

**GESTIÓN DE LA ENERGÍA: HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA LA  
SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS DE AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMAS DE  
CLIMATIZACIÓN EN ESPACIOS INTERIORES DE LA UIS**

**ANDRÉS FERNEY CARREÑO MARTÍNEZ**

**ANDRÉS FELIPE ORTEGA AGUILLÓN**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE  
TELECOMUNICACIONES**

**BUCARAMANGA**

**2016**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**



**GESTIÓN DE LA ENERGÍA: HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA LA  
SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS DE AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMAS DE  
CLIMATIZACIÓN EN ESPACIOS INTERIORES DE LA UIS**

**Andrés Ferney Carreño Martínez**

**Andrés Felipe Ortega Aguillón**

**Trabajo de grado para optar por los títulos de Ingeniero Electrónico e Ingeniero  
Electricista**

**Director**

**Ing. Julian Oswaldo Flórez Reyes**

**Codirectores**

**MSc German Alfonso Osma Pinto**

**Dr. Gabriel Ordóñez Plata**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE  
TELECOMUNICACIONES**

**BUCARAMANGA**

**2016**

## **AGRADECIMIENTOS**

Al ser que siempre me ha amparado y acompañado en salir adelante: gracias, mi adorada madre Marleny Martínez, por su total esfuerzo y lucha, por creer en mí.

A mi abuelita María Elena Hernández Rueda: quien ha estado pendiente de mí con su atención y afecto.

A mis hermanas Jinna Marcela, Mónica Yulieth y Yeimy Lorena: quienes también me han acompañado con su cariño y han compartido conmigo a pesar de las circunstancias.

A aquellas otras personas que también me rodean, con quienes he podido compartir momentos y han influenciado positivamente en mí.

*Andrés F. Carreño Martínez.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi madre María Elsa Aguillón y mi padre Lorenzo Ortega Bautista por su comprensión y amor.

A mi tía Amanda Aguillón Santos por apoyarme siempre y brindarme su amor.

A mis hermanos Juan Estaban y Lorena Andrea que son lo mejor que tengo.

A aquellas otras personas que también me rodean, con quienes he podido compartir momentos y han influenciado positivamente en mí, al igual a mis directores de tesis que les tendré gratitud eterna.

*Andrés Felipe Ortega Aguillón.*

## CONTENIDO

	Página.
INTRODUCCIÓN	17
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE GRADO	19
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
1.2. OBJETIVOS	20
1.2.1. Objetivo general.	20
1.2.2. Objetivos específicos.	20
1.3. ALCANCE	21
1.4. JUSTIFICACIÓN	22
2. ANTECEDENTES, MARCO TEÓRICO Y SITUACIÓN ACTUAL	24
2.1. SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN EN EDIFICACIONES	24
2.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN	25
2.3. ARQUITECTURA DE LOS SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN	26
2.4. NORMA ASHRAE	28
2.5. CONFORT TÉRMICO	29
3. CLIMATIZACIÓN DE EDIFICIOS EN LA UIS	31
3.1. SELECCIÓN DE EQUIPOS Y SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN	31
3.1.1. Sistemas HVAC.	34
3.1.2. Equipos y sistemas de aire acondicionado.	34
3.2. ESPACIOS INTERIORES UIS	36
4. PARÁMETROS DEL USO RACIONAL DE LA ENERGÍA EN CLIMATIZACIÓN	39
4.1. ENERGÍA TÉRMICA	39
4.2. CARGA TÉRMICA	40

4.3.	CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	40
4.4.	EFICIENCIA ENERGÉTICA	42
4.5.	BENEFICIOS DEL USO RACIONAL DE LA ENERGÍA EN LAS EDIFICACIONES	43
5.	ESTRATEGIAS DE AUTOMATIZACIÓN PARA CLIMATIZACIÓN EN EDIFICACIONES	45
5.1.	CONTROL DE LA DEMANDA ELÉCTRICA	45
5.1.1.	Descripción y características.	45
5.1.2.	Gráfica de comportamiento.	46
5.2.	CONTROL DE LA TEMPERATURA	47
5.2.1.	Descripción y características.	48
5.2.2.	Gráfica de comportamiento.	49
5.3.	CONTROL DE LA DEMANDA DE VENTILACIÓN	50
5.3.1.	Descripción y características.	50
5.3.2.	Gráfica de comportamiento.	51
5.4.	CONTROL POR HORARIO	52
5.4.1.	Descripción y características.	52
5.4.2.	Gráfica de comportamiento.	53
5.5.	CONTROL DE LA PRESIÓN	54
5.5.1.	Descripción y características.	54
5.5.2.	Gráfica de comportamiento.	55
5.6.	CONTROL DE LA VENTILACIÓN NATURAL	56
5.7.	CONTROL POR PRESENCIA	57
5.7.1.	Descripción y características.	57
5.7.2.	Gráfica de comportamiento.	58
5.8.	CONTROL POR AJUSTE DE OPERACIÓN DE TRABAJO	59
5.8.1.	Descripción y características.	60
5.8.2.	Gráfica de comportamiento.	61
5.9.	CONTROL INTEGRADO DE CONSUMO ENERGÉTICO	62
5.9.1.	Descripción y características.	62
5.9.2.	Gráfica de comportamiento.	63
6.	PROCESOS DE ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS	65
6.1.	PROCESO CUANTITATIVO	65
6.2.	PROCESO CUALITATIVO	66

7.	DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL	68
7.1.	PRESENTACIÓN DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL	68
7.1.1.	Diagramas y uso de la herramienta computacional.	69
7.1.2.	Ventana parámetros arquitectónicos.	70
7.1.3.	Ventana cantidad de ocupantes y puertas.	72
7.1.4.	Ventana consumo de potencia.	73
7.1.5.	Ventana resultados.	75
7.2.	COMPARACIÓN Y RESULTADOS DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL	79
8.	CONCLUSIONES	82
9.	RECOMENDACIONES	84
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
	BIBLIOGRAFÍA	90
	ANEXOS	94

## ANEXOS

	Página
ANEXO A. COMPONENTES PARA EL CÁLCULO DE LA CARGA DE ENFRIAMIENTO	94
A.1. DEFINICIÓN DE CARGA DE ENFRIAMIENTO	94
A.2. DIAGRAMA PSICROMÉTRICO PARA EL CÁLCULO DE LA CARGA DE ENFRIAMIENTO	95
A.3. RADIACIÓN SOLAR	96
ANEXO B. CÁLCULO DE CARGA DE ENFRIAMIENTO	98
B.1. CALOR SENSIBLE DEBIDO A RADIACIÓN A TRAVÉS DE VENTANAS (QSR)	99
B.2. CALOR SENSIBLE DEBIDO A LA RADIACIÓN Y TRANSMISIÓN A TRAVÉS DE PAREDES Y TECHOS EXTERIORES (QSTR)	102
B.3. CALOR SENSIBLE DEBIDO A LA TRANSMISIÓN A TRAVÉS DE PAREDES Y TECHOS NO EXTERIORES (QST)	104
B.4. CALOR SENSIBLE DEBIDO AL AIRE DE INFILTRACIONES (QSI)	107
B.5. CALOR SENSIBLE GENERADO POR LAS PERSONAS QUE OCUPAN EL LUGAR (QSP)	108
B.6. CALOR SENSIBLE GENERADO POR LA ILUMINACIÓN DEL LUGAR (QSIL)	109
B.7. CALOR SENSIBLE GENERADO POR MÁQUINAS (QSM)	110
B.8. CALOR LATENTE DEBIDO AL AIRE DE INFILTRACIONES (QLI)	111
B.9. CALOR LATENTE GENERADO POR LAS PERSONAS QUE OCUPAN EL LUGAR (QLP)	114
B.10. CARGA SENSIBLE TOTAL (QS)	114
B.11. CARGA LATENTE TOTAL (QL)	115
B.12. CALOR SENSIBLE PROCEDENTE DEL AIRE DE VENTILACIÓN (QSV)	115
B.13. CALOR LATENTE PROCEDENTE DEL AIRE DE VENTILACIÓN (QLV)	116
B.14. CARGA SENSIBLE EFECTIVA PARCIAL (QSEP)	117
B.15. CARGA LATENTE EFECTIVA PARCIAL (QLEP)	117
B.16. CARGA SENSIBLE EFECTIVA TOTAL (QSE)	118
B.17. CARGA LATENTE EFECTIVA TOTAL (QLE)	118
B.18. TOTAL DE CARGA DE REFRIGERACIÓN (QT)	118
ANEXO C. AUTOMATIZACIÓN EN EDIFICACIONES	120
C.1. CONTROL DE LA DEMANDA ELÉCTRICA	121
C.2. CONTROL DE LA TEMPERATURA	123
C.3. CONTROL DE LA DEMANDA DE VENTILACIÓN	125
C.4. CONTROL POR HORARIO (TEMPORIZADORES)	127
C.5. CONTROL DE LA PRESIÓN	128
C.6. CONTROL DE LA VENTILACIÓN NATURAL	130
C.7. CONTROL POR PRESENCIA	133
C.8. CONTROL POR AJUSTE DE OPERACIÓN O DE TRABAJO	136
C.9. CONTROL INTEGRADO DE CONSUMO ENERGÉTICO	137
ANEXO D. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO	141
D.1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	147
D.1.1 Acople.	148

D.1.2. Adaptabilidad.	149
D.1.3. Dimensión.	150
D.1.4. Peso.	150
D.1.5. Precisión.	151
D.2. COSTOS	152
D.2.1. Equipos.	153
D.2.2. Funcionamiento.	153
D.2.3. Instalación.	153
D.2.4. Mantenimiento.	154
D.3. IMPACTO AMBIENTAL	154
D.3.1 .Ahorro de energía.	155
D.3.2. Reducción de emisiones.	156
D.3.3. Rendimiento.	156
D.4. OPERATIVIDAD	157
D.4.1. Capacidad y rapidez.	158
D.4.2. Flexibilidad.	158
D.4.3. Maniobrabilidad.	158
D.5. PARÁMETROS DE MODELO	159
ANEXO E. MANUAL DE USUARIO	164
E.1. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL	164
E.2. PARÁMETROS ARQUITECTÓNICOS	164
E.3. CANTIDAD DE PERSONAS Y PUERTAS	165
E.4. CONSUMOS DE POTENCIA	165
E.5. ESTRATEGIAS, CONSUMOS, CÁLCULOS, SELECCIÓN Y MUESTRA DE EQUIPOS	166

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página.
Figura 1. Esquema general de edificio inteligente.....	25
Figura 2. Arquitectura centralizada.....	26
Figura 3. Arquitectura descentralizada.....	27
Figura 4. Arquitectura distribuida.....	28
Figura 5. Componentes y funcionamiento de sistemas de aire acondicionado.....	31
Figura 6. Comportamiento general del uso de la capacidad de equipos en el control de la demanda eléctrica.....	47
Figura 7. Comportamiento general del uso de la capacidad de equipos en el control de la temperatura.....	49
Figura 8. Comportamiento general del uso de la capacidad de equipos en el control de la demanda de ventilación.....	51
Figura 9. Comportamiento general del uso de la capacidad de equipos en el control por horario.....	53
Figura 10. Comportamiento general del uso de la capacidad de equipos en el control de la presión.....	55
Figura 11. Comportamiento general del uso de la capacidad de equipos en el control por presencia.....	59
Figura 12. Comportamiento general del uso de la capacidad de equipos en el control por ajuste de operación o de trabajo.....	61
Figura 13. Comportamiento general del uso de la capacidad de equipos en el control integrado de consumo energético.....	63
Figura 14. Diagrama de entradas y salidas de la herramienta computacional.....	68
Figura 15. Diagrama de flujo herramienta computacional, interpretación usuario.....	69
Figura 16. Diagrama de flujo herramienta computacional, interpretación desarrollador.....	70
Figura 17. Entorno principal de la herramienta computacional, sección de preguntas y respuestas acerca de parámetros arquitectónicos.....	71
Figura 18. Entorno principal de la herramienta computacional, sección de preguntas y respuestas acerca de cantidad de ocupantes y puertas.....	73
Figura 19. Entorno principal de la herramienta computacional, sección de preguntas y respuestas acerca de consumo de potencia.....	74
Figura 20. Entorno principal de la herramienta computacional, sección de muestra de resultados, componente de consumo de potencia.....	76
Figura 21. Entorno principal de la herramienta computacional, sección de muestra de resultados, componente de mejores estrategias.....	78

## ÍNDICE DE TABLAS

	Página.
Tabla 1. Parámetros cuantificables para la evaluación del confort térmico. ....	29
Tabla 2. Índices de sensación térmica en Colombia. ....	30
Tabla 3. Características técnicas de aires acondicionados en Colombia. ....	32
Tabla 4. Lista de edificios sede principal UIS. ....	36
Tabla 5. Espacios interiores a adecuar. ....	37
Tabla 6. Clasificación de consumo energético. ....	41
Tabla 7. Características del sistema de control de demanda eléctrica. ....	46
Tabla 8. Características del sistema de control de la temperatura. ....	48
Tabla 9. Características del sistema de control de la demanda de ventilación. ....	50
Tabla 10. Características del sistema de control por horario. ....	52
Tabla 11. Características del sistema de control de presión. ....	54
Tabla 12. Características del sistema de control de ventilación natural. ....	57
Tabla 13. Características del sistema de control por presencia. ....	58
Tabla 14. Características del sistema de control por ajuste de operación o de trabajo. ....	60
Tabla 15. Características del sistema de control integrado de consumo energético. ....	62
Tabla 16. Objetivos principales y criterios del análisis jerárquico. ....	66
Tabla 17. Resumen de valores de refrigeración instalada y cálculo de enfriamiento, de acuerdo con el tipo de espacio interior de la UIS. ....	80

## RESUMEN

**TÍTULO:** GESTIÓN DE LA ENERGÍA: HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA LA SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS DE AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN EN ESPACIOS INTERIORES DE LA UIS <sup>1</sup>

**AUTORES:** Andrés Ferney Carreño Martínez, Andrés Felipe Ortega Aguillón. <sup>2</sup>

**PALABRAS CLAVES:** Sistemas de automatización, Sistemas HVAC, Norma ASHRAE, confort térmico.

**DESCRIPCIÓN:** En este trabajo de grado se propone el desarrollo de una herramienta computacional selectora de estrategias de automatización de sistemas de climatización en los espacios interiores de la Universidad Industrial de Santander (UIS), que sirve de referencia en la gestión y cumplimiento de las políticas de uso racional de la energía. La herramienta guía el plan de optimización del consumo energético necesario para el uso de los diferentes espacios de la universidad, aprovechando las fuentes de generación de energía y los beneficios ofrecidos por algunos tipos de construcciones según su arquitectura o distribución espacial. Para lo anterior, se tiene en cuenta la información bibliográfica seleccionada, la recopilación de datos de caracterización en los diferentes edificios de la institución educativa y finalmente, la construcción de la herramienta computacional que incluye parámetros eléctricos, de distribución espacial, de rendimiento y financieros a seguir para el cumplimiento de los objetivos y evaluar la viabilidad o no de la implementación de sistemas de automatización en las edificaciones de la universidad.

El resultado del desarrollo del proyecto es un aplicativo informático que determina los elementos o sistemas de control adecuados para cada tipo de edificación, según su uso y distribución espacial. Luego, se documentan conclusiones y recomendaciones para trabajos futuros.

---

<sup>1</sup> Trabajo de grado.

<sup>2</sup> Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctricas, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director Ing. Julian Oswaldo Flórez Reyes. Codirector MSc German Alfonso Osma Pinto. Dr. Gabriel Ordóñez Plata.

## ABSTRACT

**TITLE:** ENERGY MANAGEMENT: COMPUTATIONAL TOOL TO SELECTION OF AUTOMATION'S CRAFTS OF ACCLIMATIZATION SYSTEMS IN INTERIOR SPACES OF UIS. <sup>1</sup>

**AUTHORS:** Andrés Ferney Carreño Martínez, Andrés Felipe Ortega Aguillón. <sup>2</sup>

**KEYWORDS:** Automation systems, HVAC Systems, ASHRAE, thermal comfort.

**DESCRIPTION:** In this degree work proposes the development of a selector computational tool of automation strategies of acclimatization systems in the interior spaces of Santander Industrial University, which will be a reference in management and compliance of politic of energy rational use. The software tool guides the optimization plan of the energetic consumption necessary to the use of different buildings of university, to avail the sources of energy generation and the benefits offered by some structures types according to its architecture or spatial distribution. For this, it considers the bibliographic information selected, the compilation of characterization in different buildings of university educational and finally, the construction of a computational tool that includes electric parameters, of spatial distribution, of performance and financials to follow for compliance of objectives and evaluate the viability or none of implementation of automation systems in the buildings of the university.

The result of development of project is an informatics application that determines the elements or control systems suitable for each construction type, according its use and spatial distribution. Then, it documents conclusions and recommendations for future works.

---

<sup>1</sup> Degree Project.

<sup>2</sup> Physical-Mechanical Engineering Faculty. Electrical, Electronic and Telecommunications School. Advisor Eng. Julian Oswaldo Flórez Reyes. Coadvisors MSc German Alfonso Osma Pinto. Dr. Gabriel Ordóñez Plata.

## INTRODUCCIÓN

El término automatización, en la contemporaneidad, tiene una connotación de ahorro de consumo eléctrico, el cual es una alternativa trascendental al momento de considerar la idea de optimizar el uso de la energía. Además, la automatización también ofrece un conjunto de beneficios en cuanto a mejoras tecnológicas para el funcionamiento de sistemas, máquinas y edificaciones, pues conlleva a la autonomía de cualquier labor o proceso [1].

La automatización se venía desarrollando a través del uso de sistemas electromecánicos, pero debido a inconvenientes de obsolescencia, complejidad e instalación, se fue mejorando la forma de garantizar las condiciones de confort en los recintos interiores. Fue así como surgió el control inteligente, el cual facilita la automatización en la industria, obras civiles y edificaciones. Dicho tipo de inspección inteligente permite conseguir tanto el control como la vigilancia de las distintas variables o equipos de una industria u obra. La determinación del total de inversión en sistemas de control y protección de los equipos es una disposición del propietario a ser analizada, tomando en cuenta especialmente la finalidad y aplicación de los equipos. Los aparatos y estructuras deben ser empleados para la finalidad proyectada y en las condiciones descritas de funcionamiento.

Desde hace algunos años se ha fortalecido la idea de realizar construcciones inteligentes (*“smart buildings”*) como iniciativa de sostenibilidad ambiental, implicando el imprescindible concepto de automatización de edificios. Este es un argumento que integra estudios teóricos, conocimientos básicos sobre temas arquitectónicos, eléctricos y electrónicos; elementos, estrategias y sistemas de control; máquinas y dispositivos de iluminación, aires acondicionados, de calefacción y ventiladores, climatización artificial; control de seguridad y vigilancia, entre otras; que va ligado al diseño de estrategias de implementación para dar eficacia a las acciones que propendan incentivar el uso racional de la energía, la construcción o adecuación de edificios ambientalmente sostenibles y al mejoramiento del confort en los diferentes entornos [2].

Al día de hoy, para los sistemas de automatización y climatización, se ha venido innovando en cuanto a protocolos de comunicación, transmisión de datos y visualización de las tareas de control y monitorización, facilitando las labores de operación y mantenimiento, liberando así a las personas de las dos tareas mencionadas, ventaja propia de los sistemas de automatización y climatización [1], [3].

La meta principal de este trabajo de grado es el desarrollo de una herramienta software que guíe la selección de estrategias de automatización para sistemas de climatización

para una eventual implementación de dicho proceso de automatización en espacios interiores de la UIS. Con esto, se darán pautas sobre los elementos y sistemas eléctricos, electrónicos y de controles convenientes a incluir o, si de manera sencilla, es necesario realizar solo adecuaciones locativas sencillas en los espacios interiores de la universidad para mejorar su confort.

El documento de trabajo de grado contiene siete capítulos organizados de la siguiente forma: el primero expone la descripción del proyecto, el segundo presenta el contexto teórico, el tercero trata el tema de climatización de edificios en la UIS, el cuarto hace mención a los parámetros del uso racional de la energía en climatización, el quinto abarca la temática sobre automatización en edificaciones y las estrategias de implementación, el sexto presenta el proceso de clasificación de estrategias y el séptimo muestra el desarrollo de la herramienta computacional. Adicionalmente, el documento tiene otros apartados que son: conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos.

## 1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE GRADO

Este capítulo hace referencia a la estructura general de la forma de la propuesta de grado, incluyendo el planteamiento del problema, objetivos planteados, alcances previstos, justificación del trabajo de grado e impactos esperados.

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Muchas de las edificaciones construidas desde hace algún tiempo hasta la actualidad no contemplan características de ahorro energético, en particular en sus sistemas de aires acondicionados, ni tampoco ofrecen en su diseño arquitectónico espacios adecuados para un mayor flujo de aire natural, elementos necesarios para la atenuación del impacto negativo hacia el medio ambiente [4]. También, debido a la innovación tecnológica, se ha tenido la necesidad de adquirir e instalar más equipos de computación, redes, nuevos electrodomésticos, entre otros más que, por sus características reactivas, alteran el funcionamiento de los sistemas de alimentación eléctrica diseñados para ese tipo de estructuras, generando problemas de sobrecarga, deterioro de las instalaciones eléctricas y consumo excesivo e innecesario, lo cual es posible corregir. Para ello, se pretende introducir al diseño de cada edificación de la institución educativa algunos conceptos sobre uso racional de la energía.

Actualmente y, desde hace varios años, los grupos de investigación GISEL (*Grupo de Investigación en Sistemas de Energía Eléctrica*) y CEMOS (*Grupo de Investigación en Control, Electrónica, Modelado y Simulación*) de la Universidad Industrial de Santander (UIS), dentro de sus áreas de estudio han incluido el Uso Racional de Energía (URE) y Energías Alternativas, en las que se desarrollan investigaciones que permiten mejorar los sistemas de consumo energético de las edificaciones y determinan alternativas para el desarrollo de nuevas fuentes de generación de energía eléctrica [4], [5].

Para la mejora de los sistemas de consumo energético en edificaciones es importante tener información previa sobre los sistemas de automatización de edificaciones (*BAS, Building Automation Systems*) existentes y disponibles en el mercado, de igual forma, es importante conocer y establecer los criterios bajo los cuales fueron implementados los sistemas de automatización dentro de las instalaciones de la UIS, y en particular a los sistemas de climatización se refiere. Dadas las circunstancias contemporáneas respecto al impacto ambiental, la universidad se ha visto inmersa dentro del concepto de construcciones sostenibles, mediante la inclusión de lineamientos de diseño de la

automatización orientados al uso racional de la energía en sus espacios interiores. Para los parámetros de diseño de las áreas internas de la UIS se requiere de información, tales como inventario de sistemas de climatización presentes o próximos a implementarse, tal que permita realizar sugerencias a los procedimientos y lineamientos a seguir en las edificaciones para lograr un adecuado URE, mediante el uso de alguna base de datos o herramienta computacional.

De esta manera surge este trabajo de investigación cuya finalidad consiste en desarrollar una herramienta computacional que permita seleccionar sistemas de climatización adecuados, orientados al uso racional de la energía en espacios interiores en la Universidad Industrial de Santander con base en la información de los sistemas BAS existentes.

## **1.2. OBJETIVOS**

Esta sección hace referencia a las metas del trabajo de grado, incluyendo el objetivo general y los específicos.

**1.2.1. Objetivo general.** Extender el proceso institucional de uso racional de la energía mediante la selección de estrategias de automatización de sistemas de climatización en espacios interiores de la Universidad Industrial de Santander, con base en la información contenida en un aplicativo computacional a desarrollar.

### **1.2.2. Objetivos específicos.**

El cumplimiento del objetivo general del trabajo de grado comprende:

- Objetivo específico 1: Conocer los fundamentos teóricos sobre automatización de edificios para seleccionar lineamientos de sistemas de climatización, previo a la construcción de una base de datos.
  
- ✓ Tarea 1: Indagar acerca de la oferta en el mercado sobre sistemas de climatización de edificios, organizando la consulta por empresas y por topologías.

- ✓ Tarea 2: Realizar una clasificación de espacios interiores, de acuerdo con su uso (aulas, auditorios, salas de cómputo, salas de lectura, laboratorios), análisis de su distribución y viabilidad de la implementación de sistemas de climatización.
- ✓ Tarea 3: Almacenar la información en una base de datos previa a la construcción de la herramienta computacional a implementar.
- Objetivo específico 2: Determinar los parámetros presentes en el uso racional de la energía que se tendrán en cuenta como criterios de selección de los sistemas de climatización.
  - ✓ Tarea 4: Adoptar la información necesaria para el diseño del instrumento computacional a realizar, incluyendo solo los parámetros más relevantes requeridos, según el enfoque del uso racional de la energía.
- Objetivo específico 3: Desarrollar una herramienta computacional que permita la adecuación de los sistemas de climatización de acuerdo con el uso de cada espacio interior, con el apoyo de la base de datos existente.
  - ✓ Tarea 5: Elaborar una lista de entradas y salidas, que permita el ingreso de datos a la herramienta para obtener criterios de selección de sistemas de automatización de acuerdo con la base de datos.
  - ✓ Tarea 6: Rescatar los resultados finales obtenidos a partir de los procesos de búsqueda, selección y filtrado de información.

### **1.3. ALCANCE**

En este trabajo de grado se realiza un estudio preliminar sobre automatización de edificaciones que utilice como criterio de implementación el uso racional de la energía para reducir el impacto ambiental causado por la mayoría de los actuales sistemas artificiales de climatización.

Este proyecto se realiza a partir de la revisión del contexto teórico comprendiendo temas como los sistemas de automatización y climatización, contemplando algunos de los lineamientos prácticos de implantación, teniendo en cuenta parámetros de consumo, precio, rendimiento y otros requerimientos de orden técnico conforme al diseño arquitectónico y al uso dado para cada edificación. Posteriormente, se recopila la información necesaria a almacenarse en una base de datos, acciones que permiten seleccionar el sistema de climatización apto para cada espacio interior de la universidad.

El trabajo se efectúa alrededor de las estrategias de ahorro y optimización de consumo dentro del marco del uso racional de la energía, contribuyendo con las políticas ambientales de la institución universitaria de uso eficiente y desarrollo sostenible.

Los resultados de este proyecto de grado servirán en posteriores estudios y desarrollos que conlleven al mejoramiento del confort en todos los espacios institucionales, aprovechamiento sostenible de la energía eléctrica y utilización de otras fuentes de energía en las instalaciones de la universidad, respondiendo a los requerimientos del proceso de gestión ambiental, con el fin de dar cumplimiento al programa URE.

#### **1.4. JUSTIFICACIÓN**

Actualmente, gran parte de la planta física del campus universitario de la UIS presenta en sus edificios falencias en los sistemas de ventilación y algunas de estas construcciones carecen de los mismos por el hecho de haber sido diseñadas durante épocas en las cuales no se tuvo presente la optimización del consumo de energía.

Sin embargo, la institución educativa ha presentado paulatinamente un plan de rediseño y reestructuración de sus edificaciones, adecuándolas a las necesidades de optimización en el consumo energético con el fin de estar a la vanguardia en políticas del uso racional de energía. Para lo anterior, se plantea la idea de seguir el proceso de automatización de edificios en la universidad, llevándolos a la categoría de edificaciones verdes o ecológicas. El edificio de la E<sup>3</sup>T de la UIS es uno de los pioneros contando con sistemas de iluminación y climatización, tanto natural como artificial, sensores de temperatura y flujo lumínico, techo verde, sistemas de aislamiento térmico, uso racional del agua, sistema de generación fotovoltaica, control de accesos y anti-incendios. Lo anterior perfila a la universidad para ser modelo regional en cuanto a construcciones verdes o ecológicas [6].

Uno de los objetivos de este trabajo de grado es contribuir a estos lineamientos ambientales trazados mediante el desarrollo de una herramienta computacional para la adecuada selección de las estrategias de automatización orientadas al uso racional de la energía en espacios interiores en la Universidad Industrial de Santander. Concretamente, se desarrollará un aplicativo informático en el cual se recopilará información acerca de sistemas de automatización, productos y mecanismos de ventilación para los cuales se incluirán especificaciones técnicas, marcas, precios, disponibilidad en el mercado local o regional, costos de implementación, todo esto sumado a la herramienta computacional, la cual de acuerdo con los tipos de espacios interiores y del uso que se les dé a estos, se formulará un diagnóstico de selección que establecerá qué tipo de sistemas o productos se pueden utilizar acorde a las normas vigentes de calidad y hacer en estos espacios interiores un empleo adecuado del URE, para así dar el salto de las actuales instalaciones de baja eficiencia energética a un proyecto de actualización de construcciones sostenibles dentro del alma máter, acompañado de otros planes de aprovechamiento de recursos renovables y construcción de edificaciones verdes [6].

## 2. ANTECEDENTES, MARCO TEÓRICO Y SITUACIÓN ACTUAL

Este capítulo da información previa acerca de la automatización de edificios, abordando temáticas como: sistemas de automatización en edificaciones, características generales y tipos de arquitectura, norma ASHRAE y confort térmico, con el fin de saber, de forma general, de qué se trata el proceso de automatización, qué implicaciones tiene, qué conceptos lo acompañan y definir qué se pretende conseguir, para el caso, la sensación de confort térmico en los espacios interiores de la UIS.

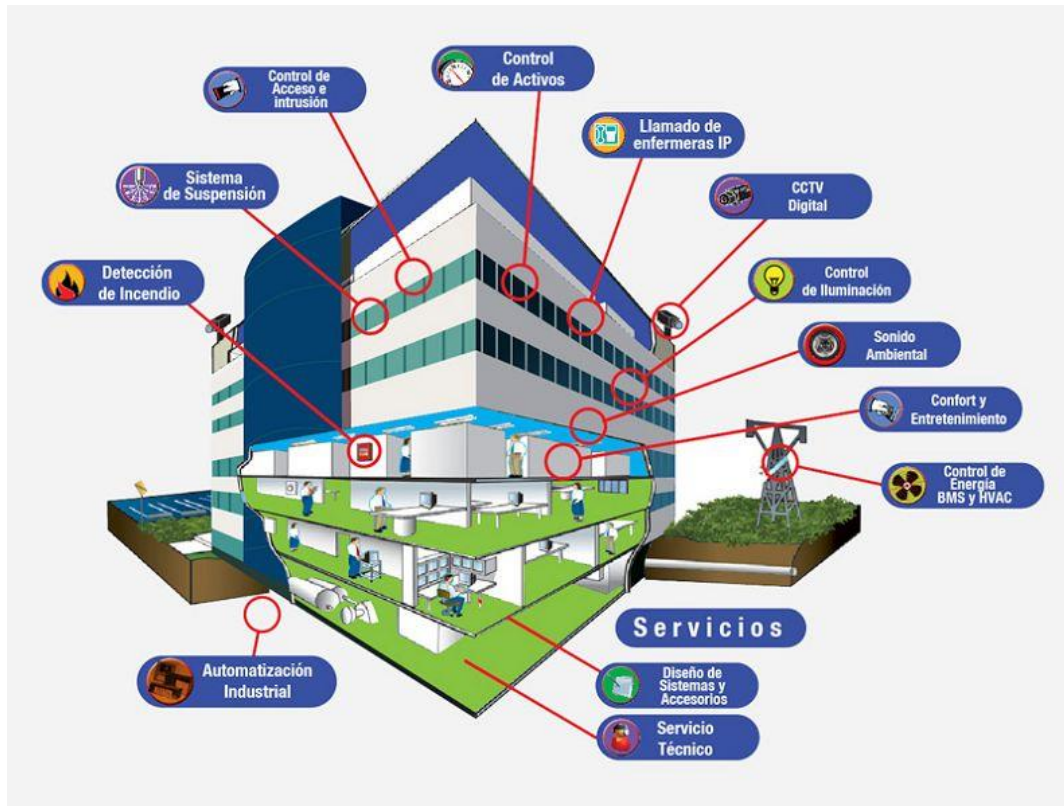
### 2.1. SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN EN EDIFICACIONES

La automatización en edificaciones es la realización del control de operaciones de seguridad, iluminación, climatización y acceso dentro de estas. Este conjunto de acciones son la manera más relevante de asegurar económicamente la operación y eficiencia de los diferentes equipos e instalaciones. Los requerimientos de los sistemas de automatización en edificaciones (*Building Automation Systems, BAS*) que deben presentar las construcciones actualmente son:

- Su construcción debe seguir políticas URE.
- Posibilidad de crecimiento y continuo mejoramiento.
- Reducción de costos de operación y mantenimiento.
- Control de acceso y seguridad de los sistemas HVAC.

El esquema básico de los sistemas de automatización de edificios es mostrado en la Figura 1, el cual está conformado por varios subsistemas que desarrollan una labor determinada, tales como: optimización de consumo energético, monitorización continua, control de equipos, seguridad, análisis de datos, entre otros. Para la integración de dichos subsistemas es necesaria una red que enlace diversos dispositivos electrónicos que lleven a cabo su cometido [2].

Figura 1. Esquema general de edificio inteligente.



Fuente: [7].

## 2.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN

Los pilares fundamentales sobre los cuales se soportan los sistemas de automatización de edificios se resumen en:

- Simples y fáciles de utilizar: Por la disposición final de estos sistemas de automatización que serán de uso por parte de personas comunes se debe cumplir condiciones de simplicidad y facilidad cuya interfaz de usuario permita confort.
- Flexibles: Por las eventuales o inminentes necesidades de ampliaciones y modificaciones, los BAS deben incluir la posibilidad de adaptaciones futuras, las cuales deben implicar una cantidad mínima de costos y esfuerzos.
- Modulares: Los sistemas de control de las edificaciones deben establecerse por módulos y permitir fácilmente posibles ampliaciones de nuevos servicios.

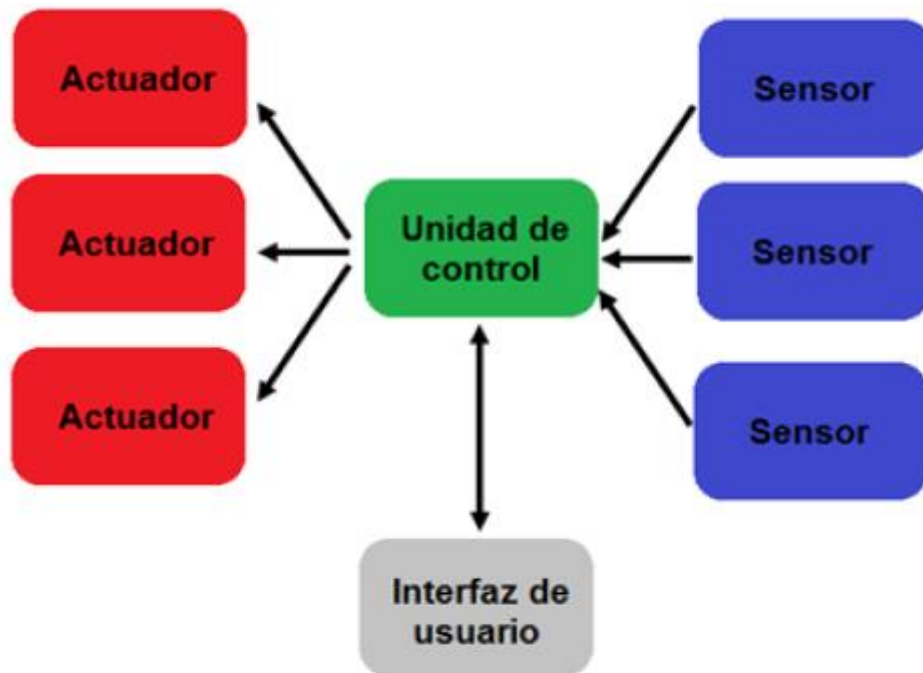
- Integrales: Toda la información debe ser susceptible a intercambios, y las áreas de gestión del edificio a la fácil comunicación entre sí, en tal sentido, la finalidad es que los subsistemas tengan perfecta integración [8].

### 2.3. ARQUITECTURA DE LOS SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN

La arquitectura de los BAS consiste en la manera de ubicar los diferentes elementos de control en el sistema de automatización. Existen tres tipos básicos de arquitectura:

- Arquitectura centralizada: Es aquella en la que los elementos a controlar y supervisar (sensores, luces, válvulas, aires acondicionados y demás componentes) han de cablearse hasta el sistema de control del edificio (autómata, PC, entre otros tipos de mandos). Todos los elementos sensores reúnen la información del sistema y se la envían al controlador para que tome las decisiones y se las comunique a los elementos actuadores. La Figura 2 muestra la arquitectura de un sistema de control centralizada [8].

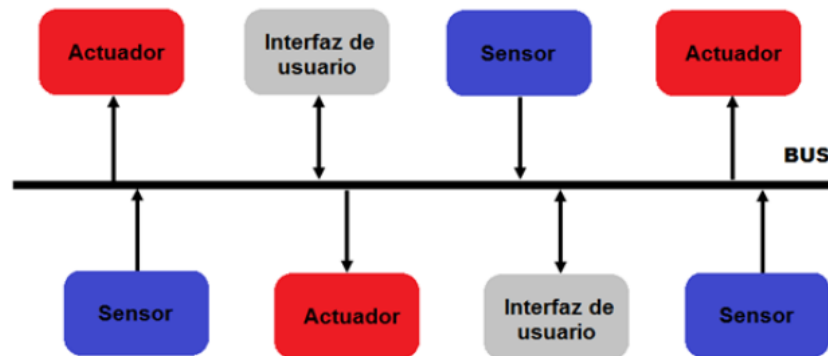
Figura 2. Arquitectura centralizada.



Fuente: [8].

- **Arquitectura descentralizada:** Como el nombre indica, es justamente la arquitectura opuesta a la centralizada. En la arquitectura descentralizada todos los elementos del sistema disponen de inteligencia, en el sentido de que son totalmente independientes. El sistema debe disponer de un bus compartido que permita la comunicación de todos los elementos. A continuación, la Figura 3 representa el esquema de la arquitectura descentralizada [8].

Figura 3. Arquitectura descentralizada.

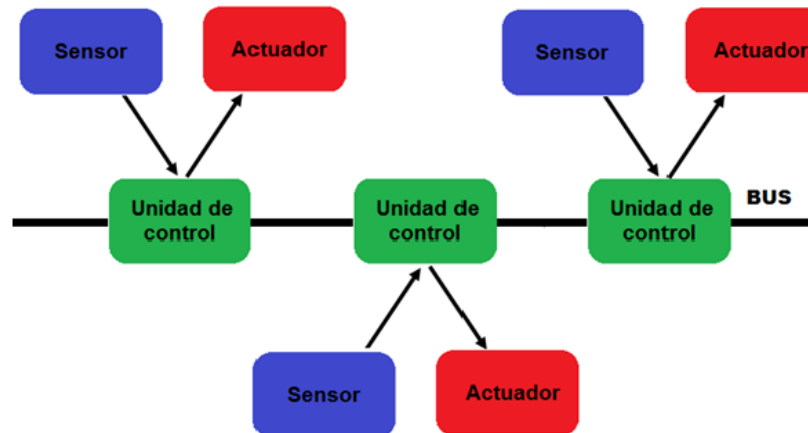


Fuente: [8].

**Arquitectura distribuida:** La idea de la arquitectura distribuida es mejorar las dos arquitecturas anteriores, para ello, el elemento de control se sitúa próximo al elemento a controlar. Ahora no existe un único elemento de control que gobierna todo el sistema, sino que existen varios elementos entre los cuales se reparte la tarea de control. Estos nuevos elementos de control se denominan nodos y a ellos se conectan los elementos básicos [8]. El esquema de la arquitectura distribuida se muestra en la

Figura 4.

Figura 4. Arquitectura distribuida.



Fuente: [8].

## 2.4. NORMA ASHRAE

Para el desarrollo del cálculo de la carga de enfriamiento propuesto y necesario en este trabajo como parte del análisis cuantitativo realizado en la construcción de la herramienta computacional selectora de sistemas de automatización, se toma como referencia la normatividad ASHRAE.

La ASHRAE (The American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning), fundada en 1894, es una asociación de tecnología para edificios con más de 50 000 miembros de la mayoría de países del mundo. La asociación y sus miembros se enfocan

en: los sistemas de aire acondicionado de edificios, la eficiencia energética, la calidad del aire interior y la sostenibilidad dentro de la industria. A través de la investigación, la redacción de normas, la publicación y la educación continuas, ASHRAE da forma hoy al entorno construido de mañana. ASHRAE fue concebida en 1959 como la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado, debido a la fusión de la Sociedad de Ingenieros de Calefacción y Aire Acondicionado (ASHAE) fundada en 1894, y la Sociedad Americana de Ingenieros de Refrigeración (ASRE) fundada en 1904 [9].

## 2.5. CONFORT TÉRMICO

Se define como el estado de comodidad del ser humano en el medio en que se ubica. El confort térmico se refiere a la sensación de bienestar en cuanto a condiciones de temperatura, humedad, calidad y nivel de saturación de CO<sub>2</sub> del aire, movimiento eólico y de las fuentes de radiación interactuantes con los ocupantes de los lugares interiores. Este factor se pretende alcanzar a través del uso de estrategias de automatización unido a la optimización del consumo energético.

Según la ASHRAE, el confort térmico se precisa como “la condición mental que expresa satisfacción con el entorno térmico”, lo cual tiene un criterio básico de evaluación. La Tabla 1, resume los parámetros para dicha evaluación del confort térmico [9], [10].

Tabla 1. Parámetros cuantificables para la evaluación del confort térmico.

Personal	Nivel de actividad
	Ropa
	Temperatura del aire
Entorno	Temperatura media radiante
	Humedad
	Velocidad del aire

Fuente: [10].

En los sistemas de climatización se presta interés en controlar la calidad del aire, así como determinar correctamente el tipo de uso y los diferentes perfiles de usuario que ocuparán el espacio acondicionado, de acuerdo con las características de desempeño, salud y vestimenta de los ocupantes, así como a los tipos de lugares interiores para los cuales fueron destinados dentro del campus universitario [11], [12].

La evaluación del confort térmico varía especialmente de acuerdo con las condiciones geográficas del entorno de interés. Para el caso de Colombia, la determinación de la sensación térmica se dificulta debido a la ubicación del país dentro de la zona tropical, por la gran variación topográfica y climática [13]. Para hacer una evaluación del confort térmico en el país, el IDEAM empleó la fórmula de refrigeración de Leonardo Hill y Morikofer-Davos, la cual determina el índice de sensación térmica. Dicho método se presenta en la Tabla 2 [14].

Tabla 2. Índices de sensación térmica en Colombia.

Valor Índice de Confort	Sensación Experimentada
0 a 3	Incómodamente caluroso
3 a 5	Caluroso
5 a 7	Cálido
7 a 11	Agradable
11 a 13	Algo frío
13 a 15	Frío
Mayor a 15	Muy frío

Fuente: [14].

Los índices de sensación térmica en Colombia varían en escala numérica de 0 a 15 y en calificativos de muy frío hasta incómodamente caluroso. La determinación de estos valores se da de acuerdo con el tipo de lugar dentro de la geografía nacional.

### 3. CLIMATIZACIÓN DE EDIFICIOS EN LA UIS

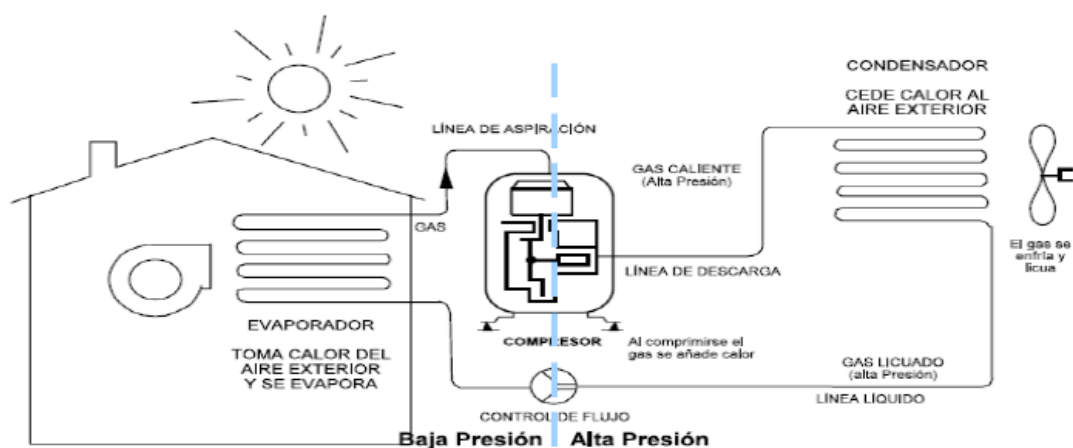
El trabajo de grado plantea la elección de estrategias de automatización de sistemas de climatización para crear condiciones de temperatura, humedad y ambiente de comodidad en los espacios interiores de la UIS. Este propósito general implica estudiar la forma como se climatizarán los recintos universitarios, lo cual involucra la selección de equipos y sistemas de climatización acompañado del análisis de los lugares en donde se efectuarán las adecuaciones de nuevos ambientes climáticos, estas dos secciones son explicadas en este capítulo.

#### 3.1. SELECCIÓN DE EQUIPOS Y SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN

En esta sección se usará por igual la expresión “sistema de climatización” o “sistema de aire acondicionado” para hacer referencia a cualquier sistema o equipo que realice un tratamiento del aire al interior de un espacio con la finalidad de enfriarlo.

El intercambio de calor es el principio fundamental de funcionamiento de los sistemas de aire acondicionado. Un sistema básico de climatización está constituido por los siguientes elementos: compresor, condensador, elemento de control de flujo y el evaporador. La ilustración de este mecanismo de refrigeración se muestra en la Figura 5 [15].

Figura 5. Componentes y funcionamiento de sistemas de aire acondicionado.



Fuente: [16].

De acuerdo con los tipos de sistema de refrigeración mencionados anteriormente y revisando la disponibilidad de marcas en el mercado nacional de equipos de climatización, se seleccionaron los mecanismos de diferentes marcas que, conforme al cálculo de carga de enfriamiento, analizado en el Anexo B, y a las estrategias de automatización, incluidas en el Capítulo 5 y en el Anexo C, se adaptan mejor a la adecuación de los diferentes espacios internos disponibles en el campus central de la UIS. En la Tabla 3 se mencionan las diferentes marcas consultadas, destacando el tipo de sistema, la sustancia de enfriamiento, los niveles de consumo, la capacidad frigorífica y la tensión eléctrica de suministro. Los elementos de la Tabla 3 se obtuvieron a partir de las consultas realizadas en los catálogos de los fabricantes de equipos de aires acondicionados.

Tabla 3. Características técnicas de aires acondicionados en Colombia.

Marca	Tipo de sistema	Refrigerante	Nivel de Consumo Nominal [kW]	Nivel de Capacidad frigorífica [BTU/h]	Nivel de Tensión de suministro [V]	Etiqueta Energética [EER]
Airwell	Split mural	Aire	Entre 1 y 3	Entre 10 000 y 24 000	220	A (EER > 3,2)
	Split Suelo/Techo	Aire	Entre 1 y 5	Entre 17 000 y 48 000	220 y 440	A (EER > 3,2)
	Vertical de columna	Aire	Entre 1 y 5	44 000	440	A (EER > 3,2)
	Cassette	Aire	Entre 1 y 5	Entre 20 000 y 41 000	220 y 440	A (EER > 3,2)
	Baja silueta	Aire	Entre 1 y 6	Entre 23 000 y 59 000	220 y 440	A (EER > 3,2)
	Multisplit	Aire	Entre 1 y 3	34000	220	A (EER > 3,2)
Carrier	Centrales	Agua / Aire	Entre 5 y 85	Entre 51 000 y 57 000	440	A (EER > 3,2)
	Cassette	Agua / Aire	Entre 1 y 2	Entre 6000 y 31 000	220	A (EER > 3,2)
Fujitsu	Centrales	Agua / Aire	Entre 6 y 8	Entre 75 000 y 144 000	440	B (3 < EER < 3,2)
	Split	Aire	Entre 3 y 5	Entre 40 000 y 55 000	220	B (3 < EER < 3,2)
	Cassette	Agua / Aire	Entre 0 y 2	Entre 17 000 y 48 000	220	B (3 < EER < 3,2)
General Electric	Minisplit	Agua / Aire	Entre 0 y 5	Entre 6000 y 28 000	110 y 220	A (EER > 3,2)

Marca	Tipo de sistema	Refrigerante	Nivel de Consumo Nominal [kW]	Nivel de Capacidad frigorífica [BTU/h]	Nivel de Tensión de suministro [V]	Etiqueta Energética [EER]
	Centrales	Agua / Aire	Entre 0 y 2	41 000	220	B (3 < EER < 3,2)
Hitachi	Cassette	Aire	Entre 0 y 2	Entre 47 000 y 59 000	220	B (3 < EER < 3,2)
	Split	Aire	Entre 0 y 2	27 000	220	B (3 < EER < 3,2)
LG	Minisplit	Gas	Entre 1 y 3	Entre 17 000 y 28 000	220	A (EER > 3,2)
	Ventana	Agua / Aire	Entre 1 y 3	Entre 10 000 y 28 000	220	A (EER > 3,2)
	Centrales	Agua / Aire	Entre 1 y 6	51 000	220	A (EER > 3,2)
Mitsubishi	Cassette	Agua / Aire	Entre 1 y 6	Entre 17 000 y 52 000	220 y 440	A (EER > 3,2)
	Split	Agua / Aire	Entre 1 y 6	Entre 13 000 y 52 000	220 y 440	A (EER > 3,2)
Siemens	Cassette	Aire	Entre 3 y 5	Entre 23 000 y 31 000	220	A (EER > 3,2)
	Cassette	Agua / Aire	Entre 0 y 5	Entre 6000 y 21 000	220	A (EER > 3,2)
Toshiba	Centrales	Agua / Aire	Entre 2 y 5	Entre 13 000 y 48 000	220 y 440	A (EER > 3,2)
	Split	Agua / Aire	Entre 0 y 3	Entre 6000 y 21 000	220	A (EER > 3,2)
	Cassette	Aire	Entre 0 y 14	41 000	220 y 440	A (EER > 3,2)
York	Centrales	Agua / Aire	Entre 0 y 2	Entre 10 000 y 267 000	220	A (EER > 3,2)
	Split	Aire	Entre 0 y 2	10 000	220	A (EER > 3,2)

Fuente: Marcas de fabricantes de equipos de climatización.

**3.1.1. Sistemas HVAC.** Un modelo HVAC es un sistema de ventilación, calefacción y aire acondicionado (*Heating, Ventilating and Air Conditioning, HVAC*). Con este conjunto de métodos y técnicas se estudia el tratamiento del aire en cuanto a su refrigeración, calentamiento, des-humidificación, calidad, movimiento, entre otras variables [17].

Los elementos que conforman un sistema HVAC son los siguientes: motor, ventilador, conductos, resistencia calefactora, aparatos de medida, controlador y elementos de control [18].

Los sistemas HVAC proporcionan acondicionamiento de aire a los espacios a climatizar. El acondicionamiento de aire es un proceso de tratamiento de aire que controla la humedad, vapor, la renovación, el movimiento y la limpieza del aire. Cualquier sistema de aire acondicionado, deberá realizar las siguientes funciones: controlar la temperatura y la humedad relativa, eliminar las impurezas del aire, monitorizar el movimiento del aire y renovar el aire interior con aire nuevo exterior.

Generalmente, el aire que proviene del interior de un espacio ocupado, junto con el aire fresco proveniente del exterior, es conducido a través del sistema de tubos a una unidad de aire acondicionado, donde es nuevamente refrigerado. Antes de que el aire llegue a la unidad, generalmente pasa a través de un filtro diseñado para proteger al equipo mecánico de la contaminación producida por grandes partículas de polvo y suciedad [19].

**3.1.2. Equipos y sistemas de aire acondicionado.** El acondicionamiento del aire es el conjunto de procesos de tratamiento del aire ambiente de los espacios habitados, que regulan las condiciones de temperatura de (calefacción o refrigeración), humedad, (limpieza renovación y filtrado) y movimiento del aire dentro de los locales.

Los sistemas de aire acondicionado utilizan un ciclo de compresión de vapor. En este circula un refrigerante, un material que aumenta su temperatura perceptiblemente cuando es comprimido y se enfría rápidamente cuando se expande. La porción exterior de un acondicionador de aire típico se llama unidad de condensación y contiene el compresor, la parte que utiliza la mayor cantidad de energía, y la bobina de condensación. Una unidad de condensación enfriada por aire se debe mantener libre de residuos que pueden bloquear el flujo de aire a través de la bobina o dañar sus aletas delgadas.

Idealmente, la unidad de condensación debiera estar situada a la sombra, evitando bloquear el flujo de aire a esta unidad con vegetación densa, con cercado o con cubiertas en la parte superior [20].

Este tipo de sistemas de climatización o de aire acondicionado se pueden clasificar en cuatro categorías, en función del modo de realización del intercambio de energía. Estas cuatro categorías se describen a continuación.

**Sistema todo-aire:** En este tipo de sistemas de climatización existe un elemento central que realiza el acondicionamiento del aire, para posteriormente distribuir el flujo de aire frío hasta cada uno de los espacios a acondicionar. El principal inconveniente de este tipo de sistemas es que requieren de un considerable espacio en la edificación para la distribución del aire. Existen dos formas de implementar estos sistemas [20].

La primera, la cual está basada en aportar un flujo de aire constante a todos los espacios. La temperatura de este flujo deberá establecerse a la mínima requerida en cualquier sector, por lo que antes de introducirse en el resto de zonas se deberá recalentar hasta la temperatura deseada en cada una [20].

La segunda, que distribuye el aire a la temperatura requerida por la zona de mayor exigencia, regulando la temperatura de cada zona mediante unas rejillas de apertura variable que controlan la cantidad de aire introducido en cada una. Por esta razón, este tipo de sistemas se denominan de volumen variable de aire (VAV, Variable Air Volume) [20].

**Sistemas aire-agua:** En los sistemas aire-agua, un sistema central gestiona el aire de la ventilación, pero el resto del acondicionamiento de este aire se realiza de modo local para cada una de las zonas. Este acondicionamiento se realiza mediante intercambiadores de calor, normalmente abastecidos con agua fría [10].

**Sistemas todo-agua:** En los edificios en donde no sea necesario el proceso de ventilación, o bien sea implementado por otro medio (apertura de ventanas, ventilación cruzada, entre otros), es habitual el uso de los sistemas todo-agua. Esta clase de sistemas, al igual que los de aire-agua, utilizan intercambiadores de calor alimentados por agua, pero en este caso se enfría el aire del interior del espacio a acondicionar.

Sistemas individuales basados en refrigerantes: En este tipo de sistemas se utiliza un elemento refrigerante para el intercambio de calor, siendo la principal diferencia con los basados en agua en que la mayor parte de este intercambio se realiza mediante un proceso de expansión/compresión. Este tipo de sistemas también es denominado de expansión directa, o lo que comúnmente se conocen como de aire acondicionado [10].

### 3.2. ESPACIOS INTERIORES UIS

La Universidad Industrial de Santander en su sede principal del barrio La Universidad, en jurisdicción urbana de Bucaramanga, cuenta con 52 edificios erigidos sobre un terreno de 337 000 [m<sup>2</sup>], el total del área construida es de 110 832,94 [m<sup>2</sup>]. El listado de las edificaciones se muestra en la Tabla 4, especificando el código interno, nombre y área construida de cada una [21].

Tabla 4. Lista de edificios sede principal UIS.

Edificio número	Nombre de edificio	Área construida [m <sup>2</sup> ]
1	Edificio portería principal	19,77
2	Edificio Luis A. Calvo	3 462,77
3	Edificio Administración	2 953,09
4	Edificio Publicaciones	3 856,78
6	Edificio Administración 2	1 836,93
7	Edificio Bienestar Universitario	3 269,67
8	Edificio La Perla	1 057,42
9	Edificio Mantenimiento y Planta Física	1 888,92
10	Edificio Ing. Mecánica	3 834,22
11	Edificio Aula Máxima de Mecánica	265,43
12	Edificio Biblioteca	5 415,34
13	Edificio Planta Telefónica	183,36
14	Edificio Instituto de Lenguas	2 929,1
15	Edificio Ingeniería Industrial	6 698,19
16	Edificio Biología Vegetal	155,42
17	Edificio Labs. Livianos	1 0637,46
18	Edificio Camilo Torres	3 741,61
19	Edificio CENTIC	4845
20	Edificio CAPRUIS / FAVUIS	1 426,79
21	Edificio Federico Mamitza Bayer	2 630,06
22	Edificio Ing. Eléctrica	3 260

Edificio número	Nombre de edificio	Área construida [m <sup>2</sup> ]
23	Edificio Lab. de Posgrados	2 280,42
24	Edificio Ing. Química	4 611,8
25	Edificio Aula máxima de ciencias	344
26	Edificio CICELPA - CEIAM	1 221,96
27	Edificio Lab. Alta Tensión	1 426,27
28	Edificio Lab. de Hidráulica	679,84
29	Edificio Talleres Diseño Ind.	344,02
30	Edificio Planta de Aceros	1 778,57
31	Edificio Jorge Bautista Vesga	6 058,57
32	Edificio Físico-Mecánicas	8 060,26
33	Edificio Daniel Casas	2 089,93
34	Edificio Residencias Universitarias	724,35
35	Edificio portería carrera 30	12,67
36	Edificio kiosco residencias	63,9
37	Edificio Ciencias Humanas	9 769,46
38	Edificio Jardinería	167,1
43	Edificio coliseo	2 669,85
45	Edificio CENIVAM	808,93
46	Edificio cafetería Don Cafeto	29,7
47	Edificio portería carrera 25	30,03
48	Edificio Caracterización de Materiales	2 444,86
49	Edificio cafetería Dodgers	29,7
50	Edificio parq. plazoleta	1 977,61
51	Edificio Albañilería	505,45
52	Edificio Librería UIS	104,58
	Total	110 832,94

Fuente: [22].

De los anteriores edificios se seleccionaron los espacios que se desean acondicionar con sistemas de climatización. Se han categorizado 14 tipos de áreas, las cuales, debido a sus características de construcción, uso y funcionalidad, fueron establecidas de la forma resumida en la Tabla 5.

Tabla 5. Espacios interiores a adecuar.

Tipo espacio	Área construida [m <sup>2</sup> ]	Cantidad personas	Actividades realizadas	Observaciones
Auditorios	50-3000	50-1000	Presentaciones culturales, conferencias, eventos sociales y académicos	Concentración de mayor número de ocupantes
Aulas de	40-50	30-40	Académicas: sesiones de clase,	Mayor cantidad de zonas dentro de

clase			exposiciones y sustentaciones	la sede universitaria
Aulas cómputo	40-100	20-100	Académicas: de conferencia, exposiciones, sustentaciones, laboratorios virtuales, presentación de exámenes virtuales, video-conferencias	Alojamiento de considerables cantidades de fuentes generadoras de calor tales como equipos de cómputo y audiovisuales
Aulas docentes	50-100	50-100	Académicas: consultas, tutorías, reuniones, sustentaciones	Su nivel de ocupación es aleatorio
Bancos	10-80	1-60	Financieras, de oficina, laboral	Alta presencia de equipos de cómputo, permanente asistencia de usuarios
Bibliotecas	20-600	10-500	Académicas: estudio, lectura, reuniones	Permanente y gran afluencia de público, presencia de equipos de cómputo
Centros de estudio	30-50	5-100	Académicas: estudio, lectura, reuniones	Permanente afluencia de público, presencia de equipos de cómputo
Comercio en general	5-20	1-5	Comerciales: ventas, asesorías	Baja o media afluencia de personas
Consultorio general	5-10	1-10	Consultas médicas	Baja afluencia de público
Farmacias	10-30	1-10	Comerciales: ventas, asesorías	Baja afluencia de público
Laboratorios	20-300	1-30	Académicas: prácticas de laboratorio, asesorías, clases, consultas, trabajo con máquinas	Afluencia de público entre media y alta, uso de máquinas generadoras de calor
Oficinas de Trabajo	1-100	1-30	Académicas, laborales, tutorías, asesorías, lectura, reuniones	Baja presencia de público y alto uso de equipos de cómputo y audiovisuales
Salas de exposiciones	100-300	2-80	Exposiciones, culturales, pedagogía	Grandes áreas, afluencia aleatoria y posiblemente alta de público
Salas de reuniones	20-100	3-50	Exposiciones, reuniones ejecutivas, consejos	Presencia media de público y por momentos alta afluencia, posible gran uso de equipos de cómputo y demás

Las clases de espacios interiores descritas en la Tabla 5 corresponden a aquellas que se utilizan para la realización de análisis tanto cualitativo como cuantitativo. La selección de alguno de los 14 tipos de recintos se convierte en un parámetro importante dentro de la construcción y utilización de la herramienta computacional, debido a que los procesos desarrollados en esta, están en función de las condiciones arquitectónicas o físicas de los lugares a climatizar.

## **4. PARÁMETROS DEL USO RACIONAL DE LA ENERGÍA EN CLIMATIZACIÓN**

El uso racional de la energía es el aprovechamiento óptimo de esta en todas y cada una de las cadenas energéticas, desde la selección de la fuente energética, su producción, transformación, transporte, distribución y consumo, incluyendo su reutilización cuando sea posible, buscando en todas y cada una de las actividades de la cadena, el desarrollo sostenible [23]–[26].

En Colombia, existe el Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de Energía (PROURE) cuyos lineamientos establecen la disminución de la intensidad energética, el mejoramiento de la eficiencia energética y la promoción de las fuentes no convencionales de energía. Los impactos positivos serán calidad de vida y contribución en la disminución de los gases de efecto invernadero [23]–[26].

De acuerdo con las necesidades particulares del uso racional de la energía para sistemas de climatización se tiene los siguientes parámetros determinantes: energía térmica, carga térmica, consumo de energía eléctrica y eficiencia energética.

A continuación se describen los factores del uso racional de la energía mencionados anteriormente.

### **4.1. ENERGÍA TÉRMICA**

La energía térmica, también conocida como energía calorífica, puede obtenerse del sol a través de una reacción exotérmica, de algún carburante por medio de la combustión, de una reacción nuclear mediante fisión o fusión, de la electricidad por efecto Joule o termoeléctrico o del rozamiento como resultado de distintos procesos químicos o mecánicos.

Dos conceptos de gran relevancia en el entendimiento de la teoría de energía térmica enfocada en climatización, son: el coeficiente de operatividad o rendimiento y el índice de eficiencia energética.

El *Coefficient Of Performance* (COP) corresponde al coeficiente de operatividad o rendimiento, que es el porcentaje entre el enfriamiento proporcionado y la electricidad consumida o la relación entre la potencia térmica, en watts, y la potencia eléctrica de entrada al motor del compresor, también en watts, del aire acondicionado. Dado que el [Wh] es una unidad de energía eléctrica, equivalente a la energía calorífica de 3,413 [BTU].

El Índice de Eficiencia Energética o *Energetic Efficiency Ratio* (EER) de un equipo de refrigeración es la relación entre la energía térmica útil proporcionada por el equipo y la energía eléctrica consumida por el mismo [27], [28].

## **4.2. CARGA TÉRMICA**

Este concepto está asociado a los sistemas de climatización o de refrigeración. Es la cantidad de energía térmica por unidad de tiempo (potencia térmica) que se mantiene en un espacio el cual se desea acondicionar a una temperatura y humedad inferiores a la del exterior, es decir, la carga térmica es la potencia de enfriamiento o calefacción necesaria para climatizar un determinado lugar.

La carga térmica tiene tres componentes. La primera es el calor sensible, el cual representa el calor que se introduce en los espacios a acondicionar como consecuencia de la diferencia de temperaturas. La segunda componente es el calor que se produce como resultado de la diferencia de humedades relativas, denominado calor latente. Por último, se hace referencia al componente de aire de ventilación, donde se debe evitar la sensación desagradable que produce el aire viciado, siendo necesario introducir cierta cantidad de aire exterior (ventilación).

Los valores para la carga térmica dependen de la época del año, las horas del día, la orientación del lugar, con estas aproximaciones se puede dimensionar el aire acondicionado más cercano a la necesidad real [27], [28].

## **4.3. CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

El consumo de energía eléctrica, generalmente medido en [Joule], está relacionado con el gasto energético realizado para el funcionamiento de una edificación evidenciado en la potencia por unidad de tiempo ( $W*s$ ) de la cual se alimentan y que es producida por las centrales eléctricas y las plantas de cogeneración [29].

Dentro del concepto de consumo de energía se incluye el etiquetado energético, el cual informa al usuario los valores de consumo de energía y agua potable de equipos y aparatos eléctricos recientes respecto a las máquinas que no están etiquetadas, según su clasificación, siendo el tipo A el más eficiente y el tipo G el que presenta mayor consumo, como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Clasificación de consumo energético.

Categoría de eficiencia energética.	Consumo energético respecto a equipos sin la etiqueta de eficiencia energética.	Evaluación.
A	<55%	Consumo de energía <b>bajo</b> .
B	55-75%	
C	75-90%	
D	90-100%	Consumo de energía <b>medio</b> .
E	100-110%	
F	110-125%	Consumo de energía <b>alto</b> .
G	>125%	

Fuente: [30].

El consumo de energía eléctrica implica la generación de impactos hacia el medio ambiente, debido a que algunos de los métodos de generación de este tipo de energía no son sostenibles, y por consiguiente, su uso representa gasto y desaprovechamiento de recursos ambientales. Para reducir el impacto ambiental causado directamente por la demanda de energía eléctrica en la operación de equipos y sistemas de climatización, se recomiendan las siguientes acciones:

- Adquirir y utilizar los aparatos y sistemas de ventilación forzada y aires acondicionados solo si es estrictamente necesario.
- Tener en cuenta alternativas de ventilación natural como adecuación de ventanas, apertura de puertas paralelas entre sí para dar mayor flujo de aire natural.

- Ventilación forzada tales como toldos, ventiladores, unidades manejadoras de aire, por impulsión o inyección de aire, por extracción, entre otros, que demanden el menor consumo energético posible.
- Instalación de aislamientos térmicos en cerramientos exteriores.
- Uso de aparatos de ventilación durante los más cortos lapsos de tiempo posibles.
- Tener en cuenta la etiqueta energética [30].

#### **4.4. EFICIENCIA ENERGÉTICA**

El cambio climático y el agotamiento de los recursos naturales es uno de los problemas ambientales más graves que existen en la actualidad, siendo el consumo energético una de las causas más determinantes. A partir de lo anterior, se ha venido promoviendo reducir el gasto energético requerido para el funcionamiento de equipos, sistemas y procesos. Uno de los parámetros más importantes a tener en cuenta es la eficiencia energética, la cual hace alusión a la relación entre el aprovechamiento de la máquina a operar y la energía necesaria para tal fin. Entre mayor sea la eficiencia, mejor se aprovecharán los recursos naturales.

Las edificaciones deben tener la característica de eficiencia energética en sus instalaciones para así proporcionar ahorro de energía. Hasta hace algún tiempo, la característica de eficiencia energética en los edificios denotaba exclusividad, pero hoy, ya se ha convertido en necesidad y alternativa de primera mano como solución parcial al problema de consumo excesivo, en donde en la mayoría de las construcciones existentes, utilizando métodos de mejoramiento de la eficiencia energética, es posible lograr hasta un 30 % de ahorro energético utilizando las soluciones y tecnologías disponibles para tal fin [31].

La implementación de estrategias que propendan por la eficiencia energética en las edificaciones, pueden reducir aproximadamente el 20 % de energía consumida. Algunas de las estrategias que pueden lograr estos indicadores son: sistemas HVAC (para el control de climatización), iluminación y soluciones integradas (*Building Automation Systems*) [31].

Para ayudar a mejorar la eficiencia energética en las edificaciones y demás complejos arquitectónicos se utilizan los sistemas HVAC, con lo que se reduce el uso de luz artificial, se reparan las fugas de aire, se realiza la sustitución de los equipos de climatización que se consideren antiguos o de uso prolongado y se instalan dispositivos de control de variables importantes tales como: temperatura, humedad, demanda eléctrica y otras más [31]. Esta acción en pro de la optimización del consumo energético va acompañada de la aplicación de las mencionadas estrategias de automatización.

Con el empleo de las técnicas mencionadas anteriormente, que permitan aumentar la eficiencia energética y reducir el consumo energético, asociadas a los sistemas HVAC del campus central la universidad, la eficiencia energética mejorará significativamente [23], [32].

#### **4.5. BENEFICIOS DEL USO RACIONAL DE LA ENERGÍA EN LAS EDIFICACIONES**

Las edificaciones son construcciones con diferentes propósitos, enfocadas principalmente a la instalación de dependencias en su estructura, ya sean centros de salud, instituciones educativas, gubernamentales, privadas o de cualquier índole, lo cual representa un considerable consumo de energía eléctrica.

Estas edificaciones se deben transformar en construcciones sostenibles, pretendiendo racionalizar, ahorrar, conservar y mejorar energía eléctrica. Para tal efecto, la ley 697 de 2001, declara que el uso racional y eficiente de la energía es un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional, con el fin de garantizar un suministro energético, pleno y oportuno, competitividad en la economía nacional, protección al consumidor y promoción de las fuentes no convencionales de energía [33].

Las edificaciones en todo el mundo son usuarios finales de energía eléctrica y representan uno de los de mayor consumo. Debido al largo ciclo de vida diseñado para las construcciones, es necesario que estas estén integradas con estrategias de automatización basadas en el uso racional y eficiente de la energía para así lograr ser construcciones eficientes y sostenibles.

La eficiencia energética en la actualidad es considerada como uno de los factores más importantes, debido a que un país debe asegurar su abastecimiento energético. Al llevar a cabo la optimización del consumo energético, se puede lograr:

- Reducción de la vulnerabilidad del país por dependencia de fuentes energéticas externas.
- Reducción de costos de abastecimiento energético para la economía.
- Alivio de presiones sobre recursos naturales y los asentamientos humanos al reducirse la tasa de crecimiento de demanda energética, además de las presiones globales tales como las emisiones de CO<sub>2</sub> [28].

## 5. ESTRATEGIAS DE AUTOMATIZACIÓN PARA CLIMATIZACIÓN EN EDIFICACIONES

Este capítulo explica el contenido más relevante acerca de las estrategias de automatización consideradas y de posible implementación dentro de los lugares a condicionar, basando su origen en los procesos de control más usuales y frecuentes. En el Anexo C se amplía la información acerca de cada una de las técnicas de automatización consideradas. El propósito general del estudio de estas estrategias es ofrecer opciones de mejoramiento de condiciones climáticas unido a la optimización del consumo energético. La exposición incluye estrategias de control tales como: de demanda eléctrica, de temperatura, de demanda de ventilación, por horario, de presión, de ventilación natural, por presencia, por ajuste del punto de operación, entre otras.

### 5.1. CONTROL DE LA DEMANDA ELÉCTRICA

El control de la demanda eléctrica es una de las posibles estrategias a implementar para el proceso de automatización de edificios, requerido para generar un ambiente de confort térmico en cada espacio interior, acompañado de la optimización del consumo energético.

El control de demanda eléctrica consiste en la optimización del uso de la capacidad de equipos y sistemas instalados enfocados en reducir o controlar la demanda de potencia en las horas de mayor consumo eléctrico [34], [35].

Esta sección se resume en dos partes: la descripción de características y la gráfica del comportamiento general de esta técnica de automatización.

**5.1.1. Descripción y características.** El control de la demanda eléctrica consiste en su medición realizada mediante corrección o estabilización de su valor a través de operaciones lógicas o aritméticas. La realimentación que se realiza en este proceso de control efectúa la medida correctiva de la señal de error resultante entre las diferencias de valores de referencia y el medido, con el fin de reducir las probabilidades de imprecisión, para mantener el nivel de la demanda eléctrica deseado.

La Tabla 7 resume las principales características del control de la demanda eléctrica, establecidas por: ambientes en donde es posible implementar, los beneficios que ofrece y las aplicaciones o ejemplos de uso.

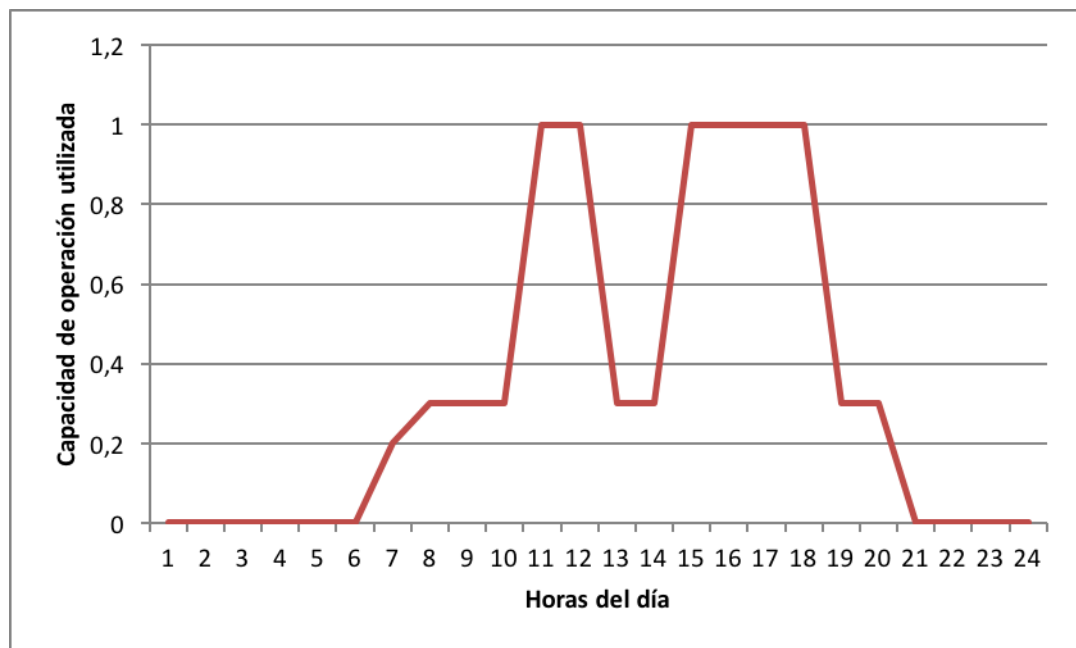
Tabla 7. Características del sistema de control de demanda eléctrica.

Control de la demanda eléctrica		
Ambiente(s) a implementar	Beneficios	Aplicaciones o ejemplos
Espacios con alto flujo de personas.	Facilidad y bajos costos en instalación y mantenimiento.	Sistemas de enfriamiento evaporativo mediante control de la demanda eléctrica.
Interiores en donde se requiera de alto consumo de potencia eléctrica.	Menor emisión de sustancias tóxicas y contaminantes	Sistema de aire acondicionado evaporativo enfriado.
Áreas con gran cantidad de superficie.	Bajo consumo y disminución de la demanda facturable (kW).	
Auditorios, aulas de clase, bancos, bibliotecas, centros de estudio, oficinas de trabajo, salas de exposiciones.	Control de los picos de la demanda.  Disminución de las pérdidas de energía y aumento de la vida útil de los equipos.	

Fuente: [36].

**5.1.2. Gráfica de comportamiento.** La Figura 6 indica el funcionamiento de la estrategia mostrando la función de la capacidad utilizada, entre 0 y 1 (o 100 %), en términos del tiempo, el cual va entre 0 y 24 horas.

Figura 6. Comportamiento general del uso de la capacidad de equipos en el control de la demanda eléctrica.



La curva obtenida proviene del uso de la capacidad de los equipos, en porcentaje, frente al tiempo de funcionamiento, en horas por cada día. Por ejemplo, para la Figura 6, entre las 8 y 10 horas se utiliza cerca del 30 % de la capacidad de los equipos, es decir, se tiene un consumo energético aproximado al 30 %, dado a que en ese horario la demanda eléctrica no es máxima.

Esta estrategia por lo general inicia operación a tempranas horas de la mañana y finaliza en las medianas horas de la noche, no es estrictamente necesario utilizar el total de la capacidad de los equipos debido a que está en función de la demanda eléctrica y su control se realiza poco antes y durante la presencia de personas, con el fin de racionalizar el consumo eléctrico y pre-adequar el lugar con miras a garantizar confort previo a la ocupación del recinto.

## 5.2. CONTROL DE LA TEMPERATURA

El control de la temperatura es otra de las posibles estrategias a implementar para el proceso de automatización de edificios, requerido para generar ambiente de confort térmico en cada espacio interior, acompañado de la optimización del consumo energético [36], [37].

Esta sección se resume en dos partes: la descripción de características y la gráfica del comportamiento general de esta técnica de automatización.

**5.2.1. Descripción y características.** El control de temperatura consiste en la medición de esta, realizada mediante corrección o estabilización de su valor a través de operaciones lógicas o aritméticas. La realimentación que se realiza en este proceso de control efectúa la medida correctiva de la señal de error resultante entre las diferencias de valores de referencia y el medido, con el fin de reducir las probabilidades de imprecisión, para mantener el nivel de la temperatura deseado.

La Tabla 8 resume las principales características del control de la temperatura, establecidas por: ambientes en donde es posible implementar, los beneficios que ofrece y las aplicaciones o ejemplos de uso.

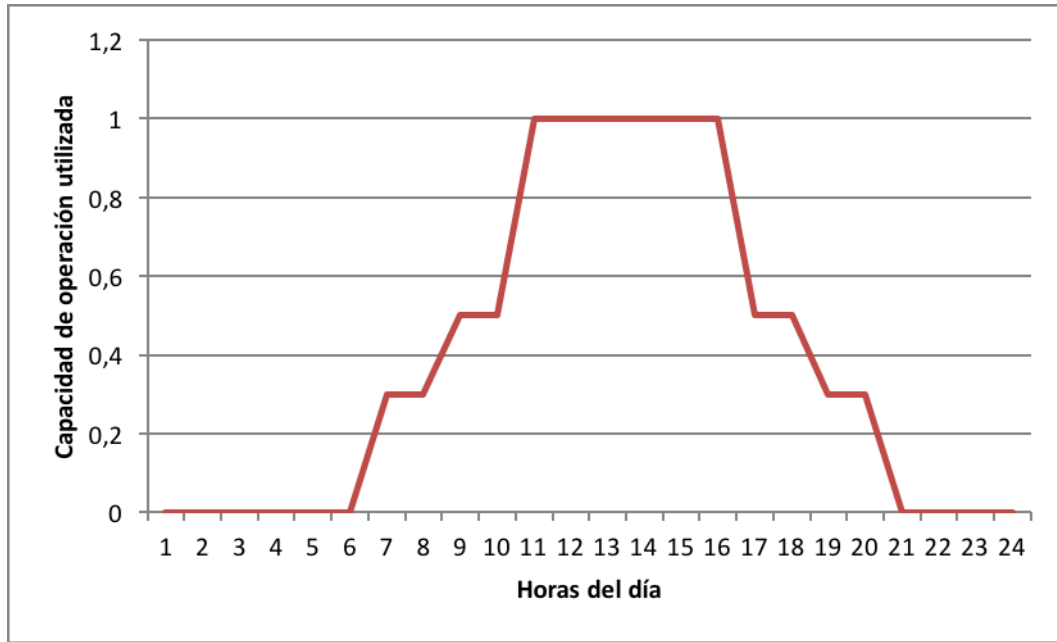
Tabla 8. Características del sistema de control de la temperatura.

Control de la temperatura		
Ambiente(s) a implementar	Beneficios	Aplicaciones o ejemplos
Entornos con fuentes generadoras de calor.	Bajos costos para la implementación.	Sistemas de almacenamiento térmico.
Laboratorios que requieran determinados o estrictos niveles o rangos de temperatura.	Dimensiones pequeñas.  Bajo consumo energético.	Sistemas HVAC de tierra acoplada.  Control de temperatura y presión de aire en sistemas HVAC.
Aulas de clase y cómputo, bancos, centros de estudio, laboratorios, oficinas de trabajo, salas de reuniones.	Versatilidad.  Respuesta rápida y precisa.	

Fuente: [36].

**5.2.2. Gráfica de comportamiento.** En la Figura 7 se muestra el comportamiento general del control de temperatura durante el día, según el uso asignado al espacio interior, cantidad de ocupantes, condiciones físicas del entorno, potencia de iluminación y equipos instalados y eficiencia de estos.

Figura 7. Comportamiento general del uso de la capacidad de equipos en el control de la temperatura.



La curva obtenida proviene del uso de la capacidad de los equipos, en porcentaje, frente al tiempo de funcionamiento, en horas por cada día. Por ejemplo, para la Figura 7, entre las 10 y 16 horas se utiliza la capacidad plena de los equipos, es decir, se tiene un consumo energético máximo, dado a que en ese horario la temperatura generalmente es la máxima durante el día.

Esta estrategia por lo general inicia operación a tempranas horas de la mañana y finaliza en las medianas horas de la noche, no es estrictamente necesario utilizar el total de la capacidad de los equipos debido a que está en función de la temperatura y su control se realiza poco antes y durante la presencia de personas, con el fin de racionalizar el consumo eléctrico. Generalmente, esta técnica de control requiere el uso de alto porcentaje de capacidad de equipos y sistemas de climatización debido a la inminente sensación de calor existente para el lugar, por lo que la temperatura seguramente es de valor medio o alto. Con baja probabilidad, por momentos no se requerirá de consumo energético.

### 5.3. CONTROL DE LA DEMANDA DE VENTILACIÓN

El control de la demanda de ventilación es otra de las posibles estrategias a implementar para el proceso de automatización de edificios, requerido para generar ambiente de confort térmico en cada espacio interior, acompañado de la optimización del consumo energético [36], [38].

Esta sección se resume en dos partes: la descripción de características y la gráfica del comportamiento general de esta técnica de automatización.

**5.3.1. Descripción y características.** El control de la demanda de ventilación consiste en la modulación de cantidad de aire exterior entrante y la monitorización de los niveles de CO<sub>2</sub> u otro contaminante.

En la Tabla 9 se resumen las principales características del control de la demanda de ventilación, establecidas por: ambientes en donde es posible implementar, los beneficios que ofrece y las aplicaciones o ejemplos de uso.

Tabla 9. Características del sistema de control de la demanda de ventilación.

Control de demanda de ventilación		
Ambiente(s) a implementar	Beneficios	Aplicaciones o ejemplos
Construcciones que apunten a la obtención del certificado LEED.	Eliminación de calefacción, enfriamiento y ventilación innecesaria mediante reajuste de parámetros de operación.	Sistemas de recuperación de calor.
Ambientes de climas variables y períodos largos de baja ocupación.	Función de control automático	Componentes de sistemas HVAC
Auditorios, aulas de clase y docentes, bibliotecas, centros de estudio, oficinas de trabajo, salas de reuniones	Detección y diagnóstico de fallas.	

Fuente: [36].

**5.3.2. Gráfica de comportamiento.** En la Figura 8 se muestra el comportamiento general del control de la demanda de ventilación durante el día, según el uso asignado al espacio interior, cantidad de ocupantes, condiciones físicas del entorno, potencia de iluminación y equipos instalados y eficiencia de estos.

Figura 8. Comportamiento general del uso de la capacidad de equipos en el control de la demanda de ventilación.



La curva obtenida proviene del uso de la capacidad de los equipos, en porcentaje, frente al tiempo de funcionamiento, en horas por cada día. Por ejemplo, para la Figura 8, entre las 13 y 14 horas se utiliza cerca del 20 % de la capacidad de los equipos, es decir, se tiene un consumo energético aproximado al 20 %, dado a que en ese horario la demanda de ventilación es baja como consecuencia de la disminución en la emisión de contaminantes.

Esta estrategia por lo general inicia operación a tempranas horas de la mañana y finaliza en las medianas horas de la noche, no es estrictamente necesario utilizar el total de la capacidad de los equipos debido a que está en función de la demanda de ventilación y su control se realiza poco antes y durante la presencia de personas, con el fin de racionalizar el consumo eléctrico. Generalmente, esta técnica de control exige un alto porcentaje de capacidad de equipos y sistemas de climatización debido a la inminente sensación de ausencia de aire fresco y limpio, por lo que el sistema de control operará a mediana o alta intensidad. Con baja o mediana probabilidad, por momentos no se requerirá de consumo energético.

## 5.4. CONTROL POR HORARIO

El control por horario es otra de las posibles estrategias a implementar para el proceso de automatización de edificios, requerido para generar ambiente de confort térmico en cada espacio interior, acompañado de la optimización del consumo energético [35], [36].

Esta sección se resume en dos partes: la descripción de características y la gráfica del comportamiento general de esta técnica de automatización.

**5.4.1. Descripción y características.** El control por horario es la inspección de la duración de operación de los equipos solo cuando se requiera climatizar los espacios.

En la Tabla 10 se resumen las principales características del control por horario, establecidas por: ambientes en donde es posible implementar, los beneficios que ofrece y las aplicaciones o ejemplos de uso.

Tabla 10. Características del sistema de control por horario.

Control por horario.			
Componentes	Ambiente(s) a implementar	Beneficios	Aplicaciones o ejemplos
Circuito temporizador	Espacios con horarios preestablecidos de asistencia.	Reducción de consumo energético.	Control de encendido y apagado.
Reguladores de tensión y corriente.	Entornos con mediana o baja afluencia de personas.	Mayor aprovechamiento de la vida útil de los equipos.	
Pantallas indicadoras de lectura y operación.		Reducción de costos de consumo.	
Micro-controlador de pantalla.	Aulas de clase, cómputo y docentes, bancos, bibliotecas, comercio en general, consultorio general, farmacias, oficinas de trabajo.		
Red(es) con acceso a internet.			

## Control por horario.

Módulo de conexión y mando remoto o inalámbrico.

Fuente: [36].

**5.4.2. Gráfica de comportamiento.** En la Figura 9 se muestra el comportamiento general del control por horario durante el día, según el uso asignado al espacio interior, cantidad de ocupantes, condiciones físicas del entorno, potencia de iluminación y equipos instalados y eficiencia de estos.

Figura 9. Comportamiento general del uso de la capacidad de equipos en el control por horario.



La curva obtenida proviene del uso de la capacidad de los equipos, en porcentaje, frente al tiempo de funcionamiento, en horas por cada día. Por ejemplo, para la Figura 9, entre las 8 y 19 horas se utiliza el total de la capacidad de los equipos, es decir, se tiene un consumo energético máximo y continuo, dado a que solo se tiene en cuenta la asignación por temporización.

Esta estrategia por lo general inicia operación a medianas horas de la mañana y finaliza en las tempranas o medianas horas de la noche, ordinariamente se necesita utilizar el total de la capacidad de los equipos debido a que en esta técnica solo se da inicio al

funcionamiento de estos sin tener en cuenta su aprovechamiento y depende de la programación de horario asignada, con el fin de racionalizar el consumo eléctrico. Generalmente, esta técnica de control exige el total de la capacidad de equipos y sistemas de climatización.

## 5.5. CONTROL DE LA PRESIÓN

El control de presión es otra de las posibles estrategias a implementar para el proceso de automatización de edificios, requerido para generar ambiente de confort térmico en cada espacio interior, acompañado de la optimización del consumo energético [36], [39].

Esta sección se resume en dos partes: la descripción de características y la gráfica del comportamiento general de esta técnica de automatización.

**5.5.1. Descripción y características.** El control de presión consiste en la medición de la presión del condensador, dependiendo del valor de la misma y de la temperatura exterior o de la relación de compresión, se corrige ese valor a uno dentro del rango de presiones requeridas para el funcionamiento del compresor.

En la Tabla 11 se resumen las principales características del control de presión, establecidas por: ambientes en donde es posible implementar, los beneficios que ofrece y las aplicaciones o ejemplos de uso.

Tabla 11. Características del sistema de control de presión.

Control de presión.		
Ambiente(s) a implementar	Beneficios	Aplicaciones o ejemplos
Grandes centrales de refrigeración.	Aumento de la eficiencia de los equipos de refrigeración.	Control de temperatura y presión del aire.
Entornos de mediana o gran afluencia de personal.	Prevención de cambios bruscos de temperatura.	Control de presión de temperatura.
Lugares con presencia de cantidades considerables de	Control ante posibles	Control de presión del cárter.

Control de presión.		
equipos que emitan calor.	sobre picos de demanda eléctrica debido a probables y fuertes caídas en los valores de presión	Control de presión de descarga.
Auditorios, aulas de cómputo, bancos, bibliotecas, laboratorios, oficinas de trabajo, salas de exposiciones, salas de reuniones		

Fuente: [36].

**5.5.2. Gráfica de comportamiento.** En la Figura 10 se muestra el comportamiento general del control de presión durante el día, según el uso asignado al espacio interior, cantidad de ocupantes, condiciones físicas del entorno, potencia de iluminación y equipos instalados y eficiencia de estos.

Figura 10. Comportamiento general del uso de la capacidad de equipos en el control de la presión.



La curva obtenida proviene del uso de la capacidad de los equipos, en porcentaje, frente al tiempo de funcionamiento, en horas por cada día. Por ejemplo, para la Figura 10, entre las 16 y 18 horas el uso de la capacidad de los equipos disminuye, es decir, se tiene un consumo energético en descenso, dado a que en ese horario el valor de la presión

atmosférica va decayendo debido a la disminución de la temperatura, cantidad de gas, entre otros factores.

Esta estrategia por lo general inicia operación a medianas horas de la mañana y finaliza en las tempranas o medianas horas de la noche. No es estrictamente necesario utilizar el total de la capacidad de los equipos debido a que está en función del valor momentáneo de presión y su control se realiza poco antes y durante la presencia de personas, con el fin de racionalizar el consumo eléctrico. Generalmente, esta técnica de control exige un alto porcentaje de capacidad de equipos y sistemas de climatización debido a la inminente sensación de presión alta, por lo que el sistema de control operará a mediana o alta intensidad. Con mediana o alta probabilidad, por momentos no se requerirá de consumo energético, esto de acuerdo con la altura sobre el nivel del mar del lugar, en este caso, para la sede principal de la UIS.

## **5.6. CONTROL DE LA VENTILACIÓN NATURAL**

La ventilación natural como tal no hace parte de algún proceso de automatización pero sí del aporte en el favorecimiento de las condiciones de confort de los recintos en donde es posible realizar este tipo de adecuaciones, es por ello que se considera como una estrategia, la cual no necesita consumo energético aunque el hecho de implementarla, puede acarrear grandes costos. Esta técnica consiste en la búsqueda de favorecer las condiciones de renovación natural del aire interior con ayuda del exterior, mediante adecuaciones locativas tales como apertura o cambio de puertas y ventanas, acomodamientos de los espacios, supresión de cortinas o puertas, cambio de color de paredes, puertas y techos, entre otros, que pueden llegar a generar movimiento y descontaminación del aire viciado y liberación de calor encerrado. Por tanto, no se requiere instalar equipos ni sistemas de climatización que demanden consumo eléctrico en algún momento del día [35], [36].

La Tabla 12 resume las principales características del control de ventilación natural, establecidas por: ambientes en donde es posible implementar, los beneficios que ofrece y las aplicaciones o ejemplos de uso.

Tabla 12. Características del sistema de control de ventilación natural.

Control de ventilación natural.		
Ambiente(s) a implementar	Beneficios	Aplicaciones o ejemplos
Espacios inmersos en regiones tropicales.	Optimización del uso de recursos ambientales.	Ventilación natural pura.
Edificios con localización en la mitad de una pendiente.	Bajo o nulo costos y consumo de energía.	Ventilación directa. Ventilación cruzada.
Ventanas y puertas de gran área y cercanas al exterior del edificio.	Disminución de ruidos causados por sistemas de ventilación forzada.	Ventilación inducida.
Auditorios, aulas de clase, centros de estudio, comercio en general, laboratorios		Chimenea o torre de viento.

Fuente: [36].

## 5.7. CONTROL POR PRESENCIA

El control por presencia es otra de las posibles estrategias a implementar para el proceso de automatización de edificios, requerido para generar ambiente de confort térmico en cada espacio interior, acompañado de la optimización del consumo energético.

Esta sección se resume en dos partes: la descripción de características y la gráfica del comportamiento general de esta técnica de automatización.

**5.7.1. Descripción y características.** El control por presencia es la detección de la existencia de alguna persona dentro del recinto a climatizar mediante sensores de proximidad o movimiento y la activación de equipos de climatización dada la necesidad determinada por algún módulo complementario de control de temperatura u otra estrategia de automatización [36], [39].

En la Tabla 13 se resumen las principales características del control por presencia, establecido por: ambientes en donde es posible implementar, los beneficios que ofrece y las aplicaciones o ejemplos de uso.

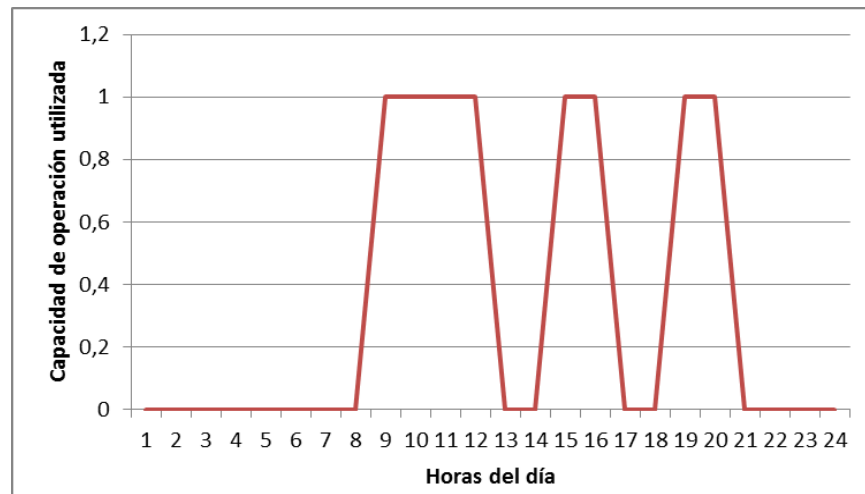
Tabla 13. Características del sistema de control por presencia.

Control por presencia.		
Ambiente(s) a implementar	Beneficios	Aplicaciones o ejemplos
Ambientes cerrados.	Reducción de demanda de carga de los equipos de refrigeración.	Algoritmo de reacción rápida en la detección de personas, movimiento, sonido, etc.
Lugares con flujo variable de personas y establecido por horarios.	Ahorro energético.	Predicción de horarios de funcionamiento.
Espacios libres de perturbaciones para los sensores.	Simplicidad y economía en la implementación de este sistema de control.	Pronóstico de modo e intensidad de funcionamiento.
Recintos de baja o mediana afluencia de público.	Peso y dimensiones de baja magnitud.	Precisión del valor de temperatura resultante al deseado.
Aulas de clase, aulas de cómputo, aulas docentes, comercio en general, farmacias.		

Fuente: [36].

**5.7.2. Gráfica de comportamiento.** En la Figura 11 se muestra el comportamiento general del control por presencia durante el día, según el uso asignado al espacio interior, cantidad de ocupantes, condiciones físicas del entorno, potencia de iluminación y equipos instalados y eficiencia de estos.

Figura 11. Comportamiento general del uso de la capacidad de equipos en el control por presencia.



La curva obtenida proviene del uso de la capacidad de los equipos, en porcentaje, frente al tiempo de funcionamiento, en horas por cada día. Por ejemplo, para la Figura 11, entre las 8 y 12 horas el uso de la capacidad de los equipos es máximo, es decir, se tiene un consumo energético pleno, dado a que en ese horario la afluencia de personas es continua y considerable; mientras que, entre las 13 y 14 horas, generalmente no acuden personas.

Esta estrategia por lo general inicia operación a tempranas o medianas horas de la mañana y finaliza en las medianas horas de la noche, se usa el total de la capacidad de los equipos debido a la asignación de operación simple por detección de proximidad, con el fin de racionalizar el consumo eléctrico. El sistema de control operará a alta intensidad. Con baja o mediana probabilidad, por momentos no se requerirá de consumo energético, esto sujeto a la afluencia de personal al recinto.

## 5.8. CONTROL POR AJUSTE DE OPERACIÓN DE TRABAJO

El control por ajuste de operación de trabajo es otra de las posibles estrategias a implementar para el proceso de automatización de edificios, requerido para generar ambiente de confort térmico en cada espacio interior, acompañado de la optimización del consumo energético [40].

Esta sección se resume en dos partes: la descripción de características y la gráfica del comportamiento general de esta técnica de automatización.

**5.8.1. Descripción y características.** El control por ajuste de operación de trabajo es la corrección del punto de ajuste o equilibrio que los sistemas de climatización deben mantener o seguir. Para obtener lo anterior, es posible reajustar la temperatura de referencia mediante el “termostato inteligente”, niveles de humedad de diseño y la presión estándar de la temperatura.

En la Tabla 14 se resumen las principales características del control de ajuste de operación o de trabajo, establecido por: ambientes en donde es posible implementar, los beneficios que ofrece y las aplicaciones o ejemplos de uso.

Tabla 14. Características del sistema de control por ajuste de operación o de trabajo.

<b>Control por ajuste de operación de trabajo.</b>		
<b>Ambiente(s) a implementar</b>	<b>Beneficios</b>	<b>Aplicaciones o ejemplos</b>
Áreas con alta humedad y ocupadas en horas diurnas, con ocupación numerosa y fluctuante.	Reducción de la carga de calor.  Mayor eficiencia.	Dual Set-point Control (Dead-banda)
Zonas con alta variación de radiación solar.	Menor variación de temperatura.	
Auditorios, aulas de clase, aulas de cómputo, bibliotecas, centros de estudio, comercio en general, laboratorios, salas de exposiciones, salas de reuniones	Reducción de consumo energético.	

Fuente: [36], [40].

**5.8.2. Gráfica de comportamiento.** En la Figura 12 se muestra el comportamiento general del control por ajuste de operación o de trabajo durante el día, según el uso asignado al espacio interior, cantidad de ocupantes, condiciones físicas del entorno, potencia de iluminación y equipos instalados y eficiencia de estos.

Figura 12. Comportamiento general del uso de la capacidad de equipos en el control por ajuste de operación o de trabajo.



La curva obtenida proviene del uso de la capacidad de los equipos, en porcentaje, frente al tiempo de funcionamiento, en horas por cada día. Por ejemplo, para la Figura 12, entre las 6 y 9 horas el uso de la capacidad de los equipos es del 40 %, es decir, se tiene un consumo energético al 40 %; entre las 11 y 12 horas, la demanda de uso aumenta, luego, disminuye y en el siguiente “horario pico” incrementa nuevamente. Lo anterior se da debido a que el control por ajuste de trabajo es más preciso, robusto y permite modificaciones automáticas o manuales en el punto de trabajo durante el funcionamiento de equipos, según la variación de factores como temperatura, humedad, presión, demanda eléctrica y de ventilación, entre otros.

Esta estrategia por lo general inicia operación a tempranas horas de la mañana y finaliza en las medianas horas de la noche. No es estrictamente necesario utilizar el total de la capacidad de los equipos debido a que está en función del ajuste de parámetros de climatización tales como: temperatura, humedad, presión, demanda eléctrica, demanda de ventilación, entre otros. Su control se realiza poco antes y durante la presencia de personas, con el fin de racionalizar el consumo de energía eléctrica. Generalmente, esta técnica de control exige un porcentaje medio de capacidad de equipos y sistemas de

climatización. El sistema de control operará a mediana o alta intensidad. Con baja probabilidad, por momentos no se requerirá de consumo energético.

## 5.9. CONTROL INTEGRADO DE CONSUMO ENERGÉTICO

El control integrado de consumo energético es otra de las posibles estrategias a implementar para el proceso de automatización de edificios, requerido para generar ambiente de confort térmico en cada espacio interior, acompañado de la optimización del consumo energético [35].

Esta sección se resume en dos partes: la descripción de características y la gráfica del comportamiento general de esta técnica de automatización.

**5.9.1. Descripción y características.** El control integrado de consumo energético es un complemento sofisticado a las anteriores estrategias consistente en el método de los sistemas de administración de energía en edificaciones (Building Energy Management Systems, BEMS). Este es un sistema que agrupa técnicas de control, comunicación, ahorro energético e integra los diferentes módulos eléctricos, domótica y de seguridad. Generalmente se incluyen equipos y dispositivos de alta tecnología y funcionalidad.

En la Tabla 15 se resumen las principales características del control integrado de consumo energético, establecido por: ambientes en donde es posible implementar, los beneficios que ofrece y las aplicaciones o ejemplos de uso.

Tabla 15. Características del sistema de control integrado de consumo energético.

<b>Control integrado de consumo energético. Sistema de gestión energética para edificaciones (Buildings Energy Management Systems, Bems).</b>		
<b>Ambiente(s) a implementar</b>	<b>Beneficios</b>	<b>Aplicaciones o ejemplos</b>
Edificios inteligentes.	Ahorro energético.	Programación diaria.
Áreas de reunión programadas.	Prevención de desperdicio energético.	Programación de calendarios.
Los tipos de espacio que cumplen las	Reducción de costos.	Programación de

**Control integrado de consumo energético. Sistema de gestión energética para edificaciones (Buildings Energy Management Systems, Bems).**

anteriores condiciones, son: Auditorios, aulas de cómputo, bibliotecas, salas de exposiciones, salas de reuniones	Mejoramiento de las condiciones de confort.	excepción.
		Programación zonal.
		Arranque óptimo.
		Parada óptima.

Fuente: [36].

**5.9.2. Gráfica de comportamiento.** En la Figura 13 se muestra el comportamiento general del control integrado de consumo energético durante el día, según el uso asignado al espacio interior, cantidad de ocupantes, condiciones físicas del entorno, potencia de iluminación y equipos instalados y eficiencia de estos.

Figura 13. Comportamiento general del uso de la capacidad de equipos en el control integrado de consumo energético.



La curva obtenida proviene del uso de la capacidad de los equipos, en porcentaje, frente al tiempo de funcionamiento, en horas por cada día. Por ejemplo, para la Figura 13, entre las 8 y 11 horas el uso de la capacidad de equipos es del 60 %, es decir, se tiene un consumo energético del 60 %; entre las 12 y 14 horas disminuye, en la tarde nuevamente

aumenta y al finalizar, la demanda de consumo se reduce; algo semejante al control por ajuste de trabajo ya que tiene acciones de control similares, solo que en el control integrado de consumo eléctrico se incluyen otras labores de inspección en cuanto a seguridad, accesibilidad, iluminación y control más robusto con mayor precisión.

Esta estrategia por lo general inicia operación a tempranas horas de la mañana y finaliza en altas horas de la noche, no es estrictamente necesario utilizar el total de la capacidad de los equipos debido a que está en función de parámetros de climatización importantes como: temperatura, humedad, demanda de ventilación y eléctrica, presión, entre otros, además de estar integrado con otras funciones de acceso y seguridad, con la incorporación de tecnología sofisticada. Su control se realiza poco antes y durante la presencia de personas, con el fin de racionalizar el consumo eléctrico. Generalmente, esta técnica de control exige un porcentaje medio de capacidad de equipos y sistemas de aires acondicionados debido a la inminente operación por valores críticos de los parámetros de climatización, por lo que el sistema de control operará a mediana o alta intensidad. Con baja probabilidad, por momentos no se requerirá consumo energético. La operación de equipos y sistemas se realizará por módulos como: climatización, iluminación, acceso seguridad y protocolos de comunicación.

## **6. PROCESOS DE ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS**

Este capítulo trata el tema del proceso de clasificación de las estrategias de automatización, dividido en dos secciones: proceso cuantitativo y proceso cualitativo, describiendo los dos componentes de análisis que realiza la herramienta computacional para llevar a cabo la selección de estrategias de automatización en los espacios interiores de la sede principal de la UIS, con el fin de ofrecer confort térmico acompañado de la optimización del consumo energético.

### **6.1. PROCESO CUANTITATIVO**

Para la parte del análisis cuantitativo se realiza el cálculo de la carga de refrigeración, el cual está incluido en la realización del aplicativo en Microsoft Office Excel®, en donde se tienen en cuenta las ganancias parciales de calor sensible y latente causadas por el tipo de paredes, puertas, techos y ventanas, el material que las componen, el número de ocupantes y la actividad que ejercen, el aire de infiltraciones, la potencia de iluminación y de las máquinas instaladas; entre otros factores incidentes.

La secuencia de la determinación para la carga de enfriamiento viene dada de manera similar a lo presentado en el Anexo A, estimando por secciones, más exactamente por ganancias parciales de calor, y mencionando los parámetros que influyen y las ecuaciones que describen el resultado transitorio.

El cálculo de carga de refrigeración se hace con base en información solicitada al usuario por parte de la herramienta computacional en cuanto a parámetros arquitectónicos, de ocupantes y de consumo de potencia instalada se refiere. También, existen datos basados en la consulta de tablas de acuerdo con los tipos de espacios disponibles, clases y ubicación de materiales, paredes y techos, tipos de actividades y características de iluminación instalada. De igual forma, en una hoja de cálculo están plasmadas las fórmulas para las ganancias de calor parcial y total. Lo anterior se relaciona con lo que se puede denominar el análisis cuantitativo, el cual es uno de los componentes de estudio incluido en el desarrollo del programa realizado en Excel®.

A partir de los resultados de las anteriores acciones, se determinan las estrategias óptimas para esta parte del análisis, de acuerdo con el resultado de consumo energético requerido, siendo las de los tres menores valores numéricos las más convenientes, quedando pendiente la parte cualitativa del estudio.

Finalmente, el aplicativo elaborado en Excel ® también contiene información acerca del análisis cualitativo, sus elementos se explican en la próxima sección de este capítulo y en los anexos de soporte correspondiente en el apartado del proceso de análisis jerárquico.

## 6.2. PROCESO CUALITATIVO

Para el análisis cualitativo de la herramienta computacional, se emplea el Proceso Analítico Jerárquico (PAJ) o *Analytic Hierarchy Process (AHP)*, fundamentado en la complejidad inherente a un problema de selección con múltiples factores, estos a su vez basados en criterios, los cuales son mostrados en la Tabla 16, resolviéndose mediante la jerarquización de las mejores estrategias de automatización para determinar las 3 de mayor valoración en la parte cualitativa.

El estudio de la jerarquización de las estrategias de automatización mediante la comparación cualitativa entre estas, inicia con la asignación de parámetros para cada criterio, los cuales se resumen en la Tabla 16.

Tabla 16. Objetivos principales y criterios del análisis jerárquico.

Objetivo Principal	Criterio
Características Técnicas (CAT)	Acople (Ac)
	Adaptabilidad (Ad)
	Dimensión (D)
	Peso (Pe)
	Precisión (Pr)
Costos (CO)	Equipos (E)
	Funcionamiento (Fu)
	Instalación (I)
Impacto Ambiental (IA)	Mantenimiento (Mt)
	Ahorro de energía (Ae)
	Reducción de emisiones (RED)

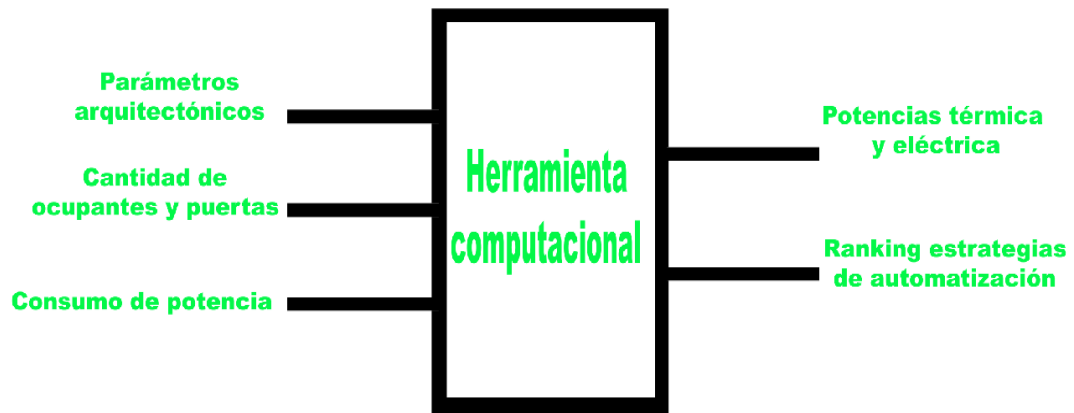
Objetivo Principal	Criterio
	Rendimiento ( <i>REN</i> )
	Capacidad y rapidez ( <i>Ca</i> )
Operatividad ( <i>O</i> )	Flexibilidad ( <i>Ff</i> )
	Maniobrabilidad ( <i>Mn</i> )
	Características Técnicas ( <i>CAT</i> )
Parámetros del modelo	Costos ( <i>CO</i> )
	Impacto Ambiental ( <i>IA</i> )
	Operatividad ( <i>O</i> )

Para la elaboración de este estudio cualitativo, se propone el desarrollo por etapas descrito en el Anexo D, el cual complementa el análisis del componente cualitativo de selección de estrategias de automatización.

## 7. DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL

La herramienta computacional construida consiste en un conjunto de entradas y salidas compuesto por el desarrollo de cálculos y procesos de jerarquización, en donde se muestran resultados de análisis cuantitativos y cualitativos acerca de la selección de estrategias de automatización. La Figura 14 presenta el diagrama de variables de entrada y salida del aplicativo, en particular suministra el tipo de información solicitada y los resultados obtenidos.

Figura 14. Diagrama de entradas y salidas de la herramienta computacional.



Las entradas, ubicadas en la parte izquierda de la herramienta computacional, corresponden a la información suministrada por el usuario, entre tanto, las salidas, a la derecha del aplicativo, conciernen a la visualización de resultados, tanto en la parte cualitativa como en la cuantitativa, una vez finalizado el procesamiento de datos.

### 7.1. PRESENTACIÓN DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL

La herramienta computacional, consiste en una ventana auxiliar del libro de Excel ® la cual en general contiene las preguntas necesarias para el cálculo de la carga de enfriamiento y la determinación de las estrategias de automatización.

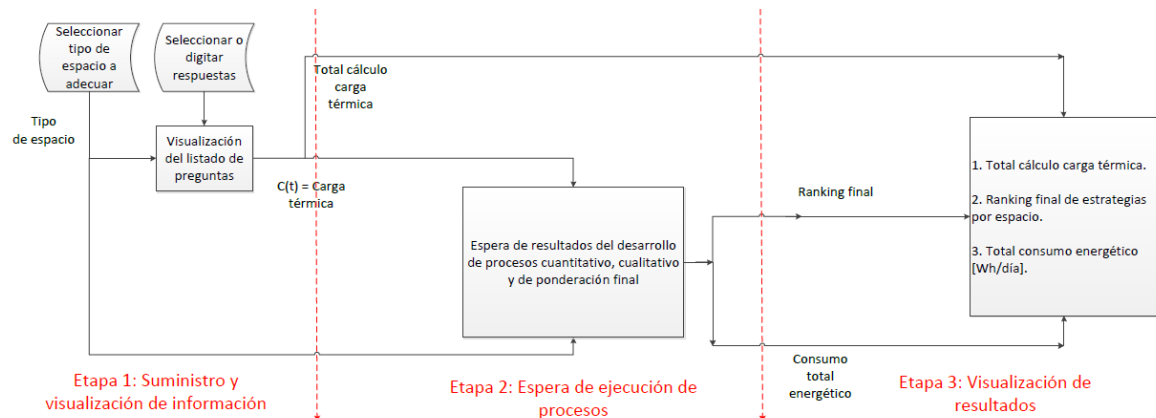
El instrumento informático está dividido en 4 componentes, que son: parámetros arquitectónicos, cantidad de ocupantes y puertas, consumo de potencia y resultados. En los tres primeros se solicita al usuario información relacionada al recinto a evaluar, en el último, resultados, el usuario obtendrá la información relacionada con la potencia térmica requerida para climatizar el espacio interior, consumo de potencia eléctrica y energía térmica promedio necesaria para la operación de los equipos de refrigeración según el funcionamiento asignado, al igual que las mejores opciones de estrategias de automatización a implementarse, de acuerdo con el tipo de espacio interior seleccionado.

Cabe señalar que la herramienta computacional tiene una opción de ayuda para cada campo de selección o digitación de los parámetros requeridos y mostrados, esto con el fin de orientar al usuario para que dé información precisa en cuanto a las unidades de medida pertinentes, restricciones en el ingreso de algunos de los valores numéricos y en la correcta interpretación de los resultados obtenidos del aplicativo.

**7.1.1. Diagramas y uso de la herramienta computacional.** Para ilustrar la presentación de la herramienta informática, se elaboró un diagrama de flujo interpretable para el usuario y otro para el desarrollador

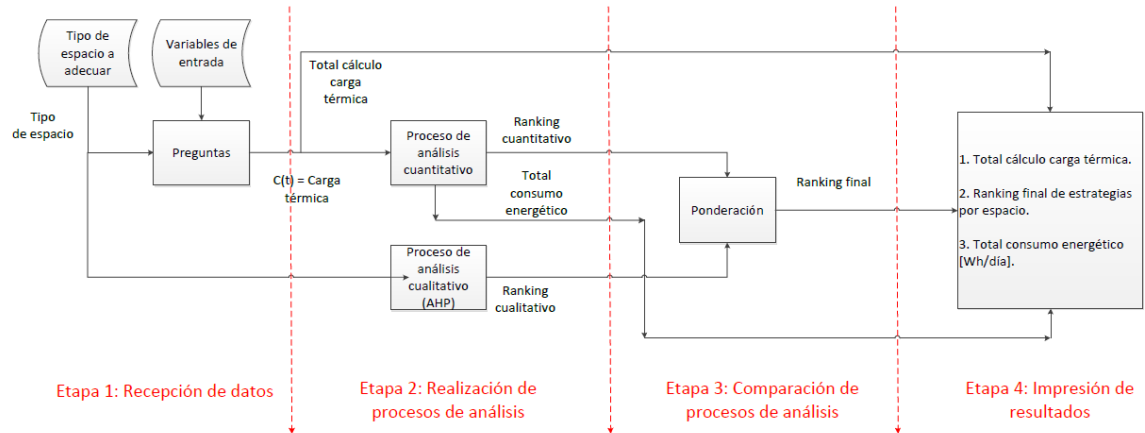
La Figura 15 muestra el diagrama de flujo del aplicativo a modo de interpretación del usuario, en donde se indican las etapas y acciones que este realiza para su manejo. Allí, se aprecian las 3 etapas de manejo de la herramienta, que son: suministro de información, espera de ejecución de procesos y visualización de resultados.

Figura 15. Diagrama de flujo herramienta computacional, interpretación usuario.



De igual forma, para entender mejor lo que la herramienta computacional realiza, se elaboró un esquema a manera de desarrollador en donde se pueden apreciar las fases y acciones que se ejecutan para su procesamiento. Ver Figura 16.

Figura 16. Diagrama de flujo herramienta computacional, interpretación desarrollador.



En la Figura 16 se pueden apreciar 4 etapas de procesamiento del aplicativo informático: recepción de datos, realización de procesos de análisis, comparación de procesos de análisis e impresión de resultados.

**7.1.2. Ventana parámetros arquitectónicos.** Para explicar mejor la herramienta computacional construida, se procede a realizar un ejemplo de cómo utilizarla. La primera parte consiste en el suministro de los datos relacionados con la disposición locativa del recinto o los parámetros arquitectónicos del lugar, como se muestra en la

**7.1.3.**

**7.1.4.**

**7.1.5. Figura 17.**

Figura 17. Entorno principal de la herramienta computacional, sección de preguntas y respuestas acerca de parámetros arquitectónicos.

Universidad Industrial de Santander

HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA LA SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS DE AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN EN ESPACIOS INTERIORES DE LA UIS

Autores: Andrés Carreño y Felipe Ortega

Parámetros arquitectónicos | Cantidad de ocupantes y puertas | Consumo de potencia | Resultados

### Parámetros arquitectónicos

Preguntas	Seleccione o digite las respuestas
Tipo de espacio a acondicionar ?	Aulas de clase
Superficie total de las ventanas en [m <sup>2</sup> ] ?	30
Tipo de vidrio o persiana ?	Ordinario, persiana veneciana exterior, color claro
Tipo de vidrio o pared ?	Vidrio ordinario
Área total de las paredes en [m <sup>2</sup> ] ?	20
Superficie techo en [m <sup>2</sup> ] ?	25
Ubicación de techo ?	Techo en sombra

En la sección de parámetros arquitectónicos se requiere dar información acerca de:

- Tipo de espacio a acondicionar: Corresponden a los elementos de la primera columna expuestos en la Tabla 5. En este campo de selección se puede elegir uno de catorce espacios interiores a climatizar cada vez que se requiera usar la herramienta computacional. Para el ejemplo, se seleccionó aulas de clase.
- Superficie total de las ventanas: Unidad de medida dada en [m<sup>2</sup>]. Hace referencia a la superficie ocupada por el total de las ventanas del lugar. Para el ejemplo se registró 30 [m<sup>2</sup>].
- Tipo de vidrio o persiana: Es el material utilizado para las ventanas instaladas. Estos elementos se resumen en la Tabla B.1 de anexos. Para el ejemplo se seleccionó ordinario, persiana veneciana exterior, color claro.
- Tipo de vidrio o pared: Hace referencia al elemento de que están compuestas las paredes, estos se encuentran en la Tabla B.2 de anexos. Para el ejemplo se eligió vidrio ordinario.
- Área total de las paredes: Unidad de medida dada en [m<sup>2</sup>] y es la superficie ocupada por el total de paredes del recinto. Su valor varía entre 0 y 3000 [m<sup>2</sup>]. Para el ejemplo se ingresó el valor de 20 [m<sup>2</sup>].
- Superficie techo: Unidad de medida dada en [m<sup>2</sup>] y es la superficie ocupada por el techo del espacio interior. Su valor varía entre 0 y 3000 [m<sup>2</sup>]. Para el ejemplo se digitó el valor de 25 [m<sup>2</sup>].
- Ubicación de techo: Corresponde a si el techo está en sombra o en el exterior. Para el ejemplo, se seleccionó techo en sombra.

**7.1.6. Ventana cantidad de ocupantes y puertas.** La segunda parte consiste en el suministro de los datos relacionados con la cantidad de ocupantes y puertas, como se muestra en la Figura 18.

En la sección de cantidad de ocupantes y puertas solo se requiere especificar dos datos:

- Número de personas: La cantidad de personas presentes o el estimado de la misma, en el respectivo lugar. Para el ejemplo, se especificaron 15.
- Número de puertas: Es la cantidad de puertas que existen para el recinto a adecuar. Su cantidad varía entre 0 y 30. Para el ejemplo se tomaron 2.

Figura 18. Entorno principal de la herramienta computacional, sección de preguntas y respuestas acerca de cantidad de ocupantes y puertas.

The screenshot shows a software window titled 'HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA LA SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS DE AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN EN ESPACIOS INTERIORES DE LA UIS'. The window includes the logo of Universidad Industrial de Santander and the authors' names: Andrés Carreño y Felipe Ortega. The interface has four tabs: 'Parámetros arquitectónicos', 'Cantidad de ocupantes y puertas', 'Consumo de potencia', and 'Resultados'. The 'Cantidad de ocupantes y puertas' tab is active, displaying a form with two rows of input fields. The first row is for 'Número de personas' with a value of 15. The second row is for 'Número de puertas' with a value of 2. There are navigation arrows at the bottom right of the window.

Preguntas	Seleccione o digite las respuestas
Número de personas	15
Número de puertas	2

**7.1.7. Ventana consumo de potencia.** La tercera parte solicita los datos del consumo de potencia del recinto, como se muestra en la Figura 19.

Figura 19. Entorno principal de la herramienta computacional, sección de preguntas y respuestas acerca de consumo de potencia.

The screenshot shows a web-based application window titled "HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA LA SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS DE AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN EN ESPACIOS INTERIORES DE LA UIS". The authors are listed as "Andrés Carreño y Felipe Ortega". The interface has a navigation bar with four tabs: "Parámetros arquitectónicos", "Cantidad de ocupantes y puertas", "Consumo de potencia" (which is active), and "Resultados". The main content area is titled "Consumo de potencia" and is divided into two columns: "Preguntas" and "Seleccione o digite las respuestas".

Preguntas	Seleccione o digite las respuestas
Actividad realizada por las personas	Sentado trabajo ligero
Potencia total de iluminación en [W]	540
Tipo de iluminación	Incandescente
Potencia total de las máquinas instaladas en [W]	300
Eficiencia de las máquinas instaladas en [%]	80

At the bottom right of the form, there are two navigation arrows: a left-pointing arrow and a right-pointing arrow.

En la sección de consumo de potencia se requiere especificar los siguientes datos:

- Actividad realizada por las personas: Es el tipo de trabajo que habitualmente realizan las personas presentes en el lugar y que representa una carga de potencia térmica adicional. Sus elementos elegibles están en la Tabla B.6. Para el ejemplo se tomó sentado trabajo ligero.

- Potencia total de iluminación: Unidad de medida dada en [W] y es la potencia que se consume o se requiere para todas las luces instaladas en el recinto. Su valor debe ser mayor o igual a 0. Para el ejemplo se registró 540 [W].
- Tipo de iluminación: Hace referencia a la clase de luces utilizadas en el lugar a adecuar. Puede ser de tipo incandescente, fluorescente o led. Para el ejemplo se seleccionó incandescente.
- Potencia total de las máquinas instaladas: Unidad de medida dada en [W] y es la potencia que se consume o se requiere para todas las máquinas instaladas en el recinto. Su valor debe ser mayor o igual a 0. Para el ejemplo se registró 300 [W].
- Eficiencia de las máquinas instaladas: Su unidad de medida es el [%]. Se trata de la eficiencia promedio del total de máquinas que hay en el espacio a acondicionar. El valor está entre 0 y 100 [%]. Para el ejemplo se registró el valor de 80 [%].

**7.1.8. Ventana resultados.** Esta sección muestra los resultados de los cálculos de potencias y energías promedio, además del ordenamiento de las estrategias de automatización óptimas de acuerdo con el recinto tanto en el análisis cualitativo como cuantitativo, así como también el resultado de la ponderación final que realiza el aplicativo (ver Figura 21). Los parámetros o resultados que se muestran se describen a continuación.

Sección consumo de potencia, elementos de potencia térmica: Es el total de la carga de enfriamiento. Para el ejemplo, los valores fueron: 6478,692 [W], 6,479 [kW], 22106,213 [BTU/h] o 1,842 [TR].

Sección consumo de potencia, elementos de energía térmica promedio: Corresponde a la energía promedio requerida, según la estrategia de automatización correspondiente, para optimizar las condiciones climáticas del lugar interior. Para el ejemplo, los valores fueron:

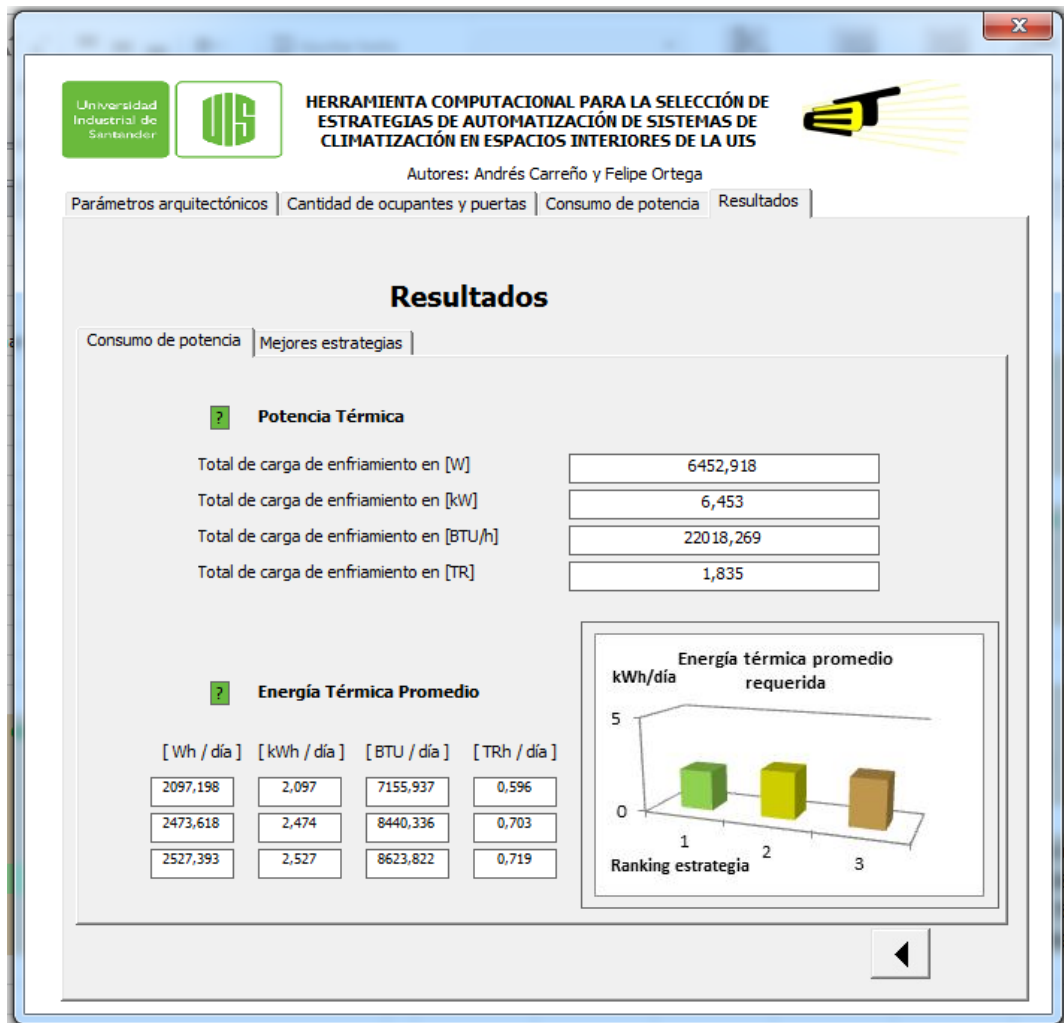
Estrategia de menor demanda energética: 2105,505 [Wh/día], 2,106 [kWh/día], 7184,519 [BTU/día] o 0,599 [TRh/día].

Estrategia de segunda menor demanda energética: 2483,498 [Wh/día], 2,483 [kWh/día], 8474,048 [BTU/día] o 0,706 [TRh/día].

Estrategia de tercera menor demanda energética: 2537,488 [Wh/día], 2,537 [kWh/día], 8658, 267 [BTU/día] o 0,722 [TRh/día].

Los anteriores resultados se muestran en la Figura 20.

Figura 20. Entorno principal de la herramienta computacional, sección de muestra de resultados, componente de consumo de potencia.



En la sección mejores estrategias, elementos de las mejores estrategias en el análisis cualitativo, se indican las mejores estrategias de automatización en la parte cualitativa. Para el ejemplo, las mejores estrategias, fueron:

- La mejor: Control por presencia.
- La segunda mejor: Control de demanda de ventilación.
- La tercera mejor: Control integrado de consumo energético.

En la sección mejores estrategias, elementos de las mejores estrategias en el análisis cuantitativo, se indican las mejores estrategias de automatización en la parte cuantitativa. Para el ejemplo, las mejores estrategias, fueron:

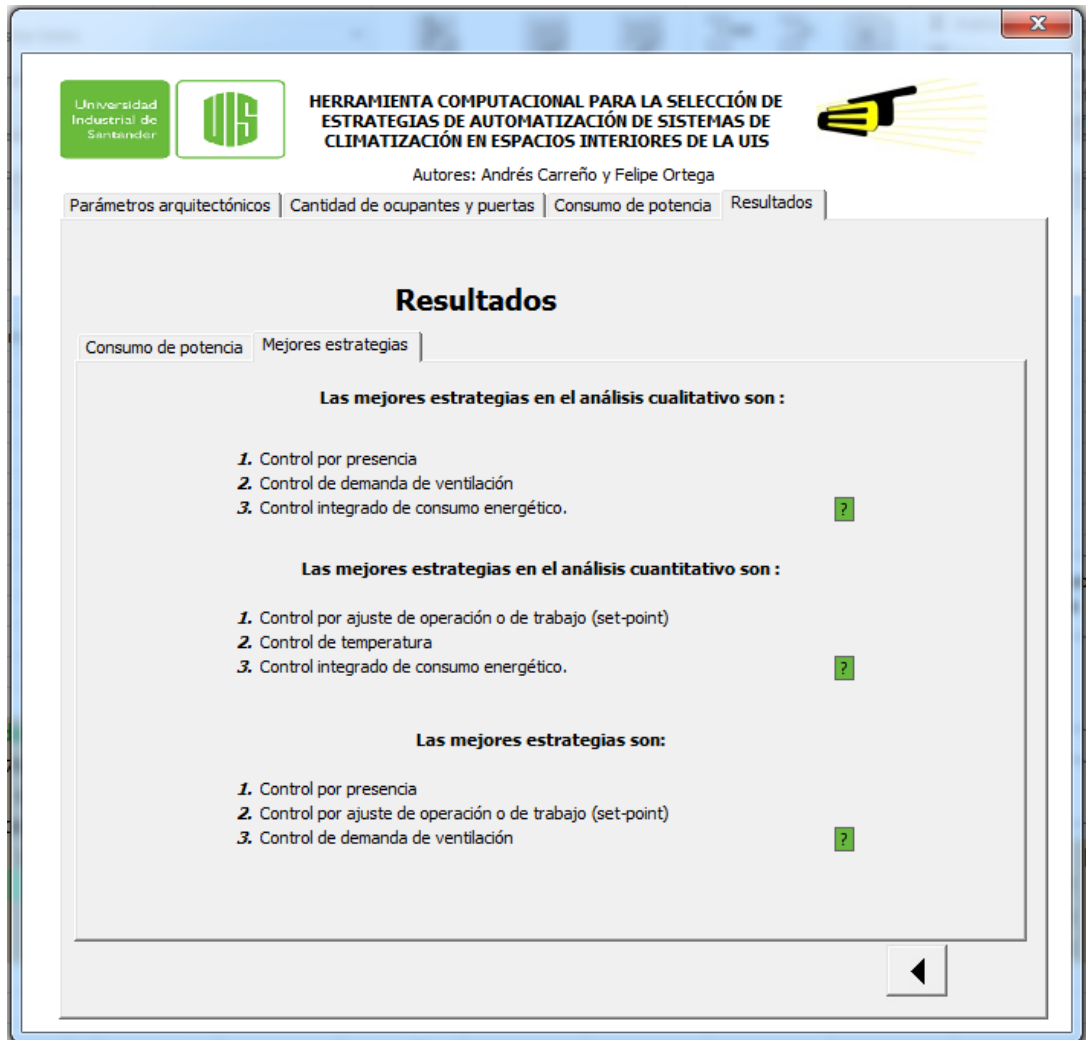
- La mejor: Control por ajuste de operación o de trabajo.
- La segunda mejor: Control de temperatura.
- La tercera mejor: Control integrado de consumo energético.

En la sección mejores estrategias, elementos de Las mejores estrategias, se indican las mejores estrategias de automatización en forma absoluta. Para el ejemplo, las mejores estrategias, fueron:

- La mejor: Control por presencia.
- La segunda mejor: Control por ajuste de operación o de trabajo.
- La tercera mejor: Control de demanda de ventilación.

Los anteriores resultados se presentan en la Figura 21.

Figura 21. Entorno principal de la herramienta computacional, sección de muestra de resultados, componente de mejores estrategias.



Los datos incluidos en el desarrollo del aplicativo son de dos clases:

- El usuario debe digitar o seleccionar entre: parámetros arquitectónicos, actividad y cantidad de ocupantes y consumo de potencia generado.

- Los datos técnicos que se obtuvieron y calcularon basados en: las normas ASHRAE [12], estación meteorológica del IDEAM [14], la metodología planteada en el libro de Miranda [15], las diferentes tablas, los catálogos consultados, y demás temáticas plasmadas en los capítulos anteriores y en los anexos de soporte.

Con base en la información solicitada al usuario y con la ayuda del uso de la herramienta de Excel ®, denominada *Analytic Hierarchy Process (AHP)*, el programa realiza el proceso de análisis jerárquico de las estrategias de automatización, con lo que se determinan las mejores opciones como parte del análisis cualitativo, resultado parcial que suministra las estrategias de mejor ponderación que convendrán aplicar al tipo de lugar que se desea acondicionar según la comparación calificativa. En esta sección se estudian las técnicas en función de su desempeño en el interior de cada tipo de espacio tenido en cuenta para caracterizar y se da una jerarquía que indica las mejores opciones para climatizar los edificios y ahorrar energía, siendo este juicio una primera alternativa, dado que la selección también depende de la determinación de la parte del análisis cuantitativo. La selección de las mejores técnicas de automatización se da teniendo en cuenta los criterios expuestos en la sección 6.2 y en el ANEXO D. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO de este documento.

Para el cálculo de carga de enfriamiento, la herramienta computacional desarrollada está basada en el método de diferencia de temperatura CLTD/CLF del ASHRAE (ver ANEXO A. COMPONENTES PARA EL CÁLCULO DE LA CARGA DE ENFRIAMIENTO) que determina la carga térmica en los espacios interiores, siendo este el componente de análisis cuantitativo que realiza la herramienta computacional, el cual se estudia en la sección 6.1, en el ANEXO A. COMPONENTES PARA EL CÁLCULO DE LA CARGA DE ENFRIAMIENTO y en el ANEXO B. CÁLCULO DE CARGA DE ENFRIAMIENTO de este documento.

Como complemento a la presentación de la herramienta computacional, cabe mencionar que en el ANEXO E. MANUAL DE USUARIO, se incluye la guía de soporte para el usuario, en donde este podrá ilustrarse y ser advertido sobre la forma en que debe utilizar correctamente el aplicativo y saber acerca de las distintas convenciones que este tiene.

## **7.2. COMPARACIÓN Y RESULTADOS DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL**

Como parte de la evaluación de la fiabilidad de la herramienta computacional, es necesario comprobar que la información de análisis cualitativo y cuantitativo es precisa y

adecuada a las condiciones de entorno propias de la sede principal de la UIS, más exactamente, en sus espacios interiores, los cuales son el tipo de lugares objetivo para establecer las mejores estrategias de automatización con el fin de mejorar el confort térmico.

Como parte de la validación del aplicativo, se tiene la Tabla 17, la cual, para cada tipo de espacio interior de la Universidad, especifica la información acerca de la cantidad de refrigeración instalada en contraste con los resultados del cálculo de carga de enfriamiento determinado con el uso de la herramienta informática construida.

Tabla 17. Resumen de valores de refrigeración instalada y cálculo de enfriamiento, de acuerdo con el tipo de espacio interior de la UIS.

Tipo de espacio	Refrigeración existente [BTU/h]	Resultados de cálculo de carga de enfriamiento [BTU/h]
Auditorios	60000	35000
Aulas de clase	96000	55000
Aulas de cómputo	60000	50000
Aulas docentes	96000	60000
Bancos	60000	43000
Bibliotecas	300000	160000
Centros de estudio	72000	70000
Comercio en general	60000	43000
Consultorio general	18000	8000
Farmacias	17000	10000
Laboratorios	60000	42000
Oficinas de trabajo	36000	25000
Salas de exposiciones	60000	47000
Salas de reuniones	72000	48000

De acuerdo con la anterior información, se puede inferir acerca de la sobre capacidad de refrigeración instalada en varios recintos, en especial, un sector de la biblioteca, con lo

que se presume, se puede estar incurriendo en un gasto energético innecesario, lo cual se puede corregir con el ajuste al diseño de climatización instalado.

También, cabe mencionar que en términos generales se está logrando la proximidad de lo calculado a lo real, basándose en la información de espacios interiores tales como: aulas de cómputo, salas de exposiciones y centros de estudio.

De esta misma información es posible determinar:

- El ahorro energético es de máximo el 56%, en el caso de la biblioteca, pues pasa de tener 300000 [BTU/h] instalados (ver columna centro de la Tabla 17) a 160000 [BTU/h] calculados (ver columna derecha de la Tabla 17).
- De acuerdo con la Tabla 17, el valor del ahorro medio es cercano al 32%. Este resultado del promedio de ahorro energético se obtiene de igual forma que en el anterior ítem, pero aplicando dicha acción a todos los elementos de una misma columna en la Tabla 17.
- Finalmente, cabe destacar que la diferencia entre los valores reales y calculados, existe baja dispersión (solo de 6657,094 [BTU/h]), significando que los resultados del uso de la herramienta computacional son confiables.

## 8. CONCLUSIONES

Se construyó una herramienta computacional elaborada en Excel®, que calcula la carga de enfriamiento y muestra en orden jerárquico las mejores estrategias de automatización en los diferentes espacios dentro del campus central de la UIS.

Se identificaron los diferentes tipos de espacios dentro de la sede principal de la UIS, en base a sus características y usos, con lo cual se seleccionaron las estrategias de automatización óptimas para el mejoramiento de sus condiciones de confort.

Se realizó una herramienta computacional didáctica fundamentada en conceptos generales aplicables a las condiciones de confort regionales para los diferentes tipos de edificaciones a nivel local, con equipos disponibles en el mercado nacional.

Algunas estrategias de automatización elegidas para los tipos de espacios interiores, tienen características particulares de simplicidad y facilidad en el diseño e implementación, las cuales son óptimas y mejoran las condiciones de confort en el tipo de lugar a adecuar, de una manera razonable.

Los espacios interiores requieren acciones de control y automatización, tecnología, domótica y otras funciones de inteligibilidad, de acuerdo con su uso y capacidad; para que la gestión de automatización cumpla con las normas ambientales y de seguridad. Las estrategias que utilizan protocolos de comunicación, tecnología de punta en control y automatización, son las de sistemas integrados de control y por ajuste de trabajo, adaptándose mejor a estas exigencias.

La identificación de espacios dentro de la sede principal de la UIS tuvo en cuenta los edificios en donde es necesario mejorar las condiciones de climatización y llevar a cabo procesos de automatización, priorizando sus usos, capacidades y cantidad de superficie.

Para áreas más extensas y de mayor capacidad de personas como: auditorios, biblioteca, laboratorios, salas de exposiciones y de reuniones, las estrategias adecuadas son las del control por horario y por ajuste de operación o de trabajo.

Para los tipos de espacios como: bancos, consultorio general, farmacias y oficinas de trabajo, las estrategias adecuadas son las de control de la demanda de ventilación y por ajuste de operación o de trabajo.

Con relación al proceso de formación profesional, la realización del trabajo de grado nos ha permitido obtener conocimientos sobre el uso racional de la energía enfocado a sistemas de aire acondicionado y estrategias de ahorro energético existentes en la actualidad. También, se realizó una leve incursión en el cálculo de la carga de enfriamiento, que es un parámetro fundamental en la determinación de las mejores estrategias de automatización por cada tipo de espacio interior.

## **9. RECOMENDACIONES**

Conviene revisar la infraestructura instalada para la climatización de edificios con el fin de adecuar su capacidad de enfriamiento a valores ajustados, con lo que se puede alcanzar un ahorro energético.

Se recomienda utilizar la herramienta computacional para saber elegir las mejores opciones de ahorro energético, incluyendo otros factores extrínsecos e intrínsecos tales como: económicos, físicos, ambientales, técnicos y otros más, dados los análisis cualitativo y cuantitativo que realiza este aplicativo funcional.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. F. BECERRA L and H. GARCÍA, “Automatización , control y supervisión remota del sistema central de aire acondicionado ( agua helada ) para un edificio trabajo especial de grado automatización , control y supervisión remota del sistema central de aire acondicionado,” Universidad Central De Venezuela, 2007.
- [2] E. MORENO RUEDA, N. A. CÁRDENAS PARADA, and O. A. Gelves Arocha, “Implementación de un bas (building automation system) básico para el control integrado de un sistema de aire acondicionado e iluminación mediante dispositivos con comunicación BACNET,” Universidad Industrial De Santander, 2012.
- [3] L. A. NORIEGA CHÁVEZ, “Diseño de un sistema de control de accesos orientado a un edificio de oficinas en proceso de automatización,” Pontificia Universidad Católica Del Perú, 2007.
- [4] G. CARRILLO CAICEDO, G. ORDÓÑEZ PLATA, J. G. PLATA CORDERO, H. R. VARGAS TORRES, G. LATORRE BAYONA, and F. A. RUEDA PATIÑO, “Presentación del grupo de investigación GISEL,” 1997, 1997. [Online]. Available: <https://www.uis.edu.co/webUIS/es/academia/facultades/fisicoMecanicas/escuelas/e3t/investigacionExtension/GISEL/index.html>.
- [5] D. A. SIERRA BUENO, “Presentación del grupo de investigación CEMOS,” 2001. [Online]. Available: <http://ceмос.uis.edu.co/>.
- [6] E. I. S.A. and V. LIBERAL, “Complejo E3T, otro proyecto Eme Ingeniería S.A.,” 2013, 2013. [Online]. Available: <http://www.emeingenieria.com.co/noticias/leer/id/34>.
- [7] A. ACEBEDO, “El edificio inteligente,” *Atlantic International University*, Honolulu, pp. 1–1.
- [8] C. ROMERO MORALES, F. VÁSQUEZ SERRANO, and C. De CASTRO LOZANO, “Domótica e inmótica vivienda y edificio inteligentes,” in *Domótica e inmótica vivienda y edificio inteligentes*, México, D.F., 2007, pp. 21–25.
- [9] ASHRAE, “Fundamentals,” *ASHRAE*. ASHRAE, 2005.

- [10] S. A. KALOGIROU, S. PANTELIOU, and A. DENTSORAS, "Modeling of solar domestic water heating systems using artificial neural networks," *Elsevier*, vol. 65, pp. 335–342, 1998.
- [11] L. SANTANA, Á. M. FUENTE, and X. ALAMÁN ROLDÁN, "Desarrollo de un sistema de control de climatización de un edificio, basado en sistemas de inteligencia ambiental y dispositivos móviles," Universidad Autónoma De Madrid, 2012.
- [12] ASHRAE and G. PUBLISHING, "Cooling and heating load calculation manual," New York, 1979.
- [13] D. E. NAVARRO BAUTISTA and H. J. NAVARRO BAUTISTA, "Herramienta computacional pedagógica para el diseño de sistemas de aire acondicionado," Universidad Industrial De Santander, 2010.
- [14] IDEAM, "Atlas Climatológico Nacional," Bogotá, 2005.
- [15] Á. L. MIRANDA, *Técnicas de climatización*. Barcelona: Alfaomega, 2007.
- [16] J. LLUMIQUINGA and M. UBIDIA, "Construcción de un sistema de monitoreo y control de la calidad del aire en un ambiente cerrado," Escuela Politécnica Nacional, 2007.
- [17] TSI, "HVAC Assessment Handbook," 2013.
- [18] R. C. DORFT, "Sistemas eléctricos," in *Sistemas Eléctricos*, 2nd ed., 2000.
- [19] N. MOHAN, U. TORE M., and R. WILLIAM P., "Power electronic," in *Power Electronic*, 2nd ed., 1995.
- [20] C. CALEFACCIÓN AND A. ACONDICIONADO, "Capítulo 7: calefacción, ventilación, aire acondicionado," Lexington, 2013.
- [21] U. INDUSTRIAL DE SANTANDER, "Información general," 1999. [Online]. Available: <https://www.uis.edu.co/webUIS/es/visitenos/informacionGeneral.html>.
- [22] U. INDUSTRIAL DE SANTANDER, "Presentación de planta física," 1994. [Online]. Available: <https://www.uis.edu.co/webUIS/es/administracion/plantaFisica/presentacion.jsp>.
- [23] S. DE GESTIÓN AMBIENTAL, "Programa Uso Racional De La Energía (URE)," *Proceso Gestión Ambiental*, 2011. [Online]. Available:

<http://www.uis.edu.co/webUIS/es/gestionAmbiental/documentos/programasAmbientales/URE.PDF>.

- [24] C. DE LA REPÚBLICA, “LEY 697 DE 2001,” *Cámara de Representantes*, 2001. [Online]. Available: [ftp://ftp.camara.gov.co/UATL/GLIN/GLIN\\_2001/GLIN\\_697\\_de\\_2001\\_se\\_fomenta\\_el\\_uso\\_racional\\_y\\_eficiente\\_de\\_la\\_energ%C3%ADa,\\_se\\_promueve\\_la\\_utilizaci%C3%B3n\\_de\\_energ%C3%ADas\\_alternativas.pdf](ftp://ftp.camara.gov.co/UATL/GLIN/GLIN_2001/GLIN_697_de_2001_se_fomenta_el_uso_racional_y_eficiente_de_la_energ%C3%ADa,_se_promueve_la_utilizaci%C3%B3n_de_energ%C3%ADas_alternativas.pdf).
- [25] A. DE BOGOTÁ, “Alcaldía de Bogotá,” *Ministerio de Minas y Energía*, 2008. [Online]. Available: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=4449>.
- [26] M. DE MINAS Y ENERGÍA, Decreto número 3450 de 12 de septiembre de 2008. Bogotá, 2008.
- [27] J. F. MARADEY, *Termodinámica aplicada*. Bucaramanga: Universidad Industrial De Santander, 2002.
- [28] I. R. SILVA, “Uso Racional Y Eficiente De La Energía en edificios públicos en Colombia,” no. 19, Bogotá, 2009.
- [29] B. MUNDIAL and A. INTERNACIONAL DE LA ENERGÍA, “consumo de energía eléctrica (kWh per cápita),” 2011. [Online]. Available: <http://www.consumoresponsable.org/actua/energia/energiasahorrarencasa>.
- [30] ECOLOGÍA Y DESARROLLO, “¿Cómo ahorrar energía en casa?,” *Consumo Responsable*, 2011. [Online]. Available: <http://www.consumoresponsable.org/actua/energia/energiasahorrarencasa>.
- [31] SCHNEIDER ELECTRIC, “Eficiencia energética,” Buenos Aires, 2010.
- [32] T. SAMAD AND A. ANNASWAMY, “The impact of control technology,” *IEEE Control Syst. Soc.*, vol. 1, p. 246, 2011.
- [33] CIDET, F. JAVIER, and S. ALZATE, “Normatividad sobre eficiencia energética y edificaciones verdes,” *Unidad Intel. Estratégica Tecnológica - UIET*, p. 14, 2012.
- [34] G. FAGILDE, “7 HVAC systems and strategies that can reduce energy waste,” *Pacific Gas Electr. Co.*, pp. 1–1, 2015.
- [35] E. MIRANDA REZA, “Sistemas de automatización: estrategias de control,” *Mundo HVAC&R*, pp. 1–1, 2014.

- [36] Á. RUIZ, “Estrategias de control para ahorro de energía,” *Mundo HVAC&R*, vol. 1, pp. 1–1, 2014.
- [37] M. GRUBER, A. TRÜSCHEL, and J.-O. DALENBÄCK, “Alternative strategies for supply air temperature control in office buildings,” *Energy Build.*, vol. 82, pp. 406–415, 2014.
- [38] M. GRUBER, A. TRÜSCHEL, and J.-O. DALENBÄCK, “CO2 sensors for occupancy estimations: potential in building automation applications,” *Energy Build.*, vol. 84, pp. 548–556, 2014.
- [39] V. VAKILOROAYA, B. SAMALI, A. FAKHAR, and K. PISHGHADAM, “A review of different strategies for hvac energy saving,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 77, pp. 738–754, 2014.
- [40] M. MASOERO and C. SILVI, “Building Energy Management Systems (BEMS) control strategies for air conditioning efficiency,” *Auditac*, vol. 12, pp. 1–17, 2014.
- [41] J.-L. IZARD and A. GUYOT, *Arquitectura Bioclimática*. Barcelona: Gustavo Gili, 1980.
- [42] B. X. GÁLVEZ RUIZ and M. J. LÓPEZ BARRIENTOS, “Diseño de edificios verdes e inteligentes,” 2010.
- [43] CAREL, “Evaporative cooling: cooling the air with water,” 2015, 2015. [Online]. Available: <http://www.carel.com/evaporative-cooling>.
- [44] A. AFRAM and F. JANABI-SHARIFI, “Theory and applications of HVAC control systems – a review of Model Predictive Control (MPC),” *Build. Environ.*, vol. 72, pp. 343–355, 2013.
- [45] F. D. SUÁREZ BONILLA and I. MAZÓN, “Diseño y construcción de un sistema de control de temperatura para una incubadora de huevos de aves de corral” Universidad De Costa Rica, 2009.
- [46] M. FADZLI HANIFF, H. SELAMAT, R. YUSOF, S. BUYAMIN, and F. SHAM ISMAIL, “Review of HVAC scheduling techniques for buildings towards energy-efficient and cost-effective operations,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 27, pp. 94–103, 2013.
- [47] MUNDO HVAC&R, “Control y monitoreo de sistemas HVAC,” *Mundo HVAC&R*, vol. 1, pp. 1–1, 2014.

- [48] Z. Yang and B. Becerik-Gerber, "The coupled effects of personalized occupancy profile based HVAC schedules and room reassignment on building energy use," *Energy Build.*, vol. 78, pp. 113–122, 2014.
- [49] L. PÉREZ-LOMBARD, J. ORTIZ, J. F. CORONEL, and I. R. MAESTRE, "A review of HVAC systems requirements in building energy regulations," *Energy Build.*, vol. 43, no. 2–3, pp. 255–268, 2011.
- [50] J. ORTEGA, "Reguladores de presión," *Mundo HVAC&R*, vol. 1, pp. 1–3, 2014.
- [51] A. MERMET, "Ventilación natural de edificios," Buenos Aires, 2005.
- [52] R. MAGNIFICO, "Prototipo de vivienda saludable y ecológica de bajo costo para la aldea Pueblo Nuevo," 2011, vol. 1, pp. 1–162, 2011.
- [53] M. LUXÁN, G. GÓMEZ, and R. ARACELI, "Guía para el diseño de edificios de viviendas sostenibles y energéticamente eficientes en el ámbito del principado de Asturias," Principado de Asturias, 2010.
- [54] J. Lu, T. SOOKOOR, V. SRINIVASAN, G. GAO, B. HOLBEN, J. STANKOVIC, E. FIELD, and K. WHITEHOUSE, "The smart thermostat: using occupancy sensors to save energy in homes," *Hum. Factors*, vol. 55, pp. 211–224, 2010.
- [55] I. JOURNALS, "Indian Society For Heating, Refrigeration And Air Conditioning Engineers," *ISHRAE*, vol. 1, pp. 1–69.
- [56] G. ESCRIVÁ-ESCRIVÁ, I. SEGURA-HERAS, and M. ALCÁZAR-ORTEGA, "Application of an energy management and control system to assess the potential of different control strategies in HVAC systems," *Energy Build.*, vol. 42, no. 11, pp. 2258–2267, 2010.
- [57] APOYO CUANTITATIVO, "El Proceso Analítico Jerárquico (AHP)," Bucaramanga, 1980.
- [58] E. HERNÁNDEZ GORIBAR, Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración. México, D.F.: Limusa, 2011.

## BIBLIOGRAFÍA

- A. DE BOGOTÁ, “Alcaldía de Bogotá,” *Ministerio de Minas y Energía*, 2008. [Online]. Available: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=4449>.
- Á. L. MIRANDA, *Técnicas de climatización*. Barcelona: Alfaomega, 2007.
- A. MERMET, “Ventilación natural de edificios,” Buenos Aires, 2005.
- Á. RUIZ, “Estrategias de control para ahorro de energía,” *Mundo HVAC&R*, vol. 1, pp. 1–1, 2014.
- APOYO CUANTITATIVO, “El Proceso Analítico Jerárquico (AHP),” Bucaramanga, 1980.
- ASHRAE and G. PUBLISHING, “Cooling and heating load calculation manual,” New York, 1979.
- ASHRAE, “Fundamentals,” *ASHRAE*. ASHRAE, 2005.
- B. MUNDIAL and A. INTERNACIONAL DE LA ENERGÍA, “consumo de energía eléctrica (kWh per cápita),” 2011. [Online]. Available: <http://www.consumoresponsable.org/actua/energia/energiasahorrarencasa>.
- C. CALEFACCIÓN AND A. ACONDICIONADO, “Capítulo 7: calefacción, ventilación, aire acondicionado,” Lexington, 2013.
- C. DE LA REPÚBLICA, “LEY 697 DE 2001,” *Cámara de Representantes*, 2001. [Online]. Available: [ftp://ftp.camara.gov.co/UATL/GLIN/GLIN\\_2001/GLIN\\_697\\_de\\_2001\\_se\\_fomenta\\_el\\_uso\\_racional\\_y\\_eficiente\\_de\\_la\\_energ%C3%ADa,\\_se\\_promueve\\_la\\_utilizaci%C3%B3n\\_de\\_energ%C3%ADas\\_alternativas.pdf](ftp://ftp.camara.gov.co/UATL/GLIN/GLIN_2001/GLIN_697_de_2001_se_fomenta_el_uso_racional_y_eficiente_de_la_energ%C3%ADa,_se_promueve_la_utilizaci%C3%B3n_de_energ%C3%ADas_alternativas.pdf).
- C. ROMERO MORALES, F. VÁSQUEZ SERRANO, and C. De CASTRO LOZANO, “Domótica e inmótica vivienda y edificio inteligentes,” in *Domótica e inmótica vivienda y edificio inteligentes*, México, D.F., 2007, pp. 21–25.

D. E. NAVARRO BAUTISTA and H. J. NAVARRO BAUTISTA, “Herramienta computacional pedagógica para el diseño de sistemas de aire acondicionado,” Universidad Industrial De Santander, 2010.

E. HERNÁNDEZ GORIBAR, Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración. México, D.F.: Limusa, 2011.

E. MIRANDA REZA, “Sistemas de automatización: estrategias de control,” *Mundo HVAC&R*, pp. 1–1, 2014.

E. MORENO RUEDA, N. A. CÁRDENAS PARADA, and O. A. Gelves Arocha, “Implementación de un bas (building automation system) básico para el control integrado de un sistema de aire acondicionado e iluminación mediante dispositivos con comunicación BACNET,” Universidad Industrial De Santander, 2012.

F. D. SUÁREZ BONILLA and I. MAZÓN, “Diseño y construcción de un sistema de control de temperatura para una incubadora de huevos de aves de corral” Universidad De Costa Rica, 2009.

G. ESCRIVÁ-ESCRIVÁ, I. SEGURA-HERAS, and M. ALCÁZAR-ORTEGA, “Application of an energy management and control system to assess the potential of different control strategies in HVAC systems,” *Energy Build.*, vol. 42, no. 11, pp. 2258–2267, 2010.

G. FAGILDE, “7 HVAC systems and strategies that can reduce energy waste,” *Pacific Gas Electr. Co.*, pp. 1–1, 2015.

I. JOURNALS, “Indian Society For Heating, Refrigeration And Air Conditioning Engineers,” *ISHRAE*, vol. 1, pp. 1–69.

IDEAM, “Atlas Climatológico Nacional,” Bogotá, 2005.

J. F. BECERRA L and H. GARCÍA, “Automatización , control y supervisión remota del sistema central de aire acondicionado ( agua helada ) para un edificio trabajo especial de grado automatización , control y supervisión remota del sistema central de aire acondicionado,” Universidad Central De Venezuela, 2007.

J. F. MARADEY, Termodinámica aplicada. Bucaramanga: Universidad Industrial De Santander, 2002.

J. LLUMIQUINGA and M. UBIDIA, “Construcción de un sistema de monitoreo y control de la calidad del aire en un ambiente cerrado,” Escuela Politécnica Nacional, 2007.

J. Lu, T. SOOKOOR, V. SRINIVASAN, G. GAO, B. HOLBEN, J. STANKOVIC, E. FIELD, and K. WHITEHOUSE, "The smart thermostat: using occupancy sensors to save energy in homes," *Hum. Factors*, vol. 55, pp. 211–224, 2010.

J. ORTEGA, "Reguladores de presión," *Mundo HVAC&R*, vol. 1, pp. 1–3, 2014.

L. A. NORIEGA CHÁVEZ, "Diseño de un sistema de control de accesos orientado a un edificio de oficinas en proceso de automatización," Pontificia Universidad Católica Del Perú, 2007.

L. PÉREZ-LOMBARD, J. ORTIZ, J. F. CORONEL, and I. R. MAESTRE, "A review of HVAC systems requirements in building energy regulations," *Energy Build.*, vol. 43, no. 2–3, pp. 255–268, 2011.

L. SANTANA, Á. M. FUENTE, and X. ALAMÁN ROLDÁN, "Desarrollo de un sistema de control de climatización de un edificio, basado en sistemas de inteligencia ambiental y dispositivos móviles," Universidad Autónoma De Madrid, 2012.

M. DE MINAS Y ENERGÍA, Decreto número 3450 de 12 de septiembre de 2008. Bogotá, 2008.

M. FADZLI HANIFF, H. SELAMAT, R. YUSOF, S. BUYAMIN, and F. SHAM ISMAIL, "Review of HVAC scheduling techniques for buildings towards energy-efficient and cost-effective operations," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 27, pp. 94–103, 2013.

M. GRUBER, A. TRÜSCHEL, and J.-O. DALENBÄCK, "Alternative strategies for supply air temperature control in office buildings," *Energy Build.*, vol. 82, pp. 406–415, 2014.

M. GRUBER, A. TRÜSCHEL, and J.-O. DALENBÄCK, "CO<sub>2</sub> sensors for occupancy estimations: potential in building automation applications," *Energy Build.*, vol. 84, pp. 548–556, 2014.

M. MASOERO and C. SILVI, "Building Energy Management Systems (BEMS) control strategies for air conditioning efficiency," *Auditac*, vol. 12, pp. 1–17, 2014.

MUNDO HVAC&R, "Control y monitoreo de sistemas HVAC," *Mundo HVAC&R*, vol. 1, pp. 1–1, 2014.

N. MOHAN, U. TORE M., and R. WILLIAM P., "Power electronic," in *Power Electronic*, 2nd ed., 1995.

R. C. DORFT, "Sistemas eléctricos," in *Sistemas Eléctricos*, 2nd ed., 2000.

S. A. KALOGIROU, S. PANTELIOU, and A. DENTSORAS, "Modeling of solar domestic water heating systems using artificial neural networks," *Elsevier*, vol. 65, pp. 335–342, 1998.

S. DE GESTIÓN AMBIENTAL, "Programa Uso Racional De La Energía (URE)," *Proceso Gestión Ambiental*, 2011. [Online]. Available: <http://www.uis.edu.co/webUIS/es/gestionAmbientales/documentos/programasAmbientales/URE.PDF>.

SCHNEIDER ELECTRIC, "Eficiencia energética," Buenos Aires, 2010.

TSI, "HVAC Assessment Handbook," 2013.

V. VAKILOROAYA, B. SAMALI, A. FAKHAR, and K. PISHGHADAM, "A review of different strategies for hvac energy saving," *Energy Convers. Manag.*, vol. 77, pp. 738–754, 2014.

Z. Yang and B. Becerik-Gerber, "The coupled effects of personalized occupancy profile based HVAC schedules and room reassignment on building energy use," *Energy Build.*, vol. 78, pp. 113–122, 2014.

## ANEXOS

En esta sección se encuentra información complementaria y de soporte al contenido del documento de proyecto de grado. Se pueden ver otros anexos relacionados con la herramienta computacional en la carpeta adjunta.

### ANEXO A. COMPONENTES PARA EL CÁLCULO DE LA CARGA DE ENFRIAMIENTO

Uno de los componentes más importantes en el desarrollo de la herramienta computacional es el análisis cuantitativo, como parte de esto está el cálculo de la carga de enfriamiento, el cual necesita bases conceptuales importantes para su entendimiento. Dentro de los elementos para la comprensión del cálculo a realizar, están: definición de carga de enfriamiento, diagrama psicrométrico para el cálculo de carga de enfriamiento y la radiación solar.

#### A.1. DEFINICIÓN DE CARGA DE ENFRIAMIENTO

La carga de enfriamiento corresponde a la velocidad con la que se extrae la carga neta de calor por unidad de tiempo dentro del recinto a adecuar para mantener las condiciones de diseño que, por diferentes conceptos, se genera cuando se mantiene en este una temperatura y humedad diferentes, generalmente, inferiores a la del exterior.

El calor que ingresa como consecuencia de la diferencias de temperaturas, se llama calor sensible y, el que introduce a causa de la diferencia de humedades, se llama calor latente. Ambos dependen de una serie de factores que se expondrán posteriormente. Tanto la carga sensible como la latente se deben a distintos conceptos que se calculan de forma separada, estos (llamados también partidas), se muestran en la Tabla A.1 [15].

Tabla A.1. Clasificación y causas de la generación de calor.

Tipo de calor	Calor por unidad de tiempo
Sensible	Debido a la radiación solar a través de ventanas y claraboyas

Tipo de calor	Calor por unidad de tiempo
	Debido a la radiación y transmisión a través de paredes y techos
	Debido a la transmisión (solo transmisión) a través de paredes y techos no exteriores
	Debido al aire de infiltraciones
	Generado por las personas que ocupan el local
	Generado por la iluminación del local
	Generado por máquinas al interior del local
Latente	Debido al aire de infiltraciones
	Generado por las personas que ocupan el local
Del aire de ventilación viciado	Sensible procedente del aire de ventilación
	Latente procedente del aire de ventilación

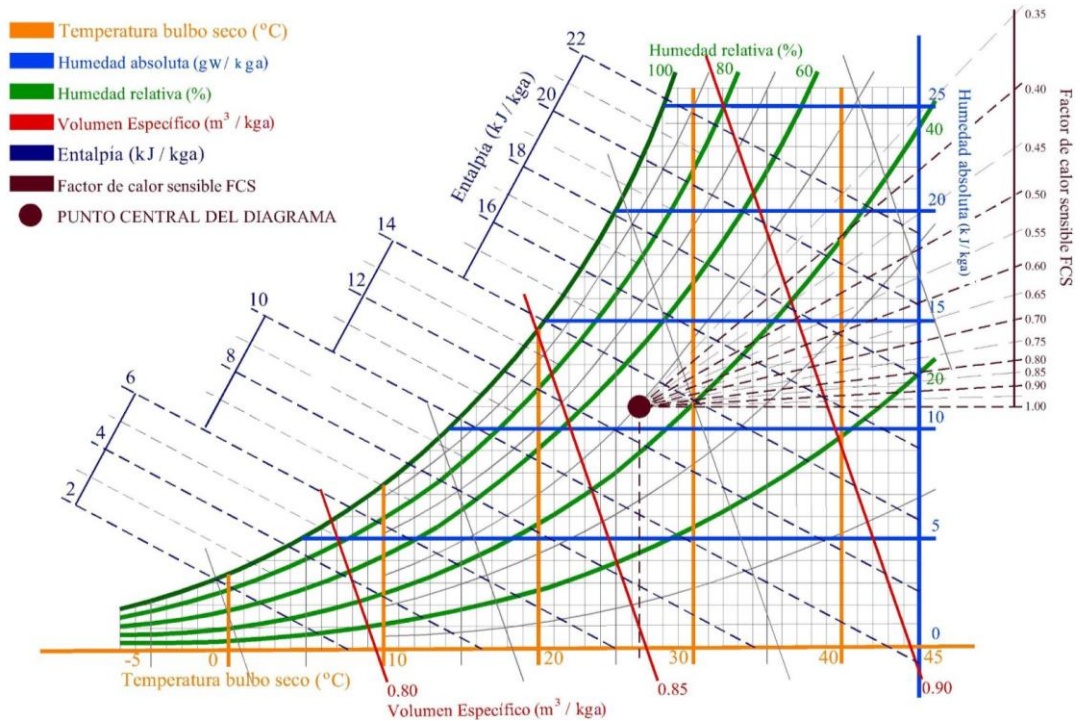
## A.2. DIAGRAMA PSICROMÉTRICO PARA EL CÁLCULO DE LA CARGA DE ENFRIAMIENTO

Para proyectar el diseño de sistemas de aire acondicionado se requiere conocer la cantidad y las propiedades del aire con el que se pretende refrigerar el local, con el fin de conservar las condiciones de diseño, en donde la temperatura y la humedad interior son los parámetros más importantes. Esto se obtiene con herramientas que ofrece la psicometría.

La psicometría es la ciencia que estudia las propiedades termodinámicas del aire, su composición, calidad e interacción con las personas y materiales, en donde sus componentes más importantes son la temperatura y contenido de humedad, que predominan en el análisis psicrométrico al igual que todas las cargas sensibles y latentes, las cuales pueden ser afectadas en el interior y exterior y condicionan la calidad del aire con la que se pretende refrigerar.

En Figura A.1, se puede apreciar el diagrama psicrométrico, utilizado para determinar la carga de enfriamiento.

Figura A.1. Diagrama psicrométrico [15].



### A.3. RADIACIÓN SOLAR

La radiación es la transferencia de energía en forma de ondas electromagnéticas (fotones) como resultado de los cambios en la configuración electrónica de los átomos o moléculas [13].

Un factor importante en el momento de determinar la carga de enfriamiento es la radiación solar, ya que proporciona un valor sobre la ganancia de calor en los espacios dentro del campus central universitario. Esta ganancia de calor depende de la ubicación del sol, la claridad de la atmósfera, la orientación y composición del edificio.

Los datos necesarios en el cálculo de carga de enfriamiento para los sistemas de acondicionamiento de aire han sido tomados de la estación meteorológica del IDEAM ubicada en la UIS [14], cuyas mediciones fueron registradas en el periodo comprendido entre los meses de enero y junio de 2014. De ahí se promedió la radiación solar diaria y se obtuvo como resultado el valor de 209,027 [W/m<sup>2</sup>].

## ANEXO B. CÁLCULO DE CARGA DE ENFRIAMIENTO

En este capítulo se expone una amplia temática acerca del cálculo de la carga de enfriamiento, de donde se tuvieron en cuenta valores tomados de los datos suministrados por la estación meteorológica de la UIS, para el primer semestre de 2014. Los parámetros caracterizados por dicha terminal climatológica se relacionan con temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento, presión, pluviosidad, radiación solar y otros más, con menor relevancia al tema de la actual sección.

Primero, se analizarán los cálculos de carga sensible, integrados por las partidas desde la B1 hasta la B7, luego se estudiarán los cálculos de carga latente, correspondientes a las secciones B8 y B9, posteriormente, en los numerales B10 y B11 se suman las anteriores partidas expuestas, dando como resultados parciales denominados carga sensible total y carga latente parcial, respectivamente. De esta forma, se incluirá el desarrollo de las cargas sensible y latente, procedentes del aire de ventilación, resumidas en las secciones B12 y B13.

Con lo anterior se tendrá como resultado la carga sensible efectiva parcial y carga latente efectiva parcial, mostradas en los apartados B14 y B15, respectivamente. De estos cálculos se compendia tanto la carga sensible efectiva total como la carga latente efectiva total, de forma respectiva en los sub-capítulos B16 y B17, para concluir estos análisis con el total de la carga de refrigeración que se requiere para climatizar el tipo de espacio seleccionado de acuerdo con las características que se expondrán a lo largo de este capítulo.

También, cabe mencionar que para el desarrollo del cálculo de carga de refrigeración, se debe seguir una metodología determinada. Entre las que se consultaron, están las que se exponen a continuación, describiendo y seleccionando la más adecuada.

El tema de carga de enfriamiento comprende también el cálculo según la configuración del espacio de acuerdo con condiciones ambientales, de ocupación, disposición del local y otros parámetros. Para el cálculo de la carga de enfriamiento se consultaron tres métodos posibles a realizar, los cuales se basan en la normatividad ASHRAE Estos son: método diferencial de temperatura total equivalente (*TETD*), método función transferencia (*TFM*) y método diferencial de carga de enfriamiento (*CLTD/CLF*).

- Método diferencial de temperatura total equivalente (TETD): Utilizado desde 1967. Consiste en el uso de la técnica de factor de respuesta para un número de paredes y techos, de los cuales se obtienen datos para el cálculo de los valores de TETD en función de la temperatura. A lo anterior, se le adiciona la ganancia de calor interno y con esta se calcula la carga de enfriamiento instantánea total [13].
- Método función transferencia (TFM): Este método aplica una serie de factores o de coeficientes de función de transferencia en el espacio en donde la carga de enfriamiento se relacionan con la configuración geométrica, la masa y otras características del espacio para determinar el efecto del almacenamiento de calor [13].
- Método función transferencia (TFM) y método diferencial de carga de enfriamiento (CLTD/CLF): Desde 1975 se ha venido utilizando este método que resulta de la fusión de los dos anteriores y con el cual se reducen procedimientos en el cálculo de la carga de refrigeración. Se basa en la conducción de calor a través de muros y techos. En un solo paso es posible el cálculo de las cargas por conducción y radiación en vidrios exteriores y otras fuentes de calor interior. En 1992, McQuiston desarrolló el factor para carga por radiación solar a través de vidrios (factor SCL). La información está tabulada y disponible en la normatividad ASHRAE [12], [13].

La descripción del cálculo de carga de enfriamiento se explica en las siguientes secciones, en donde se muestra de forma precisa cómo se realiza dicha deducción, la cual se basa en el método CLTD/CLF y se exponen en detalle las variables, constantes y otros factores derivados de esquemas, diagramas y tablas que ilustran el proceso de refrigeración. Para este desarrollo se siguió la metodología propuesta en el libro de “Técnicas de Climatización” de Ángel Luis Miranda [15].

### **B.1. CALOR SENSIBLE DEBIDO A RADIACIÓN A TRAVÉS DE VENTANAS (QSR)**

Se tiene en cuenta la energía que entra al lugar (local) en estudio, procedente de la radiación solar que atraviesa los diferentes elementos mencionados. Se calcula la superficie (S) en metros cuadrados del hueco de la ventana y también aplicar factores de corrección si se trata de vidrios u otros materiales especiales. La ecuación (B.1) expresa el cálculo de esta partida.

$$Q_{SR} = nv * S * R * f \text{ [W]} \quad (\text{B.1})$$

En donde:

- Número de ventanas (nv): Este valor corresponde al total de ventanas del local seleccionado y su cantidad es ingresada por el usuario.
- Superficie de la ventana (S): Corresponde al área total de las ventanas, dada en [m<sup>2</sup>]. Su digitación está encargada por el operario.
- Radiación solar ®: Este es un parámetro del cual ya se ha hecho mención y corresponde a un valor establecido, el cual es de 527 [W/m<sup>2</sup>], obtenido del promedio de valores de radiación suministrados por la estación meteorológica de la UIS.
- Factor de corrección (f): El factor de corrección depende del material del que está compuesto las ventanas y el nivel de atenuación que este tenga. Es el grado de neutralización de la radiación solar que ofrece el material de las ventanas. En la tabla que sigue se resumen los materiales típicos para ventanas y su respectivo valor de corrección, los cuales son escogidos por quien use el programa.

Tabla B.1. Factor de corrección, según el tipo de material de ventana.

Tipo de vidrio	Factor de atenuación
Ordinario simple	1,94
Ordinario, persiana veneciana exterior, color claro	0,15
Ordinario, persiana veneciana interior, color claro	0,56
Ordinario, persiana veneciana interior, color medio	0,65
Ordinario, persiana veneciana interior, color oscuro	0,75
6 [mm]	0,94
6 [mm], persiana veneciana exterior, color claro	0,14
6 [mm], persiana veneciana interior, color claro	0,56
6 [mm], persiana veneciana interior, color medio	0,65
6 [mm], persiana veneciana interior, color oscuro	0,74
Absorbente (40 - 58) %	0,8
Absorbente (40 - 58) %, persiana veneciana exterior, color claro	0,12
Absorbente (40 - 58) %, persiana veneciana interior, color claro	0,56

Tipo de vidrio	Factor de atenuación
Absorbente (40 - 58) %, persiana veneciana interior, color medio	0,62
Absorbente (40 - 58) %, persiana veneciana interior, color oscuro	0,72
Absorbente (48 - 56) %	0,73
Absorbente (48 - 56) %, persiana veneciana exterior, color claro	0,11
Absorbente (48 - 56) %, persiana veneciana interior, color claro	0,53
Absorbente (48 - 56) %, persiana veneciana interior, color medio	0,59
Absorbente (48 - 56) %, persiana veneciana interior, color oscuro	0,62
Absorbente (56 - 70) %	0,62
Absorbente (56 - 70) %, persiana veneciana exterior, color claro	0,1
Absorbente (56 - 70) %, persiana veneciana interior, color claro	0,51
Absorbente (56 - 70) %, persiana veneciana interior, color medio	0,54
Absorbente (56 - 70) %, persiana veneciana interior, color oscuro	0,56
Doble ordinario	0,9
Doble, persiana veneciana exterior, color claro.	0,14
Doble, persiana veneciana interior, color claro	0,54
Doble, persiana veneciana interior, color medio	0,61
Doble, persiana veneciana interior, color oscuro	0,67
Triple	0,83
Triple, persiana veneciana exterior, color claro.	0,12
Triple, persiana veneciana interior, color claro	0,48
Triple, persiana veneciana interior, color medio	0,39
Triple, persiana veneciana interior, color oscuro	0,64
Color Ambar	0,7
Color Rojo oscuro	0,56
Color Azul oscuro	0,6
Color Verde oscuro	0,32

Tipo de vidrio	Factor de atenuación
Color Verde grisáceo	0,46
Color Opalascence claro	0,43
Color Opalascence oscuro	0,37

Fuente: [15].

## B.2. CALOR SENSIBLE DEBIDO A LA RADIACIÓN Y TRANSMISIÓN A TRAVÉS DE PAREDES Y TECHOS EXTERIORES (QSTR)

La energía procedente del sol calienta las paredes y techos, que se revierte al interior. La fórmula empleada es:

$$Q_{STR} = [kpe*(spe1 + spe2 + spe3 + spe4)*(DTEpe1 + DTEpe2 + DTEpe3 + DTEpe4)] + [kte*(stes + stei)*(DTEte1 + DTEte2)] [W] \quad (B.2)$$

En donde:

- Coeficiente de transmisión de paredes exteriores o vidrios (kpe): Este valor lo selecciona el usuario dependiendo de las paredes de la estructura del lugar a climatizar y los valores se toman de la próxima tabla. Su unidad de medida del sistema internacional es  $[W/m^2 \cdot K]$ .

Tabla B.2. Coeficiente de transmisión de paredes y techos.

Pared, techo o vidrio	Valor coeficiente de transmisión en $[W/(m^2 \cdot K)]$
Paredes exteriores	1,65
Vidrio ordinario	5,8
Tabique de separación	2,3
Techos exteriores	1,1
Paredes interiores	2,1

Fuente: [15].

- Superficie de las paredes (spe): Existen como máximo 4 paredes, las cuales, el usuario del programa debe suministrar el valor del área. Unidad de medida: [m<sup>2</sup>]. Esta cantidad de área es suministrada por quien use el aplicativo.
- Orientación de las paredes: Esta parte del cálculo se refiere a la ubicación de la pared respecto a los puntos cardinales cuando la radiación solar incide sobre esta. Esta selección la efectúa el operario.
- Diferencia de temperatura equivalente paredes exteriores (DTEpe): Esta selección la realiza el usuario. Es el ajuste de temperatura que se realiza a un lugar de acuerdo con su entorno, orientación, tipo de paredes o techos, tiempo de incidencia solar y temperatura exterior medida.

Del conjunto de datos suministrados por la estación meteorológica de la UIS, se tomó la media de temperatura exterior que da como resultado 28,037 [°C] [14]. La temperatura de confort es de 24 [°C] [41]. Por tanto, el salto térmico ( $\Delta t$ ), el cual se explica más adelante y consiste en la diferencia entre la temperatura media exterior y la interior de confort, da 4,037 [°C]. Dependiendo del tipo y orientación de pared exterior, total de horas de incidencia solar y temperatura exterior, según valores de la Tabla B.3, se tendrá una diferencia de temperatura equivalente correspondiente, dada en [°C].

Tabla B.3. Diferencia de temperaturas equivalente (DTE) de muros.

Orientación del muro	Temperatura hora solar 15 [°C]	Ajuste para $\Delta t = 4$ °C y t = 15 h $\rightarrow$ DTE = -6
E	8,7	2,7
S	10,125	4,125
O	9,575	3,575
N	3,025	-2,975

Fuente: [15].

- Coeficiente de transmisión para techos exteriores (kte): Este valor se selecciona dependiendo de los techos de la estructura del lugar a climatizar y los valores se toman de la siguiente tabla. Su unidad de medida del sistema internacional es

[W/m<sup>2</sup>\*K]. La selección del coeficiente según el tipo de techo es efectuada por quien utilice el programa.

- Superficie de techos exteriores (ste): Existen como máximo 2 techos, los cuales, el usuario del programa debe suministrar el valor del área. En este caso, el piso también se considerará como techo. Unidad de medida: [m<sup>2</sup>].
- Diferencia de temperatura equivalente techos exteriores (DTEte): De acuerdo con el tipo de techo y el tiempo total de incidencia solar, y de similar forma al cálculo del DTEpe, se puede obtener el DTEte, dado en [°C]. Los valores tenidos en cuenta para el cálculo fueron los expuestos en la tabla que sigue. Valor que selecciona el usuario.

Tabla B.4. Diferencia de temperaturas equivalente (DTE) de techos.

Ubicación del techo	Temperatura hora solar 15 [°C]
Techo soleado	16,146
Techo en sombra	5,06666667

Fuente: [15].

### B.3. CALOR SENSIBLE DEBIDO A LA TRANSMISIÓN A TRAVÉS DE PAREDES Y TECHOS NO EXTERIORES (QST)

Se incluyen paredes interiores, suelos (siempre son internos), techos interiores y superficies vidriadas y claraboyas. La ecuación que describe este tipo de calor generado, es:

$$Q_{ST} = kpne * spne * \Delta t \text{ [W]} \quad (\text{B.3})$$

En donde:

- Coeficiente de transmisión paredes no exteriores o vidrios (kpne): Este valor se selecciona dependiendo de las paredes o vidrios no exteriores de la estructura del lugar a climatizar y los valores se toman de la Tabla B.2. Su unidad de medida del sistema internacional es [W/m<sup>2</sup>\*K]. La selección del coeficiente según el tipo de pared o vidrio es efectuada por quien utilice el programa.

- Superficie paredes no exteriores (spne): El usuario del programa debe suministrar el valor del área de las paredes no exteriores o colindantes. Unidad de medida: [m<sup>2</sup>].
- Salto térmico ( $\Delta t$ ): El salto térmico consiste en la diferencia entre la temperatura media exterior y la interior de confort. Para obtener este valor se consultó acerca del diagrama bioclimático de los hermanos Olgay , quienes fueron pioneros en representar los parámetros de comodidad térmica, en una carta basándose en datos fisiológicos en 1925, la cual permite establecer una “zona de comodidad o confort” en relación con la temperatura y humedad relativa del aire [41].

El método de Olgay se fundamenta en unas condiciones muy concretas, para una persona con actividad ligera (caminando), vestida con ropa de entretiempo (1 [clo]), sin viento y a la sombra.

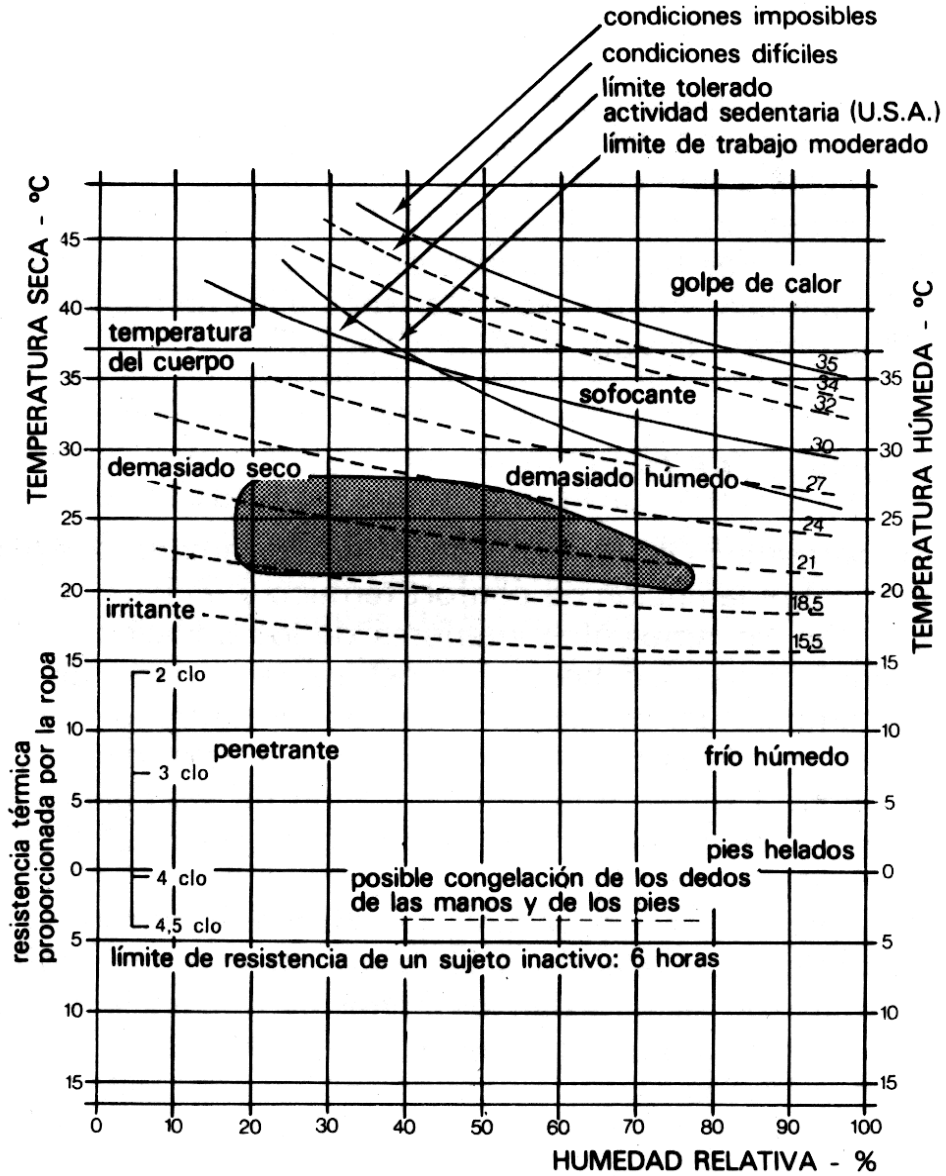
En el siguiente esquema, se muestra en gris la zona de confort, delimitada por la temperatura del aire entre los 21 [°C] y 27 [°C], y la humedad relativa entre 20 % y 75 %, con una zona de exclusión para el aire demasiado cálido y húmedo (sudor). Este gráfico además muestra:

Las sensaciones fisiológicas de las zonas periféricas.

Los límites de la actividad o el riesgo en función de las condiciones de calor y humedad.

La tolerancia a bajas temperaturas cuando se aumenta el arropamiento. Unidades [Clo].

Figura B.1. Diagrama de Olgay.



Fuente: [41].

Teniendo en cuenta la zona de confort apreciada en la Figura B.1, los aproximados de temperatura de confort y humedad relativa de comodidad, aproximadamente son: 24 [°C] y 60 %, respectivamente. Según los datos meteorológicos suministrados por la estación del IDEAM en la UIS, la temperatura media exterior corresponde a 28,037 [°C]. El salto térmico ( $\Delta t$ ) es la diferencia entre la temperatura exterior y la interior de confort (la deseada), por lo que se tiene un valor calculado aproximadamente igual a 4,037 [°C], el

cual se tuvo en cuenta para hallar algunos tipos de ganancia de calor necesarias para obtener el total de carga de enfriamiento.

#### B.4. CALOR SENSIBLE DEBIDO AL AIRE DE INFILTRACIONES (QSI)

Es inevitable que el aire exterior entre al lugar a acondicionar, se calcula el valor del caudal total de infiltraciones, como se muestra a continuación:

$$Q_{SI} = 0.34 * nph * nv * npu * Vi * \Delta t [W] \quad (B.4)$$

En donde:

- Número de personas por cada hora (nph): Es la cantidad promedio de personas por cada hora que ingresa al recinto a climatizar, y su cantidad se restringe entre 1 y 1000, teniendo en cuenta el intervalo de tiempo: una hora. Valor ingresado por el operario del programa.
- Número de ventanas (nv): Este valor corresponde al total de ventanas del local seleccionado y su cantidad es ingresada por el usuario.
- Número de puertas (npu): Este dato hace referencia al total de puertas del local seleccionado y su valor es ingresado por el usuario.
- Volumen de aire de infiltración (vi): Este parámetro se refiere a la cantidad de aire por unidad de tiempo, que se filtra a través de las puertas en función del acceso de una persona. Su valor de medición es de [m<sup>3</sup>/(h\_persona,puerta)]. Estos valores se presentan en la siguiente tabla, de acuerdo con el tipo de espacios internos que se van a adecuar, los cuales se resumen en la siguiente tabla. La selección del caudal, según el tipo de local, la realiza quien utilice el aplicativo.

Tabla B.5. Caudal de aire de infiltración para cada tipo de espacio interior.

Tipo de local	Caudal [m <sup>3</sup> /(h_persona, puerta)]
Auditorios	45
Aulas de clase	28,8
Aulas de cómputo	27

Tipo de local	Caudal [m <sup>3</sup> /(h_persona, puerta)]
Aulas docentes	28,8
Bancos	13,5
Bibliotecas	28,8
Centros de estudio	28,8
Comercio en general	6
Consultorio general	6
Farmacias	11,9
Laboratorios	36
Oficinas de trabajo	36
Salas de exposiciones	27
Salas de reuniones	36

Fuente: [13], [15].

- Salto térmico ( $\Delta t$ ): Sobre este componente se explicó en detalle en el último apartado de la sección B3 de este anexo y su valor es de 4,037 [°C].

### **B.5. CALOR SENSIBLE GENERADO POR LAS PERSONAS QUE OCUPAN EL LUGAR (QSP)**

Las personas que ocupan los recintos generan calor sensible y latente (aproximadamente unos 37 °C), y se refiere al número medio de personas que lo ocupan mas no a las personas que pueda haber en un momento determinado. La ecuación que describe este apartado, es:

$$Q_{SP} = npe * O_s [W] \quad (B.5)$$

En donde:

- Número de personas en el local (npe): Es la cantidad promedio de personas presentes en el local a climatizar, y su cantidad se restringe entre 1 y 1000, teniendo en cuenta el edificio con máxima capacidad de espectadores y personal de logística y demás. Esta cantidad la ingresa el usuario del aplicativo.
- Carga sensible debido al tipo de actividad ejercida (Os): Es la ganancia de calor generada debido al tipo de actividad que ejecutan las personas presentes en el lugar a climatizar. El valor medido se da en unidades de potencia [W]. Su representación viene sintetizada en la tabla que sigue. Dicha tabla también trae el compendio de la carga latente debido al tipo de actividad que la persona realiza, por lo que se usará en la correspondiente partida, más adelante. Este parámetro será seleccionado por el operario.

Tabla B.6. Calor emitido por las personas.

Actividad	24 [°C]	
	Sensible	Latente
Sentado en reposo	70	30
Sentado trabajo ligero	70	47
Oficinista con actividad moderada	70	58
Persona de pie	76	70
Persona que pasea	76	70
Trabajo sedentario	81	81
Trabajo ligero taller	87	134
Persona que camina	99	151

Fuente: [13], [15].

## B.6. CALOR SENSIBLE GENERADO POR LA ILUMINACIÓN DEL LUGAR (QSIL)

La iluminación genera calor que se debe considerar, dependiendo además de si es incandescente, fluorescente o tipo LED. A continuación, se expresa la fórmula general de

calor debido a la iluminación del lugar, la cual depende de los valores dados en la tabla enseguida.

$$Q_{SIL} = I * Q_I [W] \quad (B.6)$$

Tabla B.7. Tipos de iluminación.

Tipo de iluminación	
Fluorescente	1,25
Incandescente	1
LED	0,3

En donde:

- Potencia eléctrica de iluminación instalada (I): Esta medida se da en unidades de [W]. Su valor corresponde a la totalidad de la potencia lumínica que se encuentra instalada dentro del espacio, tomando como referencia la potencia por iluminación incandescente. Si es de tipo fluorescente, su valor incrementará en un 25 % y si es de tipo LED, se reducirá a un 30 %. Esta cantidad será ingresada por el usuario.
- Factor lumínico de potencia (QI): Este es un elemento que depende del tipo de iluminación que está instalada en el local. Su correspondiente información viene dada en la anterior tabla. La selección del tipo de iluminación la realiza el operario.

### B.7. CALOR SENSIBLE GENERADO POR MÁQUINAS (QSM)

La presencia de máquinas de diferentes tipos genera calor que se debe considerar, dependiendo de si son equipos de cómputo, audiovisuales, fotocopadoras, de laboratorios de mecánica, electricidad, electrónica, química, civil, metalúrgicas, etc. A continuación, se expresa la fórmula general de calor debido a las máquinas instaladas o ubicadas en el lugar, el cual depende de dos factores como lo son: potencia total de las máquinas y la eficiencia de las mismas. El producto de estos dos ítems será el resultado parcial de esta partida, tal y como lo muestra la siguiente ecuación.

$$Q_{SM} = M * (1 - n) [W] \quad (B.7)$$

En donde:

- Potencia eléctrica de las máquinas instaladas (M): Es la sumatoria de todas y cada una de las potencias nominales de las máquinas instaladas en los diferentes tipos de espacios. Su valor a ingresar, será suministrado por el usuario.
- Eficiencia eléctrica promedio de las máquinas (n): Es la relación de potencia de salida sobre la potencia de entrada que presentan este tipo de aparatos. Este valor también será digitado por el operario del software.

### **B.8. CALOR LATENTE DEBIDO AL AIRE DE INFILTRACIONES (QLI)**

Con el mismo caudal de infiltraciones  $V_i$  se aplica la fórmula:

$$Q_{LI} = 0,83 * npeh * nv * npu * V_i * \Delta W \text{ [W]} \quad (\text{B.8})$$

En donde:

- Número personas por hora (npeh): Es la cantidad promedio de personas por cada hora que ingresa al recinto a climatizar, y su cantidad se restringe entre 1 y 1000, teniendo en cuenta el intervalo de tiempo: una hora. Valor ingresado por el operario del programa.
- Número de ventanas (nv): Este valor corresponde al total de ventanas del local seleccionado y su cantidad es ingresada por el usuario.
- Numero de puertas (npu): Este dato hace referencia al total de puertas del local seleccionado y su valor es ingresado por el usuario.
- Volumen de aire de infiltración ( $V_i$ ): Este parámetro fue abordado en la cuarta sección del sub-capítulo B.4.
- Diferencia de las unidades absolutas del aire, exterior menos interior, del lugar ( $\Delta W$ ): Es la diferencia de humedades absolutas del aire exterior del lugar menos la del interior del local, medida en [gw/kg].

Para determinar el  $\Delta W$ , se tienen en cuenta algunos de los datos suministrados por la estación meteorológica de la UIS [14] y otras informaciones en cuanto al concepto de confort térmico.

De la estación de meteorología, se sabe que la media diaria de humedad relativa exterior, es aproximadamente:

$$H_{Ext} = 83,3 \%$$

Ahora, la humedad relativa interior de confort, según el diagrama de Olgyay[41], da aproximadamente:

$$H_{Con} = 60 \%$$

Como se había mencionado antes en el concepto de salto térmico, las temperaturas exterior y de confort, respectivamente, son:

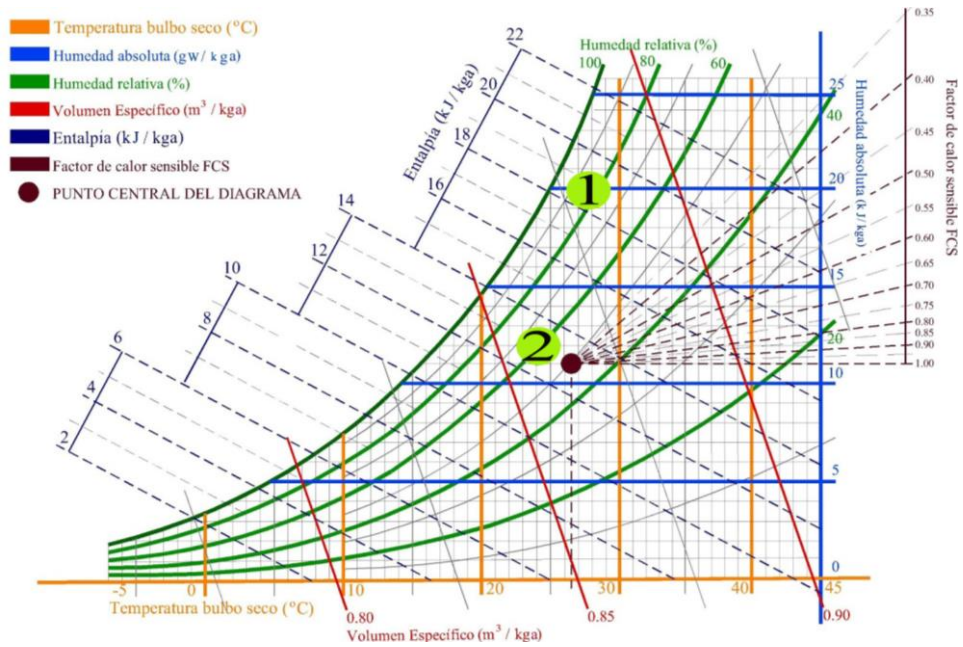
$$T_{Ext} = 28,037 [^{\circ}C]$$

Y:

$$T_{Con} = 24 [^{\circ}C]$$

Con los anteriores cuatro valores ( $H_{Ext}$ ,  $H_{Con}$ ,  $T_{Ext}$  y  $T_{Con}$ ) y basados en la información del Diagrama Psicrométrico de la Figura .3, se intersectan los valores de  $T_{Ext}$  y  $H_{Ext}$ , de ahí se genera el punto 1 de la Figura B.2. Luego, se procede de forma similar, esta vez con  $T_{Con}$  y  $H_{Con}$ , para generar el punto 2 de la misma gráfica. Cada uno de estos dos puntos se proyecta hacia el eje de la humedad absoluta, con lo que se determinarán dos valores de dicha humedad absoluta. Proceso ilustrado en la Figura B.2.

Figura B.2. Diagrama Psicrométrico modificado.



Fuente: [14], [15].

Para el primer punto, se tiene aproximadamente que:

$$H_{Abs1} = 19 \left[ \frac{g_w}{kg_a} \right]$$

Y para el segundo, resulta un valor cercano a:

$$H_{Abs2} = 11,2 \left[ \frac{g_w}{kg_a} \right].$$

Posteriormente, se tiene la resta entre las dos humedades absolutas:

$$\Delta_W = H_{Abs1} - H_{Abs2} = 19 - 11,2 = 7,8 \left[ \frac{g_w}{kg_a} \right]$$

De esta forma, se establece el valor de la diferencia de unidades absolutas del aire ( $\Delta_w$ ) da aproximadamente 7,8 [g<sub>w</sub>/kg<sub>a</sub>].

### **B.9. CALOR LATENTE GENERADO POR LAS PERSONAS QUE OCUPAN EL LUGAR (QLP)**

De acuerdo con la Tabla B.6, se tiene definido un valor estándar para cada tipo de actividad que ejerce cada persona que ocupa el recinto a climatizar. Se desea una temperatura de confort de 24 [°C], por lo que se fijó ese valor de temperatura en la Tabla B.6, y se calculará la ganancia de calor debido a las personas que habitan el lugar. La siguiente ecuación describe matemáticamente la importancia de este apartado.

$$Q_{LP} = npe * O_L [W] \quad (B.9)$$

En donde:

- Número de personas en el local (npe): Es la cantidad promedio de personas por que ingresa al recinto a climatizar, y su cantidad se restringe entre 1 y 1000, teniendo en cuenta la máxima capacidad de todos los edificios de la universidad: 1000 personas. Valor ingresado por el operario del programa.
- Calor latente generado por persona (OL): Basándose en la Tabla B.6, el operario elige el valor dado en [W], para el cual aplicará según sea el caso. Dependiendo de la actividad que ejerza la persona, generará calor que aportará a la carga de enfriamiento total [15].

### **B.10. CARGA SENSIBLE TOTAL (QS)**

La carga sensible total es la sumatoria parcial de los aportes dados por las secciones desde la B1 hasta la B7, también dada en [W]. Su ecuación se escribe a continuación.

$$Q_S = Q_{SR} + Q_{STR} + Q_{ST} + Q_{SI} + Q_{SP} + Q_{SIL} + Q_{SM} [W] \quad (B.10)$$

### B.11. CARGA LATENTE TOTAL (QL)

La carga latente total es la sumatoria parcial de los aportes dados por las secciones B.8 y B.9, también dada en [W]. Su ecuación se escribe a continuación.

$$Q_L = Q_{LI} + Q_{LP} [W] \quad (B.11)$$

### B.12. CALOR SENSIBLE PROCEDENTE DEL AIRE DE VENTILACIÓN (QSV)

El calor sensible procedente del aire de ventilación es otro apartado diferente a los de ganancia de calor tanto sensible como latente. El aire de ventilación también viene cargado con cierto grado de calor que generará una ganancia de este y su aporte es necesario incluirlo dentro del análisis de la carga de refrigeración [15]. La ecuación que de análisis matemático se muestra enseguida:

$$Q_{SV} = 0.34 * V_V * fbp * \Delta t [W] \quad (B.12)$$

En donde:

- Volumen de infiltración para cada tipo de espacio ( $V_V$ ): Esta característica es similar a la del volumen de infiltración ( $V_i$ ), estudiado en la sección B.4. Para su determinación se tiene en cuenta el tipo de espacio, es decir, las 14 clases de áreas a climatizar dentro del campus universitario de la UIS, de donde se tendrá un valor de caudal del aire de infiltración dado en [ $m^3/(h\_persona, puerta)$ ]. El usuario deberá seleccionar algún tipo de espacio de la Tabla B.5.
- Coeficiente de las baterías de refrigeración o factor de By-pass (fbp): El factor de By-pass es la porción de aire que no sufre ningún cambio al momento de pasar por el evaporador. La geometría del evaporador, la velocidad del aire impulsado y la distribución del espacio a acondicionar son determinantes para hallar el fbp. Para este factor normalmente se tiene como intervalo de valores entre 0 y 0,5.

Para el desarrollo de este proyecto de grado, se consultó el valor del fbp según los tipos de espacios a caracterizar en la sede principal de la UIS [15], [27].

En la Tabla B.8 se indican los valores del factor de By-pass según el tipo de local a adecuar.

Tabla B.8. Factor de By-pass para cada tipo de espacio interior.

Tipo de local	Factor de Bypass
Auditorios	0,2
Aulas de clase	0,25
Aulas de cómputo	0,35
Aulas docentes	0,3
Bancos	0,1
Bibliotecas	0,3
Centros de estudio	0,2
Comercio en general	0,3
Consultorio general	0,1
Farmacias	0,15
Laboratorios	0,15
Oficinas de trabajo	0,4
Salas de exposiciones	0,1
Salas de reuniones	0,1

Fuente: [15].

- Salto térmico ( $\Delta t$ ): Sobre este componente se explicó en detalle en el último apartado de la sección B.3 de este anexo y su valor es de 4,037 [°C].

### **B.13. CALOR LATENTE PROCEDENTE DEL AIRE DE VENTILACIÓN (QLV)**

Para evitar la sensación desagradable que produce el aire viciado, es necesario introducir una cierta cantidad de aire exterior que se llama de ventilación. En la práctica, esta

operación se hace mediante una combinación de aire del exterior con el originado en el local. El volumen de aire exterior que se utiliza en la composición, es el requerido para que el aire del local se refresque.

$$Q_{LV} = 0.83 * V_V * fbp * \Delta W [W] \quad (B.13)$$

- Volumen de infiltración para cada tipo de espacio ( $V_V$ ): El análisis de este factor fue tratado en el primer apartado de la sección B.12.
- Coeficiente de las baterías de refrigeración o factor de by-pass (fbp): El análisis de este factor fue tratado en el segundo apartado de la sección B.12.
- Diferencia de las unidades absolutas del aire, exterior menos interior, del lugar ( $\Delta W$ ): Sobre este componente se explicó en detalle en el quinto apartado de la sección B.8 del presente trabajo y su valor es de 7,8 [g<sub>w</sub>/kg<sub>a</sub>].

#### **B.14. CARGA SENSIBLE EFECTIVA PARCIAL (QSEP)**

La carga sensible efectiva parcial es la carga sensible propiamente dicha ( $Q_S$ ) obtenida de la sección B.10, más la debida al aire procedente de ventilación, determinada en la sección B.12. Unidad de medida para esta partida: [W]. Para este caso, se tiene que:

$$Q_{SEP} = Q_S + Q_{SV} [W] \quad (B.14)$$

#### **B.15. CARGA LATENTE EFECTIVA PARCIAL (QLEP)**

La carga latente efectiva parcial es la carga latente propiamente dicha ( $Q_L$ ) obtenida de la sección B.11, más la debida al aire procedente de ventilación, determinada en la sección B.13. Unidad de medida para esta partida: [W]. Para este caso, se tiene que:

$$Q_{LEP} = Q_L + Q_{LV} [W] \quad (B.15)$$

### **B.16. CARGA SENSIBLE EFECTIVA TOTAL (QSE)**

El valor de la carga sensible efectiva parcial que se calculó en la sección B.14, es aumentado en un porcentaje de seguridad con el fin de garantizar el haber calculado todas las posibilidades de producción e ingreso de calor en el tipo de espacio ambientado.

Se considera un 10 % de aumento para dicho margen de seguridad. Unidad de medición: [W]. De esta forma, se tiene:

$$Q_{SE} = Q_{SEP} + 0,1 * Q_{SEP} = 1,1 * Q_{SEP} [W] \quad (B.16)$$

### **B.17. CARGA LATENTE EFECTIVA TOTAL (QLE)**

El valor de la carga latente efectiva parcial que se calculó en la sección B.15, es aumentado en un porcentaje de seguridad con el fin de garantizar el haber calculado todas las posibilidades de producción e ingreso de calor en el tipo de espacio ambientado.

Se considera un 10 % de aumento para dicho margen de seguridad. Unidad de medición: [W]. De esta forma, se tiene:

$$Q_{LE} = Q_{LEP} + 0,1 * Q_{LEP} = 1,1 * Q_{LEP} [W] \quad (B.17)$$

### **B.18. TOTAL DE CARGA DE REFRIGERACIÓN (QT)**

El resumen del total del cálculo de carga a refrigerar en los diferentes tipos de lugares que se consideraron dentro del campus principal de la UIS, estable que es la suma de las cargas sensible y latente, referidas en las secciones B.16 y B.17.

Este valor dado en [W], [BTU/h] y [TR], y dependiendo del tipo de estrategias más convenientes a implementar, determina la preferencia del método o equipo a utilizar, de acuerdo con los datos de capacidad frigorífica de los diferentes sistemas de aires

acondicionados. De ahí se seleccionará el que mejores características presente teniendo en cuenta que su valor de capacidad sea mayor al calculado en la carga de refrigeración.

$$Q_T = Q_{SE} + Q_{LE} [W] \quad (B.18)$$

Para efectos de este cálculo se creó una herramienta computacional que se fundamenta en los parámetros que se analizaron en este capítulo.

## ANEXO C. AUTOMATIZACIÓN EN EDIFICACIONES

La automatización de edificios es un área que forma parte de una integración de servicios que las construcciones requieren para catalogarse como inteligentes.

Dentro del concepto de automatización de edificaciones se manejan tres módulos básicos para su finalidad:

- Sistema básico de control: En este conjunto se registra el estado de todas y cada una de las subestructuras y opera de acuerdo con lo planteado, para así proteger al sistema ante posibles fallas dentro de su actividad. De igual forma es el encargado de conservar los distintos grados de confort y suministrar la información de mantenimiento para cada equipo, evitando así el excesivo empleo de personal para el control de las funcionalidades de la estructura en su totalidad.
- Sistema de seguridad: En cuanto a seguridad se tienen en cuenta dos aspectos a proteger, el patrimonio y las personas. El sistema de seguridad deberá ser integral y suficiente conforme a las especificaciones de la construcción, al país y a la región en donde se encuentre establecido.
- Sistema de ahorro de energía: Elementalmente y de manera casi implícita se puede establecer un sistema de ahorro de energía a partir del sistema básico de control, por el hecho de que en este último se ajustan funcionamientos en escenarios de máxima eficiencia, lo cual conlleva a un ahorro en fuerza laboral, y el rendimiento se ve mejorado al integrar todo el control de procesos en un mismo sistema.

Hay diversas formas de llevar a cabo la implementación de un sistema de administración y ahorro de energía. Dentro de dichas opciones están: Zonificación de la climatización, intercambio de calor entre zonas, uso activo o pasivo de la energía solar, identificación del consumo, control de horarios para operación de equipos, programa emergente en puntos críticos de demandas.

Las actividades a desarrollar en cada edificio también deben ser incluidas para una correcta selección de la tecnología a incorporar con el fin de aumentar la eficacia laboral para originar así importantes beneficios en la administración de oficinas. Otro factor a tener en cuenta es incrementar el rendimiento para la obtención de información

disminuyendo el tiempo transcurrido desde el origen hasta el destino final de esta, permitiendo tomar medidas oportunas [42]. Estas actividades se catalogan como estrategias y representan las posibles acciones a seguir para buscar la forma de obtener confort climático utilizando adecuadamente las fuentes de energía.

Las estrategias de automatización hacen alusión al planteamiento de las diferentes maneras de utilizar inteligentemente la energía, según los componentes, ambientes de los lugares a climatizar, los beneficios y las aplicaciones o ejemplos. Estas formas de control de climatización se enfocarán a los métodos más comunes que, por su grado de aceptación y conveniencia, se utilizan para optimizar el ambiente en los espacios interiores.

### **C.1. CONTROL DE LA DEMANDA ELÉCTRICA**

Esta estrategia apunta hacia la optimización del uso de la capacidad de equipos y sistemas instalados consistente en reducir o controlar la demanda de potencia por lapsos de tiempo, generalmente en el horario “pico”, mejorando la operación de este tipo de cargas eléctricas sin afectar el proceso de producción. Con esta forma de control se plantea la racionalización del tiempo de operación de los aparatos y mecanismos incidentes directamente sobre el consumo facturable, es decir, se proyecta un cambio en los hábitos de consumo [39].

Los requisitos de alimentación de la red eléctrica están en constante cambio sobre la base de la demanda de los dispositivos conectados a esta. Esta demanda varía en función de la hora del día, el clima y la potencia instantánea registrada. Tradicionalmente, el suministro se varía para satisfacer la demanda aumentando o disminuyendo la capacidad de generación eléctrica [39].

En esta estrategia el factor de respuesta de demanda, el cual consiste en la realización de cambios a corto plazo en cargas del uso final de los equipos eléctricos. Los eventos son dinámicos y temporales, los cuales son impulsados por factores tales como reservas de electricidad bajas, clima cálido y condiciones de sobrecarga de la red [39].

Las informaciones de alerta sobre el valor crítico de algún parámetro de los requisitos mencionados anteriormente, se da por medio de información remota y se transmite vía mensajes de texto, llamadas telefónicas, correos electrónicos y otros medios virtuales y de comunicación [39].

## **Ambiente(s) a implementar**

- Espacios con alto flujo de personal.
- Entornos en el que existan gran cantidad de equipos de cómputo, de oficina, proyectores, tableros digitales, máquinas eléctricas de bajo y medio consumo de energía.
- Zonas con gran área o superficie.
- Los tipos de espacio que cumplen las anteriores condiciones, son: Auditorios, aulas de clase, bancos, bibliotecas, centros de estudio, oficinas de trabajo, salas de exposiciones. En la sección 3.2 se muestra información acerca de las condiciones físicas de los espacios interiores de la universidad, en donde se detallan las áreas, el tipo y uso de estas, nivel de ocupación, actividades realizadas y observaciones o particularidades de esas superficies.

## **Beneficios**

- Facilidad de instalación, mantenimiento y operación.
- Menores costos iniciales de inversión.
- No se usan sustancias que contengan clorofluorocarbonos.
- Menor emisión de CO<sub>2</sub> y otras sustancias tóxicas y contaminantes.
- Disminución de la demanda facturable.
- Disminución del cargo por consumo de potencia (kW).
- Disminución del cargo por consumo de potencia por unidad de tiempo (kWh).
- Control de picos de demanda, estabilizando el sistema eléctrico de la empresa.
- Disminución de pérdidas por sobrecalentamiento de equipos.
- Aumento de vida útil de equipos e instalaciones [43].

## **Aplicaciones o ejemplos**

- Sistema de aire acondicionado evaporativo enfriado: En este sistema de enfriamiento se utiliza agua como refrigerante, evitando el uso de sustancias tóxicas, contaminantes y destructoras de la capa de ozono. Otros beneficios de este sistema de refrigeración es la facilidad de instalación, mantenimiento y operación [44].

El procedimiento por enfriamiento evaporativo convierte calor de sensible a latente, proporcionando confort térmico ya que algunos equipos de este tipo, los de temperatura más baja, alcanzan la temperatura de confort.

## **C.2. CONTROL DE LA TEMPERATURA**

Es una estrategia de control del factor más importante del confort climático en cualquier entorno: la temperatura, que es un dato de entrada. El sensor mide esta variable controlada y crea una señal, generalmente eléctrica, la cual es un dato de salida, que se transfiere al controlador (el sistema completo). A partir del valor deseado o requerido por el operador, usuario o diseñador y de los datos suministrados por la lectura o medición del sensor, el controlador efectúa las operaciones aritméticas o lógicas necesarias para determinar la salida de voltaje el cual será cercano al establecido (tensión de referencia), a partir de lo cual se podrá a través de un actuador nivelar valores de voltaje y temperatura [39], [45].

### **Ambiente(s) a implementar**

- Espacios en donde haya presencia de máquinas inductivas, hornos, aparatos de calefacción, medianas o grandes cantidades de luces artificiales, especialmente si son bombillos incandescentes o lámparas fluorescentes.
- Laboratorios o entornos similares que requieran una temperatura interior estable.
- Aulas o espacios similares en los que se utilicen varios equipos de sistemas, audio, electrodomésticos.
- Ambientes en donde haya alto contenido o emisión de gases o fluidos, que requieran estabilización de temperatura.

- Entornos con frecuente o permanente afluencia de medianas o grandes cantidades de personas.
- Los tipos de espacio que cumplen las anteriores condiciones, son: Auditorios, aulas de clase, aulas de cómputo, bancos, bibliotecas, centros de estudio, consultorio general, farmacias, laboratorios, oficinas de trabajo, salas de reuniones [39], [46]. En la sección ESPACIOS INTERIORES UIS se muestra información acerca de las condiciones físicas de los espacios interiores de la universidad, en donde se detallan las áreas, el tipo y uso de estas, nivel de ocupación, actividades realizadas y observaciones o particularidades de esas superficies.

### **Beneficios**

- Bajos costos económicos, los componentes de más alto valor serán el sensor y posiblemente el actuador, siendo fácilmente asequibles.
- Sistema de control de pequeñas dimensiones y bajo consumo de energía.
- Versatilidad debido a su ofrecimiento de monitoreo de temperatura de forma constante, permanente o por lapsos de tiempo.
- Posibilidad de refrigeración de edificaciones durante periodos de alto consumo energético [45].

### **Aplicaciones o ejemplos**

- Sistemas de almacenamiento térmico: También conocido como TSS (Thermal Storage Systems). Permiten el cálculo de la demanda y generación de energía para su conservación. El método consiste en almacenar la energía en bajas temperaturas menores a 20 °C para enfriamiento y superiores a ese mismo valor para calefacción. Ahí se requiere un control de temperatura, para medir y registrar esos valores de temperatura ambiente. Con los TSS se obtienen mejoras en la operatividad del sistema de control, aumento de capacidad de enfriamiento (o también calefacción), reducción en el volumen o tamaño de los equipos y ampliación de su uso [34], [35].
- Sistemas HVAC de tierra acoplada: Esta tecnología se basa en el hecho de que, a grandes profundidades, la tierra tiene una temperatura relativamente constante y más fresca que la del aire en verano y más cálida que la de invierno. En este sistema, en modo de baja ventilación, el calor operante es descargado a un lazo

de tierra que proporciona una temperatura más baja al disipador de calor que la temperatura del aire de ambiente exterior. Durante invierno, las operaciones de calentamiento, el calor se extrae de una fuente que es de temperatura superior al del aire exterior [39].

- Control de temperatura y presión de aire: Se compone de un importante número de variables que cambian a lo largo del proceso. Las variables de control (CO<sub>2</sub> y temperatura) se calculan por ecuaciones de equilibrio físico y las relaciones entre la presión del flujo de climatización se basan en datos empíricos [38].
- Algunos componentes locales sistemas HVAC: En algunos sistemas HVAC, el control de temperatura también tiene sus utilidades.
- Unidad de ambiente térmico (TRU): Unidad Fan-Coil para refrigerar, mediante circulación de aire.
- Difusor de aire de alimentación: Para mezclar la ventilación del aire que se suministra con el del interior o espacio a refrigerar. Apertura ajustable.
- Control de temperaturas del aire exterior (Outside Air Temperature Systems, OATS).
- Control de temperatura del aire en aulas (Room Air Temperature Systems, RATS): Temperatura media del aire de las aulas (no incluye pasillos o áreas comunes).
- Estrategia óptima: Las perturbaciones internas y la temperatura del aire exterior [36], [47].

### **C.3. CONTROL DE LA DEMANDA DE VENTILACIÓN**

El control de demanda de ventilación es una estrategia de seguridad para todas las clases de edificaciones, en donde se modula la cantidad de aire exterior que fluye dentro de las mismas, usualmente basado en la medición de los niveles de CO<sub>2</sub> o la concentración de algún otro contaminante presente en el aire del espacio acondicionado [43].

#### **Ambiente(s) a implementar**

- Esta estrategia muestra gran potencial de ahorro de energía en edificios que poseen altos niveles de ocupación.
- Edificios inmersos en climas extremos.
- Ideal para edificaciones que buscan la Certificación Leadership in Energy & Environmental Design (*Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental, LEED*).

- Espacios en los que la ocupación varía constantemente.
- Áreas con períodos largos de ocupación baja.
- Los tipos de espacio que cumplen las anteriores condiciones, son: Auditorios, aulas de clase, aulas docentes, bibliotecas, centros de estudio, comercio en general, consultorio general, laboratorios, oficinas de trabajo, salas de reuniones [38], [43]. En la sección ESPACIOS INTERIORES UIS se muestra información acerca de las condiciones físicas de los espacios interiores de la universidad, en donde se detallan las áreas, el tipo y uso de estas, nivel de ocupación, actividades realizadas y observaciones o particularidades de esas superficies.

### **Beneficios**

- Eliminación de calefacción, enfriamiento y ventilación innecesaria a través del reajuste de parámetros de operación.
- Función de control automático por medio de la optimización de los parámetros de configuración tales como horarios y puntos de ajuste de los sistemas de control (setpoints).
- Detección y diagnóstico de fallas realizada por revisión de dámperes y auditorías del sistema en general [38].

### **Aplicaciones o ejemplos**

- Sistemas de recuperación de calor: Los estándares de la ASHRAE recomiendan cantidades de aire fresco requerido para distintos espacios. El aire acondicionado cumple las necesidades de refrigeración de los edificios, lo cual lleva al aumento del consumo energético de los sistemas HVAC. En la planta de ventilación central, la cantidad de aire fresco se determina en base a los límites superiores de las concentraciones de los contaminantes del aire interior, que normalmente está entre 10 % y 30 % del caudal total de aire. En los edificios modernos, las pérdidas por ventilación pueden superar el 50 % de las térmicas totales, aunque la ventilación mecánica puede representar el 50 % del consumo energético de un edificio residencial.

Las técnicas de recuperación de calor pueden ser usadas para recuperar energía que podría ser desaprovechada. El objetivo de recuperar calor es reducir los costos de operación de los sistemas HVAC por transferencia de calor entre dos fluidos tales como aire de escape y aire fresco. Según el manual de ASHRAE

sobre equipos y sistemas HVAC, hay tres modos de sistemas de recuperación de calor: confort-a-confort, proceso-a-confort y proceso-a-proceso. Los sistemas confort-a-confort usan aire de escape que se captura y reutiliza como energía de calor residual para pre-acondicionar el aire fresco entrante al sistema HVAC. Los sistemas proceso-a-confort y proceso-a-proceso llevan a cabo la recuperación de calor sensible. Los diferentes tipos de sistemas de recuperación de calor, los cuales son usados para recuperar energía entre alimentación y flujos de aire de escape, consisten en placa fija, rueda giratoria, tubo de calor y funcionamiento entorno a la bobina [12], [46].

- Algunos componentes locales sistemas HVAC: En algunos sistemas HVAC, el control de demanda de ventilación también tiene sus utilidades.
- Difusor de aire de alimentación: Para mezclar la ventilación del aire que se suministra con el del interior o espacio a refrigerar. Apertura ajustable.
- Difusor de aire de escape: Apertura ajustable para ventilación equilibrada.
- Estrategia óptima: Las perturbaciones internas y la temperatura del aire exterior [37].

#### **C.4. CONTROL POR HORARIO (TEMPORIZADORES)**

Por medio de algún programa, mando, reloj o temporizador, se puede controlar la duración de operación de los equipos de refrigeración. Al utilizar un control por horarios, los mecanismos trabajarán solo cuando se requiera para generar confort. Comúnmente, la operación de sistemas de aires acondicionados se inicia antes de que un recinto sea ocupado para que cuando lleguen los usuarios, el lugar provea ese ambiente climatológico agradable. En ciertos instantes, el usuario deseará o necesitará ajustar la temperatura a su gusto y el rango de operación de los módulos de climatización al horario de trabajo establecido, lo cual puede ser monitoreado desde un celular inteligente con acceso a internet [36].

#### **Ambiente(s) a implementar**

- Espacios u oficinas de trabajo con horarios predeterminados.
- Entornos con baja o mediana afluencia de personas.
- Aulas de clase, consejos, reuniones y demás encuentros para fines académicos, laborales o sociales.

- Consultorios médicos o jurídicos.
- Centros de estudio con afluencia de público en baja o mediana cantidad.
- Los tipos de espacio que cumplen las anteriores condiciones, son: Auditorios, aulas de clase, aulas de cómputo, aulas docentes, bancos, bibliotecas, comercio en general, consultorio general, farmacias, oficinas de trabajo, salas de reuniones. En la sección ESPACIOS INTERIORES UIS se muestra información acerca de las condiciones físicas de los espacios interiores de la universidad, en donde se detallan las áreas, el tipo de uso de estas, nivel de ocupación, actividades realizadas y observaciones o particularidades de esas superficies.

### **Beneficios**

- Reducción en el consumo de energía en una razón equivalente a tantas horas de receso de operación de equipos por cada 24 horas diarias, es decir, al menos un promedio de 8/24, lo que significa un ahorro de mínimo del 30 % de consumo energético por concepto de carga de operación [48].
- Mejor aprovechamiento del ciclo útil de los equipos e instalaciones eléctricas y de climatización.
- Reducción de costos tanto por consumo de potencia como por adquisición de equipos [48].

### **Aplicaciones o ejemplos**

- Control de encendido y apagado: A través de la programación de actividad continua o por intervalos de aires acondicionados, con monitoreo permanente o constante, con accionamiento o suspensión ordenados vía web o por medio de la ejecución de mandos automáticos, en horarios nocturnos o sin presencia de personas [36], [39], [48].

## **C.5. CONTROL DE LA PRESIÓN**

El control de presión se lleva a cabo dependiendo de la temperatura exterior o de la relación de compresión. La finalidad es conservar una magnitud o rango de valores constantes de presión dentro del condensador para que el refrigerante pueda evaporizarse con facilidad y así mantener la eficiencia del sistema. Esa presión dentro del

compresor depende de la temperatura-presión de evaporación y se ajusta regulando el caudal que condensa, generalmente aire o agua.

### **Ambiente(s) a implementar**

- Grandes centrales de refrigeración.
- Espacios con alta demanda de refrigeración.
- Entornos de mediana o gran afluencia de público.
- Espacios interiores en donde se alojen cantidades considerables de equipos de cómputo o similares que requieran alta demanda de refrigeración.
- Los tipos de espacio que cumplen las anteriores condiciones, son: Auditorios, aulas de cómputo, bancos, bibliotecas, laboratorios, oficinas de trabajo, salas de exposiciones, salas de reuniones [46], [49]. En la ESPACIOS INTERIORES UIS se muestra información acerca de las condiciones físicas de los espacios interiores de la universidad, en donde se detallan las áreas, el tipo y uso de estas, nivel de ocupación, actividades realizadas y observaciones o particularidades de esas superficies.

### **Beneficios**

- Aumento de la eficiencia de los equipos de refrigeración.
- Evitación de posibles cambios bruscos de temperatura suministrada.
- Control ante posibles sobre picos de demanda eléctrica debido a probables y fuertes caídas en los valores de presión [39].

### **Aplicaciones o ejemplos**

- Control de temperatura y presión de aire: Se compone de un importante número de variables que cambian a lo largo del proceso. Las variables de control (CO<sub>2</sub> y temperatura) se calculan por ecuaciones de equilibrio físico y las relaciones entre la presión del flujo de climatización se basan en datos empíricos [45].
- Control de presión de temperatura: Este ejemplo de control de presión puede ejercer varios trabajos, dividiéndose en funciones de control y de protección. Las funciones de control incluyen ejemplos como: el control de descongelamiento, el ciclado de compresores y el bombeo de vacío. Las funciones de protección

encierran la acción de limitación y corte de presión cuando se produzcan valores excesivos de presión, protección contra el congelamiento o pérdidas de carga [2], [38].

- Control de presión del cárter: La potencia de los motores de los compresores viene diseñada para un determinado rango de temperaturas de operación, teniendo que para valores mayores a ese rango se demandará más potencia y para menores, se requerirá de menor consumo energético.

Para evitar sobrecargas en los motores durante los momentos de arranque, se utilizan unas válvulas denominadas CPR, que sirven para evitar ese sobre esfuerzo del motor en baja temperatura debido a su abatimiento, periodos de descongelamiento, etc.

Con el uso de esa válvula, es posible incorporar un compresor mayor desplazamiento cuyo motor sea de menor consumo de potencia, influyendo así en la optimización de la demanda energética y aumento de la eficiencia.

Para esa válvula, se hace necesario impedir posibles disminuciones fuertes de presión y así conservar la capacidad del sistema. Es ahí en donde actúa el control de presión.

- Control de presión de descarga: Los sistemas de refrigeración en general deben operar en distintas condiciones estacionarias o climatológicas, en donde se ocasionan fuertes cambios ambientales y con mayor probabilidad en la zona tropical, por lo que deben ser diseñados para controlar el refrigerante que alimenta al evaporador en una gran variación de ambientes. Las características del flujo de los refrigerantes son proporcionales a sus respectivos valores de presión diferencial y esta debe ser controlada para evitar, sobre todo, indeseables disminuciones en su magnitud [1], [50].

## **C.6. CONTROL DE LA VENTILACIÓN NATURAL**

Su función es la de favorecer las condiciones (mediante diferencias de presión y/o temperatura) para que se produzcan flujos de aire de manera que el aire interior sea renovado por aire exterior, más frío, oxigenado y descontaminado. Las fuerzas que impulsan el movimiento del aire en todos los casos de ventilación natural son generadas por las diferencias de presión creadas a través de las distintas aberturas de la estructura de la edificación, los gradientes de temperatura y el efecto dinámico del viento al chochar con el edificio [51].

## **Ambiente(s) a implementar**

- Para obtener el mayor aporte del flujo de aire según la topografía y la posición de los edificios colindantes para lograr un incremento del potencial de ventilación.
- En montañas y cerros conviene localizar los edificios en la mitad de la pendiente, ya que en esta posición los vientos moderados que suben por ella pueden generar ventilación cruzada en la sección más corta del edificio.
- En la cercanía del mar, ríos o lagos, el edificio debería ubicarse cerca de la costa con el eje longitudinal paralelo a la costa para aprovechar las brisas marinas.
- Espacios con grandes áreas tanto de puertas como ventanas.
- Zonas o locales cercanos al exterior del edificio.
- Los tipos de espacio que cumplen las anteriores condiciones, son: Auditorios, aulas de clase, centros de estudio, comercio en general, laboratorios [52]. En la sección ESPACIOS INTERIORES UIS se muestra información acerca de las condiciones físicas de los espacios interiores de la universidad, en donde se detallan las áreas, el tipo y uso de estas, nivel de ocupación, actividades realizadas y observaciones o particularidades de esas superficies.

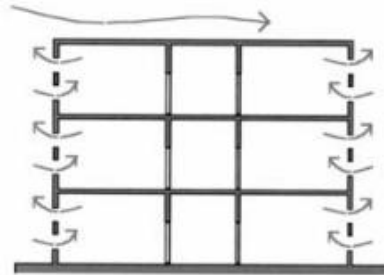
## **Beneficios**

- Optimizar el uso de los recursos naturales para un mejor compromiso entre el confort térmico en verano e invierno.
- No produce consumo de energía.
- Evita los costos de mantenimiento de otras soluciones no pasivas (aires acondicionados, sistemas HVAC, etc.).
- Soluciona los ruidos provocados por los sistemas de ventilación forzada [51], [53].

## **Aplicaciones o ejemplos**

- Ventilación natural pura se produce cuando existen diferencias de presión entre el interior y el exterior del local que se desea adecuar para el flujo natural del aire.
- Ventilación directa: consiste en la renovación del aire a través de las ventanas abiertas durante un periodo de tiempo al día (Ver Figura C1).

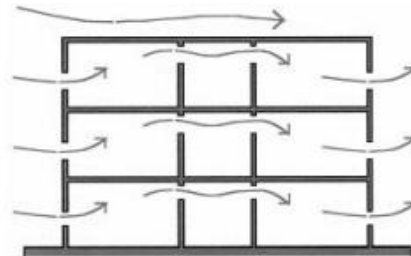
Figura C.1. Ventilación directa.



Fuente: [51], [53].

- La ventilación cruzada se produce mediante la apertura de huecos en fachadas opuestas que dan a espacios exteriores (Ver Figura C.2). Es conveniente que estos orificios se orienten en el sentido del viento dominante.

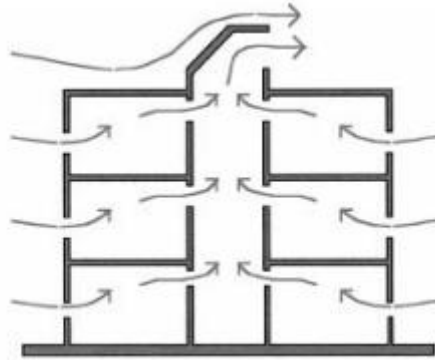
Figura C.2. Ventilación cruzada.



Fuente: [51], [53].

- Ventilación inducida: se emplea para forzar la entrada de aire en un espacio mediante un ducto de absorción suficientemente grande, correctamente orientada y a suficiente altura.
- Chimenea o torre de viento (de una boca o de múltiples bocas): se utiliza también para ayudar a salir al aire, pero en este caso aprovecha el efecto del viento. Consisten en unas aberturas salientes por encima de las cubiertas, orientados en el sentido opuesto a la dirección del viento para captar y conducir el aire fresco hacia el interior del edificio (Ver Figura C.3). Utilizadas sobre todo en zonas cálidas con abundancia de vientos frescos en una dirección predominante.

Figura C.3. Chimenea o torre de viento.



Fuente: [51], [53].

### C.7. CONTROL POR PRESENCIA

A los sistemas de control por detección de presencia se entienden como la información que se va a obtener de la situación de ocupación o ausencia de personas en que se encuentra la edificación, ya sea interior o exterior. Generalmente el sistema cuenta con interfaces las cuales van a permitir que el usuario esté en contacto con el sistema, modificándolo o verificando su estado [36], [38].

Figura C.4. Componentes del sistema de control por presencia.



Fuente: [54].

- Sensor de presencia pasivo infra-rojo (PIR): El sensor de presencia (PIR), reacciona sólo ante determinadas fuentes de energía tales como el cuerpo humano. Estos captan la presencia detectando la diferencia entre el calor emitido por el cuerpo humano y el espacio alrededor.

Con objeto de lograr total confiabilidad, se integran además un filtro especial de luz que elimina toda posibilidad de falsas detecciones causadas por la luz visible (rayos solares u otras fuentes de luz), así como circuitos especiales que dan mayor inmunidad a ondas de radio frecuencia.

Cuando un sensor de presencia se activa (una persona pasa cerca de su radio de acción), se cierra el circuito y envía una señal al sistema de automatización del aire acondicionado que se haya dispuesto.

- **Sensores ultrasónicos:** Se introdujeron debido a la creciente demanda impulsada por las aplicaciones como una mejora sobre los sensores (PIR), ya q no requiere línea de visión o movimientos continuos. A diferencia de los sensores PIR que son pasivos, sensores ultrasónicos son dispositivos activos que emiten y reciben ondas sonoras ultrasónicas hacia y desde los lugares y espacios adecuados.

Los sensores ultrasónicos son capaces de proporcionar datos sobre la presencia del usuario y la información de ubicación a través de cambios en la intensidad de eco de la señal transmitida, aunque cuenta con algunas desventajas dado que el sistema es susceptible de falsas activaciones a menudo provocados por vibraciones, como la turbulencia del aire de los sistemas HVAC, o incluso movimientos de máquinas presentes en el espacio lograría activarlas.

- **Sistemas de detección de sonidos:** La medición de las ondas de sonido en un espacio es otro método que en la actualidad ha sido estudiado para su uso en aplicaciones de control de ocupación en las nuevas edificaciones. Debido a que en los lugares donde se desea acondicionar (aulas, auditorios, oficinas, salas de computo, etc.) los ocupantes producen una variedad de ondas sonoras audibles, que son medidas utilizando micrófonos que pueden proporcionar información de ocupación de los mencionados espacios. Los sistemas de detección de sonido se pueden utilizar únicamente para espacios no individualizados. Sin embargo, el uso de sistemas de detección de sonido rara vez se utiliza para la detección de ocupación debido a inconvenientes tales como las ondas sonoras procedentes de fuentes no humanas en los locales que pueden activar los sensores [36], [37], [54].

## **Ambiente(s) a implementar**

- Ambientes cerrados, no tanto así en lugares exteriores, siendo ideales para aulas de clase, laboratorios, pequeños auditorios.
- Lugares en donde el flujo de personas no es tan constante y se da a determinada hora de llegada y de salida.
- Espacios en donde no se generen a los sensores, perturbaciones o señales de ruido provenientes de fuentes no humanas.
- Recintos de baja o mediana afluencia de personas.
- Los tipos de espacio que cumplen las anteriores condiciones, son: Aulas de clase, aulas de cómputo, aulas docentes, comercio en general, farmacias [37]. En la sección ESPACIOS INTERIORES UIS se muestra información acerca de las condiciones físicas de los espacios interiores de la universidad, en donde se detallan las áreas, el tipo y uso de estas, nivel de ocupación, actividades realizadas y observaciones o particularidades de esas superficies.

## **Beneficios**

- La utilización de la información precisa sobre la ocupación de los lugares y áreas además de los datos históricos sobre su uso, es vital en la aplicación eficaz de las estrategias de automatización en los edificios.
- Aunque presenta muy pocas falencias, estas estrategias basadas en sensores de presencia, resultan muy confiables, baratas y de gran eficiencia, mediante la reducción de demanda de carga debida a los aires acondicionados, iluminación en otros estudios y demás cargas que se consuman en un día de normal funcionamiento de los espacios académicos u oficinas.
- También se observó en estudios realizados previamente, que los usuarios gastaron un promedio de 75,8% de la jornada de trabajo en el espacio de la oficina, por lo tanto, esto revela que el ahorro de energía se puede lograr mediante la reducción del consumo energético de los sistemas de confort (aires acondicionados) y cargas de enchufe por un 20% para el período en que los ocupantes no estaban presentes en el espacio de trabajo [48].

## **Aplicaciones o ejemplos**

- Sobre la base de estos sensores, el sistema emplea tres técnicas de ahorro de energía, en primer lugar un algoritmo de reacción rápida utiliza un modelo probabilístico para procesar los datos del sensor y rápidamente estiman si ocupantes están activos o a distancia.
- La segunda técnica, el sistema combina los patrones de ocupación históricos con datos de los sensores, para decidir si se debe pre-enfriar el lugar o para adecuar los aires acondicionados después de que los ocupantes llegan.
- Por último, el sistema ahorra energía adicional al permitir que la temperatura de confort que se tiene de diseño, este cerca del punto de control (set-point) cuando los espacios a adecuar estén desocupados. Estas tres técnicas permiten que el sistema guarde automáticamente la energía sin sacrificar confort [54].

## **C.8. CONTROL POR AJUSTE DE OPERACIÓN O DE TRABAJO**

Un punto de ajuste de trabajo es el valor de: temperatura, humedad, presión, consumo eléctrico, calidad de aire, entre otros parámetros; que los sistemas de climatización tienen como objetivo mantener para brindar confort al interior de un edificio.

El interés particular, está en variar ese punto de ajuste de tal manera que permita que el consumo total y el máximo de energía en un espacio identificado sean reducidos.

### **Ambiente(s) a implementar**

- Áreas ocupadas en horas diurnas.
- Espacios con ocupación numerosa y fluctuante.
- Lugares con condiciones de humedad.
- Zonas con alta variación de radiación solar.
- Zonas o espacios con equipos, ya sean ordenadores o equipos de laboratorio, máquinas de oficina, iluminación, etc.
- Los tipos de espacio que cumplen las anteriores condiciones, son: Auditorios, aulas de clase, aulas de cómputo, bibliotecas, centros de estudio, comercio en general, laboratorios, salas de exposiciones, salas de reuniones [34]. En la sección

ESPACIOS INTERIORES UIS se muestra información acerca de las condiciones físicas de los espacios interiores de la universidad, en donde se detallan las áreas, el tipo y uso de estas, nivel de ocupación, actividades realizadas y observaciones o particularidades de esas superficies.

## **Beneficios**

- El ahorro de energía se logra debido a que (i) la diferencia de temperatura entre las condiciones interiores y exteriores se reducirá lo que reduce la carga de calor en el edificio y (ii) el sistema de climatización debe operar de manera más eficiente con un diferencial más pequeña entre las temperaturas interior y exterior.
- Aumentar el punto de ajuste representa que en cada grado que se aumenta la temperatura de un termostato, es posible obtener un 6 % de ahorro en consumo de energía (EPA Energy Star). De igual forma, por cada grado que se baja, se aumenta el consumo en 6 % [34], [40].

## **Aplicaciones o ejemplos**

- Dual Set-point Control (Dead-banda): Es la estrategia más común para la optimización del punto de ajuste (set-point) de la temperatura del espacio que se desea ambiente. Esto reduce el potencial para la refrigeración simultánea o de superposición, reduciendo así el desperdicio de energía y los problemas asociados al confort [40], [55].

## **C.9. CONTROL INTEGRADO DE CONSUMO ENERGÉTICO**

Con frecuencia las estrategias de ahorro de energía que se implementan, no cumplen todo su potencial, por lo tanto, se deben hacer ajustes más eficaces para cada técnica utilizada, es decir, no controlar solo una variable sino establecer la inspección de esa y otras más, de forma integrada. El proceso consta de una programación de días y de reajustes en: horario, temperatura, demanda eléctrica y otros factores que reúnen la automatización de sistemas de climatización, iluminación, acceso, comunicación y seguridad, lo cual interviene en el funcionamiento para las zonas o espacios adecuados, que reducirán el uso innecesario de equipos que causa desperdicio energético y de utilidad en estos [40], [42].

Idealmente, el control integrado de consumo energético debe ser capaz de proporcionar los siguientes tipos de informaciones:

- Temperatura.
- Presión.
- Damper y posición de la válvula, incluyendo señales de control de variador de frecuencia.
- Puntos Virtuales (cálculos internos como entalpía o cambiar puntos de ajuste (set-points)).
- Caudal (agua o aire).
- Alarma.
- Corriente (A).
- La demanda de potencia (kW).
- El consumo de energía (kWh).
- Las revoluciones por minuto (RPM).

Hay dos tipos de tendencias básicas que son: El flujo de datos y un cambio de valor (COV). En un flujo de datos, el BMS en cada intervalo de tiempo se reúne el valor actual de un punto de datos determinado y los almacena con la hora exacta en que el parámetro fue sondeado. Una tendencia COV registra el tiempo y el valor de parámetro sólo cuando el parámetro cambia en una cantidad preestablecida [40], [56].

### **Ambiente(s) a implementar**

- Edificios inteligentes.
- Áreas de reuniones programadas.
- Espacios donde se requiera su utilización con previa reserva.
- Los tipos de espacio que cumplen las anteriores condiciones, son: Auditorios, aulas de cómputo, bibliotecas, consultorio general, salas de exposiciones, salas de reuniones [40], [42], [55]. En la sección ESPACIOS INTERIORES UIS se muestra información acerca de las condiciones físicas de los espacios interiores de la universidad, en donde se detallan las áreas, el tipoy uso de estas, nivel de

ocupación, actividades realizadas y observaciones o particularidades de esas superficies.

## **Beneficios**

- Ahorro energético a una tasa temporal de tantas horas de receso de operación de equipos por cada 24 horas diarias.
- Evitación de desperdicio energético dado al eventual uso de equipos de refrigeración en momentos no necesarios.
- Se presenta una reducción de costos que van desde 8 al 15% para los gastos como los servicios públicos y un 7.2% adicional en los costos que involucran equipos de climatización, mantenimiento, filtros, correas, etc.
- Facilita las condiciones de confort, seguimiento eficaz del consumo de energía, presente una respuesta efectiva en los sistemas de aires acondicionados.
- El sistema de climatización (aires acondicionados) también puede ser controlado basado en la información de la demanda proporcionada por el BMS. Esto se vincula en el sistema general en el que los sistemas de acondicionamiento de aire son controlados por variadores de velocidad y pueden ser rechazados para ahorrar energía y ayudar a prolongar la vida útil del equipo de la planta. El hecho de que se pueda controlar en su totalidad y de forma automática el sistema implementado para proporcionar la climatización, aumenta el potencial de ahorro de energía ya que el sistema no se basa en los usuarios que deban recordar activar los sistemas [40].

## **Aplicaciones o ejemplos**

- Programación diaria: Se pueden prever hasta 5 o 7 horarios de inicio y de parada configurables por el administrador u operario para cada componente de la maquinaria (aires acondicionados) para cada día de la semana. Al Personalizar estos horarios se adapta a sus necesidades y reduce el tiempo en que los equipos se están ejecutando innecesariamente.
- Programación de calendarios: Además de los horarios típicos de vacaciones o recesos, la programación de calendario ofrece una amplia flexibilidad en la operación de los componentes de sistemas de aires. Los horarios del calendario pueden ser borrados una vez que las fechas asignadas han pasado y los sistemas actuaron con éxito. Adicionalmente, las fechas programadas se pueden repetir en

años posteriores (como es el caso de los horarios de vacaciones). Esta programación de calendario permiten al operador de la edificación proporcionar automáticamente el aire acondicionado cuando y donde sea necesario representando uso racional de la energía evitando y se evita despilfarros de energía y usos en tiempos que no ameritan su puesta en marcha.

- Programación de excepción: Si hay una excepción o actividad de emergencia no programada a tiempo, (por ejemplo, actividades extras o adicionar horas), se puede ajustar la excepción para ese día solamente en lugar de cambiar el horario regular. Una vez que se pasa el período de excepción, el programa vuelve a la programación original.
- Programación Zonal: Se refiere al control del sistema de climatización a nivel de zona, por lo que permite que las áreas no ocupadas se puedan apagar. Esto significa que cuando un espacio está desocupado los terminales de zona no se abren (excepto para mantener un límite bajo o alto) hasta que se ocupó la zona o espacio (controlado por sensores de presencia o ligada a los interruptores, etc.). Esto ahorra energía durante los períodos generalmente ocupados y en gran medida ahorra durante horas después de ser ocupada.
- Arranque óptimo: Se puede proporcionar rutinas para poner en marcha los sistemas de aires acondicionados en las edificaciones. El inicio del equipo se adecua para que el punto de ajuste (set-point) programado para el espacio o edificación se efectúe en el momento de estar ocupado, lo que produce un ahorro de energía. Estas rutinas de arranque tienen en cuenta tanto la temperatura exterior y en el interior del espacio al iniciar los ciclos de enfriado en la mañana para proporcionar un ambiente óptimo. Esta estrategia es la más adecuada para las áreas o espacio que tienen períodos desocupados y cuando estas zonas se les permite ir más allá de los límites normales de confort de temperatura.
- Parada óptima: La estrategia se parada óptima determina en la mayor brevedad de tiempo posible para apagar el sistema de aires acondicionados antes de los períodos en que se proyectan serán desocupados los espacios en que se implemente esta estrategia y todavía mantener el confort de los ocupantes. Esto se conoce como "inercia". Algunos equipos se pueden, por ejemplo desactivar en la tarde y mientras que el edificio todavía permanece ocupado se mantenga el ambiente con sensación óptima de confort. Sin embargo, es importante evaluar cuidadosamente el cierre de equipo (ventiladores, aires acondicionados, entre otros) que proporciona ventilación para los ocupantes [40], [55], [56].

## ANEXO D. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO

Previo al estudio del proceso de análisis jerárquico, conviene mencionar que para este se requiere de un patrón de asignación de peso o importancia, por lo que se tiene la escala de Saaty [57], la cual comprende un intervalo de valores numéricos enteros entre 1 (mínimo) y 9 (máximo), que da mayor importancia al elemento fila sobre el elemento columna y otro rango de valores fraccionarios entre 1/2 (mínimo) y 1/9 (máximo), para asignar los elementos columna con mayor importancia que los elementos fila. Lo anterior, teniendo en cuenta que para este análisis se trabajará con vectores o matrices de: asignación de variables y criterios, análisis técnico, de peso y de proporciones, que son mencionados más adelante.

Primera etapa: Se realizó la construcción de una jerarquía básica que está compuesta por el factor, en este caso, denominado como Objetivo Principal que se desea alcanzar, en donde los elementos que lo afectan se representan en los niveles inferiores y son denominados criterios, que a su vez, son los mostrados en la Tabla 16.

Para el análisis de las estrategias de automatización, dentro del archivo elaborado en Excel ® se estableció una forma de ventana macro para cada Objetivo Principal, y dentro de esta se encuentra el desarrollo de la ponderación de los Criterios de acuerdo con la escala de Saaty, Matriz R y su respectiva normalización, entre otros procesos del aludido análisis. En la Figura D.1, se muestra la ilustración de esta etapa.

Figura D.1. Muestra de Objetivo Principal y Criterios de selección.

Características Técnicas (CAT)				Costos (CO)			
Ac = Acople	Pe = Peso			E = Equipos	I = Instalación		
Ad = Adaptabilidad	Pr = Precisión			Fu = Funcionamiento	Mt = Mantenimiento		
D = Dimensión							

Segunda etapa: Una vez formulada la estructura jerárquica del problema se da paso a la valoración de los Criterios, en donde se da valor o preferencias en cada uno de los niveles jerárquicos establecidos empleando la escala de Saaty [57]. El objetivo de esta etapa es calcular la prioridad de un elemento con respecto a otro, el resultado de estas comparaciones es una matriz cuadrada, recíproca y positiva, denominada Matriz R, de forma que cada uno de sus componentes reflejen la intensidad de preferencia de un criterio frente a otro respecto al Objetivo Principal propuesto. La representación gráfica de esta etapa se presenta en la Figura D.2.

Figura D.2. Matrices de asignación de Criterios: Asignación para la Matriz R y Matriz Normalizada R (MNR).

Asignación para la matriz (R)					
R	Ac	Ad	D	Pe	Pr
Ac		1/5	3	2	1/6
Ad			5	7	1/2
D				1/2	1/8
Pe					1/7
Pr					
Asignación para la matriz (R)					
R	Ac	Ad	D	Pe	Pr
Ac	1	1/5	3	2	1/6
Ad	5	1	5	7	1/2
D	1/3	1/5	1	1/2	1/8
Pe	1/2	1/7	2	1	1/7
Pr	6	2	8	7	1
Matriz normalizada R (MNR)					
MNR	Ac	Ad	D	Pe	Pr
Ac	0,078	0,056	0,158	0,114	0,086
Ad	0,390	0,282	0,263	0,400	0,258
D	0,026	0,056	0,053	0,029	0,065
Pe	0,039	0,040	0,105	0,057	0,074
Pr	0,468	0,565	0,421	0,400	0,517
<b>Total</b>	<b>N/A</b>	<b>N/A</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>

Tercera etapa: Se analizan las distintas opciones denominadas Alternativas, propuestas para valorar en qué medida satisfacen cada uno de los Criterios, en donde el nivel de satisfacción puede ser medido a partir de tres tipos de ponderación según su grado de beneficio, los cuales fueron: Bajo (1), Medio (2) y Alto (3), y para el caso del Objetivo Principal asignado como Costos, se determinaron así: Costo Alto (1), Costo Medio (2) y Costo Bajo (3), dependiendo de las particularidades de cada criterio. La Figura D.3 muestra la forma en que se organizó la matriz de Análisis Técnico de Criterios y de estrategias de automatización.

Figura D.3. Análisis Técnico de Criterios y estrategias de automatización.

Análisis Técnico						
1: Bajo						
2: Medio						
3: Alto						VBN
Estrategia		Ac	Ad	D	Pe	Pr
1	<b>Control de demanda</b>	2	2	2	2	3
2	<b>Control de</b>	2	1	2	3	1
3	<b>Control de demanda</b>	2	2	3	3	2
4	<b>Control por horario</b>	3	3	2	2	3
5	<b>Control de presión</b>	2	1	2	2	2
6	<b>Control de ventilación</b>	1	1	2	3	1
7	<b>Control por presencia</b>	2	2	2	2	1
8	<b>Control por ajuste de</b>	2	3	2	2	3
9	<b>Sistemas de gestión</b>	2	3	1	2	3
Máximo valor		3	3	3	3	3

Cuarta etapa: Por último, se concreta el resultado a partir del aporte de cada alternativa a cada uno de los Criterios y del nivel de preferencia relativo atribuido a estos, para alcanzar de esta manera el Objetivo Principal, que en este caso se denomina Parámetros del Modelo. En este último fragmento del análisis jerárquico para cada tipo de espacio a refrigerar, se define en orden de mayor a menor importancia la estrategia conveniente a implementar en cada lugar, acción plasmada en una matriz resultante del producto de la normalización por cada criterio incluido en el vector de pesos.

Como en este trabajo de grado se plantearon 14 tipos de recintos, se realizó igual cantidad de análisis de comparación, originando ese mismo número de resultados parciales, en los cuales se definen las tres mejores estrategias de automatización para cada espacio a climatizar.

También, se incluyeron otros parámetros de análisis comparativo que desempeñan una función importante al momento de jerarquizar las estrategias de automatización, basado en los anteriores ítems mencionados.

El esquema que sigue indica la matriz resultante del análisis comparativo de las estrategias de automatización asignado a cada tipo de lugar a refrigerar.

Figura D.4. Organización de las estrategias de automatización de mayor a menor conveniencia de implementación para cada tipo de espacio a acondicionar.

	<b>Estrategia</b>	<b>CAT</b>	<b>Puesto</b>
1	<b>Control de demanda</b>	0,825	4
2	<b>Control de</b>	0,423	8
3	<b>Control de demanda</b>	0,703	5
4	<b>Control por horario</b>	0,964	1
5	<b>Control de presión</b>	0,560	6
6	<b>Control de ventilación</b>	0,391	9
7	<b>Control por presencia</b>	0,509	7
8	<b>Control por ajuste de c</b>	0,931	2
9	<b>Sistemas de gestión en</b>	0,916	3

Matriz Normalizada R (*MNR*): Esta matriz tiene la misma dimensión y simetría que la Matriz R. Para cada celda de MNR se toma el correspondiente valor en la Matriz R y se divide por la sumatoria de los elementos en la respectiva columna. Esta cantidad numérica oscila entre 0 y 1 y el total de la adición será 1, de ahí el término de normalización.

Vector de pesos (*W*): Es un vector columna resultante para cada Criterio, en donde a partir de la MNR, se calcula el promedio de los valores normalizados asignados a los Criterios. El total de promedios tendrá un valor de 1. Ver Figura D.5.

Factor de pesos (*X*): Es el producto de la Matriz de asignación  $\otimes$  por el vector de pesos (*W*), el cual corresponde al factor de pesos. Ver Figura D.5.

Vector de proporciones ( $\lambda$ ): Es el cociente entre el factor de pesos (*X*) y el vector de pesos (*W*), ambos con la misma dimensión. Esta división se opera entre celdas correspondientes. Ver Figura D.5.

Figura D.5. Vector de peso ( $W$ ), factor de peso ( $X$ ) y vector de proporciones ( $\lambda$ ).

<b>W</b>		<b>X</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<i>Vector de pesos</i>		<i>R*W</i>	<i>X/W</i>
Ac	0,099	0,504	5,119
Ad	0,319	1,718	5,392
D	0,046	0,233	5,105
Pe	0,063	0,317	5,022
Pr	0,474	2,510	5,294
<b>Total</b>	<b>1,000</b>		

Índice de aleatoriedad ( $IA$ ): Es una secuencia numérica que no sigue un patrón detectable. A esta serie numérica se le denomina aleatoriedad estadística. Es un conocimiento intuitivo el cual tiene numerosas definiciones para tratar de formalizar el concepto aplicado a determinados casos. Por tanto, se conoce que no se trata de un concepto de aleatoriedad verdadera [57].

Para el análisis comparativo de estrategias de automatización, se tomó el índice de aleatoriedad propuesto por Saaty, el cual se muestra en la Tabla D.1.

Tabla D.1. Índice de Aleatoriedad de Saaty.

n	IA
1	-
2	-
3	0,58
4	0,90
5	1,12
6	1,24
7	1,32
8	1,41
9	1,45

n	IA
10	1,49
11	1,51
12	1,48
13	1,56
14	1,57
15	1,59


En la Tabla D.1 se mencionan dos parámetros: el de cantidad de Criterios ( $n$ ) y el del índice correspondiente a ese valor. Con el valor del índice de aleatoriedad se pretende hallar el índice de consistencia y así determinar la razón de consistencia para la asignación sobre criterios en la selección de estrategias de automatización.

Índice de consistencia ( $ICA$ ): Es el cociente entre la diferencia del vector de proporciones ( $\lambda$ ) con el índice de aleatoriedad ( $IA$ ) sobre la cantidad de Criterios ( $n$ ). Este parámetro indica la coherencia en la selección del peso de los Criterios.

Razón de consistencia ( $RC$ ): Es el cociente entre el índice de consistencia ( $IC$ ) y el índice de aleatoriedad ( $IA$ ), está representado por un indicador de alerta el cual muestra mediante un círculo qué tan coherente ha sido la selección de Criterios y asignación de la importancia de cada uno. Dicho círculo cambia su color entre rojo, amarillo o verde, según la aproximación que se tenga al valor mínimo posible y deseado de razón de consistencia  $\otimes$ , siendo el color rojo el que denota mayor lejanía, el amarillo el que indica unos valores intermedios y el verde la mejor proximidad.

En la figura D.6 se indica el valor máximo del vector de proporción ( $\lambda$ ), los índices de consistencia y aleatoriedad, además de la razón de consistencia.

Figura D.6. Valor máximo del vector de proporción ( $\lambda$ ), índices de consistencia y aleatoriedad y razón de consistencia.

Lambda Máximo	$\lambda_{max}$	5,392
Índice de consistencia	IC	0,098
Índice de aleatoriedad	n	5
	IA	1,12
Razón de consistencia	RC	 0,087

Normalización: Es una matriz de pesos que representa la importancia de cada estrategia en función del máximo valor de las Alternativas a saber: Bajo (1), Medio (2) y Alto (3), excepto el Objetivo Principal de Costos que es: Costo Alto (1), Costo Medio (2) y Costo Bajo (3).

A partir de la Matriz de Análisis Técnico, la cual tiene 10 filas para las estrategias y el valor máximo de peso entre 1 y 3 de cada Criterio, y 7 columnas para los Criterios, se divide el valor de cada celda entre la máxima ponderación dada a los criterios de esa misma columna. La matriz en mención se muestra en la figura D.7.

Figura D.7. Normalización de la importancia de las estrategias de automatización.

Normalización						
	Estrategia	Ac	Ad	D	Pe	Pr
1	Control de demanda	0,667	0,667	0,667	0,667	1,000
2	Control de	0,667	0,333	0,667	1,000	0,333
3	Control de demanda	0,667	0,667	1,000	1,000	0,667
4	Control por horario	1,000	1,000	0,667	0,667	1,000
5	Control de presión	0,667	0,333	0,667	0,667	0,667
6	Control de ventilación	0,333	0,333	0,667	1,000	0,333
7	Control por presencia	0,667	0,667	0,667	0,667	0,333
8	Control por ajuste de d	0,667	1,000	0,667	0,667	1,000
9	Sistemas de gestión	0,667	1,000	0,333	0,667	1,000

## D.1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Con símbolo (CAT), este Objetivo Principal del proceso jerárquico analítico hace referencia a las especificaciones relacionadas con los parámetros de disposición final de

los equipos de refrigeración. Los criterios seleccionados se basan en las normas internacionales como la ASHRAE [9] y en las de uso racional de la energía [23] e información sobre los proveedores de las marcas consultadas de equipos.

Estos mecanismos o sistemas de climatización contendrán redes eléctricas, instalaciones hidráulicas y de desagüe, así como los accesorios y otros elementos necesarios, conforme a las instrucciones del fabricante. Dentro de las características técnicas se tienen en cuenta propiedades de Acople, Adaptabilidad, Dimensión, Peso y Precisión.

Para cada Objetivo Principal se tomó un ejemplo con la estrategia de mayor ponderación de Criterios. En la figura D.8 muestra resaltado en amarillo la fila correspondiente a la matriz de Análisis Técnico.

Figura D.8. Análisis técnico: Objetivo Principal Características Técnicas frente a la estrategia de control.

Análisis Técnico						
1: Bajo						
2: Medio						
3: Alto						VBN
Estrategia		Ac	Ad	D	Pe	Pr
1	Control de demanda	2	2	2	2	3
2	Control de	3	2	2	2	3
3	Control de demanda	3	3	2	2	3
4	Control por horario	1	1	3	3	1
5	Control de presión	2	2	2	3	3
6	Control de ventilación	2	1	1	2	1
7	Control por presencia	3	3	2	3	2
8	Control por ajuste de	2	2	3	2	2
9	Sistemas de gestión	2	3	2	2	3
Máximo valor		3	3	3	3	3

**D.1.1 Acople.** Con abreviatura (AC), esta característica se refiere a la posibilidad de que un sistema o mecanismo de climatización pueda modificarse en su estructura para mejorar, complementar o solucionar su funcionamiento.

Un ejemplo es cuando algún módulo o parte del sistema pueda ser reformado para aumentar su eficiencia sin que este se convierta en algo obsoleto, que pueda re-potencializar su funcionalidad y no se afecte el desempeño de otro componente.

El análisis técnico para el acople se realiza mediante la comparación de Criterios para cada una de las estrategias. La ponderación se valoró de 1 a 3, representando 3 como Alta, 2 Media y 1 Baja.

A manera de muestra, se tomó el tipo de espacio aulas de clase, en donde se esquematiza las ponderaciones que se dieron para la estrategia de Control de demanda de ventilación. De la anterior gráfica, se puede deducir que esta estrategia de control tiene una alta facilidad de acople porque su configuración permite la adición y sustracción de componentes tales como los sensores, ductos, entre otros. También, ofrece facilidad de realizar ajustes de operación y la adición de dispositivos no afecta el normal funcionamiento [39], [58].

**D.1.2. Adaptabilidad.** Con abreviatura (*AD*), este parámetro consiste en la facilidad o capacidad que el sistema de enfriamiento tiene de soportar condiciones estructurales, ambientales, esfuerzos mecánicos, traslados por estética, re-diseño arquitectónico y que se ajuste a las nuevas proyecciones que se vayan a realizar en los espacios en donde se encuentre implementado.

Un ejemplo se da en el caso particular de adicionar otros sistemas de control complementarios como el caso de control por horario, para mejorar su desempeño, aumento en la capacidad de respuesta, incremento en la eficiencia y que se necesite de la operación de otros equipos en momentos distintos ante otras necesidades que puedan surgir.

El análisis técnico para la adaptabilidad se realiza mediante la comparación de Criterios para cada una de las estrategias. La ponderación se valoró de 1 a 3, representando 3 como Alta, 2 Media y 1 Baja.

A manera de muestra, se tomó el tipo de espacio aulas de clase, en donde se esquematiza las ponderaciones que se dieron para la estrategia de Control de demanda de ventilación. De la Figura D.8 se puede deducir que esta estrategia de control tiene una alta adaptabilidad ya que por las condiciones locativas de las aulas se favorece la ejecución de proyectos de reforma o ampliación y como consecuencia de realizar traslados temporales, el funcionamiento del sistema después de su desinstalación y posterior montaje, no se verá afectado en su normal funcionamiento, además la instalación tiene baja dificultad de procedimiento. También, ofrece facilidad de realizar ajustes de operación y la adición de dispositivos no afecta el normal funcionamiento [39], [58].

**D.1.3. Dimensión.** Representada por el símbolo ( $D$ ), esta medida equivale el área ocupada por los sistemas que se desean adecuar. Aunque la mayoría de los sistemas de enfriamiento, tanto en los aires acondicionados, ductos, instalaciones eléctricas, acoples mecánicos, infraestructura para el almacenamiento como de disposición final del aire refrigerado, vienen con medidas estandarizadas, se deben tener presente a la hora de diseñar la instalación, adquirir predios, realizar la distribución correcta de las acometidas y evitar posibles afectaciones en la estética del edificio y generar ambientes agradables de orden y precisa disposición de los elementos encargados de climatizar.

Un ejemplo se da cuando el local a adecuar tiene un espacio reducido, ahí se hace necesario optimizar las dimensiones de los equipos o que estos tengan especificaciones mínimas de volumen de ocupación sin que se afecte el funcionamiento del sistema.

El análisis técnico para la dimensión se realiza mediante la comparación de Criterios para cada una de las estrategias. La ponderación se valoró de 1 a 3, representando 3 como Alta, 2 Media y 1 Baja.

A manera de muestra, se tomó el tipo de espacio aulas de clase, en donde se esquematiza las ponderaciones que se dieron para la estrategia de Control de demanda de ventilación. De la Figura D.8 se puede deducir que esta estrategia de control tiene una favorabilidad media-alta en cuanto a dimensiones debido a que se requieren mecanismos con simplicidad en su funcionamiento, su tamaño es de mínimas proporciones y pueden llegar a ser implementados en diversos tipos de aulas sin que se desaproveche áreas considerables de uso [39], [58].

**D.1.4. Peso.** Con símbolo ( $Pe$ ), esta magnitud se refiere a la dificultad de traslado e instalación de los sistemas a climatizar, es decir, a la fuerza que se necesita para tal fin. Es una medida semejante a la de dimensión, debido a que también viene estandarizada, porque presenta similitudes en los materiales con que se elaboran los equipos y accesorios mecánicos y de control para los sistemas de climatización.

Debido al desarrollo de nuevas tecnologías y dado a que en la consulta de catálogos se escogieron las marcas que están a la vanguardia en el concepto de refrigeración, se encontraron equipos con tamaño y peso reducidos, lo cual hace posible trasladar, disponer o adaptar estos mecanismos a prácticamente cualquier lugar o condición de construcción.

El análisis técnico para el peso se realiza mediante la comparación de Criterios para cada una de las estrategias. La ponderación se valoró de 1 a 3, representando 3 como Alta, 2 Media y 1 Baja.

A manera de muestra, se tomó el tipo de espacio aulas de clase, en donde se esquematiza las ponderaciones que se dieron para la estrategia de Control de demanda de ventilación. De la figura anterior, se puede deducir que esta estrategia de control tiene una favorabilidad media-alta en cuanto a peso por lo que se tienen mecanismos de reducido tamaño y por ende, bajo peso, evitando dificultades de traslado y el uso de equipos para transporte de carga pesada [39], [58].

**D.1.5. Precisión.** Representado por (*Pr*), este factor describe el detalle sobre qué tan cerca está el sistema de climatización a la sensación de confort, teniendo en cuenta la capacidad de respuesta, el tiempo que demore en llegar a los niveles adecuados de temperatura, humedad y otros parámetros ambientales.

Un ejemplo de este criterio es el control por temperatura. Si se quiere ambientar un espacio, se aunarán esfuerzos por conseguir un valor cercano generalmente a la de confort, que es de aproximadamente 24 [°C], de manera óptima y eficaz. Para lograr esto, es necesario contar con sensores precisos, un sistema de control con respuesta rápida y que soporte perturbaciones tales como las variaciones climáticas.

El análisis técnico para la precisión se realiza mediante la comparación de Criterios para cada una de las estrategias. La ponderación se valoró de 1 a 3, representando 3 como Alta, 2 Media y 1 Baja.

A manera de muestra, se tomó el tipo de espacio aulas de clase, en donde se esquematiza las ponderaciones que se dieron para la estrategia de Control de demanda de ventilación. De la anterior figura se puede deducir que esta estrategia de control tiene una calificación de importancia alta porque cumple con los requisitos que anteriormente se expusieron, ya que los sensores de CO<sub>2</sub> son los de mayor utilización al momento de enfriar espacios [39], [58].

## D.2. COSTOS

Con abreviatura (CO), este Objetivo Principal del proceso jerárquico analítico hace referencia a las especificaciones relacionadas con los parámetros extrínsecos que implican su instalación, puesta en funcionamiento, mantenimiento, revisiones, ajustes y demás requerimientos. Los criterios seleccionados se basan en las normas internacionales como la ASHRAE [9] y en las de uso racional de la energía [23] e información sobre proyectos en los que se realizaron estudios económicos para automatizar los sistemas de aires acondicionados .

Dentro de los costos se tienen en cuenta propiedades de Equipos, Funcionamiento, Instalación y Mantenimiento.

Para cada Objetivo Principal se tomó un ejemplo con la estrategia de mayor ponderación de Criterios. En la Figura D.9 se muestra resaltado en amarillo la fila correspondiente a la matriz de Análisis Técnico.

Figura D.9. Análisis técnico: Objetivo Principal Costos frente a la estrategia de control por presencia.

<b>Análisis Técnico</b>					
1: Costo alto					
2: Costo medio					
3: Costo bajo					
Estrategia		E	Fu	I	Mt
1	<b>Control de</b>	3	2	2	3
2	<b>Control de</b>	2	2	2	2
3	<b>Control de</b>	2	3	2	2
4	<b>Control por</b>	2	2	2	2
5	<b>Control de</b>	3	2	2	2
6	<b>Control de</b>	2	3	1	3
7	<b>Control por</b>	3	3	3	2
8	<b>Control por</b>	1	2	2	2
9	<b>Sistemas de</b>	2	2	2	1
<b>Máximo valor</b>		3	3	3	3

**D.2.1. Equipos.** Con símbolo (*E*), este apartado considera los gastos por concepto de adquisición de equipos y accesorios. Gracias a la amplia oferta de diferentes marcas y empresas relacionadas con el mercado de aires acondicionados, dispositivos de control, infraestructura, software y otras implicaciones se pueden encontrar precios razonables.

Para el control por presencia se dio que el beneficio es alto, es decir, sus costos son bajos al ser uno de los métodos más buscados para implementar sistemas de automatización.

El análisis técnico para los equipos se realiza mediante la comparación de Criterios para cada una de las estrategias. La ponderación se valoró de 1 a 3, representando 1 como Alta, 2 Media y 3 Baja.

**D.2.2. Funcionamiento.** Con simbología (*FU*), este ítem abarca los precios que implica la operación y desempeño adecuado del sistema de climatización con todos sus componentes. Entre esas características se encuentran la puesta en marcha, el consumo eléctrico de los equipos, control y supervisión de forma periódica e insumos.

Para el control por presencia resultó un alto grado de aceptación debido a que su funcionamiento es sencillo, no tiene alta complejidad en su puesta en marcha, su consumo energético es bajo, controlar y supervisar el funcionamiento es una tarea que no requiere mayores inversiones para ejecutarlo y los insumos que requiere son pocos o nulos, implicando bajos costos.

El análisis técnico para el funcionamiento se realiza mediante la comparación de Criterios para cada una de las estrategias. La ponderación se valoró de 1 a 3, representando 1 como Alta, 2 Media y 3 Baja.

**D.2.3. Instalación.** Representada por (*I*), esta sección describe los costos que implica realizar procesos de instalación, desinstalación, traslados y otros más. Esto involucra instalaciones eléctricas, de ductos, tomas de agua, canalizaciones, evacuación de residuos, obras civiles, cableado.

En el caso del control por presencia se asignó una alta calificación que representa bajos costos en instalación debido a su simplicidad de implementación, ya que no se necesita gran infraestructura ni numerosos elementos como accesorios y demás para su operación.

El análisis técnico para la instalación se realiza mediante la comparación de Criterios para cada una de las estrategias. La ponderación se valoró de 1 a 3, representando 1 como Alta, 2 Media y 3 Baja.

**D.2.4. Mantenimiento.** Símbolo (*Mt*). Esto establece los costos para el mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo que puedan ocurrir al sistema de refrigeración, en donde se incluye maquinaria, operación de equipos, limpieza, renovación de los refrigerantes y cambio de repuestos.

Para el control por presencia, este criterio tuvo una ponderación de Media, debido a la necesidad de realizar frecuentemente acciones de mantenimiento y revisión, sobre todo en la parte de control y continuos ajustes de parámetros.

El análisis técnico para el mantenimiento se realiza mediante la comparación de Criterios para cada una de las estrategias. La ponderación se valoró de 1 a 3, representando 1 como Alta, 2 Media y 3 Baja.

### **D.3. IMPACTO AMBIENTAL**

Con símbolo (*IA*), este Objetivo Principal del proceso jerárquico analítico hace referencia a las especificaciones relacionadas con las posibles afectaciones y beneficios al medio ambiente, ya que estas estrategias se fundamentan en el ahorro energético, disminución de emisiones de agentes contaminantes, eficiencia energéticas elevadas, y al hacer sistemas automatizados se evitarán gastos de energía por descuido de operarios y reducción de costos por mano de obra. Los criterios seleccionados se basan en las normas internacionales como la ASHRAE [9] y en las de uso racional de la energía [23] e información sobre proyectos en los que se realizaron estudios ambientales para automatizar los sistemas de aires acondicionados.

Dentro de los impactos ambientales se tienen en cuenta propiedades de Ahorro Energético, Reducción De Emisiones y Rendimiento.

Para cada Objetivo Principal se tomó un ejemplo con la estrategia de mayor ponderación de Criterios. En la Figura D.10 se muestra resaltado en amarillo la fila correspondiente a la matriz de Análisis Técnico.

Figura D.10. Análisis técnico: Objetivo Principal Impacto Ambiental frente a la estrategia de control integrado de consumo energético.

<b>Análisis Técnico</b>				
1: Bajo				
2: Medio				
3: Alto				
Estrategia		Ae	RED	REN
1	<b>Control de</b>	2	2	2
2	<b>Control de</b>	2	2	2
3	<b>Control de</b>	3	3	3
4	<b>Control por</b>	2	2	2
5	<b>Control de</b>	2	2	2
6	<b>Control de</b>	2	2	2
7	<b>Control por</b>	3	2	3
8	<b>Control por</b>	3	2	3
9	<b>Sistemas de</b>	3	3	3
<b>Máximo valor</b>		3	3	3

**D.3.1 .Ahorro de energía.** Con simbología (Ae), el ahorro energético comprende la disminución del consumo de potencia debido al funcionamiento de los sistemas de enfriamiento.

Para el control por sistemas de gestión energética para edificaciones, este criterio tuvo una ponderación Alta, debido al riguroso y permanente control y monitoreo que se tiene sobre los equipos y al ser esta una de las estrategias líderes en cuanto a construcción y certificación de edificaciones verdes [42] se garantiza que siempre se mantendrán niveles óptimos de consumo e información precisa sobre valores de temperatura, potencia consumida, humedad, presión, alarmas o alertas para realizar seguimientos y acciones correctivas.

El análisis técnico para el Ahorro de Energía se realiza mediante la comparación de Criterios para cada una de las estrategias. La ponderación se valoró de 1 a 3, representando 3 como Alta, 2 Media y 1 Baja.

**D.3.2. Reducción de emisiones.** La reducción de emisiones (*RED*), estudia las formas de estabilizar los niveles de gases perjudiciales para la atmósfera.

Para el control por sistemas de gestión energética para edificaciones, este criterio tuvo una ponderación Alta, debido al riguroso y permanente control y monitoreo que se tiene sobre los niveles de presencia de CO<sub>2</sub> y al ser esta una de las estrategias líderes en cuanto a construcción y certificación de edificaciones verdes [42] se garantiza que siempre se mantendrán niveles óptimos de pureza del aire e información precisa sobre valores de este y otros parámetros como temperatura, potencia consumida, humedad, presión, alarmas o alertas para realizar seguimientos y acciones correctivas.

El análisis técnico para la reducción de emisiones se realiza mediante la comparación de Criterios para cada una de las estrategias. La ponderación se valoró de 1 a 3, representando 3 como Alta, 2 Media y 1 Baja.

**D.3.3. Rendimiento.** El rendimiento (*REN*), hace referencia a la relación entre el consumo de energía y cómo el sistema la aprovecha para climatizar lo mejor posible cada ambiente.

Para el control por sistemas de gestión energética para edificaciones, este criterio tuvo una ponderación Alta, debido al riguroso y permanente control y monitoreo que se tiene sobre la eficiencia y al ser esta una de las estrategias líderes en cuanto a construcción y certificación de edificaciones verdes [42] se garantiza que siempre se mantendrán niveles óptimos rendimiento y otros factores importantes ya mencionados en la descripción de los criterios anteriores.

El análisis técnico para el rendimiento se realiza mediante la comparación de Criterios para cada una de las estrategias. La ponderación se valoró de 1 a 3, representando 3 como Alta, 2 Media y 1 Baja.

#### D.4. OPERATIVIDAD

Con símbolo (O), este Objetivo Principal del proceso jerárquico analítico hace referencia a los detalles relacionados con Capacidad y Rapidez, Flexibilidad y Maniobrabilidad. Estas características son de tipo intrínseco. Los criterios seleccionados se basan en las normas internacionales como la ASHRAE [9] y en las de uso racional de la energía [23] e información sobre proyectos en los que se realizaron estudios técnicos para automatizar los sistemas de aires acondicionados.

Para cada Objetivo Principal se tomó un ejemplo con la estrategia de mayor ponderación de Criterios. En la Figura D.11 se muestra resaltado en amarillo la fila correspondiente a la matriz de Análisis Técnico.

Figura D.11. Análisis técnico: Objetivo Principal Operatividad frente a la estrategia de control por horario.

<b>Análisis Técnico</b>				
1: Bajo				
2: Medio				
3: Alto				
Estrategia		Ca	Fl	Mn
1	<b>Control de</b>	2	1	1
2	<b>Control de</b>	1	2	2
3	<b>Control de</b>	2	2	1
4	<b>Control por</b>	3	3	2
5	<b>Control de</b>	1	2	2
6	<b>Control de</b>	2	1	1
7	<b>Control por</b>	2	2	1
8	<b>Control por</b>	2	3	2
9	<b>Sistemas de</b>	3	2	2
Máximo valor		3	3	2

**D.4.1. Capacidad y rapidez.** Con notación ( $Ca$ ), este criterio consiste en la capacidad y rapidez de respuesta de las estrategias y sistemas para acondicionar el aire en los espacios escogidos. Esta característica se mide a partir del momento en que entra en operación los equipos que conforman el sistema de climatización hasta el instante en que se alcanzan los valores deseados o requeridos.

Para el control por horario, se establece que esta estrategia tuvo una ponderación Alta, debido a que, en este caso para las bibliotecas, se maneja un gran flujo de personas y la puesta en marcha del sistema de refrigeración tiene unos horarios predeterminados, lo que garantiza una continuidad sin excesos en el consumo energético en el proceso de climatización.

El análisis técnico para la Capacidad y Rapidez se realiza mediante la comparación de Criterios para cada una de las estrategias. La ponderación se valoró de 1 a 3, representando 3 como Alta, 2 Media y 1 Baja.

**D.4.2. Flexibilidad.** La flexibilidad ( $F$ ) trata sobre la propiedad de los sistemas de automatización para poder adecuarse a diversas y desfavorables condiciones que se puedan presentar debido a la aleatoriedad de la afluencia de público a los espacios a adecuar, en este caso, bibliotecas.

Para el control por horario, se establece que esta estrategia tuvo una ponderación Alta, debido a que, en este caso para las bibliotecas, se maneja un gran flujo de personas y aunque, la puesta en marcha del sistema de refrigeración tiene unos horarios predeterminados, es probable que en ciertos momentos haya tanto muy baja como muy alta asistencia de personas debido a temporadas de vacaciones o de gran aglomeración por causa de alta carga académica, lo que garantiza una continuidad sin excesos en el consumo energético en el proceso de climatización.

El análisis técnico para la Flexibilidad se realiza mediante la comparación de Criterios para cada una de las estrategias. La ponderación se valoró de 1 a 3, representando 3 como Alta, 2 Media y 1 Baja.

**D.4.3. Maniobrabilidad.** La maniobrabilidad ( $Mn$ ) describe sobre la particularidad de los sistemas de automatización para poder ser operados por personal calificado y especializado para tal fin, es decir, sobre qué tan manejables y entendibles son los sistemas y equipos de climatización, para su uso.

Para el control por horario, se establece que esta estrategia tuvo una ponderación media-Alta, debido a que, en este caso para las bibliotecas, se maneja un gran flujo de personas y ese tránsito se puede presentar en horarios aleatorios y de manera impredecible. Este tipo de control tiene como característica especial que presenta una interfaz de fácil interpretación y manejo, por lo que solo se necesita de poco personal para que actualice los horarios en los cuales el sistema de control debe accionar o detener la operación de los equipos de refrigeración, garantizando así un continuo servicio sin excesos en el consumo energético en el proceso de climatización.

El análisis técnico para la Maniobrabilidad se realiza mediante la comparación de Criterios para cada una de las estrategias. La ponderación se valoró de 1 a 3, representando 3 como Alta, 2 Media y 1 Baja.

#### **D.5. PARÁMETROS DE MODELO**

En esta sección se trata el análisis del Objetivo Principal de Parámetros del Modelo, que contiene dentro de sus Criterios, los anteriores cuatro Objetivos Principales: Características Técnicas, Costos, Impacto Ambiental y Operatividad, con los cuales se seleccionaron las tres mejores estrategias de automatización para los diversos tipos de espacios que se caracterizaron en el campus central de la UIS.

Para este caso, la matriz de normalización es el resultado de las otras matrices del producto de la normalización de criterios por el vector de pesos, tal y como se muestra a continuación.

Figura D.12. Normalización de estrategias de automatización.

<b>Normalización</b>					
<b>Estrategia</b>		<b>CAT</b>	<b>CO</b>	<b>IA</b>	<b>O</b>
1	<b>Control de demanda</b>	0,856	0,753	0,896	0,559
2	<b>Control de temperatura</b>	0,439	0,753	0,896	0,525
3	<b>Control de demanda de</b>	0,729	1,000	0,896	0,639
4	<b>Control por horario</b>	1,000	1,000	0,896	1,000
5	<b>Control de presión</b>	0,582	0,592	0,797	0,525
6	<b>Control de ventilación</b>	0,405	0,958	1,000	0,559
7	<b>Control por presencia</b>	0,528	0,501	0,896	0,639
8	<b>Control por ajuste de</b>	0,966	0,796	0,896	0,802
9	<b>Sistemas de gestión</b>	0,950	0,389	0,896	0,920

Como se afirmó antes y es posible observar en la Figura D.12, los Criterios de selección son los primeros cuatro Objetivos Principales, descritos en la parte denominada como Primera Etapa.

Como resultado final del anterior proceso, se pondera mediante el cálculo del producto y con ayuda de la función JERARQUÍA del programa Excel®, se establecieron las mejores opciones de automatización para cada tipo de espacio a adecuar, la cual consiste en asignar de una lista de valores una clasificación ponderada de cada estrategia. De manera ilustrativa, en la siguiente gráfica, se muestra el resultado parcial del análisis comparativo la conveniencia de uso de las estrategias de automatización para auditorios.

Figura D.13. Análisis comparativo de las estrategias de automatización para auditorios.

<b>Estrategia</b>		<b>Total</b>	<b>Puesto</b>
1	<b>Control de demanda</b>	0,809	4
2	<b>Control de temperatura</b>	0,623	8
3	<b>Control de demanda de</b>	0,825	3
4	<b>Control por horario</b>	0,979	1
5	<b>Control de presión</b>	0,623	7
6	<b>Control de ventilación</b>	0,685	6
7	<b>Control por presencia</b>	0,607	9
8	<b>Control por ajuste de op</b>	0,892	2
9	<b>Sistemas de gestión ene</b>	0,791	5

Para finalizar el proceso de análisis jerárquico, se procedió a resumir la información acerca de las tres mejores estrategias a implementar para cada tipo de espacio a adecuar. Los resultados de las mejores estrategias para el análisis cualitativo se muestran a continuación.

Tabla D.2. Clasificación de estrategias de automatización para cada tipo de espacio interior a adecuar.

Tipo de espacio	Escalafón de las 3 mejores estrategias a implementar
Auditorios	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Control por horario (temporizadores)</li> <li>2. Control por ajuste de operación o de trabajo (set-point)</li> <li>3. Control de demanda de ventilación</li> </ol>
Aulas de clase	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Control por presencia</li> <li>2. Control de demanda de ventilación</li> <li>3. Control integrado de consumo energético</li> </ol>
Aulas de cómputo	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Control por ajuste de operación o de trabajo (set-point)</li> <li>2. Control por presencia</li> <li>3. Control por horario (temporizadores)</li> </ol>
Aulas docentes	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Control por presencia</li> <li>2. Control de demanda de ventilación</li> <li>3. Control de temperatura</li> </ol>
Bancos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Control por ajuste de operación o de trabajo (set-point)</li> <li>2. Control por horario (temporizadores)</li> <li>3. Control por presencia</li> </ol>

Tipo de espacio	Escalafón de las 3 mejores estrategias a implementar
Bibliotecas	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Control por horario (temporizadores)</li> <li>2. Control por ajuste de operación o de trabajo (set-point)</li> <li>3. Control de demanda de ventilación</li> </ol>
Centros de estudio	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Control por presencia</li> <li>2. Control de temperatura</li> <li>3. Control integrado de consumo energético</li> </ol>
Comercio en general	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Control por ajuste de operación o de trabajo (set-point)</li> <li>2. Control por horario (temporizadores)</li> <li>3. Control por presencia</li> </ol>
Consultorio general	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Control por horario (temporizadores)</li> <li>2. Control de demanda de ventilación</li> <li>3. Control por ajuste de operación o de trabajo (set-point)</li> </ol>
Farmacias	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Control de demanda de ventilación</li> <li>2. Control por ajuste de operación o de trabajo (set-point)</li> <li>3. Control por horario (temporizadores)</li> </ol>
Laboratorios	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Control por horario (temporizadores)</li> <li>2. Control de demanda eléctrica</li> <li>3. Control por ajuste de operación o de trabajo (set-point)</li> </ol>
Oficinas de trabajo	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Control de demanda de ventilación</li> <li>2. Control por horario (temporizadores)</li> <li>3. Control por ajuste de operación o de trabajo (set-point)</li> </ol>

Tipo de espacio	Escalafón de las 3 mejores estrategias a implementar
Salas de exposiciones	1. Control por ajuste de operación o de trabajo (set-point) 2. Control de demanda de ventilación 3. Control por presencia
Salas de reuniones	1. Control por presencia 2. Control de demanda de ventilación 3. Control de demanda eléctrica

---

## **ANEXO E. MANUAL DE USUARIO**

En esta sección se tratará lo relacionado con el manual de instrucciones que el usuario tendrá la posibilidad de leer cuidadosamente para la interpretación y manejo de la herramienta computacional, estimando por secciones las diferentes etapas y parámetros que se solicita y los resultados que se presentan.

### **E.1. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL**

La Figura 15 muestra el diagrama de flujo para el usuario, que permite comprender de manera eficaz el funcionamiento completo de la herramienta computacional.

### **E.2. PARÁMETROS ARQUITECTÓNICOS**

Estos corresponden al tipo de espacio, áreas, ventanas, paredes, techos y puertas. Ver

Figura 17.

Al acceder al programa de la herramienta computacional, se mostrará al usuario una primera ventana en el cual debe seleccionar o ingresar las características arquitectónicas del recinto o tipo de espacio donde se acondicionará. A continuación se presenta las preguntas que se le realizará al operario del programa y se da la descripción de cada una de estas:

- Tipo de espacio a acondicionar: Se hace la selección por parte del usuario del tipo de espacio que se desea ambientar, donde se despliega una lista para que se pueda escoger el lugar donde se realizara la implementación.
- Superficie total de las ventanas: Se solicita ingresar la superficie total de las ventanas que se encuentran dentro del tipo de espacio que se seleccionó, el valor ingresado debe ser en unidades del sistema internacional en [m<sup>2</sup>].
- Tipo de vidrio o persiana: Se debe seleccionar una de las opciones de la lista desplegable, la cual muestra una serie de diferentes tipos de vidrio o persianas que se encuentran disponibles en el mercado y la industria, que corresponda al material del cual están hechas las ventanas.
- Tipo de vidrio o pared: El usuario debe seleccionar de acuerdo con el tipo de espacio seleccionado, si este cuenta con paredes exteriores, vidrio ordinario o con tabiques de separación.
- Área total de las paredes: El operador del programa debe de ingresar el área total de las paredes que componen el tipo de espacio que se escogió, el valor ingresado debe ser en unidades del sistema internacional en [m<sup>2</sup>] y entre un rango de 0 a 3000 [m<sup>2</sup>].
- Superficie techo: Hace referencia al valor que el usuario debe ingresar y corresponde al total del área de la superficie del techo, que debe estar entre los valores 0 a 3000 [m<sup>2</sup>] y en unidades del sistema internacional en [m<sup>2</sup>].
- Ubicación de techo: Para esta opción el operario debe escoger entre techo en sombra y techo soleado de la lista desplegable dependiendo de su ubicación, de acuerdo con el tipo de espacio que se seleccionó.

### **E.3. CANTIDAD DE PERSONAS Y PUERTAS**

Cuando se hayan ingresado o seleccionado los valores que se requieren en los parámetros arquitectónicos, se debe pulsar en siguiente donde se muestra una nueva ventana denominada “Actividades y cantidad de ocupantes”, en el cual se le solicita al usuario que ingrese o seleccione información puntual acerca de la actividad que en el tipo de espacio se realiza y el número de personas que este mismo puede albergar. Ver Figura 18.

- Número de personas: Se debe ingresar por parte del usuario la cantidad de personas u ocupantes para el cual el tipo de espacio tiene capacidad. Con un número mínimo de una persona hasta 3000 ocupantes.

- Número de puertas: Corresponde al número de puertas que contenga el tipo de espacio seleccionado, se debe ingresar el número de puertas que van desde 1 hasta 30 puertas según corresponda.

#### **E.4. CONSUMOS DE POTENCIA**

Una vez que se han ingresado los datos por parte del usuario y realizada la debida selección de opciones que se solicitan en las ventanas previamente descritas para efectuar el cálculo en la herramienta computacional, se debe pulsar “siguiente” y aparecerá una nueva ventana que corresponde a “Consumo de potencia”, acá se recopila información sobre la potencia eléctrica que consumen los aparatos eléctricos que en el tipo de espacio se dispongan y la potencia térmica generada por la actividad de los ocupantes del lugar. Ver Figura 19.

- Actividad realizada por las personas: En esta parte se debe seleccionar de acuerdo con el desplegable la opción que corresponda al tipo de actividad que las personas realizan en el interior del espacio que se seleccionó. Estas opciones de tipo de actividad realizada son: Sentado en reposo, sentado en trabajo ligero, oficinista en actividad moderada, persona de pie, persona que pasea, trabajo sedentario, trabajo ligero taller y persona que camina.
- Potencia total de iluminación: Se debe proporcionar la información referente a la cantidad de potencia eléctrica que consume la iluminación en el tipo de espacio que se seleccionó, esta potencia lumínica debe de ingresarse en unidades del sistema internacional que corresponden a [W].
- Tipo de iluminación: De la lista desplegable se muestran los tipos de iluminación existentes en los diferentes espacios que se desean acondicionar dentro del campus central universitario, se debe seleccionar entre iluminación fluorescente, incandescente y de tipo led, según corresponda.
- Potencia total de las máquinas instaladas: Es necesario que el operario agregue el valor de la potencia en watts [W] de las maquinas eléctricas y electrónicas que se tengan instaladas en el tipo de espacio o recinto, de no existir alguna fuente de consumo de potencia se debe ingresar el valor de 0 [W].
- Eficiencia de las máquinas instaladas: Corresponde al valor de la eficiencia eléctrica promedio de las maquinas eléctricas y electrónicas que puedan existir en el espacio seleccionado, dado en [%].

## **E.5. ESTRATEGIAS, CONSUMOS, CÁLCULOS, SELECCIÓN Y MUESTRA DE EQUIPOS**

Al pulsar “siguiente” en la ventana de “consumos de potencia”, ya se ha recopilado la información suficiente para efectuar los cálculos, lo cual permite conocer y mostrar de forma eficaz los resultados del cálculo de la carga de enfriamiento necesaria para ambientar o climatizar los espacios al igual que la elección de la mejor estrategia de automatización para el espacio que se escogió. En la nueva ventana que se presenta, se muestran los totales de cargas de enfriamiento, en diferentes unidades de medida, una clasificación de las mejores estrategias de automatización, que según corresponda el tipo de análisis que se realizó están divididas en cualitativas y cuantitativas. Sumado a esto, se enseñan las tres mejores estrategias de acuerdo con la ponderación que se realizó y la energía térmica promedio requerida, cuantificada en diferentes unidades de medida y de acuerdo con el consumo, ya sea en un día o un mes. Ver Figura 20 y Figura 21.

- Consumo de potencia requerido: Hace referencia al total de la carga de enfriamiento que se requiere para climatizar los diferentes tipos de espacios, se presenta en watts [W] y [kW] para el sistema internacional de unidades, en [BTU/h] que corresponde a unidades de medida inglesa y a toneladas de refrigeración [TR] que son las principales unidades de medida en que se presentan las diversas marcas de aire acondicionado para medir su capacidad de refrigeración.
- Mejores estrategias: Se presenta en esta ventana de resultados, la clasificación de las estrategias, divididas de acuerdo con los análisis que se contemplaron, que fueron análisis cualitativo y análisis cuantitativo. De igual forma y basados en una ponderación se finaliza mostrando las tres mejores estrategias.
- Energía térmica promedio requerida: Se muestran los diferentes consumos de energía térmica que se requiere para acondicionar el lugar, cuyos valores dependen del tipo de estrategia y del tipo de espacio que se haya elegido para acondicionar. Estos valores se jerarquizan de menor a mayor consumo de acuerdo con las mejores estrategias por análisis cuantitativo. Estos valores se consideran en periodos de un día y de un mes, donde se miden tanto en unidades del sistema internacional [Wh/día y Wh/mes], unidades térmicas británicas [BTU/día y BTU/mes] y finalmente en toneladas de refrigeración [TRh/día y TRh/mes]. Para complementar esta información se muestra un gráfico de barras con el consumo en [kWh/día] de las mejores estrategias que se pueden implementar en el tipo de espacio que se desee.