transferencia de calor global para toda una gama de productos de ventanería de instalación vertical. Los calores dados son para condiciones de diseño invernales; sin embargo, cuando se ajustan para tomar en consideración la velocidad del viento, estos datos también pueden emplearse para estimar las cargas de diseño para las condiciones prevalecientes en verano. Los factores U fueron elaborados con base en el área de apertura aproximada y tomando en cuenta el efecto del marco. Los coeficientes de transmisión están dados para el centro y el borde de los cristales. Los datos del Cuadro 4 se aplican solo a la transferencia de calor aire-a-aire y no toman en cuenta la radiación solar.

Cuadro 4 Factores U para varios productos de ventanería, Btu/(hr-ft²-F) (instalación vertical)

	Estructura: solo cristal		Operables (incluyendo puertas de cristal deslizantes y de bisagras)					
	Centro del cristal	Borde del cristal	Aluminio sin interrupción térmica	Aluminio con interrupción térmica	Vinilo reforzado/Aluminio-madera chapada	Madera/vinilo	Fibra de vidrio aislada/vinilo	Fibra de vidrio/vinilo
Cristal Sencillo								
Vidrio de 1/8 de pulgada	1.04	1.04	1.27	1.08	0.90	0.89	0.81	0.94
Acrílico/policarbonato de ¼ de pulgada	0.88	0.88	1.14	0.96	0.79	0.78	0.71	0.81
Acrílico/policarbonato de 1/8 de pulgada	0.96	0.96	1.12	1.02	0.85	0.83	0.76	0.87
Cristal doble								
esp. de aire de ¼ de pul.	0.55	0.64	0.87	0.65	0.57	0.55	0.49	0.53
esp. de aire de ½ de pul.	0.48	0.59	0.81	0.60	0.53	0.51	0.44	0.48
esp. de argón de ¼ de pul.	0.51	0.61	0.84	0.62	0.55	0.53	0.46	0.50
Cristal doble, e = 0.60 sobre la superficie 2 o 3								
esp. de aire de ¼ de pul.	0.42	0.55	0.77	0.56	0.49	0.47	0.41	0.43
esp. de aire de ½ de pul.	0.32	0.48	0.69	0.49	0.42	0.40	0.35	0.35
esp. de argón de ¼ de pul.	0.35	0.50	0.71	0.51	0.44	0.42	0.36	0.37
esp. de argón de ½ de pul.	0.27	0.44	0.65	0.45	0.39	0.37	0.31	0.31
Cristal doble, e = 0.10 sobre la superficie 2 o 3								
esp. de aire de ¼ de pul.	0.42	0.55	0.77	0.56	0.49	0.47	0.41	0.43
esp. de aire de ½ de pul.	0.32	0.48	0.69	0.49	0.42	0.40	0.35	0.35
esp. de argón de ¼ de pul.	0.35	0.50	0.71	0.51	0.44	0.42	0.36	0.37
esp. de argón de ½ de pul.	0.27	0.44	0.65	0.45	0.39	0.37	0.31	0.31
Cristal triple								
esp. de aire de ¼ de pul.	0.38	0.52	0.72	0.51	0.44	0.43	0.38	0.40
esp. de aire de ½ de pul.	0.31	0.47	0.67	0.46	0.40	0.39	0.34	0.34
esp. de argón de ¼ de pul.	0.34	0.49	0.69	0.48	0.42	0.41	0.35	0.36
Cristal triple, e = 0.20 sobre la superficie 2 o 3 y 4 o 5								
esp. de aire de ¼ de pul.	0.29	0.45	0.65	0.44	0.38	0.37	0.32	0.32
esp. de aire de ½ de pul.	0.20	0.39	0.58	0.38	0.32	0.31	0.27	0.25
esp. de argón de ¼ de pul.	0.23	0.41	0.61	0.40	0.34	0.33	0.29	0.28
Cristal triple, e = 0.10 sobre la superficie 2 o 3 y 4 o 5								
esp. de aire de ¼ de pul.	0.27	0.44	0.64	0.43	0.37	0.36	0.31	0.31
esp. de aire de ½ de pul.	0.18	0.37	0.57	0.36	0.31	0.30	0.25	0.23
esp. de argón de ¼ de pul.	0.21	0.39	0.59	0.39	0.33	0.32	0.27	0.26
Cristal cuádruple, e = 0.10 sobre la superficie 2 o 3 y 4 o 5								
esp. de aire de ¼ de pul.	0.22	0.40	0.60	0.39	0.34	0.33	0.28	0.27

Cuadro 5 Factor U de la ventanería para varias velocidades del viento

Factor U, Btu/(hr-ft ² -F)			
Velocidad del viento	15	7.5	0 mph
	0.10	0.10	0.10
	0.20	0.20	0.19
	0.30	0.29	0.28
	0.40	0.38	0.37
	0.50	0.47	0.45
	0.60	0.56	0.53
	0.70	0.65	0.61
	0.80	0.74	0.69
	0.90	0.83	0.78
	1.00	0.92	0.86
	1.10	1.01	0.94
	1.20	1.10	1.02
	1.30	1.19	1.10

2.6.4 Puertas: El Cuadro 6 proporciona los coeficientes de transmisión de calor global para las puertas comunes. Los valores son aplicables en las condiciones que prevalecen en invierno; sin embargo, también son apropiadas para calcular las cargas de diseño en verano. Aquí tampoco se incluye la radiación solar.

Cuadro 6 Coeficientes de transmisión U para puertas de madera y acero, Btu (hr-ft²-F)

Grosor nominal de la puerta, pulgadas	Descripción	Sin contra puerta	Contrapu erta de madera	Contrap uerta de metal
Puertas de madera				
1 3/8	Puerta de panel con paneles de 7/16 de pulgada	0.57	0.33	0.37
1 3/8	Puerta lisa hueca	0.47	0.30	0.32
1 3/8	Puerta lisa solida	0.39	0.26	0.28
1 3/8	Puerta de panel con paneles de 7/16 de pulgadas	0.57	0.33	0.36
1 3/4	Puerta lisa hueca	0.46	0.29	0.32
1 3/4	Puerta de panel, con paneles de 1.125 pulgadas	0.39	0.26	0.28
1 3/4	Puerta lisa solida	0.40	-	0.26
2 1/4	Puerta lisa solida	0.27	0.20	0.21
Puertas de acero				
1 3/4	Alma de fibra de vidrio o de lana mineral con perfiles de acero y sin interrupción térmica	0.60	-	-
1 3/4	Ala de panal de papel sin interrupción térmica	0.56	-	-
1 3/4	Alma de espuma de uretano solido sin interrupción térmica	0.40	-	-
1 3/4	Alma de tablero solido de fibra mineral a prueba de fuego sin interrupción térmica	0.38	-	-
1 3/4	Alma de poliestireno sin interrupción térmica (acero comercial calibre 18)	0.35	-	-
1 3/4	Alma de poliestireno sin interrupción térmica (acero comercial calibre 18)	0.29	-	-
1 3/4	Alma de poliestireno sin interrupción térmica (acero comercial calibre 24)	0.29	-	-
1 3/4	Alma de poliuretano con interrupción térmica y marco de madera (acero residencial calibre 24)	0.20	-	-
1 3/4	Alma de espuma de uretano solido con interrupción térmica		0.20	-
				0.16

2.7 Radiación solar

La radiación solar tiene efectos importantes tanto en la ganancia como en la pérdida que experimenta un edificio. Este efecto depende en gran medida de la ubicación del Sol en el cielo y de la claridad de la atmósfera, así como de la naturaleza y orientación del edificio. En este punto es conveniente plantear las formas de predecir la variación en la ubicación del Sol en el cielo durante el día y al paso de las estaciones del año. Para variar ubicaciones en la superficie de la Tierra, también resulta útil saber cómo predecir –para condiciones meteorológicas específicas- la irradiación solar que recibe una superficie en cualquier momento del día y en cualquier lugar de la Tierra.

Cuando se hacen estudios de energía y cuando se diseñan viviendas solares pasivas y colectores solares se requiere saber qué cantidad total de radiación recibe una superficie durante un período especificado. El diseñador siempre debe tener el cuidado de distinguir entre la máxima radiación que podría incidir sobre una superficie en un momento determinado (dato necesario para los cálculos de la carga) y los valores promedio de irradiación para esa misma superficie (datos requeridos para cálculos de energía disponible y para diseño de colectores solares y de aprovechamiento pasivo de energía solar).

La radiación solar está constituida por varias clases de radiaciones electromagnéticas, las cuales tienen algunas características en común, pero difieren en el efecto que producen, que a su vez depende de su longitud de onda. En otras, el espectro solar incluye la radiación ultravioleta, la luz visible y la radiación infrarroja. La superposición de las longitudes de onda de la mayor parte de la radiación infrarroja, la totalidad de la luz visible y una parte del espectro ultravioleta constituyen la porción de la radiación solar denominada radiación térmica, por ser la parte del espectro electromagnético que más participa en la transmisión de la energía calorífica por radiación. Por otra parte, cuando una sustancia incrementa su nivel de energía (es decir, su temperatura), la radiación electromagnética producida por este incremento de temperatura se manifiesta principalmente en la banda de la radiación térmica. La radiación térmica es la porción del espectro electromagnético cuya longitud de onda va de $0.1 \times 10^{-6} \text{m}$ hasta aproximadamente $100 \times 10^{-6} \text{m}$. Tanto en el Sistema Internacional como en el sistema inglés, la unidad que más se utiliza para estas longitudes de onda

es el micrón ($1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{m}$); por lo tanto, el rango aproximado de la radiación térmica es de 0.1 a 100 micrones. Solo una porción de las longitudes más cortas de este rango es visible para el ojo humano. Para comprender mejor el efecto de la energía solar sobre un edificio aquí se revisan brevemente las características generales de la radiación térmica. Esta revisión resulta muy provechosa, puesto que la radiación térmica desempeña un papel importante en los intercambios de calor en los desvanes y otros espacios cerrados, así como en los intercambios de energía que ocurren en los espacios ocupados de los edificios. Dentro del contexto de esta discusión, los términos energía radiante y radiación significan lo mismo, es decir, radiación térmica.

A la radiación térmica total que incide sobre una superficie desde todas las direcciones y desde todas las fuentes se le denomina irradiación total o irradiación global (G), y se mide en $\text{Btu}/(\text{hr}\cdot\text{ft}^2)$ o en W/m^2 .

La energía de la radiación térmica que cae sobre una superficie está expuesta a la absorción, la reflexión y a la transmisión a través de un cuerpo transparente. La absorción es la transformación de la energía radiante en energía térmica, la cual se almacena en las moléculas del cuerpo que la absorbe. La reflexión es el retorno de la radiación, sin cambio de frecuencia, desde una superficie (se puede decir que la radiación simplemente “rebota” desde esta superficie). La transmisión es el paso de la radiación a través de un medio sin que este cambie su frecuencia. La energía que cae sobre una superficie debe estar sujeta a una de las tres acciones. Por lo tanto:

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

α = la absorptancia, la fracción de la radiación térmica total incidente absorbida

ρ = la reflejancia, la fracción de la radiación térmica total incidente reflejada

τ = la transmitancia, la fracción de la radiación térmica total incidente transmitida a través de un cuerpo

Cuando el material es ópticamente uniforme y tiene suficiente grosor para no mostrar cambios en su reflejancia o absorptancia con el incremento del grosor, se utilizan los términos reflectividad y absorptividad para describir la reflejancia y la absorptancia, respectivamente (sin embargo, cabe destacar que en mucha de la literatura sobre este tema no se hace una distinción entre estos términos).

La energía radiante se origina en la superficie o desde el interior de un medio debido a la temperatura de la materia. La tasa de emisión de energía se enuncia en términos de potencia emisiva total (E), cuyo valor depende únicamente de la temperatura del sistema y de las características del material del sistema. Algunas superficies emiten más energía que otras a la misma temperatura. Las unidades de E pueden expresarse en $\text{Btu}/(\text{hr}\cdot\text{ft}^2)$ o en W/m^2 . E es la energía total emitida al espacio, en todas direcciones, por una superficie.

Por lo tanto, la energía radiante que abandona una superficie opaca ($\tau=0$) proviene de dos fuentes: 1) la energía emitida y 2) la irradiación reflejada.

A una superficie que no refleja radiación ($\rho=0$) se le denomina cuerpo negro, puesto que, en ausencia de radiación emitida o transmitida, no emite radiación detectable por el ojo humano, por lo que parece negra. Un cuerpo negro es un absorbedor perfecto de radiación, y constituye un concepto útil y un estándar para el estudio de la transferencia de calor radiante. Se puede demostrar que un absorbedor perfecto de calor radiante también es un emisor perfecto. Por lo tanto, a un emisor de radiación perfecto también se le da el nombre de cuerpo negro. A una temperatura dada T en grados R, un emisor negro exhibe la máxima potencia emisiva monocromática a la longitud de onda λ_{max} , dada por:

$$\lambda_{\text{max}} = 5215.6/T \text{ micrones}$$

Esta ecuación se conoce con la ley desplazamiento de Wien, la cual establece que la cantidad máxima de radiación que emite un cuerpo, la emite en las longitudes de onda cercanas al valor de λ_{max} . De acuerdo con la ley del desplazamiento de Wien, a medida que se incrementa la temperatura de un emisor negro, la mayor parte de la radiación que se emite se desplaza a longitudes de onda más cortas. Este es un concepto importante en ingeniería, puesto que puede aplicarse para determinar el comportamiento de muchos emisores no negros. Implica que las superficies con temperaturas más altas son fundamentalmente emisoras de radiación de onda corta, y que las superficies con temperaturas más bajas lo son de radiación de onda larga. El Sol, que tiene una temperatura superficial de aproximadamente $10,000^\circ\text{F}$ (6000°K), emite radiación con un máximo en el rango visible. Las superficies de los edificios, las

cuales están a una temperatura mucho menor, emiten radiación en longitudes de onda muchos menores.

La posición del Sol en el cielo es un factor importante en el efecto de la energía solar sobre un edificio. Las ecuaciones para predecir la posición del Sol se comprenden mejor si se considera el movimiento de la Tierra alrededor del Sol. La tierra se mueve en una órbita ligeramente elíptica alrededor del Sol. Al plano en el que la Tierra rota alrededor del Sol (aproximadamente una vez cada $365\frac{1}{4}$ días) se le denomina plano de la eclíptica o plano orbital. La distancia media desde el centro de la Tierra al centro del Sol es de aproximadamente 92.9×10^6 millas (1.5×10^8 km). La distancia perihélica, cuando la Tierra está más cerca del Sol, equivale a 98.3 por ciento de la distancia media, y ocurre el 4 de enero. La distancia afélica, cuando la Tierra se encuentra más lejos del Sol, equivale al 101.7 por ciento de la distancia media, y ocurre el 5 de julio. Debido a lo anterior. La Tierra recibe aproximadamente 7 por ciento más radiación solar en enero que en julio.

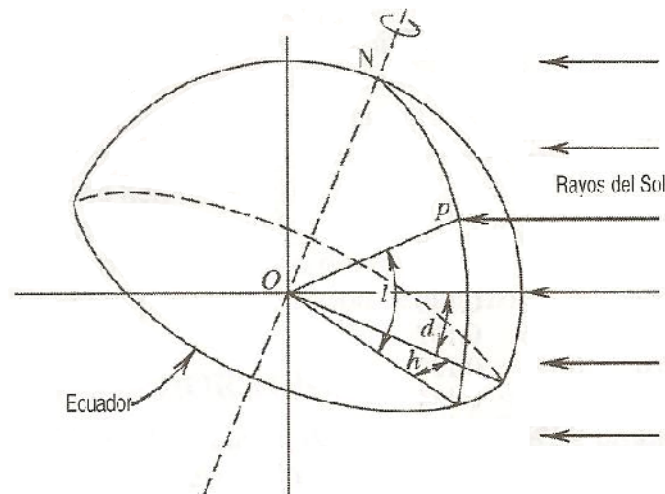
Debido a la rotación de la Tierra sobre su propio eje, cualquier lugar fijo sobre su superficie efectúa una revolución completa cada 24 horas, y su posición con respecto al Sol cambia continuamente. La Tierra está dividida en 360 grados de arco por líneas longitudinales imaginarias que pasan a través de los polos. Así, 15 grados de longitud corresponden a $\frac{1}{24}$ de día o a una hora de tiempo. Si en un punto sobre la superficie terrestre se ve al Sol en determinada posición, desde otro punto ubicado a 15 grados al oeste verá el Sol exactamente en la misma posición cuando haya pasado una hora de tiempo. El Tiempo Universal o Greenwich civil time (la hora civil de Greenwich, o simplemente hora de Greenwich) es el tiempo (la hora) del meridiano cero, la línea imaginaria que pasa a través de Greenwich, Inglaterra. El local civil time (hora civil local, o simplemente hora local) está determinado por la longitud en la que se encuentra el observador, y se calcula agregando o restando cuatro minutos de tiempo por cada grado de longitud. La hora aumenta a medida que se avanza hacia los meridianos del este. Por lo tanto, cuando son las 12:00 del día en el meridiano de Greenwich, son las 07:00 am en el meridiano ubicado a 75 grados longitud oeste.

Podrá describirse la dirección de los rayos solares que inciden sobre un lugar si se conocen estos tres datos fundamentales:

- Ubicación del lugar sobre la superficie terrestre
- Hora del día
- Día del año

Para obtener estos datos es necesario conocer la latitud, el ángulo horario y la declinación del Sol, respectivamente. En la Figura 2 se muestra un punto P, ubicado en algún lugar del Hemisferio Norte. La latitud l es el ángulo entre la línea OP y la proyección de OP sobre el plano ecuatorial. Esta es la misma latitud que se utiliza comúnmente en los globos terráqueos a escala y en los mapas para describir la ubicación de un punto con respecto al ecuador.

Figura 2 Latitud, ángulo horario y declinación del Sol



La constante solar promedio G_{SC} es la de irradiación que incide sobre superficie perpendicular a los rayos solares más allá de la atmósfera terrestre, a la distancia media Tierra-Sol. La constante solar promedio es aproximadamente:

$$\begin{aligned} G_{SC} &= 433.4 \text{ Btu}/(\text{hr}\cdot\text{ft}^2) \\ &= 1367 \text{ W}/\text{m}^2 \end{aligned}$$

La irradiación proveniente del Sol varía aproximadamente ± 3.5 por ciento a causa de la variación en la distancia entre el Sol y la Tierra. Debido a que la atmósfera terrestre absorbe una gran cantidad de esta radiación, y a que esta absorción es muy variable y difícil de predecir, en la mayoría de los cálculos de CVAA no se utiliza un valor preciso de la constante solar. La energía radiante emitida por el Sol se parece

mucho a la energía que emitiría un cuerpo negro (un radiador ideal) a una temperatura de aproximadamente 10800F (5982°C).

Una parte de la radiación solar que entra a la atmósfera de la Tierra es dispersada por las moléculas de gas y vapor de agua y por las nubes y partículas de polvo. El color azul del cielo es el resultado de la dispersión de algunas de las ondas más cortas de la porción visible del espectro. El color rojo tan familiar de los crepúsculos es el resultado de la dispersión de las ondas más largas por el polvo y las nubes situadas cerca de la superficie de la tierra. Algunas radiaciones (particularmente la ultravioleta) pueden ser absorbidas por el ozono que se encuentra en la superficie. A la parte de la radiación que llega hasta la superficie de la Tierra sin haber sido absorbida o dispersada o reemitida, a la cual se le denomina radiación difusa. La radiación también puede ser reflejada hacia una superficie desde otras superficies cercanas. Por lo tanto la radiación total G_t que cae sobre una superficie perpendicular a los rayos solares está constituida por la radiación directa G_{ND} , la radiación difusa G_d y la radiación reflejada G_R :

$$G_t = G_{ND} + G_d + G_R$$

La disminución del poder energético que sufren los rayos solares cuando atraviesan la atmósfera terrestre depende de las condiciones esta: presencia o ausencia de nubosidades, polvo y contaminantes, presión atmosférica y grado de humedad. Otro factor importante en el debilitamiento energético de los rayos solares es la longitud de su trayectoria a través de la atmósfera. Por ejemplo, en la mañana o en la tarde los rayos solares deben atravesar más kilómetros de atmósfera que a mediodía. De igual manera, los rayos solares que caen sobre las regiones polares atraviesan más kilómetros de atmósfera que los rayos que inciden sobre las regiones tropicales a esa misma hora. Esta longitud de la trayectoria se describe en términos de la masa de aire m , que es la relación entre la masa atmosférica que se interpone en la trayectoria real Sol-Tierra y la masa que existiría si la radiación solar cayera perpendicularmente y al nivel del mar.

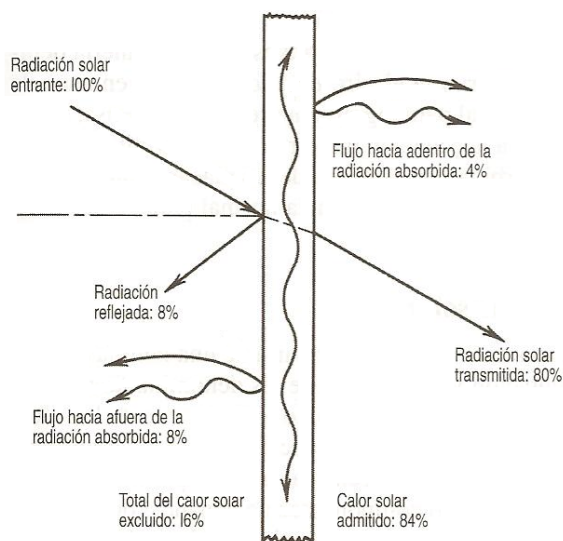
2.7.1 Ganancia de calor a través de la ventanería: El término ventanería se refiere al conjunto de aperturas cubiertas con placas translúcidas o transparente que contiene la envoltura de un edificio. Los componentes de la ventanería incluyen:

- El material translúcido o transparente: vidrio o plástico
- Los marcos, paneles, listones, montantes, divisores, toldos y otras piezas de sombreado exteriores
- Persianas, cortinas y otras piezas de sombreado interiores
- Sistemas de sombreado integrados (entre los cristales)

La ventanería es importante para el uso de energía en un edificio, puesto que afecta las tasas de transferencia de calor desde y hacia su interior, y es una fuente de filtración del aire; además, proporciona luz natural, lo cual puede reducir la necesidad de luz artificial. La radiación solar que penetra a través de la ventanería provoca ganancias de calor en un edificio que son muy diferentes a las ganancias de calor producidas por las partes opacas de la envoltura del mismo. Este comportamiento se muestra en la Figura 3. Cuando la radiación solar incide sobre una ventana desprovista de toldo, aproximadamente 8 por ciento de la energía es reflejada hacia afuera, de 5 a 50 por ciento (dependiendo de su composición y grosor) es absorbida por el cristal, y el resto es transmitida directamente al interior, en donde se convierte en parte de la carga total de calefacción. La ganancia solar es la suma de la radiación transmitida y la porción de la radiación absorbida que fluye hacia el interior. Debido a que el calor también se conduce a través del vidrio, cuando existe una diferencia de temperatura entre el exterior y el interior, la tasa total de admisión de calor se calcula de la siguiente manera:

Admisión total de calor a través del cristal = Radiación transmitida a través del cristal + Flujo hacia el interior de la radiación solar absorbida + Ganancia por conducción de calor.

Figura 3 Distribución de la radiación solar sobre una placa transparente de cristal



Las primeras dos cantidades del miembro derecho de esta ecuación están relacionadas con la cantidad de radiación solar que incide sobre el cristal; la tercera cantidad está presente independiente de si el Sol está brillando o no. En invierno el flujo de calor por conducción podría ocurrir de adentro hacia afuera, no de afuera hacia adentro. Así, la ganancia total de calor sería:

Ganancia total de calor = Ganancia de calor solar + Ganancia de calor por conducción

La ganancia de calor por conducción, por área unitaria, es el producto del coeficiente global de transferencia de U para la ventanería existente y el diferencial de temperatura entre el exterior y el interior ($t_o - t_i$). En el Cuadro 4 se muestran los valores de U para varios tipos de cristales ampliamente utilizados.

A las ganancias de calor que ocurren cada hora en una área unitaria de una lámina de cristal de doble resistencia (DSA) para una orientación y hora dadas, se les denomina factores de ganancia de calor solar (solar heatgain factores, SHGF). El término toma en cuenta los efectos combinados de la ganancia de calor solar transmitido y la ganancia de calor solar absorbida conducida al interior del espacio. Debido a las mejoras hechas al método para calcular las cargas de enriamiento, ahora se tratan por separado los componentes de ganancia de calor solar transmitido y de calor solar absorbido. A la ganancia de calor solar transmitido que ocurren un área

unitaria de cristal DSA para una orientación y hora dadas se le denomina factor de ganancia de calor solar transmitido (*transmitted solar heatgain factor*, TSHGF). A la ganancia de calor solar absorbido que ocurre en un área unitaria de cristal DSA para una orientación y hora dadas se le denomina factor de ganancia de calor solar absorbido (*absorbed solar heatgain factor* ASHGF).

Los procedimientos para estimar la ganancia de calor solar parten del supuesto de que existe una relación constante entre la ganancia de calor solar a través de cualquier tipo de ventanería y la ganancia de calor solar (exactamente bajo las mismas condiciones solares) a través del cristal DSA. Esta relación, denominada coeficiente de sombreado (*shading coefficient*, SC) es única para cada tipo de ventanería o combinación de ventanería y dispositivos de sombreado interno:

$$SC = \frac{\text{Ganancia de calor solar de la ventanería}}{\text{Ganancia de calor solar del cristal DSA}}$$

Debido a que el coeficiente de ganancia de calor SHGC para el cristal DSA estándar es 0.87 a una incidencia normal y para el espectro solar estándar, y puesto que el coeficiente de sombreado SC para tal cristal es 1.0, la relación entre el SC y el SHGC para el vidrio estándar es:

$$SC = SHGC/0.87$$

Esta ecuación se aplica solo a la porción de cristal de una ventana, y no incluye los efectos del marco. La relación permanece constante cuando varían la forma del espectro solar y el ángulo de incidencia para ventanas de cristal doble o sencillo y para muchas ventanas de cristales sencillos entintados. Por lo tanto, la ecuación puede utilizarse en muchos casos para determinar el SC a partir del SHGC publicado por un fabricante. Esta relación no es constante en el caso de cristales múltiples con características espectrales y ángulos espaciales, ni en el caso de cristales recubiertos.

Los coeficientes de sombreado se determinan experimentalmente a partir de la ganancia de calor solar total, y engloban los componentes de calor transmitido y absorbido. Debido a que los coeficientes de sombreado no están disponibles para los componentes de ganancia de calor solar individuales, el coeficiente de sombreado

global definido por la ecuación de SC se utiliza solo como una aproximación para los componentes individuales. Así la ganancia de calor transmitido, TSHG está dada por:

$$\text{TSHG} = (\text{SC})(\text{TSHGF})$$

y la ganancia de calor solar absorbido ASHGF está dada por:

$$\text{ASHG} = (\text{SC})(\text{ASHGF})(N_i)$$

Donde N_i es la fracción de ganancia de calor solar absorbida que fluye hacia el interior.

La fracción de ganancia de calor solar absorbida que fluye hacia el interior depende de la magnitud relativa de los coeficientes de transferencia de calor interior y exterior, y está dada de manera aproximada por:

$$N_i = \frac{h_i}{h_i + h_o}$$

Los valores de los SC dados en el Cuadro 7 se basan en condiciones de convección natural en la superficie interior de la ventana, con vientos de 7.5 mph (3.35 m/s) en la superficie exterior. Para estas condiciones, h_i es 1.46 BTU/(hr-ft²-F) [0.257 W/(m²-C)], y h_o es 4.0 BTU/(hr-ft²-F) [0.704 w/(m²-C)], lo cual produce un valor de N_i igual a 0.267. Para condiciones significativamente diferentes, podría ser necesario volver a calcular N_i . Finalmente, la ganancia instantánea de calor solar es; SHG = TSHG + ASHG.

Cuadro 7 Coeficientes de sombreado para cristal sencillo y cristal aislante

Tipo de cristal	Grosor Nominal		Transmitancia solar	Coeficiente de sombreado	
	pulgada	mm		$h_o = 4.0$ Btu hr-ft ² -F	$h_o = 3.0$ Btu hr-ft ² -F
A. Cristal Sencillo					
Claro	1/8	3.2	0.86	1.00	1.00
	1/4	6.4	0.78	0.94	0.95
	3/8	9.5	0.72	0.90	0.92
	1/2	12.7	0.67	0.87	0.88
Termoabsorbente	1/8	3.2	0.64	0.83	0.85
	1/4	6.4	0.46	0.69	0.73
	3/8	9.5	0.33	0.60	0.64
	1/2	12.7	0.24	0.53	0.58
B. Cristal aislante					
Claro por fuera, claro por dentro	1/8	3.2	0.71	0.88	0.88
Claro por fuera, claro por dentro	1/4	6.4	0.61	0.81	0.82
Termoabsorbente por fuera, claro por dentro	1/4	6.4	0.36	0.55	0.58

El Cuadro 7 muestra el efecto para los coeficientes de película exterior de 3 y 4 BTU/(hr-ft²-F) [17 y 23 W/(m²-°C)], donde el valor mayor es para viento de 7.5 mph (3.4m/s), y el valor menor es para una velocidad más baja del viento. El efecto del coeficiente de película sobre el coeficiente de sombreado está relacionado con la energía absorbida por el cristal y después transferida por convección.

Las persianas, pantallas y cortinas que se suele instalar en la parte interior cerca de las ventanas disminuyen la ganancia de calor solar. Para expresar este efecto se utiliza el coeficiente de sombreado. Otras tablas proporcionan datos representativos para cristales de una sola capa y para cristales aislantes sombreados desde adentro con persianas o pantallas. En estas se puede observar que el coeficiente de sombreado se aplica a la combinación de cristal y dispositivo de sombreado.

2.7.2 Cálculos de energía: En algunos casos es deseable estimar la radiación solar para condiciones típicas, ya se trate de días despejados o nublados. En la mayoría de estos casos tal vez sea necesario conocer la irradiación total sobre una superficie durante todo un día o una serie de días o semanas. Otro ejemplo sería la determinación de los requerimientos de energía de un edificio para un estudio de simulación. En estos casos la mejor información es la que está basada en datos climatológicos históricos

para el lugar elegido. Si están disponibles, los datos del clima local generalmente son los mejores.

En la situación más común, los datos disponibles acerca del clima típico proporcionan la insolación solar total (global) sobre una superficie horizontal. Para utilizar estos datos en la elaboración de predicciones de la insolación sobre superficies no horizontales se debe utilizar algún procedimiento para determinar la proporción de radiación total directa y radiación difusa. Después se podrá utilizar cada una de ellas para determinar la tasa a la que incide la radiación directa y difusa sobre la superficie de interés. También se debe determinar la energía reflejada sobre esta superficie.

Figura 4 Disminución de la radiación solar que incide en una vivienda (ejemplo)



2.8 La carga de enfriamiento

En el diseño de un sistema de enfriamiento o aire acondicionado se debe utilizar el análisis transitorio. La ganancia de calor instantáneo dentro de un espacio acondicionado varía mucho con el paso del tiempo, debido principalmente al fuerte efecto transitorio creado por la variación horario de la radiación solar. Puede haber una diferencia apreciable entre la ganancia de calor por radiación y la cantidad de calor removida por el equipo de enfriamiento en un edificio a una hora en particular. Esa diferencia es causada por el almacenamiento de energía en la estructura y la subsecuente transferencia de la misma al aire circulante. Si no se toma en cuenta esto, se podría instalar un equipo de enfriamiento y deshumidificación con una capacidad mucho mayor de la necesaria.

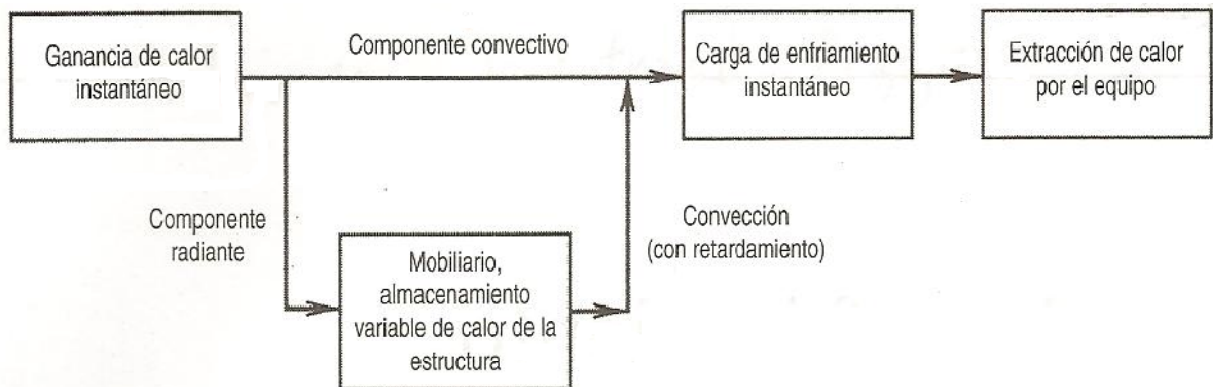
Es importante diferencia entre ganancia de calor, carga de enfriamiento y tasa de extracción de calor. La ganancia de calor es la tasa a la cual se transfiere energía hacia un espacio o la tasa a la cual se genera energía dentro de éste. La ganancia de calor tiene dos componentes, el calor sensible y el calor latente, los cuales deben ser calculados por separado. Las ganancias de calor generalmente ocurren en las siguientes formas:

- Por radiación solar a través de las aperturas (ventanas)
- Por conducción de calor a través de los linderos y por radiación y convección desde las superficies internas hacia el espacio
- Por convección de calor sensible y por radiación desde los objetos internos
- Por introducción de aire exterior, ya sea por ventilación o por infiltración
- Por ganancias de calor latente generadas dentro del espacio.

La carga de enfriamiento es la tasa a la que la energía debe ser removida del espacio acondicionado para mantener la temperatura y la humedad establecidas en los valores de diseño. Generalmente la carga de enfriamiento difiere de la ganancia de calor debido a que la radiación proveniente de la superficie interna de paredes y objetos interiores, así como de la radiación solar que entra a través de las aperturas, no calienta directamente el aire contenido en el espacio. Esta energía radiante es absorbida en su mayor parte por los pisos, paredes interiores y muebles, que por tanto alcanzan

temperaturas más elevadas y que luego se enfrían por convección, podemos afirmar que esta energía contribuye a la carga de enfriamiento. En la Figura 4 se ilustra este fenómeno. El almacenamiento de calor y las características de la transferencia de calor a través de las estructuras y de los objetos interiores determina el retardo térmico y, por lo tanto, la relación entre la ganancia de calor y la carga de enfriamiento. Por esta razón, en estos casos debe tomarse en cuenta la masa térmica (el producto de la masa y el calor específico) de la estructura y su contenido. La reducción del pico de la carga de enfriamiento debido al retardo térmico puede ser un factor muy importante en la determinación del tamaño del equipo de enfriamiento.

Figura 5 Relación esquemática entre la ganancia de calor y la carga de enfriamiento



La tasa de extracción de calor es la tasa a la que el equipo de enfriamiento y deshumidificación remueve la energía de un espacio. Esta tasa es igual a la carga de enfriamiento cuando las condiciones del espacio acondicionado son constantes y el equipo está operando. No obstante, esto rara vez ocurre en la realidad, por varias razones, entre ellas por el hecho de que el sistema de control reacciona cierto tiempo después de que la temperatura del recinto ha subido o bajado algunos grados. Debido a que la mayor parte del tiempo la carga de enfriamiento está debajo del pico del valor de diseño, se requiere de la operación intermitente o variable del equipo de enfriamiento.

Para una mejor comprensión de la naturaleza del problema, considere la manera como se conduce el calor a través de una pared o de un techo con una temperatura exterior variable y con una incidencia variable de radiación solar sobre sus superficies exteriores. Por medio de un modelo matemático se obtiene la ecuación para la conducción del calor con condiciones de frontera no lineales dependientes del tiempo.

El problema de la selección de las condiciones exteriores de diseño para el enfriamiento es similar al que se enfrenta en el caso de la calefacción. En esta situación tampoco es razonable diseñar para las peores condiciones registradas, debido a que esto implicaría la instalación de un equipo con mucho más capacidad de la necesaria. La capacidad de almacenamiento de calor de la estructura también desempeña un papel importante en la determinación de la capacidad del equipo. Una estructura masiva tendrá a reducir el tamaño de la sobrecarga requerida durante los breves intervalos en los que la temperatura exterior se eleve por encima del valor de diseño.

El método que se usará es el del balance térmico, este asegura que toda la energía de cada zona este balanceada, por lo que requiere la solución de un conjunto de ecuaciones de balance de energía para el aire de la zona y para las superficies interior y exterior de cada pared, techo y piso. Estas ecuaciones de balance de energía se combinan con las ecuaciones para la transferencia transitoria de calor por conducción a través de las paredes y techos, y con algoritmos y datos para las condiciones climáticas, incluyendo la temperatura del bulbo seco del aire exterior, la temperatura de bulbo húmedo, la radiación solar, etcétera.

Se considera una zona simple con seis superficies; cuatro paredes, un techo y un piso. Esa zona recibe energía solar a través de las ventanas, así como calor exterior, el cual es conducido a través de las paredes exteriores y del techo; también tiene ganancias internas de calor debido a las luces, el equipo y los ocupantes. El balance térmico en la superficie j ésima exterior en el momento θ se representa conceptualmente por medio de:

$$q''_{\text{conduction,out,j},\theta} = q''_{\text{solar,out,j},\theta} + q''_{\text{convection,out,j},\theta} + q''_{\text{radiation,out,j},\theta}$$

$$q''_{\text{conduction,out,j},\theta} = \text{flujo de calor por conducción, Btu/(hr-ft}^2\text{) o W/m}^2$$

$$q''_{\text{solar,out,j},\theta} = \text{flujo de calor por radiación solar absorbida, Btu/(hr-ft}^2\text{) o W/m}^2$$

$$q''_{\text{convection,out,j},\theta} = \text{flujo de calor por conveccion, Btu/(hr-ft}^2\text{) o W/m}^2$$

$$q''_{\text{radiation,out,j},\theta} = \text{flujo de calor por radiación térmica, Btu/(hr-ft}^2\text{) o W/m}^2$$

Del mismo modo, el balance térmico en la superficie j ésima exterior en el momento θ se representa conceptualmente por medio de:

$$q''_{\text{conduction,in,j},\theta} = q''_{\text{solar,in,j},\theta} + q''_{\text{convection,in,j},\theta} + q''_{\text{radiation,in,j},\theta}$$

$$q''_{\text{conduction,in,j},\theta} = \text{flujo de calor por conducción, Btu/(hr-ft}^2\text{) o W/m}^2$$

$$q''_{\text{solar,in,j},\theta} = \text{flujo de calor por radiación solar abosorbida, Btu/(hr-ft}^2\text{) o W/m}^2$$

$q''_{\text{convection,out,j},\theta}$ = flujo de calor por convección, Btu/(hr-ft²) o W/m²

$q''_{\text{radiation,out,j},\theta}$ = flujo de calor por radiación térmica, Btu/(hr-ft²) o W/m²

En este caso la radiación solar que incide sobre la superficie interior es transmitida a través de una ventana.

2.9 Polarizado

Las láminas de polarizado para el control solar son usadas a nivel mundial como un medio efectivo de ahorro de energía en edificios por medio de la reducción en la ganancia excesiva de calor por radiación solar que entra a través de las ventanas. La determinación del ahorro de energía en instalaciones en funcionamiento es difícil debido a la práctica común de la implementación de varias medidas de conservación de la energía simultáneamente y debido a las variaciones durante el año de varios factores que pueden afectar la utilización de energía del edificio.

Para el problema de bajo coeficiente de reflexión del vidrio, se ha encontrado una solución en la aplicación de láminas de poliéster metalizado en su cara interior, procedimiento conocido como polarizado de vidrios. El fundamento de este consiste en que el metal es un reflectante muy alto con respecto a los rayos infrarrojos, reduciendo así su ingreso al edificio, siendo incorporado a la lámina en forma de distintos tipos de óxido de metal como un revestimiento lo suficientemente delgado y transparente para disminuir la pérdida de cualidades visuales.

Basados en las instalaciones más habitualmente encontradas y los costos de instalación en proyectos comerciales de tamaño medio, el promedio de retorno de la inversión de la aplicación de láminas de control solar es de 2.65 años. Estos ahorros son el resultado de reducir anualmente el kilowatt-hora (Kw-hr) un promedio de 6.6% y reducir el pico de demanda del KW en un 6.4%.

Las láminas de control solar consisten típicamente de una delgada lámina de poliéster (0.025 mm, 0.001") que tiene una capa micro delgada de aislamiento metálico transparente en uno de sus lados. Este aislamiento metálico es aplicado usando tecnología al vacío como deposición en vapor o la pulverización catódica. El metal

aislante puede ser un metal, una aleación, un óxido de metal o una combinación de estos. Una segunda capa de lámina de poliéster es laminada sobre el metal aislante para proteger el metal. En un lado de este compuesto laminado, un aislante acrílico resistente a rayones es aplicado a la superficie que enfrentará la parte interior del edificio. Este aislante resistente a rayones protege a la lámina durante la limpieza normal del vidrio. En la parte opuesta de la lámina se aplica un adhesivo claro, que eventualmente adherirá la película al vidrio de la ventana. Esta capa adhesiva es protegida por un revestimiento extraíble hasta antes de la instalación. Esta película está protegida por la degradación UV por retenedores UV que son adheridos a las capas de poliéster de la película, la capa adhesiva, o ambas.

2.9.1 Apariencia y propiedades de la película solar: La apariencia de la película (color, el nivel de transmisión de la luz visible y el grado de reflectividad) depende del o de los revestimientos metálicos utilizados. Las películas de polarizado solar de metal típicamente son plata-reflejante, gris, gris-plata, bronce o verde claro. La transmisión de luz visible puede variar de muy oscura (10%) a muy clara (70%), y la reflectancia visible puede variar de la misma reflectancia del vidrio claro (8%) a altamente reflectiva (60%). La habilidad de un sistema cristalino para reducir la ganancia de calor es medida por su coeficiente de ganancia de calor solar (SHGC- *solar heat gain coefficient*). Como era de esperarse, a partir de la variedad de películas disponibles, el SHGC de las películas solares puede variar significativamente, desde 0.14 a 0.69, medida en 6 mm (1/4 pulgada) de vidrio claro.

Se puede encontrar una gran variedad de láminas de polarizado de vidrios en el mercado, en una amplia gama de colores, espesores y funcionalidades, pudiendo agruparse en los siguientes tipos:

- Control solar no espejadas: son láminas de apariencia no reflectivas, presentadas en diversos colores o tonalidades tales como neutrales, humo, bronce, grafito, etc. no presentan visualmente las características de una lámina espejada y pueden ser instaladas en cualquier tipo de vidrio incluidos los de los vehículos.

- Control solar espejadas: son las láminas más populares y económicas, permiten la visibilidad desde el interior, pero su apariencia desde el interior es espejada, o sea

que impide observar el interior de la oficina, casa, departamento o edificio comercial. Estas láminas son de alta eficiencia térmica (rechazan hasta el 79%) y se presentan en diversos colores y tonalidades.

2.9.2 Beneficios del polarizado: La combinación de las propiedades produce un producto que ofrece varias ventajas importantes:

- Reducción de los costos de energía de enfriamiento, reduciendo la ganancia excesiva de calor solar.
- Mayor reducción en los costos de refrigeración y calefacción de energía cuando se utilizan películas de baja emisividad.
- Mayor confort al mejorar la distribución de temperatura (menos calor y frío en espacios puntuales) y menor deslumbramiento.
- Apariencia
- Reduce el descoloramiento de los muebles, cortinas y alfombras al rechazar los rayos UV.
- Privacidad de los ocupantes del edificio cuando se usan láminas reflectivas u oscuras.

CAPÍTULO 3. ESTUDIO DEL CASO

En el estudio del caso, primero se realiza un balance térmico de las áreas actuales para determinar el uso del equipo de aire acondicionado instalado, se toman en cuenta las diferentes fuentes de calor pero principalmente se hace un estudio detallado de la radiación solar. Luego se toma la carga de calor por radiación solar y se simula la disminución de esta dentro del recinto por la acción del rechazo de calor ocasionado por el polarizado, se encuentra el valor de ahorro en dólares por año y finalmente se hace un análisis financiero para proyectar el pago de la inversión. Finalmente se analizan las propuestas de polarizado obtenidas para identificar la mejor.

El balance térmico es el conjunto de cálculos que nos permitirá determinar las características del sistema de aire acondicionado necesario comparándolo con el actualmente instalado. El primer paso será calcular esa cantidad de calor que se debe extraer para mantener las condiciones de diseño.

Para una estimación realista de las cargas de refrigeración es requisito fundamental el estudio riguroso de los componentes de carga en el espacio que va a ser acondicionado. Es indispensable en la estimación que el estudio sea preciso y completo, no debiendo subestimarse su importancia. Forman parte de este estudio los planos de detalles arquitectónicos y un estudio detallado de las características de la industria y el equipo utilizado. En este caso se consideraron los siguientes aspectos físicos:

1. Orientación del edificio y situación del local a acondicionar con respecto a:
 - a) Puntos cardinales; efectos del sol y viento.
 - b) Estructuras permanentes próximas; efectos de sombra.
 - c) Superficies reflectantes; agua, arena, lugares de estacionamiento, etc.
2. Destino del local.
3. Dimensiones del local: largo, ancho y alto.
4. Altura del techo: de suelo a suelo, de suelo a techo, espacio entre el cielo raso y las vigas.
5. Columnas y vigas: tamaño, profundidad y cartelas o riostras angulares.
6. Estructura de cerramientos y materiales utilizados.

7. Condiciones del entorno: edificios o estructuras vecinos, condiciones térmicas de los espacios o recintos colindantes, cerramientos enterrados o no, etc.
8. Ventanas: dimensiones y situación, marcos de madera o metal, cristal simple o múltiple, tipo de persiana, dimensiones de los salientes de las ventanas y distancia situados en la carga exterior de la pared.
9. Puertas: situación, tipo, dimensiones y frecuencia de empleo.
10. Escalera y huecos verticales.
11. Ocupantes: número, tiempo de ocupación, naturaleza de su actividad, alguna concentración especial.
12. Alumbrado: potencia en la hora pico. Tipo: incandescente, fluorescente, directo o indirecto.
13. Equipos y utensilios diversos que funcionan dentro del recinto (ordenadores, cafeteras, cocinas, etc.) debe conocerse, con la mayor precisión posible, sus características de funcionamiento: potencia eléctrica, potencia térmica, emisión de vapor de agua, emisión de otros gases y polvo, régimen de trabajo, etc. Los datos concretos serán suministrados por el fabricante o bien podrán extraerse de la experiencia en casos análogos.
14. Ventilación necesaria en función del recinto y del nivel de bienestar deseado, respetando las condiciones mínimas exigidas por la normativa vigente. Pueden expresarse en caudal por persona o en caudal por metro cuadrado de superficie ocupada.
15. Almacenamiento térmico: comprende el horario de funcionamiento del sistema en horas al día, con especificación de las condiciones pico exterior, variación admisible de temperatura en el recinto durante el día, alfombras en el suelo, naturaleza de los materiales superficiales que rodean el espacio acondicionado.
16. Funcionamiento continuo o intermitente; si el sistema debe funcionar cada día laborable durante la temporada de refrigeración o solamente en ocasiones, como ocurre en las iglesias y salas de baile. Si el funcionamiento es intermitente hay que determinar el tiempo disponible para la refrigeración o calefacción previa.

3.1 Evaluación térmica de la carga de calor de las áreas.

Se ha dividido el estudio del caso en 5 áreas, que son los espacios en donde se reciben llamadas, son las indicadas a continuación:

Cuadro 8 Áreas de las zonas de atención de llamadas

Nombre de la zona	Zona [m²]	Zona [ft²]
Tercer nivel ala norte	288.30	3103.23
Quinto nivel ala norte	334.30	3598.37
Quinto nivel ala sur	272.90	2937.47
Sexto nivel ala norte	362.30	3899.76
Sexto nivel ala sur	230.86	2484.95

Las estaciones de los agentes y supervisores están distribuidas de manera uniforme por toda el área y se puede observar en las figuras anexas (Ver anexos A-1, A-2 y A-3).

3.1.1 Aspectos físicos del edificio y de la industria en estudio: La industria de los servicios de atención de llamadas, comúnmente nombrada “call center”, genera más de 12,000 empleos en Guatemala y es una industria en crecimiento que se debe atender según sus necesidades específicas. En este caso, se estudia un centro de atención de llamadas ubicado en la ciudad de Guatemala que alberga a casi 700 agentes en un horario de 05:00 a 22:00 horas en horarios intercalados.

El edificio se encuentra en la sexta avenida “A” 9-24 de la zona 9 de la ciudad de Guatemala en Guatemala, cuenta con 6 niveles y 3 sótanos, en cada nivel existe un área aprovechable de aproximadamente de hasta 740 m² y su frente está orientado directamente al este. No existen edificios u otras figuras permanentes próximas que bloqueen la acción del viento o de los rayos de luz solar en los niveles analizados. (ver Anexos C-1 y C-2)

3.1.2 Condiciones exteriores: Las condiciones exteriores tienen un papel importante en este estudio, la intención fue de tener los datos de temperatura, ubicación del lugar, claridad lo más acertados posibles para finalmente tener resultados atinados. Los aspectos en que influyeron en las condiciones exteriores son los siguientes:

Radiación solar que entra a través de cerramientos transparente: Se tomó en cuenta la radiación incidente hacia las ventanas, la calidad del mismo y sombras proyectadas por elementos exteriores. Debido a que una parte no despreciable del calor solar que entra en el recinto se utiliza para calentar la estructura del mismo y los objetos situados en su interior, calor que luego se devuelve al ambiente interior, con tal de hacer el cálculo más fino en la carga instantánea, se tomó en cuenta el efecto de este almacenamiento de calor.

Radiación solar sobre cerramientos opacos: El calor penetra en la pared a través de su cara exterior debido a la acción combinada del aire exterior y de la radiación solar, se tomó en cuenta que la pared se va calentando progresivamente desde fuera hacia dentro.

Temperatura del aire exterior: Una temperatura del exterior más alta que la del interior hace que el calor fluya a través de las ventanas, tabiques y suelos.

Presión del vapor de agua: El vapor de agua pasa a través de la mayoría de los materiales utilizados en la construcción de paredes y forjados, y su flujo depende de la diferencia de su presión parcial a ambos lados de la pared y circula en el sentido de mayor a menor presión.

Viento que sopla contra una pared del edificio: El viento hace que el aire exterior se infiltre a través de las rendijas de puertas y ventanas. Debido a que las condiciones de temperatura y humedad del aire exterior no coinciden con las del interior, esta infiltración se traduce en carga térmica que puede ser sensible y/o latente.

Aire exterior necesario para la ventilación: Generalmente, se necesita aire exterior para renovar parte del interior a fin de mantener las condiciones de salubridad y bienestar.

Se obtuvieron los datos necesarios de condiciones atmosféricas y del aire para el diseño de la página sistema del Instituto nacional de sismología, vulcanología, meteorología e hidrología de Guatemala y de la página de internet del centro de datos de investigación atmosférica de los Estados Unidos. En un promedio de todo el año, los datos son los siguientes:

Cuadro 9 Condiciones climáticas en la ciudad de Guatemala

Nombre de la localidad	Ciudad de Guatemala
País	Guatemala
Latitud	14.63°
Longitud	90.55°
Temperatura de bulbo seco	28.3°C / 83°C
Rango de cambio diario	5°C
Temperatura de bulbo húmedo	21.11°C / 70°C
Humedad relativa	55%
Claridad	0.51
Reflectividad del suelo	0.2
Presión atmosférica	642 mmHG
Dirección del viento	90° Norte
Velocidad promedio del viento	3.59 m/s

Además, se hallaron los datos de las temperaturas ambiente promedio por hora para todo el año:

Cuadro 10 Temperaturas ambiente por hora en la ciudad de Guatemala

Hora	Temperatura [°C]	Hora	Temperatura [°C]	Hora	Temperatura [°C]
00-01	18	08-09	22	16-17	23
01-02	17	09-10	23	17-18	22
02-03	17	10-11	24	18-19	20
03-04	17	11-12	25	19-20	19
04-05	16	12-13	25	20-21	19
05-06	16	13-14	26	21-22	18
06-07	17	14-15	25	22-23	18
07-08	19	15-16	24	23-24	18

3.1.3 Ganancia de calor interior: Se toma la ganancia de calor interior como todo aquello dentro de los recintos que puede llegar a generar calor.

3.1.3.1 Personas: La ganancia de calor debida a las personas será igual a la cantidad de personas presentes en el ambiente multiplicada por la ganancia de calor por persona. La ganancia de calor por persona es función de la condición interior y fundamentalmente de la actividad que desarrolla la persona, es decir del grado de esfuerzo físico que realiza. Dicha ganancia está tabulada para distintas condiciones, y se compone de una componente sensible y otra latente. Se supone una carga de calor sensible de 215 Btu/hr y de calor latente 185 Btu/hr al saber que la generación típica de calor metabólico para una persona sentada escribiendo en teclado y tomando llamadas.

Cuadro 11 Ganancia de calor interior debido a las personas

Zonas	Cantidad personas	carga calor sensible / persona		carga calor latente / persona	
Tercer nivel ala norte	92				
Quinto nivel ala norte	111				
Quintonivelalal sur	86	215		185	
Sextonivelalal norte	107				
Sextonivelalal sur	81	0.54	relación	0.46	relación

3.1.3.2 Iluminación: Los elementos de iluminación convierten la energía eléctrica en calor y en luz. Se utilizan tubos fluorescentes marca *Luxlite* modelo T-8-17W/D de 120V en todos los casos, el calor sensible es la potencia útil, y se toma un coeficiente 1.2 para incluir el factor del balastro. Con una utilización del 100% de 05:00 a 22:00 horas.

Cuadro 12 Ganancia de calor interior debido a la iluminación

Zonas	# tubos	Potencia / tubo [W]	factor de balastro	Potencia total [W]	Potencia en el Área [W/ft ²]
Tercer nivel ala norte	180			3672	1.18
Quinto nivel ala norte	236			4814.4	1.34
Quinto nivel ala sur	196	17	1.2	3998.4	1.36
Sexto nivel ala norte	244			4977.6	1.28
Sexto nivel ala sur	192			3916.8	1.58

3.1.3.3 Aparatos electrónicos y equipos informáticos: Cada agente del área de recepción de llamadas utiliza una computadora y cada supervisor utiliza dos, se han consultado los datos de fábrica del computador y del monitor para valorar su disipación de calor. El computador es marca Dell modelo Optiplex 755 (SFF) tiene un consumo de 275 watts y el monitor es marca HP de 19 pulgadas, modelo LE1901w que tiene un consumo de 26 watts. Las computadoras deben estar prendidas durante todo el tiempo mientras que los monitores se apagan de 22:00 a 05:00 horas.

Cuadro 13 Ganancia de calor interior debido a computadoras y monitores

Zona	Computadoras y monitores	Potencia / CPU [W]	Potencia / monitor [W]	Potencia total [W]	Potencia en la Zona [W/ft ²]
Tercer nivel ala norte	99			29799	9.60
Quinto nivel ala norte	117			35217	9.79
Quinto nivel ala sur	91	275	26	27391	9.32
Sexto nivel ala norte	113			34013	8.72
Sexto nivel ala sur	86			25886	10.42

Además, se toma en cuenta la carga de calor generada por un televisor presente en cada una de las áreas.

Cuadro 14 Ganancia de calor interior debido a los televisores

Zonas	Cantidad Televisores	Potencia / televisor [W]	Potencia total [W]	Potencia en la Zona [W/ft ²]
Tercer nivel ala norte	1		290	0.09
Quinto nivel ala norte	1		290	0.08
Quinto nivel ala sur	1	290	290	0.10
Sexto nivel ala norte	1		290	0.07
Sexto nivel ala sur	1		290	0.12

3.1.3.4 Diversas fuentes de calor: No se identificaron otras fuentes de calor y humedad dentro del espacio acondicionado que se debiera tomar en cuenta en el cálculo de las cargas sensibles y latentes.

3.1.4 Ganancia de calor exterior: Los vanos y aberturas de los edificios están cerrados normalmente con placas de vidrio u otro material transparente que permite el paso de la luz. El vidrio se comporta frente a la transmisión de calor por conducción y radiación como otro elemento más de construcción. Se tomó en cuenta que en razón de

su pequeño espesor, el determinante en la transferencia de calor es la convección entre las caras del vidrio y el aire.

Sin embargo, la mayor parte del calor que entra a través de los vidrios lo hace por radiación directamente, ya que los vidrios son transparentes a la luz visible y también a la radiación infrarroja de alta frecuencia. No así a la radiación de baja frecuencia, con lo que se produce el efecto “invernadero” de trampa de calor; la radiación de alta frecuencia entra al ambiente y la radiación del interior caldeado, que es de menor frecuencia, no puede salir a través de ellos. La radiación que llega al vidrio será:

- reflejada
- absorbida
- transmitida

La proporción reflejada, absorbida o transmitida dependerá de las características del vidrio. Un vidrio común incoloro de simple espesor tiene aproximadamente las siguientes características, para la radiación solar (alta frecuencia):

- reflexión 8%
- absorción 6%
- transmisión 86%

El calor absorbido por el vidrio se acumula en el mismo, elevando su temperatura, por lo que se producirá una disipación de ese calor parcialmente hacia adentro y parcialmente hacia afuera. Teniendo en cuenta que afuera hay mayor velocidad del aire, se supone que disipará más calor hacia afuera. Por ejemplo es común estimar un 40% hacia adentro y un 60% hacia afuera. Un vidrio común entonces permite pasar un 86% del calor radiante.

3.1.4.1 Radiación solar a superficies transparentes: Para que la radiación solar se traslade desde el sol hacia dentro del edificio, son muchos los factores que influyen; el tipo de vidrio, la hora del día, la época del año, la nubosidad, la orientación del edificio y la latitud.

La Tierra se mueve alrededor del Sol en una órbita elíptica casi plana, de muy pequeña excentricidad. La distancia Tierra-Sol varía entre unos 145 y 155 millones de

Km, siendo mínima alrededor de fin de diciembre y máxima a fin de junio. El eje de rotación terrestre está inclinado unos $66,5^{\circ}$ respecto del plano de la órbita. Esa inclinación es la que establece las diferentes estaciones a lo largo del año. En junio, la inclinación del eje terrestre hace que la mayor radiación solar llegue al hemisferio norte, y en diciembre al hemisferio sur. En marzo y septiembre (equinoccios) la radiación solar es máxima en el plano del ecuador, que en esos momentos contiene a la línea Tierra-Sol, y se reparte igualmente entre los dos hemisferios. La radiación solar sobre un plano normal a los rayos del Sol en el vacío es función de las características del Sol y de la distancia al mismo. Para la distancia Tierra-Sol ese valor es de aproximadamente 1336 watt/m^2 en junio y 1416 watt/m^2 en diciembre. Al atravesar la atmósfera, una parte de la radiación es absorbida y difractada por los componentes de la atmósfera, el polvo, el vapor de agua, etc.

Además de la radiación directa, cualquier superficie expuesta a la bóveda celeste recibirá también una radiación difusa desde todas direcciones de dicha bóveda, debida a la porción de radiación difundida en la atmósfera. La posición de las ventanas y muros del edificio que queremos calcular estará dada en función de un sistema cartesiano, cuyos ejes serán la vertical del lugar y las direcciones cardinales sur y oeste sobre el plano horizontal.

Se conoce que el frente del edificio está orientado hacia el este, utiliza ventanas del tipo templado y con un espesor de 5 mm en todos los casos. No se toman en cuenta las cortinas ya que son internas y se el calor siempre ingresa a las zonas.

Se realizó un estudio de todas las ventanas y paredes, su orientación. Se cuantificó el área de las ventanas, techos, suelos y paredes (Ver Anexo B-1). A continuación se encuentra un cuadro que indica las áreas de las paredes de las cinco zonas estudiadas en las que se incluye la ventanería.

Cuadro 15 Área de paredes y ventanas con radiación solar

Zonas	Área paredes [ft ²]	Área ventanas con radiación solar [ft ²]
Tercer nivel ala norte	1749.4	808.3
Quinto nivel ala norte	1749.4	808.3
Quinto nivel ala sur	1555.8	532.8
Sexto nivel ala norte	1703.2	761.2
Sexto nivel ala sur	1509.6	431.9

3.1.4.2 Transmisión de calor a través de cerramientos externos opacos: Se tomó en cuenta la radiación solar hacia las paredes y el techo del edificio. Las paredes son de fabricación de tabique de block de 8 pulgadas, con un tablero recubierto de yeso, de color claro (Anexo B-2).

3.1.4.3 Transmisión de calor a través de tabiques interiores: La transmisión de calor a través de un muro homogéneo con diferentes temperaturas en sus caras se realiza en el sentido de las temperaturas decrecientes. En este caso, todas las áreas se comunican con recintos acondicionados por lo que la diferencia en las temperaturas es mínima. En los techos existe fundición de concreto de 8 pulgadas con una capa de aire y cielo falso de 0.75 pulgadas (Anexo B-2).

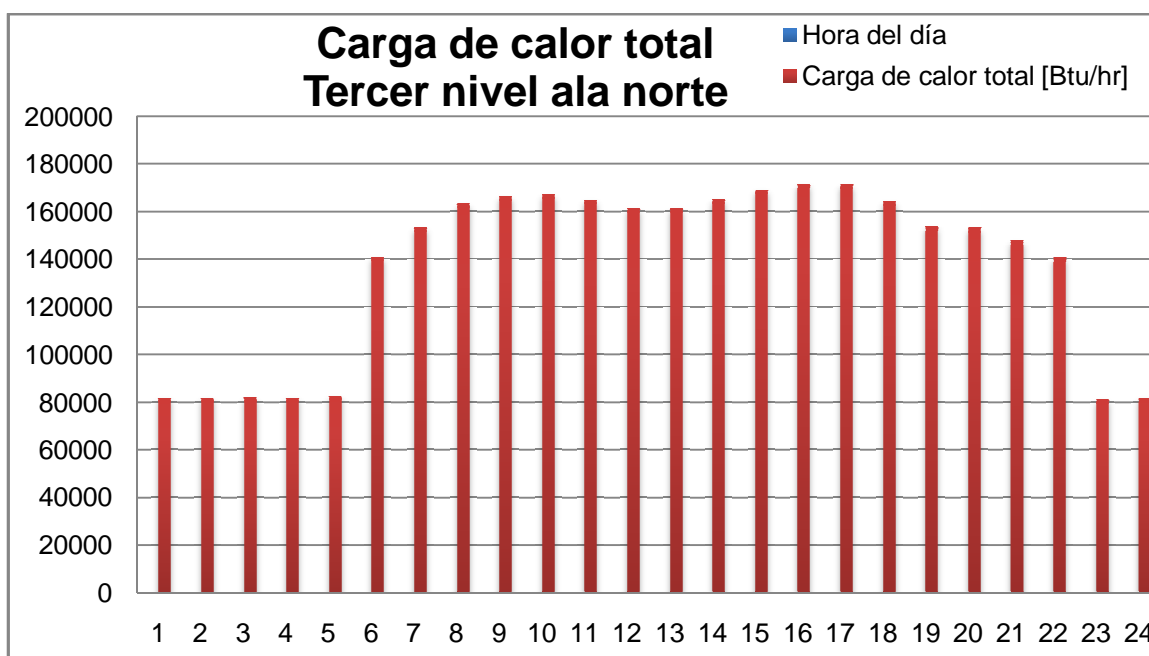
3.1.4.4 Infiltración de aire exterior: Se tomó en cuenta el aire exterior que ingresa al ambiente constituye una carga de calor, ya que tiene habitualmente mayor temperatura y humedad que el aire interior. Al mezclarse con aire ambiente lo calienta y humidifica, siendo esta ganancia carga de calor directa para el ambiente. Esta carga es siempre carga instantánea, ya que va directa al aire ambiente, y puede considerarse una carga externa (ya que el aire infiltrado proviene del exterior) o una carga interna (ya que no es calor transmitido a través de los cerramientos).

3.1.5 Ganancia de calor total: Se utilizó el programa HVACLoadExplorer en su versión 1.0.19 para calcular la sumatoria de cargas de calor por hora en cada una de las zonas, este programa fue desarrollado por VivekDalvi y Anandlyer con supervisión de los doctores Jeffrey Spitler y Ronald Delahoussaye de la Universidad estatal de Oklahoma en Estados Unidos. Se obtuvieron los siguientes datos:

Cuadro 16 Carga de calor por hora en el ala norte del tercer nivel

Hora del día	Carga de calor total [Btu/hr]	Carga de calor sensible [Btu/hr]	Carga de calor latente [Btu/hr]	CFM
1	81929.1	81929.1	0.0	8137.1
2	82024.1	82024.1	0.0	8146.6
3	82047.7	82047.7	0.0	8148.9
4	82040.1	82040.1	0.0	8148.2
5	82782.5	82782.5	0.0	8221.9
6	141037.1	132573.1	8464.0	101.6
7	153423.3	140727.3	12696.0	101.5
8	163482.0	148246.8	15235.2	101.3
9	166587.6	150506.0	16081.6	101.1
10	167340.6	150412.6	16928.0	100.8
11	164926.3	147998.3	16928.0	100.6
12	161652.8	144724.8	16928.0	100.3
13	161500.9	144572.9	16928.0	100.1
14	165358.8	148430.8	16928.0	100
15	169305.5	152377.5	16928.0	99.9
16	171632.8	154704.8	16928.0	100
17	171542.3	154614.3	16928.0	100.1
18	164428.8	148347.2	16081.6	100.3
19	154048.2	138813.0	15235.2	100.5
20	153321.3	138086.1	15235.2	100.7
21	147981.5	135285.5	12696.0	100.9
22	140970.4	132506.4	8464.0	101.1
23	81276.3	81276.3	0.0	8072.3
24	81980.2	81980.2	0.0	8142.2

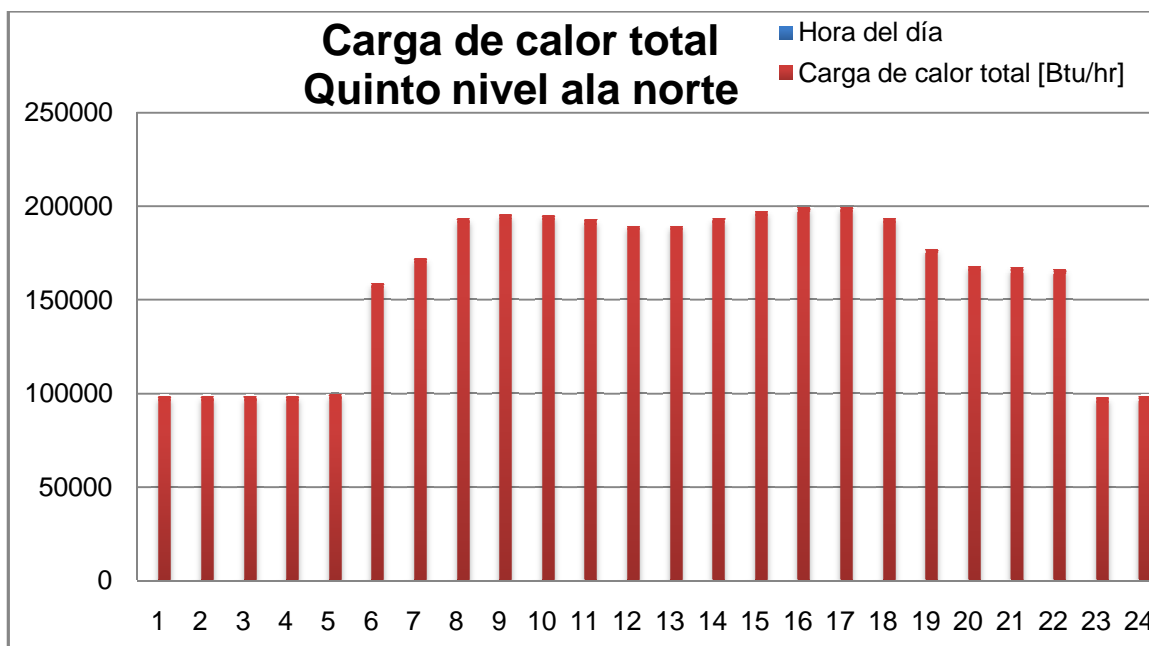
Figura 6 Carga de calor por hora en el ala norte del tercer nivel



Cuadro 17 Carga de calor por hora en el ala norte del quinto nivel

Hora del día	Carga de calor total [Btu/hr]	Carga de calor sensible [Btu/hr]	Carga de calor latente [Btu/hr]	CFM
1	98337.3	98337.3	0.0	9766.8
2	98444.4	98444.4	0.0	9777.4
3	98475.4	98475.4	0.0	9780.5
4	98472.6	98472.6	0.0	9780.2
5	99445.6	99445.6	0.0	9876.9
6	158871.8	153765.8	5106.0	117.8
7	172300.2	162088.2	10212.0	117.7
8	193466.1	173042.1	20424.0	117.5
9	195547.0	175123.0	20424.0	117.2
10	195152.8	174728.8	20424.0	116.9
11	192779.8	172355.8	20424.0	116.6
12	189550.7	169126.7	20424.0	116.3
13	189434.6	169010.6	20424.0	116.1
14	193314.7	172890.7	20424.0	115.9
15	197278.0	176854.0	20424.0	115.8
16	199623.9	179199.9	20424.0	115.9
17	199558.7	179134.7	20424.0	116
18	193731.5	173307.5	20424.0	116.3
19	177209.0	161891.0	15318.0	116.5
20	168197.7	157985.7	10212.0	116.8
21	167021.7	156809.7	10212.0	117
22	166156.4	155944.4	10212.0	117.2
23	97716.2	97716.2	0.0	9705.1
24	98462.0	98462.0	0.0	9779.2

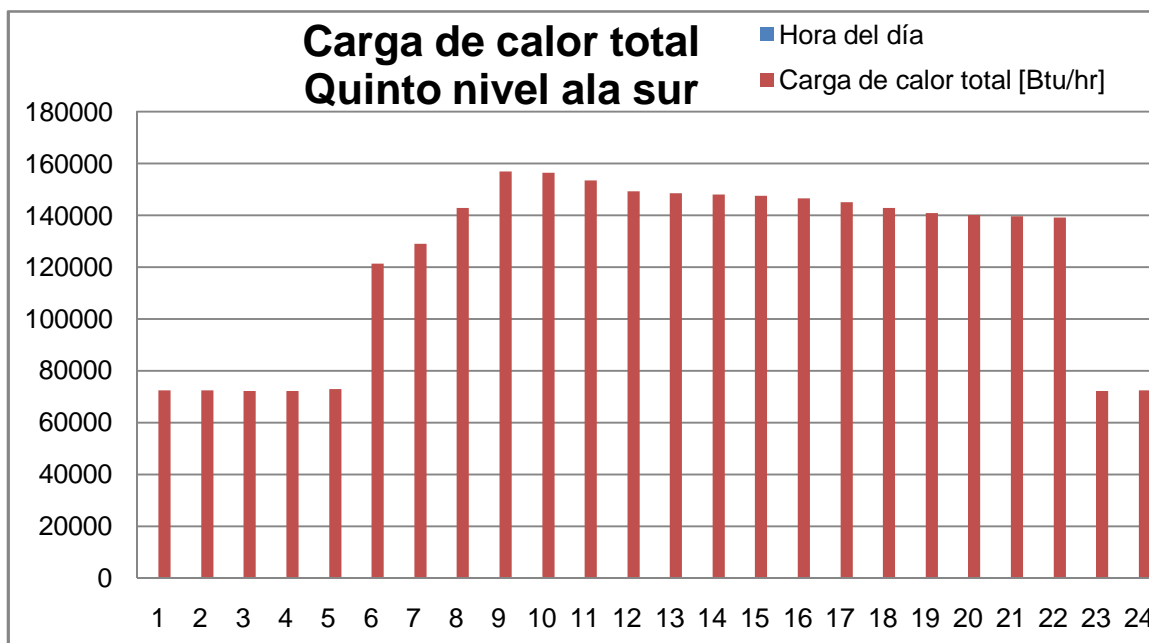
Figura 7 Carga de calor por hora en el ala norte del quinto nivel



Cuadro 18 Carga de calor por hora en el ala sur del quinto nivel

Hora del día	Carga de calor total [Btu/hr]	Carga de calor sensible [Btu/hr]	Carga de calor latente [Btu/hr]	CFM
1	72353.4	72353.4	0.0	7186.1
2	72336.6	72336.6	0.0	7184.4
3	72283.8	72283.8	0.0	7179.2
4	72222.9	72222.9	0.0	7173.1
5	73018.5	73018.5	0.0	7252.1
6	121343.2	117387.2	3956.0	96.1
7	129113.0	125157.0	3956.0	96.1
8	142842.6	134930.6	7912.0	95.9
9	156923.5	141099.5	15824.0	95.7
10	156484.3	140660.3	15824.0	95.5
11	153476.8	137652.8	15824.0	95.2
12	149406.8	133582.8	15824.0	94.9
13	148519.5	132695.5	15824.0	94.7
14	148199.3	132375.3	15824.0	94.6
15	147579.8	131755.8	15824.0	94.6
16	146540.9	130716.9	15824.0	94.6
17	145047.3	129223.3	15824.0	94.7
18	142863.2	127039.2	15824.0	94.9
19	140940.2	125116.2	15824.0	95.1
20	140261.2	124437.2	15824.0	95.3
21	139700.5	123876.5	15824.0	95.5
22	139195.0	123371.0	15824.0	95.7
23	72115.3	72115.3	0.0	7162.4
24	72516.9	72516.9	0.0	7202.3

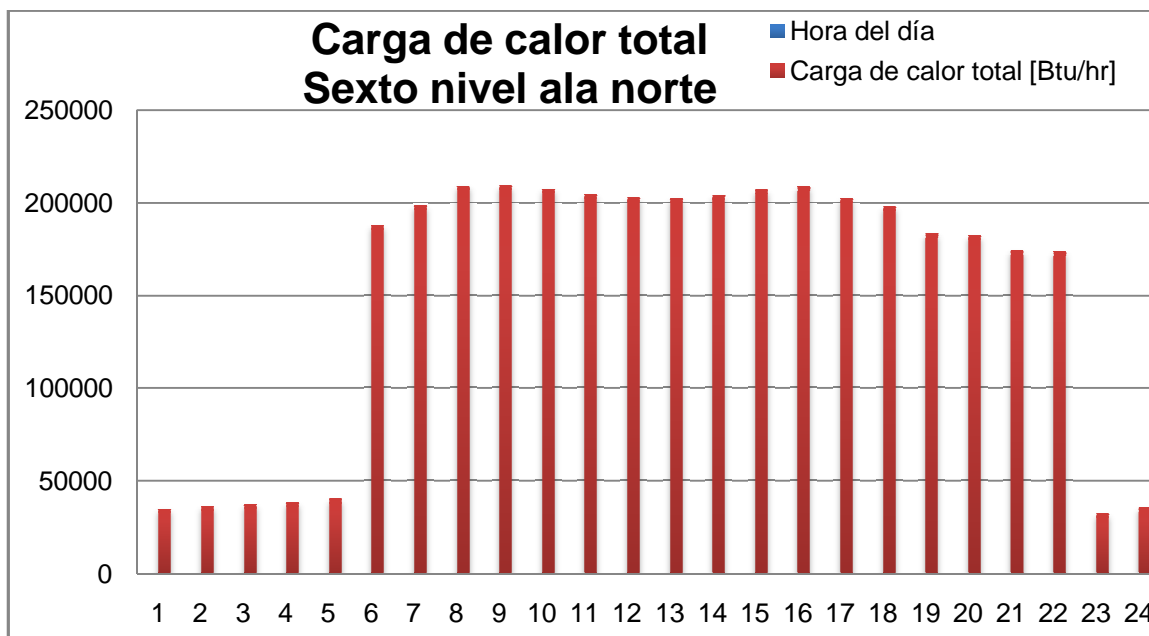
Figura 8 Carga de calor por hora en el ala sur del quinto nivel



Cuadro 19 Carga de calor por hora en el ala norte del sexto nivel

Hora del día	Carga de calor total [Btu/hr]	Carga de calor sensible [Btu/hr]	Carga de calor latente [Btu/hr]	CFM
1	35126.5	35126.5	0.0	3488.7
2	36515.4	36515.4	0.0	3626.7
3	37628.8	37628.8	0.0	3737.3
4	38590.0	38590.0	0.0	3832.7
5	40360.5	40360.5	0.0	4008.6
6	188151.3	178307.3	9844.0	127.6
7	198736.8	183970.8	14766.0	127.5
8	209500.1	189812.1	19688.0	127.3
9	209555.7	189867.7	19688.0	127.1
10	207803.6	188115.6	19688.0	126.7
11	204887.0	185199.0	19688.0	126.4
12	202988.4	183300.4	19688.0	126.0
13	202713.2	183025.2	19688.0	125.8
14	204169.6	184481.6	19688.0	125.6
15	207144.4	187456.4	19688.0	125.5
16	209268.9	189580.9	19688.0	125.6
17	202718.6	187952.6	14766.0	125.8
18	198236.2	183470.2	14766.0	126.0
19	183772.2	173928.2	9844.0	126.3
20	182557.5	172713.5	9844.0	126.5
21	174802.4	169880.4	4922.0	126.8
22	174005.8	169083.8	4922.0	127.0
23	32514.4	32514.4	0.0	3229.3
24	35755.0	35755.0	0.0	3551.2

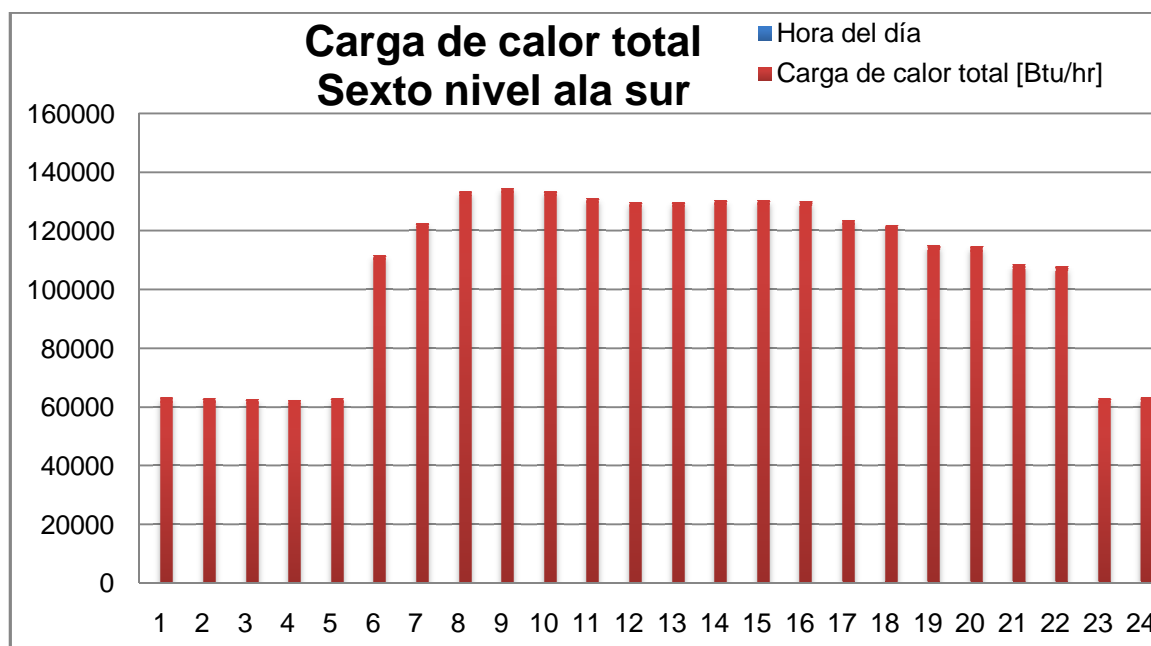
Figura 9 Gráfica carga de calor por hora en el ala norte del sexto nivel



Cuadro 20 Carga de calor por hora en el ala sur del sexto nivel

Hora del día	Carga de calor total [Btu/hr]	Carga de calor sensible [Btu/hr]	Carga de calor latente [Btu/hr]	CFM
1	63234.9	63234.9	0.0	6280.4
2	63024.9	63024.9	0.0	6259.6
3	62743.5	62743.5	0.0	6231.6
4	62431.7	62431.7	0.0	6200.7
5	62951.3	62951.3	0.0	6252.3
6	111706.8	104254.8	7452.0	81.3
7	122671.6	111493.6	11178.0	81.3
8	133449.2	118545.2	14904.0	81.1
9	134568.1	119664.1	14904.0	81
10	133526.9	118622.9	14904.0	80.8
11	131194.3	116290.3	14904.0	80.5
12	129924.1	115020.1	14904.0	80.3
13	129924.1	115020.1	14904.0	80.1
14	130497.6	115593.6	14904.0	80
15	130471.9	115567.9	14904.0	80
16	130092.6	115188.6	14904.0	80
17	123769.3	112591.3	11178.0	80.1
18	122157.5	110979.5	11178.0	80.3
19	115210.6	107758.6	7452.0	80.5
20	114645.3	107193.3	7452.0	80.6
21	108584.7	104858.7	3726.0	80.8
22	107863.9	104137.9	3726.0	80.9
23	62949.1	62949.1	0.0	6251.2
24	63330.1	63330.1	0.0	6289.9

Figura 10 Gráfica carga de calor por hora en el ala norte del sexto nivel



3.2 Evaluación de los equipos de aire acondicionado instalados:

Se hace una evaluación del equipo actualmente instalado para determinar el porcentaje de uso actual y de esa manera proyectar un ahorro en la carga de enfriamiento por medio de la reducción en el uso del motor del compresor.

3.2.1 Características: Se realizó un conteo del tipo y cantidad de equipos en cada zona para determinar la carga de enfriamiento actualmente instalada, esto se hizo en compañía de la empresa que instalo los equipos y que a su vez proporciona el servicio de mantenimiento de los mismos.

En todas las zonas se encuentran equipos de la misma marca, del mismo tipo pero de diferentes capacidades, en las áreas existen equipos instalados de 4 ó 5 toneladas y los datos en las manejadoras de aire son los siguientes:

Cuadro 21 Datos de manejadoras de aire instaladas

Acondicionador de Aire Split	
Tipo Cassette (Unidad Interior)	
Marca	Goodman
Modelo	C48C2AB3
Voltaje Nominal	-220V
Frecuencia	0.70 + 10%
Capacidad Nominal	36000 a 48000 Btu/hr
Caudal de Ventilación	1030 PCM
Refrigerante	R22
Dimensiones	33.1x33.1x12.2 in
Peso	88.2 Lbs
Eficiencia	90%

Los datos en los compresores son los siguientes:

Cuadro 22 Datos de compresores instalados

Goodman Company, L.P. 5151 SAN FELIPE, STE 60 HOUSTON, TX77056		
MODEL GSC130603AC GSC130483AF	SERIAL NO. 0901730346 0902071455	
A.C. VOLTS 208/230	PHASE 3	HERTZ 60
VOLTAJE RANGE	MIN. 197 MAX. 253	
MAX. FUSE AMPS OR MAX. CIRCUIT BREAKER 40 / 20		
(TIME DELAY FUSE OR HACR CIRCUIT BREAKER REQUIRED)		
MIN. CIRCUIT AMPS 22.7 / 17.1		
FAN MOTOR	FLA 1.1 / 1.5 H.P. 1/6 / 1/4	
COMPRESOR	RLA 17.3 / 12.4	LRA 123 / 88
MAX. WORKING PRESSURE		
FACTORY CHARGE OZ. R-22		169.0 / 152.0
FACTORY TEST PRESSURE PSIG		LOW 150 HIGH 300

También se revisó el manual de operación del fabricante de donde se puso extraer el dato de eficiencia energética SEER (*Summer energy efficiency rate*) de 13.0 para todos los equipos. Además, se sabe la cuota de energía eléctrica por la cual es de \$0.267 por cada Kw-hr, se ha incluido en este valor el costo individual por consumo, el costo por pico y la tasa municipal. En el Cuadro 23, se describen las capacidades instaladas en cada una de las zonas estudiadas además del consumo energético tomando en cuenta la eficiencia del equipo:

Cuadro 23 Consumo energético por equipos instalados

Zona	Carga de enfriamiento [Ton]	SEER [Btu-hr/KW]	Horas de operación al año	\$ por año	\$ por mes
Tercer nivel ala norte	16	13	4368	\$ 17,220.60	\$ 1,435.05
Quinto nivel ala norte	18	13	4992	\$ 22,140.77	\$ 1,845.06
Quinto nivel ala sur	16	13	4992	\$ 19,680.68	\$ 1,640.06
Sexto nivel ala norte	18	13	4992	\$ 22,140.77	\$ 1,845.06
Sexto nivel ala sur	16	13	4992	\$ 19,680.68	\$ 1,640.06

3.3 Simulación de la reducción de carga de calor por calor solar en un programa de computación.

Se tomaron los datos de carga de calor solamente generada solamente por la radiación de los rayos del sol en las ventanas, para esto se ejecutó el programa HVACLoadExplorer usando solamente las cargas de calor originadas por el calor en las ventanas de 6 a 18 horas, que es cuando existen rayos del sol:

Cuadro 24 Carga de calor debido al calor solar

Zona 3er nivel ala norte		Zona 5to nivel ala norte		Zona 5to nivel ala sur	
Hora del día	carga por calor solar [Btu/hr]	Hora del día	carga por calor solar [Btu/hr]	Hora del día	carga por calor solar [Btu/hr]
6	2608.0	6	2608.7	6	9064.9
7	11931.4	7	11931.4	7	17315.1
8	21620.6	8	21620.6	8	25097.2
9	24740.5	9	24740.5	9	27122.1
10	23991.7	10	23991.7	10	26116.0
11	20352.0	11	20352.0	11	22805.6
12	15722.2	12	15722.2	12	18648.6
13	15502.3	13	15502.3	13	17690.6
14	20835.8	14	20835.8	14	17298.8
15	26629.1	15	26629.1	15	16656.5
16	30137.8	16	30137.8	16	15677.3
17	29904.8	17	29904.0	17	14340.2
18	21030.5	18	21030.5	18	12444.0
Total día	265006.7	Total día	265006.6	Total día	240276.9

Zona 6to nivel ala norte		Zona 6to nivel ala sur	
Hora del día	carga por calor solar [Btu/hr]	Hora del día	carga por calor solar [Btu/hr]
6	2296.2	6	3409.3
7	10832.8	7	10513.9
8	18841.9	8	17017.3
9	20590.2	9	18657.9
10	18996.7	10	17708.3
11	15438.6	11	15106.4
12	13249.3	12	13490.0
13	13244.2	13	13530.5
14	15578.4	14	13319.7
15	20154.7	15	12744.3
16	23678.5	16	11733.9
17	24490.7	17	10279.0
18	17977.7	18	8161.3
Total día	215369.9	Total día	165671.8

3.4 Consideración de propuestas de venta e instalación de polarizado en ventanas.

En el mercado guatemalteco existen muchas empresas que se dedican al polarizado de vidrios de automóviles pero solamente algunas tienen divisiones de polarizado para ventanas de edificios, se hizo una búsqueda de este tipo de empresas por medio del internet y la guía telefónica y se llegó a la conclusión de que las empresas que pueden proporcionar el mejor servicio de venta e instalación son tres, Airetec, JR Centrocar y protección solar. A continuación se analizan las tres propuestas según porcentajes de rechazo de calor esperados y el precio de cada una.

3.4.1 Propuesta 1: La primera propuesta analizada es la Airetec, empresa con 25 años de experiencia en el área de venta de productos de aire acondicionado, que es a su vez el proveedor de equipo nuevo y servicio de mantenimiento de la empresa que se estudia. La cotización (ver Anexo D-1) propone una inversión de \$14,935.00 por medio de la instalación del polarizado de la marca Llumar de CPFilm, con el modelo N1050 que tiene un color neutro, con un porcentaje del 50% en la transmisión de la luz visible, un 15% de reflexión de luz visible, un 99% de rechazo de la luz ultravioleta y un 45% de energía calorífica solar rechazada, valor que más nos interesa. A continuación se hace un cuadro indicando el ahorro esperado.

3.4.2 Propuesta 2: La segunda propuesta es de la empresa JR Centrocar, la cual el giro del negocio va más en rumbo a la atención de polarizado para automóviles pero que tiene una gran presencia en el mercado, ofrece el producto y la instalación por un valor de \$14,067.00, este es de marca 3M de la línea Prestige, este polarizado reduce el 38% de calor, 99% de rayos UV, 50% energía solar y 12% de reflejos. Total de energía reflejada 5% y cuenta con 5 años de garantía. Abajo se encuentra el análisis del ahorro estimado (ver Anexo D-2).

3.4.3 Propuesta 3: La última propuesta analiza a la empresa Protección Solar, empresa dedicada al polarizado principalmente de edificios (ver Anexo D-3), y ofrece dos tipos de las películas 3M de la línea Prestige 40 (PR40) y de la línea NightVision 25 película tonalidad 40% neutro con las siguientes características:

- 59% de Reducción del Calor.

- 97% de Reducción de los Rayos Infrarrojos.
- 39% de Transmisión de Luz Visible.
- 56% de Reducción del Reflejo.
- 99.9% Reducción de Rayos UV.

La primera opción tiene un precio de \$18,788.00, la diferencia es el hecho de que cambia muy poco la fachada del edificio porque tiene una tonalidad de 40% neutro, la segunda opción tiene un precio de \$8,908.00 pero tiene una tonalidad medio color bronce.

CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Luego de haber hecho el estudio del caso y obtenido la información que se requería para hacer un estudio económico, se conduce un análisis de la mejor opción de polarizado donde se valora además la calidad del ambiente interior y otros factores de viabilidad de las alternativas.

Los equipos de aire acondicionado instalados actualmente trabajan entre el 70% al 95% de su capacidad en condiciones anuales promedio, la carga de calor solar cambia durante el día y es proporcional al área de ventanas en todas las zonas y con el polarizado se ahorra entre el 9% y el 13% de la carga de enfriamiento y por lo tanto el consumo eléctrico.

Por otro lado, los rayos del Sol caen sobre una 28% del personal provocando que los equipos actuales de aire acondicionado sean menos precisos al momento de distribuir la carga de enfriamiento y controlar la humedad y que el personal tenga insatisfacción con la temperatura.

También se estableció que en las dos áreas del sexto nivel, la carga de calor solar es menor debido a la presencia de balcones que bloquean los rayos de sol hacia las ventanas en determinadas horas del día, lamentablemente no es viable la instalación de toldos o cortinas exteriores para disminuir la carga de calor solar por conservar el aspecto del edificio.

4.1 Análisis de propuestas de polarizado

Según los cálculos realizados, se puede determinar que por cada 1% por ciento de reducción en la carga de calor, significa un ahorro en casi \$80.00 al año. Para este análisis se tomaron valores promedio anuales para hacer los cálculos y de esta manera presentar valor de ahorros anuales promedio. Todas las propuestas tienen una garantía de 10 años.

La primera propuesta del proveedor Airetec (ver Anexo D-1) entregó los siguientes datos:

Cuadro 25 Ahorro energético con propuesta de Airetec

Zona	carga por calor solar [Btu/hr]	calor solar rechazado [Btu/hr]	horas de operación al año	Ahorro \$/año
3er nivel ala norte	285275.3	128373.9	4992	\$ 822.42
5to nivel ala norte	290108.8	130549.0	5304	\$ 836.36
5to nivel ala sur	235282.3	105877.0	5304	\$ 678.30
6to nivel ala norte	237169.7	106726.4	5304	\$ 683.74
6to nivel ala sur	187741.6	84483.7	5304	\$ 541.24
Totales	1235577.7	556010.0	26208.0	\$ 3,562.06

La propuesta alcanza \$14,935.00 por lo que el proyecto se podría pagar en 4.19 años. Manteniendo los demás factores de cantidad de equipo, personal, costo de electricidad y tiempo de operación constantes.

La segunda propuesta del proveedor JR Centrocar(Anexo D-2) entregó los siguientes datos:

Cuadro 26 Ahorro energético con propuesta de JR Centrocar

Zona	carga por calor solar [Btu/hr]	calor solar rechazado [Btu/hr]	horas de operación al año	Ahorro \$/año
3er nivel ala norte	285275.3	108404.6	4992	\$ 694.49
5to nivel ala norte	290108.8	110241.3	5304	\$ 706.26
5to nivel ala sur	235282.3	89407.3	5304	\$ 572.79
6to nivel ala norte	237169.7	90124.5	5304	\$ 577.38
6to nivel ala sur	187741.6	71341.8	5304	\$ 457.05
Totales	1235577.7	469519.5	26208.0	\$ 3,007.96

La propuesta es de \$18,151.00 por lo que el proyecto se podría pagar en 6 años. Manteniendo los demás factores de cantidad de equipo, personal, costo de electricidad y tiempo de operación constantes.

La última propuesta por parte del proveedor Protección Solar (ver Anexo D-3) ofrece dos opciones con una relación de rechazo de calor, en los dos casos, del 59%.

Cuadro 27 Ahorro energético con propuesta de Protección Solar

Zona	carga por calor solar [Btu/hr]	calor solar rechazado [Btu/hr]	horas de operación al año	Ahorro \$/año
3er nivelalanorte	285275.3	168312.4	4992	\$ 1,078.29
5to nivelalanorte	290108.8	171164.2	5304	\$ 1,096.56
5to nivelalasur	235282.3	138816.6	5304	\$ 889.32
6to nivelalanorte	237169.7	139930.1	5304	\$ 896.46
6to nivelalasur	187741.6	110767.5	5304	\$ 709.63
Totales	1235577.7	728990.8	26208.0	\$ 4,670.26

La primera propuesta, al alcanzar los \$18,788 se podría pagar en 4 años pero la segunda al alcanzar \$8,908 se puede pagar en 1.90 años. Manteniendo los demás factores de cantidad de equipo, personal, costo de electricidad y tiempo de operación constantes.

En el Cuadro 28, se evalúan los tres aspectos que se consideraron para tomar la decisión de compra en este caso, tiempo de retorno de la inversión, la tonalidad y la experiencia del proveedor en el mercado, tomado en base a la experiencia propia y a las referencias obtenidas por personas del ramo de la construcción consultadas:

Cuadro 28 Comparación de propuestas de polarizado

Propuesta	Experiencia en el mercado	Inversión	Tonalidad	Ahorro anual	Retorno de la inversión
Airetec	Alta	\$ 14,935.00	Neutro	\$ 3,562.06	4.2años
JR Centrocar	Baja	\$ 14,067.00	Neutro	\$ 3,007.96	4.7años
Protección Solar 1	Media	\$ 18,788.00	Neutro	\$ 4,670.26	4.0años
Protección Solar 2	Media	\$ 8,908.00	Bronce	\$ 4,670.26	1.9años

Se decidió optar por la segunda opción del proveedor Protección Solar que ofrece un producto con mayor beneficio a un costo menor con un retorno de la inversión de menos de 2 años, se le identificó a protección solar como un proveedor con mediana experiencia en el mercado al consultar con personas en el ramo de la construcción en Guatemala y finalmente se determinó que la tonalidad bronce del polarizado no impacta en la operación además que ofrecen mano de obra certificada por el fabricante.

4.2 Mejora en la calidad del ambiente interior.

Casi la totalidad del personal del centro de llamadas estudiado en este trabajo pasa más del 80% del tiempo en espacios cerrados, por lo que es importante brindarle al personal un buen ambiente interior, en los aspectos investigados en este trabajo se pueden controlar la humedad y la temperatura, los parámetros para esta industria con respecto a la calidad del ambiente interior nos dicen que la humedad relativa no debe ser mayor al 65%, la temperatura debe estar entre 22 °C y 24°C.

Con el polarizado se logra una distribución de temperatura más uniforme en toda el área, se identificaron 144 estaciones de personal de atención de llamadas que reciben energía solar a determinada hora del día, principalmente en las áreas donde el personal se encuentra a un costado de las ventanas. Los síntomas de este personal relacionados de debilidad, somnolencia, letargo, dificultad para concentrarse deben disminuir cuando se instale el polarizado. Otro aspecto que se mejora en la experiencia de los usuarios en los espacios estudiados, es la reducción en el 72% brillo solar que permite una mejor visión de las computadoras y teléfonos para el personal de atención de llamadas. Lo que permite un trabajo más efectivo en la operación de sus equipos, que en consecuencia es mayor productividad por hora.

A pesar de que estos parámetros de desempeño del personal son medibles, no están dentro del alcance del estudio por razones de confidencialidad y enfoque del análisis. Sin embargo se pueden mencionar como beneficios adicionales de la solución del polarizado.

4.3 Aplicación del sistema en otros proyectos.

Por contar el vidrio con reducida capacidad aislante, las superficies vidriadas constituyen un punto débil en la eficiencia térmica de los edificios. Efectivamente, el vidrio como tal, posee un bajo coeficiente de reflexión a los rayos infrarrojos, permitiendo por lo tanto su radiación hacia el interior del edificio e incrementando fuertemente los requerimientos de los equipos de aire acondicionado, este problema subsiste aun con el uso de cortinas, pues el calor ingresara de todas formas, quedando atrapado entre el vidrio y las cortinas, produciendo zonas de emisión de altas temperaturas. Existe ahorro de energía en prácticamente todos los casos, pero el

cálculo de la cantidad de energía ahorrada varía dependiendo de varios factores, como los son el área de ventanas, la orientación del edificio, el clima, etc. por lo que existe un gran campo de investigación y mejora en estos estudios. Por otro lado, existe un gran campo de mejora en el ahorro de energía, se pueden analizar factores de iluminación, agua, utilización de equipos de cómputo para ahorrar recursos.

Además, existe un gran área de mejora en lo que se refiere a la calidad del ambiente y condiciones de trabajo del personal de un centro de atención de llamadas, al ser una industria relativamente nueva en nuestro país, no hay regulaciones ni experiencia en el estudio de todos los aspectos que conlleva esta industria en específico, como lo son iluminación, dimensiones del entorno de una estación, ergonomía, ambiente interior, etc.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- El objeto de una instalación de aire acondicionado es mantener un cierto espacio en condiciones particulares, diferentes condiciones de temperatura y humedad de las exteriores. Para mantener y controlar esas condiciones será necesario un intercambio energético, realizado por medio de un equipo acondicionador, que agregará o extraerá calor del ambiente. En la medida en que reduzcamos la necesidad del intercambio energético se logrará ahorrar energía y por lo consiguiente el consumo de electricidad. Las condiciones ideales para un centro de atención de llamadas, la humedad relativa no debe ser mayor al 65% y la temperatura debe estar entre 22 °C y 24°C.
- Las películas de polarizado en las ventanas reflejan la energía solar significativamente, mientras que absorben otra porción de la energía. El resultado es que la cantidad de radiación solar que se transmite hacia el interior de los recintos es considerablemente menor. La cantidad de energía rechazada varía dependiendo de la ubicación, la orientación del edificio, el clima, el área y características de la ventanería. Antes de hacer la estimación de la carga es necesario realizar un estudio completo que garantice la exactitud de evaluación del componente solar de la carga. Si se examinan minuciosamente las condiciones del local y de la carga real instantánea, podrá proyectarse un sistema económico.
- Comprando dos medidas no excluyentes entre sí, el ahorro y tiempo de retorno obtenido al instalar polarizado en un edificio con cambiar el equipo de aire acondicionado por uno de mayor eficiencia, de hecho son complementarias, se concluye que con utilizar un equipo eficiente y polarizar las ventanas en el edificio se logra optimizar el consumo de energía eléctrica y obtener ahorros, sin embargo, dependiendo de los intereses y del capital del usuario o empresa se puede optar por cualquiera de las dos medidas, ya que ambas presentan resultados positivos.

- El uso de polarizados en la ventanería puede reducir considerablemente los costos por facturación eléctrica, por lo cual es de suma importancia considerar su correcta instalación en edificios o incluso viviendas, tomando en cuenta que estas láminas tiene diferentes características principalmente en lo visual. De la misma manera, cada una de estas generará ahorros distintos, de tal forma que el usuario pueda elegir qué ventanas polarizar, ya sea para obtener un tiempo de retorno menor o para maximizar los ahorros.
- En el estudio específico del caso, se ha seleccionado la película de control solar marca 3M de la línea Night Vision provista por la empresa Protección Solar con un porcentaje de rechazo de calor del 58%, el proyecto genera un ahorro anual por el desuso del aire acondicionado de \$4,670.00, la propuesta alcanza un valor de \$8,078.00 por lo que el tiempo de retorno es de menos de 2 años.
- Con el polarizado en las ventanas, se logra mejorar las condiciones de confort del personas que se encuentran junto a las áreas de ventanería, 28% del personal, al reducir la exposición de calor solar y mejorando la distribución instantánea de carga de enfriamiento en las áreas además que se reduce considerablemente el brillo solar en un 72% y crea mejor visión de las computadoras.
- Con la utilización de los programas de computación, cualquier ingeniero puede simplificar la extracción de cálculos, simular las cargas de calor de una zona y modificar cualquier característica con tal de manipularla para obtener mejores resultados.

5.2 Recomendaciones

- Se trató que el estudio realizado fuera lo más congruente posible pero dentro del tema de carga térmica, tomando en cuenta todos los aspectos que generan calor en el sistema, para otros proyectos se recomienda utilizar datos lo más acertados posibles porque cualquier pequeño cambio en alguna característica del sistema puede modificar enormemente los resultados.

- Se recomienda utilizar datos promedio anuales para analizar datos de generación de calor, consumo eléctrico y ahorros. Debido a las variaciones en la temperatura ambiente, orientación de la tierra hacia el sol, nubosidad y velocidad del viento, la carga de calor debido al sol varía de forma significativa de mes a mes.
- Durante el estudio del caso, se pudo determinar que el equipo de aire acondicionado instalado es ineficiente (SEER 13) con respecto a lo que actualmente ofrece el mercado, el consumo energético se puede disminuir con la compra de un nuevo equipo, sería interesante hacer un estudio para evaluar el cambio.
- Se recomienda realizar un estudio del suministro adecuado de aire exterior específicamente para la industria de atención de llamadas.
- Se recomienda hacer una evaluación del desempeño antes y después de la instalación del polarizado.
- El polarizado debe instalarse según las especificaciones del fabricante para obtener los resultados de rechazo de calor y duración esperados.

CAPÍTULO 6. BIBLIOGRAFÍA

Asociación de Trabajadores y Centro de Contactos y Afines de Córdoba, Argentina. 2012. (<http://www.atccac.org/>)

Galdámez Duarte, Víctor Raúl; Guzmán Sarmiento, Hazael Alexander. 2011. *Evaluación térmica, energética y económica del uso de aislantes térmicos en edificio de oficinas acondicionadas en El Salvador*. Tesis de Universidad José Simeón Cañas de San Salvador, El Salvador. 61 páginas.

Goodman Manufacturing Company, L.P. 2012. *GSC Commercial Split System Air Conditioner Specification Manual*. Houston, Texas, USA. 8 páginas.

Instituto nacional de sismología, vulcanología, meteorología e hidrología, INSIVUMEH (<http://www.insivumeh.gob.gt/>).

International Window Film Association. "Window Film Information Center". 2006. (<http://www.iwfa.com/>).

Manual de Aire Acondicionado (Handbook of air conditioning system design) .2009. Carrier Air Conditioning Co. McGraw Hill, New York. 640 páginas.

McQuiston, F.C., J.D. Parker, and J.D. Spitler. 2003. *Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado: Análisis y Diseño*. México. LimusaWiley. 622 páginas

NASA Langley Research Center Atmospheric Science Data Center (<http://eosweb.larc.nasa.gov/>).

Wargocki, P.; Wyon, D.P.; Nielsen, J.P. Fanger, P.O. 2002. *Call-Centre Occupant Response to new and used filters at two outdoor air supply rates*. International Centre for Indoor Environment and Energy, Universidad técnica de Dinamarca. Dinamarca. 454 páginas.

CAPÍTULO 7. ANEXOS

Glosario

CARGA TÉRMICA: Cantidad de energía que se necesita en un área para conservar determinadas condiciones de temperatura y humedad para una aplicación específica.

CONFORT: Son aquellas condiciones que producen bienestar y comodidades.

DILATACIÓN TÉRMICA: Aumento de longitud, volumen o alguna otra dimensión métrica que sufre un cuerpo físico debido al cambio de temperatura que se provoca en ella por cualquier medio.

EFICIENCIA: Capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un efecto determinado.

EMISIVIDAD: Capacidad de un material para emitir energía radiante.

INFILTRACIONES: Flujo de aire que penetra en una habitación a través de rendijas u otras aberturas en la carpintería o huecos bajo la puerta, etc.

RADIACIÓN SOLAR: Es el flujo de energía que recibimos del sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (luz visible, infrarrojo y ultravioleta).

SEER: Seasonal Energy Efficiency Ratio por sus siglas en inglés, eficiencia de los equipos de aire acondicionado o calefacción, equivale a la carga de enfriamiento o calor entregada en Btu/hr por cada unidad de potencia eléctrica en Watts.

ASME: American society of mechanical engineers por sus siglas en inglés.

ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers por sus siglas en inglés.

CVAA: calefacción, ventilación y aire acondicionado.

TSHGF: transmitted solar heat gain factor por sus siglas en inglés, factor de ganancia de calor solar transmitido.

DISTRIBUCIÓN DE ZONAS EN LOS NIVELES

FIGURA DEL TERCER NIVEL DEL EDIFICIO PLAZA RABI

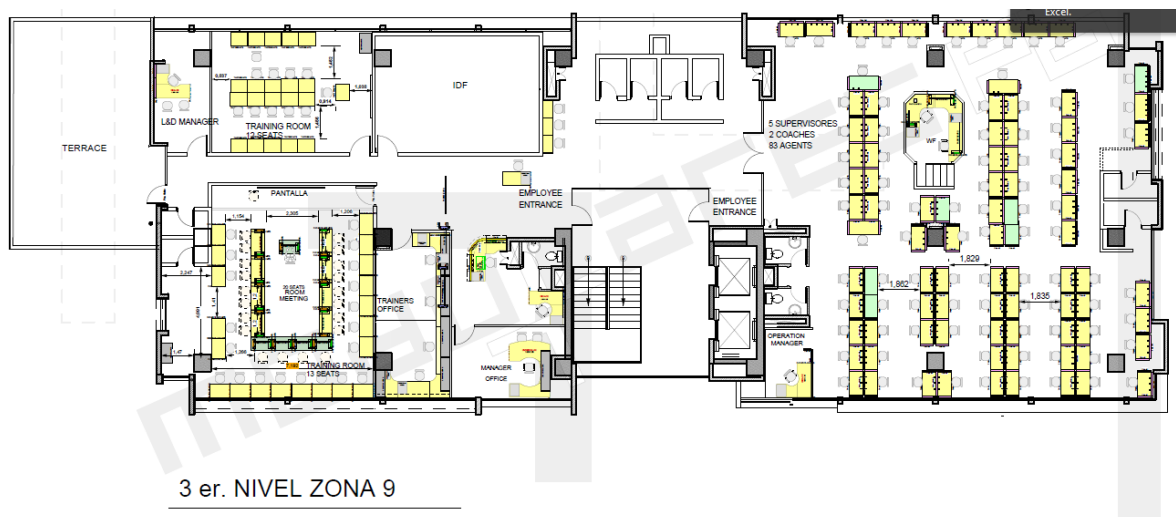


FIGURA DEL QUINTO NIVEL DEL EDIFICIO PLAZA RABI

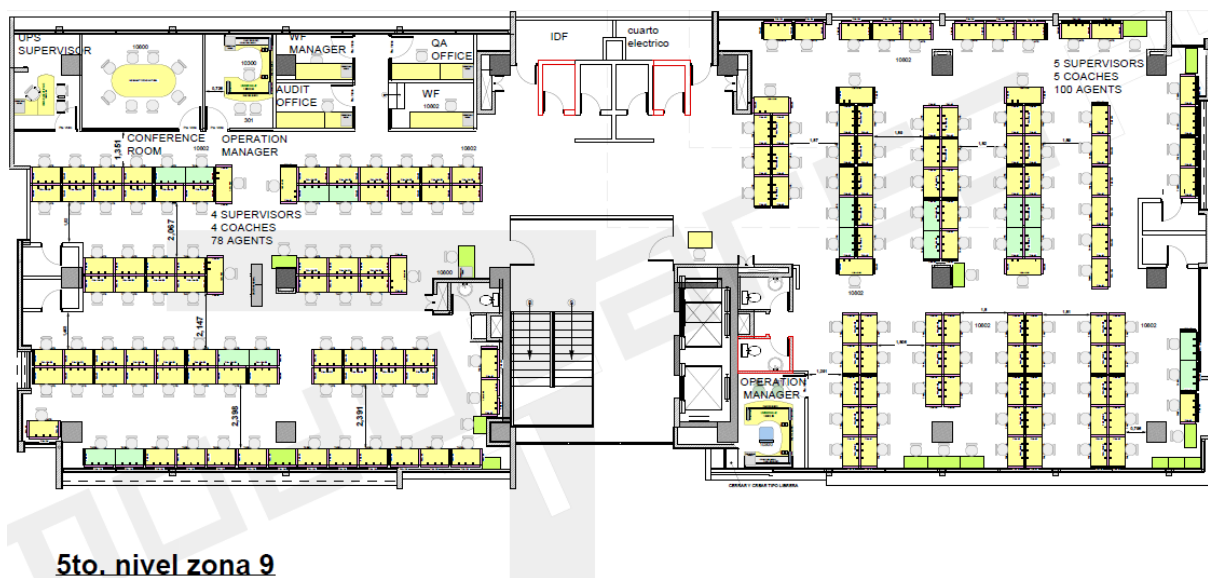
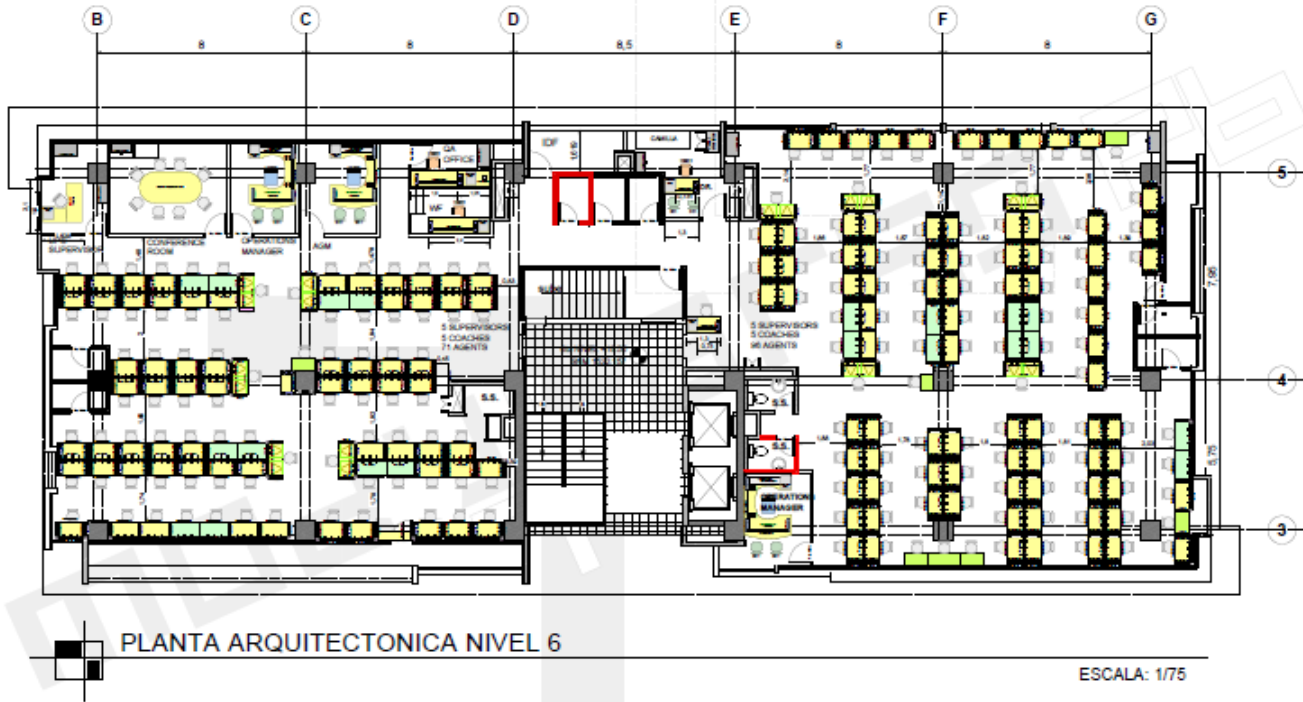


FIGURA DEL SEXTO NIVEL DEL EDIFICIO PLAZA RABI



ÁREAS DE PAREDES, VENTANAS, TECHOS Y PISOS

3er nivel - Ala Norte				
pared oeste		Áreas		
alto	3.3 m	57.4 m ²	618.1	ft ²
largo	17.4 m			
Ventanas oeste		Áreas		
alto	1.9 m	3.6 m ²	38.2	ft ²
largo	1.9 m			
alto	0.7 m	1.3 m ²	14.3	ft ²
largo	1.9 m			
alto	1.9 m	7.5 m ²	80.6	ft ²
largo	3.9 m			
alto	1.9 m	7.5 m ²	80.6	ft ²
largo	3.9 m			
alto	1.9 m	7.5 m ²	80.6	ft ²
largo	3.9 m			
alto	1.9 m	2.5 m ²	26.7	ft ²
largo	1.3 m			
alto	0.9 m	1.1 m ²	11.9	ft ²
largo	1.3 m			
		total ventanas	333.0	ft ²
pared norte		Áreas		
alto	3.3 m	51.0 m ²	548.8	ft ²
largo	15.5 m			
Ventanas norte		Áreas		
alto	1.9 m	7.5 m ²	80.6	ft ²
largo	3.9 m			
alto	1.9 m	7.5 m ²	80.6	ft ²
largo	3.9 m			
alto	1.9 m	1.2 m ²	13.4	ft ²
largo	0.7 m			
		total ventanas	174.6	ft ²
pared este		Áreas		
alto	3.3 m	54.1 m ²	582.5	ft ²
largo	16.4 m			
Ventanas este		Áreas		
alto	1.9 m	2.6 m ²	27.9	ft ²
largo	1.4 m			
alto	1.9 m	7.5 m ²	80.6	ft ²
largo	3.9 m			
alto	1.9 m	7.5 m ²	80.6	ft ²
largo	3.9 m			
alto	1.9 m	7.5 m ²	80.6	ft ²
largo	3.9 m			
alto	1.9 m	7.5 m ²	80.6	ft ²
largo	3.9 m			
alto	1.9 m	2.1 m ²	22.7	ft ²
largo	1.1 m			
alto	0.7 m	0.8 m ²	8.3	ft ²
largo	1.1 m			
		total ventanas	300.7	ft ²
ventanas a polarizar		Áreas		
		75.1 m ²	808.3	ft ²
suelo		Áreas		
		288.3 m ²	3103.2	ft ²
techo		Áreas		
		288.3 m ²	3103.2	ft ²

5to nivel - Ala Norte				
pared oeste		Áreas		
alto	3.3 m	57.4 m ²	618.1	ft ²
largo	17.4 m			
Ventanas oeste		Áreas		
alto	1.9 m	3.6 m ²	38.2	ft ²
largo	1.9 m			
alto	0.7 m	1.3 m ²	14.3	ft ²
largo	1.9 m			
alto	1.9 m	7.5 m ²	80.6	ft ²
largo	3.9 m			
alto	1.9 m	7.5 m ²	80.6	ft ²
largo	3.9 m			
alto	1.9 m	7.5 m ²	80.6	ft ²
largo	3.9 m			
alto	1.9 m	7.5 m ²	80.6	ft ²
largo	3.9 m			
alto	1.9 m	2.5 m ²	26.7	ft ²
largo	1.3 m			
alto	0.9 m	1.1 m ²	11.9	ft ²
largo	1.3 m			
		total ventanas	333.0	ft ²
pared norte		Áreas		
alto	3.3 m	51.0 m ²	548.8	ft ²
largo	15.5 m			
Ventanas norte		Áreas		
alto	1.9 m	7.5 m ²	80.6	ft ²
largo	3.9 m			
alto	1.9 m	7.5 m ²	80.6	ft ²
largo	3.9 m			
alto	1.9 m	1.2 m ²	13.4	ft ²
largo	0.7 m			
		total ventanas	174.6	ft ²
pared este		Áreas		
alto	3.3 m	54.1 m ²	582.5	ft ²
largo	16.4 m			
Ventanas este		Áreas		
alto	1.9 m	2.6 m ²	27.9	ft ²
largo	1.4 m			
alto	1.9 m	7.5 m ²	80.6	ft ²
largo	3.9 m			
alto	1.9 m	7.5 m ²	80.6	ft ²
largo	3.9 m			
alto	1.9 m	7.5 m ²	80.6	ft ²
largo	3.9 m			
alto	1.9 m	7.5 m ²	80.6	ft ²
largo	3.9 m			
alto	1.9 m	2.1 m ²	22.7	ft ²
largo	1.1 m			
alto	0.7 m	0.8 m ²	8.3	ft ²
largo	1.1 m			
		total ventanas	300.7	ft ²
ventanas a polarizar		Áreas		
		75.1 m ²	808.3	ft ²
suelo		Áreas		
		334.3 m ²	3598.4	ft ²
techo		Áreas		
		334.3 m ²	3598.4	ft ²

5to nivel - Ala Sur				
pared oeste		Áreas		
alto	3.3 m	57.4 m ²	618.1	ft ²
largo	17.4 m			
Ventanas oeste		Áreas		
alto	2.3 m	32.2 m ²	346.6	ft ²
largo	14.0 m			
		total ventanas	346.6	ft ²
pared sur		Áreas		
alto	3.3 m	33.0 m ²	355.2	ft ²
largo	10.0 m			
Ventanas sur		Áreas		
alto	1.9 m	9.4 m ²	101.3	ft ²
largo	4.9 m			
alto	1.9 m	5.0 m ²	53.7	ft ²
largo	2.6 m			
		total ventanas	155.0	ft ²
pared este		Áreas		
alto	3.3 m	54.1 m ²	582.5	ft ²
largo	16.4 m			
Ventanas este		Áreas		
alto	1.9 m	7.2 m ²	77.7	ft ²
largo	3.8 m			
alto	1.9 m	7.2 m ²	77.7	ft ²
largo	3.8 m			
alto	1.9 m	7.2 m ²	77.7	ft ²
largo	3.8 m			
alto	1.9 m	7.2 m ²	77.7	ft ²
largo	3.8 m			
alto	0.9 m	3.4 m ²	36.8	ft ²
largo	3.8 m			
alto	2.8 m	2.8 m ²	30.1	ft ²
largo	1.0 m			
		total ventanas	377.8	ft ²
ventanas a polarizar	Áreas			
	49.5 m ²	532.8	ft ²	
suelo	Áreas			
	272.9 m ²	2937.5	ft ²	
techo	Áreas			
	272.9 m ²	2937.5	ft ²	

6to nivel - Ala Norte				
pared oeste		Áreas		
alto	3.3 m	53.1 m ²	571.9	ft ²
largo	16.1 m			
Ventanas oeste		Áreas		
alto	1.9 m	3.6 m ²	38.2	ft ²
largo	1.9 m			
alto	0.7 m	1.3 m ²	14.3	ft ²
largo	1.9 m			
alto	1.9 m	7.5 m ²	80.6	ft ²
largo	3.9 m			
alto	1.9 m	7.5 m ²	80.6	ft ²
largo	3.9 m			
alto	1.9 m	7.5 m ²	80.6	ft ²
largo	3.9 m			
		total ventanas	294.4	ft ²
pared norte		Áreas		
alto	3.3 m	51.0 m ²	548.8	ft ²
largo	15.5 m			
Ventanas norte		Áreas		
alto	1.9 m	6.3 m ²	68.2	ft ²
largo	3.3 m			
alto	2.0 m	1.3 m ²	14.2	ft ²
largo	0.7 m			
alto	0.5 m	0.4 m ²	3.8	ft ²
largo	0.7 m			
alto	1.9 m	7.5 m ²	80.6	ft ²
largo	3.9 m			
alto	1.9 m	1.2 m ²	13.4	ft ²
largo	0.7 m			
		total ventanas	180.2	ft ²
pared este		Áreas		
alto	3.3 m	54.1 m ²	582.5	ft ²
largo	16.4 m			
Ventanas este		Áreas		
alto	1.9 m	2.6 m ²	27.9	ft ²
largo	1.4 m			
alto	1.9 m	7.5 m ²	80.6	ft ²
largo	3.9 m			
alto	1.9 m	7.5 m ²	80.6	ft ²
largo	3.9 m			
alto	1.9 m	7.5 m ²	80.6	ft ²
largo	3.9 m			
alto	1.9 m	1.2 m ²	12.4	ft ²
largo	0.6 m			
alto	0.7 m	0.4 m ²	4.5	ft ²
largo	0.6 m			
		total ventanas	286.6	ft ²
ventanas a polarizar	Áreas			
	70.7 m ²	761.2	ft ²	
suelo	Áreas			
	362.3 m ²	3899.8	ft ²	
techo	Áreas			
	362.3 m ²	3899.8	ft ²	

6to nivel - Ala Sur					
pared oeste		Áreas			
alto	3.3 m	57.4	m ²	618.1	ft ²
largo	17.4 m				
Ventanas oeste		Áreas			
alto	2.3 m	32.2	m ²	346.6	ft ²
largo	14.0 m				
		total ventanas		346.6	ft ²
pared sur		Áreas			
alto	3.3 m	28.7	m ²	309.0	ft ²
largo	8.7 m				
Ventanas sur		Áreas			
alto	1.9 m	9.4	m ²	101.3	ft ²
largo	4.9 m				
alto	1.9 m	5.0	m ²	53.7	ft ²
largo	2.6 m				
		total ventanas		155.0	ft ²
pared este		Áreas			
alto	3.3 m	54.1	m ²	582.5	ft ²
largo	16.4 m				
Ventanas este		Áreas			
alto	2.2 m	6.4	m ²	68.7	ft ²
largo	2.9 m				
alto	2.4 m	1.6	m ²	17.5	ft ²
largo	0.7 m				
alto	2.4 m	1.6	m ²	17.5	ft ²
largo	0.7 m				
alto	2.2 m	6.6	m ²	71.0	ft ²
largo	3.0 m				
alto	2.2 m	6.6	m ²	71.0	ft ²
largo	3.0 m				
alto	2.9 m	2.9	m ²	31.2	ft ²
largo	1.0 m				
		total ventanas		276.9	ft ²
ventanas a polarizar		Áreas			
		40.1	m ²	431.9	ft ²
suelo		Áreas			
		230.9	m ²	2485.0	ft ²
techo		Áreas			
		230.9	m ²	2485.0	ft ²

FOTOGRAFÍAS DE ÁREAS

FOTOGRAFÍA DEL ALA SUR DEL SEXTO NIVEL



FOTOGRAFÍA DEL ALA NORTE DEL QUINTO NIVEL



PRESUPUESTOS DE PROVEEDORES

Mensaje reenviado el 4/28/2011 4:00 PM. Enviado el: Thu 4/28/2011 2:21 PM

De: Carina Díaz [cdiaz@jrcentrocar.com.gt]
Para: Ramirez Mejia, Raúl
CC: g3
Asunto: Cotización polarizado

Señores ACS-BPS de Guatemala reciban un cordial saludo de parte de JR Centrocar.

Adjunto cotización de las áreas medidas en oficina a polarizar.

1) Película de control solar marca 3M Prestige 70% claro.
47.45 mts2 Q21,494.85

Este polarizado reduce el 38% de calor, 99% de rayos UV, 50% energía solar, 12% de reflejos. Total de energía reflejada 5%. Cuenta con 5 años de garantía.

A) Autorizado el trabajo, agradeceremos retiren el mobiliario cercano a las ventanas.
B) Forma de pago 75% de anticipo y 25% contra entrega. Cheque a nombre de Alineación S.A. (se aceptan previa confirmación).

Tiempo estipulado de trabajo: dos días aprox.

En espera de que esta cotización cumpla con su requerimientos.

Atentamente,

Edy Estrada
JR Centrocar
NOS TRASLADAREMOS Blvd. Vista Hermosa 18-19, zona 15 VH1 - a la par de CANAL 7
Blvd. Vista Hermosa 23-21, zona 15 VH1
2385-7040
www.jrcentrocar.com.gt

CT-1728



Guatemala, 11 de octubre de 2012.

CT-1728

Ingeniero Raúl Ramírez.
ACS.
Presente.

Estimado Ingeniero Ramírez:
PROTECCIÓN SOLAR S.A. le agradece su preferencia y en respuesta a su solicitud, tenemos el gusto de presentarle nuestra cotización para su fina consideración:

Cantidad	Producto	Precio
310.00 m ²	Película de control solar marca 3M línea Prestige 40 (PR70) . Características: <ul style="list-style-type: none"> • Película 40% transparente. • 66% Reducción del Calor. • 97% Reducción de los Rayos Infrarrojos. • 39% Transmisión de Luz Visible. • 36% Reducción del Reflejo. • 99.9% Reducción de los Rayos UV. 	Q171,299.34 (-) <u>Q 25,694.91</u> Q145,604.44

15% Desc.

Esta cotización incluye:

- Instalación de la película (previa calendarización de la misma en la agenda de nuestros técnicos).
- Garantía **LIMITADA** de 15 años.
- Mano de obra 100% profesional y certificada por 3M Guatemala

Condiciones de Pago:

- 03 pagos precio de contados los cuáles se desglosarían de la siguiente manera:
 - Primer pago contra entrega del proyecto.
 - Segundo pago a 30 días después de haber hecho entrega del proyecto.
 - Tercer pago a 60 días después de haber hecho entrega del proyecto.
- Si su pago lo va a realizar por medio de cheque por favor emitirlo a nombre de PROTECCIÓN SOLAR S.A.

PROTECCIÓN SOLAR S.A.

2da. Calle 6-40 zona 9 Apartamento "B" Ciudad de Guatemala.

Teléfono: (502) 2269.4000.

Fax: (502) 2360.3868.

CT-1729



Guatemala, 11 de octubre de 2012.

CT-1729

Ingeniero Raúl Ramírez.

ACS.

Presente.

Estimado Ingeniero Ramírez:

PROTECCIÓN SOLAR S.A. les agradece su preferencia y en respuesta a su solicitud, tenemos el gusto de presentarle nuestra cotización para su fina consideración:

Cantidad	Producto	Precio
310.00 m ²	Película de control solar marca 3M línea Nisht Vision 25 (NV25) : Características: <ul style="list-style-type: none"> • Película tonalidad media color bronce. • 54% Reducción del Calor. • 24% Transmisión de Luz Visible. • 73% Reducción del Reflejo. • 99.9% Reducción Rayos UV. 	Q81,228.00 (-) Q12,184.20 Q69,043.80

15% Desc.

Esta cotización incluye:

- Instalación de la película (previa calendarización de la misma en la agenda de nuestros técnicos).
- Garantía **LIMITADA** de 10 años.
- Mano de obra 100% profesional y certificada por 3M Guatemala

Condiciones de Pago:

- 03 pagos precio de contados los cuáles se desglosarían de la siguiente manera:
 - Primer pago contra entrega del proyecto.
 - Segundo pago a 30 días después de haber hecho entrega del proyecto.
 - Tercer pago a 60 días después de haber hecho entrega del proyecto.
- Si su pago lo va a realizar por medio de cheque por favor emitirlo a nombre de PROTECCIÓN SOLAR S.A.

PROTECCIÓN SOLAR S.A.

2da. Calle 6-40 zona 9 Apartamento "B" Ciudad de Guatemala.

Teléfono: (502) 2269.4000.

Fax: (502) 2360.3868.



Cot.1334

AYRE S.A.

Guatemala 09 de Octubre de 2012

Srs.
Xerox.
Atn: Raúl Ramirez M.
Pte.

Presento a usted la cotización de, instalación de película para polarizado marca "LLUMAR" (uso Arquitectónico).

***Clase de película: Neutra, Control Solar.**

***A instalarse en: 3er nivel – Ala Norte**

Ventanas Oeste

1 vidrio de 1.90 x 1.90

1 vidrio de 1.90 x 0.70

4 vidrios de 1.90 x 3.90

1 vidrio de 1.30 x 0.90 precio: Q 11,250.00

Ventanas Norte

2 vidrios de 1.90 x 3.90

1 vidrio de 1.90 x 0.70 precio: Q 6,125.00

Ventanas Este

1 vidrio de 1.90 x 1.40

3 vidrios de 1.90 x 3.90

1 vidrio de 1.90 x 1.10

1 vidrio de 1.10 x 0.70 precio: Q 10,500.00

5o nivel – Ala Norte**Ventanas Oeste****1 vidrio de 1.90 x 1.90****1 vidrio de 1.90 x 0.70****3 vidrios de 1.90 x 3.90****1 vidrio de 1.90 x 1.30****1 vidrio de 1.30 x 0.90 precio: Q 11,250.00****Ventanas Norte****2 vidrios de 1.90 x 3.90****1 vidrio de 1.90 x 0.70 precio: Q 6,125.00****Ventanas Este****1 vidrio de 1.90 x 1.40****3 vidrios de 1.90 x 3.90****1 vidrio de 1.90 x 1.10****1 vidrio de 1.10 x 0.70 precio: Q 10,500.00****5o Nivel – Ala Sur****1 vidrio de 1.90 x 4.90****1 vidrio de 1.90 x 2.60 precio: Q 5,375.00****Ventanas Este****4 vidrios de 1.90 x 3.80****1 vidrio de 0.90 x 3.80****1 vidrio de 2.80 x 1.00 precio: Q 13,000.00****6o Nivel – Ala Norte****Ventanas Oeste****1 vidrio de 1.90 x 1.90****1 vidrio de 0.70 x 1.90****3 vidrios de 1.90 x 3.90 precio: Q 10,250.00**

Ventanas Norte**1 vidrio de 1.90 x 3.30****1 vidrio de 2.00 x 0.70****1 vidrio de 0.50 x 0.70****1 vidrio de 1.90 x 3.90****1 vidrio de 1.90 x 0.70 precio: Q 6,125.00****Ventanas Este****1 vidrio de 1.90 x 1.40****3 vidrios de 1.90 x 3.90****1 vidrio de 1.90 x 0.60****1 vidrio de 0.70 x 0.60 precio: Q 10,250.00****6o Nivel – Ala Sur
ventanas Sur****1 vidrio de 1.90 x 4.90****1 vidrio de 1.90 x 2.60 precio: Q 5,375.00****Ventanas Este****1 vidrio de 2.20 x 2.90****2 vidrios de 2.40 x 0.70****2 vidrios de 2.20 x 3.00****1 vidrio de 2.90 x 1.00 precio: Q 9,625.00**

CARACTERISTICAS:

*Marca.....LLumar de CPFILM
 *Modelo.....N1050
 *Color.....Neutro
 *Transmisión de luz visible.....50%
 *Reflexión de Luz Visible.....15%
 *Rechazo de rayo UV.....99%
 *Energía solar rechazada (calor).....45%

*Garantía: 10 años
 *Condiciones de pago: 60% Anticipo y el 40% restante contra entrega.
 *Cheque a nombre de: **AYRE, S.A.**

Marco Antonio Campos
 División : Polarizados LLUMAR

Cel : 4025-9843 E-mail : mcampos@airetec.com.gt

LAS PELÍCULAS LLUMAR SON FABRICADAS 100% EN EE.UU. POR CPFILMS, DEL QUE EN
AIRETEC SOMOS DISTRIBUIDORES EXCLUSIVOS PARA **GUATEMALA**.
WWW.LLUMAR.COM

• •
 •