

ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGETICA DE EQUIPOS Y SISTEMAS DE AIRE
ACONDICIONADO EN LA EDIFICACION DEL BLOQUE G DE LA UNIVERSIDAD
AUTONOMA DEL CARIBE.

LILI PAOLA BOLIVAR HERNANDEZ

Código: 140911254

MARIO ANDRES MARTINEZ GOMEZ

Código: 140910381

Proyecto de grado como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico.

DIRECTOR

MsC. JOSE JESUS SOLANO PEREZ

MAGISTER EN ENERGIAS

UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL CARIBE

FACULTAD DE INGENIERIA

TRABAJO DE GRADO

BARRANQUILLA

2014

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del Director del Proyecto

Firma del jurado

Firma del jurado

DEDICATORIA

Dirijo los frutos del presente proyecto a Dios en primera instancia, por ser quien me ha dado la sabiduría y fortaleza necesaria para culminarlo de manera idónea; a mi padre que desde el cielo mira con amor lo que hago, y a mi madre por enseñarme a luchar por las metas que me proponga, y por su apoyo constante.

Lili Paola Bolívar Hernández

El presente proyecto investigativo lo dedico primeramente a Dios, porque sin Él no hubiese sido posible la consecución de los objetivos trazados. A mis padres por ser mi apoyo constante, y por haberme enseñado que con responsabilidad y dedicación todo es posible.

Mario Andrés Martínez Gómez

AGRADECIMIENTOS

La consecución de los objetivos trazados a lo largo del presente proyecto no hubiese sido posible sin la ayuda de todos aquellos que de alguna manera depositaron su confianza en mí. Agradezco a Dios por que sin Él nada habría sido posible, a mi Madre y hermanos por ser la motivación para alcanzar mis metas; a mis amigos, compañeros y demás familiares por todo el apoyo brindado. Agradezco de manera especial al Ingeniero *José Solano* y a mi compañero *Mario Martínez* por su participación activa en la realización de este trabajo investigativo.

Lili Paola Bolívar Hernández

Agradezco a Dios por permitirme iniciar y culminar esta meta tan importante en mi vida, sin el nada sería posible, a mis padres *Williams Martínez B* y *Ruby Gómez P.* por los sustentos y sacrificios para que pudiera salir adelante, además de su amor y comprensión en todo momento, a mis *hermanos, compañeros y demás familiares* por su apoyo y confianza, a la *Universidad Autónoma del Caribe* y todos sus *Docentes* por tan excelente formación, y de manera especial a mi asesor de tesis *Ingeniero José Solano* y a mi compañera *Lily Bolívar* por toda la colaboración entregada en el presente trabajo investigativo con el cual optamos por el título de Ingenieros Mecánicos.

Mario Andrés Martínez Gómez

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	7
INDICE DE FIGURAS	9
INDICE DE TABLAS	10
INDICE DE ANEXOS.....	11
GLOSARIO.....	12
RESUMEN.....	13
INTRODUCCION	14
1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA	15
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
2. JUSTIFICACION	17
3. OBJETIVOS.....	18
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	18
4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	18
4. DISEÑO METODOLOGICO.....	19
5. MARCO DE REFERENCIA.....	20
6.1 MARCO TEORICO.....	20
6.1.1 CARGA TERMICA.....	22
6.1.2 EQUIPOS Y SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO	26
6.1.3 COMPORTAMIENTO DEL AIRE	30
6.1.4 SIMULACION DE EDIFICACIONES PARA CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA ..	35
6.1.5 EFICIENCIA ENERGÉTICA EN AIRES ACONDICIONADOS.....	46
6.1.6 TERMOHIGROANEMOMETRIA.....	48
6.1.7 CALCULO DE LA DEMANDA DE POTENCIA ELECTRICA DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACION Y CLIMATIZACION.....	50
6.1.8 PSICROMETRIA.....	52
6.2 MARCO CONCEPTUAL.....	55

6.3	ESTADO DEL ARTE	59
6.3.1	INVESTIGACIONES PRELIMINARES.....	59
6.3.2	ANTECEDENTES.....	63
6.	PROCEDIMIENTO	66
7.1	SIMULACIÓN ENERGÉTICA DE LA EDIFICACION.....	66
7.2	PROCEDIMIENTO DE TERMOHIGROANEMOMETRIA.....	76
8.	CALCULOS.....	80
8.1	CYPE®	80
8.2	TERMOHIGROANEMOMETRIA.....	81
9.	RESULTADOS.....	89
9.1	CYPE®	89
9.2	RESULTADOS TERMOHIGROANEMOMETRIA.....	91
10.	ANALISIS DE RESULTADOS.....	94
10.1	CYPE®	94
10.1.1	ANALISIS GRAFICO DE LA COMPARACION ENTRE TONELADAS DE REFRIGERACION REQUERIDAS Y EXISTENTES.....	96
10.1.2	COMPARACION ENTRE LAS UNIDADES CALCULADAS POR CYPE CON SEER 13 Y LAS EXISTENTES.....	99
10.2	TERMOHIGROANEMOMETRIA.....	101
11.	RECOMENDACIONES	103
12.	CONCLUSION.....	106
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	108
	BIBLIOGRAFIA.....	113
13.	ANEXOS.....	114

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Métodos de Cálculo de Carga Térmica.....	23
Figura 2. Esquema del Ciclo Ideal de Refrigeración.....	27
Figura 3. Diagrama T-s para el ciclo ideal de Refrigeración por compresión de vapor.....	28
Figura 4. Diagrama de flujo de Aire en recintos refrigerados.....	30
Figura 5. Mecanismos de transferencia de calor en un edificio	36
Figura 6. Carta psicrométrica a temperaturas normales y presión barométrica al Nivel del Mar	54
Figura 7. Ventana de inicio software Cype®	66
Figura 8. Características Paredes externas.....	68
Figura 9. Características paredes internas Enfoscado de cemento.....	69
Figura 10. Características paredes internas Yeso- cartón	70
Figura 11. Características paredes internas Madera	71
Figura 12. Características Vidrio común	73
Figura 13. Características Solera de Loza Maciza.....	74
Figura 14. Carta Psicrométrica para Ítem 3	82
Figura 15. Toneladas de Refrigeración Requeridas vs. Existentes. Primer Piso. ...	96
Figura 16. Toneladas de Refrigeración Requeridas vs. Existentes. Segundo Piso.	97
Figura 17. Toneladas de Refrigeración Requeridas vs. Existentes. Tercer Piso. ...	97
Figura 18. Toneladas de Refrigeración Requeridas vs. Existentes. Cuarto Piso...	98

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de los principales programas de Simulación Energética.	62
Tabla 2. Inventario Aires Acondicionados Primer Piso Bloque G.....	76
Tabla 3. Inventario Aires Acondicionados Segundo Piso Bloque G.....	77
Tabla 4. Inventario Aires Acondicionados Tercer Piso Bloque G.....	77
Tabla 5. Inventario Aires Acondicionados Cuarto Piso Bloque G	78
Tabla 6. Valores tomados por instrumentos de medición	79
Tabla 7. Humedad absoluta de salida y entrada de las Manejadoras.....	84
Tabla 8. Informe Carga Térmica Sala de Informática 8	90
Tabla 9. Resultados Termohigroanemometría Aires Acondicionados Bloque G SEER 10	91
Tabla 10. Resultados Termohigroanemometría Aires Acondicionados Bloque G SEER 10 (Continuación).....	92
Tabla 11. Resultados Termohigroanemometría Aires Acondicionados Bloque SEER 13	93
Tabla 12. Ahorro energético de las unidades con capacidad calculada por CYPE® con SEER 13 con respecto al consumo de las unidades existentes.....	99
Tabla 13. Ahorro energético de las unidades con capacidad calculada por CYPE® con SEER 13 con respecto al consumo de las unidades existentes. (Continuación)	100

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Tabla de Presión de Saturación del Agua a diferentes temperaturas...	114
Anexo 2. Pinza Amperimétrica.....	115
Anexo 3. Datalogger.	115
Anexo 4. Anemómetro.	116
Anexo 5. Construcción Bloque G Universidad Autónoma del Caribe en Cype® ..	116
Anexo 6. Tabla Comparativa Toneladas de Refrigeración Requeridas vs. Existentes.	117
Anexo 7. Tabla Comparativa Toneladas de Refrigeración Requeridas vs. Existentes.	118

GLOSARIO

Anemómetro: Instrumento que sirve para medir la dirección y fuerza del viento.

Climatización: Consiste en crear unas condiciones de temperatura, humedad y limpieza del aire adecuadas para la comodidad dentro de los espacios habitados.

Eficiencia energética: Obtención de los mismos bienes y servicios energéticos, pero con mucha menos energía, con la misma o mayor calidad de vida, con menos contaminación, a un precio inferior al actual, alargando la vida de los recursos y con menos conflicto.

Refrigeración: Proceso que consiste en bajar o mantener el nivel de calor de un cuerpo o un espacio.

Simulación: Es una técnica para analizar y estudiar sistemas complejos.

Termodinámica: Rama de la física que describe los estados de equilibrio a nivel macroscópico.

Termohigroanemometro: Instrumento utilizado para medir tres variables fundamentales: Temperatura, Velocidad del Aire y Humedad.

RESUMEN

La eficiencia energética en edificaciones es un tema que está dando de qué hablar en la actualidad, teniendo en cuenta el sin número de beneficios que trae consigo. Para países como Colombia es un campo relativamente nuevo por lo cual es necesario implementarlo en las diversas instituciones, especialmente en la academia. Para obtener resultados favorables en cuanto a la Eficiencia Energética, es necesario un estudio exhaustivo de todas las variables al interior de la edificación; analizando la energía que se gasta contrastándola con la que se debería gastar. Para de esta manera ofrecer soluciones y alternativas de mejora ante la posible baja eficiencia. Todo esto se expondrá en el desarrollo del presente proyecto investigativo, desde el ámbito de los equipos de refrigeración y aire acondicionado, y ayudándose del software de simulación energética y cálculo de carga térmica CYPE®.

INTRODUCCION

En la actualidad, el tema de la eficiencia energética ha tomado gran relevancia en el mundo entero, y muy especialmente en las grandes potencias mundiales. Al referirse a este tema se hace un enfoque a la menor cantidad de consumo de energía posible, para la mayor satisfacción de las necesidades. Cabe anotar, que se habla con tanto interés de este tema porque esto supone una mejora para el medio ambiente, y un ahorro monetario en lo que al pago de facturas de energía se refiere; aparte de contribuir a la mejora del bienestar de la comunidad en general.

Existen muchas maneras de mejorar la eficiencia energética de una edificación; sin embargo uno de los aspectos en los que más enfoque existe para este fin es el campo de la climatización. Ha sido precisamente este interés por mejorar la eficiencia energética, lo que ha llevado a que el presente proyecto investigativo se oriente al estudio y posible mejora energética de los equipos y sistemas de aire acondicionado del Bloque G de la Universidad Autónoma del Caribe.

Para tal fin se utilizaran diversos tipos de herramientas para el análisis de la edificación; por un lado la simulación del comportamiento energético por medio de un software de cálculo de Carga Térmica, y por otro el análisis mediante el Termohigroanemometro de los equipos de refrigeración.

Esto con el objeto de proponer recomendaciones que mejoren la eficiencia energética de los aires acondicionados de la edificación en estudio.

1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Grandes potencias mundiales como Estados Unidos y España, en busca del mejoramiento sostenible, han tenido una serie de adelantos en materia de climatización, entendiéndose por ellas los procesos de aire acondicionado de confort. Esto es contrario a lo que sucede en América Latina, que en medio de este tiempo de grandes revoluciones tecnológicas, ha tenido un desarrollo minúsculo en este mismo aspecto¹.

Sin embargo, y a pesar de esta situación; en Colombia actualmente son cada vez más las instituciones que entienden la importancia de este tema, y realizan proyectos enfatizados a mejorar la eficiencia energética. Un ejemplo de estas instituciones es la Asociación colombiana del Acondicionamiento del Aire y la Refrigeración ACAIRE², que basándose en normas y estándares tales como: ASHRAE³ (American Society of Heating Refrigerating & Air Conditioning Engineers), AHRI⁴ (Air-conditioning, Heating & Refrigeration Institute) y RITE⁵ (Reglamentos de Instalaciones Térmicas en edificios); pretende implementar normativas que certifiquen personal capacitado y desempeño de equipos.

¹ Camilo Botero. Asociación colombiana del Acondicionamiento del Aire y de la Refrigeración ACAIRE. Editorial. Disponible en: <http://www.acaire.org/doc/revistasAnteriores/revistaAcaire61.pdf>, Enero 2014.

² ACAIRE (Asociación Colombiana del Acondicionamiento del Aire y la Refrigeración). Disponible en: <http://www.acaire.org/>Enero de 2014.

³ ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers). Disponible en: <https://www.ashrae.org/home/>, Marzo de 2013.

⁴ AHRI (Air- conditioning, Heating&RefrigeratingInstitute). Disponible en: <http://www.ahrinet.org>, Enero de 2014.

⁵ RITE (Reglamentos de Instalaciones Térmicas en edificios). Disponible en: <http://www.idae.es/index.php/id.27/relcategoria.1030/mod.pags/mem.detalle>, Enero de 2014.

Aun con todo lo anterior, en la consecución de certificaciones y normativas está casi todo pendiente por recorrer, con tal de llegar a los estándares que se pretenden para ser altamente competitivos en el entorno mundial.

Esto es una motivación para hacer un estudio del caso particular de la Universidad Autónoma del Caribe; donde la gran mayoría de las edificaciones tienen más de diez años de haber sido construidas, por lo cual hay mayores posibilidades de lograr una mejora de la eficiencia energética⁶, específicamente en los equipos y sistemas de aire acondicionado.

¿Los equipos y sistemas de aire acondicionado ubicados en el Bloque G de la Universidad Autónoma del Caribe poseen una eficiencia energética conforme a las recomendaciones de países adelantados en materia de climatización?

⁶ Kent Peterson. Presidente ASHRAE año 2007. "El estándar 189.1 ayudara a preparar el terreno a un futuro más verde". Revista ACAIRE #61.

2. JUSTIFICACION

La Universidad Autónoma del Caribe posee edificaciones con más de diez años de existencia; como es el caso específico del Bloque G. Por consiguiente es probable que en su diseño e implementación de equipos, no se haya tenido en cuenta el uso racional de la energía.

En este aspecto es importante considerar que el enfoque del análisis de la eficiencia energética, debe estar puesto en los servicios que presta la energía y no en las fuentes de energía⁷.

El propósito del presente proyecto investigativo es estudiar la eficiencia energética de los equipos de aire acondicionado de la edificación del Bloque G de la Universidad Autónoma del Caribe, en busca de comprobar la hipótesis planteada frente a edificaciones de más de una década de funcionamiento en países como el nuestro.

⁷ Foro Frio. Eficiencia energética en equipos y sistemas de aire acondicionado. Disponible en: http://www.forofrio.com/index.php?option=com_content&view=article&id=88:eficiencia Diciembre de 2013.

3. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

- Realizar un estudio de eficiencia energética de los equipos de aire acondicionado del Bloque G de la Universidad Autónoma del Caribe mediante la simulación del comportamiento energético de la edificación y el análisis mediante la Termohigroanemometría de los equipos y sistemas.

4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Recopilar información y datos de operación de la edificación a la cual se le hará el estudio de carga térmica.
- Analizar el comportamiento de los equipos de refrigeración de la edificación mediante el análisis de datos obtenidos de la Termohigroanemometría y comparar la razón de eficiencia energética calculada con la razón mínima recomendada.
- Simular el modelo de comportamiento energético de la edificación mediante el software Cype® y comparar los resultados con la carga térmica que proporcionan los equipos actuales.
- Identificar cual es el sistema operativo de mayor consumo dentro de la edificación y recomendar los cambios a realizar para mejorar la eficiencia energética.

4. DISEÑO METODOLOGICO

El proyecto seguirá un tipo de investigación explicativa. Para lograr la consecución del objetivo del proyecto, se hará primeramente un estudio de la edificación correspondiente al bloque G de la Universidad Autónoma del Caribe, así se podrá determinar el levantamiento arquitectónico y los datos de operación en la misma.

Así teniendo un concepto claro de lo que se va a realizar y basándonos en los conocimientos teóricos acerca de los comportamientos energéticos dentro de la edificación se procede a realizar una simulación utilizando el software *Cype*[®] para luego ser comparado con las toneladas de refrigeración con las que cuentan los equipos existentes.

Consecutivamente, se realiza el estudio mediante el Termohigroanemometro de los equipos de aire acondicionado de la edificación, observando el consumo de energía y la razón de eficiencia energética.

De esta manera, luego de hacer un amplio estudio de la eficiencia energética del sistema de aires acondicionados, se podrán ofrecer recomendaciones de los cambios que se deben hacer dentro de la edificación para mejorar la eficiencia de su comportamiento energético.

Dentro de todo este proceso será necesario documentarse de los últimos avances en materia de eficiencia energética, puesto que siendo un campo que ha evolucionado altamente en los últimos años, es necesario tener una idea amplia de lo que se está realizando.

5. MARCO DE REFERENCIA

5.1 MARCO TEORICO

El estudio de carga térmica y el modelo energético se han posicionado como aspectos de gran interés en el acondicionamiento de gran cantidad de recintos, con el fin de lograr un uso eficiente de la energía. Sin embargo, años atrás esto no se realizaba de tal manera, sino que por el contrario se escogía el sistema de refrigeración de manera arbitraria y sin ningún tipo de estudio previo.

La idea del presente trabajo investigativo, es precisamente hacer el modelo energético de una edificación antigua con las características expuestas anteriormente, con el fin de ofrecer recomendaciones para el mejoramiento de la eficiencia energética en la elección de equipos de aire acondicionado que cumpla con los requerimientos energéticos para el bienestar y confort dentro de la edificación.⁸

Para la evaluación del uso energético de los equipos existentes, uno de los métodos que mayor exactitud ofrece, es la técnica conocida como Termohigroanemometría; que por medio de un Termohigroanemometro, mide los parámetros termodinámicos del aire para posteriormente realizar el respectivo balance de energía⁹, y este valor relacionarlo con la potencia eléctrica consumida

⁸Guillermo Gómez Prada, Jesús Maellas Benito, Borja Plaza Gallardo, Manuela Nieto García. Estado del arte de la modelización energética de edificios. Disponible en: http://www.sostenibilidades.org/sites/default/files/Recursos/Publicaciones/estado_del_arte_de_la_modelizacion_energetica_edificios.pdf Abril 21 de 2013.

⁹Watergy México. Eficiencia Integral en Agua y Energía. Curso básico de ahorro de energía eléctrica. Disponible en: <http://watergymex.org/contenidos/rtecnicos/Diagnosticos%20para%20agua%20y%20energia/CURSO%20BASICO%20DE%20AHORRO%20DE%20ENERGIA%20ELECTRICA.pdf> Enero de 2014

por el equipo. Lo anterior con el fin de determinar la eficiencia energética de los mismos¹⁰.

Para hacer una explicación sustanciosa de los objetivos del presente trabajo investigativo es necesario dejar en claro una serie de fundamentos teóricos que lo sustentan.

¹⁰ Ángela Matesanz Parellada. Ciudades para un futuro más sostenible. Eficiencia Energética. Disponible en: <http://habitat.aq.upm.es/temas/a-eficiencia-energetica.html> Enero de 2014.

5.1.1 CARGA TERMICA

El cálculo de carga térmica del espacio por refrigerar es importante en la selección correcta del equipo, permitiendo diseñar los elementos que componen una instalación de refrigeración. Esta carga térmica se define como el fenómeno que tiende a modificar tanto la temperatura como la humedad absoluta¹¹ dentro de un recinto; es decir, la cantidad de calor que debe ser retirada del sitio por refrigerar para obtener la temperatura deseada.

5.1.1.1 METODOS DE CÁLCULO DE LA CARGA TERMICA

Son diversos los métodos utilizados para calcular la carga térmica de un recinto; en su orden de menor a mayor complejidad y precisión están: Cargas Instantáneas, E20 Carrier, ASHRAE CLTD/CLF, Funciones de transferencia y Balance Térmico¹².

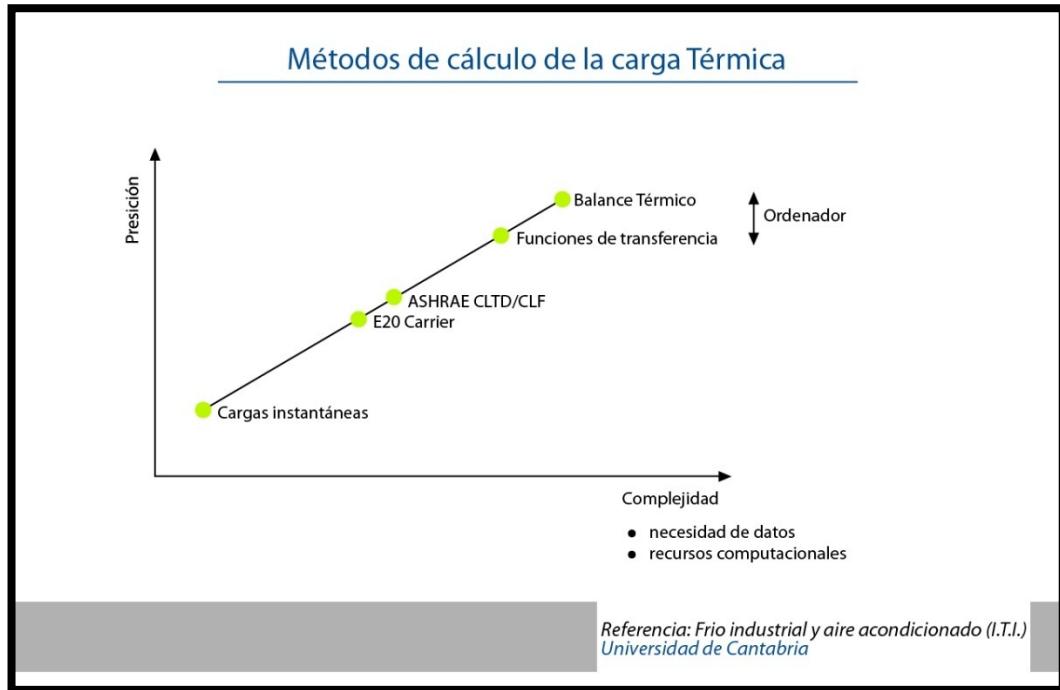
Para el desarrollo de este proyecto, el software utilizado se basa en el método de Funciones de transferencia para el Cálculo de Carga Térmica del recinto.

En la figura a continuación se presentan las características de precisión vs complejidad de los métodos de cálculo de carga térmica más conocidos.

¹¹José Manuel Pinazo Ojer. Manual de climatización: T. II, Cargas térmicas, Volumen 2 Pág. 100

¹² Sergio Corp Linares, Manuel Álvarez González, Lisandro Vázquez Hernández. Cargas Térmicas en las cámaras de clima controlado que utilizan la energía solar. Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía (CUBAENERGÍA). Disponible en: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar12/HTML/articulo04.htm>, Abril de 2013.

Figura 1. Métodos de Cálculo de Carga Térmica.



Fuente: Carlos J. Renedo. Universidad de Cantabria. Cargas Térmicas de Refrigeración y Acondicionamiento de Aire. Disponible en: <http://ocw.unican.es/enseanzas-tecnicas/frio-industrial-y-aire-acondicionado/material-de-clase-2/003%20Cargas%20Termicas.pdf>, Abril de 2013.

5.1.1.2 COMPONENTES DE LA CARGA TERMICA

Generalmente, en refrigeración, las cargas se dividen en interiores y exteriores:

Cargas Exteriores

- Cargas a través de paredes, techos y suelos: Existe un tipo de carga sensible, producto de la transferencia de calor que se da a través de las superficies de la edificación. Esta situación aportara un calor que hará que se aumente la temperatura del aire.
- Cargas a través de superficies acristaladas y ventanales: Es en su totalidad carga sensible. Se da una transmisión de calor a través de superficies semitransparentes, lo que induce en gran parte una transferencia de calor por radiación.
- Cargas por ventilación: En muchas edificaciones se toma el aire externo, ya sea para mantener la pureza en el aire o para facilitar la respiración. Debido a que este aire se encuentra a diferente temperatura, y que tiene un porcentaje diferente de vapor de agua; se puede hablar de carga latente y carga sensible.
- Carga por infiltración: Las edificaciones cuentan con puertas y ventanas por medio de las cuales entra una cierta cantidad de aire del exterior que no es controlada; e induce en una cierta cantidad de carga latente y sensible.

Cargas Interiores

- Cargas por ocupantes: Los seres humanos, teniendo en cuenta la actividad que ejecuten y la temperatura ambiente a la que se encuentren, disipan una cierta cantidad de calor. Esta carga se da bajo forma sensible y latente.

- Cargas por Iluminación: La iluminación sustenta cierto consumo de energía, la cual se transformara en energía térmica. Esta incide en la edificación bajo la forma de carga sensible.
- Carga debido a máquinas y motores: La cantidad de calor que disipen depende de la naturaleza de la máquina. Sin embargo, son capaces de aportar tanto carga sensible como latente.

5.1.2 EQUIPOS Y SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO

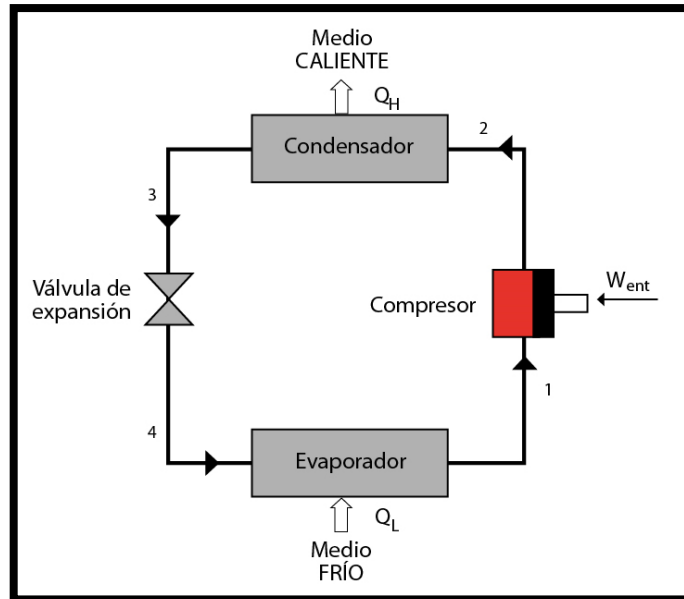
Para contrarrestar la carga térmica generada en los recintos, se utilizan equipos y máquinas de tratamiento de aire en busca de generar un ambiente de confort a las personas que se encuentran al interior del recinto.

5.1.2.1 CICLO TERMODINÁMICO

Los aires acondicionados poseen un ciclo de refrigeración formado por cuatro componentes: Compresor, Condensador, Válvula de expansión y Evaporador. En este sistema, el compresor succiona gas refrigerante a baja presión y temperatura del evaporador, en el cual se realiza el intercambio directo de calor entre el aire y el refrigerante para luego ser comprimido y enviado a alta presión y temperatura hacia el condensador, ubicado en el exterior para así rechazar el calor del evaporador más el trabajo del compresor. Finalmente el refrigerante condensado a alta presión y temperatura se expande a través de un dispositivo de expansión, que puede ser un capilar o generalmente una válvula de expansión; hasta la baja presión y temperatura del evaporador, para iniciar nuevamente el ciclo¹³ (Figura 2).

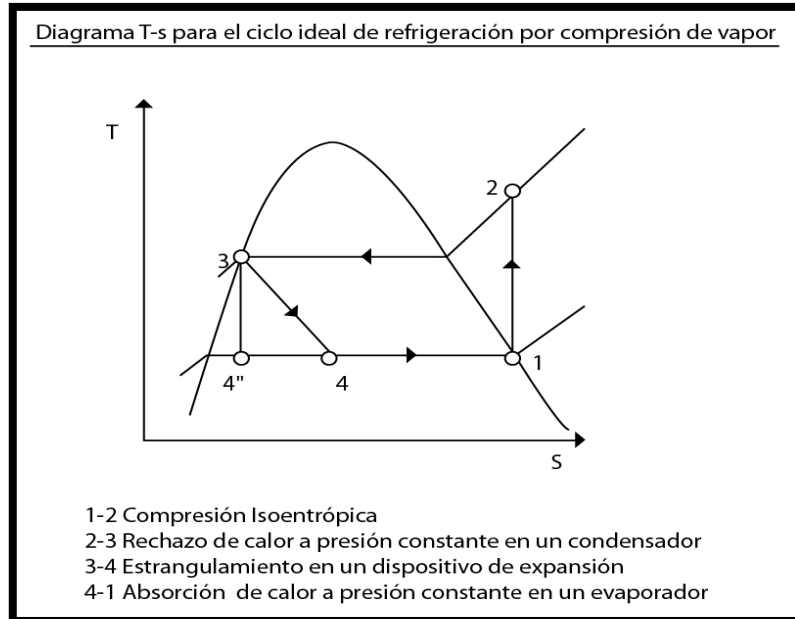
¹³ José A. Díaz, Juan J. Tineo. Empresa Eléctrica Socialista CORPOELEC. Procedimiento para evaluar la eficiencia energética de los sistemas de climatización y refrigeración de expansión directa (DX) con condensadores de aire y evaporativos. Disponible en: <http://sistemamid.com/preview.php?a=6135> Enero de 2014.

Figura 2.Esquema del Ciclo Ideal de Refrigeración.



Fuente: Yunus A. Cengel, Michael A. Boles. Termodinámica. Mc Graw Hill. Sexta Edición. 2009. México.

Figura 3. Diagrama T-s para el ciclo ideal de Refrigeración por compresión de vapor.



Fuente: Yunus A. Cengel, Michael A. Boles. Termodinámica. Mc Graw Hill. Sexta Edición. 2009. México.

5.1.2.2 TIPOS DE AIRES ACONDICIONADOS

En el mercado existen multitud de tipos de sistemas de aire acondicionado; estos varían según su forma y funcionamiento. Son diversos los tipos teniendo en cuenta cada una de las marcas existentes; sin embargo a continuación solo serán relacionados los que han sido objeto de estudio dentro del presente proyecto investigativo.

- SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO CENTRAL: Este es un equipo de descarga indirecta, mediante red de conductos y emisión de airea través de rejillas en pared o difusores en techo. El control es individual por equipo, y se realiza de acuerdo con las condiciones de confort de la habitación más representativa. El equipo necesita una toma de aire exterior. Se puede colocar en un falso techo o en un armario, existiendo modelos horizontales y verticales¹⁴.
- SPLIT (CONSOLA DE PARED): Resuelve necesidades de confort en recintos pequeños. Son de fácil instalación y relativo bajo costo de la misma; aparte de un mantenimiento más espaciado y relativamente fácil. Cabe anotar que son de baja capacidad¹⁵.
- SPLIT (CONSOLA DE TECHO): Es especial para recintos con alta rotación de personas y ambientes abiertos. Es de instalación relativamente sencilla y de bajo costo para el tipo de aplicación. Debido a que se ubican en ambientes con alta rotación de personas, el mantenimiento debe ser periódico¹⁶.

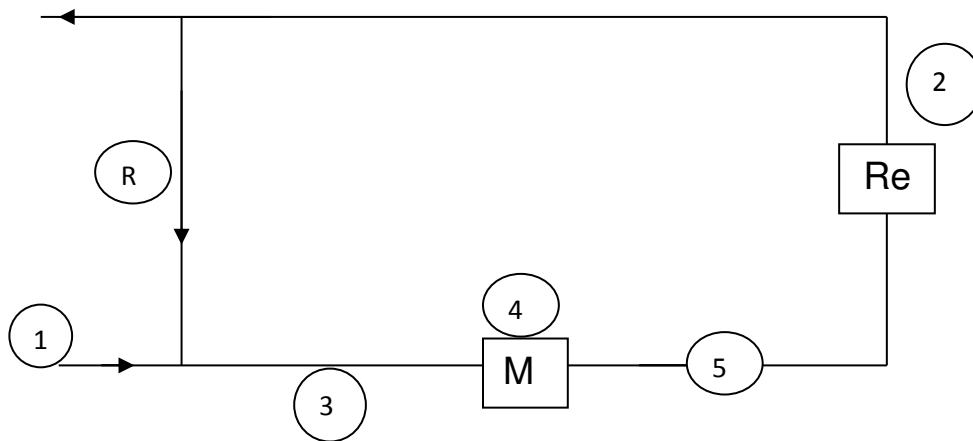
¹⁴ Reparaciones en el hogar. Tipos de Sistemas de Aires Acondicionados para Casas y cómo funcionan. Disponible en: <http://reparaciones.about.com/od/heatingcoolingrepair/a/Types-Of-Home-Air-Conditioning-Systems-And-How-They-Work.htm>, Diciembre de 2013.

¹⁵ El Aire Acondicionado. Aire Acondicionado y climatización. Disponible en: http://www.elaireacondicionado.com/tipos_aire_acondicionado/, Diciembre de 2013.

¹⁶ Aires Acondicionados. Distintos tipos de aire acondicionado. Disponible en: <http://www.airesacondicionado.com/tipos-de-aire-acondicionado.htm>, Diciembre de 2013.

5.1.3 COMPORTAMIENTO DEL AIRE

Figura 4. Diagrama de flujo de Aire en recintos refrigerados



Fuente: Los Autores.

M= Máquina (Sistema o equipo de Aire Acondicionado)

Re= Recinto a refrigerar.

1. Exterior, Aire del ambiente
 2. Salida de Aire del Recinto
 3. Punto de Mezcla de Aire del ambiente con retorno del recinto, entrada a la Máquina
 4. Refrigeración de flujo de Aire
 5. Aire a la salida de la Máquina, Entrada al Recinto
- R. Aire de retorno del recinto.

En la figura descrita anteriormente se observa el ciclo normal del aire en recintos refrigerados, el cual ingresa del exterior y se mezcla con aire de retorno del recinto, fluye a través de la máquina (Aire Acondicionado) donde le es retirado

calor para luego ingresar al recinto donde absorbe calor (Carga térmica), al final el flujo retorna a la máquina para iniciar nuevamente el ciclo.

A partir de este comportamiento del flujo de Aire se plantean una serie de balances y ecuaciones descritas a continuación:

BALANCE DE MASA DEL PUNTO DE MEZCLA (3).

A continuación, se presenta el balance de masa para el punto donde se mezclan el aire del recinto con el exterior.

$$\dot{m}_R = \dot{m}_3 - \dot{m}_1 \text{ Ecuación 1.}$$

Donde,

\dot{m}_R = Porción de flujo másico de aire del recinto que se mezcla con el exterior.

\dot{m}_1 = Es el flujo másico de aire del exterior.

\dot{m}_3 = Es el flujo másico de mezcla de aire externo con retorno.

BALANCE DE ENERGÍA DEL PUNTO DE MEZCLA (3)

Basados en la Segunda Ley de la Termodinámica, se realiza el balance de energía para el punto de mezcla; con lo cual se permite hallar el calor total del aire de retorno del recinto.

$$Q_R = Q_3 - Q_1 \text{ Ecuación 2.}$$

Donde,

Q_R = Calor Total del aire de retorno del recinto.

Q_1 = Calor Latente del aire del exterior.

Q_3 = Calor Total de la mezcla de aire externo con el retorno del recinto.

BALANCE DE ENERGÍA DE LA MÁQUINA (M)

Basados en el mismo principio del balance de energía del punto de mezcla, se halla el calor total extraído del flujo de aire por la máquina.

$$Q_{TM} = Q_{LM} + Q_{SM} \text{ Ecuación 3.}$$

Teniendo en cuenta el balance de energía inmediatamente anterior, el calor latente extraído del flujo de aire por la máquina depende del flujo másico, la entalpia de vaporización del agua, y la humedad absoluta del aire a la entrada y salida de la máquina.

$$Q_{LM} = \dot{m}_3 * hfg * (W_3 - W_5) \text{ Ecuación 4.}$$

Donde,

Q_{TM} =Calor Total extraído del flujo de aire por la máquina.

Q_{LM} =Calor Latente extraído del flujo de aire por la máquina.

Q_{SM} = Calor Sensible extraído del flujo de aire por la máquina.

W_3 = Humedad Absoluta del aire a la entrada de la máquina.

W_5 = Humedad Absoluta del aire a la salida de la máquina.

h_{fg} = Entalpia de vaporización del agua.

Por otro lado, el calor sensible extraído del flujo de aire por la máquina, depende del flujo másico al igual que el calor latente, del calor específico del aire, y de la diferencia de temperatura a la salida y entrada de la máquina.

$$Q_{sM} = \dot{m}_3 * C_p * (T_3 - T_5) \text{ Ecuación 5.}$$

Donde,

T_3 = Temperatura del aire a la entrada de la máquina

T_5 = Temperatura del aire a la salida de la máquina

C_p = Calor específico del Aire.

BALANCE DE ENERGÍA DEL RECINTO (Re)

Nuevamente, el balance de energía del recinto, se basa en la Primera Ley de la Termodinámica.

$$Q_{TRe} = Q_{lRe} + Q_{sRe} \text{ Ecuación 6.}$$

Se sigue el mismo principio del calor latente extraído del flujo de aire por la máquina.

$$Q_{lRe} = \dot{m}_3 * hfg * (W_2 - W_5) \text{ Ecuación 7.}$$

Donde,

Q_{TRe} = Calor total retirado del recinto.

Q_{lRe} = Calor latente retirado del recinto.

Q_{sRe} = Calor Sensible retirado del recinto.

W_2 = Humedad Absoluta del aire a la salida del Recinto.

Se sigue el mismo principio del calor sensible extraído del flujo de aire por la máquina.

$$Q_{sRe} = \dot{m}_3 * Cp * (T_2 - T_5) \text{ Ecuación 8.}$$

Donde,

T_2 = Temperatura del aire a la salida del Recinto

5.1.4 SIMULACION DE EDIFICACIONES PARA CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA

La simulación es una herramienta de análisis para el estudio del comportamiento de los edificios, los sistemas técnicos que lo componen y su interacción con el entorno.

De esta manera, permite realizar un diagnóstico de consumos derivados del funcionamiento del edificio desde el punto de vista del diseño térmico y de la optimización de las instalaciones, ajustando las construcciones en fase de diseño a las nuevas necesidades y directivas energéticas del sector¹⁷.

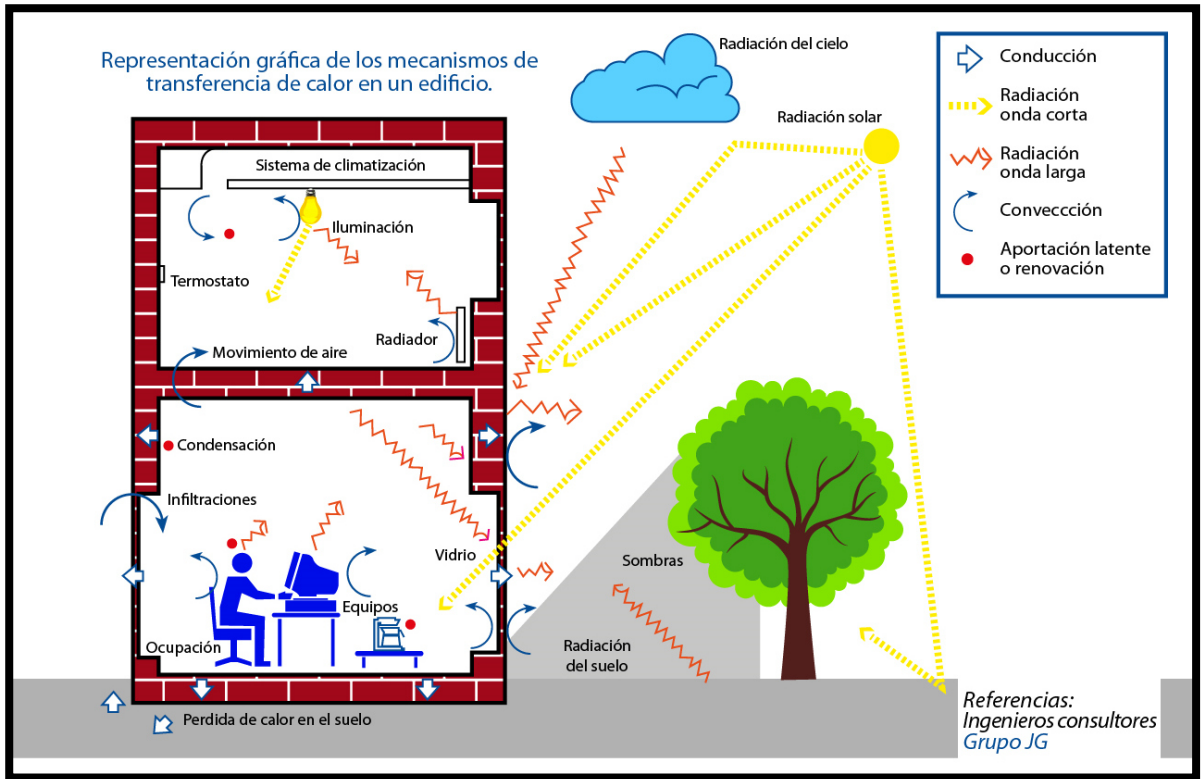
Las herramientas de simulación permiten evaluar el comportamiento térmico de los edificios, considerando todos los parámetros físicos que lo definen:

- Forma y orientación del edificio
- Sombras del propio edificio o de edificios colindantes
- Condiciones climáticas exteriores e interiores
- Composición de cerramientos
- Inercia térmica del edificio
- Elementos de protección solar
- Ganancias de radiación solar
- Infiltraciones
- Ventilación natural o artificial
- Cargas térmicas interiores: iluminación, ocupación y equipos
- Características de radiación y convección¹⁸.

¹⁷ Grupo JG. Simulación en la edificación. Disponible en: <http://www.grupojg.com/www/doc/simulaci%F3nedificaci%F3n.pdf> Septiembre de 2013

¹⁸ Grupo JG. Simulación en la edificación. Disponible en: <http://www.grupojg.com/www/doc/simulaci%F3nedificaci%F3n.pdf> Septiembre de 2013

Figura 5. Mecanismos de transferencia de calor en un edificio



Fuente: Grupo JG. Simulación en la edificación. Disponible en: <http://www.grupoig.com/www/doc/simulaci%F3nedificaci%F3n.pdf> Septiembre de 2013.

5.1.4.1 CYPE®

Cype® es un software de Arquitectura, Ingeniería y Construcción. Este permite cálculos de Estructuras, Instalaciones, y Gestión en el que se incluye la generación de presupuestos en torno a las obras a realizar¹⁹.

Como se ha especificado a lo largo del trabajo, el simulador utilizado es Cype®, el cual cuenta con un módulo de Climatización mediante el cual se hará el estudio energético de la edificación. El modulo climatización está concebido para desarrollar completamente y en un único programa una instalación de climatización (sistemas aire- agua y aire- aire) y de calefacción (eléctrica y por agua con radiadores, suelo radiante y calderas), incluido el presupuesto de la instalación.

CYPE® brinda el programa **HidroFive** como herramienta para realizar el cálculo, comprobación y dimensionamiento de instalaciones de climatización²⁰.

5.1.4.1.1 CALCULO DE CARGA TÉRMICA MEDIANTE HIDROFIVE

Para el cálculo de cargas térmicas, mediante este método, es necesario definir una serie de parámetros que se agrupan en tres tipos:

- Datos Exteriores: Para realizar el cálculo de la carga térmica hay que seleccionar las condiciones climáticas y la situación geográfica de la obra. Todos estos datos permitirán calcular la radiación solar, la temperatura de bulbo seco y húmedo relativa para cada hora y día del año.
- Datos de los cerramientos: Un recinto está delimitado en elementos constructivos, tales como paredes, forjados y huecos. La orientación debe

¹⁹ CYPE Ingenieros S.A. Catálogo de productos. España 2011.

²⁰ CYPE Ingenieros. Hidrofive. Manual del usuario. España 2007.

ser definida para el caso de los elementos verticales que estén al exterior. Las paredes pueden definirse por capas o con un cálculo simplificado.

- Datos de los recintos: Los recintos se definen con unas condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa. Para el cálculo de refrigeración deben definirse también, cuando sea necesario, la ocupación, la iluminación, la ventilación y la simulación de otras cargas del recinto. Además, la selección del tipo de suelo es necesaria para tener en cuenta la acumulación de calor en el recinto.

❖ CARGA TÉRMICA DE REFRIGERACION

El cálculo de carga térmica de refrigeración se realiza mediante la simulación de las condiciones exteriores variables con las horas, los días y los meses de un año. La temperatura equivalente a la radiación y a la convección se calcula teniendo en cuenta la radiación solar y el color del cerramiento que va a ser calculado, junto con el coeficiente de convección exterior. Para ello se utiliza el concepto de temperatura sol-aire:

- **Paredes y forjados exteriores**

El flujo de calor entrante por la superficie exterior será la suma de todos los intercambios de calor con el exterior, así:

Flujo de calor entrante por la superficie exterior= Flujo intercambiado por convección+ Flujo Intercambiado por radiación solar+ Flujo intercambiado con la superficie vista del cielo.

$$q_{pe} = h_{ce} (T_{se} - T_{pe}) + \alpha I_T (\eta, \gamma) + q_a \text{ Ecuación 9.}$$

Donde,

q_{pe} = Flujo de calor entrante superficie exterior (W/m²).

T_{se} = Temperatura seca exterior (°C).

T_{pe} = Temperatura pared exterior (°C).

$I_T(\eta, \gamma)$ = Radiación total sobre la superficie.

h_{ce} = Coeficiente de convección exterior. Este coeficiente depende de muchas otras variables para su cálculo, sin embargo no ha sido posible constatar la manera de cómo el software CYPE lo determina; sin embargo, la norma española NBE- CT- 79²¹ ofrece una constante igual a 16.67 W/m²°C para evitar la realización del cálculo.

α = Coeficiente de absorción a la radiación de la pared exterior

$\alpha = 0.90$ pared de color oscuro.

$\alpha = 0.75$ pared de color medio.

$\alpha = 0.60$ pared de color claro.

q_a = flujo de calor intercambiado por radiación entre la superficie y la parte de cielo vista (excluido el sol), la cual se puede considerar despreciable frente a todos los demás efectos.

Por tanto la ecuación 9 se puede reordenar de la siguiente manera:

$$q_{pe} = h_{ce} \left(T_{se} + \frac{\alpha I_T(\eta, \gamma)}{h_{ce}} - T_{pe} \right)$$

²¹ NBE- CT- 79. Norma Básica de la Edificación. Condiciones Térmicas. 1979. Real Decreto 2429/79 de 6 de Julio de 1979.

Por lo que se puede definir una temperatura ficticia exterior, denominada temperatura sol- aire (T_{sol_aire}), que tiene en cuenta el aporte de calor por convección y por radiación solar sobre la superficie exterior²², es decir:

$$T_{sol_aire} = T_{eca, ext} + \frac{\alpha * I_{total}}{h_{conv, ext}} \text{ Ecuación 10.}$$

Y por tanto,

$$q_{pe} = h_{ce} (T_{sol_aire} - T_{pe}) \text{ Ecuación 11.}$$

Una vez calculada la temperatura sol-aire para cada hora del día, junto con las características del cerramiento y temperatura del recinto, se calcula la carga térmica para cada hora del día.

La carga térmica atraviesa los cerramientos con un desfase y una amortiguación determinada. Por tanto, se dice que las paredes y los forjados tienen inercia térmica. El cálculo se realiza desarrollando la ecuación diferencial de transmisión de calor para cada una de las capas del cerramiento, para lo cual se necesita la conductividad, la densidad y el calor específico.

- **Huecos Exteriores**

Se definen como huecos exteriores las puertas y ventanas que están en contacto con el exterior. La carga térmica que recibe cada uno de estos elementos se clasifica en dos tipos: por medio de radiación solar recibida en cada instante del día y la transmisión de calor por diferencia de temperaturas.

²² Universidad Politécnica de Valencia. Ing. José Manuel Pinazo Ojer. Temperaturas equivalentes en paredes típicas de construcción española. Disponible en: http://www.vpclima.upv.es/jmpinazo/index_archivos/Pdf/CongInt6.pdf, Enero de 2014.

La radiación que incide en un hueco se ve afectada por distintos obstáculos, tales como persianas, cortinas, etc. Además, influyen otros edificios o elementos que produzcan sombras. Para aquel caso en que el elemento se encuentre en sombra, la única radiación que aporta calor al elemento es la radiación difusa.

La energía que se transmite en forma de radiación depende también del tipo de cerramiento del interior del recinto; sin embargo, para simplificar el cálculo, se toma el suelo como el único cerramiento pues es el que más energía acumula.

$$Q_{rad} = fsg * S * I_{ui} \text{ Ecuación 12.}$$

Donde,

fsg: Factor Solar global. Se define como el producto de todos los factores solares de los accesorios del hueco. Estos son debido a los materiales, colores y obstáculos tales como persianas, sombras, entre otros²³.

S: Superficie del hueco (m²).

I_{ui}: Radiación unitaria con inercia (W/m²).

- **Cerramientos interiores**

Representan una importancia relativamente pequeña en el cálculo global de la carga térmica. El cálculo no precisa de la radiación, sino de la diferencia de temperatura a ambos lados del cerramiento. En caso de haber un local no climatizado, el cálculo se realiza tomando la temperatura como la media aritmética entre la temperatura del recinto y del exterior.

²³ I.E.S (I.T.S) Construcción B.H.I (I.T.B). InstalazioMintegia- Dpt. Instalaciones. Instalaciones de Climatización y Ventilación. Disponible en: http://www.frioycalor.info/Climatizacion/Climatizacion_losebaApilanez_03.pdf, Enero de 2014.

- **Cargas Internas**

Para la definición de estas deben tenerse en cuenta el horario y el porcentaje respecto del total de cada una de ellas.

Las cargas térmicas interiores para el cálculo de refrigeración son las siguientes:

1. Ocupación

La radiación emitida por los ocupantes provoca un calentamiento en los cerramientos, al igual que los huecos descritos anteriormente. Dicha energía provocara una carga térmica con una amortiguación y un desfase²⁴, es decir, con inercia.

$$\dot{Q}_{lat} = n(i) * FC * \dot{Q}_{lat,pers} \text{ Ecuación 13.}$$

$$\dot{Q}_{sen}(t) = \dot{Q}_{sen,pers} \sum_0^{24} K(t) * FC(t) * n(t) \text{ Ecuación 14.}$$

n: Número de personas a la hora de cálculo.

FC: Fracción de carga. Incluye la fracción convectiva y radiante que provocan los efectos de retraso y amortiguación. Son las manifestaciones de las cargas debido a las condiciones climatológicas²⁵.

$\dot{Q}_{lat,pers}$: Potencia latente por persona a la temperatura del recinto (W).

²⁴ CYPE Ingenieros. Hidrofive. Manual del usuario. España 2007.

²⁵ Ayuntamiento de Pamplona. Rendimiento de las Instalaciones Térmicas y demanda energética de los edificios. Disponible en: http://www.pamplona.net/pdf/guia_instalaciones_termicas.pdf, Enero de 2014.

$Q_{sen,pers}$: Potencia sensible por persona a la temperatura del recinto (W).

2. Iluminación

La potencia de las luminarias de un recinto incrementa la carga térmica en dicho recinto. Además, según se ha descrito en los huecos y en la ocupación, existe un proceso de acumulación de energía en el recinto que posteriormente se va transmitiendo.

Las luminarias se dividen principalmente en dos tipos: incandescentes y fluorescente. En el segundo caso debe tenerse en cuenta la posible incorporación de una reactancia.

- Fluorescente con reactancia:

$$Q_{sen}(i) = 1,2 * n * Q_{sen,lum} * \sum_0^{24} Kf(i) * FC(i) \text{ Ecuación 15.}$$

- Fluorescente sin reactancia:

$$Q_{sen}(i) = n * Q_{sen,lum} * \sum_0^{24} Kf(i) * FC(i) \text{ Ecuación 16.}$$

- Incandescente:

$$Q_{sen}(i) = n * Q_{sen,lum} * \sum_0^{24} Ki(i) * FC(i) \text{ Ecuación 17.}$$

$Q_{sen,lum}$: Potencia por luminaria (W).

$K_i(i)$: Coeficiente de inercia para luminarias incandescentes.

$K_f(i)$: Coeficiente de inercia para luminarias fluorescentes.

n : Numero de luminarias.

3. Otras Cargas

Permite definir a todo elemento que produzca potencia térmica, que no sean personas ni iluminación. Por tanto, habrá un aporte de potencia sensible y otro de potencia latente. No tiene en cuenta inercia ni porcentaje de radiación, por lo cual se considera una carga instantánea.

4. Ventilación

La ventilación en un recinto es fundamental en la mayoría de casos por razones de salubridad. Este hecho repercute en la carga térmica. Además, las legislaciones nacionales exigen un caudal determinado según el tipo de actividad que se lleve a cabo en el recinto.

$$Q_{lat} = \rho * \dot{V} * C_f(W_{ext} - W_{rec}) \text{Ecuación 18.}$$

$$Q_{sen} = \rho * \dot{V} * C_{pas}(T_{ext} - T_{rec}) \text{Ecuación 19.}$$

\dot{V} : Caudal de aire exterior para ventilación (m³/s).

W_{ext} : Humedad específica exterior (kg/kgas).

W_{rec} : Humedad específica del recinto (kg/kgas).

T_{ext} : Temperatura seca exterior (°C).

T_{rec} : Temperatura seca del recinto (°C):

ρ : Densidad volumétrica (kg/m³).

C_{pas} : Calor específico del aire seco (1 kJ/kg °C)

C_f : Calor de cambio de fase vapor a líquido a 0 °C (2501 kJ/kg°C)

- **Porcentajes de mayoración**

Una vez realizado el cálculo de la obra, se puede considerar la carga térmica producida por la propia instalación de climatización, en función de un determinado coeficiente. Además, se puede añadir también el porcentaje de seguridad, llamado porcentaje de mayoración de cargas.

El programa Hidrofive de Cype® realiza estos cálculos para determinar la carga térmica del recinto y le proporciona al usuario una biblioteca de materiales bajo la norma UNE española, la cual proporciona las características de transferencia de calor sin necesidad de que el usuario deba ingresarlos. Para materiales que no se encuentren dentro de la biblioteca de Cype®, se debe ingresar las características de transferencia de calor que el software solicita para el cálculo de carga térmica.

En resumen, el programa efectúa los siguientes cálculos:

- Cálculo automático de las sombras generadas por todos los elementos incluidos en el edificio (elementos constructivos y equipos). Muestra en pantalla la sombra a lo largo del año para cada elemento constructivo.
- Carga térmica máxima de refrigeración para todos los recintos descritos en la obra.
- Carga térmica simultánea máxima de refrigeración para todos los conjuntos de recintos descritos. De este modo, se permite un mayor ajuste en la selección del equipo.
- Caudal de aire necesario para climatizar los recintos.

Por último, Cype® exporta los datos que le son introducidos a EnergyPlus^{TM26} desde las solapas Estudio Térmico y Climatización, aparte de utilizarlo como motor de cálculo para obtener la demanda térmica del edificio.

²⁶ CYPE® Ingenieros. Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción. Programas. Motor de Cálculo en las solapas Estudio Térmico y Climatización de CYPECADMEP. Disponible en: <http://exportacion-a-energyplus.cype.es/> Enero de 2014

5.1.5 EFICIENCIA ENERGÉTICA EN AIRES ACONDICIONADOS

En los aires acondicionados, la eficiencia energética compara la cantidad de energía eléctrica que consume el equipo para absorber el calor generado por el recinto. A nivel internacional la eficiencia de los aires acondicionados es comúnmente medido por el Factor de Eficiencia de Energía Ambiental (SEER: Seasonal Energy Efficiency Ratio). A medida que este índice sea mayor, representa una mejor tecnología y por lo tanto mayor eficiencia del Aire Acondicionado.

$$SEER = \frac{Q_{total}}{Potencia\ real} \text{ Ecuación 20.}$$

Donde Q_{Total} (Calor Total) es la suma de Calor Sensible (Q_s) y Calor Latente (Q_l); y Potencia real es el producto de multiplicar el amperaje y el voltaje que consume un equipo.

Es necesario aclarar que en Colombia no existe una organización que determine el rango de eficiencia energética permitido; por tanto los estudios se han basado en las normativas existentes en países que sirven de ejemplo, como es el caso de Estados Unidos. Para 1990 en este país, se encomendó un índice SEER mínimo de 10²⁷, por lo cual en Colombia también se recomienda de esta manera.

Sin embargo, para tener una mejora considerablemente mayor en la eficiencia energética, se recomienda usar un SEER de 13 BTU/Watt para nuevas tecnologías.

²⁷Ecox Info. Technical Information Bulletin No. E-004-SP. Disponible en: <http://www.galpaexport.com/pan/descargas/46.pdf> Octubre de 2013.

En la actualidad los fabricantes de equipos de refrigeración ofrecen maquinas con eficiencias SEER entre 13 y 21 BTU/Watt²⁸²⁹³⁰.

SEER está relacionado con el Coeficiente de Desempeño (COP: Coefficient of Performance) utilizado comúnmente en termodinámica y también está relacionado con el Factor de Eficiencia de Energía (EER: Energy Efficiency Ratio). Esta última es la medida de un equipo en particular para temperaturas externas e internas; mientras que el SEER es calculado sobre un rango amplio de temperaturas externas³¹.

El factor SEER siempre es un valor más alto que EER para un mismo equipo; un método detallado para convertir SEER a EER, es utilizar la siguiente fórmula:

$$EER = 0.02 * SEER^2 + 1.12 * SEER \text{ Ecuacion 21.}$$

Un SEER de 13, es aproximadamente equivalente a un EER de 11 y un COP de 3.43; esto significa que 3.43 unidades de la energía calórica, son sacadas por unidad de la energía de trabajo usada.

²⁸ Carrier. Home Comfort. Split System Air Conditioners. Disponible en: <http://www.carrier.com/homecomfort/en/us/products/heating-and-cooling/air-conditioners/split-system-air-conditioners/> Febrero de 2014.

²⁹ York. Saving Energy and money. Disponible en: <http://www.york.com/residential/getting-started/energy-efficient-savings.aspx>. Febrero de 2014

³⁰Refrinorte. Disponible en: http://www.refrinorte.com/rnte/index.php?option=com_content&view=article&id=31:alta-eficiencia&catid=3:consumidores&Itemid=41 Febrero de 2014

³¹ Technical Information Bulletin No. E-004-SP. EcoxInfo. Disponible en: <http://www.galpaexport.com/pan/descargas/46.pdf>. Octubre de 2013.

5.1.6 TERMOHIGROANEMOMETRIA

Es la técnica que mide las propiedades termodinámicas del aire para determinar el adecuado funcionamiento de los equipos y procesos. Mide tres variables fundamentales: Temperatura, Velocidad del Aire y Humedad³².

Para este proyecto investigativo, el estudio de eficiencia energética de los equipos actuales se hará mediante esta técnica. Para hacer el estudio Termo-higro-anemométrico, y la medición de las variables, se utilizan dos instrumentos Datalogger (Anexo 3), que se encarga de medir temperatura y humedad; y Anemómetro (Anexo 4), con el cual se mide Velocidad del Aire.

Esta técnica utiliza las ecuaciones 4 y 5 expuestas en el balance de energía de la máquina, que al despejar las constantes y utilizar el factor de conversión de unidades resulta de la siguiente manera:

$$Q_s = 1,1 \text{ CFM}(T_{bs_{entrada}} - T_{bs_{salida}}) \text{ Ecuación 22.}$$

$$Q_s = 17,3 \text{ MCM}(T_{bs_{entrada}} - T_{bs_{salida}}) \text{ Ecuación 23.}$$

$$Q_l = 0,68 \text{ CFM}(H_{e_{entrada}} - H_{e_{salida}}) \text{ Ecuación 24.}$$

$$Q_l = 168,1 \text{ MCM}(H_{e_{entrada}} - H_{e_{salida}}) \text{ Ecuación 25.}$$

Donde,

T_{bs} = Temperatura de bulbo seco.

H_e = Humedad absoluta.

³² Safety Instruments. Instrumentación especializada para higiene y seguridad industrial. Disponible en:

http://www.safetyinstruments.com.co/index.php?option=com_virtuemart&view=productdetails&virtuemart_product_id=37&virtuemart_category_id=21&Itemid=123 Diciembre de 2013.

Donde las unidades,

Para la ecuación 22 y 24 $\rightarrow Q_l$ y $Q_s = \text{BTU/h}$; $\text{CFM} = \text{pie}^3/\text{min}$; $T_{bs} = ^\circ\text{F}$; $\text{He} = \text{gr/lbas}$,
1 gr (grano) = Tamaño de una gotita de agua.

Para la ecuación 23 y 25 $\rightarrow Q_l$ y $Q_s = \text{Kcal/h}$; $\text{MCM} = \text{m}^3/\text{min}$; $T_{bs} = ^\circ\text{F}$; $\text{He} = \text{gramos/lbas}$.

En ocasiones la técnica que se realiza mediante el termohigroanemometro se basa de la psicometría para el cálculo de dichas variables fundamentales, debido a que esta ciencia muestra la relación entre cada una de ellas.

5.1.7 CALCULO DE LA DEMANDA DE POTENCIA ELECTRICA DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACION Y CLIMATIZACION.

La potencia eléctrica se define como el trabajo o la energía puesta en juego por unidad de tiempo. En el caso de los sistemas de refrigeración y climatización la potencia eléctrica generalmente es suministrada por la red eléctrica y se mide de forma instantánea a la entrada del equipo.

Los equipos y sistemas de aire acondicionado en el Bloque G de la Universidad Autónoma del Caribe son monofásicos, y por tanto la Potencia Eléctrica (Kw) se calculan midiendo la Tensión instantánea (V), la Intensidad de corriente (A) y el Factor de Potencia FP ($\cos\phi$); y teniendo estos datos se sustituye en la siguiente ecuación³³:

$$Pot = \frac{V * I * \cos\phi}{1000} \text{ Ecuación 26.}$$

La medición de la Intensidad de corriente y de la Tensión instantánea se hace mediante una Pinza Amperimétrica; el Factor de Potencia por otro lado se mide mediante un Vatímetro o una carga resistiva para calculo mediante la pinza amperimétrica.

³³ José A. Díaz, Juan J. Tineo. Empresa Eléctrica Socialista CORPOELEC. Procedimiento para evaluar la eficiencia energética de los sistemas de climatización y refrigeración de expansión directa (DX) con condensadores de aire y evaporativos. Disponible en: <http://sistemamid.com/preview.php?a=6135> Enero de 2014.

Cabe anotar que en el caso del presente proyecto investigativo no disponíamos de un Vatímetro o de una Carga Resistiva, por lo que usamos un Factor de Potencia recomendado por la Comisión de Regulación de Energía y Gas en su resolución 108 de 1997 Artículo 25; donde exige un Factor mínimo de 0.90, teniendo en cuenta que el máximo es 1.00³⁴.

³⁴ Comisión de Regulación de Energía y Gas. Resolución CREG 108 de 1997. Disponible en: https://www.contratos.gov.co/archivospuc1/2010/DA/103024000/10-15-346250/DA_PROCESO_10-15-346250_103024000_1777741.pdf Enero de 2014.

5.1.8 PSICROMETRIA

La psicometría se define como “la ciencia que involucra las propiedades termodinámicas del aire básicamente como la medición del contenido de humedad del aire húmedo, y el efecto de la humedad atmosférica sobre los materiales y el confort humano”³⁵

Este contenido de humedad se controla con el fin de satisfacer las necesidades de confort dentro del recinto. Para esto se hace un estudio de la variación de las propiedades del aire al cambiar la humedad en el mismo, mediante una carta conocida como *Carta psicrométrica*. Hay diversos tipos de Cartas psicrométrica según el rango de temperatura y la presión atmosférica; sin embargo para este caso específico se usara la Carta psicrométrica basada en la presión atmosférica normal de 101,325 KPa y las unidades del Sistema Internacional.

En una Carta psicrométrica se encuentran las propiedades del aire, las cuales se traducen como Parámetros de Humedad. Estos son: Temperatura de bulbo seco, Temperatura de bulbo húmedo, Humedad relativa, Humedad absoluta, Entalpia y Volumen específico.

Conociendo dos de estos parámetros, por medio de la carta se pueden conocer los demás. (Ver Figura 5)

³⁵MSc. Alba Veranay Díaz Corrales. Psicometría. Recinto Universitario Augusto C. Sandino. Disponible en: <http://avdiaz.files.wordpress.com/2009/01/i-unidad3.pdf>, Noviembre de 2013.

Parámetros como la Humedad Absoluta se pueden conseguir conociendo solo la Presión de Saturación del Aire a la temperatura en la que se encuentra (Ver Anexo 1); mediante la siguiente fórmula:

$$W = 621,98 * \frac{P_{vs}}{(P - P_{vs})} \text{ Ecuación 27.}$$

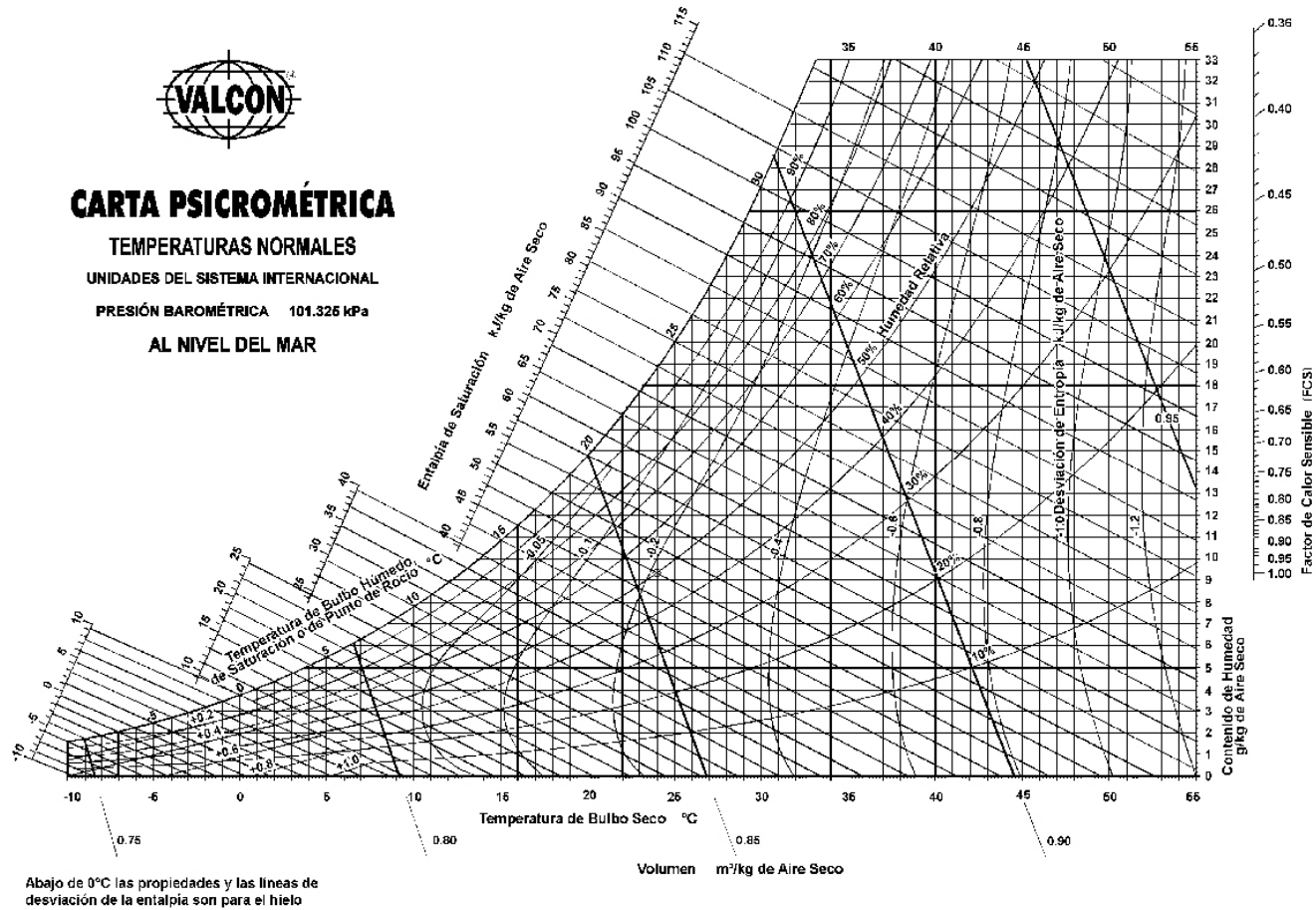
Donde,

W= Humedad absoluta en g agua/kg aire seco.

P_{vs}= Presión de Saturación del Agua en Pa

P= Presión Atmosférica en Pa

Figura 6. Carta psicrométrica a temperaturas normales y presión barométrica al Nivel del Mar



Fuente: MSc. Alba VeranayDíaz Corrales. Psicrometría. Recinto Universitario Augusto C. Sandino. Disponible en: <http://avdiaz.files.wordpress.com/2009/01/i-unidad3.pdf>, Noviembre de 2013.

5.2 MARCO CONCEPTUAL

Blower

Ventilador encargado de extraer el aire e impulsarlo a través del evaporador del ciclo de refrigeración de los aires acondicionados.

Calor

Es la forma o manifestación de energía propia de los movimientos a que están sujetas las moléculas que constituyen los cuerpos. Al calentarse un cuerpo aumenta la energía cinética de las moléculas, produciéndose choques más o menos violentos, según la cantidad de calor entregada, en el proceso de enfriamiento ocurre lo contrario. El calor puede cuantificarse entonces teniendo en cuenta dos magnitudes fundamentales: intensidad de calor y cantidad de calor.

Calor Sensible

Cantidad de calor que se suministra o sustrae en una sustancia a presión constante para aumentar o disminuir la temperatura respectivamente.

Calor Latente

Cantidad de calor que se suministra o sustrae de una sustancia para pasar de un estado físico a otro sin variar su temperatura.

Entalpia

Cantidad de energía absorbida o cedida por un sistema termodinámico, es decir, la cantidad de energía que un sistema intercambia con su entorno.

Humedad relativa

Cantidad de vapor de agua contenida en el aire, en cualquier momento determinado, normalmente es menor que el necesario para saturar el aire.

Humedad absoluta

Cantidad de vapor de agua (generalmente medida en granos) por unidad de volumen de aire ambiente (medido en metros cúbicos). Es uno de los modos de valorar la cantidad de vapor contenido en el aire, lo que sirve, con el dato de la temperatura, para estimar la capacidad del aire para admitir o no mayor cantidad de vapor.

Inercia Térmica

Es la capacidad que tiene la masa de conservar la energía térmica recibida e ir liberándola progresivamente.

Manejadora

Es el componente de los equipos de aire acondicionado donde se ubica el evaporador del ciclo de refrigeración, por lo general está conformado por un intercambiador de calor de tubos con aletas por los cuales transita internamente el refrigerante y por el exterior una corriente de aire que disminuye su temperatura e ingresa al recinto.

Refrigerante R-22

Es un clorodifluorometano comúnmente usado en los sistemas de aire acondicionado y en varias otras aplicaciones de refrigeración. Su principal ventaja es el bajo punto de fusión (-157°C); sin embargo su impacto al medio ambiente es negativo.

Refrigerante R-410A

Es un refrigerante de alta seguridad, clasificado por ASHRAE como no tóxico y no inflamable. Contiene en su composición HFC (Hidrofluoro carbonado). Es más eficiente que el R-22, sin embargo las presiones a las que trabaja son 1,6 veces más altas.

Temperatura bulbo seco

Es la medida con un termómetro convencional de mercurio o similar cuyo bulbo se encuentra seco.

Termómetro de bulbo húmedo

Es un termómetro de mercurio que tiene el bulbo envuelto en un paño de algodón empapado de agua. Al proporcionarle una corriente de aire, el agua se evapora más o menos rápidamente dependiendo de la humedad relativa del ambiente, enfriándose más cuanto menor sea ésta, debido al calor latente de evaporación del agua.

Unidad Condensadora

Es el componente de los equipos de aire acondicionado donde se ubica el compresor, condensador y la válvula de expansión del ciclo de refrigeración.

Volumen Específico

Se define como el volumen por unidad de masa. Es decir, el recíproco de la densidad.

Zona de Confort

El ser humano esta confortable bajo una variedad de combinaciones de temperatura y humedad. La mayoría de la gente está confortable en una atmósfera con una humedad relativa de entre 30% y 70%, y una temperatura entre 21° C y 29° C.

5.3 ESTADO DEL ARTE

5.3.1 INVESTIGACIONES PRELIMINARES

Dado el notable aumento poblacional que trae consigo el incremento de la utilización de los recursos y así la disminución del potencial de los mismos, la contaminación es cada vez mayor. Seguido caemos en el error de pensar que esta última (contaminación) se debe solo a los automóviles y a las grandes industrias; sin pensar que el medio en el que nos desenvolvemos es un gran foco de contaminación. Las instalaciones tienen altos consumos energéticos que se pueden disminuir trabajando exhaustivamente en ello³⁶.

Las mejoras de la eficiencia energética en edificaciones se pueden dar con mejoramiento de los equipos, o bien mejoras en la edificación. Es allí donde la simulación del comportamiento energético de los edificios tiene sentido como una herramienta que permite mantener los estándares de confort, disminuyendo el gasto o consumo energético.

³⁶ Guillermo Gómez Prada, Jesús Maellas Benito, Borja Plaza Gallardo, Manuela Nieto García. Estado del Arte de la Modelización Energética de Edificios. Disponible en: http://193.146.56.6/NR/rdonlyres/0067345B-51EF-4E08-B547-310F5BE54A3A/1958/00012007Simulacion_edificiosINTAPROEDISCENINF1.pdf Septiembre de 2013

5.3.1.1 Programas para la Simulación Energética de Edificios:

En este continuo avance en materia de eficiencia energética, se han creado diversos programas que permitan simular edificaciones. A medida que aparece un programa nuevo, trae ventajas con respecto al que lo precede. Estados Unidos y Europa fueron los pioneros en este tema. Programas como el DOE₂ (Department of Energy) de Estados Unidos, surgieron como resultado de la inversión lenta pero constante de la administración americana desde el año 1970; en esta misma época surge el programa conocido como BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) que fue encargado al Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST por sus siglas en inglés).

Otro programa es TRNSYS (Transient Simulation of Systems) de la Universidad de Wisconsin- Madison de Estados Unidos, que teniendo un ámbito universitario, no estaba orientado inicialmente hacia la productividad o la Industria; sin embargo, se han ido creando aplicaciones para generar modelos con mayor facilidad y productividad (SimCAD)³⁷.

Lo mejor de los programas DOE₂ y BLAST, se unió creando un nuevo programa conocido como Energy Plus. Este en la actualidad se conoce como un motor de cálculo que utilizan la gran mayoría de los programas de simulación energética. Cype[®], el simulador utilizado en el presente proyecto investigativo, es una interfaz gráfica que utiliza a Energy Plus como motor de cálculo; e incluso permite exportar los datos a Energy Plus^{TM38}.

Por otro lado, Europa, no dispone de una organización que permita unir esfuerzos para el desarrollo de este tipo de software al modo americano. Sin embargo

³⁷ Gobierno de España. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Guía Técnica: Procedimientos y aspectos de la simulación de instalaciones térmicas en edificios. Disponible en: http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/OtrosDocumentos/Calificaci%C3%B3n%20energ%C3%A9tica.%20Viviendas/Guia_Procedimientos_Simulacion.pdf Enero de 2014.

³⁸ CYPE Ingenieros. Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción. Programas. Motor de Cálculo en las solapas Estudio Térmico y Climatización de CYPECADMEP. Disponible en: <http://exportacion-a-energyplus.cype.es/> Enero de 2014

existen programas con diversos enfoques; por ejemplo el IISIBAT, del Instituto para la Edificación Francés CSTB, que utiliza como núcleo de cálculo TRNSYS. O el “Design Builder” propio de Inglaterra, que ayuda a generar el fichero IDF que usa el Energy Plus de Estados Unidos.

En la tabla a continuación se presentaran las características principales de algunos de estos programas:

Tabla 1. Descripción de los principales programas de Simulación Energética.

PROGRAMA DE SIMULACION	DESCRIPCION
BLAST	<ul style="list-style-type: none"> • Materiales, horarios, composiciones, etc., se corresponden con los que aparecen en el manual de ASHRAE 1977. • Un programa CHILLER ayuda a extraer de catálogo las características de las máquinas para su modelización en el programa. • Permite obtener índices de confort en las zonas ocupadas y establecer frecuencias horarias de repetición de esos índices para estimar el confort final así obtenido.
DOE_{2.1E}	<ul style="list-style-type: none"> • El fichero de entrada puede contener instrucciones (tipo programación) no solo valores fijos. • El usuario puede crear sus propios modelos.
ENERGY PLUS	<ul style="list-style-type: none"> • Permite la conexión con otro programa para simular sistemas dinámicos en general llamado SPARK. La intención de los desarrolladores es poder simular instalaciones complejas. • Tiene versiones compiladas para Windows y para Linux, siendo el esquema de proceso el siguiente: <ul style="list-style-type: none"> - Entrada (generar Modelo-D- formato texto idf-). - Calculo (Modelo-S, interno). No gráfico. - Salida (texto, DXF).
TRNSYS	<ul style="list-style-type: none"> • Los componentes se pueden programar en cualquier lenguaje compilándolos como DLL y respetando ciertas interfaces. • COMIS programa para analizar el movimiento del aire entre las zonas, se encuentra integrado en TRNFLOW. • Puede hacer estudios paramétricos con TRNEdit.

5.3.2 ANTECEDENTES

EVALUACION DEL DESEMPEÑO ENERGI-TERMICO DE UNA VIVIENDA SOCIAL EN CHILE, UTILIZANDO UN PROGRAMA DE SIMULACION ENERGETICA DE EDIFICIOS³⁹.

Por Sergio Vera, Martín Ordenes

Resumen

Un objetivo fundamental al diseñar un espacio habitable, es asegurar el bienestar térmico de sus ocupantes, con una demanda energética compatible con las actividades desarrolladas al interior del mismo. En Chile, la vivienda social no cumple con este objetivo, debido a: (1) las viviendas no son diseñadas teniendo en mente este objetivo; (2) un alto porcentaje de las viviendas tiene superficie reducida (menor a 50 m²) con una alta tasa de ocupación; (3) los materiales componentes de la envolvente térmica (muros, pisos, techumbre y ventanas) presentan baja capacidad de aislación térmica; (4) la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción no exige requerimientos de aislación térmica de los elementos de la envolvente, excepto para el complejo techumbre a partir del año 2000. Esto produce un desmejoramiento de la calidad de vida de los usuarios, y el uso ineficiente de los recursos energéticos para la climatización de las viviendas. El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto sobre las cargas de calefacción y refrigeración de diferentes estrategias pasivas de control térmico, tales como aislación térmica, orientación y tamaño de las superficies vidriadas, y calefacción solar pasiva, con el propósito de establecer recomendaciones para el diseño de viviendas sociales en Santiago, Concepción y Punta Arenas (climas con estación

³⁹ Revista Ingeniería de Construcción. Volumen 17 N° 1. Año 2002. Disponible en: <http://www.ricuc.cl/index.php/ric/article/viewFile/187/pdf>, Marzo de 2013.

fría y/o cálida prolongada). Para este propósito se utilizó un programa de simulación de energía en edificios, llamado PowerDOE. Los principales resultados muestran importantes cargas de calefacción y refrigeración de las viviendas sin estrategias de control térmico (entre 111 y 370 kWh/año·m² para calefacción y 76 kWh/año·m² para refrigeración). Por consiguiente, las condiciones de bienestar térmico no son logradas. Por otro lado, aplicando en forma conjunta las estrategias de control térmico se observan reducciones importantes de las cargas, superiores a 45 kWh/año·m² (40%) en Santiago, y 90 kWh/año·m² (24%) en Punta Arenas.

SISTEMA EXPERT PARA CONTROL INTELIGENTE DE LAS VARIABLES AMBIENTALES DE UN EDIFICIO ENERGETICAMENTE EFICIENTE.

Por Enrique A. Sierra, Alejandro A. Hossian, RamónGarcíaMartínez, Pablo D. Marino.

RESUMEN

El rápido desarrollo de las tecnologías digitales ha contribuido a que la industria de la edificación adopte cada vez más estrategias de automatización sofisticadas para el control de las variables ambientales presentes en las diferentes partes de un edificio provisto de elevadas prestaciones desde el punto de vista tanto del confort humano como en los aspectos energético y ambiental.

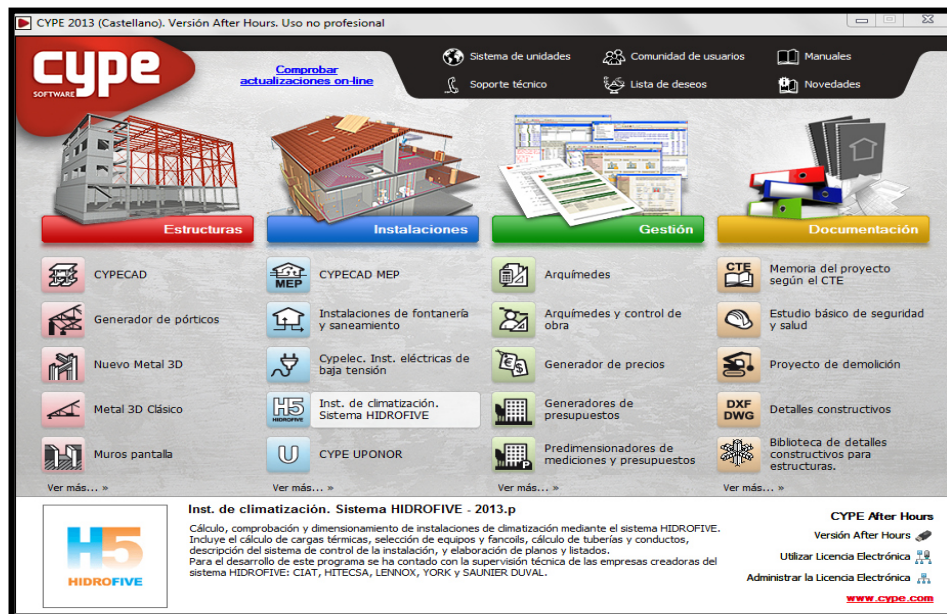
Dichas estrategias de control pueden expresarse mediante reglas que podrán ser ingresadas en el motor de inferencias de un sistema experto. Las reglas de automatización presentes en este sistema permitirán una mejor integración de dispositivos y facilitará su interacción con los elementos que definen las prestaciones de un edificio inteligente.

Según el paradigma distribuido vigente actualmente en automatización de edificios, el sistema experto residente en el computador de supervisión ejercerá funciones específicas de cooperación y coordinación inteligente, reservando las estrategias de control propias de cada sector del edificio a los controladores locales. Tal como se ilustra en el presente trabajo, el empleo de tecnologías basadas en sistemas inteligentes para modelar y controlar el comportamiento de los sistemas involucrados en la automatización de edificios contribuye a optimizar significativamente sus prestaciones en cuanto a confort, seguridad y ahorro de energía.

6. PROCEDIMIENTO

6.1 SIMULACIÓN ENERGÉTICA DE LA EDIFICACION

Figura 7. Ventana de inicio software Cype®



En el caso del presente proyecto investigativo, teniendo en cuenta que la simulación se hace con el fin de calcular la Carga Térmica de una edificación, se escoge la opción **Sistema HIDROFIVE**, debido a que se realizara para Instalaciones de Climatización.

Cabe anotar que para la ejecución del presente trabajo investigativo se usó la versión After Hours que es para uso no profesional.

Para iniciar la simulación es necesario Introducir los Datos Generales de la Obra; entre los cuales se encuentran:

- Tipo de edificio: Este ítem se refiere al tipo de actividad que se realiza al interior de la edificación. En el caso del presente proyecto investigativo, teniendo en cuenta que se realiza la Simulación Energética para un Bloque de la Universidad Autónoma del Caribe, se escoge la opción **DOCENTE**; este involucra escuelas infantiles, centros de enseñanzas primarias, secundarias, universitarias, etc.
- Emplazamiento: Surge como un segundo dato del Emplazamiento de la Obra que se especificó en pasos anteriores. Muestra el Mapa del país escogido, en este caso Colombia. De esta manera se selecciona el departamento del **Atlántico**.
- Configuración de Precios: Cype® tiene un Generador de Precios que permite saber los costos de la instalación de los equipos de Climatización y la construcción de la edificación, debido a una Biblioteca Virtual con la que cuenta el programa que es muy útil pues ofrece los materiales comunes utilizados en la construcción de edificaciones. El costo en si no es fundamental para el desarrollo de este Proyecto, pues no es el fin al realizar la Simulación, por tanto se dejan los datos generados por el programa.
- Plantas/Grupos: En esta opción se seleccionan el número de plantas sobre rasantes que tiene la edificación, en este caso **Cuatro Plantas** adicionales a la cubierta.
- Datos Generales: Este es uno de los principales pasos en lo que concierne al Cálculo de Carga Térmica de la Edificación, puesto que se detallan las temperaturas, altitud, latitud, longitud, entre otros. Este Cálculo de Cargas depende a las estaciones o cambios de clima durante el año, se puede elegir climatización (Invierno y Verano), Refrigeración (Verano); y Calefacción (Invierno). Para este proyecto se toma la opción **Refrigeración**, puesto que en el lugar de Emplazamiento no hay estaciones y se mantiene una temperatura constante como si fuese verano.

Después de seguir los pasos anteriormente detallados, se añade la plantilla en AutoCAD para cada una de las plantas de la Edificación mediante la opción Gestión de Vistas de Plantillas.

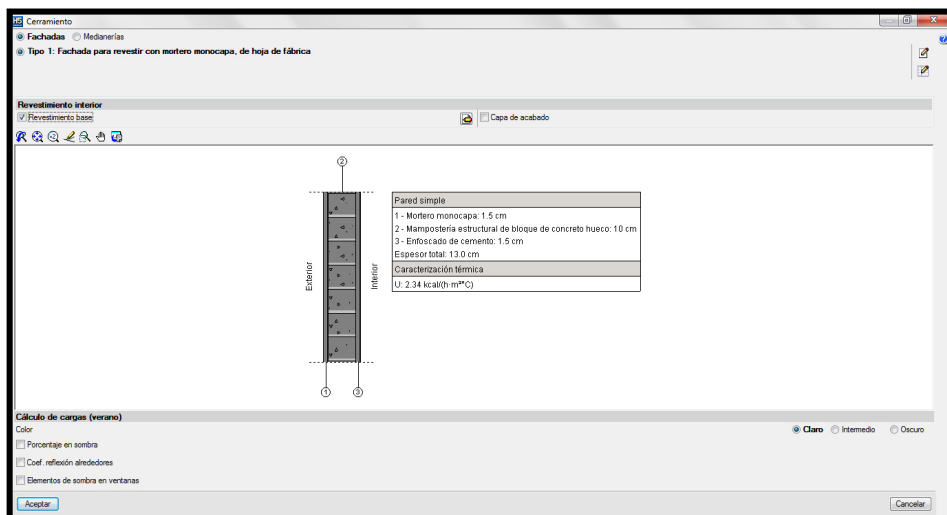
Luego de haber completado esta fase introductoria del programa, se empieza a dar forma a la edificación; construyendo los cerramientos, particiones, puertas, ventanas, pisos, y demás elementos constructivos.

- PAREDES

En el caso de las paredes de la edificación, estas se dividen en Paredes externas o **Cerramientos** y Paredes Internas o **Tabiquería**.

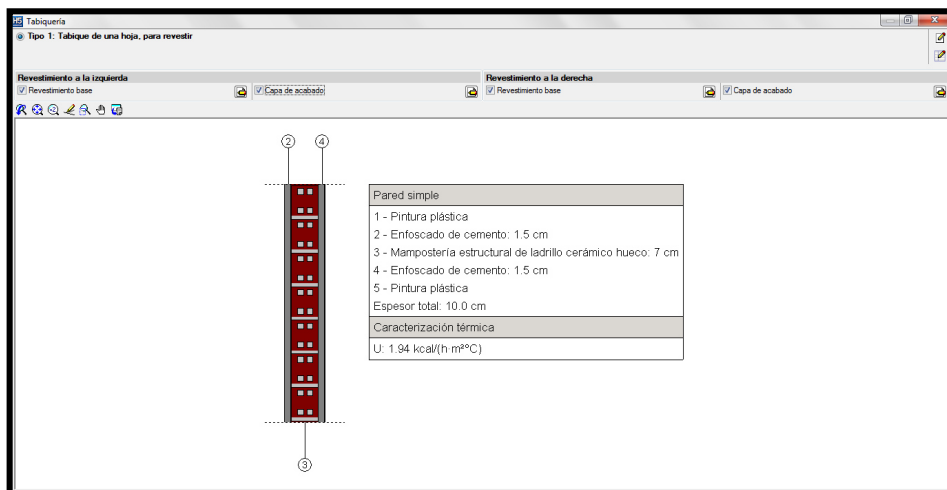
- Paredes externas o Cerramientos: Consisten en todas las paredes externas de la edificación, las cuales son todas del mismo tipo y el mismo material en cada una de las plantas de la edificación. Se toma la opción Fachada Para Revestir con Mortero Monocapa con Enfoscado de Cemento.

Figura 8. Características Paredes externas



- Paredes Internas o Tabiquería: Refiere a todas las paredes divisorias al interior de la edificación. Para las paredes internas se tienen diferentes tipos según el lugar en el que se ubiquen en la edificación y el material que se utilice. Estas se describen a continuación:
 - Tabique de una Hoja para Revestir con Enfoscado de Cemento con Pintura Plástica. Este tipo de Pared es utilizado en todos los recintos de la primera planta. En la segunda planta se encuentra en las divisiones de todos los programas de la facultad de Ingeniería a excepción de las oficinas de los Directores de Programa. En la tercera planta se encuentra en la división de todos los salones exceptuando la separación del Auditorio de Ingeniería Industrial. Y en la cuarta planta se encuentra en las divisiones de las salas 1-2 con las salas 7-8, y salas 3-4 con las salas 5-6.

Figura 9. Características paredes internas Enfoscado de cemento

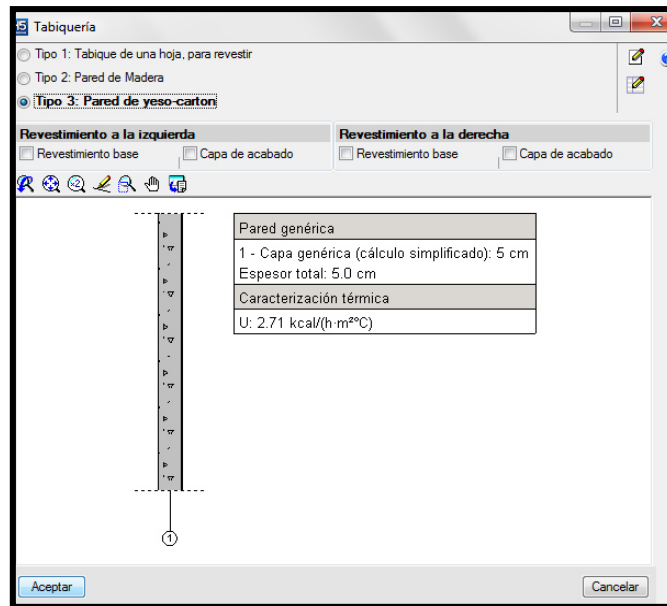


- Yeso- Cartón. Este tipo de pared se encuentra en la tercera planta se encuentra como la división del Auditorio de Ingeniería Industrial, y

en la cuarta planta se encuentra como divisor de las Salas 1 y 2, 3 y 4, 5 y 6, 7 y 8. Sin embargo, en la Biblioteca del generador de precios de CYPE no existe una pared de este material, por lo cual fue necesario crearla. Para este fin el software pide los siguientes datos:

- a. Espesor de la pared: 2 pulgadas (5 cm aproximadamente).
- b. Coeficiente total de transferencia de Calor (U): Depende de la Resistencia Térmica del Material y su espesor. Para el Yeso Cartón la resistencia térmica es $0.45 \text{ ft}^2\text{of h/BTU}$ para $\frac{1}{2}$ pulgada, es decir, $U = 0.55 \text{ BTU/h ft}^2\text{of}$.
- c. Calor Específico: Para el yeso- cartón es $920 \text{ J/Kg } ^\circ\text{C}^{40}$.

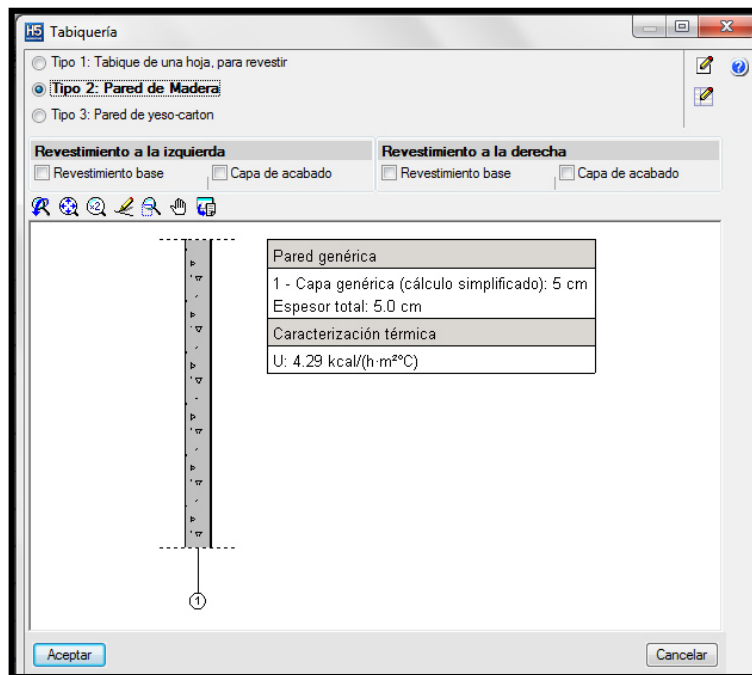
Figura 10. Características paredes internas Yeso- cartón



⁴⁰ Editorial de Construcción Arquitectónica. Universidad de las Palmas de Gran Canaria. Conductividad Térmica y Densidad. Disponible en: <http://editorial.cda.ulpgc.es/ftp/icaro/Anexos/2-%20CALOR/4-Construccion/C.6.4%20Conductividad%20t%E9rmica%20y%20densidad.PDF>. Octubre de 2013.

- Madera. Este tipo de pared se encuentra en la segunda planta en las divisiones de las oficinas de los Directores de Programa. Al igual que el tipo de pared anterior, esta no se encuentra en la Biblioteca del generador de precios de Cype®, por lo cual fue necesario crearla. Para este fin el software pide los siguientes datos:
 - a. Espesor de la pared: 2 pulgadas (5 cm aproximadamente).
 - b. Coeficiente total de transferencia de Calor (U): Para la madera es de $5 \text{ W/m}^2\text{K}^{41}$.
 - c. Calor Específico: Para la madera es $0.41 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$ a 25°C y a Presión atmosférica⁴².

Figura 11. Características paredes internas Madera



⁴¹ Transferencia de Calor I Estado Estable. Escuela Académica Profesional Ingeniería en Industrias Alimentarias. Disponible en: <http://alimentaria.pe.tripod.com/t-estable.pdf>. Octubre de 2013.

⁴² Teoría básica y problemas propuestos de calor y termodinámica. Monografías. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos34/calor-termodinamica/calor-termodinamica2.shtml>. Octubre de 2013.

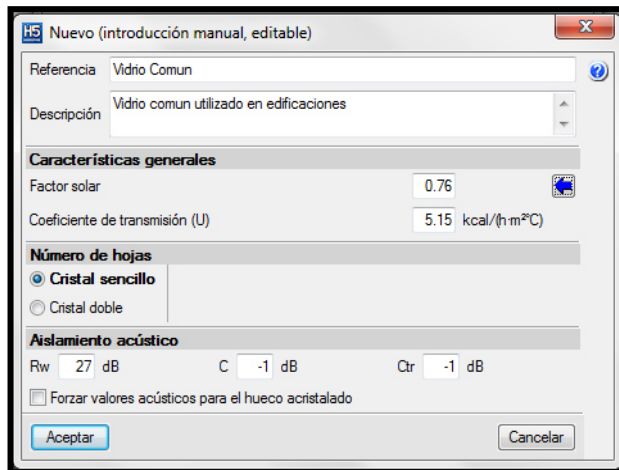
- PUERTAS

Dentro de la edificación a estudiar existen tres tipos de puertas: Madera, Madera con ventana y Aluminio con ventana. Todas las puertas sin importar el tipo se tienen para una altura de 2 metros.

- Para las puertas de madera se elige mediante la opción huecos y consecutivamente puertas, eligiendo una de las opciones existentes en la Biblioteca del generador de precios de CYPE. Esta es Puerta de entrada a la vivienda de madera.
- Con respecto a las Puertas con Ventanas, en primer lugar se creó el Vidrio Común debido a que la Biblioteca del Generador de Precios de Cype® nos ofrece cristales especiales que solo hasta ahora se empiezan a implementar en Colombia. Se crea el Vidrio en la Opción Acristalamiento de Carpintería Exterior y Hueco Acristalado. Para esto es necesario introducir datos tales como el Coeficiente Total de Transferencia de Calor $U= 1.13 \text{ BTU/hft}^2\text{of}^43$. Para el resto de los datos, se dejan los generados por el programa debido a que no afectan en gran medida el Cálculo de Carga Térmica.

⁴³ Heat Loss Calculations and Principles. CED Engineering. Disponible en: <http://www.cedengineering.com/upload/Heat%20Loss%20Calculations%20and%20Principles.pdf>. Octubre de 2013.

Figura 12. Características Vidrio común



- Luego de crear el Vidrio Común, se crean las puertas de Madera con Ventana y de Aluminio con ventana respectivamente. Esto se hace en la misma opción de Carpintería Exterior y Hueco Acristalado, eligiendo el material en la opción Carpintería y ubicando las puertas en el lugar correspondiente.

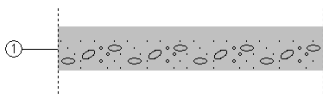
- VENTANAS

Para la construcción de ventanas en la edificación se sigue el mismo procedimiento de las puertas con ventanas. Existen en toda la edificación dos tipos de ventanas: Ventanas de Madera y Ventanas de Aluminio, que cuentan con diferentes medidas. Estas se escogieron corredizas.

- PISOS

Para la construcción del piso de la primera planta de la edificación se elige la opción Forjados y posteriormente Forjados Sanitarios o Solera, para este caso de la edificación se elige solera.

Figura 13. Características Solera de Loza Maciza



Solera
1 - Solera de concreto simple: 10 cm
Espesor total: 10.0 cm
Caracterización térmica
U: 0.65 kcal/(h·m ² ·°C) (Para una solera apoyada, con longitud característica B' = 5 m)
Detalle de cálculo (U)
Superficie del forjado, A: 100.00 m ²
Perímetro del forjado, P: 40.00 m
Resistencia térmica del forjado, Rf: 0.05 m ² ·h·°C/kcal
Sin aislamiento perimetral
Tipo de terreno: Arena semidensa

Para el piso de la segunda, tercera y cuarta planta en la opción Forjados se elige Forjados entre pisos. En tipo se elige Loza Maciza.

- BALCONES O DEFENSAS.

Para la construcción de Balcones dentro de la edificación a partir de la Segunda Planta hasta la cuarta planta. Para esto se utiliza la opción *defensas* en **Muros y Particiones**, escogiendo para esta edificación *Antepecho de Fabrica*. Se edita esta opción con una altura de 1.25 m, para revestir de Ladrillo Cerámico Macizo.

- AZOTEA

Luego de hacer la construcción de la Cuarta Planta de la Edificación, se procede a construir la Azotea. Para esto es necesario ubicarse en la Cubierta de la edificación, escogiendo la opción **Azotea** en **Loza Maciza** y el tipo *Cubierta Plana No Transitable No Ventilada*.

Luego de haber construido toda la edificación se procede a hacer una descripción del uso que se le da a cada una de las aulas, seleccionando el tipo de recinto. Analizando cada una de las plantas, la selección se realizó de la siguiente manera:

- PRIMERA PLANTA: En la primera planta, la gran mayoría de los recintos son laboratorios, estos son: Laboratorio de Resistencia de Materiales, Laboratorio de Mecanizado, Laboratorio de Mecánica de Fluidos y Laboratorio de Robótica. Por tal razón en Recintos de uso docente, se selecciona **Laboratorio**. Dentro de la opción Revestimiento del Suelo se editaron ciertos datos para que se asemejaran a los de la edificación; se elige Gres Solado de baldosas cerámicas con mortero de cemento como material de agarre, y la colocación del piso En capa gruesa (con mortero de cemento como material adhesivo). Fue utilizado Gres rustico de 20*20 cm y M-5, sin Junta y con Lechada de Cemento Blanco.

Por otro lado, los dos baños que se encuentran se toman como **Aseo de Planta**.

- SEGUNDA PLANTA: En la segunda planta, existen diferentes tipos de recintos por lo cual se escogieron distintas opciones de acuerdo al servicio prestado, los cuales fueron: **Zona administrativa** para la recepción y los cubículos de los profesores, **Aseo de planta** para los distintos baños, **Despacho** para las oficinas de los directores de programa, **Sala de profesores** para la sala de juntas, **Sala de máquinas** para las manejadoras de A.A y **Cocinas** para las cocinas.
- TERCERA PLANTA: Para la tercera planta se escogió la opción **Aula** para los salones G306, G307, G308, G309 y G310; para el auditorio de ingeniería se tomó la opción **Salón de actos**.
- CUARTA PLANTA: Para esta última planta se utilizó la opción **Aula** para todos los salones (Sala 1 - Sala 8).

En la sección de anexos se puede observar la imagen del resultado final de la edificación del bloque G de la Universidad Autónoma del Caribe (anexo 5) construida en el programa Hidrofive de Cype®.

6.2 PROCEDIMIENTO DE TERMOHIGROANEMOMETRIA

Para evaluar la eficiencia energética de los equipos de Aire Acondicionado por medio de este método inicialmente se realizó un inventario de sistemas y equipos de aire acondicionados que funcionan actualmente en el bloque G de la Universidad Autónoma del Caribe. Es necesario aclarar, que la totalidad de estos equipos de Aire Acondicionado existentes, tienen un tipo de conexión eléctrica monofásica.

Primer piso

Tabla 2. Inventario Aires Acondicionados Primer Piso Bloque G

Ítem	Dependencia	Tipo	TR	Marca
1	Laboratorio de Robótica	Central 1	5	York
2	Laboratorio de Robótica	Central 2	5	York
3	Laboratorio de Robótica- Salón	Piso Techo	4	York
4	Laboratorio de Mecanizado	Central	5	LENNOX
5	Laboratorio de Resistencia de Materiales	Central	5	TECAN
6	Laboratorio de Mecánica de Fluidos	Central	3	YORK

Segundo piso

Tabla 3. Inventario Aires Acondicionados Segundo Piso Bloque G

Ítem	Dependencia	Tipo	TR	Marca
7	Programa de Ingeniería- Recepción	Piso Techo	5	LENNOX
8	Programa de Ingeniería Industrial	Central 1	5	YORK
9	Programa de Ingeniería Industrial	Central 2	5	YORK
10	Programa de Ingeniería Sala de Profesores	Minisplit	1	YORK
11	Programa de Ingeniería Mecánica	Central 1	5	YORK
12	Programa de Ingeniería Mecánica	Central 2	5	YORK
13	Programa de Ingeniería de Sistemas	Central 1	5	YORK
14	Programa de Ingeniería de Sistemas- Director	Minisplit	1	YORK
15	Programa de Ingeniería Electrónica	Central 3	5	YORK
16	Programa de Ingeniería- Decano	Minisplit	1	YORK
17	Programa de Ingeniería - Coord. de Ingeniería Biomédica	Minisplit	2	YORK
18	Programa de Ingeniería Mecatrónica y materiales	Central 1	3	

Tercer piso

Tabla 4. Inventario Aires Acondicionados Tercer Piso Bloque G

Ítem	Dependencia	Tipo	TR	Marca
19	Auditorio Ingeniería Industrial G301	Minisplit	2	YORK
20	Auditorio Ingeniería Industrial G302	Minisplit	2	YORK
21	Auditorio Ingeniería Industrial G303	Minisplit	2	YORK

Cuarto Piso

Tabla 5. Inventario Aires Acondicionados Cuarto Piso Bloque G

Ítem	Dependencia	Tipo	TR	Marca
22	Sala de Informática Número 1	Piso Techo	5	YORK
23	Sala de Informática Número 2	Piso Techo	5	YORK
24	Sala de Informática Número 3	Piso Techo	5	YORK
25	Sala de Informática Número 4	Piso Techo	5	YORK
26	Sala de Informática Número 5	Central	5	LENNOX
27	Sala de Informática Número 6	Central	5	LENNOX
28	Sala de Informática Número 7	Central	5	LENNOX
29	Sala de Informática Número 8	Central	5	LENNOX

Luego de realizar el inventario se procede a medir las tres variables fundamentales del aire (Temperatura, Caudal y Humedad) a la entrada y salida de los equipos de refrigeración usando los instrumentos descritos en el marco teórico, además de medir el voltaje y amperaje de las unidades condensadoras por medio de una pinza voltiamperimétrica (Anexo 2), de lo cual se obtuvo los siguientes valores:

Tabla 6. Valores tomados por instrumentos de medición

Ítem	Unidad Condensadora		Manejadora				Recinto	
	Voltaje	Amperaje	CFM Min	CFM Max	CFM Prom	Tbs ₅ °F	Tbs _R ° F	%HR
1	ACTUALMENTE SE ENCUENTRA FUERA DE SERVICIO							
2	220	19,1	0	2180	1430	54,50	72,86	47,4
3	220	20,3	0	540	330	52,16	73,04	52,2
4	220	23,3	491	2197	1540	52,16	70,16	50,3
5	220	32,8	649	2564	1974	54,50	70,34	69,6
6	220	19,8	65	1035	639	56,30	76,10	63,8
7	220	21,5	0	3169	1685	50,72	65,30	53,6
8	220	27,6	0	2032	987	52,88	72,68	60,4
9	220	25,7	0	447	300	52,88	72,68	60,4
10	220	17,5	0	336	232	57,74	77,72	58,7
11	220	26,9	0	1631	625	59,00	75,74	52,6
12	220	22,9	0	1631	525	59,00	75,74	52,6
13	220	17,7	186	1466	887	61,70	72,32	66,5
14	220	16,3	0	560	321	57,20	74,12	53,4
15	220	19,8	0	1631	639	56,66	71,78	57,5
16	220	18,1	0	621	432	57,74	74,30	60,7
17	220	25,3	0	742	456	58,28	74,12	61,2
18	220	18,6	0	1348	967	56,30	71,88	62,5
19	220	29,2	0	921	690	56,30	71,88	56,8
20	220	27,1	0	649	349	57,20	74,12	54,9
21	220	28,5	0	1034	560	59,54	76,10	43,2
22	220	21,5	0	837	544	55,22	72,86	36,1
23	220	19,7	0	2337	1429	54,50	67,64	41,7
24	220	18,5	0	2469	1780	57,02	75,20	47,0
25	220	20,3	0	1943	888	60,44	71,78	55,3
26	220	21,4	483	2089	1436	51,26	66,92	47,9
27	220	19,8	491	2145	1517	49,64	67,28	45,5
28	220	22,1	478	2197	1540	48,38	64,76	49,3
29	220	21,8	489	2128	1478	47,66	65,66	48,9

7. CALCULOS

7.1 CYPE®

Para Cype® no aplica la realización de cálculos manuales. Se ingresan los datos siguiendo el procedimiento especificado en el capítulo anterior, y posteriormente se ejecuta el programa para que sea este mismo quien realice los cálculos correspondientes.

El programa realiza los cálculos basado en las formulas expuestas en el Marco Teórico para Simulación en Software Cype®.

7.2 TERMOHIGROANEMOMETRIA

De los datos necesarios para los cálculos de carga térmica disipada por los equipos de aire acondicionado se encuentran la Humedad absoluta de salida y la Humedad absoluta de entrada de cada uno de los equipos; los cuales serán calculados mediante Psicrometría debido a que no fue posible obtenerlos a través de instrumentos de medición.

- Para calcular la Humedad absoluta de salida de los Aires Acondicionados se utilizara la *ecuación 27*.

Para el Ítem 3.

Tbs = 52,16 °F; Patm= 1013,25Hpa. Del **Anexo 1** tenemos que la presión de saturación a la temperatura dada es de Pvs@52,16°F= 13,31HPa, se reemplaza los valores en la ecuación:

$$W_5 = 0,62198 * \frac{13,31 \text{ HPa}}{(1013,25 - 13,31)\text{HPa}} * 1000$$
$$W_5 = 8,279050 \frac{g}{Kgas} \rightarrow 8,279050 \frac{g}{Kgas} * 7 \frac{gr}{lbas} \frac{g}{g/Kgas}$$
$$W_5 = 57,9533 \text{ gr}/lbas$$

Se realiza el mismo procedimiento para cada uno de los ítems.

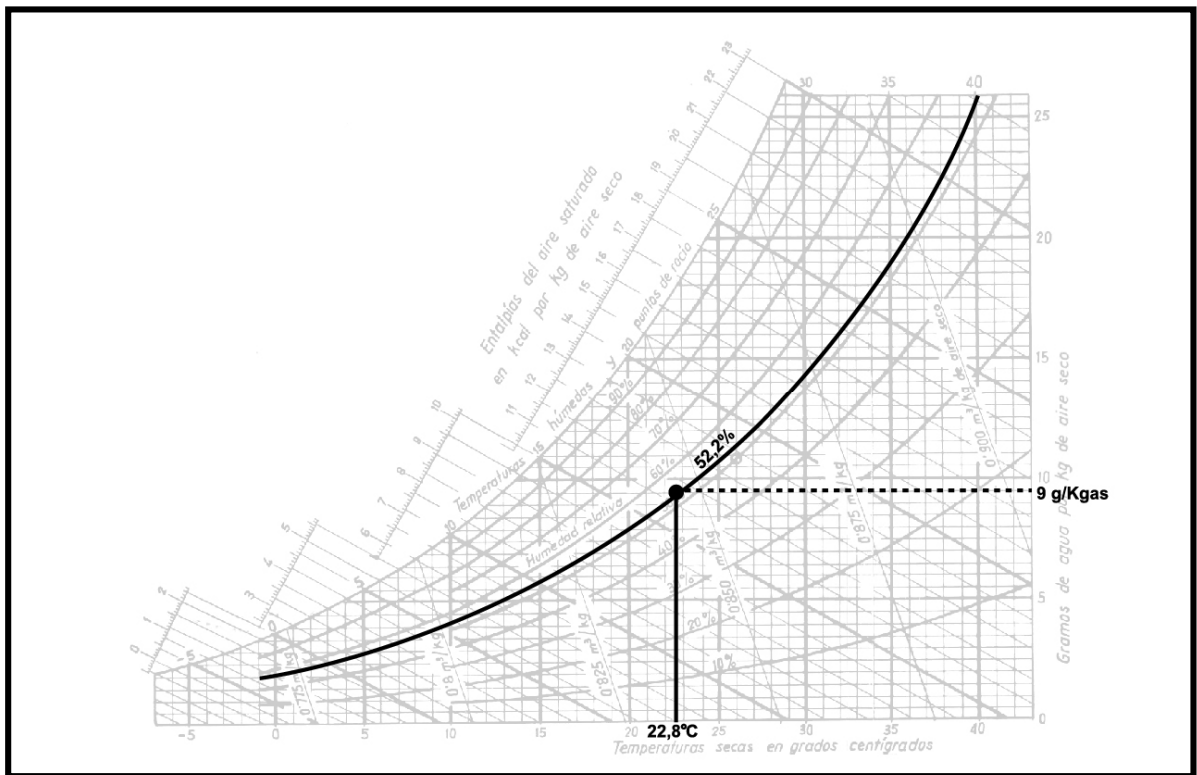
- Para calcular la Humedad absoluta de entrada de los Aires Acondicionados, se utiliza la **Carta Psicométrica**.

Para la entrada de aire en los equipos de refrigeración se conoce por medio de instrumentos de medición los valores de la Temperatura del bulbo seco y la humedad relativa, con estos datos se ingresa a la carta y se halla la humedad absoluta de entrada.

Para el Ítem 3.

T_{bsr} = 73,04 °F (22,8 °C) y HR= 52,2%

Figura 14. Carta Psicométrica para Ítem 3



$$W_3 = 9 \frac{g}{Kgas} \rightarrow 9 \frac{g}{Kgas} * 7 \frac{gr/lbas}{g/Kgas}$$

$$W_3 = 63 \text{ } gr/lbas$$

Se realiza el mismo procedimiento para cada uno de los ítems, los resultados se pueden observar en la siguiente Tabla

Tabla 7. Humedad absoluta de salida y entrada de las Manejadoras

Ítem	Humedad absoluta de salida gr/lbas	Humedad absoluta de entrada gr/ lbas
2	63,1658	58,1
3	57,9534	63
4	57,9534	56,7
5	63,1658	78,4
6	67,5041	86,8
7	54,8671	50,4
8	59,4540	75,6
9	59,4540	75,6
10	71,1406	82,6
11	74,5165	73,5
12	74,5165	73,5
13	82,1756	82,6
14	69,8095	71,4
15	68,4348	68,6
16	71,1406	81,2
17	72,5614	78,4
18	67,5041	75,6
19	67,5041	74,2
20	69,8095	70
21	76,0284	67,2
22	64,8912	44,8
23	55,2196	42
24	69,3216	63
25	78,5208	64,4
26	56,0129	47,6
27	52,7092	44,8
28	50,2457	47,6
29	48,8832	49

Después de conocer los valores de Temperatura y Humedad absoluta de entrada y salida de los aires acondicionados se procede a realizar los cálculos de la energía térmica consumida por cada equipo, utilizando las ecuaciones 22, 24 y 6 respectivamente.

Para el Ítem 3.

$CFM = 540$, siendo este el valor máximo medido. $T_{bs5} = 52,16^{\circ}F$; $T_{bsr} = 73,04^{\circ}F$.

Humedad absoluta_{entrada} = 63 gr/lbas; Humedad absoluta_{salida} = 57,9533 gr/lbas

$$Q_s = 1,1 * 540 (73,04 - 52,16)$$

$$Q_s = 12402,72 \text{ Btu/h}$$

$$Q_l = 0,68 * 540(63 - 57,9533)$$

$$Q_l = 1853,1284 \text{ Btu/h}$$

$$Q_t = 12402,72 \frac{\text{Btu}}{\text{h}} + 1853,1284 \text{ Btu/h}$$

$$Q_t = 14255,8485 \text{ Btu/h}$$

Se realiza el mismo procedimiento para cada uno de los ítems.

Luego de calcular la energía térmica consumida por cada equipo, se relaciona con el consumo eléctrico de la unidad condensadora por medio del SEER (Ecuación 20).

Para el Ítem 3.

Diferencia potencial = 220V Corriente eléctrica= 20,3 A

Factor de Potencia (Cos ϕ)= 0.90 (Como se especificó en el capítulo 6.1.7)

Teniendo en cuenta que el tipo de corriente en los equipos de la edificación es monofásico a 220 V, se utiliza la formula especificada en el desarrollo del presente trabajo como Ecuación 26:

$$Pot = \frac{V * I * Cos\phi}{1000} (KW)$$

$$Pot = \frac{220 V * 20,3 A * 0.90}{1000}$$

$$**Pot = 4,0194 KW**$$

$$SEER = \frac{14,255 KBtu/h}{4,0194 KW}$$

$$**SEER = 3,5465 KBtu/KWh**$$

Se realiza el mismo procedimiento para cada uno de los ítems. Al final se compara con un SEER de 10 que es el mínimo recomendado para calificar si la tecnología es nueva u obsoleta, además se calcula la potencia eléctrica consumida por un equipo con SEER de 10 bajo las mismas condiciones de operación con el fin de determinar la pérdida de potencia que se genera en los equipos con SEER menor a 10.

Para el Ítem 3.

$SEER = 3,19 < 10 \rightarrow$ Tecnología Obsoleta

$$Pot_{SEER10} = \frac{14,255 \text{ KBtu}/h}{10 \text{ KBtu}/KWh}$$

$$Pot_{SEER10} = 1,426 \text{ KW}$$

$$\Delta Pot = (4,0194 - 1,426) \text{ KW}$$

$$\Delta Pot = 2,5934 \text{ KW}$$

Estas pérdidas de potencia se traducen en pérdidas económicas para la institución, debido al costo de energía eléctrica que cancela la universidad a la empresa que presta este servicio. La Universidad Autónoma del Caribe inicia sus labores a partir de las 7:00 am hasta las 10:00pm de lunes a viernes, los sábados labora de 7:00am a 4:00pm de acuerdo a su calendario académico, con esta información se estimó que los equipos de aire acondicionados funcionan un promedio de 13h de lunes a viernes, 5h los sábados, 11 meses al año.

$$\frac{h}{\text{año}} = \left[\left(\frac{13 \text{ h}}{\text{día}} * \frac{5 \text{ día}}{\text{semana}} * \frac{4 \text{ semanas}}{\text{mes}} \right) + \left(\frac{5 \text{ h}}{\text{semana}} * \frac{4 \text{ semanas}}{\text{mes}} \right) \right] * \frac{11 \text{ mes}}{\text{año}}$$

$$\frac{h}{\text{año}} = 3080 \text{ h/año}$$

Para el ítem 3.

$$Perdidas \frac{KWh}{\text{año}} = 2,5934 * 3080 \text{ h/año}$$

$$Perdidas = 7.987,672 \frac{KWh}{\text{año}}$$

El costo de 1Kwh es \$237,29⁴⁴

$$\text{Perdidas} \frac{\$}{\text{año}} = 7.987,672 \frac{\text{KWh}}{\text{año}} * 237,29 \frac{\$}{\text{KWh}}$$

$$\text{Perdidas} = 1.895.394,69 \frac{\$}{\text{año}}$$

Se realiza el mismo procedimiento para cada uno de los ítems. Los resultados se pueden observar en las tablas 9 y 10.

De la misma manera, para garantizar una mejora considerable en la eficiencia energética, se realiza el mismo procedimiento que se hizo con el SEER 10 con un SEER de 13. Esto debido a que para esta época ya es necesario adquirir equipos con este SEER recomendado. Los resultados se pueden observar en las tablas 11.

⁴⁴ Dato ofrecido por el área de Contabilidad de la Universidad Autónoma del Caribe.

8. RESULTADOS

8.1 CYPE®

El software Cype®, y más específicamente el programa Hidrofive, al momento de hacer el cálculo de carga térmica de toda la edificación (en este caso el Bloque G de la Universidad Autónoma del Caribe) arroja los resultados para la hora más crítica del día más crítico del año. Por ejemplo, para la Sala de Informática Numero 8 se hizo el día 1 de Octubre a las 18h (Seis de la tarde).

El software realiza un informe de cada uno de los recintos para el día más crítico específicamente; en este se aprecia el calor sensible y latente de aspectos como cerramientos y puertas exteriores, cubiertas, cerramientos interiores, ocupantes, iluminación, ventilación, potencia térmica y otras cargas, todos estos valores especificados en Btu/h.

Todos estos aspectos anteriormente nombrados se subdividen con características propias de cada uno; por ejemplo, coeficiente de transferencia de calor, orientación, potencia en equipos, factor de calor sensible, entre otros.

A continuación se incluye un ejemplo del informe arrojado por CYPE para uno de los recintos. El informe para los demás recintos se incluye en los anexos al finalizar el presente trabajo investigativo.

Tabla 8. Informe Carga Térmica Sala de Informática 8

CARGA MÁXIMA (RECINTO AISLADO)									
Recinto		Conjunto de recintos							
Sala de Informática Numero 8 (Aula)		Bloque UAC							
Condiciones de proyecto									
Internas					Externas				
Temperatura interior = 24.0 °C					Temperatura exterior = 36.3 °C				
Humedad relativa interior = 50.0 %					Temperatura húmeda = 29.4 °C				
Cargas de refrigeración a las 18h (16 hora solar) del día 1 de Octubre								C. LATENTE (Btu/h)	C. SENSIBLE (Btu/h)
Cerramientos exteriores									
Tipo	Orientación	Superficie (m ²)	U (Btu/(h·m ² ·K))	Peso (kg/m ²)	Color	Teq. (°C)			
Fachada	NE	13.9	9.27	183	Claro	34.4			1332.41
Fachada	NO	23.2	9.27	183	Claro	37.1			2819.22
Puertas exteriores									
Núm. puertas	Tipo	Orientación	Superficie (m ²)	U (Btu/(h·m ² ·K))	Teq. (°C)				
1	Opaca	NE	1.6	6.48	36.3				126.89
Cubiertas									
Tipo	Superficie (m ²)	U (Btu/(h·m ² ·K))	Peso (kg/m ²)	Color	Teq. (°C)				
Azotea	51.8	1.44	677	Intermedio	38.4				1078.57
Cerramientos interiores									
Tipo	Superficie (m ²)	U (Btu/(h·m ² ·K))	Peso (kg/m ²)	Teq. (°C)					
Pared interior	7.6	10.75	300	29.0					411.72
Forjado	51.8	6.06	731	27.6					1119.07
								Total estructural	6887.88
Ocupantes									
Actividad	Nº personas	C.lat/per (Btu/h)	C.sen/per (Btu/h)						
Sentado o en reposo	26	119.05	214.05						3095.29
Iluminación									
Tipo	Potencia (W)	Coef. iluminación							
Fluorescente con reactancia	879.86	3.58							3152.33
Instalaciones y otras cargas									
									1942.61
								Cargas interiores	3095.29
								Cargas interiores totales	13456.36
Cargas debidas a la propia instalación								3.0 %	517.47
FACTOR CALOR SENSIBLE : 0.85								Cargas internas totales	3095.29
								Potencia térmica interna total	20861.70
Ventilación									
Caudal de ventilación total (m ³ /h)									
1164.5								45455.40	16031.12
								Cargas de ventilación	45455.40
								Potencia térmica de ventilación total	61486.51
								Potencia térmica	48550.69
									33797.53
POTENCIA TÉRMICA POR SUPERFICIE 51.8 m²								1591.1 Btu/(h·m²)	POTENCIA TÉRMICA TOTAL : 82348.2 Btu/h

8.2 RESULTADOS TERMOHIGROANEMOMETRIA

Tabla 9. Resultados Termohigroanemometría Aires Acondicionados Bloque G SEER 10

Ítem	Qs BTU/h	Ql BTU/h	QT BTU/h	Pot Real w	SEER	CONCLUSION	Pot ^{SEER10} W	Ahorro Energético Kwh/año	Ahorro Energético \$/año
1	x	X	x	X	x	X	x	X	X
2	44027,28	-7509,48	36517,80	3781,8	9,66	Tecnología obsoleta	3652	400,46	\$ 95.025,4
3	12402,72	1853,13	14255,85	4019,4	3,55	Tecnología obsoleta	1426	7988,95	\$ 1.895.698,1
4	43500,60	-1872,46	41628,14	4613,4	9,02	Tecnología obsoleta	4163	1387,81	\$ 329.312,3
5	44675,14	26561,21	71236,34	6494,4	10,97	Tecnología acorde	7124	-1938,04	-\$ 459.877,9
6	22542,30	13580,47	36122,77	3920,4	9,21	Tecnología obsoleta	3612	949,02	\$ 225.192,4
7	50824,42	-9626,16	41198,27	4257	9,68	Tecnología obsoleta	4120	422,49	\$ 100.253,6
8	44256,96	22309,94	66566,90	5464,8	12,18	Tecnología acorde	6657	-3671,02	-\$ 871.096,4
9	9735,66	4907,75	14643,41	5088,6	2,88	Tecnología obsoleta	1464	11162,72	\$ 2.648.801,5
10	7384,61	2618,23	10002,84	3465	2,89	Tecnología obsoleta	1000	7591,32	\$ 1.801.345,5
11	30033,23	-1127,35	28905,88	5326,2	5,43	Tecnología obsoleta	2891	7501,68	\$ 1.780.074,7
12	30033,23	-1127,35	28905,88	4534,2	6,38	Tecnología obsoleta	2891	5062,32	\$ 1.201.239,0
13	17125,81	423,11	17548,93	3504,6	5,01	Tecnología obsoleta	1755	5389,10	\$ 1.278.779,2
14	10422,72	605,66	11028,38	3227,4	3,42	Tecnología obsoleta	1103	6543,65	\$ 1.552.742,7

Tabla 10. Resultados Termohigroanemometría Aires Acondicionados Bloque G SEER 10 (Continuación)

Ítem	Qs BTU/h	QI BTU/h	QT BTU/h	Pot Real w	SEER	CONCLUSION	Pot ^{SEE} R10 W	Ahorro Energético Kwh/año	Ahorro Energético \$/año
15	27126,79	183,20	27309,99	3920,4	6,97	Tecnología obsoleta	2731	3663,36	\$ 869.277,7
16	11312,14	4247,86	15560,00	3583,8	4,34	Tecnología obsoleta	1556	6245,62	\$ 1.482.024,1
17	12928,61	2945,91	15874,52	5009,4	3,17	Tecnología obsoleta	1587	10539,60	\$ 2.500.941,5
18	23113,89	7421,05	30534,94	3682,8	8,29	Tecnología obsoleta	3053	1938,26	\$ 459.930,5
19	15792,20	4193,53	19985,73	5781,6	3,46	Tecnología obsoleta	1999	11651,72	\$ 2.764.837,5
20	12079,19	84,07	12163,26	5365,8	2,27	Tecnología obsoleta	1216	12780,38	\$ 3.032.656,4
21	18835,34	-6207,41	12627,93	5643	2,24	Tecnología obsoleta	1263	13491,04	\$ 3.201.288,2
22	16241,15	- 11435,11	4806,04	4257	1,13	Tecnología obsoleta	481	11631,30	\$ 2.759.991,5
23	33779,00	- 21008,00	12771,00	3900,6	3,27	Tecnología obsoleta	1277	8080,38	\$ 1.917.393,3
24	49375,06	- 10613,48	38761,58	3663	10,58	Tecnología acorde	3876	-656,53	-\$ 155.787,2
25	24236,98	- 18657,01	5579,97	4019,4	1,39	Tecnología obsoleta	558	10661,12	\$ 2.529.777,5
26	35985,11	- 11950,68	24034,43	4237,2	5,67	Tecnología obsoleta	2403	5647,97	\$ 1.340.207,1
27	41621,58	- 11536,39	30085,19	3920,4	7,67	Tecnología obsoleta	3009	2808,59	\$ 666.451,2
28	39585,55	-3952,58	35632,97	4375,8	8,14	Tecnología obsoleta	3563	2502,51	\$ 593.820,7
29	42134,40	169,07	42303,47	4316,4	9,80	Tecnología obsoleta	4230	265,04	\$ 62.891,8

Tabla 11. Resultados Termohigroanemometría Aires Acondicionados Bloque SEER 13

Ítem	SEER	CONCLUSION	Pot _{SEER13} W	Ahorro Energético Kwh/año	Ahorro Energético \$/año
2	9,66	Tecnología obsoleta	2809	2996,03	\$ 710.928,9
3	3,55	Tecnología obsoleta	1097	9002,21	\$ 2.136.135,0
4	9,02	Tecnología obsoleta	3202	4346,61	\$ 1.031.405,9
5	10,97	Tecnología obsoleta	5480	3125,22	\$ 741.583,1
6	9,21	Tecnología obsoleta	2779	3516,51	\$ 834.433,5
7	9,68	Tecnología obsoleta	3169	3350,74	\$ 795.097,1
8	12,18	Tecnología obsoleta	5121	1060,35	\$ 251.610,4
9	2,88	Tecnología obsoleta	1126	12203,53	\$ 2.895.774,9
10	2,89	Tecnología obsoleta	769	8302,30	\$ 1.970.051,9
11	5,43	Tecnología obsoleta	2224	9556,23	\$ 2.267.596,8
12	6,38	Tecnología obsoleta	2224	7116,87	\$ 1.688.761,1
13	5,01	Tecnología obsoleta	1350	6636,42	\$ 1.574.756,7
14	3,42	Tecnología obsoleta	848	7327,51	\$ 1.738.745,7
15	6,97	Tecnología obsoleta	2101	5604,47	\$ 1.329.883,6
16	4,34	Tecnología obsoleta	1197	7351,58	\$ 1.744.456,7
17	3,17	Tecnología obsoleta	1221	11667,91	\$ 2.768.678,7
18	8,29	Tecnología obsoleta	2349	4108,59	\$ 974.928,0
19	3,46	Tecnología obsoleta	1537	13072,25	\$ 3.101.913,7
20	2,27	Tecnología obsoleta	936	13644,91	\$ 3.237.800,0
21	2,24	Tecnología obsoleta	971	14388,59	\$ 3.414.268,9
22	1,13	Tecnología obsoleta	370	11972,90	\$ 2.841.049,3
23	3,27	Tecnología obsoleta	982	8988,10	\$ 2.132.787,0
24	10,58	Tecnología obsoleta	2982	2098,53	\$ 497.959,5
25	1,39	Tecnología obsoleta	429	11057,73	\$ 2.623.888,4
26	5,67	Tecnología obsoleta	1849	7356,26	\$ 1.745.568,1
27	7,67	Tecnología obsoleta	2314	4946,96	\$ 1.173.863,3
28	8,14	Tecnología obsoleta	2741	5035,19	\$ 1.194.800,7
29	9,80	Tecnología obsoleta	3254	3271,84	\$ 776.375,6

9. ANALISIS DE RESULTADOS

9.1 CYPE

Con los resultados para el cálculo de carga térmica arrojados por Cype® para cada uno de los recintos, se procede a hacer una comparación de las toneladas de refrigeración necesarias y las toneladas refrigeración existentes en cada uno de los recintos. De esta manera se pretende saber si están bien dimensionados los equipos de aire acondicionado presentes en la edificación.

En los diagramas de barras presentados en la página siguiente, se hará la comparación de toneladas requeridas contra las existentes para los equipos de aire acondicionado en cada uno de los recintos por piso de la edificación. Cabe anotar que el cálculo de carga térmica mediante el software incluye la ventilación del recinto; y no se cuenta con este aspecto al interior de la edificación.

Como se especificó en el capítulo anterior (Resultados Cype®), el programa arroja un informe de resultados por recinto. Para hacer la comparación de las toneladas de refrigeración requeridas (CT Cype®) y las existentes (TR Existentes) se utiliza la Potencia Térmica total interna. Este dato es arrojado por el programa en BTU/h, por tanto se realiza la conversión:

$$1 TR = 12000 BTU/h^{45}$$

⁴⁵Energy Management Solutions, Inc. Herramientas de Energía. Disponible en: <http://www.emsenergy.com/herramientas-de-energia/> Enero de 2014.

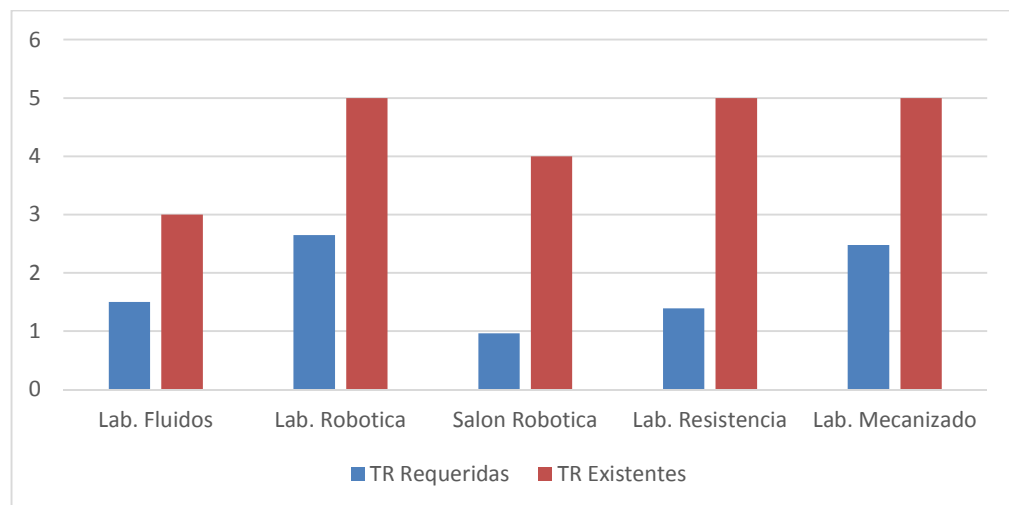
Además, en las tablas **12** y **13** se realiza un análisis comparativo entre las unidades calculadas con Cype® con SEER 13, y las unidades en los equipos de refrigeración existentes; con tal de demostrar el ahorro energético que se puede lograr cambiando los equipos con estas recomendaciones.

9.1.1 ANALISIS GRAFICO DE LA COMPARACION ENTRE TONELADAS DE REFRIGERACION REQUERIDAS Y EXISTENTES

A continuación se realiza una comparación entre las toneladas de refrigeración requeridas mediante el software de simulación energética Cype®, y las toneladas de refrigeración de los equipos existentes en la edificación. Esta comparación se hizo mediante un diagrama de barras por cada uno de los pisos del Bloque G; y es notorio el sobredimensionamiento de los equipos, respecto al cálculo arrojado por el programa de simulación energética. El porcentaje promedio de sobredimensionamiento de los equipos es 58,47%.

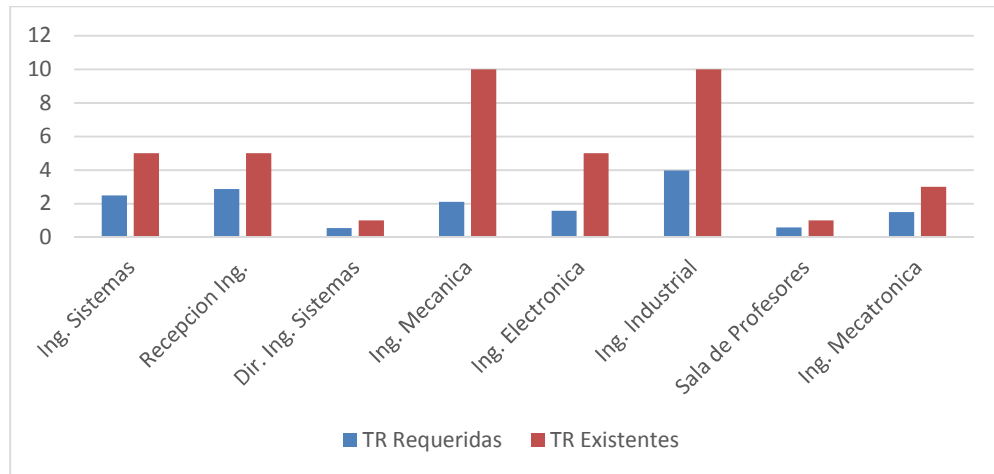
PRIMER PISO

Figura 15. Toneladas de Refrigeración Requeridas vs. Existentes. Primer Piso.



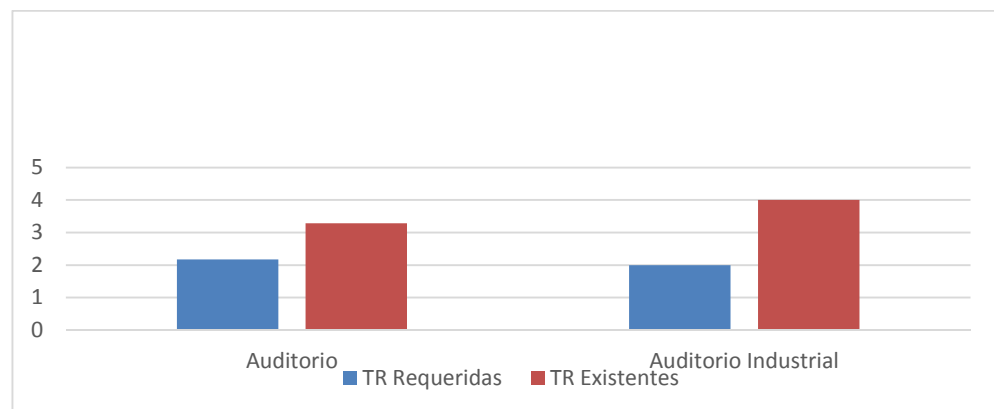
SEGUNDO PISO

Figura 16. Toneladas de Refrigeración Requeridas vs. Existentes. Segundo Piso.



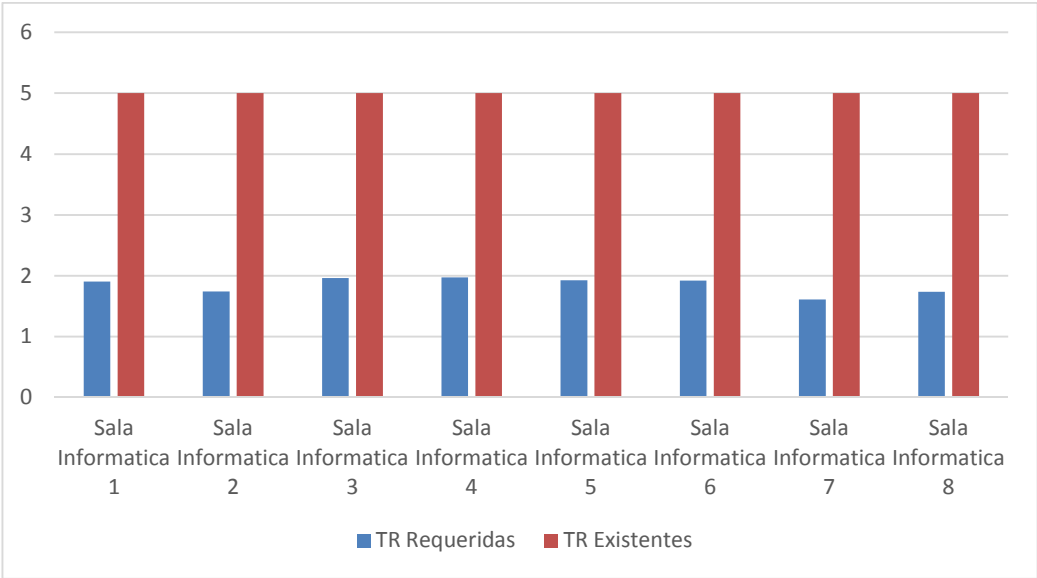
TERCER PISO

Figura 17. Toneladas de Refrigeración Requeridas vs. Existentes. Tercer Piso.



CUARTO PISO

Figura 18. Toneladas de Refrigeración Requeridas vs. Existentes. Cuarto Piso.



9.1.2 COMPARACION ENTRE LAS UNIDADES CALCULADAS POR CYPE® CON SEER 13 Y LAS EXISTENTES.

Tabla 12. Ahorro energético de las unidades con capacidad calculada por Cype® con SEER 13 con respecto al consumo de las unidades existentes.

Salón	TR Equipos Existentes	TR Equipos Según Cype®	Ahorro de TR	Ahorro de PotSEER13 W	Ahorro Energético Kwh/año	Ahorro Energético \$/año
Laboratorio Mecánica de Fluidos	3	2	1	923	2843,08	\$ 674.633,7
Laboratorio Robótica	5	3	2	1846	5686,15	\$ 1.349.267,4
Laboratorio Robótica-Salón	4	1	3	2769	8529,23	\$ 2.023.901,2
Laboratorio Resistencia de Materiales	5	2	3	2769	8529,23	\$ 2.023.901,2
Laboratorio Mecanizado	5	3	2	1846	5686,15	\$ 1.349.267,4
Programa Ingeniería de Sistemas	5	3	2	1846	5686,15	\$ 1.349.267,4
Facultad Ingeniería-Recepción	5	3	2	1846	5686,15	\$ 1.349.267,4
Director Programa Ingeniería de Sistemas	1	1	0	0	0,00	\$ 0,0
Programa Ingeniería Mecánica y Dirección	10	3	7	6462	19901,54	\$ 4.722.436,1
Programa Ingeniería Electrónica	5	2	3	2769	8529,23	\$ 2.023.901,2
Programa Ingeniería Industrial y Dirección	10	4	6	5538	17058,46	\$ 4.047.802,3
Sala de Profesores	1	1	0	0	0,00	\$ 0,0

Tabla 13. Ahorro energético de las unidades con capacidad calculada por Cype® con SEER 13 con respecto al consumo de las unidades existentes. (Continuación)

Salón	TR Equipos Existentes	TR Equipos Según Cype®	Ahorro de TR	Ahorro de PotSEER13 W	Ahorro Energético Kwh/año	Ahorro Energético \$/año
Programa Ingeniería Mecatrónica y Materiales	3	2	1	923	2843,08	\$ 674.633,7
Auditorio	2	3	-1	-923	-2843,08	-\$ 674.633,7
Auditorio Ingeniería Industrial	4	2	2	1846	5686,15	\$ 1.349.267,4
Sala de Informática 1	5	3	2	1846	5686,15	\$ 1.349.267,4
Sala de Informática 2	5	1	4	3692	11372,31	\$ 2.698.534,9
Sala de Informática 3	5	2	3	2769	8529,23	\$ 2.023.901,2
Sala de Informática 4	5	3	2	1846	5686,15	\$ 1.349.267,4
Sala de Informática 5	5	3	2	1846	5686,15	\$ 1.349.267,4
Sala de Informática 6	5	3	2	1846	5686,15	\$ 1.349.267,4
Sala de Informática 7	5	1	4	3692	11372,31	\$ 2.698.534,9
Sala de Informática 8	5	3	2	1846	5686,15	\$ 1.349.267,4

9.2 TERMOHIGROANEMOMETRIA

El caudal de aire de salida de los equipos de aires acondicionados 3, 6, 9, 11, 12, 13, 15 y 22, es bajo comparado con las toneladas de refrigeración de su diseño; por lo cual disminuye el calor sensible y latente en la máquina, y aumenta al interior del recinto. Esto puede ser debido a las siguientes situaciones:

- Una inclinación del eje y por ende un desbalanceo del blower, que arrastra menos caudal de aire.
- Filtros tapados con suciedades del ambiente.

El equipo de Aire Acondicionado con mayor eficiencia es el 8 ubicado en el Programa de Ingeniería Industrial, con un SEER de 12,18.

El equipo de Aire Acondicionado con menor eficiencia es el 22 ubicado en la Sala N°1 de Informática, con un SEER de 1,13; debido a un bajo caudal de aire y una baja humedad dentro del recinto.

La temperatura dentro de los recintos refrigerados por los equipos 7, 23, 26, 27, 28 y 29 están por debajo de la zona de confort; lo que produce un gasto mayor al necesario en energía eléctrica, esto debido al esfuerzo del equipo para mantener la temperatura.

El SEER de 10 y de 13, que sirven de referencia al momento de comparar, manejan una potencia eléctrica menor a la potencia eléctrica que actualmente tienen los equipos. Por lo que se supone que hay pérdidas en energía eléctrica que se utilizan sin ser necesario.

El ahorro energético por aires acondicionados en el bloque G, al ser comparado con un SEER de 10, es de **150040,84KWh** al año, que económicamente se

convierte en **\$35.603.191,9** anual que pierde la Universidad Autónoma del Caribe por el uso de sistemas con baja eficiencia energética.

Este mismo ahorro, siendo comparado con un SEER de 13, es de **203106,34 KWh** al año. Esto permite un ahorro de **\$48.195.102,50** anuales. Con un SEER de 13 la eficiencia energética es mayor; y es a esta a la que debe apuntar la Universidad Autónoma del Caribe, no solo por el ahorro económico sino por el menor impacto al Medio Ambiente.

Por último, al comparar las unidades calculadas por Cype® con SEER 13, con las unidades existentes, el ahorro energético es de 153526,15 KW/h al año; que se convierten en un ahorro de aproximadamente **\$36.430.221,00** anuales.

10. RECOMENDACIONES

Luego de realizar el análisis de resultados del estudio de eficiencia energética mediante la técnica Termohigroanemometría y Simulación en Cype®, se pudo constatar una serie de problemáticas a las cuales se puede dar solución implementando las recomendaciones especificadas a continuación.

- Según el estándar 62,1 del año 2010 ASHRAE sobre la calidad del aire, los equipos de aire acondicionado centrales deben tener retorno al ambiente; por lo cual es necesario que este sea construido. Esto debido a que sin un retorno, no existe renovación de aire y por lo tanto se pierde la pureza del mismo.
- Teniendo en cuenta que el caudal de aire es bajo para las toneladas de refrigeración de los equipos, es necesario crear una rutina de limpieza e inspección de mantenimiento más seguida. Esto para los equipos de aire acondicionado nombrados en el análisis de resultados.
- Crear un sistema de automatización remota que permita a los usuarios (estudiantes, profesores y personal de mantenimiento) llevar un seguimiento del funcionamiento de los equipos.
- Programar un setpoint de temperatura de 23°C recomendado para el confort del usuario, y buen funcionamiento del equipo disminuyendo su esfuerzo. Esto mediante un termostato incluido en el sistema de automatización.
- Asegurar humedades relativas en cada uno de los recintos, por encima de 50%HR. En caso de que las humedades estén por debajo de este valor, se recomienda ubicar humidificadores a la salida del evaporador.
- La Universidad Autónoma del Caribe debe estar comprometida con el desarrollo sostenible y el cuidado del Medio Ambiente, por ser Academia y

foco de semilleros investigativos que buscan mejoras en la sociedad. Es por esta razón, que se recomienda dejar de usar el refrigerante R22 que se utiliza en la totalidad de los equipos. Esto debido a que en el Protocolo de Montreal⁴⁶ se dejó claro lo dañino que es este refrigerante a la capa de ozono; y se dio un plazo hasta el 2015 para dejar de producirlo y hasta el 2030 para la desaparición total del mismo.

- Los cálculos, como se muestra en el capítulo del mismo nombre, se hicieron para SEER de 10 y 13; sin embargo, se recomienda adquirir nuevas tecnologías que mantengan SEER de 13 porque esto influye en una considerable mejoría de la eficiencia energética. De esta manera es necesario cambiar la totalidad de los equipos por sistemas de aire acondicionado que trabajen con refrigerante R410A; diseñado para las toneladas de refrigeración calculadas para cada recinto y con un SEER superior a 13.
- El software Cype[®] basado en la normativa legal vigente recomienda que todo recinto debe tener Ventilación. Dentro de la edificación que se estudia no existe ventilación; por lo que se recomienda implementar mejoras en este aspecto. Más que por mejoramiento de la eficiencia energética es por salubridad para ofrecer a los ocupantes pureza en el aire que respiran.
- Basado en los resultados arrojados por la simulación en Cype[®] se pudo constatar que los equipos de aire acondicionado estas sobredimensionados en la mayoría de los recintos de la edificación, para las condiciones a las cuales trabajan. Por tal razón se recomienda cambiar en la medida de las posibilidades los equipos existentes por otros con las toneladas de refrigeración requeridas.

⁴⁶Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. El Protocolo de Montreal. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co//contenido/contenido.aspx?catID=1288&conID=7827> Enero de 2014.

- Por último, teniendo en cuenta que el ahorro energético al cambiar los equipos existentes por otros con las toneladas de refrigeración requeridas y SEER de 13 es alto, se recomienda cambiar los equipos con la capacidad requerida y un SEER de 13.

11. CONCLUSION

El estudio de eficiencia energética realizado en los equipos de aire acondicionado del Bloque G de la Universidad Autónoma del Caribe, permitió corroborar muchas de las hipótesis planteadas.

En primer lugar se supuso un sobredimensionamiento de los aires acondicionados; lo cual queda demostrado con la simulación del comportamiento energético de la edificación, realizando el cálculo de carga térmica por refrigeración mediante el programa *Hidrofive* del software *Cype*[®]. Además, mediante el mismo se descubrió que es indispensable la ventilación al interior de los recintos para la salubridad de los ocupantes.

Por otro lado, al comparar la eficiencia actual con eficiencias SEER de 10 y 13, es posible visualizar que la eficiencia de los equipos está por debajo de la mínima recomendada.

Además se pudo observar que la potencia eléctrica de la mayoría de los equipos es considerablemente superior al que debería tener un equipo eficiente con SEER de 10 o SEER de 13, con lo cual hay mayor consumo eléctrico y por tanto mayores costos.

Cabe anotar que los equipos estudiados cuentan con tecnologías obsoletas que utilizan Refrigerante R-22; por este motivo se recomendó cambiar por equipos que trabajen con el Refrigerante R410A que además es amigable con el Medio Ambiente.

De esta manera, con las recomendaciones se pretende mejorar la eficiencia energética de los equipos, proteger el medio ambiente y disminuir el consumo económico.

Luego de comparar con un SEER mínimo recomendado de 10, se obtuvo un ahorro energético de cerca de **\$35.603.191,9** anuales. Y para un SEER de 13, que es el que se pretende cambiar, se obtuvo un ahorro energético de aproximadamente **\$48.195.102,50** anuales y con una eficiencia considerablemente más alta que el anterior.

Además, al comparar las unidades calculadas por CYPE con un SEER de 13 con las unidades existentes, se obtiene un ahorro energético de **\$36.430.221,00** anuales aproximadamente.

Con todos estos datos y cálculos la percepción es una sola; desde cualquier punto de vista se puede tener un ahorro energético, con lo cual sabemos que el Bloque G no es energéticamente eficiente y esto reduce en pérdidas para la Universidad Autónoma del Caribe.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ¹ Camilo Botero. Asociación colombiana del Acondicionamiento del Aire y de la Refrigeración ACAIRE. Editorial. Disponible en: <http://www.acaire.org/doc/revistasAnteriores/revistaAcaire61.pdf>, Enero 2014.
- ² ACAIRE (Asociación Colombiana del Acondicionamiento del Aire y la Refrigeración). Disponible en: <http://www.acaire.org/> Enero de 2014.
- ³AHRI (Air- conditioning, Heating & Refrigerating Institute). Disponible en: <http://www.ahrinet.org>, Enero de 2014.
- ⁴RITE (Reglamentos de Instalaciones Térmicas en edificios). Disponible en: <http://www.idae.es/index.php/id.27/recategoria.1030/mod.pags/mem.detalle>, Enero de 2014.
- ⁵Kent Peterson. Presidente ASHRAE año 2007. “El estándar 189.1 ayudara a preparar el terreno a un futuro más verde”. Revista ACAIRE #61.
- ⁶Foro Frio. Eficiencia energética en equipos y sistemas de aire acondicionado. Disponible en: http://www.forofrio.com/index.php?option=com_content&view=article&id=88:eficiencia Diciembre de 2013.
- ⁷Guillermo Gómez Prada, Jesús Maellas Benito, Borja Plaza Gallardo, Manuela Nieto García. Estado del arte de la modelización energética de edificios. Disponible en: http://www.sostenibilidades.org/sites/default/files/Recursos/Publicaciones/estado_del_arte_de_la_modelizacion_energetica_edificios.pdf Abril 21 de 2013.

⁸Watergy México. Eficiencia Integral en Agua y Energía. Curso básico de ahorro de energía eléctrica. Disponible en: <http://watergymex.org/contenidos/rtecnicos/Diagnosticos%20para%20agua%20y%20energia/CURSO%20BASICO%20DE%20AHORRO%20DE%20ENERGIA%20ELECTRICA.pdf> Enero de 2014

⁹Ángela Matesanz Parellada. Ciudades para un futuro más sostenible. Eficiencia Energética. Disponible en: <http://habitat.aq.upm.es/temas/a-eficiencia-energetica.html> Enero de 2014.

¹⁰José Manuel Pinazo Ojer. Manual de climatización: T. II, Cargas térmicas, Volumen 2 Pág. 100

¹¹Sergio Corp Linares, Manuel Álvarez González, Lisandro Vázquez Hernández. Cargas Térmicas en las cámaras de clima controlado que utilizan la energía solar. Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía (CUBAENERGÍA). Disponible en: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar12/HTML/articulo04.htm>, Abril de 2013.

¹²José A. Díaz, Juan J. Tineo. Empresa Eléctrica Socialista CORPOELEC. Procedimiento para evaluar la eficiencia energética de los sistemas de climatización y refrigeración de expansión directa (DX) con condensadores de aire y evaporativos. Disponible en: <http://sistemamid.com/preview.php?a=6135> Enero de 2014.

¹³Reparaciones en el hogar. Tipos de Sistemas de Aires Acondicionados para Casas y cómo funcionan. Disponible en: <http://reparaciones.about.com/od/heatingcoolingrepair/a/Types-Of-Home-Air-Conditioning-Systems-And-How-They-Work.htm>, Diciembre de 2013.

¹⁴El Aire Acondicionado. Aire Acondicionado y climatización. Disponible en: http://www.elaireacondicionado.com/tipos_aire_acondicionado/, Diciembre de 2013.

¹⁵Aires Acondicionados. Distintos tipos de aire acondicionado. Disponible en: <http://www.airesacondicionado.com/tipos-de-aire-acondicionado.htm>, Diciembre de 2013.

¹⁶Grupo JG. Simulación en la edificación. Disponible en: <http://www.grupoig.com/www/doc/simulaci%F3nedificaci%F3n.pdf> Septiembre de 2013

¹⁷Universidad Politécnica de Valencia. Ing. José Manuel Pinazo Ojer. Temperaturas equivalentes en paredes típicas de construcción española. Disponible en: http://www.vpclima.upv.es/jmpinazo/index_archivos/Pdf/CongInt6.pdf, Enero de 2014.

¹⁸I.E.S (I.T.S) Construcción B.H.I (I.T.B). Instalazio Mintegia- Dpt. Instalaciones. Instalaciones de Climatización y Ventilación. Disponible en: http://www.frioycalor.info/Climatizacion/Climatizacion_losebaApilanez_03.pdf, Enero de 2014.

¹⁹Ayuntamiento de Pamplona. Rendimiento de las Instalaciones Térmicas y demanda energética de los edificios. Disponible en: http://www.pamplona.net/pdf/guia_instalaciones_termicas.pdf, Enero de 2014.

²⁰CYPE Ingenieros. Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción. Programas. Motor de Calculo en las solapas Estudio Térmico y Climatización de CYPECADMEP. Disponible en: <http://exportacion-a-energyplus.cype.es/> Enero de 2014

²¹ Ecox Info. Technical Information Bulletin No. E-004-SP. Disponible en: <http://www.galpaexport.com/pan/descargas/46.pdf> Octubre de 2013.

²²Gas Natural Fenosa. Disponible en: <http://www.gasnaturalfenosa.es/es/negocio/productos+y+servicios/soluciones+energeticas/confort+con+climatizacion+electrica/1297147780664/prohibicion+de+recarga+del+refrigerante+r22.html> Noviembre de 2013

²³Safety Instruments. Instrumentación especializada para higiene y seguridad industrial. Disponible en: http://www.safetyinstruments.com.co/index.php?option=com_virtuemart&view=productdetails&virtuemart_product_id=37&virtuemart_category_id=21&Itemid=123 Diciembre de 2013.

²⁴Comisión de Regulación de Energía y Gas. Resolución CREG 108 de 1997. Disponible en: <https://www.contratos.gov.co/archivospuc1/2010/DA/103024000/10-15-346250/DA PROCESO 10-15-346250 103024000 1777741.pdf> Enero de 2014.

²⁵MSc. Alba Veranay Díaz Corrales. Psicrometría. Recinto Universitario Augusto C. Sandino. Disponible en: <http://avdiaz.files.wordpress.com/2009/01/i-unidad3.pdf>, Noviembre de 2013.

²⁶Gobierno de España. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Guía Técnica: Procedimientos y aspectos de la simulación de instalaciones térmicas en edificios. Disponible en: http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/OtrosDocumentos/Calificaci%C3%B3n%20energ%C3%A9tica.%20Viviendas/Guia_Procedimientos_Simulacion.pdf Enero de 2014.

²⁷Revista Ingeniería de Construcción. Volumen 17 N° 1. Año 2002. Disponible en: <http://www.ricuc.cl/index.php/ric/article/viewFile/187/pdf>, Marzo de 2013.

²⁸Editorial de Construcción Arquitectónica. Universidad de las Palmas de Gran Canaria. Conductividad Térmica y Densidad. Disponible en: <http://editorial.cda.ulpgc.es/ftp/icaro/Anexos/2-%20CALOR/4-Construccion/C.6.4%20Conductividad%20t%E9rmica%20y%20densidad.PDF>. Octubre de 2013.

²⁹Transferencia de Calor I Estado Estable. Escuela Académica Profesional Ingeniería en Industrias Alimentarias. Disponible en: <http://alimentaria.pe.tripod.com/t-estable.pdf>. Octubre de 2013.

³⁰Teoría básica y problemas propuestos de calor y termodinámica. Monografías. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos34/calor-termodinamica/calor-termodinamica2.shtml>. Octubre de 2013.

³¹ Heat Loss Calculations and Principles. CED Engineering. Disponible en: <http://www.cedengineering.com/upload/Heat%20Loss%20Calculations%20and%20Principles.pdf>. Octubre de 2013.

BIBLIOGRAFIA

MENDEZ ÁLVAREZ. Carlos. Metodología. Diseño y desarrollo del proceso de investigación con énfasis en ciencias empresariales. México: Limusa, 2011. 360 p.

DIAZ Victorio, BARRENECHE Raúl. Acondicionamiento Térmico de Edificios. Argentina. Nobuko, 2005.

ASHRAE. (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers).

CYPE Ingenieros S.A. Catálogo de Productos. España, 2011.

CYPE Ingenieros. HIDROFIVE. Manual del usuario. Segunda Edición. España, 2007.

CENGEL Yunus A., BOLES Michael A. Termodinámica. Sexta Edición. México, 2009.

NBE- CT- 79. Norma Básica de la Edificación. Condiciones Térmicas. 1979. Real Decreto 2429/79 de 6 de Julio de 1979.

12. ANEXOS

Anexo 1. Tabla de Presión de Saturación del Agua a diferentes temperaturas.

	0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
25	31,68	31,86	32,05	32,24	32,44	32,62	32,82	33,01	33,21	33,41
24	29,84	30,01	30,20	30,38	30,56	30,74	30,93	31,12	31,30	31,49
23	28,09	28,26	28,42	28,60	28,77	28,94	29,13	29,30	29,48	29,65
22	26,57	26,60	26,76	26,92	27,09	27,25	27,42	27,58	27,76	27,92
21	24,86	25,02	25,17	25,33	25,48	25,64	25,80	25,96	26,12	26,28
20	23,38	23,52	23,66	23,81	23,96	24,10	24,26	24,41	24,56	24,72
19	21,97	22,10	22,24	22,38	22,52	22,66	22,80	22,94	23,09	23,24
18	20,64	20,76	20,89	21,02	21,16	21,29	21,42	21,56	21,69	21,82
17	19,37	19,49	19,61	19,74	19,86	20,00	20,13	20,25	20,37	20,50
16	18,17	18,29	18,41	18,53	18,65	18,77	18,89	19,01	19,13	19,25
15	17,05	17,16	17,27	17,39	17,49	17,60	17,72	17,83	17,95	18,07
14	15,99	16,08	16,19	16,29	16,40	16,51	16,61	16,72	16,83	16,95
13	14,97	15,07	15,17	15,27	15,37	15,47	15,57	15,68	15,77	15,88
12	14,03	14,12	14,21	14,31	14,40	14,49	14,59	14,68	14,77	14,88
11	13,12	13,21	13,31	13,39	13,48	13,57	13,65	13,75	13,84	13,93
10	12,28	12,46	12,44	12,52	12,61	12,69	12,77	12,87	12,95	13,04
9	11,48	11,56	11,64	11,72	11,79	11,87	11,95	12,03	12,12	12,20
8	10,72	10,80	10,87	10,95	11,03	11,09	11,17	11,25	11,32	11,40
7	10,01	10,08	10,16	10,23	10,29	10,36	10,44	10,51	10,59	10,65
6	9,35	9,41	9,48	9,55	9,61	9,68	9,75	9,81	9,88	9,95
5	8,72	8,79	8,84	8,91	8,97	9,03	9,02	9,16	9,23	9,28
4	8,13	8,19	8,25	8,31	8,36	8,43	8,48	8,55	8,60	8,67
3	7,57	7,63	7,68	7,75	7,80	7,85	7,91	7,96	8,01	8,08
2	7,05	7,11	7,16	7,21	7,27	7,32	7,36	7,41	7,47	7,52
1	6,57	6,61	6,67	6,71	6,76	6,81	6,85	6,81	6,96	7,01
0	6,11	6,15	6,20	6,24	6,28	6,33	6,37	6,43	6,47	6,52

Anexo 2. Pinza Amperimétrica.



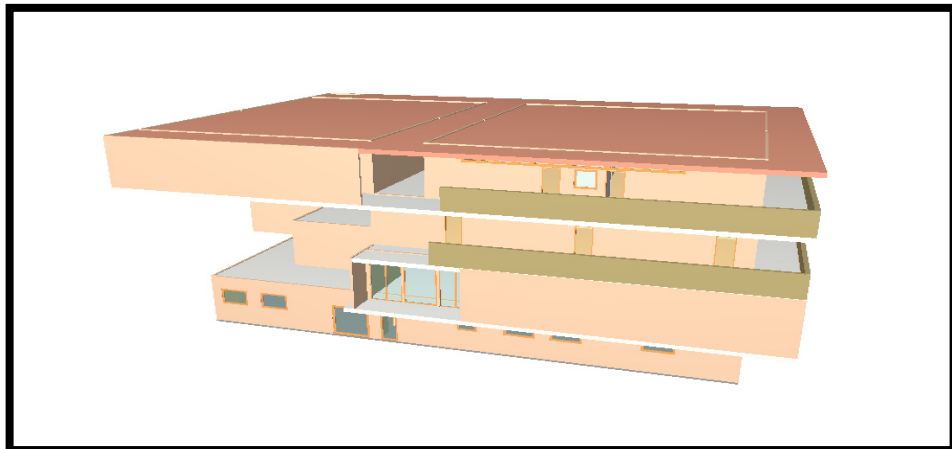
Anexo 3. Datalogger.



Anexo 4. Anemómetro.



Anexo 5. Construcción Bloque G Universidad Autónoma del Caribe en Cype



Anexo 6. Tabla Comparativa Toneladas de Refrigeración Requeridas vs. Existentes.

Recinto	CT CYPE (BTU/h)	CT CYPE (TR)	TR Existentes
Auditorio Ingeniería Industrial	39452,04	1,5038	4
Sala de Informática 1	22884,21	2,6462	5
Sala de Informática 2	20882,48	0,9628	5
Sala de Informática 3	23571,79	1,3912	5
Sala de Informática 4	23656,11	2,4761	5
Sala de Informática 5	23109,58	2,4819	5
Sala de Informática 6	23054,88	2,8807	5
Sala de Informática 7	19309,63	0,5404	5
Sala de Informática 8	20861,70	2,1105	5

Anexo 7. Tabla Comparativa Toneladas de Refrigeración Requeridas vs. Existentes.

Recinto	CT CYPE (BTU/h)	CT CYPE (TR)	TR Existentes
Laboratorio Mecánica de Fluidos	18046,37	1,5038	3
Laboratorio Robótica	31754,76	2,6462	5
Laboratorio Robótica- Salón	11553,94	0,9628	4
Laboratorio Resistencia de Materiales	16695,24	1,3912	5
Laboratorio Mecanizado	29713,63	2,4761	5
Programa Ingeniería de Sistemas	29783,20	2,4819	5
Facultad Ingeniería- Recepción	34568,88	2,8807	5
Director Programa Ingeniería de Sistemas	6485,32	0,5404	1
Programa Ingeniería Mecánica y Dirección	25326,42	2,1105	10
Programa Ingeniería Electrónica	19014,41	1,5845	5
Programa Ingeniería Industrial y Dirección	47608,98	3,9674	10
Sala de Profesores	6915,24	0,5762	1
Programa Ingeniería Mecatrónica y Materiales	17912,69	1,4927	3
Auditorio	26086,25	2,1738	2