

Uso Racional de la Energía: Iluminación y Climatización en Edificaciones a Partir de
Procesos de Automatización

Julián Oswaldo Flórez Reyes

Trabajo de investigación para optar por el título de Magister en Ingeniería Electrónica

Director y Co-Director:

PhD. Gabriel Ordoñez Planta, PhD. German Alfonso Osma Pinto

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Magíster en Ingeniería Electrónica

Bucaramanga

2017



Tabla de Contenido

Introducción	12
1.1 Descripción Propuesta De Investigación	21
1.2 Objetivos Generales	21
1.2.1 Objetivos Específicos	21
1.2.2 Alcance	22
1.3 Reseña Del Trabajo Desarrollado	23
2. Generalidades De La Automatización, Espacios Y Microclima	24
2.1 Generalidades De La Automatización En Edificios	24
2.2 Espacios Interiores Universidad Industrial De Santander	33
2.3 Microclima	35
2.3.1 Radiación Solar	35
2.3.2 Temperatura Ambiente	36
2.3.3 Humedad Relativa	37
3. Alternativas Tecnológicas De Sistemas Hvac E Iluminación	38
3.1 Sistemas Hvac	39
3.1.1 Sistemas Todo Aire	41
3.1.2 Sistemas Aire-Agua	42



3.1.3 Sistemas Todo Agua	42
3.1.4 Sistemas Individuales Basados En Refrigerantes	43
3.2 Sistemas De Iluminación	44
3.2.1 Luminaria	45
3.2.2 Técnicas De Iluminación Natural	50
4. Alternativas De Control Y Automatización	54
4.1 Automatización De Sistemas De Climatización	54
4.1.1 Interrupción	55
4.1.2 Apagado Temprano	55
4.1.3 Reducción De Demanda	56
4.1.4 Encendido/Apagado	56
4.1.5 Ciclo De Trabajo Agresivo	56
4.1.6 Manipulación De Set-Point	57
4.1.7 Técnicas De Integración	59
4.2 Automatización En Técnicas De Iluminación	61
4.2.1 Control De Iluminación	61
5. Metodología Para La Modificación Y Vinculación Del Cálculo De La Carga	64
5.1 Análisis De Requerimientos	65
5.1.1 Cálculo De Carga De Iluminación	65



5.1.2 Cálculo Carga De Refrigeración	68
5.2 Adecuación De Métodos	70
5.2.1 Microclima	71
5.2.2 Operación Técnicas De Control Y Automatización	71
5.2.3 Ocupación Por Recinto	73
5.2.4 Vinculación De Métodos.	75
5.3 Implementación	75
5.3.1 Método Cálculo Carga Total	75
5.3.2 Metodología De Implementación	77
6. Software De Selección	78
6.1 Sección Preguntas Solicitud De Información	79
6.2 Sección Resultados	81
6.3 Ejemplo De Operación	82
7. Conclusiones	87
Referencias Bibliográficas	90
Apéndices	99

Lista de Figuras

Figura 1. Diagrama Estructura Del Documento.	24
Figura 2. Radiación Solar Promedio, Máxima Y Mínima Diaria Para 2014 Y 2015.	36
Figura 3. Temperatura Ambiente Promedio, Máxima Y Mínima Para 2014 Y 2015.	37
Figura 4. Humedad Relativa Diaria 2014 Y 2015	38
Figura 5. Diagrama Esquemático Sistema De Refrigeración Convencional.	40
Figura 6. Operación Técnica De Encendido/Apagado, Apagado Temprano, Interrupción Y Reducción De Demanda.	55
Figura 7. Operación Técnicas Línea Base, Step Up Y Incremento Lineal.	58
Figura 8. Operación Pre Enfriamiento Extendido Con Pre Ajuste	60
Figura 9. Cinco Periodos De Programación.	60
Figura 10. Metodología De Desarrollo.	64
Figura 11. Esquema De Cálculo Carga Iluminación.	66
Figura 12. Esquema De Cálculo Carga Refrigeración	68
Figura 13. Micro Clima Por Hora	71
Figura 14. Implementación Métodos Acondicionados Y Vinculados.	77
Figura 15. Sección De Preguntas	80
Figura 16. Sección De Resultados.	81

Lista de Tablas

Tabla 1. Proyectos De Redes Eléctricas Y Aire Acondicionado Desde 2007	16
Tabla 2. Edificios Campus Central.	34
Tabla 3. Recintos Característicos Del Campus Central.	35
Tabla 4. Ventajas, Desventajas Y Aplicaciones De Hvac	43
Tabla 5. Ventajas Y Desventajas De La Lámpara Led.	45
Tabla 6. Ventajas/Desventajas De La Luminaria Incandescente.	46
Tabla 7. Ventajas/Desventajas De La Lámpara Halógena	47
Tabla 8. Ventajas/Desventajas De La Lámpara Fluorescente.	48
Tabla 9. Ventajas/Desventajas Lámpara CFL	49
Tabla 10. Clasificación De Los Sistemas De Iluminación Natural.	52
Tabla 11. Requisitos Método Calculo Iluminación	67
Tabla 12. Requisitos Método Calculo Refrigeración.	69
Tabla 13. Operación Técnicas Control Automatización A	72
Tabla 14. Operación Técnicas Control Automatización B	72
Tabla 15. Perfil De Ocupación Por Recinto	74
Tabla 16. Parámetros De Cálculo De Carga Versus Requerimientos Para El Usuario.	76
Tabla 17. Combinación Técnicas Iluminación Y Ventilación.	78
Tabla 18. Ejemplos De Operación	82
Tabla 19. Cambio De Parámetros Aula De Clase	83
Tabla 20. Cambio De Parámetros Oficina	85



Lista de Apéndices

Apéndice A. Calculo Carga De Iluminación	99
Apéndice B. Calculo De Carga De Enfriamiento	131

RESUMEN

USO RACIONAL DE LA ENERGÍA: ILUMINACIÓN Y CLIMATIZACIÓN EN EDIFICACIONES A PARTIR DE PROCESOS DE AUTOMATIZACIÓN*

AUTOR: JULIAN OSWALDO FLOREZ REYES[†]

PALABRAS CLAVE: URE, automatización, climatización, iluminación.

DESCRIPCIÓN:

Los sistemas de iluminación y climatización en edificaciones tradicionalmente no cuentan con criterios de diseño orientados a la sostenibilidad, ocasionando importantes emisiones de CO₂. La automatización de estos sistemas, permite disminuir entre el 20% y 40% el consumo de energía eléctrica de la edificación. Este trabajo de investigación presenta un aplicativo basado en Excel que permite establecer el potencial ahorro energético tras la aplicación de técnicas de automatización en los recintos de la Universidad Industrial de Santander. En particular el aplicativo considera para ello las características micro climáticas, de espacio y uso de los recintos interiores de la Universidad Industrial de Santander, junto a el perfil de operación y funcionamiento de diversas técnicas de automatización de sistemas de iluminación y climatización. Estas características se incorporan en un método de cálculo de carga energética global para la iluminación y climatización de recintos interiores. Los resultados del proyecto son: (1) la caracterización de tecnologías aplicables a sistemas de automatización en la iluminación y climatización, (2) la determinación de estrategias de automatización aplicables a los sistemas de iluminación y climatización, (3) la descripción energética y física del recinto, (4) el desarrollo de una herramienta computacional para el diseño de sistemas de automatización en la iluminación y climatización de edificaciones.

* Trabajo de investigación para optar por el título de Magister en Ingeniería Electrónica

[†] Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director Dr. Gabriel Ordoñez Plata, Co-director Dr. German Alfonso Osma Pinto

ABSTRACT

RATIONAL USE OF ENERGY: ILLUMINATION AND CLIMATIZATION IN BUILDINGS
FROM AUTOMATION PROCESSES[‡]

AUTHOR: JULIAN OSWALDO FLOREZ REYES[§]

KEYWORDS: RUE, Automation, air conditioning, lighting.

DESCRIPTION:

Lighting and air conditioning systems in buildings traditionally do not have sustainability-oriented design criteria, resulting in significant CO₂ emissions. The automation of these systems allows for the reduction of 20% and 40% of consumption of electrical energy in the building. This research work presents an application based on basic visual Excel that makes it possible to begin saving potential energy after the application of automation techniques on the premises of the Industrial University of Santander (Universidad Industrial de Santander). The application considers characteristics of micro-climatic, space and use of the interior spaces of the Industrial University of Santander, along with the operational profile of various automation techniques for lighting and air conditioning systems. These characteristics are incorporated in a method of calculation of global energy load for the illumination and air conditioning of indoor spaces. The results of the project are: (1) characterization of technologies applicable to automation systems in lighting and air conditioning, (2) determination of automation strategies applicable to lighting and air conditioning systems, (3) energy and physical description (4) the development of a computational tool for the design of automation systems in the lighting and air conditioning of building.

[‡] Research work to opt for the title of Master in Electronic Engineering

[§] Physical-Mechanical Engineering Faculty. Electrical, Electronics and Telecommunications School. Advisor PhD. Gabriel Ordoñez Plata, Co-Advisor PHD. German Alfonso Osma Pinto

Introducción

El planeta se enfrenta a un gran reto energético, que es el crecimiento continuo de la demanda mundial de energía. En 2050, según la *International Energy Agency* (IEA), la demanda de energía se duplicará con el fin de mantener el ritmo de crecimiento demográfico, económico e industrial en todo el mundo (International Energy Agency, 2011).

De igual forma, el *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) enfatiza la necesidad de reducir a la mitad la cantidad de emisiones de *gases de efecto invernadero* (GEI) en comparación con los niveles de 1990 para evitar que se presente un cambio climático que afectaría a todos los seres vivos en el mundo (Schneider Electric & O'Mara, 2012).

Estos GEI provocan severas condiciones climáticas, como las olas de calor y frío, lo cual ocasiona una intensa presión sobre los sistemas de redes eléctricas, lo que puede dar lugar a cortes de energía, conllevando un impacto negativo directo sobre la calidad de vida de los individuos y de la capacidad de las empresas para llevar a cabo negocios de manera eficiente (Schneider Electric & O'Mara, 2012). Un ejemplo de ello se presenta en Kuwait, donde en el 2010 ya se tenía utilizada el 98,5% de la capacidad de su red eléctrica, según la Administración de Información de Energía. Con el fin de solucionar esta situación problemática, Europa espera invertir un billón de euros hasta el año 2020 en su infraestructura de energía para garantizar la fiabilidad de este servicio (European Commission, 2011).

Un escenario común de análisis de esta situación son las edificaciones, por ser obras de construcción cubierta de carácter permanente (Romero Morales, Castro Lozano, & Vazquez Serrano, 2007), en la que sus ocupantes pasan una parte significativa de su vida en el desarrollo de diversas actividades. Por lo cual, es fundamental mantener un ambiente sano y cómodo para el bienestar y la productividad de sus habitantes (Dounis & Caraiscos, 2009; Yang & Wang, 2013), manteniendo niveles adecuados de iluminación, temperatura, calidad del aire interior, entre otros (Dounis & Caraiscos, 2009), dado que, en promedio, las personas pasan el 80% del tiempo en los edificios (Y. N. Wang & Su, 2008).

Siendo el componente energético de una edificación un factor de alto impacto sobre el medio ambiente, en particular las contribuciones asociadas a los sistemas de iluminación y climatización, se considera pertinente el planteamiento de estrategias para el uso racional de la energía en estos sistemas (Ma, Cooper, Daly, & Ledo, 2012; Yang & Wang, 2013). El consumo energético asociado con la operación de las edificaciones representa entre el 30% y 60% del consumo energético mundial (Allen et al., 2013; Castro-Lacouture, Sefair, Flórez, & Medaglia, 2009; C. Chen, Cook, & Crandall, 2013; Siemens Building Technologies, 2013; Yang & Wang, 2013), y de éste, cerca del 50% se debe a consumo generado por climatización (refrigeración y calefacción) (Pulselli, Simoncini, & Marchettini, 2009) y un 20% corresponde a iluminación (Hong, 2009).

La implementación de una red más verde y más inteligente, con más fuentes de energía renovables, se considera parte de la solución. En este contexto, los edificios verdes pueden desempeñar un papel importante, dado que estos edificios pueden reducir su demanda, así como generar y almacenar energía y aportar a la red eléctrica excedentes de energía o cuando la red eléctrica más lo necesite. En otras palabras, los edificios pueden responder a las necesidades tanto por la reducción del consumo como por el aporte de energía almacenada a la red, garantizando así la fiabilidad

y continuidad del servicio y mejora en la calidad de vida de la comunidad (Schneider Electric & O'Mara, 2012).

Una de las estrategias para el uso racional de la energía en edificaciones consiste en la operación inteligente y racional de los sistemas de iluminación y climatización a partir de la automatización, lo cual permite generar ahorros energéticos y financieros (Schneider Electric & O'Mara, 2012).

En el diseño y selección de sistemas de automatización para edificaciones se pueden considerar diversas estrategias que permitan mantener un nivel de iluminación y temperatura interior de acuerdo a un rango especificado, aprovechando las condiciones climáticas y estructurales del sitio, al igual que proveer iluminación y climatización basada en horarios de ocupación e intensidad de luz natural existente (Romero Morales et al., 2007; Siemens Building Technologies, 2013; Yang & Wang, 2013).

El uso de sistemas de automatización de edificaciones (*building automation systems* - B.A.S) es una tendencia mundial, ya que estos sistemas permiten el desarrollo de edificaciones orientadas al uso racional de la energía consumida durante su operación (Figueiredo & Martins, 2010; Loveday, Virk, Cheung, & Azzi, 1997; Schneider Electric & O'Mara, 2012). Los BAS proveen funcionalidad avanzada de control y monitorización de los sistemas mecánicos y eléctricos de un edificio (Construdata, 2011), gestionados de tal forma que su operación reduzca de forma significativa el consumo energético sin afectar la funcionalidad y comodidad de los habitantes (Co-funded under the Intelligent Energy – Europe Programme of the European Union, 2012).

Los sistemas de automatización de un edificio pueden ser implementados de forma parcial o total, permitiendo el uso de manera flexible de sistemas descentralizados o centralizados según sean las particularidades del espacio a automatizar (S. Wang, Xu, Li, Hong, & Shi, 2004; Y. N.

Wang & Su, 2008). Un reto inherente en el proceso, aunque a veces ignorado, es lograr de forma significativa el uso racional de la energía - URE, lo cual es deseable debido al alto y perjudicial impacto ambiental que ocasiona el consumo de energía eléctrica. Por ello, el URE es pilar fundamental de la cultura de desarrollo sostenible para la disminución del impacto ambiental de sus operaciones directas e indirectas (Universidad Industrial de Santander, 2011).

Actualmente, en el sector colombiano de la construcción, solo a veces se considera en sus proyectos de construcción, remodelación y adecuación de planta física, criterios de uso racional de la energía, lo que en general no va más allá de la instalación de equipos de alta eficiencia e implementación de sistemas de automatización por tendencia sin búsqueda de un resultado serio (Osma & Ordóñez, 2010).

Como caso particular, la Universidad Industrial de Santander se encuentra en una dinámica de fortalecimiento de su infraestructura física, del reforzamiento estructural y ampliación vertical de las edificaciones que datan de los años 60 y 70. Tal fortalecimiento tiene por objeto atender necesidades de la comunidad universitaria, a partir de la creación y el mejoramiento de espacios como aulas de clase, oficinas de profesores, laboratorios, áreas administrativas y zonas sanitarias, entre otros.

Este proceso inició de manera intensa desde el año 2008, y según la Unidad de Planeación UIS, puede continuar varios años más de forma intensiva hasta el año 2020, aproximadamente.

Desde el año 2005, las intervenciones de construcción y adecuación de la planta física de la UIS han sido diversas, donde se destacan el suministro, montajes, adecuación, construcción y puesta en marcha de redes eléctricas y sistemas de aire acondicionado, tal como se muestra en la Tabla 1. Sin embargo, en general no se han dado especificaciones de diseño que propendan por el URE más

allá de buscar equipos de alta eficiencia energética, por lo cual se considera como un problema el diseño no sostenible de estos proyectos.

Tabla 1.

Proyectos de redes eléctricas y aire acondicionado desde 2005.

Proyecto**	Automatizado	Descripción
2005: Construcción De Las Redes Eléctricas Y Cableado Estructurado Del Edificio De Ciencias Humanas	No	Construcción Típica De Red Eléctrica Sin Incluir Sistemas De Control O Automatización
2005: Suministro, Montaje Y Puesta En Funcionamiento Del Sistema De Aire Acondicionado Para El Edificio De Ciencias Humanas	No	No Incluye Sistema De Automatización
2005: Construcción De Las Redes Eléctricas Y De Comunicaciones Del Edificio Centro De Tecnologías De Información Y Comunicación “Centic”	No	No Incluye Sistema De Automatización
2005: Suministro, Montaje Y Puesta En Funcionamiento De Los Sistemas De Aire Acondicionado Y Ventilación Mecánica Para El Edificio Del Centic	Si	Sistema De Automatización Aplicada Tipo Ddc.
2007: Adecuaciones Civiles, Arquitectónicas Y Eléctricas Del Edificio De Administración Ii	No	Construcción Típica De Red Eléctrica Sin Incluir Sistemas De Control O Automatización

** Procesos de contratación mediante licitación disponibles por año en: https://www.uis.edu.co/procesos_contratacion/index.jsp

2007: Suministro, Montaje Y Puesta En Funcionamiento Del Sistema De Aire Acondicionado Para El Edificio De Administración Ii	Si	Interface Para El Sistema De Automatización (B.A.S.), Para Cada Enfriador Y Sus Centros De Control.
2007: Adecuaciones Civiles, Arquitectónicas Y Eléctricas Del Edificio De Ingeniería Química	No	Construcción Típica De Red Eléctrica Sin Incluir Sistemas De Control O Automatización
2007: Suministro, Montaje Y Puesta En Funcionamiento Del Sistema De Aire Acondicionado Y Ventilación Mecánica - Fase I, Para El Edificio De Ingeniería Química	Si	Interface Para El Sistema De Automatización (B.A.S.), Para Cada Enfriador Y Sus Centros De Control.
2008: Suministro, Montaje Y Puesta En Funcionamiento Del Nuevo Sistema De Aire Acondicionado Y Ventilación Mecánica Para El Edificio De Biblioteca	Si	Unidad Con Interface Para El Sistema De Automatización (B.A.S.), Para Ser Conectada Al Sistema De Control De La Uis, Via Bac Net.
2008: Reestructuración Del Sistema Eléctrico De Los Edificios Camilo Torres, Laboratorios Livianos Y Laboratorios De Posgrados	No	Construcción Típica De Red Eléctrica Sin Incluir Sistemas De Control O Automatización
2009: Adecuaciones Civiles, Arquitectónicas, Eléctricas Y De Comunicaciones Para La Modernización Y Ampliación De La Planta Física Del Edificio De Ingeniería Industrial	No	Construcción Típica De Red Eléctrica Sin Incluir Sistemas De Control O Automatización
2010: Construcción De Las Instalaciones Eléctricas Y De Telecomunicaciones Para El Edificio De Investigaciones En La Sede Uis Guatiguara	No	Construcción Típica De Red Eléctrica Sin Incluir Sistemas De Control O Automatización
2011: Obras Civiles, Arquitectónicas, Eléctricas Y De Comunicaciones Para La Modernización Y Ampliación De La	Si	Incluye Sistema De Automatización



Planta Física Del Edificio De Ingenieria Electrica, Electronica Y Telecomunicaciones		
2011: Adecuaciones Civiles, Arquitectónicas Y Eléctricas Para La Ampliación Y Modernización De La Infraestructura Física De La Sede Barrancabermeja	No	Construcción Típica De Red Eléctrica Sin Incluir Sistemas De Control O Automatización
2010: Suministro, Montaje Y Puesta En Funcionamiento Del Sistema De Aire Acondicionado Y Ventilación Mecánica Para La Nueva Sede De La Litoteca Nacional En El Parque Tecnológico Guatiguará	No	Construcción Típica De Red Eléctrica Sin Incluir Sistemas De Control O Automatización
2010: Instalaciones Eléctricas Y De Comunicaciones De Uso Final Para Las Áreas Administrativas Y De Aprendizaje Del Edificio De La Biblioteca En La Sede Barbosa	No	Construcción Típica De Red Eléctrica Sin Incluir Sistemas De Control O Automatización
2012: Construcción Del Cuarto Y Quinto Piso Del Edificio Roberto Serpa Flórez: Reforzamiento Estructural, Acabados Arquitectónicos, Redes Hidrosanitarias Y Redes Eléctricas Y De Comunicaciones	No	Construcción Típica De Red Eléctrica Sin Incluir Sistemas De Control O Automatización
2013: Suministro, Instalación, Implementación E Integración De Los Sistemas De Seguridad, Control Y Automatización, B.M.S., Para La Nueva Sede De La Litoteca Nacional En El Parque Tecnológico Guatiguará	Si	Sistema Bas Para Ventilación Iluminación
2013: Instalaciones Eléctricas Y De Comunicaciones De Uso Final Para Las Áreas Administrativas Y De Aprendizaje Del Edificio De La Biblioteca En La Sede Barbosa	No	Construcción Típica De Red Eléctrica Sin Incluir Sistemas De Control O Automatización
2016: Construcción De La Infraestructura Física Para El Mejoramiento De Los Laboratorios De La Escuela De Ingeniería Mecánica: Obras Estructurales, Acabados Arquitectónicos, Redes Hidrosanitarias, Red De Gases Especiales, Red Contraincendios, Redes Eléctricas Y De	Si	Sistema Bas Para Ventilación, Iluminación Y Acceso.

Comunicaciones, Ascensores, Sistema De Automatización Y Sistemas De Aire Acondicionado		
2016: Adecuaciones Arquitectónicas, Eléctricas, De Comunicaciones, Hidrosanitarias Y Aire Acondicionado De Los Salones 116, 117, 118 Y 119 Del Instituto De Lenguas.	No	Construcción Típica De Red Eléctrica Sin Incluir Sistemas De Control O Automatización
2016: Adecuaciones Civiles, Arquitectónicas, Hidrosanitarias Y Eléctricas Para La Modernización De Las Baterías Sanitarias Del Edificio De Biblioteca, Diseño Industrial, Ciencias Humanas, Mecánica Y Música	No	Construcción Típica De Red Eléctrica Sin Incluir Sistemas De Control O Automatización
2017: Reforzamiento Estructural Y Modernización Del Costado Oriental Del Edificio Jorge Bautista Vesga: Reforzamiento Estructural, Acabados Arquitectónicos, Redes Hidrosanitarias, Red Contra incendios, Redes Eléctricas Y De Comunicaciones, Sistema De Automatización Y Sistemas De Aire Acondicionado	No	Automatización En Control De Acceso Y Descarga Batería Sanitaria
2014: Suministro, Montaje Y Puesta En Funcionamiento De Los Sistemas De Aire Acondicionado Para La Adecuación Del Edificio De Ciencias Humanas Y Para La Reforma Y Reestructuración De Las Colecciones De Referencia Y Sus Laboratorios Asociados, Y De La Sala De Exhibición Del Museo De Historia Natural Uis	No	Construcción Típica De Red Eléctrica Sin Incluir Sistemas De Control O Automatización
2014: Adecuaciones Arquitectónicas, Eléctricas, De Comunicaciones E Hidrosanitarias Del Departamento De Patología De La Escuela De Medicina En La Facultad De Salud De La Uis	Si	Sensores De Movimiento Control Luminarias

Entre los proyectos desarrollados se destaca el Centro de Tecnologías de Información y Comunicación – CENTIC por la implementación de un sistema B.A.S, que tiene como objetivo mejorar

las condiciones de confort en las diferentes áreas del edificio, permitiendo el control de temperatura en los diferentes espacios o áreas, programación del encendido / apagado de las unidades, ajuste de puntos de operación y lograr un importante ahorro energético durante eventos de ocupación por debajo de condiciones de diseño o de condiciones ambientales exteriores favorables.

Asimismo, se da cuenta de la remodelación del Edificio de Ingeniería Eléctrica, donde se ha integrado un sistema de automatización que cobija dentro de su alcance, la interacción del sistema de iluminación y climatización con orientación al ahorro energético. Sin olvidar que las obras de mejoramiento en ejecución sobre los laboratorios de la escuela de ingeniería mecánica, contará con un sistema de iluminación controlado por software, capas del manejo eficiente de diferentes escenarios y un sistema de calidad del aire con sensado de niveles de temperatura y confort.

Sin embargo, la implementación de sistemas de automatización en la construcción o remodelación de edificios del Campus Universitario no tiene lineamientos claros. Un ejemplo de ello es el Edificio Administración II, el cual cuenta con la interfaz requerida para comunicar el sistema de aire acondicionado con el sistema de control y automatización del CENTIC, pero no tiene desarrollado un sistema propio que le permita controlar sus características de operación, generando que las estrategias de automatización diseñadas para el sistema B.A.S del CENTIC, sean implementadas en ambientes del Edificio Administración II, siendo diferente para las cuales fueron diseñadas.

Adicionalmente, están los proyectos de sistemas de aire acondicionado de los edificios de Ingeniería Química y de Ingeniería Industrial, que no han sido gestionados de forma intensiva.

En general, se evidencia lo siguiente: 1) la falta de criterios URE para el diseño de la automatización en iluminación y climatización, 2) la no implementación de medios que permitan ajustar de

manera automática la iluminación y la temperatura según necesidades del espacio, 3) el uso exclusivo de unidades de aire acondicionado como estrategia de confort térmico si los recursos financieros son suficientes, 4) el no aprovechamiento de condiciones naturales del recinto, como luz natural y corrientes de aire.

Por consiguiente, es pertinente definir criterios de diseño para la automatización de aplicaciones energéticas orientadas al URE en edificaciones para los sistemas de iluminación y climatización.

El mejoramiento de la sostenibilidad energética de los proyectos, fortalecerá la imagen institucional de la Universidad Industrial de Santander.

1.1 Descripción Propuesta de Investigación

Este numeral describe los objetivos y alcances de esta investigación.

1.2 Objetivos Generales.

Establecer lineamientos de diseño para la automatización de servicios de iluminación y climatización orientados al menor consumo energético según las características específicas de los espacios interiores de edificaciones existentes, a construirse o a remodelarse en el campus central de la Universidad Industrial de Santander.

1.2.1 Objetivos Específicos.

- Caracterizar alternativas tecnológicas existentes en el mercado colombiano aplicables a sistemas de automatización en la iluminación y la climatización de espacios interiores de edificaciones.

- Determinar estrategias de automatización aplicables a los sistemas de iluminación y de climatización para espacios interiores en los edificios del campus de la Universidad industrial de Santander.
- Establecer una metodología para la definición de lineamientos de diseño de la automatización de los servicios de iluminación y de climatización de conformidad al uso, las características físicas y la influencia climática particulares en un espacio.
- Desarrollar una herramienta computacional con los lineamientos de diseño generales y específicos por espacio a ser considerados en la formulación del diseño de un sistema de automatización de edificaciones.

1.2.2 Alcance. A continuación, se expone el alcance de los objetivos de la propuesta de investigación.

Para el objetivo específico N° 1, se determinaron las características de operación de soluciones de automatización de sistemas de iluminación y climatización existentes en el mercado, tales como potencia, eficiencia y ambientes de operación.

Para el objetivo específico N° 2, de acuerdo a la oferta tecnológica comercial y el análisis de sus características de operación, se determinaron un conjunto de estrategias según las características específicas por espacio para edificios del campus de la Universidad Industrial de Santander.

Para el objetivo específico N° 3, se estableció una metodología para la definición de los lineamientos adecuados a ser implementados en la automatización de los sistemas de climatización e iluminación de acuerdo a las características específicas de las edificaciones del campus de la Universidad Industrial de Santander.

Para el objetivo específico N° 4, se desarrolló un aplicativo sobre Visual Basic integrado en EXCEL que permite implementar la metodología de definición de lineamientos, que tiene en cuenta la información de las diversas técnicas de automatización de sistemas de climatización e iluminación, las características técnicas de los elementos usados en la automatización, y características de comportamiento de temperatura, ventilación e iluminación natural, descripción energética y física del sitio.

1.3 Reseña del Trabajo Desarrollado

Este documento se organiza para exponer las estrategias de automatización y control para los sistemas de iluminación y climatización que mejor se adaptan a las características climáticas y funcionales presentes en el campus de la Universidad Industrial de Santander. La Figura 1 describe la estructura de este documento y la integración realizada en los sistemas de control y automatización en iluminación y climatización.

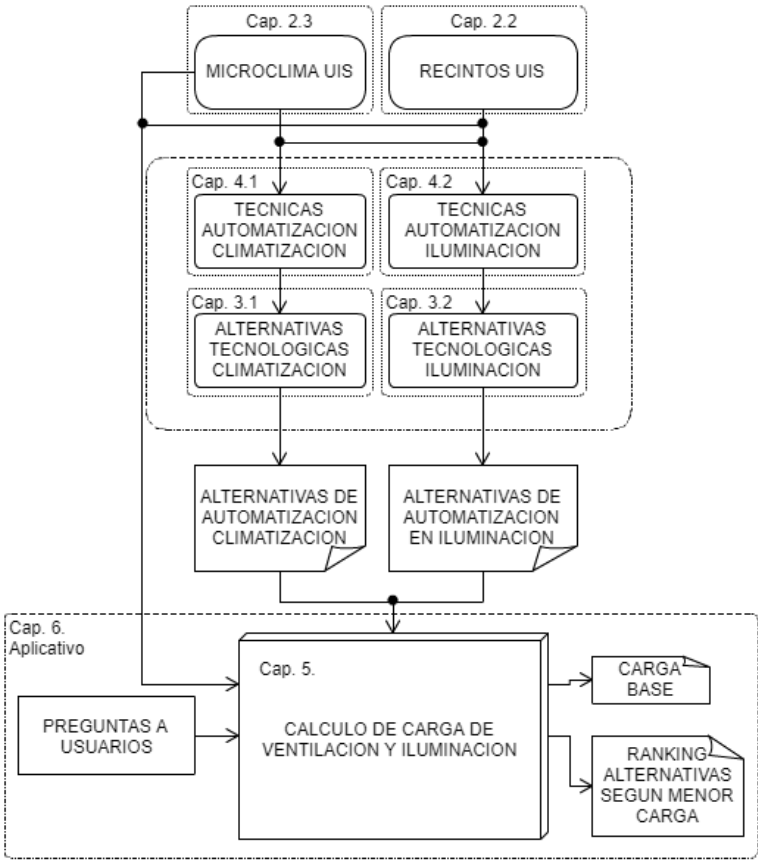


Figura 1. Diagrama estructura del documento.

2. Generalidades de la Automatización, Espacios y Microclima

Este capítulo describe la automatización en edificios, junto a las normativas y regulaciones que las rigen, adicionalmente se expone los diferentes espacios, recintos y microclima que tiene la Universidad industrial de Santander; insumo base para el desarrollo de esta investigación.

2.1 Generalidades de la Automatización en Edificios

Las actividades que se desarrollan en las edificaciones ocasionan impacto ambiental durante todo su ciclo de vida (construcción, operación, y demolición) (Ma et al., 2012; Yang & Wang, 2013), debido en gran parte al consumo de energía. De manera particular el impacto en el consumo energético de una edificación durante su uso y operación es tal que representa entre el 30% y el 60% del consumo energético total mundial (Allen et al., 2013; Castro-Lacouture et al., 2009; C. Chen et al., 2013; Siemens Building Technologies, 2013; Yang & Wang, 2013); del cual el 50% corresponde al consumo energético derivado de la climatización del edificio (refrigeración y calefacción) (Pulselli et al., 2009) y un 20% a los sistemas de iluminación. En general cerca del 85% de la energía consumida durante su ciclo de vida, es energía eléctrica derivada de su operación (Hong, 2009).

La automatización de edificios se conoce como inmótica, y pretende incorporar al equipamiento de los edificios, los sistemas de gestión técnica automatizada de las instalaciones; con el objetivo de reducir el consumo energético, aumentar el confort y la seguridad de los mismos (Bonino & Corno, 2011); al igual que la coordinación y gestión de la capacidad de comunicación (Huidobro Moya & Millan Tejedor, 2007). Los aspectos a controlar y gestionar con la automatización de un edificio son:

- a) Confort: la gestión del confort es la encargada de facilitar al usuario la obtención de un mayor nivel de comodidad en las actividades que desarrolle dentro del edificio (Romero Morales et al., 2007). Entre las aplicaciones incluidas por el confort se tiene la regulación de la iluminación y de la temperatura, entre otras. Esto se logra mediante la regulación automática de la iluminación según el nivel de iluminancia natural a partir de la supervisión

automatizada con dispositivos electrónicos (Romero Morales et al., 2007). Un clima interior satisfactorio tiene un efecto positivo en los usuarios de las edificaciones ya que mejora la motivación y la concentración, lo que supondría un aumento de rendimiento (Siemens Building Technologies, 2013).

- b) Energía: Se busca gestionar el consumo energético mediante la programación y la zonificación de la climatización, la racionalización de cargas eléctricas y el control de iluminación y climatización, al igual que la gestión de tarifas (Romero Morales et al., 2007).
- c) Seguridad: Su objetivo principal es la protección de los usuarios y la infraestructura frente a los distintos agentes y/o factores que ponen en peligro la seguridad, mediante el control de acceso, detección de intrusos, detección de incendios y averías, entre otros (Romero Morales et al., 2007).
- d) Comunicaciones: Se encarga de captar, transportar, almacenar, procesar y distribuir datos o información (Romero Morales et al., 2007).

La calidad de vida en los edificios está determinada por tres factores: confort térmico, confort visual y la calidad del aire interior (IAQ) (Emmerich et al., 2009; Emmerich & Persily, 2001; Fanger, 1970). El confort térmico, se expresa en el ambiente térmico ideal, tal que los ocupantes no expresan ninguna sensación de calor o frío. La condición es un estado neutro en el cual el cuerpo no necesita tomar ninguna acción en particular para mantener su propio balance térmico.

La temperatura neutra de la piel es alrededor de 33°C y las sensaciones de calor o frío son producidas cuando la temperatura ambiente está arriba o abajo de esta (Emmerich & Persily, 2001; Fanger, 1970). Los valores de referencia internacionales y las disposiciones mínimas para las condiciones ambientales de los lugares de trabajo, en cuanto al ambiente térmico, que deben cumplirse

son los siguientes: La temperatura de los locales donde se realicen trabajos sedentarios propios de oficinas o similares estará comprendida entre 17°C y 27°C. Donde se realicen trabajos ligeros estará entendida entre 14°C y 25°C. La humedad relativa estará comprendida entre el 30% y el 70%, excepto en los locales donde existan riesgos por electricidad estática en los que el límite inferior será el 50%.

Los valores y referencias están en distintas normas nacionales e internacionales, por ejemplo: la Norma UNE- EN-ISO 7730/1996, “Ambientes térmicos moderados” o en el borrador de norma europea PrENV-1752/1997 “Ventilation for buildings. design criteria for the indoor environment”. La primera está incluida en la Instrucción Técnica Complementaria ITE 02.2.1 “Bienestar térmico”, del Reglamento de Instalaciones térmicas en los edificios (Real Decreto 1751/1998, de 31 de julio).

Adicionalmente, en el documento de la guía técnica para el análisis de exposición a factores de riesgo ocupacional, se pueden apreciar las siguientes normas para condiciones termo higrométricas que a continuación se relacionan: para calor el WBGT ISO 7243 e ISO 7923. Frío ISO 11079 e ISO 15753. Para la humedad existe la ISO 7730, ISO 7243, ISO 15753 (K. Chen, Jiao, & Lee, 2006; Fanger, 1970) (Dounis & Caraiscos, 2009) (ISO 7730 International Standard, 1994).

Por otra parte, el confort visual es determinado por el nivel de iluminación y el resplandor, debido a la incidencia de los rayos de sol de forma directa. Una iluminación correcta permite distinguir las formas, colores, objetos, y que todo ello, se realice fácilmente sin ocasionar fatiga visual. A la hora de diseñar un ambiente luminoso adecuado para la visión, es necesario atender a la luz proporcionada y a que esta sea la más adecuada. Una distribución inadecuada de la luz puede provocar dolores de cabeza, incomodidad visual, errores, fatiga visual, confusiones, accidentes y sobre todo la pérdida de visión.

Para asegurar el confort visual hay que tener en cuenta tres condiciones básicas, el nivel de iluminación, los deslumbramientos y los contrastes. Un buen sistema de iluminación debe asegurar suficientes niveles de iluminación en los puestos de trabajo y en sus entornos. Los lugares de trabajo han de estar iluminados preferentemente con luz natural, pero de no ser suficiente o no existir, deberá ser complementada con luz artificial. Será una iluminación general, complementada a su vez por luz localizada cuando la tarea así lo requiera (Dounis & Caraiscos, 2009).

La calidad del aire interior se determina mediante la concentración de CO_2 , la cual proviene de la presencia de habitantes en el edificio (Emmerich et al., 2009; Emmerich & Persily, 2001); adicional se deben tener en cuenta otras fuentes de contaminación como los $\text{NO}_x^{\dagger\dagger}$, el total de partículas orgánicas e inorgánicas volátiles respirables, entre otros (Dounis & Caraiscos, 2009).

Algunas estrategias utilizadas para la gestión de la energía son la priorización de la conexión de carga, la cual permite la desconexión de la carga eléctrica en función del consumo eléctrico (Romero Morales et al., 2007) o una tasa máxima de consumo simultáneo y un orden de prioridades de cargas (Huidobro Moya & Millan Tejedor, 2007).

El uso de tarifas especiales, aprovechando las horas valle donde es más económico el kWh con el de programar el uso de equipos de mayor consumo energético (Romero Morales et al., 2007), mediante la desconexión selectiva de carga; al igual que el uso de sistemas acumuladores de agua caliente, calefacción por acumulación (Huidobro Moya & Millan Tejedor, 2007), acumulación

^{††} El término óxidos de nitrógeno (N_xO_y) se aplica a varios compuestos químicos binarios gaseosos formados por la combinación de oxígeno y nitrógeno.

energética alimentada en los horarios de menor costo (Romero Morales et al., 2007), o mayor oferta de energía generada en sitio, para luego entregarla según sea la necesidad.

La zonificación de la climatización permite dividir el edificio en varias zonas independientes de regulación y programación de acuerdo con sus requisitos de uso o condiciones térmicas (Huidobro Moya & Millan Tejedor, 2007). Habilitando al sistema para ser activado por zona según horario-calendario, presencia, temperatura y humedad (Romero Morales et al., 2007).

La detección y modelado de la ocupación del edificio es importante para la gestión energética (Yang & Wang, 2013). La determinación de las actividades de los ocupantes se basa principalmente en la recolección y análisis de datos provenientes de una red de sensores (Dodier, Henze, Tiller, & Guo, 2006). Los datos de ocupación pueden ser utilizados para desarrollar patrones de ocupación y simulación de demanda energética (Richardson, Thomson, & Infield, 2008).

Un sistema integrado de comunicación entre los equipos y subsistemas independientes para que la comunicación mutua sea fluida (Huidobro Moya & Millan Tejedor, 2007), ofrece la posibilidad de supervisar y controlar funciones como temperatura, humedad, iluminación, detección de incendios y de seguridad, entre otras; al tiempo proporciona señalización de alarmas de detección de fallos (Loveday et al., 1997). Se espera que los sistemas reduzcan el número de operaciones para lograr su cometido, aumente la facilidad de uso y comodidad del usuario (Kaiser, 2008).

Los sistemas integrados de un edificio se definen como el sistema de gestión automatizada responsable de la recolección de datos, la toma de decisiones y la ejecución de maniobras. Estos sistemas son conocidos como *Building Automation Systems* (BAS) (Loveday et al., 1997); integrado por sistemas de telecomunicaciones, sistemas de automatización de oficinas, sistemas de

gestión computarizada de edificios y sistemas de gestión de producción energética o EPSM (Figueiredo & Martins, 2010).

Los sistemas BAS buscan la interoperabilidad entre el control y la automatización de los diferentes sistemas de las edificaciones, para así obtener mejores resultados respecto de los sistemas individuales y no interoperables (S. Wang et al., 2004). El desarrollo de la electrónica y las comunicaciones han proporcionado interfaces más sólidas para la comunicación entre el sistema de automatización del edificio y el usuario (Schein, 2007). Adicionalmente, la seguridad también ha impulsado el desarrollo de sistemas automáticos que se integrarán en la automatización de edificios, tales como sistemas para la detección de fugas de gas, inundaciones e incendios. Además, se integran los sistemas cerrados de televisión, los dispositivos de lectura de huellas digitales y la identificación de patrón de la retina o de voz (Dounis, Tiropanis, Argiriou, & Diamantis, 2011; Figueiredo & Sá da Costa, 2012).

En los sistemas BAS, la automatización y control adecuado de los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) representaría un ahorro energético entre un 20% y 30% del consumo total mundial (Imbabi, 1990). La gestión de los sistemas de HVAC que permite responder al confort térmico demandado y al ahorro energético se basa en el desarrollo adecuado de tres áreas, (1) el desarrollo de modelos térmicos dinámicos (Loveday et al., 1997), (2) la implementación de modelos dinámicos para la detección, localización y predicción de presencia (Yoshida & Kumar, 1999) y (3) el estudio de la influencia de la temperatura del aire, movimiento del aire, temperatura radiante y humedad en el confort de los ocupantes (Hanqing et al., 2006; Hwang, Lin, & Kuo, 2006; Krüger & Zannin, 2004; McQuiston, Parker, & Spitler, 2010). De igual manera, se deben considerar criterios como la influencia en la radiación solar, la influencia de la

temperatura exterior, ubicación del recinto respecto al perímetro del edificio, volumen del espacio y el tipo de actividad que se realiza en el recinto (Banyeras & Barreras, 2010).

Al igual que los sistemas de HVAC, los sistemas de iluminación pueden ser sobre dimensionados al no tener en cuenta características del espacio plenamente funcional y mal dimensionarse con una potencia de 7 W/m^2 a 13 W/m^2 . Esto debe evitarse incluyendo las características del espacio sumado con un sistema de control que reduzca el uso durante periodos no ocupados, un uso efectivo de la iluminación natural y controles de intensidad los cuales podrían ahorrar más del 50% de energía (Construdata, 2011).

Los sistemas de iluminación que propendan por el URE deben proveer un control efectivo para la iluminación al regular a cualquier hora del día el encendido y apagado de las lámparas, mediante, el uso de sensores de ocupación e intensidad luminosa, la incorporación de controles de mantenimiento de lúmenes y sistemas de ajustes de nivel de iluminación, al igual que la incorporación de sistemas de control de iluminación natural (Construdata, 2011).

El diseño e implementación apropiado de estrategias de control para la iluminación natural puede ahorrar entre el 50% y el 80% de la energía para alumbrado, esto implica la localización, orientación y forma correcta de la edificación que permita la penetración adecuada de luz, siendo clave el monitoreo de la intensidad de luz natural en las diferentes áreas de la edificación (Construdata, 2011).

También es de gran importancia la implementación de tareas visuales específicas que respondan a tareas visuales determinadas, implementando lámparas eficientes, balastos electrónicos entre otros (Construdata, 2011).

De tal forma han surgido estrategias tecnológicas orientadas a mitigar el consumo energético, implementando técnicas y sistemas basados en el uso racional de la energía; este desarrollo ha generado la siguiente clasificación de los edificios:

Edificio inmótico. Es un término que se refiere al equipamiento en edificios de tecnología que permita gestionar de forma energéticamente eficiente, segura y confortable para el usuario los distintos tipos de aparatos e instalaciones. La inmótica se enfoca tanto a la calidad de vida como al trabajo (Henao Merchán, 2006; Romero Morales et al., 2007).

Edificio inteligente. Se define inteligencia de un edificio como la capacidad de simplificar tareas, optimizar su funcionamiento e interactuar con el usuario y el medio ambiente mediante diversos dispositivos integrados y enlazados entre sí (Henao Merchán, 2006; Yang & Wang, 2013). En general, se considera que un edificio inteligente es aquel que “sabe” lo que está sucediendo dentro y fuera de inmediato, para decidir la manera más eficaz de proporcionar un ambiente adecuado para sus ocupantes (Atkin, 1988; Wong, Li, & Wang, 2005).

Edificio digital. Tiene como objetivo la convergencia de diversos servicios como el entretenimiento, las comunicaciones, la gestión digital del hogar e infraestructuras y las comunicaciones por redes de banda ancha, haciendo surgir nuevas forma de redes para el hogar (Henao Merchán, 2006).

Edificio automatizado. Consiste en la integración de la tecnología con el medio ambiente, el uso y los servicios que puede brindar la automatización electrónica y mecánica para mejorar la calidad de vida de las personas y la preservación del medio (Henao Merchán, 2006).

Recinto automatizado: Se refiere a aquel edificio o vivienda que posee algún tipo de automatismo con sistemas no integrados entre sí, de tal manera que presente una respuesta adecuada ante

una solicitud prevista y que se encuentre dentro de un rango específico y ordenado para que actúe de forma coherente (Henao Merchán, 2006).

Edificios verdes: Tienen como objetivo reducir el consumo de energía a partir de aplicaciones URE. Estos pueden generar energía a través de las energías renovables, también pueden vender energía a la red, gracias a la comunicación bidireccional inherente a la red eléctrica inteligente (Schneider Electric & O'Mara, 2012).

Dado que las personas pasan el 80% de su tiempo de vida de los edificios, un medio ambiente sano y cómodo es importante para el bienestar y la productividad de los ocupantes (Yang & Wang, 2013). La calidad de vida de los ocupantes en un edificio está determinada principalmente por tres factores básicos: confort térmico, confort visual, y calidad del aire interior (Dounis & Caraiscos, 2009). Los edificios verdes deben ser capaces de interactuar con los ocupantes y el ambiente del entorno para determinar la estrategia de control apropiada (Yang & Wang, 2013).

Los edificios verdes pueden mejorar la comodidad del personal mediante el aprovechamiento correcto del aire, lo que minimiza la estratificación de la temperatura, control del ruido, la mejora de calidad del aire interior y proporcionar iluminación natural. Por otra parte, muchos edificios verdes permiten el control de espacios individuales y oficinas, por lo que las personas se benefician psicológicamente al saber que tienen el control sobre su entorno de trabajo (Schneider Electric & O'Mara, 2012).

2.2 Espacios Interiores Universidad Industrial de Santander

La Universidad Industrial de Santander en su campus central cuenta con un área total de 337 000 m², de los cuales 108 667m² es área construida incluidos 52 diferentes edificios, listados en la Tabla 2.

Tabla 2.

Edificios campus central.

Edificio número	Nombre de edificio	Area construida m ²
1	Edificio portería principal	20
2	Edificio Luis A. Calvo	3 463
3	Edificio Administración	2 953
4	Edificio Publicaciones	3 857
6	Edificio Administración 2	1 837
7	Edificio Bienestar Universitario	3 270
8	Edificio La Perla	1 057
9	Edificio Mantenimiento y Planta Física	1 889
10	Edificio Ing. Mecánica	3 834
11	Edificio Aula Máxima de Mecánica	265
12	Edificio Biblioteca	5 415
13	Edificio Planta Telefónica	183
14	Edificio Instituto de Lenguas	2 929
15	Edificio Ingeniería Industrial	6 698
16	Edificio Biología Vegetal	155
17	Edificio Labs. Livianos	10 637
18	Edificio Camilo Torres	3 742
19	Edificio CENTIC	4 845
20	Edificio CAPRUIS / FAVUIS	1 427
21	Edificio Federico Mamitza Bayer	2 630
22	Edificio Esc. Ing. Eléctrica	1 492
23	Edificio Lab. de Posgrados	2 280
24	Edificio Ing. Química	4 612
25	Edificio Aula máxima de ciencias	344
26	Edificio CICELPA - CEIAM	1 222
27	Edificio Lab. Alta Tensión	1 426
28	Edificio Lab. de Hidráulica	680
29	Edificio Talleres Diseño Ind.	344
30	Edificio Planta de Aceros	1 779
31	Edificio Jorge Bautista Vesga	6 059
32	Edificio Físico-Mecánicas	8 060
33	Edificio Daniel Casas	2 090
34	Edificio Residencias Universitarias	724
35	Edificio Portería carrera 30	13
36	Edificio kiosco residencias	64
37	Edificio Ciencias Humanas	9 769
38	Edificio Jardinería	16

43	Edificio coliseo	2 670
45	Edificio CENIVAM	809
46	Edificio cafetería Don Cafeto	30
47	Edificio portería Carrera 25	30
48	Edificio Caracterización de Materiales	2 445
49	Edificio cafetería Dodgers	3
51	Edificio Albañilería	505
52	Edificio Librería UIS	105
Total		108 677

El Campus Universitario presenta diferentes zonas de trabajo y uso, que fueron agrupadas en 15 tipos de recinto caracterizados por construcción, uso y funcionalidad, tal como muestra la Tabla 3; de igual forma no se consideraron zonas tales como senderos, parqueaderos y plazoletas que no tienen influencia en los sistemas de iluminación y ventilación.

Tabla 3.

Recintos característicos del campus central.

Espacio	Área m ²	Personas	Actividad	Observaciones
Auditorios	50-3000	50-1000	Presentaciones culturales, conferencias, eventos sociales y académicos	Concentración de mayor número de ocupantes
Aulas de clase	40-50	30-40	Académicas: sesiones de clase, exposiciones y sustentaciones	Mayor presencia dentro de la sede universitaria
Aulas cómputo	40-100	20-100	Académicas: conferencia, exposiciones, sustentaciones, laboratorios virtuales, presentación de exámenes virtuales, video-conferencias	Alojamiento de considerables fuentes de calor como equipos de cómputo y audiovisuales
Aulas docentes	50-100	50-100	Académicas: consultas, tutorías, reuniones, sustentaciones	nivel de ocupación variable
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, almacenamiento libros	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	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	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

2.3 Microclima

Las características climáticas de la ciudad de Bucaramanga permiten entender las condiciones de temperatura, humedad, viento y radiación solar sobre las cuales se encuentran emplazadas las edificaciones de la Universidad Industrial de Santander. A continuación, se presentan las condiciones climáticas basadas en datos atmosféricos adquiridos por la central meteorológica ubicada en la terraza del edificio de ingeniería eléctrica de la universidad industrial de Santander.

2.3.1 Radiación Solar. La radiación solar en Bucaramanga en promedio para el año 2014 fue de 441,5 W/m² y en el año 2015 de 416,5 W/m². Estos niveles se deben a la posición geográfica y condiciones climáticas del campus universitario. El comportamiento de este recurso a través de los años 2014 y 2015 se muestra en Figura 2.

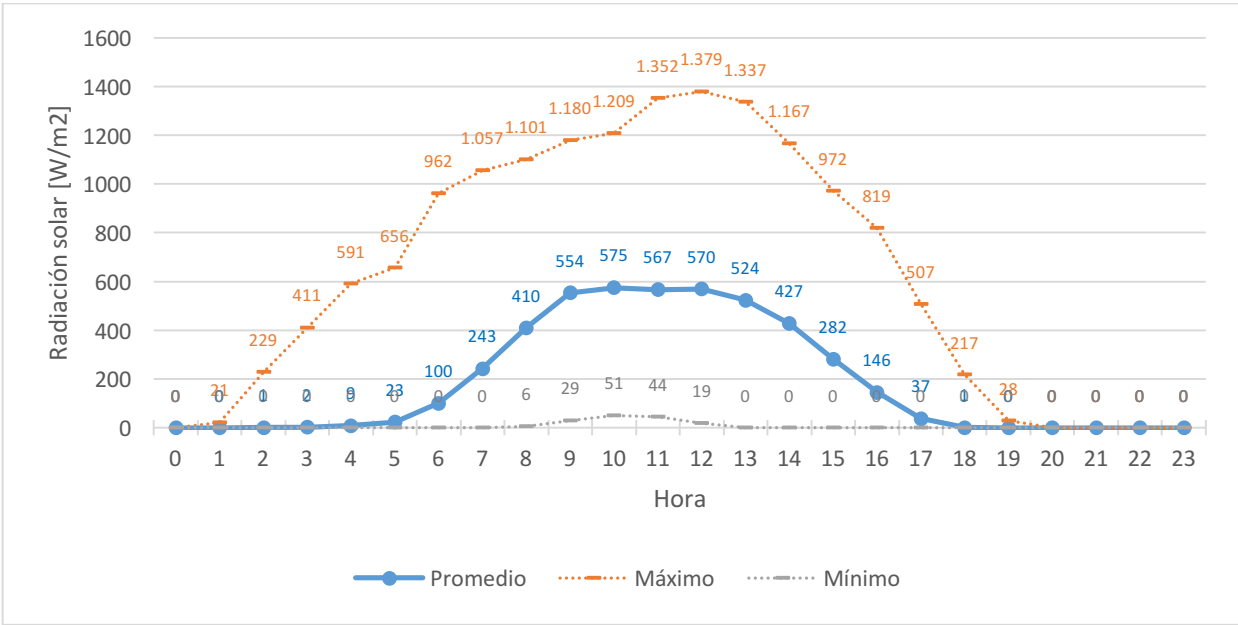


Figura 2. Radiación solar promedio, máxima y mínima diaria para 2014 y 2015.

2.3.2 Temperatura Ambiente. La temperatura ambiente promedio para el año 2014 fue de 23,4 °C y para el 2015 de 24,0 °C, valores característicos de lugares ubicados en zonas tropicales húmedas, como las presentes en Bucaramanga y en particular el campus universitario. La Figura 3 muestra el comportamiento promedio/hora de la temperatura para los años 2014 y 2015.

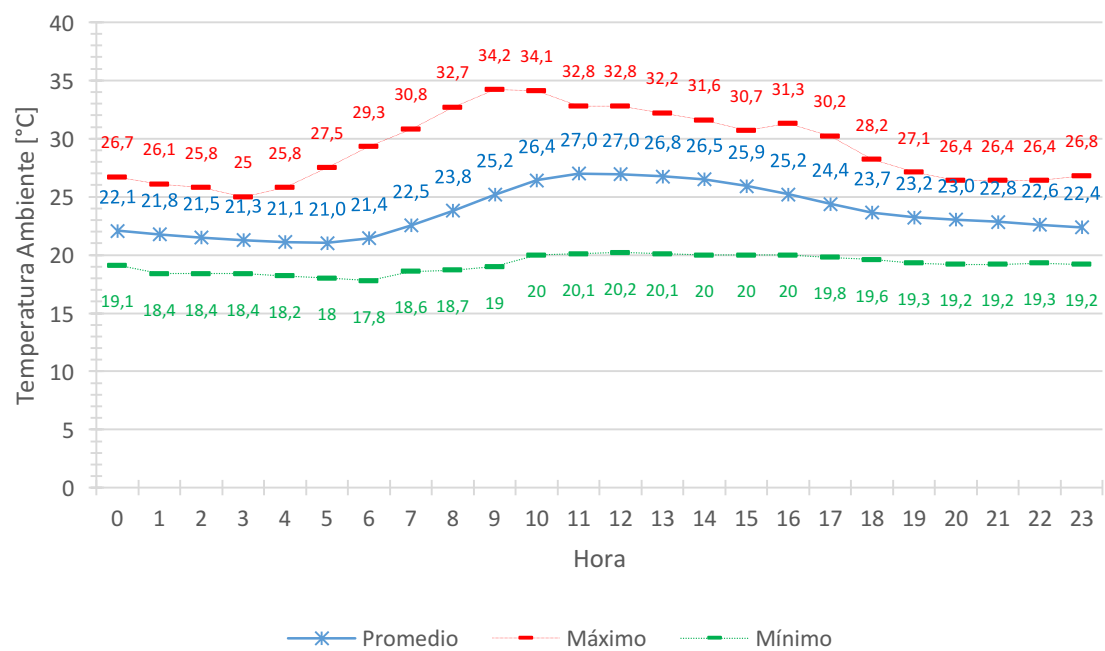


Figura 3. Temperatura ambiente promedio, máxima y mínima para 2014 y 2015.

2.3.3 Humedad Relativa. La humedad relativa para los años 2014 y 2015 fue de 81,1% y 79,8%, condiciones usuales de lugares húmedos tropicales. La Figura 4 muestra el comportamiento promedio, máximo y mínimo de la humedad relativa diaria para los años 2014 y 2015. Esta característica del micro clima representa la cantidad de vapor de agua contenía en el aire, en otras palabras, es el porcentaje de la humedad de saturación.

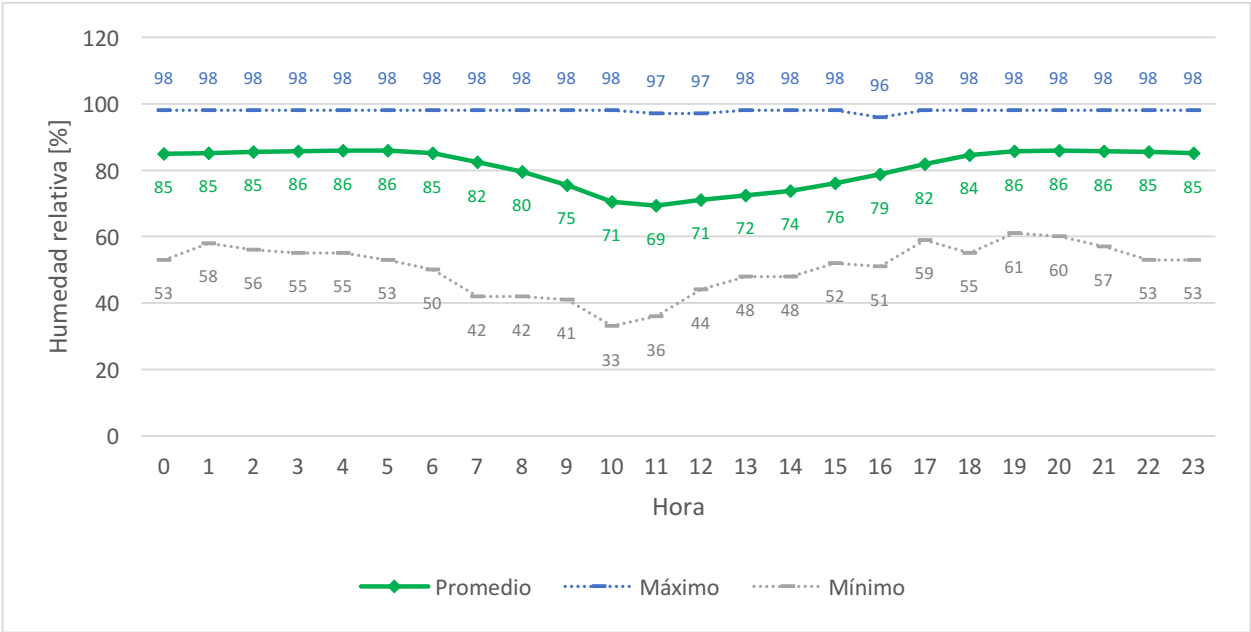


Figura 4. Humedad relativa diaria 2014 y 2015

3. Alternativas Tecnológicas de Sistemas HVAC e Iluminación

Este capítulo presenta una revisión de diversas alternativas tecnológicas de sistemas de climatización y de sistemas de iluminación existentes en el mercado, que pueden ser implementados en recintos interiores característicos de la Universidad Industrial de Santander.

El estudio de las alternativas tecnológicas permite delimitar el funcionamiento de las mismas con relación a los distintos recintos interiores. En particular, las alternativas tecnológicas disponibles para los sistemas de HVAC presentan limitantes importantes relacionados con el espacio necesario para ser implementados; para las alternativas tecnológicas de los sistemas de iluminación el rendimiento luminoso del tipo de luminaria implementada afecta directamente en la potencia

del sistema, al igual que el tipo de sistema de iluminación natural limita la cantidad de luz natural que entra al recinto.

En cada sub sección se resaltan las características anteriormente nombradas para cada sistema y así delimitar su relación con los recintos interiores analizados.

3.1 Sistemas HVAC

Los sistemas de ventilación, calefacción y aire acondicionado, más conocidos como HVAC (*Heating, Ventilating and Air Conditioning*) aplican métodos y técnicas para realizar tratamientos al aire en cuanto a su refrigeración, calentamiento, des-humidificación, calidad, movimiento, entre otras variables (TSI Incorporated, 2013). En general, los sistemas HVAC agrupan aquellos dispositivos encargados de la ventilación, la calefacción y refrigeración, en particular se encargan de controlar la temperatura y humedad relativa, junto a la eliminación de impurezas del aire, monitoriza el movimiento del aire y renueva el aire interior con aire nuevo exterior en los recintos acondicionados (A. Carreño & Ortega, 2016).

La Figura 5 muestra la operación típica de los sistemas de refrigeración convencional, cuyo componente principal es el *Chiller*, que está conformado por válvulas, evaporador, condensador y compresor. El *Chiller* realiza la compresión y la absorción de vapor a través del condensador y evaporador, por lo que es el mayor consumidor de energía dentro del sistema.

El condensador convierte el vapor de agua, proveniente de la torre de refrigeración, en líquido, el cual es utilizado para tratar el refrigerante. El refrigerante es bombeado a través del sistema por medio del compresor, que adicionalmente se encarga de comprimir los gases del refrigerante.

El evaporador se utiliza para evaporar el líquido refrigerante, que se encarga de acondicionar el aire del recinto mediante unidades de tratamiento de aire. Posterior a esto el compresor enfriará gases evaporados del líquido refrigerante (Teke & Timur, 2014).

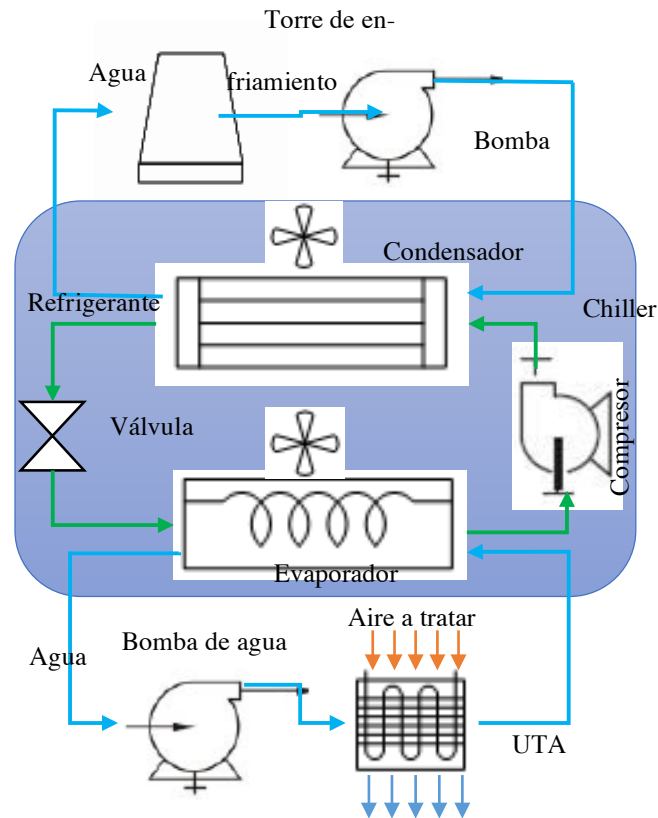


Figura 5. Diagrama esquemático sistema de refrigeración convencional. Adaptado de (Teke & Timur, 2014).

Los condensadores se pueden clasificar en dos tipos principales: refrigerado por aire y refrigeración por agua. Hay ventajas y desventajas de cada uno de los dos sistemas. Por ejemplo, en lugares que no tienen agua, los sistemas enfriados por aire se deben preferir. Del mismo modo, en el clima muy frío, los sistemas refrigerados por aire se prefieren, ya que el agua se puede congelar. En condiciones climáticas no extremas, se prefiere el uso de sistemas enfriados por agua

en grandes edificios; mientras los sistemas enfriados por aire son usados en edificaciones pequeñas o con poca disponibilidad de espacio (Teke & Timur, 2014).

Basado en el fluido de trabajo utilizado en el sistema de distribución térmica, los sistemas HVAC pueden ser clasificados de acuerdo a la forma que se realiza el intercambio de energía: Sistemas todo aire, sistemas todo agua, sistema de aire-agua y basados en unitaria refrigerante.

En particular, los sistemas utilizados en el Edificio de Ingeniería Eléctrica poseen unidades de expansión directa tipo Split y Casette, con compresores *inverter* enfriados por aire.

3.1.1 Sistemas Todo Aire. Este tipo de sistemas posee 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 (Afram & Janabi-Sharifi, 2014; A. Carreño & Ortega, 2016).

En particular, estos tipos de sistemas usan aire como los medios de intercambio energético en todos los sistemas. El aire transporta la energía térmica desde el espacio acondicionado a la planta de HVAC. El aire es procesado en la planta acondicionamiento de aire llamada UTA (Unidad de tratamiento de aire). A continuación, se suministra este aire procesado a los espacios acondicionados a través del sistema de distribución de aire. El difusor extrae la cantidad necesaria de calor sensible y latente desde el espacio acondicionado. El aire de retorno desde el espacio acondicionado se transporta de nuevo a la planta, donde de nuevo se somete el procesamiento requerido completando así el ciclo. El aire fresco adecuado siempre es suministrado por UTA para mantener la ventilación y calidad del aire interior (IAQ). El aire fresco y el aire de retorno están

balanceados en proporción, *el aire de suministro es igual a la suma del aire de retorno más el aire fresco* (Gheji, Kamble, Gavde, & Mane, 2016).

3.1.2 Sistemas Aire-Agua. En los sistemas aire-agua existe una central que 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 (Afram & Janabi-Sharifi, 2014).

Los sistemas de agua-aire emplean mejores características que los sistemas *todo aire y todo agua*. La combinación de aire-agua de estos sistemas distribuye tanto agua fría como agua caliente y aire acondicionado desde un sistema central a los espacios individuales. Las unidades terminales en cada zona le proporcionan enfriamiento. Algunos tipos de sistema de agua - aire utilizan unidades intercambiadoras de aire (FCU) como unidades terminales para proporcionar la mayor parte del aire acondicionado y las UTA se utilizan para suministrar sólo el aire de ventilación directamente en el espacio. Otro tipo utiliza como unidades terminales las unidades de inducción. Estas reciben el aire de suministro desde la Unidad de Tratamiento de Aire (AHU) central, llamado como aire primario y agua fría del enfriador (Gheji et al., 2016).

3.1.3 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.

En este sistema, el agua enfriada se hace circular por las bobinas mientras que el agua caliente se hace circular a través de las bobinas de calefacción. Como solamente el agua es suministrada



por la planta de HVAC para el espacio, el aire fresco tiene que ser suministrado por otra unidad para mantener la calidad del aire interior y ventilación. Estos sistemas son también conocidos como sistemas de agua refrigerada para aplicaciones de refrigeración. El agua enfriada circula a través de las unidades de la bobina del ventilador (FCU), o convectores o radiadores situados en el espacio de cada uno (Gheji et al., 2016).

3.1.4 Sistemas Individuales Basados en Refrigerantes. Este tipo de sistemas 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 conoce como de aire acondicionado (Afram & Janabi-Sharifi, 2014).

En los edificios medianos o grandes, los sistemas climatización HVAC se dividen en dos partes, los de expansión directa (DX) y los sistemas centrales. Los sistemas DX utilizan el refrigerante directamente como los medios de refrigeración. El refrigerante dentro del evaporador absorbe el calor directamente desde el aire utilizado para el acondicionamiento del espacio. De acuerdo con el tipo de condensador utilizado, el sistema DX es refrigerado por agua o por aire, al igual que los sistemas centrales de aire acondicionado. Los sistemas de refrigeración por aire o por agua se clasifican por su capacidad y eficiencia (Teke & Timur, 2014).

Tabla 4.

Ventajas, desventajas y aplicaciones de HVAC (Gheji et al., 2016)

	Ventajas	Desventajas	Aplicaciones
Todo Aire	1. Distribución y ventilación eficaz con carga variable.	1. Gran tamaño, requieren espacios separados para la AHU. 2. difíciles de instalar en edificios existentes, gran espacio en techo	1. Sistemas HVAC de alta precisión para centros de datos, laboratorios de investigación, industrias de proceso.



	2. Oportunidades para la conservación de energía, tales como ruedas de recuperación de calor. 3. El control preciso temperatura ($\pm 0.15^{\circ}\text{C}$) y humedad ($\pm 0,5\%$). 4. refrigeración y calefacción simultánea. 5. Las AHU pueden estar ubicado lejos de espacios acondicionados. reduce nivel de ruido.	3. La prueba, ajuste, equilibrio (TAB) de dificultad moderada.	2. cargas son uniformes con pequeñas cargas externas: teatros, auditorio, salas funcionales, tiendas. 3. Los edificios con distintas necesidades de calefacción y refrigeración. 4. Zonas múltiples con control individual como oficinas, aulas, hoteles, bancos.
Todo agua	1. Menor espacio que sistemas de aire de misma capacidad. 2. Centrales de aire acondicionado de menos costo. 3. Es más adecuado para el control de zona individual. 4. refrigeración y calefacción simultánea. 5. fácil instalar en edificios antiguos.	1. Gran cantidad de trabajos de mantenimiento y el costo. 2. bajo humedad el espacio 3. Se requiere sistema de ventilación independiente para suministrar aire fresco. 4. El condensado puede causar problemas de humedad en el techo o las paredes.	1. Adecuados para su uso como sistemas de aire acondicionado central. 2. Adecuados para reemplazar los sistemas todo aire para edificios de gran altura. 3. Eficaz en aplicaciones espacio limitado, como techos estrechos y con vigas. 4. En los casos de control individual como hoteles, apartamentos, oficinas.
Aire-agua	1. calefacción y refrigeración simultánea. 2. Ahorro de espacio, el aire se suministra a través de conductos y agua fría / caliente a través de tuberías. 3. Controles económicos de la zona, posible termostato por ambiente. 4. Sin problemas de condensación. 5. Fácil Mantenimiento, reparación, sustitución, mantenimiento. 6. presiones positivas se pueden mantener en espacios.	1. Múltiples complicaciones del sistema y controles. 2. Aplicaciones limitadas en las zonas perimetrales. 3. Aire fresco tiene que ser suministrada a todas las zonas, no importa si los espacios están no ocupados. 4. En caso de altas cargas latentes inusuales, una condensación excesiva puede provocar un ambiente húmedo y molestias en la zona. 5. Sistemas aire-agua son más costosos que los sistemas de agua.	1. Adecuado para la rehabilitación de edificios, con restricción de espacio. 2. buena solución para edificios zona perimetral con grandes cargas sensibles. 3. Se puede usar donde no es necesario un estrecho control de humedad en el espacio. 4. Sirve también para grandes edificios de oficinas, hoteles, albergues, etc.

3.2 Sistemas de iluminación

La iluminación artificial se basa en sistemas de lámparas, balastos, arrancadores, luminarias y controles. Lámparas, balastos y arrancadores están montados en la luminaria con las bases y el cableado, los reflectores distribuyen y redirigen la luz emitida por la lámpara y las rejillas proteger al usuario de deslumbramiento.

Los sistemas de control interactúan con el edificio en el que están instalados. Esto significa que las interacciones e impactos de las redes están relacionadas con la arquitectura del edificio (forma, orientación, espacio, etc.) y deben estar influenciadas por la contribución de luz natural, la red de



suministro y los equipos instalados, por ejemplo, la calefacción, ventilación, de refrigeración o de dispositivos electrónicos (International Energy Agency & Aalto University, 2010).

Un buen sistema de iluminación hace uso de dispositivos de control para operar las luminarias de acuerdo con la disponibilidad de la luz natural y la ocupación, lo cual permite reducir el consumo de energía (International Energy Agency & Aalto University, 2010).

3.2.1 Luminaria. Esta sección presenta las diferentes luminarias del mercado destacando sus características, ventajas y desventajas. Asimismo, se consideraron tecnologías no exclusivas en el tema de iluminación de espacios interiores, tales como: luminarias incandescentes, halógenas y de descarga, las cuales no serán tenidas en cuenta en el desarrollo de las secciones posteriores.

3.2.1.1 Luminarias LED. Los LEDs (Light Emitting Diodes) poseen gran variedad de aplicaciones y se caracterizan por su especial ahorro de energía respecto de otras tecnologías de iluminación; además, han alcanzado una vida útil aproximadamente de 50 000 horas y eficacia luminosa de 160 lm/W, también cuentan con cualidades como alta pureza, brillo, robustez, durabilidad, bajo consumo, control cromático y un reducido costo de mantenimiento e impacto ambiental (Diana Carolina & Idania Yuliany, 2010). Algunas de las ventajas se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5.

Ventajas y desventajas de la lámpara LED.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Ahorro energético	Requiere disipación térmica
Vida útil >50 000 h	Precio elevado
Tiempo de estabilización ≈0 min	Poco competitivo en potencias altas
Factor de potencia: 0.98	
Eficiencia > 80%	



3.2.1.2 Luminaria Incandescente. La luminaria incandescente es una lámpara de iluminación de servicio que produce la luz por el paso de la corriente a través de un alambre de tungsteno. La temperatura de trabajo de filamentos de tungsteno es de aproximadamente 2 700 K. Por lo tanto, la emisión principal se produce en la región infrarroja, siendo una fuente de calor importante. La eficacia luminosa típica de diferentes tipos de lámparas incandescentes está en el intervalo entre 5 lm/W y 15 lm/W. Algunas de sus ventajas y desventajas se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6.

Ventajas/Desventajas de la luminaria incandescente.

VENTAJA	DESVENTAJAS
Bajo costo	La corta vida de la lámpara (1000 h)
Fácil de usar, pequeño y no necesita equipos auxiliares	Eficacia luminosa baja
Fácil de atenuar cambiando el voltaje	La generación de calor es alto
Excelentes propiedades de rendimiento de color	Duración de la lámpara y otras características dependen en gran medida de la oferta de voltaje
Trabajar directamente en las fuentes de alimentación con voltaje fijo	El costo totales son altos debido a los altos costos de operación
Trabajar directamente en las fuentes de alimentación con voltaje fijo	
Conmutación instantánea	

3.2.1.3 Luminaria Halógena de Tungsteno. Las lámparas halógenas se derivan de las lámparas incandescentes. Dentro de la bombilla, el gas halógeno limita la evaporación del filamento y deposita del tungsteno evaporado sobre el filamento a través del llamado ciclo de halógeno. En comparación con la lámpara incandescente, la temperatura de funcionamiento es



mayor, y por consiguiente la temperatura del color es también más alta, lo que significa que la luz es más blanca. El índice de reproducción cromática es cercano al 100 al igual que con las lámparas incandescentes. Además, la disminución del lumen es insignificante. Su vida útil se extiende de 2000 a 4000 horas y la eficacia luminosa es de 12 lm/W a 35 lm/W (International Energy Agency & Aalto University, 2010).

Tabla 7.

Ventajas/Desventajas de la lámpara halógena

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Pequeño tamaño	Baja eficiencia luminosa
Luz direccional con algunos modelos (vigas estrechas)	Duración de la lámpara y otras características dependen en gran medida de la oferta voltaje
Alternativas de bajo voltaje	Temperatura de la superficie es alta
Fácil de atenuar	
Conmutación instantánea y completa salida de luz	
Excelentes propiedades de rendimiento de color	

3.2.1.4 Luminaria Fluorescente. Una luminaria fluorescente es una fuente de luz de descarga de gas de baja presión, en el que la luz se produce predominantemente mediante polvos fluorescentes activados por la radiación ultravioleta generada por la descarga de mercurio. La lámpara, por lo general en forma de una bombilla tubular largo con un electrodo en cada extremo, contiene vapor de mercurio a baja presión con una pequeña cantidad de gas inerte para el arranque. Por otro lado, la distribución espectral de la luz emitida puede variar de acuerdo a las diferentes combinaciones de fósforos. Las temperaturas de color correlacionada (CCT) varían de 2 700 K (blanco cálido) y 6 500 K (luz del día) hasta 17 000 K y de color índices (CRI) de 50 a 95 están



disponibles. La eficacia luminosa de la última lámpara fluorescente T5 es de hasta 100 lm / W (sin pérdidas de resistencia). La atenuación es posible hasta el 1% del flujo luminoso normal y con los circuitos de alta tensión de impulsos especiales de hasta 0,01%(International Energy Agency & Aalto University, 2010).

Tabla 8.

Ventajas/Desventajas de la lámpara fluorescente.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Barato	Temperatura ambiente y afecta a la salida de luz de encendido
Buena eficacia luminosa	Necesidad de balasto y el arrancador auxiliar o balasto electrónico
Larga vida (10 000h-16 000h)	salida de luz se deprecia con la edad
Gran variedad de CCT e IRC	Contener mercurio
	Ciclos de corta quema acortan vida de la lámpara

3.2.1.5 Luminarias Fluorescentes Compactas (CFL). El CFL es una variante compacta de la lámpara fluorescente. La longitud total se acorta y el tubo de descarga tubular es a menudo doblado en dos a seis dedos o una espiral. Para una sustitución directa de las lámparas de filamento de tungsteno, dichas lámparas compactas están equipadas con balastos internos y tornillo o tapas de bayoneta. También existen lámparas fluorescentes compactas con base de perno, que necesitan un balasto externo y el arranque de la operación. La eficacia luminosa de CFL es aproximadamente cuatro veces mayor que la de las lámparas incandescentes. Por lo tanto, es posible ahorrar energía

y costos en la iluminación mediante la sustitución de las bombillas incandescentes por lámparas fluorescentes compactas (International Energy Agency & Aalto University, 2010).

Tabla 9.

Ventajas/Desventajas lámpara CFL

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Buena eficacia luminosa	Costoso
Larga vida útil de la lámpara (6000-12 000 h)	Algunas no son regulables (aparte de los modelos especiales)
Reducción de carga térmica al sustituir las lámparas incandescentes	Salida de luz se deprecia con la edad
	Ciclos de encendido/apagado corta acortan vida de la lámpara
	La forma de onda actual de las lámparas fluorescentes compactas con balasto electrónico interno se distorsiona
	Contienen mercurio

3.2.1.6 Luminarias Sin Electrodo. El tiempo de combustión de las luminarias de descarga está normalmente limitado por la abrasión de los electrodos. Es posible evitar esto con la alimentación de energía eléctrica capacitiva e inductiva en la descarga. Aunque los principios de la lámpara sin electrodos se han entendido desde hace más de cien años, las lámparas sin electrodos no se introdujeron en el mercado comercial hasta las últimas décadas. Las principales razones fueron la falta de la electrónica de costos confiables y bajos. Con el gran desarrollo en la electrónica y en consecuencia la introducción de los balastos electrónicos, la lámpara sin electrodos están listas

para ser introducidos en el mercado comercial de la iluminación general (International Energy Agency & Aalto University, 2010).

Algunos modelos de lámparas fluorescentes compactas son las lámparas sin electrodos. Sus ventajas sobre las lámparas fluorescentes compactas son la capacidad de conmutación instantánea y un buen rendimiento con ciclos de conmutación (International Energy Agency & Aalto University, 2010).

3.2.2 Técnicas de Iluminación Natural. A continuación, se presenta una clasificación de técnicas utilizadas para la guía de la iluminación natural en los recintos de una edificación, estas técnicas son recogidas en dos grupos, el primero, técnicas con sombreado que emplean elementos difusores de luz para redirigir la luz solar directa y el segundo, técnicas sin sombreado que posee elementos para direccionar la luz solar a zonas alejadas.

3.2.2.1 Con Sombreado: Existen dos tipos de sistemas de iluminación con sombreado, uno basado en el empleo de claraboya que permitan difusión de la luz, y otros que emplean la luz solar directa que es dirigida a lugares por encima de la altura de los ojos.

Estos sistemas mejoran la luz natural mientras que proporciona sombreado. Sistemas avanzados se han desarrollado para proteger el área cerca de la ventana de la luz solar directa y enviar la luz del día directa o difusa en el interior de la habitación (International Energy Agency & Systems, 2000).

3.2.2.2 Sin Sombreado: Estos sistemas están diseñados principalmente para dirigir la luz natural a zonas alejadas de ventanas o aberturas. Se pueden dividir en cuatro categorías (International Energy Agency & Systems, 2000):

- Sistemas que guían la luz natural difusa, redirigen la luz natural al interior de la habitación, empleados principalmente en edificaciones con obstrucciones externas donde su principal fuente de luz proviene de la parte superior del cielo.
- Sistemas que guían la luz natural directa, envían la luz natural directa al interior de la habitación sin efectos de deslumbramiento y recalentamiento
- Sistemas de dispersión o difusión de luz, son usados en tragaluces para producir una distribución uniforme de la luz natural.
- Sistemas de transporte de luz, recogen la luz natural y la transportan a largas distancias, a través de tubos de luz o fibra óptica.

Los diferentes dispositivos utilizados para el aprovechamiento de la luz natural en la iluminación interior se organizan en la Tabla 10. En donde se resaltan aquellos dispositivos que proveen un potencial ahorro energético junto a otras características; (Y= SI, D=Depende, N=No, A=Disponible, T=Fase de pruebas).

Tabla 10.

Clasificación de los sistemas de iluminación natural.

Categoría	Nombre/tipo	Clima	Ubicación	Deslumbramiento	Vista al exterior	Guía de luz	Iluminación homogénea	Potencial ahorro	Necesita ajuste	Disponibles
Tragaluces de uso primario	Panel prismático	Todos los climas	Ventanas verticales y tragaluces	D	N	D	D	D	D	A
	Persianas venecianas y prismáticas	Templado	Ventanas verticales	Y	D	Y	Y	Y	Y	A
	Espejos de protección solar	Templado	Tragaluces, techos de cristal	D	N	N	Y	N	N	A
	Aberturas cenitales anidólicas	Templado	Tragaluces	Y	N	N	Y	Y	N	T
	Sombreado selectivo con HOE	Todos los climas	Ventanas verticales, tragaluces y techos de cristal	D	Y	N	D	Y	Y	T
	Sombreado transparente con HOE	Templado	Ventanas verticales, tragaluces, techos de cristal	D	Y	N	Y	Y	Y	A
Luz solar directa de uso primario	Pantalla de guía de luz	Caliente, cielos soleados	Ventanas verticales	Y	Y	D	D	D	N	T
	Persianas	Todos los climas		Y	D	Y	Y	Y	Y	A
	Estante de luz para redireccionamiento	Todos los climas		D	Y	Y	Y	Y	N	A
	Vidrios con perfiles reflectivos	Templado	Ventanas verticales y tragaluces	D	D	D	D	D	N	A



Sistemas de guía de luz difusa	Tragaluces con paneles laser	Climas cálidos, soleado, latitudes bajas	Tragaluces	D		Y	Y	Y	N	T
	Reflectores ajustables	Climas templados	Ventanas verticales y tragaluces	Y/D	D	D	D	D	Y	A
	Polarizados solares anidólicos	Todos los climas	Ventanas verticales	Y	D	Y	Y	D	N	T
	Light shelf	Climas templados, nublados		D	Y	D	D	D	N	A
	Sistema integrado anidólico	Climas templados		N	Y	Y	Y	Y	N	A
	Anadolic ceiling	Climas templados, nublados	Fachadas verticales sobre ventanas		Y	Y	Y	Y	N	T
	Sistemas tipo pes	Climas templados	Ventanas verticales	Y	D	Y	Y	Y	N	A
Sistemas de guía de luz directa	Elementos de guía cenital con HOE	Climas templados, nublados	Ventanas verticales, tragaluces		Y	Y	Y	Y	N	A
	Paneles cortados por laser	Todos los climas		N	Y	Y	Y	Y	N	T
	Paneles prismáticos	Todos los climas		D	D	D	D	D	Y/N	A
	Tragaluces con HOE	Todos los climas	Tragaluces	D	Y	Y	Y	Y	N	A
	Ventanas de direccionamiento solar	Todos los climas	Ventanas verticales, tragaluces	D	N	Y	Y	Y	N	A
Transporte de luz	Sistemas de dispersión	Todos los climas		N	N	Y	Y	D	N	A
	Heliostatos	Todos los climas, soleado	Techo			Y		Y	Y	A
	Tubería de iluminación	Todos los climas, soleado				Y	Y	Y	N	A



Tubos solares	Todos los climas, soleado	Y	D	Y	N	A
Fibra óptica	Todos los climas, soleado	Y		Y	Y	A
Light guiding ceiling	Todos los climas, soleado	Y	Y	Y	N	T

4. Alternativas de Control y Automatización

Este capítulo presenta las diferentes alternativas de gestión, control y automatización de los sistemas de climatización e iluminación.

4.1 Automatización de Sistemas de Climatización

Las estrategias o técnicas de automatización en los sistemas de climatización propenden por menor consumo energético y la satisfacción del confort de los usuarios. Son estudiadas aquellas estrategias o técnicas que se ajustan a las necesidades climáticas y espacios presentes en el campus universitario, tales como encendido/apagado, apagado temprano, interrupción y reducción de demanda. La Figura 6 describe el comportamiento potencial del consumo energético de cada estrategia.

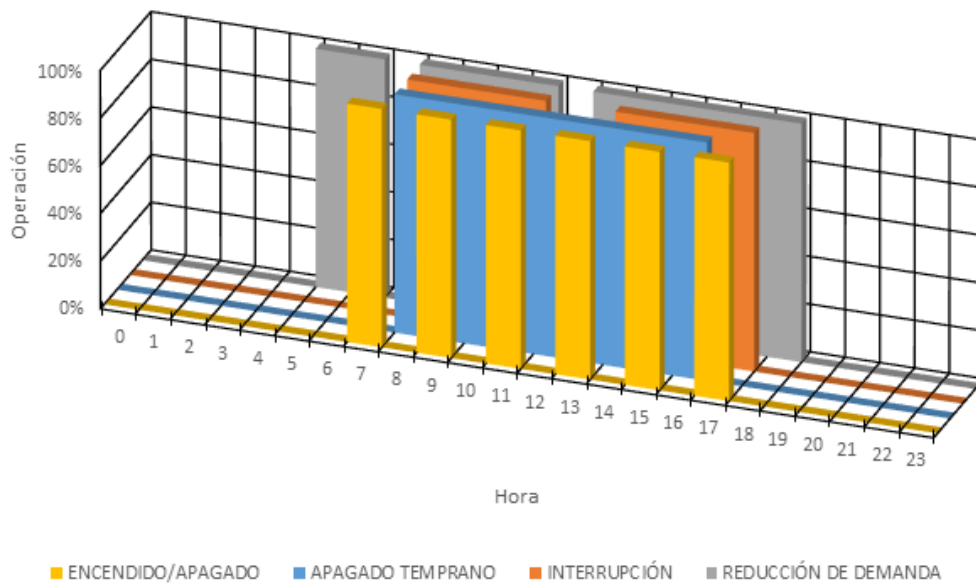


Figura 6. Operación técnica de encendido/apagado, apagado temprano, interrupción y reducción de demanda.

4.1.1 Interrupción. Esta técnica opera mediante la interrupción del trabajo de los HVAC. La operación e interrupción del HVAC se ajustó de acuerdo al horario laboral de la edificación. Por lo general las franjas son ajustadas a los horarios (08:00 - 12:00 h y 14:00 – 18:00 h). La Figura 6 muestra la operación típica diaria de un HVAC implementando la técnica de interrupción (Fadzli Haniff, Selamat, Yusof, Buyamin, & Sham Ismail, 2013).

4.1.2 Apagado Temprano. Esta técnica inicia la operación del HVAC a principios de las horas de oficina y se apaga dos horas antes de que el edificio está normalmente vacío. Este enfoque requiere de información precisa sobre el tiempo de la ocupación en la edificación. La Figura 6

muestra la operación del sistema HVAC para el enfoque apagado temprano (Fadzli Haniff et al., 2013).

4.1.3 Reducción de Demanda. En esta técnica se realiza un enfriamiento del espacio durante el período fuera de la hora de ocupación, denominado pre-enfriamiento. Después del pre-enfriamiento durante las horas no pico, la climatización se desconecta por un tiempo (entre 07:00-08:00) con el fin de reducir el consumo de energía. Como se muestra en la Figura 6, el HVAC también se puede apagar de nuevo al mediodía (14:00 – 15:00) durante la pausa del almuerzo. También es importante tener en cuenta que la duración de pre-enfriamiento debe ser menor que el pico de la mañana (09:00- 12:00) (Fadzli Haniff et al., 2013).

4.1.4 Encendido/Apagado. En esta técnica el encendido y apagado del sistema de climatización durante las horas de funcionamiento es intermitente. El HVAC se enciende y apaga repetidamente a intervalos de 30 minutos o una hora, como se muestra en la Figura 6. Esta técnica enciende y se apaga frecuente, esto puede ser poco práctico y puede causar repercusiones en la vida útil de los componentes del sistema (Fadzli Haniff et al., 2013).

4.1.5 Ciclo de Trabajo Agresivo. En esta técnica, una red de sensores de ocupación se establece en el edificio o recinto para registrar el estado de ocupación de las habitaciones. La ocupación registrada se utiliza para programar la hora de inicio y de finalización para el sistema de climatización. La información puede ser utilizada para determinar y planear la operación óptima del sistema de climatización. Cuando el espacio es clasificado como desocupado, la climatización se apagará y cuando está ocupado, la climatización se encenderá (Fadzli Haniff et al., 2013).

Puesto que hay una gran diferencia entre el tiempo en el que los ocupantes empiezan a salir del edificio hasta que el edificio está completamente desocupado, se establece el HVAC en modo de

espera. De igual forma se establece en este modo al inicio del periodo de ocupación. Esto es denominado espera temprana y tardía de desconexión (Fadzli Haniff et al., 2013).

4.1.6 Manipulación de Set-Point. Este conjunto de técnicas manipula la temperatura consigna de los sistemas de climatización. El sistema de climatización funciona durante las 24 horas y emplea el enfoque de “reducción nocturna”, que significa un aumento de la temperatura de consigna durante el periodo de desocupación, lo cual reduce el consumo de energía (Fadzli Haniff et al., 2013).

4.1.6.1 Línea Base. En esta técnica la temperatura de consigna se ajusta para estar en el límite inferior de la zona de confort térmico durante el período de ocupación, de acuerdo a la Figura 7. Durante la operación desocupada, se utiliza la reducción nocturna, en el que la temperatura se ajusta para que sea significativamente mayor comparado con la temperatura de consigna ocupada con el fin de reducir el consumo de energía (Fadzli Haniff et al., 2013).

4.1.6.2 Step Up. Esta estrategia se utiliza una temperatura de consigna de 21 °C para preenfriar la habitación al inicio del período de ocupado (07:00-12:00 h). Después de 12:00 h, la temperatura de consigna se eleva a un valor más alto a fin de descargar el aire enfriado almacenado

durante la operación de la mañana, esta técnica también utiliza la operación de reducción nocturna durante el periodo desocupado, tal como se muestra en la Figura 7 (Fadzli Haniff et al., 2013).

4.1.6.3 Incremento Lineal. Esta estrategia eleva el punto de temperatura mediante un patrón lineal hasta alcanzar la temperatura de consigna final deseada al terminar el período de ocupación. Esta técnica también utiliza la operación de reducción nocturna durante el periodo desocupado (Fadzli Haniff et al., 2013), de acuerdo con la Figura 7.

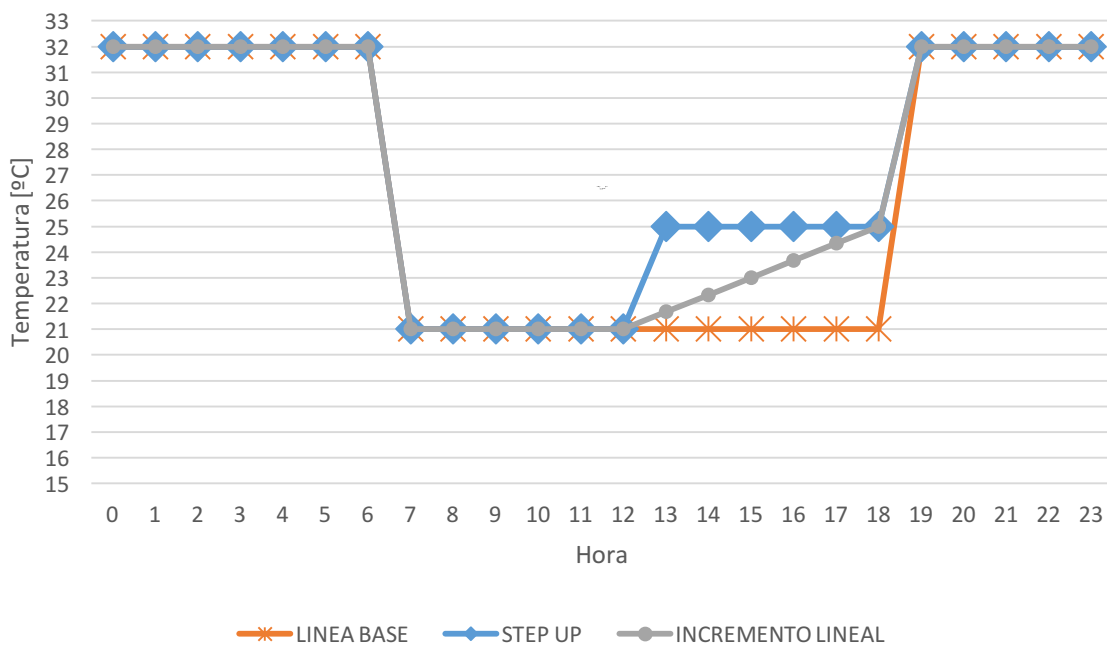


Figura 7. Operación técnicas línea base, step up y incremento lineal.

4.1.6.4 Optimización de Trayectoria. Esta técnica determina la trayectoria optima de la temperatura consigna durante el periodo de descarga para ahorra energía y costos, se consideran tres tipos de optimización (Fadzli Haniff et al., 2013):

Semi-analítica: a partir de un modelo simple que caracteriza las interacciones térmicas entre los espacios y los objetos en su interior se determina una expresión analítica para la temperatura consigna.

Exponencial semi-analítica: basado en la optimización semi-analítica se consideran todas las entradas constantes, lo que genera una función exponencial simple para la temperatura consigna.

Promedio ponderado: Reduce al mínimo la carga máxima de operación mediante un promedio ponderado de dos trayectorias de ajuste.

4.1.7 Técnicas de Integración. Estas técnicas integran las técnicas de cronograma ON/OFF y manipulación de la temperatura, lo cual puede generar ahorros energéticos significativos.

4.1.7.1 Pre-Enfriamiento Extendido con Pre Ajuste. Esta técnica realiza inicialmente un pre-ajuste donde la zona es enfriada a una temperatura más baja en comparación con la temperatura de pre-enfriamiento normal. A continuación, la temperatura de consigna se incrementará en 1°C o 2°C hasta la hora de máxima demanda, cuando la temperatura de consigna se incrementará aún más. El ajuste de la temperatura se utiliza para descargar la energía almacenada mediante la regulación de la temperatura de consigna a un valor más alto después del período de pre-enfriamiento. Esta técnica logra desplazar entre un 80-100% de la carga eléctrica total diaria a los periodos no pico (00:00 a 06:00 y 18:00 a 20:00), tal como se muestra en la Figura 8 (Fadzli Haniff et al., 2013).

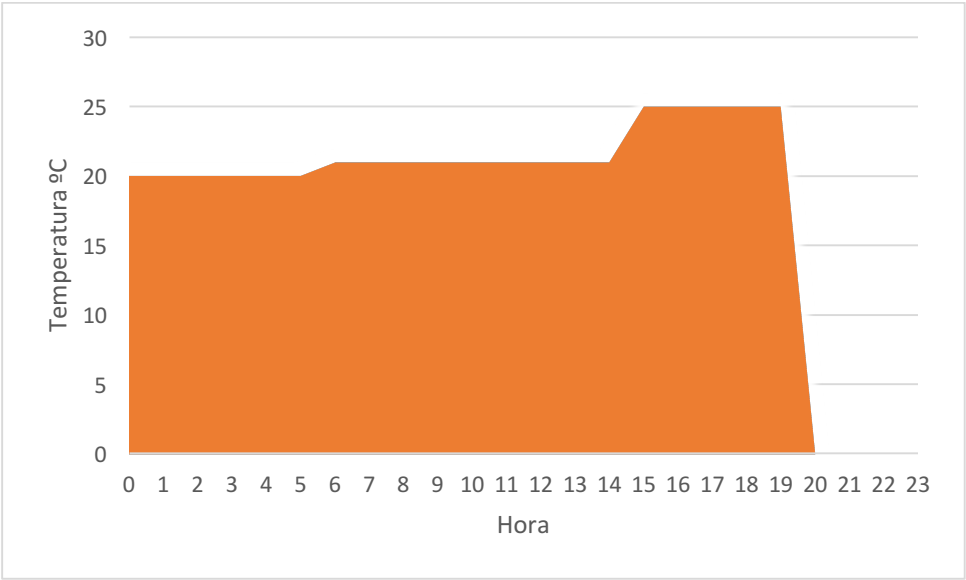


Figura 8. Operación pre enfriamiento extendido con pre ajuste

4.1.7.2 Cinco Periodos de Programación. Es una programación de 5 periodos, en los que un día se divide en 5 secciones, tal como se muestra en la Figura 9. La región de confort térmico es un rango de temperatura que no causa ninguna incomodidad a los ocupantes, la región alta del rango corresponde a la mitad superior de la región de confort, la región baja a la mitad inferior. Por fuera de la región de confort se pueden causar molestias e incomodidad a los usuarios (Fadzli Haniff et al., 2013).

División	5		1			2			3			4			5									
Presencia	DESOCUPADO						OCUPADO												DESOCUPADO					
Confort térmico	FUERA DEL CONFORT								T BAJO						T MEDIA			T ALTO				FUERA DEL CONFORT		
Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	

Figura 9. Cinco periodos de programación.

En las divisiones 2 y 5 se asigna el inicio y fin de la ocupación del edificio, el resto de tiempo se fijan arbitrariamente o de acuerdo a los efectos del tiempo y consigna de temperatura, en función

del ahorro energético. En las divisiones 1 a la 4 la consigna de temperatura va aumentando desde un valor fuera del rango de confort hasta un valor cercano al límite superior.

4.2 Automatización en Técnicas de Iluminación

Este apartado expone técnicas de automatización para los sistemas de iluminación.

4.2.1 Control de Iluminación. Los controles son una excelente manera de reducir la energía de iluminación al tiempo que mejoran la calidad de la iluminación. Los controles de iluminación reducen el consumo de energía de iluminación en un 50% de edificios existentes y por lo menos el 35% en la nueva construcción (Benya, Heschong, McGowan, Miller, & Rubinstein, 2003; International Energy Agency & Systems, 2000).

Los beneficios positivos de los controles dependen de la comprensión, tanto de los ocupantes y administradores de edificios, de cómo funcionan los sistemas de iluminación y controles (Benya et al., 2003; International Energy Agency & Systems, 2000).

4.2.1.1 El Control de Ocupación Predictivo. El control de ocupación prevista (POCS) se utiliza para reducir las horas de funcionamiento de la instalación de iluminación. Los horarios varían generalmente sobre una base diaria según la ocupación del edificio. Al apagar automáticamente las luces a una hora predeterminada, los sistemas ayudan a la construcción de los operadores / administradores de las instalaciones para evitar la iluminación durante las horas no ocupadas,

principalmente por la noche y los fines de semana. Diferentes Estrategias programadas para diferentes zonas del edificio en función de las necesidades de los ocupantes (International Energy Agency & Aalto University, 2010).

La estrategia de control por programación permite determinar el tiempo de encender o apagar automáticamente en función de horarios y los patrones de ocupación para las diferentes zonas. Temporizadores de 24 horas permiten a los ocupantes ajustar determinados momentos para la iluminación. El temporizador está configurado para cambiar la iluminación durante la ocupación. Las mediciones han demostrado que las mejores soluciones de eficiencia energética están combinando el uso de un sistema de corte con un interruptor manual en el sistema (International Energy Agency & Aalto University, 2010).

Esta estrategia se utiliza más ampliamente en aplicaciones donde los patrones de ocupación de construcción son predecibles y siguen todos los días y los horarios semanales como aulas, salas de reuniones y oficinas (International Energy Agency & Aalto University, 2010).

La estrategia de control anochecer o al amanecer es un tipo de estrategia de ocupación predictivo basado en el amanecer y el atardecer, el cual debe ser calculado para cada ubicación. La luz se enciende automáticamente cuando se hace de noche, y se apaga cuando hay suficiente luz del día. Este tipo de control no se aplica a menudo para iluminación interior, pero es muy eficiente para atrios con buena disponibilidad de luz natural o para los corredores que unen los edificios acristalados. Esta estrategia no necesariamente se consigue con un sensor de luz natural al aire libre. Las horas de encendido y apagado pueden ser proporcionada por un programador (International Energy Agency & Aalto University, 2010).

4.2.1.2 Estrategia de Control de Ocupación Real (ROC). La estrategia de control de ocupación real limita el tiempo de funcionamiento del sistema de iluminación basado en el tiempo de ocupación real de un espacio. A diferencia del control predictivo de ocupación, este no opera por un horario preestablecido. El sistema detecta cuando la habitación está ocupada y luego enciende las lámparas. Si el sistema no detecta ninguna actividad en la sala, se considera desocupada y apaga las luces. Para evitar que el sistema apagar las luces mientras que el espacio sigue ocupado, se programa un tiempo de retardo (que van típicamente de 10 a 15 minutos)(International Energy Agency & Aalto University, 2010).

Las estrategias de control de ocupación real se utilizan mayoritariamente en aplicaciones en las que la ocupación no sigue un horario fijo o predecible. Aplicaciones clásicas incluyen oficinas privadas, pasillos, escaleras, salas de conferencias, áreas de pila de la biblioteca, trasteros y almacenes. El potencial de ahorro del control de ocupación real varía desde un 20% a un 50% y depende del nivel de detección, la ubicación del sensor, el acoplamiento con la luz natural y, por supuesto, los movimientos de los ocupantes (International Energy Agency & Aalto University, 2010).

4.2.1.3 Estrategia de Control de la Luz Natural. La estrategia de control de la luz natural (DHCS) permite que las instalaciones reduzcan el consumo de energía de iluminación mediante el uso de la luz del día, complementada con iluminación artificial, según sea necesario para mantener el nivel de iluminación requerido (International Energy Agency & Aalto University, 2010).

Esta estrategia utiliza una célula fotoeléctrica para medir el nivel de iluminación dentro de un espacio, sobre una superficie o en un punto específico. Si el nivel de luz es demasiado alto, el controlador del sistema reduce el flujo luminoso de las fuentes de luz. Si el nivel de luz es demasiado bajo, el controlador aumenta el flujo luminoso de las fuentes de luz. Los sensores se utilizan a menudo en grandes áreas, cada uno controla un grupo separado de luces con el fin de mantener

un nivel de iluminación uniforme en toda la zona (International Energy Agency & Aalto University, 2010).

5. Metodología para la Modificación y Vinculación del Cálculo de la Carga

Este capítulo expone la metodología implementada para la adecuación de los métodos para el cálculo de la carga de iluminación y refrigeración. La Figura 10 muestra las etapas de desarrollo de la metodología implementada. En la primera etapa se analizaron los requisitos de los métodos de cálculo de carga de iluminación y refrigeración, seguido se adecuaron estos métodos para que incluyeran la operación de las técnicas de control y automatización estudiadas en el Capítulo 4, en la tercera etapa se vinculan los dos métodos para operar en conjunto y por último se implementan los métodos para su utilización.

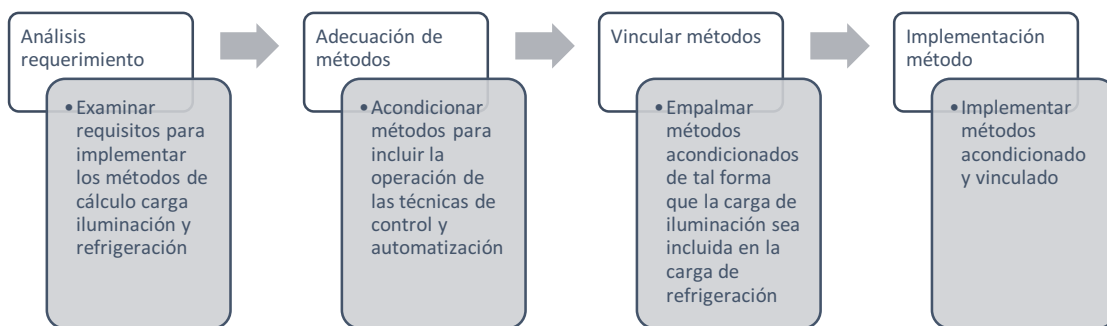


Figura 10. Metodología de desarrollo.

En primer lugar se consideraron las normativas UNE- EN-15193 para el cálculo de la carga de iluminación y la normativa UNE-EN-378 y ASHRAE para el cálculo de la carga de ventilación, de las cuales se resalta la falta de integración o inclusión en sus método de cálculo de las

características de operación y funcionamiento de técnicas de automatización, por lo que estas normativas permite determinar la carga de iluminación y ventilación en un recinto, tal que, este no cuente con alguna técnica de automatización integrada a sus sistemas de iluminación y ventilación. Es necesario resaltar que Capítulo 5.2 presenta el acondicionamiento realización para incluir la operación de las técnicas de automatización en el cálculo de carga.

5.1 Análisis de Requerimientos

El presente apartado examina la relación entre los componentes y requisitos de los métodos de cálculo de carga, con el objetivo de identificar las modificaciones requeridas en los métodos para incluir la influencia de las técnicas de control y automatización en sus cálculos. Para ello se analiza cada método y sus requisitos, seguido de la adecuación de requisitos, datos micro climáticos y operación de las técnicas de automatización, para su posterior vinculación y ajuste con los métodos.

5.1.1 Cálculo de Carga de Iluminación El método para el cálculo de iluminación se basa en la normativa UNE-EN-15193 la cual establece los requisitos energéticos para la iluminación enfocado en la eficiencia energética de los edificios (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2007). Esta normativa se ha concebido para establecer convenios y procedimientos para la estimación de requisitos de energía de iluminación en edificios. Este cálculo diferencia dos clases de potencia instalada en edificios, una asociada a la potencia de luminaria y otra a potencias parásita; el método completo está descrito en el APENDICE A.

La potencia de luminaria se refiere a la potencia que se proporciona para el funcionamiento de la iluminación. La potencia parásita se refiere a la potencia de los sistemas de control de alumbrado y para cargar baterías para el alumbrado de emergencia.

La iluminación y su control representan una contribución significativa al consumo de energía del edificio. Con el fin de estimar el consumo de energía de iluminación y los efectos relacionados con los controles de la ecuación simplificada de la norma europea EN 15193 se utiliza la expresión (1) que se explica en detalle en la Figura 11.

$$W = W_{L,t} + W_{P,t} \mapsto (kWh)$$

(1)

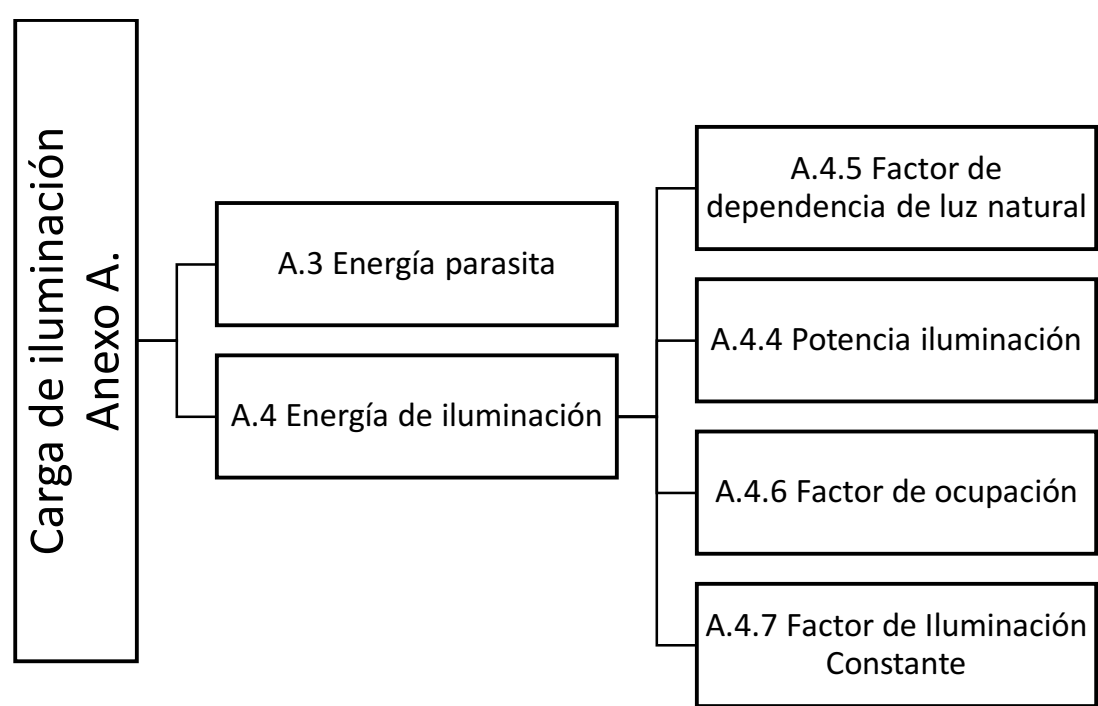


Figura 11. Esquema de cálculo carga iluminación.

Donde

W - La energía total utilizada para la iluminación - la cantidad de energía consumida en el período t, por las luminarias cuando se opera, y las cargas parasitarias cuando las luminarias no están operando, en una habitación o zona, medida en kWh.

W_{L,t} - El consumo de energía se utiliza para la iluminación - la cantidad de energía consumida en el período t, por las luminarias para cumplir la función de iluminación y propósito en el edificio, medida en kWh.

W_{P,t} - Consumo de energía parasitaria - energía consumida en un período t, por el circuito de carga de iluminación de emergencia y por el sistema de control de reserva, medida en kWh.

La Tabla 11 presenta la información requerida para el cálculo de la carga asociada a la iluminación para cada componente del método.

Tabla 11.

Requisitos método calculo iluminación

	Radiación solar	Dimensiones del recinto	Orientación del recinto	Área de ventanas	Tipo de ventana	Tipo de pared	Tipo de techo	Actividad personas	Numero de claraboyas	Nivel de iluminación	Tipo de luminaria lámpara	Tipo de obstrucciones
Iluminación	Potencia iluminación	X	X								X	
	Factor de iluminación constante										X	
	Factor de ocupación							X				
	Factor de dependencia luz natural	X		X	X	X	X	X	X	X		X
	Energía parasitas										X	

5.1.2 Cálculo Carga de Refrigeración. Esta sección expone el método para el cálculo de la 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 éste una

temperatura y humedad diferentes, generalmente, inferiores a la del exterior (A. F. Carreño, Ortega, Flórez, Osma, & Ordoñez, 2016).

El calor que ingresa como consecuencia de las diferencias de temperaturas, se llama calor sensible y, el que se introduce a causa de la diferencia de humedades, se llama calor latente. Ambos dependen de una serie de factores que se exponen en el APENDICE B. Tanto la carga sensible como la carga latente se deben a distintos conceptos que se calculan de forma separada (A. F. Carreño et al., 2016), tal como muestra la Figura 12.

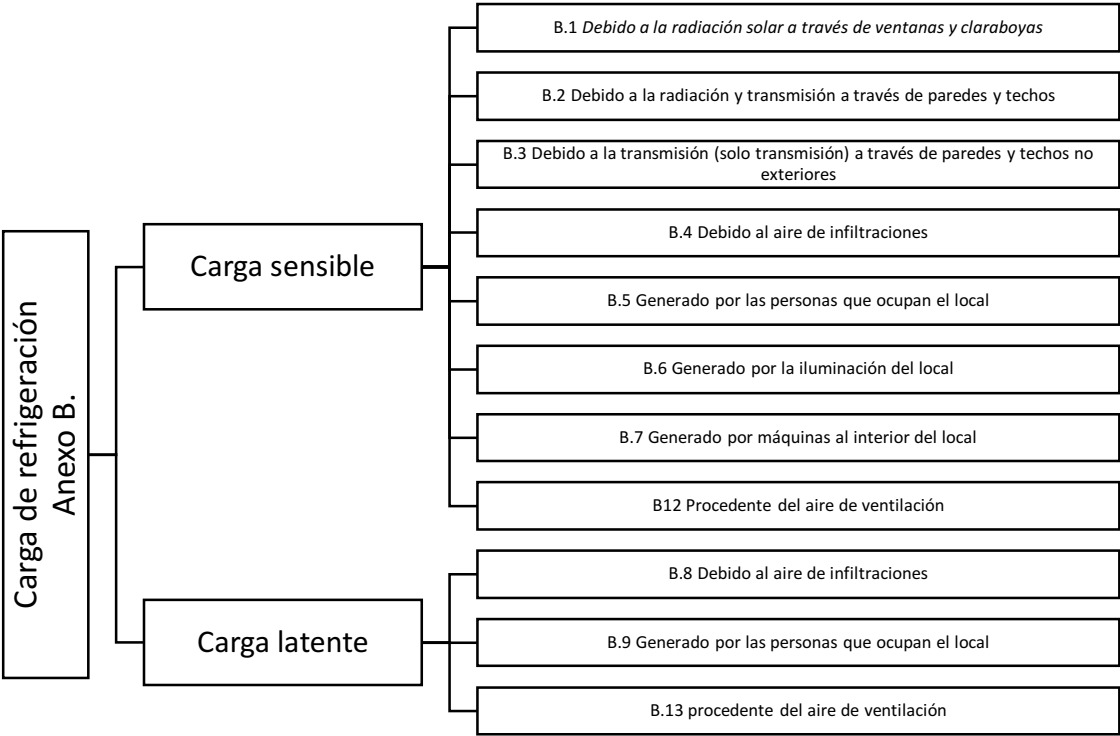


Figura 12. Esquema de cálculo carga refrigeración

El método expuesto determina la carga de refrigeración instantánea de la forma que sigue. Primero, se calculan las cargas sensibles debido a la diferencia de temperaturas, luego se estudian las cargas latentes debido a la diferencia de humedad; posteriormente, se suman con las cargas sensible y latente, procedentes del aire de ventilación.

También, cabe mencionar que el desarrollo del cálculo de carga de refrigeración, debe seguir un método determinado. En este caso se utilizó el método diferencial de carga de enfriamiento (CLTD/CLF). 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.

La descripción del cálculo de carga de enfriamiento se explica en el APENDICE B, donde se muestra 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 (Miranda, 2010).

El cálculo de la carga refrigeración posee los siguientes requisitos asociados a componente del método, tal como lo presenta la Tabla 12.

Tabla 12.

Requisitos método calculo refrigeración.

	Radiación solar	Temperatura Ambiente	Temperatura de trabajo	Hum. relativa ambiente	Hum. relativa de trabajo	Dimensiones del recinto	Orientación del recinto	Área de ventanas	Tipo de ventana	Tipo de pared	Tipo de techo	numero personas	actividad personas	numero puertas	Potencia iluminación
Calor sensible Debido a la radiación solar a través de ventanas	X						X	X	X						
Calor sensible Debido a la radiación y transmisión a través de ventanas exteriores		X	X			X				X					
Calor sensible Debido a la radiación y transmisión a través de techos exteriores		X	X								X				
Calor sensible Debido transmisión a través de paredes no exteriores		X	X			X			X						
Calor sensible debido a aire de infiltración		X	X									X		X	
Calor sensible generado por las personas												X	X		



Calor sensible generado por la iluminación					X
Calor latente generado por las personas				X	X
Calor latente debido al aire de infiltración				X	X
Calor Sensible procedente de aire de ventilación	X	X			
Calor latente procedente del aire de ventilación			X	X	

5.2 Adecuación de Métodos

Los métodos evaluados exponen la forma de determinar la carga instantánea de la carga de refrigeración e iluminación de acuerdo a condiciones físicas y climáticas del recinto; de tal forma que el cálculo toma como referencia una condición favorable que permita determinar la mayor carga requerida en sólo un instante. Para lograr adecuar estos métodos para integrar la influencia de las técnicas de control y automatización se requiere evaluar los métodos en una base distinta a la instantánea, considerando el perfil de operación de las técnicas de control y automatización se determina una base horaria para la evaluación de los métodos.

Es necesario resaltar que los métodos evaluados para el cálculo de carga de refrigeración e iluminación son métodos independientes que no incorporan en sus procesos de cálculo las características de operación derivadas de la implementación de técnicas de automatización. Así pues, esta sección presenta la cohesión de estos dos métodos en base horaria, donde las características micro climáticas, la operación de las técnicas de automatización y los perfiles de ocupación de los recintos son tenidas en cuenta en sus métodos de cálculo, de manera que genere un método acondicionado para el cálculo de la carga de iluminación y refrigeración ajustado a las condiciones presentes en la Universidad Industrial de Santander.

5.2.1 Microclima. De acuerdo a lo expuesto en el Capítulo 2.3, los parámetros suministrados por la estación meteorológica de la E3T-UIS, son condensados en la Figura 13, desatacando la temperatura, humedad y radiación solar para los años 2014 y 2015 (A. Carreño & Ortega, 2016).

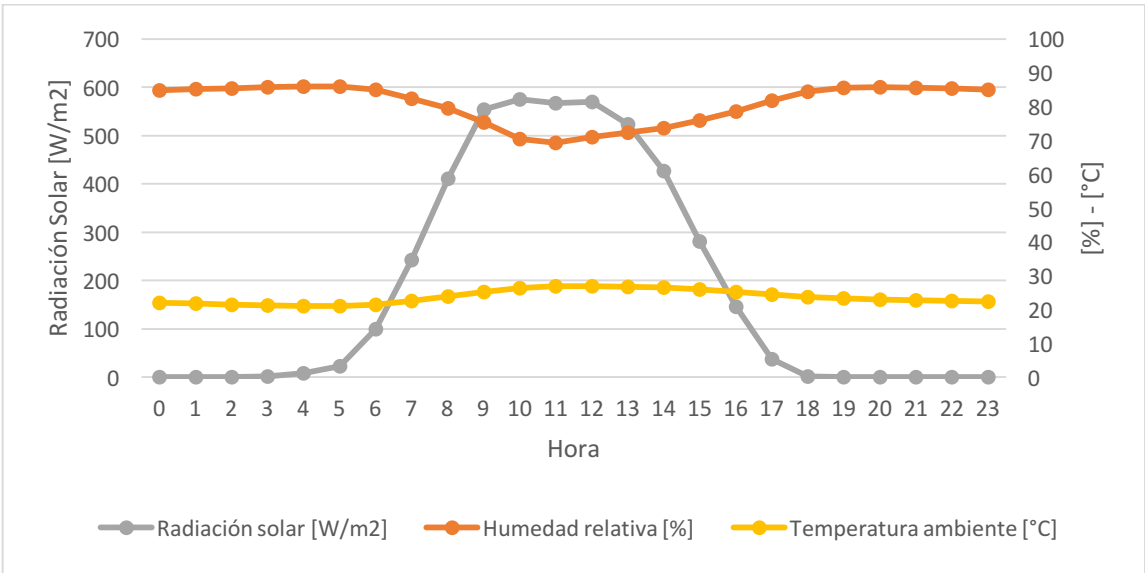


Figura 13. Micro clima por hora

5.2.2 Operación Técnicas de Control y Automatización. La operación de las diversas técnicas expuestas en el Capítulo 4, está asociada a encendido/funcionamiento de los sistemas de iluminación y refrigeración, al igual que el valor de sus consignas (intensidad luminosa y temperatura). Las tablas 14 y 15 exponen la operación de las 14 técnicas estudiadas. Donde *DO = Depende Ocupación, *DRS = Depende Radiación Solar, *TT = Temperatura de Trabajo.

Tabla 13.

Operación técnicas control automatización A

TECNICA	Ocupación		Anochecer amanecer		Control de ocupación Real		Iluminación Constante		Encendido/ Apagado		Apagado Temprano		Interrupción	
	Encendido	Consigna	Encendido	Consigna	Encendido	Consigna	Encendido	Consigna	Encendido	Consigna	Encendido	Consigna	Encendido	Consigna
HORA														
0	0	0%	0	0%	0	*DO	0	*DRS	0	*TT	0	*TT	0	*TT
1	0	0%	0	0%	0	*DO	0	*DRS	0	*TT	0	*TT	0	*TT
2	0	0%	0	0%	0	*DO	0	*DRS	0	*TT	0	*TT	0	*TT
3	0	0%	0	0%	0	*DO	0	*DRS	0	*TT	0	*TT	0	*TT
4	0	0%	0	0%	0	*DO	0	*DRS	0	*TT	0	*TT	0	*TT
5	0	0%	0	0%	0	*DO	0	*DRS	0	*TT	0	*TT	0	*TT
6	1	100%	1	100%	1	*DO	1	*DRS	0	*TT	0	*TT	0	*TT
7	1	100%	1	100%	1	*DO	1	*DRS	1	*TT	0	*TT	0	*TT
8	1	100%	1	100%	1	*DO	1	*DRS	0	*TT	1	*TT	1	*TT
9	1	100%	1	100%	1	*DO	1	*DRS	1	*TT	1	*TT	1	*TT
10	1	100%	0	0%	1	*DO	1	*DRS	0	*TT	1	*TT	1	*TT
11	1	100%	0	0%	1	*DO	1	*DRS	1	*TT	1	*TT	1	*TT
12	1	100%	0	0%	1	*DO	1	*DRS	0	*TT	1	*TT	0	*TT
13	1	100%	0	0%	1	*DO	1	*DRS	1	*TT	1	*TT	0	*TT
14	1	100%	0	0%	1	*DO	1	*DRS	0	*TT	1	*TT	1	*TT
15	1	100%	0	0%	1	*DO	1	*DRS	1	*TT	1	*TT	1	*TT
16	1	100%	1	100%	1	*DO	1	*DRS	0	*TT	1	*TT	1	*TT
17	1	100%	1	100%	1	*DO	1	*DRS	1	*TT	0	*TT	1	*TT
18	1	100%	1	100%	1	*DO	1	*DRS	0	*TT	0	*TT	0	*TT
19	1	100%	1	100%	1	*DO	1	*DRS	0	*TT	0	*TT	0	*TT
20	1	100%	1	100%	1	*DO	1	*DRS	0	*TT	0	*TT	0	*TT
21	1	100%	1	100%	1	*DO	1	*DRS	0	*TT	0	*TT	0	*TT
22	0	0%	0	0%	0	*DO	0	*DRS	0	*TT	0	*TT	0	*TT
23	0	0%	0	0%	0	*DO	0	*DRS	0	*TT	0	*TT	0	*TT

Tabla 14.

Operación técnicas control automatización B

TECNICA	de Reducción demanda		de Ciclo trabajo agresivo		Línea Base		Step Up		Incremento lineal		Pre-enfriamiento extendido		Cinco periodos	
	Encendido	Consigna	Encendido	Consigna	Encendido	Consigna	Encendido	Consigna	Encendido	Consigna	Encendido	Consigna	Encendido	Consigna
HORA														
0	0	*TT	0	*TT	0	32	0	32	0	32	1	*TT-2°C	0	32
1	0	*TT	0	*TT	0	32	0	32	0	32	1	*TT-2°C	0	32
2	0	*TT	0	*TT	0	32	0	32	0	32	1	*TT-2°C	0	32



3	0	*TT	0	*TT	0	32	0	32	0	32	1	*TT-2°C	0	32
4	0	*TT	0	*TT	0	32	0	32	0	32	1	*TT-2°C	0	32
5	1	*TT	0	*TT	0	32	0	32	0	32	1	*TT-2°C	0	32
6	1	*TT	0	*TT	1	32	1	32	1	32	1	*TT	1	32
7	0	*TT	1	*TT	1	*TT	1	*TT	1	*TT	1	*TT+0,22°C	1	*TT-2°C
8	1	*TT	1	*TT	1	*TT	1	*TT	1	*TT	1	*TT+0,44°C	1	*TT-2°C
9	1	*TT	1	*TT	1	*TT	1	*TT	1	*TT	1	*TT+0,67°C	1	*TT-2°C
10	1	*TT	1	*TT	1	*TT	1	*TT	1	*TT	1	*TT+0,89°C	1	*TT-2°C
11	1	*TT	1	*TT	1	*TT	1	*TT	1	*TT	1	*TT+1,11°C	1	*TT
12	0	*TT	0	*TT	1	*TT	1	*TT	1	*TT	1	*TT+1,33°C	1	*TT
13	1	*TT	1	*TT	1	*TT	1	*TT+2°C	1	*TT+0,33°C	1	*TT+1,56°C	1	*TT
14	1	*TT	1	*TT	1	*TT	1	*TT+2°C	1	*TT+0,66°C	1	*TT+1,78°C	1	*TT+2°C
15	1	*TT	1	*TT	1	*TT	1	*TT+2°C	1	*TT+1°C	1	*TT+2°C	1	*TT+2°C
16	1	*TT	1	*TT	1	*TT	1	*TT+2°C	1	*TT+1,33°C	1	*TT+2°C	1	*TT+2°C
17	1	*TT	1	*TT	1	*TT	1	*TT+2°C	1	*TT+1,66°C	1	*TT+2°C	1	*TT+2°C
18	1	*TT	1	*TT	1	*TT	1	*TT+2°C	1	*TT+2°C	1	*TT+2°C	1	32
19	0	*TT	1	*TT	1	32	1	32	1	32	1	*TT+2°C	1	32
20	0	*TT	0	*TT	1	32	1	32	1	32	0	32	1	32
21	0	*TT	0	*TT	1	32	1	32	1	32	0	32	1	32
22	0	*TT	0	*TT	0	32	0	32	0	32	0	32	0	32
23	0	*TT	0	*TT	0	32	0	32	0	32	0	32	0	32

Respecto a la garantía de las condiciones de confort térmico sujetas a la aplicación del método de cálculo de energía requerida para la refrigeración, se consideraron las normativas ISO 7730 y EN-27730, donde se establecen los rangos de confort térmicos, así: Temperatura 23-26°C, Humedad relativa 45-65% y velocidad del viento 0.14-0.25 m/s.

5.2.3 Ocupación por Recinto. Algunas de las técnicas tienen una dependencia con la ocupación, por esto se generó un perfil de ocupación, *Tabla 15*, de los recintos analizados en esta investigación. Este perfil de ocupación considera el horario de funcionamiento tanto de la universidad como de los distintos recintos analizados, ya que estos varían de acuerdo a las características



de sus ocupantes (e.g. estudiantes, profesores, administrativos, público en general) y del tiempo de permanencia.

Tabla 15.

Perfil de ocupación por recinto

	Aulas de clase	Laboratorio	Oficinas de trabajo	Aulas docentes	Aulas computo	Bancos	Biblioteca	Auditorio	Sala de exposiciones	Sala de reuniones	Farmacia	Consultorio	Comercio	Centros de estudio
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
7	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1
13	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1
14	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
18	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1
19	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1
20	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1
21	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nivel iluminación	500	500	500	500	500	200	200	500	500	200	750	500	500	500

Se consideran establecieron los niveles de iluminación para cada recinto de acuerdo a su actividad, según lo establecido en: guía técnica ICONTEC GT-08 “Principios de Ergonomía Visual, Iluminación para ambientes de Trabajo en Espacios Cerrados” y RETILAP (Numeral 410.1). Esto niveles de iluminación permiten avalar los resultados generados por el método.

5.2.4 Vinculación de Métodos. Respecto a la relación entre los dos métodos, se destaca el hecho que el método para el cálculo de la energía requerida para la refrigeración posee un apartado denominado “Calor sensible generado por la iluminación” el cual depende directamente de la energía requerida para iluminar el recinto; lo que implica una dependencia directa entre el método para el cálculo de la energía de refrigeración con el cálculo de la energía para iluminación.

5.3 Implementación

Posterior a las etapas de análisis, adecuación y vinculación, resta la etapa de implementación en donde los nuevos métodos adecuados y vinculados es puesto en funcionamiento a través de un formulario sobre Microsoft Excel ®, En modo de síntesis la presente sub sección pretende exponer la implementación de dicho método, para ello muestra los requisitos del nuevo método seguido de la metodología de implementación del mismo.

5.3.1 Método Cálculo Carga Total. Para efectos de este cálculo se creó una herramienta computacional que se fundamenta en los parámetros mencionados anteriormente. A continuación, se muestra la relación entre cada parte del cálculo de iluminación y refrigeración, *Tabla 16*, con la información requerida al usuario y el micro clima del sitio.

En general, la radiación solar, temperatura ambiente, humedad relativa y ocupación, representa el mayor cumulo de información requerida para el cálculo de la carga de total, refrigeración más iluminación, sin olvidar la influencia que tienen el tipo de estrategia de climatización o iluminación y el tipo de recinto sobre todos los parámetros requeridos para el cálculo de la carga total.

Parámetros de cálculo de carga versus requerimientos para el usuario.

[illegible]

5.3.2 Metodología de Implementación. La metodología de implementación del método modificado, capítulo 5.2, procura entregar al usuario la clasificación de las 3 diferentes técnicas de iluminación y ventilación con mayor ahorro para ser implementadas en el recinto universitario evaluado, expuestas en el capítulo 4. Para esto el conjunto de técnicas son clasificadas de acuerdo a la demanda energética en comparación a un escenario base (escenario que no incluye la aplicación de técnicas de automatización sobre el recinto evaluado). La Figura 14 muestra el diagrama de bloques de la metodología propuesta.

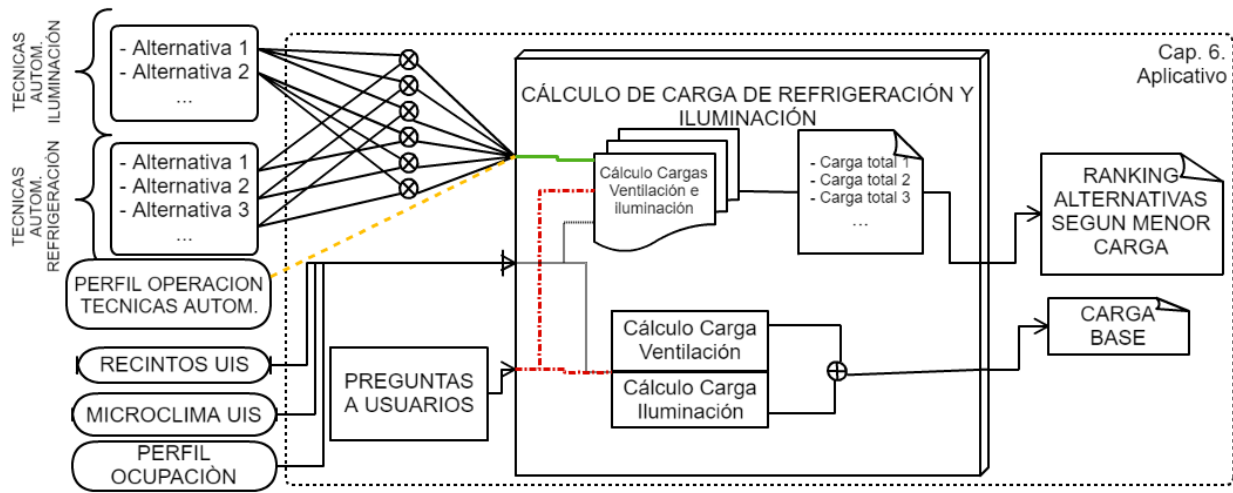


Figura 14. Implementación métodos acondicionados y vinculados.

Como primera medida la metodología combina las técnicas expuestas en el capítulo 4 para generar un conjunto de 40 escenarios de técnicas climatización–iluminación, tal como se muestra en la Tabla 17.



Tabla 17.

Combinación técnicas iluminación y ventilación.

Técnicas de climatización											
Técnicas de iluminación		Interrupción	Apagado Temprano	Reducción de demanda	Encendido Apagado	Ciclo de trabajo Agresivo	Línea base	STEP UP	Incremento Lineal	Pre enfriamiento extendido con pre ajuste	5 Períodos de programación
	Ocupación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Anochecer –amanecer	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	ROC	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	Iluminación constante	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40

Luego a partir de los nuevos requerimientos del método modificado se provee al formulario con la información (en base horaria) del microclima, la operación de las técnicas de control, el perfil de ocupación del recinto; para que sumado con la información introducida por el usuario de las características arquitectónicas del recinto, el software calcule la carga base de iluminación y ventilación para el recinto; para luego calcular las cargas de iluminación y ventilación aplicando al recinto cada una de las 40 combinaciones de técnicas de automatización. Al final esta metodología permite generar una clasificación de acuerdo al cálculo obtenido.

6. Software de Selección

Por efecto de interface se realizó un formulario utilizando Visual Basic para Microsoft Excel que permite al usuario introducir la información requerida para hacer el cálculo de la carga total, que incluye la carga de iluminación y la carga de refrigeración, de un recinto determinado, diseñado o

conocido, entregando como resultado la clasificación del conjunto estrategia climatización/iluminación que mayores ahorros energéticos ofrece al recinto evaluado por el usuario, comparado con el consumo energético del mismo recinto sin aplicación de estrategias de automatización.

A continuación, se presenta el formulario desarrollado, formado por cuatro pestañas, tres de las cuales están orientadas a la recopilación de la información del recinto y una última que expone los resultados comparativos de la carga base, carga del recinto sin implementación de técnicas de automatización, contra los mejores tres escenarios de ahorro energético debido a la implementación de las técnicas de automatización expuestas en el Capítulo 4.

En particular, este aplicativo opera como formulario y visor de resultados; al solicitar la información necesaria al usuario y exponer los resultados más relevantes. el proceso, operación y datos requerido para el cálculo se encuentran alojados en el libro de Excel asociado al formulario, por lo cual el presente aplicativo o formulario sólo funciona si se encuentra asociado al libro de Excel desarrollado.

6.1 Sección Preguntas Solicitud de Información

El aplicativo, como primera medida, solicita al usuario la información necesaria para realizar el cálculo de carga, la Figura 15 muestra capturas de pantalla de las tres primeras pestañas. En estas pestañas el formulario solicita al usuario información relacionada con el recinto a evaluar, como dimensiones, tipo de actividad que se realizara en él, dimensión de ventanas y tipo de obstrucciones de las misma, entre otros datos de mayor detalle como el tipo de luminaria que desea utilizar o las consignas del confort térmico. Es importante recordar que el presente software es materia de recintos ubicados en Bucaramanga, en particular del microclima y características de los recintos

propios de la universidad industrial de Santander, por ende, algunas preguntas están limitadas a las características particulares que pueden ser ofrecidas por este tipo de entorno.



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



Creditos | **Parámetros del recinto** | Parámetro del recinto | Condiciones de trabajo | Resultados

Parámetros del recinto

Seleccione o digite las respuestas

Tipo de espacio o recinto

Altura del espacio [m]

Longitud fachada Norte o Sur [m]

Longitud fachada Este o Oeste [m]

Altura de trabajo [m]

Altura plano luminarias [m]

Número de personas

Actividad realizada por las personas

Número de puertas

Tipo de pared

Factor de reflexión pared

Ubicación de techo

Factor de reflexión techo



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



Creditos | **Parámetros del recinto** | Parámetro del recinto | Condiciones de trabajo | Resultados

Parámetros del recinto

Seleccione o digite las respuestas

Tipo de iluminación

Tipo de persiana

Claraboyas

Angulo Inclinacion [°]

Area [m^2]

Cantidad Claraboyas

Tipo Acristalado Claraboyas

FACHADA:

Norte

Sur

Este

Oeste

Tipo de Espacio Adyacente

Altura Espacio Adyacente [m]

longitud Espacio Adyacente [m]

Ancho Espacio Adyacente [m]

Area de ventana [m^2]

Tipo de Acristalado

Angulo obstruccion vertical [°]

Angulo obstruccion horizontal [°]

Angulo voladizo horizontal [°]

a. Pestaña 1

b. Pestaña 2



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



Creditos | **Parámetros del recinto** | Parámetro del recinto | Condiciones de trabajo | Resultados

Parámetro del recinto

Seleccione o digite las respuestas

Temperatura de trabajo [°C]

Humedad relativa de trabajo [%]

Potencia equipos electricos en recinto

Seleccione o digite las respuestas

Potencia total de equipos instaladas [W]

Eficiencia de equipos instaladas

c. Pestaña 3

Figura 15. Sección de preguntas

6.2 Sección Resultados

La pestaña 4 muestra los resultados al usuario de la siguiente forma: con base en la información entregada en la sección de preguntas se hace el cálculo del consumo energético diario para los sistema de climatización y de iluminación sin la aplicación de estrategias de control o automatización, a lo cual se denominó energía base; siendo este resultado la referencia frente a la cual se comparara el consumo implementado técnicas de control o automatización y así Clasificar el conjunto de estrategias de mayor a menor porcentaje de ahorro. La Figura 16 muestra capturas de pantalla de la presente sección.

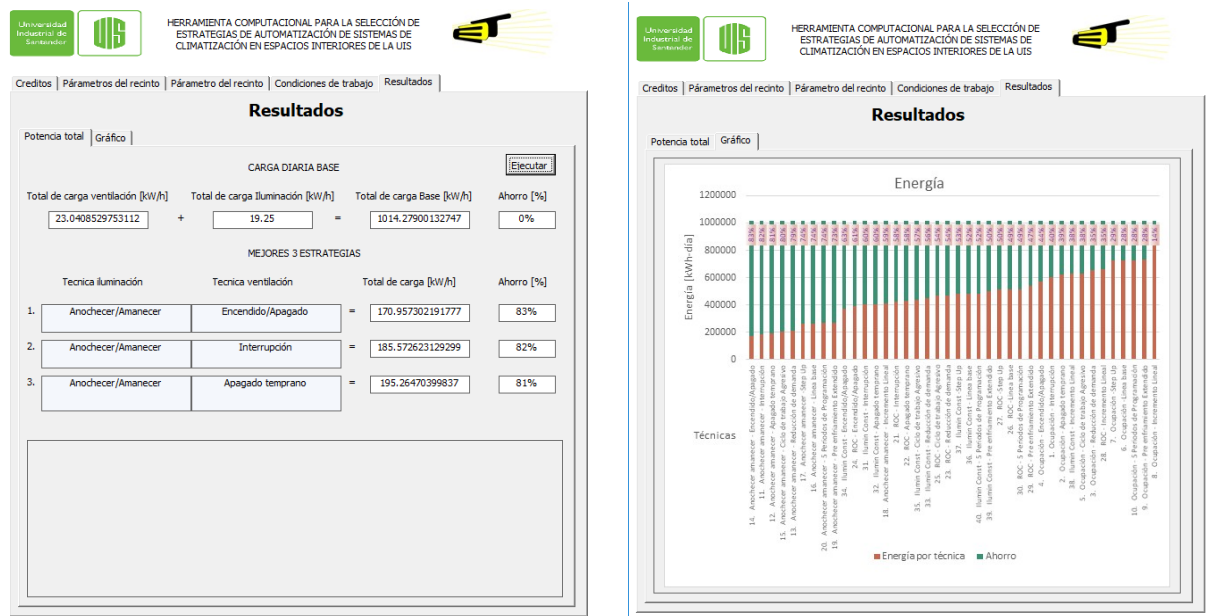


Figura 16. Sección de resultados.

Referente al cálculo de línea base, este incluye todos los parámetros introducidos por el usuario en la sección de preguntas, junto a los perfiles de ocupación y microclima del recinto. Es decir, el cálculo de línea base solamente no toma en cuenta los efectos producidos por la aplicación de las técnicas de control o automatización. Lo que permite tener una referencia adecuada de

comparación, la cual posee todos los parámetros característicos de un recinto perteneciente a las Universidad Industrial de Santander.

6.3 Ejemplo de Operación

Se realizó el cálculo del consumo energético para dos ambientes universitarios recurrentes, un aula de clase y una oficina, los parámetros solicitados al usuario se muestran en la Tabla 18.

Tabla 18.

Ejemplos de operación

Preguntas	Recinto 1	Recinto 2
Tipo de espacio	Aula de clase	Oficina
Altura del espacio [m]	3	3
Longitud fachada Norte o Sur [m]	11	3
Longitud fachada Este u Oeste [m]	5	4
Altura plano de trabajo [m]	0,85	0,85
Altura plano luminarias [m]	0	0
Número de personas	40	2
Actividad realizada por las personas	Sedentario	Sentado
Número de puertas	1	1
Tipo de pared	Exterior	Exterior
Factor de reflexión pared	0,5	0,5
Tipo de techo	Interior	Exterior
Factor de reflexión de techo	0,75	0,75
Tipo de iluminaria	Fluorescentes	LED
Tipo de persiana	Ordinaria	Ordinaria
Angulo inclinación claraboya [°]	N/A	0°
Área claraboya [m ²]	N/A	1
Cantidad Claraboyas	N/A	3
Tipo de acristalamiento de claraboya	N/A	Ordinario
Fachada con abertura	SUR	Norte
Tipo de espacio adyacente	Patio	Patio
Altura espacio adyacente [m]	10	0,1
Longitud espacio adyacente [m]	20	100
Ancho espacio adyacente [m]	30	100
Área de ventana [m ²]	15	10
Tipo de acristalamiento	Simple	Simple
Angulo de obstrucción vertical [°]	5	0
Angulo de obstrucción horizontal [°]	45	15
Angulo de voladizo horizontal [°]	0	0
Temperatura de trabajo [°C]	24	22
Humedad relativa de trabajo [%]	60	60
Potencia equipos adicionales [W]	N/A	1000
Eficiencia equipos adicionales [%]	N/A	95

Como resultado se obtuvo que el Aula de clases tiene un consumo energético diario de 39.74 kWh sin la implementación de técnicas de automatización; el efecto, de la implementación de las



técnicas Anochecer/Amanecer-Encendido/Apagado genera un ahorro energético del 83%. Por otra parte, para la oficina el consumo energético sin técnicas de automatización es de 7.716 kWh y la implementación de técnicas de Iluminación Constante –Encendido/Apagado genera un ahorro energético del 74%.

Como ilustración de las funcionalidades del aplicativo, se realizan cambios individuales en los parámetros de temperatura, humedad, área de venta, nueva ventana en fachada opuesta y tipo de iluminación tal como se muestra en la Tabla 19 y Tabla 20. En estas tablas se evidencia los cambios en el consumo energético del recinto al sufrir modificaciones en sus parámetros de diseño.

Tabla 19.

Cambio de parámetros Aula de clase

		Modificaciones					
		Sin modificaciones	Temperatura	Humedad	Area ventana	Nueva Ventana	Iluminación
Valor Modificado a:		--	21 [°C]	40 [%]	33 [m²]	30 [m²] Norte	LED
Recinto 1	Carga Total Base [kW]	39.74	40.84	39.74	43.66	41.13	32.73
	Técnicas de mayor ahorro	Anochecer amanecer - Encendido/Apagado	Anochecer amanecer - Encendido/Apagado	Anochecer amanecer - Encendido/Apagado	Anochecer amanecer - Encendido/Apagado	Anochecer amanecer - Encendido/Apagado	Anochecer amanecer - Encendido/Apagado
	Carga Total con Técnicas [kW]	7.22	7.23	6.87	6.83	6.84	5.99
	% ahorro	83%	82%	83%	84%	83%	82%
	Potencia iluminación [kWh]	1.29229	1.29229	1.29229	1.29229	1.29229	0.944
	Factor de iluminación constante	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.99
	Factor de ocupación	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
	Factor de dependencia luz natural	1	1	1	1	0.561	1
	Energía parasitas [kW]	1.659	1.659	1.659	1.659	1.659	1.659
	Carga Total Iluminación [kWh]	4.8844	4.8844	4.8844	4.8844	4.8844	4.043
	Calor sensible debido a radiación	2.96275	2.96275	2.96275	6.518	4.226	2.96275

*Los valores totales no corresponden a la suma aritmética de los valores parciales expuestos en esta tabla, para mayor claridad Anexo A y B.



El recinto 1 (aula de clase) recibe cinco modificaciones en sus parámetros. La primera disminuye su temperatura de operación a 22 °C ocasionando un amento en la potencia de refrigeración del 20% debida a la mayor diferencia de temperatura entre el interior y exterior del recinto. La segunda modificación disminuye la humedad relativa de operación a 40% aumentando el calor latente debido al aire de infiltración en 180%. La tercera modificación aumenta el área de la ventana a 33 m², produciendo en primera medida una carga total menor debida al mayor aporte del calor sensible del recinto. La cuarta modificación agrega una ventana de 30 m² en la fachada norte, generando efectos similares a los efectuados por la modificación tres. Por último, la quinta modificación cambia las luminarias a LED generando una disminución del 17% de la carga de iluminación.

Tabla 20.

Cambio de parámetros Oficina

		Modificaciones					
		Sin modificacion es	Temperatura	Humedad	Area ventana	Nueva Ventana	Iluminación
Valor Modificado a:		--	18 [°C]	40 [%]	5 [m2]	6 [m2] Este Interior	Fluorescente compacta
Recinto 2	Carga Total Base [kWh]	7.716	8.178	7.716	7.496	8.65	9.96
	Técnicas de mayor ahorro	Ilumin. Const. - Encendido/A pagado	Ilumin. Const. - Encendido/A pagado	Ilumin. Const. - Encendido/A pagado	Ilumin. Const. - Encendido/A pagado	Ilumin. Const. - Encendido/A pagado	Ilumin. Const. - Encendido/A pagado
	Carga Total con Técnicas [kWh]	2.03	2.16	2.07	2.03	2.02	2.34
	% ahorro	74%	74%	73%	73%	77%	76%
	Potencia iluminación [kWh]	0.274	0.274	0.274	0.274	0.274	0.396
	Factor de iluminación constante	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.96
	Factor de ocupación	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
	Factor de dependencia luz natural	1	1	1	1	1	0.3427
	Energía parasitas [kWh]	0.896	0.896	0.896	0.896	0.896	0.896

El recinto 2 (Oficina) recibe igualmente cinco modificaciones en sus parámetros. La primera disminuye su temperatura de operación a 18 °C ocasionando un amento en un 24 % de la potencia de refrigeración. La segunda modificación disminuye, nuevamente, la humedad relativa de operación a 40% aumentando el calor latente debido al aire de infiltración en un 46%. La tercera modificación reduce el área de la ventana a 5 m², produciendo en primera medida una carga total menor debida al menor aporte del calor sensible del recinto. La cuarta modificación agrega una ventana de 6 m² en la fachada Este, generando un aumento en el calor sensible del 200%. Por último, la quinta modificación cambia las luminarias a fluorescente compacta generando aumento en la carga de iluminación del 16%.

El desarrollo de este ejemplo expone la sencillez con que el usuario puede evidenciar los efectos producidos al cambiar uno o varios parámetros del recinto evaluado al utilizar el aplicativo, luego esto le permite considerar realizar algunas modificaciones en su diseño que permita la reducción de la carga energética total sin afectar las condiciones de confort del recinto.

7. Conclusiones

En general la presente investigación acoplo dos métodos, uno de carga de iluminación y otro de carga refrigeración, mediándote el ajuste de su base de cálculo; esta base paso de entregar la energía máxima por mes a entregar energía máxima por hora requerida para la refrigeración e iluminación de un recinto, esto para permitir la integrar técnicas de automatización a sus métodos de cálculo. Esta integración posibilito considerar los efectos asociados al micro clima y operación

de recintos propios de la Universidad Industrial de Santander en los cálculos de carga de refrigeración e iluminación.

En general, las condiciones micro climáticas de la Universidad Industrial de Santander son típicas de climas tropicales húmedos, con temperaturas promedio, mínima y máxima de 25,5°C, 17,4°C y 34,3°C respectivamente, humedades relativas superiores al 70% y una radiación solar máxima cercana a los 650 W/m². En particular el establecimiento de una temperatura y humedad relativa de trabajo en los recintos cercanas a las ofrecidas en el microclima garantiza un uso racional de la energía, al disminuir las cargas sensibles y latentes que posee el recinto.

Las técnicas de control y automatización estudiadas para los sistemas de iluminación y climatización se pueden recoger en tres grandes grupos. En el primer grupo están aquellas técnicas que manipulan la operación (encendido y apagado) de los sistemas empleando desde horarios y cronogramas hasta sensado y predicción de presencia. En el segundo grupo están las técnicas que modifican la señal consigna de los sistemas (intensidad luminosa, temperatura y humedad del recinto), variando estas señales consigna dentro de los rangos de confort. Por último, el tercer grupo son técnicas que unen los dos grupos anteriores el manejo operación y señales consigna.

Referente al primer grupo de técnicas de control y automatización, son el grupo que presenta mayores ahorros energéticos debido a la poca cantidad de equipos requeridos para su operación; pero esta ventaja contrasta con el bajo control del confort que poseen, dado que ellas no mantienen un control continuo de las condiciones al interior posibilitando la presencia de condiciones fuera del confort que puedan afectar a los habitantes del recinto.

La disminución en 1°C la temperatura de operación representa un aumento del 1,1% de la carga total del recinto. De igual forma la disminución de la humedad relativa en un 5% se refleja con el

aumento de 0.5% de la carga total del recinto. Por otra parte, en un recinto que implemente alguna de las técnicas de automatización considerada poseerá un aporte del sistema de iluminación equivalente al 70% de la carga total del recinto, convirtiendo a los sistemas de iluminación parte primordial en el uso racional de la energía.

La aplicación desarrollada en este trabajo de investigación, es una herramienta de diseño adecuada para aquellos usuarios que desean evidenciar y cuantificar los efectos producidos, por la modificación de parámetros de diseño, sobre la carga total de un recinto.

Por último, pero no menos importante, los sistemas control y automatización están hechos para satisfacer las necesidades de sus ocupantes. Los hábitos de los ocupantes pueden ser apoyados por los sistemas de controles y automáticos, pero los hábitos de los ocupantes no se pueden sustituir, y aquí la educación juega un papel importante

Referente a los trabajos futuros, es importante resaltar la influencia que tienen la operación de técnicas de automatización (e.g. Encendido/apagado) sobre la vida útil de los equipos de iluminación y climatización; el efecto de esta operación debe ser considerado al momento de diseño y selección de sistemas y equipos de automatización, sin olvidar el costo de adquisición y operación de estos equipos.

Respecto a la búsqueda del menor consumo energético en un recinto determinado, el problema se puede acortar a la optimización de cuatro variables: área de ventanas, temperatura de operación, humedad relativa de operación y rentabilidad económica. Siendo este problema de optimización una mejora sustancial a tocar en trabajos futuros.

Referencias Bibliográficas

- Afram, A., & Janabi-Sharifi, F. (2014). Review of modeling methods for HVAC systems. *Applied Thermal Engineering*, 67(2014), 507–519.
<http://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.03.055>
- Allen, P., Blake, L., Harper, P., Hooker-Stroud, A., James, P., & Kellner, T. (2013). *Zero Carbon Britain: Rethinking the Future*. (A. Hooker-Stroud, H. Oakley, & A. Shepherd, Eds.) (Centre for). Machynlleth, Powys, UK: CAT Publications, CAT Charity Ltd. Retrieved from <http://www.zcb2030.org/images/pdfs/ZCBrtflo-res.pdf>
- Asociación Española de Normalización y Certificación. Ediciencia Energética de los Edificios Requisitos Energéticos para la Iluminación UNE-EN 15193 (2007). España: 91.140.99.
- Atkin, B. (1988). *Intelligent buildings: applications of IT and building automation to high technology construction projects*. (Kogan Page, Ed.). Universidad de Michigan: Kogan Page. Retrieved from <http://books.google.com.co/books?id=tSpSAAAAMAAJ>
- Banyeras, L. J., & Barreras, Á. L. M. (2010). *Técnicas de Refrigeración*. Marcombo. Retrieved from <http://books.google.com.co/books?id=KWrwEVx-DAwC>
- Benya, J., Heschong, L., McGowan, T., Miller, N., & Rubinstein, F. (2003). *Advanced Lighting Guidelines*. The New Buildings Institute, Inc.
- Bonino, D., & Corno, F. (2011). Modeling, simulation and emulation of Intelligent Domotic Environments. *Automation in Construction*, 20(7), 967–981.
<http://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.03.014>

Carreño, A. F., Ortega, A. F., Flórez, J. O., Osma, G. A., & Ordoñez, G. (2016). GESTIÓN DE LA ENERGÍA: HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA LA SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS DE AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN EN ESPACIOS INTERIORES DE LA UIS. Universidad Industrial de Santander.

Carreño, A., & Ortega, A. (2016). GESTIÓN DE LA ENERGÍA: HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA LA SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS DE AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN EN ESPACIOS INTERIORES DE LA UIS. Universidad Industrial de Santander.

Castro-Lacouture, D., Sefair, J. A., Flórez, L., & Medaglia, A. L. (2009). Optimization model for the selection of materials using a LEED-based green building rating system in Colombia. *Building and Environment*, 44(6), 1162–1170.
<http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.08.009>

Chen, C., Cook, D. J., & Crandall, A. S. (2013). The user side of sustainability: Modeling behavior and energy usage in the home. *Pervasive and Mobile Computing*, 9(1), 161–175.
<http://doi.org/10.1016/j.pmcj.2012.10.004>

Chen, K., Jiao, Y., & Lee, E. S. (2006). Fuzzy adaptive networks in thermal comfort. *Applied Mathematics Letters*, 19(5), 420–426. Retrieved from
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S089396590500248X>

Co-funded under the Intelligent Energy – Europe Programme of the European Union. (2012). *Implementing the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD), Featuring Country Reports*. Porto.

Construdata. (2011). *Iluminación + Redes en Colombia*. (J. G. Consuegra & H. Vargas Caicedo, Eds.). Bogota, Colombia.

Diana Carolina, C. B., & Idania Yuliany, M. C. (2010). *TECNOLOGÍA LED: REVISIÓN DE APLICACIONES COMO ALTERNATIVA PARA ENTORNOS SOSTENIBLES*. Universidad Industrial de Santander.

Dodier, R. H., Henze, G. P., Tiller, D. K., & Guo, X. (2006). Building occupancy detection through sensor belief networks. *Energy and Buildings*, 38(9), 1033–1043. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.12.001>

Dounis, A. I., & Caraiscos, C. (2009). Advanced control systems engineering for energy and comfort management in a building environment—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(6–7), 1246–1261. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2008.09.015>

Dounis, A. I., Tiropanis, P., Argiriou, A., & Diamantis, A. (2011). Intelligent control system for reconciliation of the energy savings with comfort in buildings using soft computing techniques. *Energy and Buildings*, 43(1), 66–74. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.08.014>

Emmerich, S. J., Francisco, P., Stevens, D. T., Bales, E. L., Hedrick, R. L., Brennan, T. M., ... Cummings, S. D. (2009). ASHRAE STANDARD Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Low-Rise Residential Buildings. Atlanta: Approved American National Standard. Retrieved from <http://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&sqi=2&ved=0CDAQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ashrae.org%2FFile%2520Library%2FdocLib%2>

FPublic%2F20100608_62_2_2007_f_g_h_i_final.pdf&ei=5KiKUqqVMI7QkQfwoYDoBA
&usg=AFQjCNEVccH2LCoB01S_mCeeZMUQ_9d

Emmerich, S. J., & Persily, A. K. (2001). *State-Of-The-Art Review of Co2 Demand Controlled Ventilation Technology and Application (Google eBook)* (U.S. Depar). Boulder, Colorado: National Institute of Standards and Technology. Retrieved from <http://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=1hrONzju3IYC&pgis=1>

European Commission. (2011). Energy 2020-a strategy for competitive, sustainable and secure energy. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2011. <http://doi.org/10.2833/78930>

Fadzli Haniff, M., Selamat, H., Yusof, R., Buyamin, S., & Sham Ismail, F. (2013). Review of HVAC scheduling techniques for buildings towards energy-efficient and cost-effective operations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 94–103. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.041>

Fanger, P. O. (1970). *Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering*. (Danish Technical Press, Ed.). New York: Danish Technical Press. Retrieved from http://books.google.com.co/books/about/Thermal_comfort.html?id=S0FSAAAAMAAJ&pgis=1

Figueiredo, J., & Martins, J. (2010). Energy Production System Management – Renewable energy power supply integration with Building Automation System. *Energy Conversion and Management*, 51(6), 1120–1126. <http://doi.org/10.1016/j.enconman.2009.12.020>

Figueiredo, J., & Sá da Costa, J. (2012). A SCADA system for energy management in intelligent buildings. *Energy and Buildings*, 49, 85–98. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.01.041>

- Gheji, P. S. M., Kamble, P. K. S., Gavde, P. A. A., & Mane, P. S. P. (2016). Basic Classification of HVAC Systems for Selection Guide. *International Juournal of Innovative Research in Science, Engineening and Technology*, 5(4), 6077–6086.
<http://doi.org/10.15680/IJIRSET.2016.0504242>
- Hanqing, W., Chunhua, H., Zhiqiang, L., Guangfa, T., Yingyun, L., & Zhiyong, W. (2006). Dynamic evaluation of thermal comfort environment of air-conditioned buildings. *Building and Environment*, 41(11), 1522–1529.
<http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.06.002>
- Henao Merchán, Ó. D. (2006). *HARDWARE Y SOFTWARE DOMÓTICO*. UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA.
- Hong, T. (2009). A close look at the China Design Standard for Energy Efficiency of Public Buildings. *Energy and Buildings*, 41(4), 426–435.
<http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.11.003>
- Huidobro Moya, J. M., & Millan Tejedor, R. J. (2007). *DOMÓTICA : EDIFICIOS INTELIGENTES*. (Creaciones Copyright, Ed.). Mexico: LIMUSA.
- Hwang, R.-L., Lin, T.-P., & Kuo, N.-J. (2006). Field experiments on thermal comfort in campus classrooms in Taiwan. *Energy and Buildings*, 38(1), 53–62.
<http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.05.001>
- Imbabi, M. S. (1990). Computer validation of scale model tests for building energy simulation. *International Journal of Energy Research*, 14(7), 727–736.
<http://doi.org/10.1002/er.4440140704>

- International Energy Agency. (2011). *World Energy Outlook*. (IEA International Energy Agency, Ed.) (ilustrada). Paris: IEA Publications. Retrieved from www.worldenergyoutlook.org
- International Energy Agency, & Aalto University. (2010). ANNEX 45 GUIDEBOOK ON ENERGY EFFICIENT ELECTRIC LIGHTING FOR BUILDINGS. In L. Holanen, E. Tetri, & P. Bhusal (Eds.), (p. 376). Finland.
- International Energy Agency, & Systems, E. C. in B. & C. (2000). *Daylight in Buildings*. Berkeley, CA: Lawrence Berkeley National Laboratory.
- ISO 7730 International Standard. (1994). Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Switzerland.
- Kaiser, G. (2008). *Definition of integrated home systems*. (E. Systems, Ed.) (Leonardo E).
- Krüger, E. L., & Zannin, P. H. T. (2004). Acoustic, thermal and luminous comfort in classrooms. *Building and Environment*, 39(9), 1055–1063.
<http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.01.030>
- Loveday, D. L., Virk, G. S., Cheung, J. Y. M., & Azzi, D. (1997). Intelligence in buildings: the potential of advanced modelling. *Automation in Construction*, 6(5–6), 447–461.
[http://doi.org/10.1016/S0926-5805\(97\)00023-X](http://doi.org/10.1016/S0926-5805(97)00023-X)
- Ma, Z., Cooper, P., Daly, D., & Ledo, L. (2012). Existing building retrofits: Methodology and state-of-the-art. *Energy and Buildings*, 55, 889–902. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.08.018>
- McQuiston, F., Parker, J., & Spitler, J. (2010). *Calefacción, ventilación y aire acondicionado; analisis y diseño* (Limusa Wil). Mexico.

- Miranda, Á. L. (2010). *Técnicas de Climatización 3a*. Marcombo. Retrieved from <https://books.google.com.co/books?id=9Ve4cQAACAAJ>
- Osma, G., & Ordóñez, G. (2010). DESARROLLO SOSTENIBLE EN EDIFICACIONES. *UIS Ingenieria*, 0. Retrieved from <http://revistas.uis.edu.co/index.php/revistauisingenierias/article/view/1060>
- Pulselli, R. M., Simoncini, E., & Marchettini, N. (2009). Energy and emergy based cost–benefit evaluation of building envelopes relative to geographical location and climate. *Building and Environment*, 44(5), 920–928. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.06.009>
- Richardson, I., Thomson, M., & Infield, D. G. (2008). A high-resolution domestic building occupancy model for energy demand simulations. *Energy and Buildings*, 40(8), 1560–1566. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.02.006>
- Romero Morales, C., Castro Lozano, C. de, & Vazquez Serrano, F. (2007). *DOMOTICA E INMOTICA: VIVIENDAS Y EDIFICIOS INTELIGENTES* (2nd ed.). Mexico: ALFAOMEGA.
- Schein, J. (2007). An information model for building automation systems. *Automation in Construction*, 16(2), 125–139. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2006.07.006>
- Schneider Electric, & O'Mara, M. (2012). Why invest in high-performance green buildings ? North Andover.
- Siemens Building Technologies. (2013). Desigo building automation – energy-efficient and flexible. Switzerland: Siemens Building Technologies. Retrieved from www.siemens.com/desigo

- Teke, A., & Timur, O. (2014). Assessing the energy efficiency improvement potentials of HVAC systems considering economic and environmental aspects at the hospitals. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33, 224–235. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2014.02.002>
- TSI Incorporated. (2013). HVAC ASSESSMENT HANDBOOK. USA: TSI Incorporated. Retrieved from http://www.tsi.com/uploadedFiles/_Site_Root/Products/Literature/Handbooks/2980245C-HVAC-Handbook-2013-web.pdf
- Universidad Industrial de Santander. (2011). Programa uso racional de la energía (URE). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Retrieved from <http://www.uis.edu.co/webUIS/es/gestionAmbiental/documentos/programasAmbientales/URE.PDF>
- Wang, S., Xu, Z., Li, H., Hong, J., & Shi, W. (2004). Investigation on intelligent building standard communication protocols and application of IT technologies. *Automation in Construction*, 13(5), 607–619. <http://doi.org/10.1016/j.autcon.2004.04.008>
- Wang, Y. N., & Su, Y. R. (2008). Evaluation system to the sustainable development of human resource based on entropy method. *Automation and Logistics, 2008. ICAL 2008. IEEE International Conference on*. <http://doi.org/10.1109/ICAL.2008.4636615>
- Wong, J. K. W., Li, H., & Wang, S. W. (2005). Intelligent building research: a review. *Automation in Construction*, 14(1), 143–159. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2004.06.001>

Yang, R., & Wang, L. (2013). Development of multi-agent system for building energy and comfort management based on occupant behaviors. *Energy and Buildings*, 56, 1–7.
<http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.10.025>

Yoshida, H., & Kumar, S. (1999). RARX ALGORITHM BASED MODEL DEVELOPMENT AND APPLICATION TO REAL TIME DATA FOR ON-LINE FAULT DETECTION IN VAV AHU UNITS Harunori Yoshida and Sanjay Kumar. *IBPSA Building Simulation*, 99, 1–8.
Retrieved from http://www.ibpsa.org/proceedings/bs1999/bs99_b-03.pdf

Apéndice

APENDICE A. CALCULO CARGA DE ILUMINACIÓN

Debe establecerse una estimación de la energía de iluminación requerida para satisfacer la función de iluminación y el propósito en el edificio ($W_{L,t}$) usando la siguiente ecuación:

$$W_{L,t} = \sum_n \frac{\{(P_n * F_c) * [(t_D * F_0 * F_D) + (t_N * F_0)]\}}{1000} \mapsto (kWh) \quad \text{A. 1}$$

Donde

t_D - de luz diurna horas de funcionamiento.

t_N - horas de funcionamiento no luz diurna.

P_n -Total instalado potencia de iluminación, medida en vatios.

F_D -Luz natural factor de dependencia - factor que relaciona el uso de la potencia total instalada de iluminación luz natural disponibilidad en la habitación o zona.

F_0 - Ocupación factor de dependencia - factor que relaciona el uso de la potencia total instalada de iluminación con el período de ocupación en la habitación o zona.

F_C - iluminancia constante factor del factor relacionado con el uso de la potencia total instalada cuando el control de la iluminación constante está en funcionamiento en la habitación o zona.

Se establecerá una estimación de la energía parásita ($W_{p,t}$) requerida para proporcionar energía de carga para el alumbrado de emergencia y para la energía estacionaria para controles de iluminación en el edificio usando la siguiente ecuación:

La estimación de la energía parasitaria ($W_{p,t}$) requerido para proporcionar energía de carga para la iluminación de emergencia y para la energía estacionaria para controles de iluminación en el edificio se establece mediante la siguiente ecuación:

$$W_{P,t} = \sum \frac{\{P_{pc} * [t_y - (t_D + t_N)]\} + (P_{em} * t_e)}{1000} \mapsto (kWh) \quad \text{A. 2}$$

T_y – Estandar de tiempo anual – tiempo en horas empleado por un año, toma como 8760h.

t_D . Las horas de luz - las horas de servicio durante el horario de verano.

t_N . fuera del horario diurno - las horas de servicio durante el tiempo de no-luz diurna.

t_e . Tiempo de carga de emergencia de iluminación - las horas de funcionamiento durante el cual las baterías de iluminación de emergencia que se les carga en horas.

P_{pc} . La potencia total instalada parasitaria de los controles en la habitación o zona - la potencia de entrada de todos los sistemas de control de luminarias en la habitación o zona, medida en vatios.

El método comprensivo permite una determinación más exacta de las estimaciones de energía de iluminación para diferentes períodos, por ejemplo, anual o mensualmente.

Cuando se usa el método comprensivo de estimaciones de energía de iluminación debe usarse la ecuación (1) para el período requerido t .

A.1 DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE DEPENDENCIA DE LUZ NATURAL $F_{D,N}$

La determinación del factor de dependencia de luz natural $F_{D,n}$ para el local o zona $n^{ésimo}$ debería hacerse mediante los métodos descritos a continuación para períodos de tiempo anual y mensual y el proceso ilustrado en el diagrama de flujo (Figura A. 1).

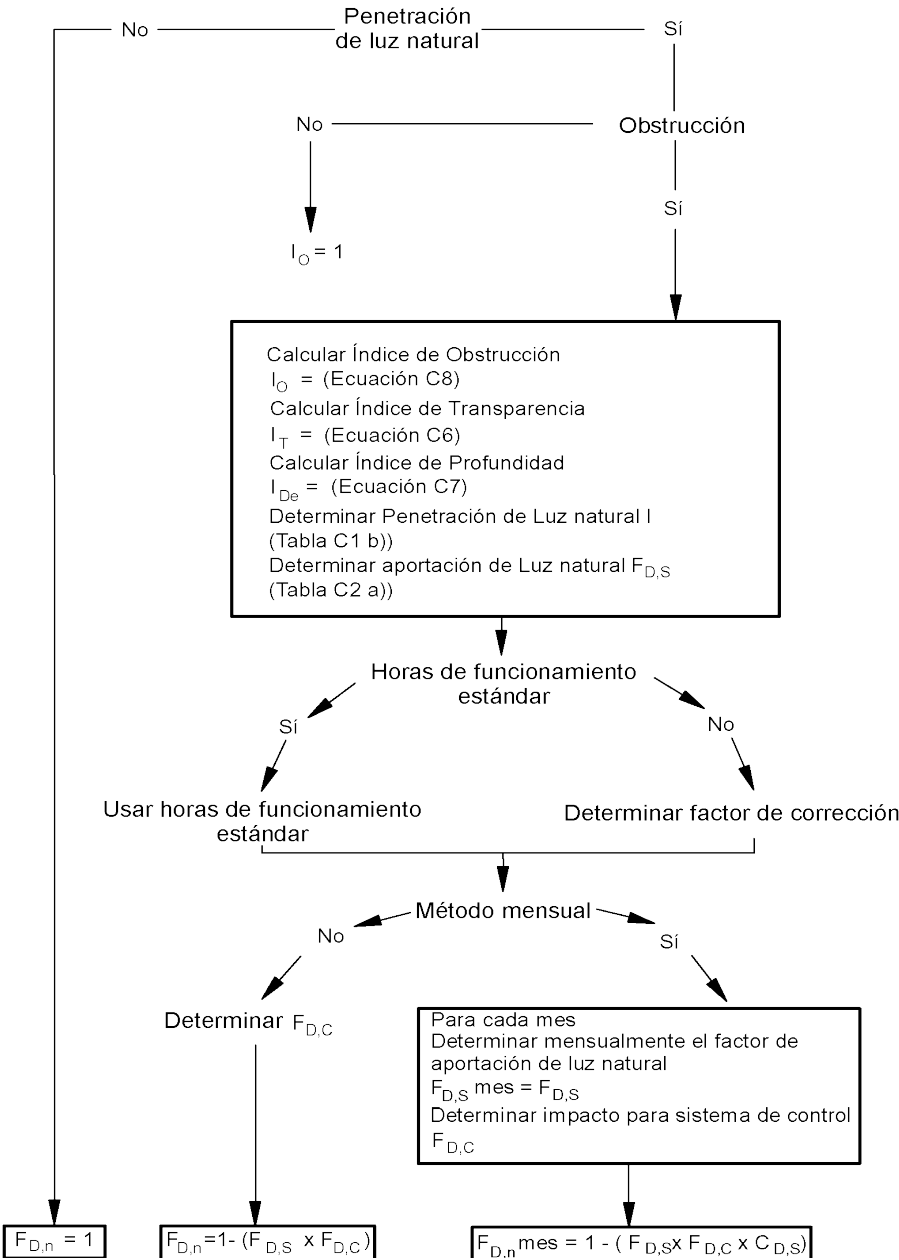


Figura A. 1 Diagrama de flujo cálculo del factor FDS

El factor de dependencia de luz natural $F_{D,n}$ para un local o zona de un edificio se determina como una función del factor de aportación de luz natural $F_{D,S,n}$ y el factor de control de alumbrado eléctrico $F_{D,C,n}$ dependiente de la luz natural y dado por la siguiente ecuación A.3

$$F_{D,n} = 1 - (F_{D,S,n} * F_{D,C,n}) \quad \text{A. 3}$$

donde

$F_{D,S,n}$ es el factor de aportación de luz natural que tiene en cuenta la aportación de luz natural general en la zona n. Representa, para el intervalo de tiempo considerado, la contribución de luz natural a la iluminancia total requerida en la zona n considerada.

$F_{D,C,n}$ es el factor de control de luz natural que tiene en cuenta la capacidad del sistema de control de alumbrado eléctrico dependiente de la luz natural para explotar la aportación de luz natural en la zona n considerada.

El procedimiento ilustrado en la A.1 incorpora las siguientes 5 etapas:

- la segmentación del edificio en zonas con y sin acceso de luz natural;
- la determinación del impacto de los parámetros de local, de la geometría de la fachada y de las obstrucciones exteriores sobre la penetración de luz natural en el espacio interior utilizando el concepto de factor de luz natural;
- la predicción del ahorro de energía potencial descrito por el factor de aportación de luz natural $F_{D,S,n}$ como una función del clima local, iluminancia mantenida y factor de luz natural;
- la determinación de la explotación de la luz natural disponible por el tipo de control de alumbrado por el factor $F_{D,C,n}$ de control de luz natural.
- la conversión del valor anual $F_{D,n}$ a valores mensuales

La aportación de luz natural $F_{D,S,n}$ se evalúa separadamente para fachadas verticales y claraboyas.

La aportación de luz natural de una zona que se beneficia de la luz natural depende de las condiciones de límite geométrico descritas por el índice de transparencia I_T , el índice de profundidad I_{De} y el índice de obstrucción I_O .

A.1.1 ÍNDICE DE TRANSPARENCIA I_T

El índice de transparencia I_T de la parte del edificio, que puede beneficiarse de la luz natural, se define mediante:

$$I_T = A_C / A_D \quad \text{A. 4}$$

donde

AC es el área de la abertura de fachada (abertura de entramado) del espacio considerado [m^2];

AD es el área total de los planos de trabajo horizontales que se benefician de la iluminación natural [m^2].

A.1.2 ÍNDICE DE PROFUNDIDAD IDE FACHADAS VERTICALES

El índice de profundidad I_{De} del espacio, que puede beneficiarse de la iluminación natural se define mediante:

$$I_{DE} = \frac{a_D}{(h_{Li} - H_{Ta})} \quad \text{A. 5}$$

A.1.3 ÍNDICE DE OBSTRUCCIÓN IO

El índice de obstrucción I_O tiene en cuenta los efectos de reducción de la luz incidente sobre la fachada. Ejemplos de obstrucción:

- por otros edificios y obstáculos naturales tales como árboles y montañas;
- el propio edificio incluyendo diseños de patio y atrio simples;
- voladizos horizontales y verticales unidos a la fachada;
- fachadas de doble acristalamiento.

El índice de obstrucción I_O debería obtenerse usando la siguiente ecuación:

$$I_O = I_{O,OB} * I_{O,OV} * I_{O,VF} * I_{O,CA} * I_{O,GDF} \quad \text{A. 6}$$

donde

I_O es el factor de corrección de obstrucción;

$I_{O,OB}$ es el factor de corrección para obstrucciones lineales;

$I_{O,OV}$ es el factor de corrección de voladizo;

$I_{O,VF}$ es el factor de corrección para aletas verticales;

$I_{O,CA}$ es el factor de corrección de patio y atrio;

$I_{O,GDF}$ es el factor de corrección para dobles fachadas de acristalamiento;

Para simplificar, la obstrucción puede evaluarse para una ventana en medio de una fachada. Las influencias de la obstrucción deberían ser promediadas.

$I_{O,OB}$, $I_{O,OV}$, $I_{O,VF}$, $I_{O,CA}$, $I_{O,GDF}$ pueden ser obtenidos como sigue:

A.1.3.1 OBSTRUCCIONES LINEALES, $I_{O,OB}$

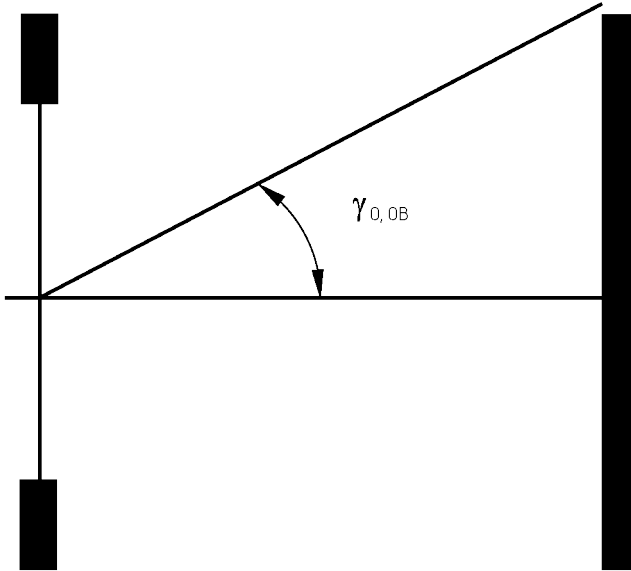


Figura A. 2. Ángulo de obstrucción

De acuerdo con la Figura A.2, el ángulo de obstrucción se determina desde la mitad de la abertura del entramado considerada, medida en el plano exterior de la envolvente del edificio. El factor de corrección para obstrucciones lineales puede obtenerse mediante:

$$I_{O,OB} = \cos(1,5 * \gamma_{O,OB}) \text{ Para } \gamma_{O,OB} < 60^\circ \quad \text{A. 7}$$

$$I_{O,OB} = 0 \text{ Para } \gamma_{O,OB} \geq 60^\circ \quad \text{A. 8}$$

donde

$\gamma_{O,OB}$ es el ángulo de obstrucción ($^\circ$) desde la horizontal de acuerdo con la Figura A.2

A.1.3.2 VOLADIZOS, $I_{O,OV}$

De acuerdo con Figura A. 3, el ángulo de voladizo horizontal se determina a partir de la abertura del entramado considerada, medida en el plano exterior de la envolvente del edificio. El factor de corrección para voladizos puede obtenerse mediante:

$$I_{O,OV} = \cos(1,33 * \gamma_{O,OV}) \text{ Para } \gamma_{O,OV} < 67,5^\circ \quad \text{A. 9}$$

$$I_{O,OV} = 0 \text{ Para } \gamma_{O,OV} \geq 67,5^\circ \quad \text{A. 10}$$

Donde

$\gamma_{O,OV}$ es el ángulo de voladizo horizontal ($^\circ$).

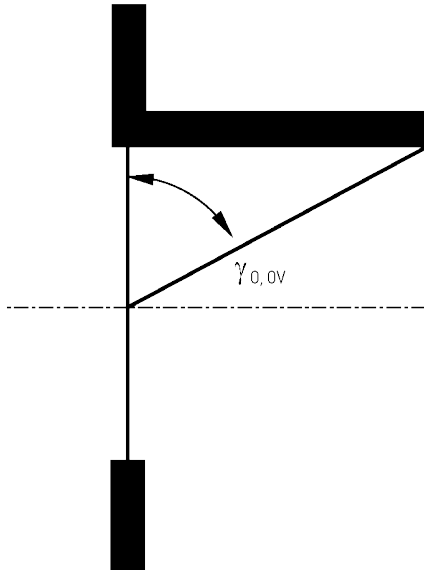


Figura A. 3. Angulo del voladizo

horizontal

De acuerdo con la Figura A.3, el ángulo de obstrucción para las aletas verticales se determina a partir de la abertura del entramado considerada medida en el plano exterior de la envolvente del edificio. El factor de corrección para aletas verticales puede obtenerse mediante:

$$I_{O,VF} = 1 - \gamma_{O,VF} / 300^\circ$$

A. 11

donde

$\gamma_{O,VF}$ es el ángulo de aleta vertical ($^\circ$).

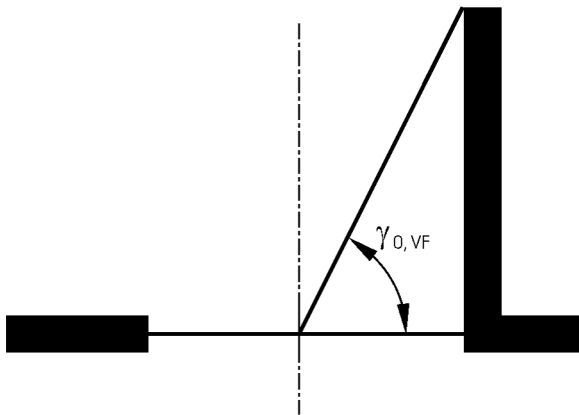


Figura A. 4. Angulo de aleta vertical

Patios y atrios, IO_{CA}

Los patios, así como los atrios están diseñados con muchas variaciones. Este modelo simplificado supone patios y atrios de 4 lados. Los atrios de 3 lados y lineales puede proporcionar una

mejor aportación de luz natural en espacios interiores adyacentes. Esta situación de luz natural, potencialmente mejor siempre se puede determinar con métodos más detallados.

La geometría del patio y del atrio está descrita de acuerdo con la Figura A. 5 por el índice de profundidad de pozo:

$$w_{i_d} = h_{At} \frac{(I_{At} + w_{At})}{(2I_{At}w_{At})} \quad \text{A. 12}$$

donde

w_{i_d} es el índice de profundidad de pozo;

h_{At} es la altura desde el nivel del suelo del espacio adyacente considerado a la parte superior del atrio o del patio en m;

I_{At} es la longitud del atrio o del patio [m];

w_{At} es la anchura del atrio o del patio [m].

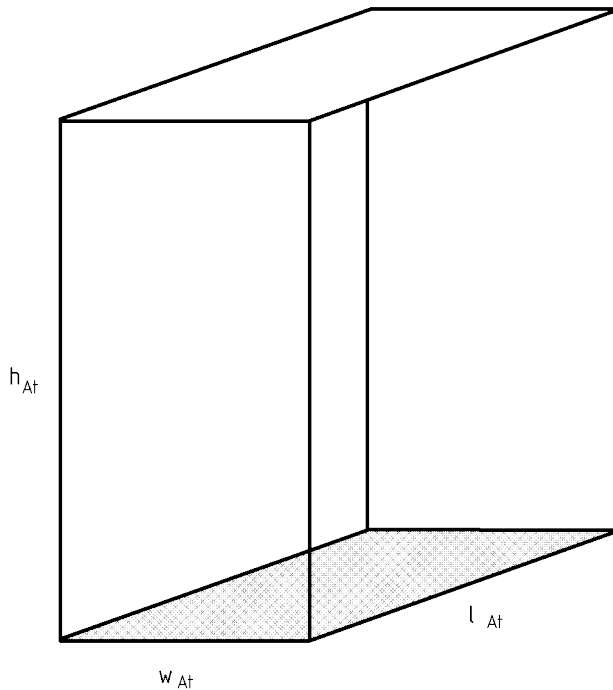


Figura A. 5. Magnitudes para índice de profundidad de pozo.

El factor de corrección para patios y atrios puede obtenerse a continuación mediante:

$$I_{O,CA} = 1 - 0,85w_{i_d} \quad \text{Para patios} \quad \text{A. 13}$$

$$I_{O,CA} = \tau_{At} * k_{AT,1} * k_{AT,2} * k_{AT,3} (1 - 0,85w_{i_d}) \quad \text{para Atriso} \quad \text{A. 14}$$

$$I_{O,CA} = 0 \quad \text{para } w_{i_d} > 1,18 \quad \text{A. 15}$$

NOTA 3 Aunque haya entrada de luz natural no tiene impacto sobre el ahorro de energía.

donde

τ_{AT} es el factor de transmisión de acristalamiento del atrio para incidencia normal;

$k_{AT,1}$ es el factor que tiene en cuenta las estructuras del tejado del atrio;

$k_{AT,2}$ es el factor que tiene en cuenta la suciedad sobre el tejado del atrio;

$k_{AT,3}$ es el factor que tiene en cuenta la incidencia de luz que no es normal en el tejado del atrio (0,85, en general es suficiente)

A.1.4 FACHADAS CON DOBLE ACRISTALAMIENTO

El factor de corrección para fachadas con doble acristalamiento enfrente del espacio considerado puede ser obtenido por:

$$I_{O,GDF} = \tau_{GDF} * k_{GDF,1} * k_{GDF,2} * k_{GDF,3} \quad \text{A. 16}$$

donde

τ_{GDF} es el factor de transmisión de fachada de doble acristalamiento;

$k_{GDF,1}$ es el factor que tiene en cuenta los marcos de la fachada con doble acristalamiento;

$k_{GDF,2}$ es el factor que tiene en cuenta la suciedad de la fachada con doble acristalamiento;

$k_{GDF,3}$ es el factor que tiene en cuenta la incidencia de luz que no es normal sobre la fachada con doble acristalamiento (0,85, en general es suficiente).

Las barreras verticales y horizontales dentro del espacio de la fachada puede aproximarse por los parámetros de $I_{O,OV}$ e $I_{O,VF}$. Generalmente la suciedad sobre el acristalamiento dentro del espacio de las fachadas con doble acristalamiento es despreciable, de tal modo que es suficiente tener en cuenta la suciedad en el acristalamiento utilizando el factor k_1 (véase la ecuación (C.19)) para el plano de la fachada principal. Por ello, $k_{GDF,2} = 1$. El factor que tiene en cuenta el marco de la fachada con doble acristalamiento es:

$$k_{GDF,1} = \text{área de transmisión de luz/abertura de entramado} \quad \text{A. 17}$$

Sólo la parte de la fachada con doble acristalamiento proyectada sobre la fachada principal transparente (interior) es considerada en la determinación de $k_{GDF,1}$.

A.2 FACTOR DE LUZ NATURAL

A partir de los índices geométricos I_T , I_{De} e I_O el acceso de la zona a la luz natural puede estimarse para la abertura de fachada de entramado:

$$D_C = (4,13 + 20,0 * I_T - 1,36 * I_{De}) I_D (\%) \quad \text{A. 18}$$

donde



D_C es el factor de luz natural para abertura de fachada de entramado (es decir sin ventanas ni sistema de protección contra el sol).

La combinación de grandes índices de profundidad I_{De} y pequeños índices de transparencia I_T puede dar como resultado – en esta aproximación – valores de DC menores que cero. DC entonces debería ajustarse a cero o debería calcularse con procedimientos más detallados.

NOTA: Esto sólo ocurrirá para pequeños factores de luz natural para los que los ahorros de energía serán difíciles de determinar

A.2.1 CLASIFICACIÓN DEL FACTOR DE LUZ NATURAL

El impacto de las ventanas y del sistema de oscurecimiento o de persianas sobre los niveles de iluminación interior debería determinarse usando correlaciones de D_C dependientes del tipo de fachada con la demanda de energía esperada, es decir, métodos que derivan el factor de aportación de luz natural F_{Ds} en función del sistema de fachada. Cuando estas dependencias no están disponibles, debería calcularse una estimación simplificada, que correlacione las propiedades de las ventanas sin sistema de oscurecimiento con la demanda de energía esperada del siguiente modo:

$$D = D_C * \tau_{D65} * k_1 * k_2 * k_3 \mapsto [\%]$$

A. 19

Donde

D_C es el factor de luz natural para la zona [%];

τ_{D65} es la transmisión hemisférica directa de las ventanas;

k_1 es el factor que tiene en cuenta los marcos del sistema de ventana (generalmente 0,7);

k_2 es el factor que tiene en cuenta la suciedad del acristalamiento (generalmente 0,8 pero para acristalamiento autolimpiante puede ser tan alto como 1,0);

k_3 es el factor que tiene en cuenta la incidencia de luz que no es normal sobre la fachada (el valor de 0,85, en general es suficiente para acristalamiento estándar). La Tabla . contiene valores de transmitancia luminosa para algunos materiales de acristalamiento usados para acristalamiento vertical.

Dependiendo de cómo se juzgue el impacto de las ventanas y del sistema de protección contra el sol, usando bien D_C o bien D la penetración de luz natural puede ser evaluada de acuerdo con laTabla A. 1.

Tabla A. 1. Valores típicos de transmitancia para componentes transparentes y translúcidos

Tipo	U	g	τ	τ
Acristalamiento simple	5	0,	0,	0,
Doble acristalamiento	2	0,	0,	0,
Triple acristalamiento	2	0,	0,	0,
Acristalamiento de bajo e, acristalado	1	0,	0,	0,
Acristalamiento de bajo e, acristalado	1	0,	0,	0,
Acristalamiento de bajo e, acristalado	1	0,	0,	0,

Acristalamiento de bajo e, acristalado	0	0,	0,	0,
Acristalamiento de bajo e, acristalado	0	0,	0,	0,
Acristalamiento con protección solar,	1	0,	0,	0,
Acristalamiento con protección solar,	1	0,	0,	0,
Acristalamiento con protección solar,	1	0,	0,	0,

El impacto del ventanal y del sistema de protección contra el sol puede evaluarse utilizando la penetración de luz natural bien D_c o bien D como se ha indicado en la Tabla A. 2.

Tabla A. 2. Penetración luz natural en función de factor de luz natural

Clasificación		Penetración de luz natural
DC	D	(acceso de la zona a la luz natu-
$DC \geq 6\%$	$D \geq 3\%$	Fuerte
$6\% > DC \geq 4\%$	$3\% > D \geq 2\%$	Media
$4\% > DC \geq 2\%$	$2\% > D \geq 1\%$	Débil
$DC < 2\%$	$D < 1\%$	Ninguna

Debería usarse un cálculo detallado usando un modelado más exacto de las relaciones geométricas para determinar la *penetración de luz natural*. El valor de referencia para el factor de luz natural del espacio considerado es la media sobre el eje central del área considerada, paralela a la fachada considerada.

A.2.1.1 FACTOR DE APORTACIÓN DE LUZ NATURAL

El factor $F_{D,S}$ de aportación de luz natural puede aproximarse en función de la latitud γ_{Lugar} para latitudes que oscilan desde 38° a 60° norte mediante la siguiente relación:

$$F_{D,S} = a + b * \gamma_{Lugar} \quad \text{A. 20}$$

donde

a y b son coeficientes para determinar el factor $F_{D,S}$ de aportación de luz natural;

γ_{Lugar} es el ángulo de latitud de la posición del edificio $[\circ]$.

Para diferentes clasificaciones de iluminancia mantenida y penetración de luz natural los coeficientes a y b están recogidos en la Tabla A. 3. Figura A. 6. ilustra la dependencia entre γ_{Lugar} y $F_{D,S}$ para una iluminancia mantenida de 500 lux. La Tabla A. 4 muestra el factor de aportación de luz natural $F_{D,S}$. El factor $F_{D,S}$ de aportación de luz natural es válido para un período horario de funcionamiento diario de 8 h a 17 h. Para períodos operativos de tiempo diarios mayores los valores deberían ser multiplicarse por un factor de corrección de 0,7. Para períodos sin luz natural mayores durante el tiempo de funcionamiento se aplica lo siguiente $F_{D,S,n} = 0$, es decir $F_{D,n} = 1$. A partir de los factores de aportación de luz natural anual.

Tabla A. 3. Coeficientes para determinar el factor $F_{D,S}$ de aportación de luz natural para fachadas verticales en función de la penetración de luz natural en la zona n y de la iluminancia mantenida E_m

Iluminancia mantenida (lux)	Penetración de luz natural	a	b
--------------------------------	----------------------------	---	---

300	débil	1,242 5	- 0,011 7
	media	1,309 7	- 0,010 6
	fuerte	1,290 4	- 0,008 8
500	débil	0,943 2	- 0,009 4
	media	1,242 5	- 0,011 7
	fuerte	1,322 0	- 0,011 0
750	débil	0,669 2	- 0,006 7
	media	1,005 4	- 0,009 8
	fuerte	1,281 2	- 0,012 1

Tabla A. 4. Factor FDS de aportación de luz natural para fachadas verticales en función de la penetración de luz natural y de la iluminancia mantenida Em para diferentes lugares

Lugar	Latitud [°]	Factor <i>FD,S</i> de aportación de luz natural que oscila de								
		300 lux			500 lux			750 lux		
		dé	me-	fue	dé	me-	fue	dé	me-	fue
Atena	38	0,	0,9	0,9	0,	0,8	0,9	0,	0,6	0,8
Lyon	46	0,	0,8	0,8	0,	0,7	0,8	0,	0,5	0,7
Brati-	48	0,	0,8	0,8	0,	0,6	0,7	0,	0,5	0,7
Frank-	50	0,	0,7	0,8	0,	0,6	0,7	0,	0,5	0,6
Wat-	52	0,	0,7	0,8	0,	0,6	0,7	0,	0,5	0,6
Gävle	60	0,	0,6	0,7	0,	0,5	0,6	0,	0,4	0,5

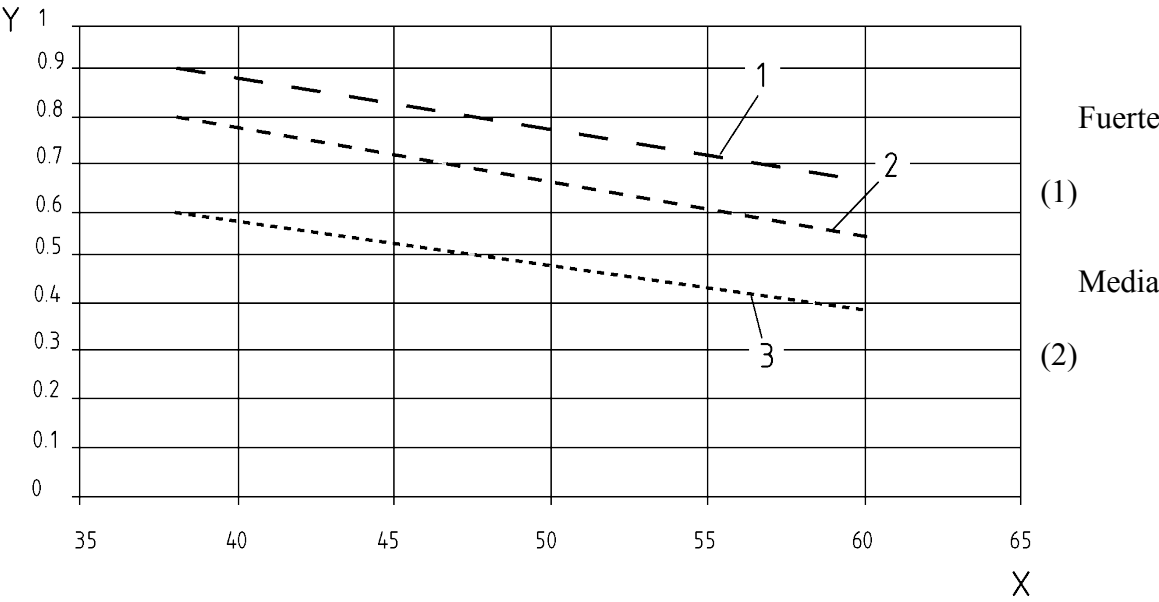


Figura A. 6. Factor FD,S de aportación de luz natural para fachadas verticales en función de la latitud  del lugar y de la penetración de luz natural para la iluminancia mantenida Em de 500 lux

A.3 CLARABOYAS

A.3.1 CLASIFICACIÓN DEL FACTOR DE LUZ NATURAL

Análogamente al procedimiento para aportación de luz natural en fachadas verticales, éste se determina inicialmente mediante el factor de luz natural. El factor de aportación de luz natural será entonces determinado en función del factor de luz natural, la iluminancia mantenida, orientación, e inclinación de las aberturas del tejado acristalado.

En locales con claraboyas el factor medio (D_j) de luz natural está dado por la siguiente ecuación:

$$\bar{D}_j = D_{ext} * \tau_{D65} * k_{Ob1,1} * k_{Ob1,2} * k_{Ob1,3} * \frac{\sum A_{Rb}}{A_{RG}} * \eta_R [\%]$$

A. 21

donde

A_{Rb} es el área de la aberturas de la claraboya (área de abertura de entramado) [m²];

A_{RG} es el área del suelo del espacio considerado [m²];

D_{ext} es el factor de luz natural exterior [%];

τ_{D65} es la transmitancia luminosa del acristalamiento difuso del tejado;

$k_{Ob1,}$ es el factor para considerar los bastidores (en general 0,8);

$k_{Ob1,2}$ es el factor para considerar la suciedad (en general 0,8);

$k_{Ob1,3}$ es el factor que considera la incidencia de la luz no perpendicular (en general 0,85);

η_R es el factor de utilización

Este procedimiento también se aplica para acristalamiento transparente. Las tablas C.3a y C.3b contienen valores de transmitancia luminosa para materiales usados en claraboyas. Los datos en las tablas C.3a y C.3b son indicativos. Para obtener datos exactos, contáctese con el fabricante o proveedor.

Tabla A. 5. Valores de referencia para transmitancia luminosa U, g, D65 para diferentes materiales plásticos de acristalamiento usados a menudo en las claraboyas

Tipo	Composición	Tipo	U [W/(m ² K)]	g [	 D65 [
	Acristalamiento acrílico, re-vestimiento simple	transparente	5,4	0,85	0,92

A	Acristalamiento acrílico, revestimiento simple	ópalo	5,4	0,80	0,83
	Acristalamiento acrílico, revestimiento doble	transparente	2,7	0,78	0,80
	Acristalamiento acrílico, revestimiento doble	ópalo/transparente	2,7	0,72	0,73
	Acristalamiento acrílico, revestimiento triple	transparente	1,8	0,66	0,68
	Acristalamiento acrílico, revestimiento triple	ópalo/ópalo/transparente	1,8	0,64	0,60
B	Lámina de policarbonato estructurado, revestimiento doble, 6	transparente	3,6	0,86	0,82
	Lámina de policarbonato estructurado, revestimiento doble, 6	ópalo	3,6	0,78	0,64
	Lámina de policarbonato estructurado, revestimiento doble, 8	transparente	3,3	0,81	0,81
	Lámina de policarbonato estructurado, revestimiento doble, 8	ópalo	3,3	0,70	0,62
	Lámina de policarbonato estructurado, revestimiento doble,	transparente	3,1	0,85	0,80
	Lámina de policarbonato estructurado, revestimiento doble,	ópalo	3,1	0,70	0,50
	Lámina de policarbonato estructurado, revestimiento triple, 10	transparente	3,0	0,69	0,73
	Lámina de policarbonato estructurado, revestimiento triple, 10	ópalo	3,0	0,62	0,52
	Lámina de policarbonato estructurado, revestimiento cuádruple,	ópalo	2,5	0,59	0,50
	Lámina de policarbonato estructurado, revestimiento triple, 16	transparente	2,4	0,69	0,72
	Lámina de policarbonato estructurado, revestimiento triple, 16	ópalo	2,4	0,55	0,48
	Lámina de policarbonato estructurado, revestimiento quintuple,	ópalo	1,9	0,52	0,45
	Lámina de policarbonato estructurado, revestimiento sextuple,	ópalo	1,85	0,47	0,42
	Lámina de policarbonato estructurado, revestimiento quintuple,	transparente	1,8	0,70	0,64
	Lámina de policarbonato estructurado, revestimiento quintuple,	ópalo	1,8	0,46	0,44
	Lámina de policarbonato estructurado, cuádruple, 25 mm	transparente	1,7	0,62	0,68
	Lámina de policarbonato estructurado, revestimiento cuádruple,	ópalo	1,7	0,53	0,45

	Lámina de policarbonato es- tructurado, revestimiento séxtu-	transparente	1,45	0,67	0,62
	Lámina de policarbonato es- tructurado, revestimiento séxtu-	ópalo	1,45	0,46	0,44

“A” claraboyas individuales, acristaladas, “B” claraboya continua, acristalada

Tabla A. 6. Valores de referencia para transmitancias luminosas U, g,  D65 para diferentes materiales de acris-talamiento de vidrio usados a menudo en las claraboyas

T ipo	Composición	Tipo	U_g [W/(m ² K)]	g	 D65
A	Vidrio flotado de 4 mm, 16 mm de aire y vidrio flotado de 4 mm	Doble cristal transpar- ente	2,8	0 ,79	0 ,81
A	Vidrio endurecido de 4 mm, 16 mm de argón y vidrio flotado de 4 mm, revesti- miento w	Doble cristal transpa- rente Emisividad baja	1,2	0 ,59	0 ,76
A	Vidrio endurecido de 4 mm, 14 mm de argón y vidrio flotado estratificado de 33,1	Doble cristal transpa- rente Emisividad baja	1,2	0 ,54	0 ,75
A	Vidrio endurecido de 4 mm, 14 mm de argón y vidrio flotado estratificado de 33,1 mm, revestimiento w	Doble cristal transpa- rente Emisividad baja, Pro- tección solar	1,2	0 ,27	0 ,42
B	Vidrio laminado de 6.2 16 mm de aire, 6 mm de vidrio flotado	Transparente	2,7	0 ,67	0 ,77
B	Vidrio laminado de 6.2 16 mm de aire, 8 mm de vidrio flotado	Transparente	2,7	0 ,67	0 ,77
B	Vidrio laminado de 8.2 16 mm de aire, 6 mm de vidrio flotado	Transparente	2,7	0 ,65	0 ,77
B	Vidrio laminado de 8.2 16 mm de aire, 8 mm de vidrio flotado	Transparente	2,7	0 ,65	0 ,76
B	Vidrio laminado de 10.2 16 mm de aire, 6 mm de vidrio flotado	Transparente	2,7	0 ,63	0 ,76
B	Vidrio laminado de 10.2 16 mm de aire, 8 mm de vidrio flotado	Transparente	2,7	0 ,63	0 ,76
B	Vidrio laminado de 6.2 16 mm de argón, 6 mm de vidrio flotado	Revestido, plata	1,1	0 ,52	0 ,72
B	Vidrio laminado de 6.2 16 mm de argón, 8 mm de vidrio flotado	Revestido, plata	1,1	0 ,52	0 ,71
B	Vidrio laminado de 8.2 16 mm de argón, 6 mm de vidrio flotado	Revestido, plata	1,1	0 ,51	0 ,71
B	Vidrio laminado de 8.2 16 mm de argón, 8 mm de vidrio flotado	Revestido, plata	1,1	0 ,51	0 ,70
B	Vidrio laminado de 10.2 16 mm de argón, 6 mm de vidrio flotado	Revestido, plata	1,1	0 ,50	0 ,70



B	Vidrio laminado de 10.2 16 mm de argón, 8 mm de vidrio flotado	Revestido, plata	1,1	0 ,49	0 ,70
B	Vidrio endurecido de 6 mm (extra trans- parente) 18 mm de argón, vidrio flotado la- minado 33.1	Doble cristal transpar- ente	1,5	0 ,61	0 ,79
B	Vidrio endurecido de 6 mm (verde) 18 mm de argón, vidrio flotado laminado 33.1	Doble cristal transpar- ente	1,5	0 ,38	0 ,64
B	Vidrio endurecido de 6 mm (gris) 18 mm de argón, vidrio flotado laminado 33.1	Doble cristal transpar- ente	1,5	0 ,34	0 ,39
B	Vidrio endurecido de 6 mm (extra trans- parente) 18 mm de argón, vidrio flotado la- minado 44.1	Doble cristal transpar- ente	1,5	0 ,55	0 ,78

“A” claraboyas individuales, acristaladas, “B” claraboya continua, acristalada

El factor *Dext* de luz natural exterior está definido como sigue:

$$D_{ext} = \frac{E_F}{E_{ext}} [\%]$$

A. 22

donde

EF es la iluminancia en la superficie exterior de la claraboya en el plano del acristalamiento para condiciones de cielo cubierto (lux);

Eext es la iluminancia exterior horizontal sin obstrucciones en condiciones de cielo cubierto (lux).

El factor para considerar el marco *kObl,1* puede obtenerse de un modo similar al de las fachadas verticales. Para claraboyas individuales el conjunto de dispositivos de construcción también incluye montantes. *kObl,1* es la relación entre el área de entrada de la luz *AFs* = *as* ∗ *bs*, es decir, la abertura superior del montante menos elementos adicionales de construcción opacos de las claraboyas individuales o claraboyas continuas, al área de abertura de la entramado *ARb* = *aRb* ∗ *bRb* de acuerdo con la Tabla A.7

Para secciones de iluminación en diente de sierra (naves) en que la abertura del entramado no corresponde al área de intersección del cuerpo de la nave y el área del tejado, véase la Figura A. 8, el área de la abertura del entramado se determina por *ARb* = *hG* ∗ *bRb* siendo *hG* la altura del área de entrada de la luz y *bRb* la anchura del área de entrada de la luz. El factor *kObl,1* para considerar el marco tiene en cuenta otros elementos opacos de la construcción en la abertura del entramado como se ha definido anteriormente. Tabla A. 7 contiene los factores *Dext* de luz natural exterior a una reflectividad luminosa del terreno *XB* de 0,2 para ángulos de inclinación seleccionados del acristalamiento de la nave.

Tabla A. 7. Factor *Dext* de luz natural exterior

Ángulo de inclinación	<i>Dext</i> = <i>EF/Eext</i>
0	100
30	92

45	83
60	72
90	50

El factor de utilización k_R se determina dependiendo del tipo de claraboya y del índice de local k

$$k = \frac{a_{Ri} * b_R}{h_{Ri} * (b_{Ri} + a_{Ri})}$$

A.
23

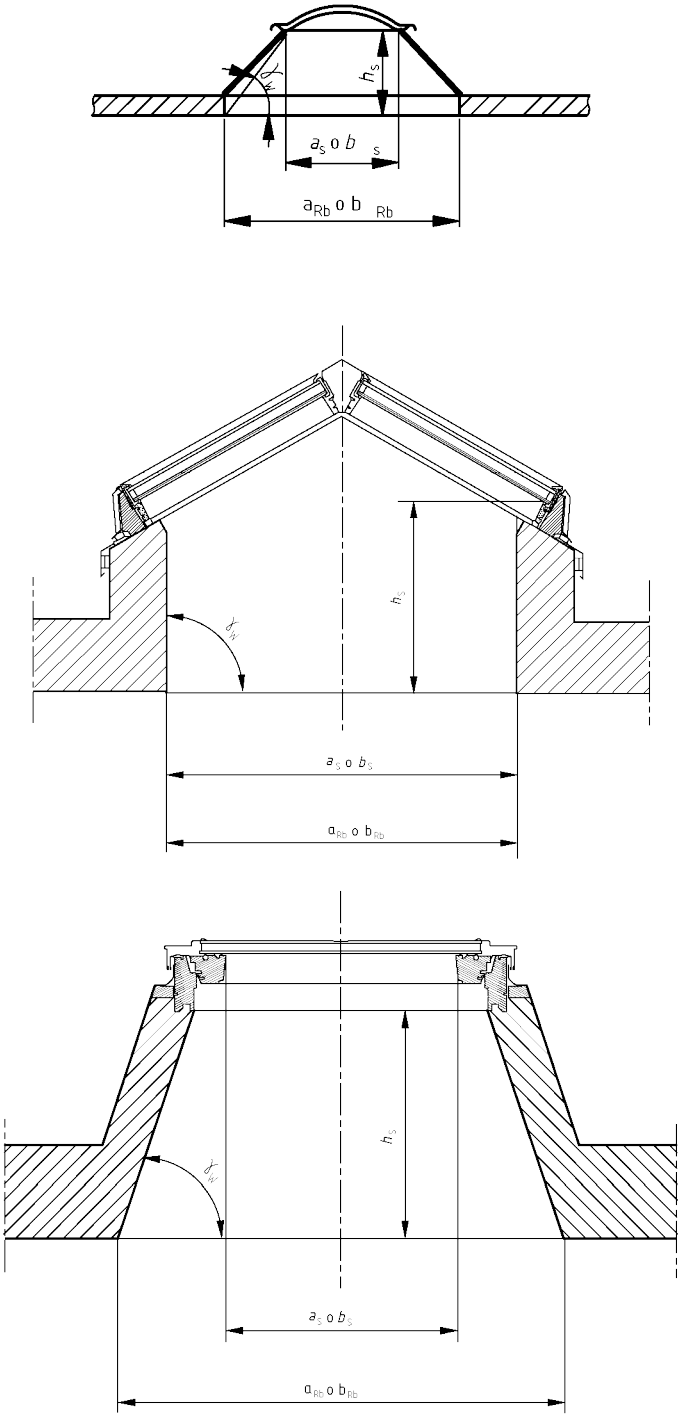
donde

$a_{R,j}$ es la profundidad del local [m];

$b_{R,j}$ es el ancho del local [m];

h_R es la diferencia entre la altura del local y la altura del plano de trabajo.

Generalmente, hay una distinción entre claraboyas como se ha mostrado en la Figura A. 7 y tejados de nave como se ha mostrado en la Figura A. 8. Las claraboyas continuas son tratadas como un caso especial de claraboyas individuales. Cuando las claraboyas continuas tienen una relación de $a_S/b_S > 5$, debería usarse el factor de utilización para $a_S/b_S = 5$. Los factores de utilización para diferentes configuraciones de claraboyas y tejados de nave están dados en la Tabla A. 8 y en la Tabla A. 9



Leyenda

- a_s longitud transparente de la abertura [m]
- b_s anchura transparente de la abertura [m]
- a_{Rb} longitud transparente del montante/pozo [m]
- b_{Rb} anchura transparente del montante/pozo [m]
- h_s altura del montante/pozo [m]
- γ_w ángulo del montante/pozo [°]

Figura A. 7. Magnitudes para describir la geometría de distintas claraboyas

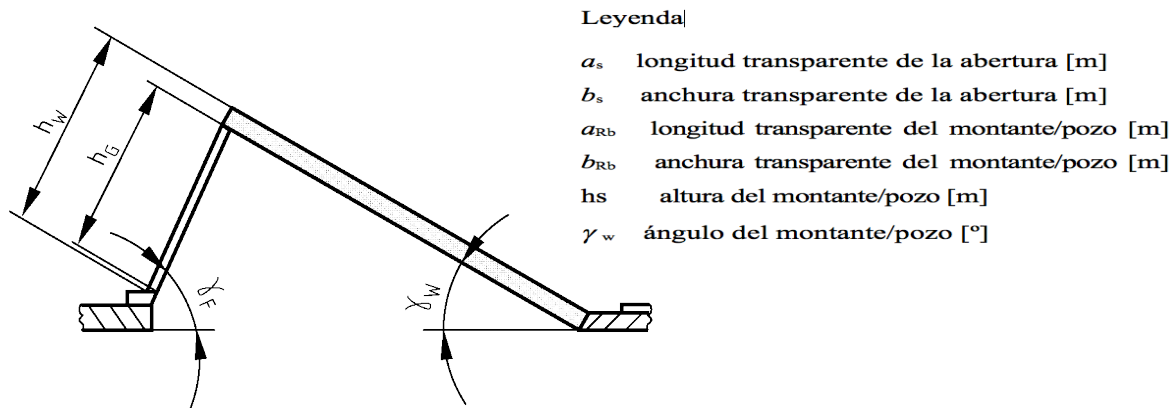


Figura A. 8. Magnitudes para describir la geometría de tejados de nave

Tabla A. 8. Factor de utilización η_R en % para claraboyas en función del índice de local k y parametros geométricos para el eje de luz de la claraboya

as/	1			2			5			1			2			5		
h _s	0,25			0,25			0,25			0,5			0,5			0,5		
0,0	3	6	0	3	6	0	3	6	0	3	6	0	3	6	0	3	6	0
0,4	4	4	0	4	4	0	4	4	0	4	4	0	4	4	0	4	4	0
0,5	5	5	0	5	5	0	5	5	0	5	5	0	5	5	0	5	5	0
1,5	5	6	0	5	6	0	6	6	0	6	6	0	6	6	0	6	6	0
1,6	6	6	0	6	6	0	6	7	0	6	7	0	6	7	0	7	7	0
1,7	7	7	0	7	7	0	7	7	0	7	7	0	7	7	0	7	7	0
2,8	8	8	0	8	8	0	8	8	0	8	8	0	8	8	0	8	8	0
2,8	8	8	0	8	8	0	9	8	0	9	8	0	9	8	0	9	9	0
3,9	9	9	0	9	9	0	9	9	0	9	9	0	9	9	0	9	9	0
4,9	9	9	0	9	9	0	9	9	0	9	9	0	9	9	0	1	9	0
5,1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0

Tabla A. 9. . Factor de utilización η_R en % para tejados de nave (tejados en dientes de sierra) en función del índice k de local y los parámetros geométricos

[illegible]

La clasificación de la aportación de luz natural para claraboyas se da en la Tabla A. 10

Criterio	Clasificación de la aportación de luz natural
$7 \leq D_j$ *	Fuerte
$4 \leq D_j < 7$	Media
$2 \leq D_j < 4$	Débil
$0 \leq D_j < 2$	Ninguna

A.3.2 FACTOR DE APORTACIÓN DE LUZ NATURAL

En los cálculos se han utilizado los siguientes factores de luz natural: bajo: 3%, medio: 5,5%, bueno: 8,5%.

Esta sección describe el análisis y reglas a seguir para determinar FO . Independientemente del tipo de sistema de control usado, si FO se toma como 1,0, no son necesarios otros análisis.

A.4.1 DETERMINACIÓN DETALLADA DE FO

Cuando $FO = 1$

En los siguientes casos, FO debería ser siempre igual a 1:

- Si el encendido del alumbrado es 'centralizado', es decir en más de un local a la vez (por ejemplo un único sistema automático - por ejemplo con temporizador o interruptor manual para un edificio entero, o para una planta entera, o para todos los pasillos etc.). Esto se aplica cualquiera que sea el tipo de “apagado” (automático o manual, central o por local etc.).
- Si el área iluminada por un grupo de luminarias que se encienden juntas (manual o automáticamente), es mayor de 30 m^2 .

Son excepciones las salas de reuniones en las que no se aplica esta limitación de área (véase a continuación). Cuando $FO < 1$

En los siguientes casos, FO debería ser siempre menor que 1:

- a) en salas de reuniones (cualquiera que sea el área cubierta por 1 interruptor y/o por 1 detector), mientras no sea un encendido 'centralizado', es decir junto con las luminarias en otros locales;
- b) en otros locales, si el área iluminada por una luminaria o por un grupo de luminarias que se encienden juntas (manual o automáticamente), no es mayor de 30 m^2 , y si las luminarias están todas en el mismo local. Además, en el caso de sistemas con detección automática de presencia y/o ausencia el área cubierta por el detector debería corresponder estrechamente al área iluminada por las luminarias que son controladas por ese detector.

En ambos casos, también deberían satisfacerse las condiciones con respecto a temporización y nivel de regulación de flujo luminoso esquematizadas más abajo. (Si no se satisfacen estas condiciones, $FO = 1$).

En estos casos, FO debería determinarse como sigue:

Cuando $0,0 \leq FA < 0,2$

$$F_o = 1 - [(1 - F_{oc}) * F_A / 0,2] \quad \text{A. 24}$$

Cuando $0,2 \leq FA < 0,9$

$$F_o = F_{oc} + 0,2 - F_A \quad \text{A. 25}$$

Cuando $0,9 \leq FA < 1,0$

$$F_o = [7 - (10 * F_{oc})] * (F_A - 1) \quad \text{A. 26}$$

FA es la proporción del tiempo que el espacio está sin ocupar.

El valor por defecto de F_{oc} se fija en función del sistema de control de iluminación, como se ha dado en la Tabla A. 11.

El valor por defecto de F_A se determina bien a nivel del edificio o bien al nivel de un local como se ha dado en la Tabla A. 12.

Tabla A. 11. Valores de F_{OC}

Sistemas sin detección automática de presencia o de ausencia	F_{OC}
Encendido/apagado manual	1,00
Encendido/apagado manual + señal de extinción de barrido automática adicional	0,95
Sistemas con detección automática de presencia y/o de ausencia	F_{OC}
Encendido automático/regulación de flujo	0,95
Encendido automático/apagado automático	0,90
Encendido manual/regulación de flujo	0,90
Encendido manual/apagado automático	0,80

Para sistemas sin detección automática de presencia o ausencia la luminaria debería de encenderse y apagarse con un interruptor manual en el local.

Puede también incluirse una señal automática que apague automáticamente la luminaria al menos una vez por día, generalmente por la tarde para evitar el funcionamiento innecesario durante la noche.

Para sistemas con detección automática de presencia y/o ausencia son válidas las siguientes situaciones:

- “Encendido automático/regulación de flujo”: el sistema de control enciende la luminaria o luminarias automáticamente independientemente de que haya presencia en el área iluminada, y automáticamente conmuta a un estado con flujo luminoso reducido (no más del 20% del estado normal) antes de 15 min después de la última presencia en el área iluminada. Además, antes de que hayan transcurrido 15 min después de que se haya detectado la última presencia en la sala, la luminaria o luminarias son automáticas y se apagan completamente;
- “Encendido automático/apagado automático”: el sistema de control enciende la luminaria o luminarias automáticamente independientemente de que haya presencia en el área iluminada, y las apaga automáticamente todas antes de que hayan transcurrido 15 min después de que se haya detectado la última presencia en el área iluminada;
- “Encendido manual/regulación de flujo”: la luminaria o luminarias solamente se pueden encender por medio de un interruptor manual en el área iluminada por la luminaria o luminarias (o muy cerca de ella), y, si no se apagan manualmente, se conmutan automáticamente a un estado con flujo luminoso reducido (de no más del 20% del estado “encendido normal”) por el sistema de control automático antes de que hayan transcurrido 15 min después de la última presencia en el área iluminada. Además, antes de que hayan transcurrido 15 min después de que se haya detectado la última presencia en el local, la luminaria o luminarias son automática y completamente apagadas.



d) "Encendido manual/apagado automático": la luminaria o luminarias solamente pueden encenderse por medio de un interruptor manual en el área iluminada por la o las luminarias (o muy cerca de ella), y, si no se apagan manualmente, se apagan automática y completamente por el sistema de control automático antes de que hayan transcurrido 15 min después de que se haya detectado la última presencia en el área iluminada.

Tabla A. 12. Valores de muestra FA

Cálculo total del edificio		Cálculo sala por sala		
Tipo de edificio	$\frac{F}{A}$	Tipo de edificio	Tipo de sala	$\frac{F}{A}$
Oficinas	0,	Oficinas	Oficina cerrada 1 persona	0,
			Oficina cerrada 2-6 personas	0,
			Oficina en planta abierta > 6 personas detecta-	0
			Oficina en planta abierta > 6 personas detecta-	0,
			Corredor (flujo luminoso regulado)	0,
			Hall de entrada	0
			Sala de demostración/exposición	0,
			Cuarto de baño	0,
			Aseos	0,
			Sala de almacenamiento/armario	0,
			Sala técnica	0,
			Cuarto de copias/servidor	0,
			Sala de conferencias	0,
			Archivos	0,
Edificios educativos	0,2	Edificios educativos	Aula	0,25
			Sala para actividades en grupo	0,
			Corredor (flujo luminoso regulado)	0,
			Sala común de jóvenes	0,
			Hall de lectura	0,
			Sala de personal	0,
			Gimnasio/sala deportiva	0,
			Comedor	0,
			Sala común de profesores	0,
			Cuarto de copias/servidor	0,
			Cocina	0,
			Biblioteca	0,
Cálculo total del edificio		Cálculo sala por sala		
Tipo de edificio	$\frac{F}{A}$	Tipo de edificio	Tipo de sala	$\frac{F}{A}$
Hospitales	0	Hospitales	Sala/dormitorio	0

			Examen/sala de tratamiento	0,
			Pre-operatorio	0,
			Sala de recuperación	0
			Quirófano	0
			Pasillos	0
			Galería/conducto/(flujo luminoso regu-	0,
			Área de espera	0
			Hall de entrada	0
			Sala de día	0,
			Laboratorio	0,
Fábrica	0	Fábrica	Hall de montaje	0
			Sala de montaje menor	0,
			Área de almacenamiento en estanterías	0,
			Área de almacenamiento abierta	0,
			Sala de pintura	0,
Hotel y restaurante	0	Hotel y restaurante	Hall de entrada/recepción	0
			Pasillo (flujo luminoso regulado)	0,
			Habitación de hotel	0,
			Restaurante/cafetería	0
			Cocina	0
			Sala de conferencias	0,
			Cocina/despensa	0,
Comercio (mayorista y mi- norista)	0	Comercio (mayorista y mi- norista)	Área de ventas	0
			Sala de almacenamiento	0,
			Sala de almacenamiento, almacena-	2
		Otras áreas	Áreas de espera	0
			Escaleras (flujo luminoso regulado)	0,
			Teatro y auditorio	0
			Sala de congresos/sala de exposición	0,
			Museo/sala de exposición	0
			Biblioteca/sala de lectura	0
			Biblioteca/archivo	0,
			Sala de deportes	0,
			Oficina de aparcamiento – Privado	0,
			Aparcamiento & Público	0,

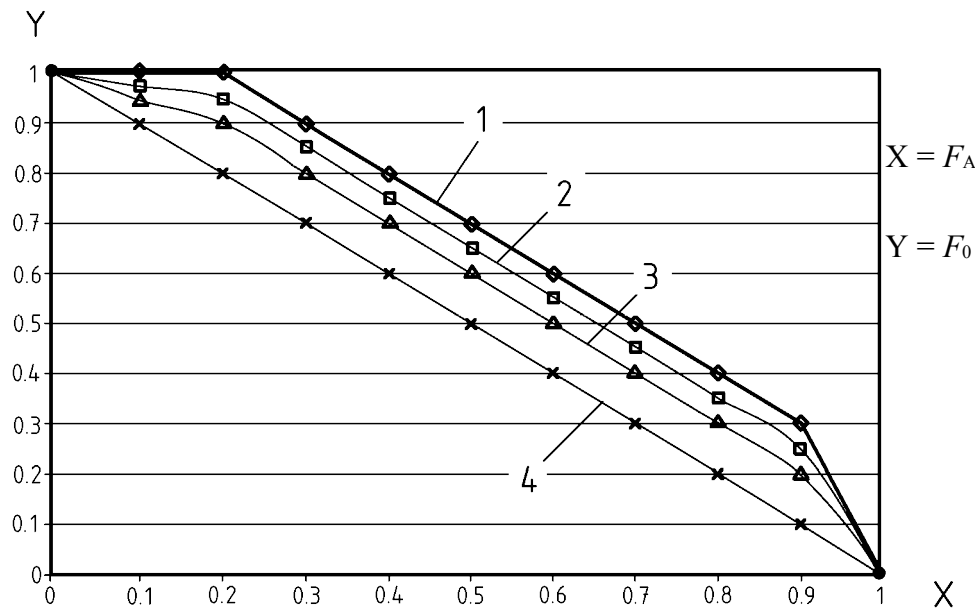


Figura A. 9. FO en función de FA para los diferentes sistemas de control

- 1. Encendido/apagado manual
- 2. Encendido/apagado manual + señal de extinción de barrido automática, y encendido automático/regulación de flujo luminoso
- 3. Encendido/apagado automático y encendido manual/regulación de flujo luminoso
- 4. Encendido manual/apagado automático

Tabla A. 13. FO en función de FA para los diferentes sistemas de control

F_A	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Encendido/apagado manual	1,000	1,000	1,000	0,900	0,800	0,700	0,600	0,500	0,400	0,300	0,000
Encendido/apagado manual + señal de extinción de barrido automático adicional	1,000	0,975	0,950	0,850	0,750	0,550	0,650	0,450	0,350	0,250	0,000
Encendido automático/regulación de flujo luminoso	1,000	0,975	0,950	0,850	0,750	0,550	0,650	0,450	0,350	0,250	0,000
Encendido/apagado automatico	1,000	0,950	0,900	0,800	0,700	0,600	0,500	0,400	0,300	0,200	0,000
Encendido manual/regulación de flujo luminoso	1,000	0,950	0,900	0,800	0,700	0,600	0,500	0,400	0,300	0,200	0,000
Encendido manual/apagado automático	1,000	0,900	0,800	0,700	0,600	0,500	0,400	0,300	0,200	0,100	0,000

A.4.1.1 MOTIVACIÓN PARA LA ELECCIÓN DE FUNCIONES FO

El propósito del uso del factor FO es dar una apreciación (rudimentaria) de la eficiencia de energía del sistema de control de iluminación. FO depende de 2 factores:

- el tipo de sistema de control;
- el grado de ausencia del local o del edificio

A.4.1.2 EL MODELO SIMPLE (ES DECIR, LA FORMA DE LAS CURVAS) ES PURAMENTE EMPÍRICO

FO disminuye cuando el local/edificio están cada vez menos ocupados, es decir, cuanto mayor resulta FA .

Para valores de FA inferiores a 0,2, la pendiente de las curvas es diferente para hacer que todas converjan a $FO = 1,0$ para $FA = 0,0$.

Para valores de FA entre 0,2 y 0,9, la pendiente de las curvas es idéntica, es decir, todas las curvas son paralelas. En este intervalo la diferencia en FO entre sistemas de control es así independiente del nivel de ausencia.

Para valores de FA mayores que 0,2, la pendiente de las curvas es diferente para hacer que todas converjan a $FO = 0,0$ cuando $FO = 1,0$.

También los valores de FOC son puramente empíricos.

Se han integrado las siguientes consideraciones cualitativas (basadas en la vigilancia real del sistema)

- a) complementar encendidos/apagados manuales con una "señal de extinción de barrido automático" impide que las luminarias permanezcan encendidas después de que todos los usuarios hayan dejado el edificio (generalmente de noche). Así estos sistemas dan una mejor apreciación que los sistemas de encendido/apagado puramente manuales;
- b) los sistemas automáticos que permanecen encendidos en estado de flujo luminoso reducido cuando no hay más presencia en el área iluminada, consumen más que los que se apagan completamente, y por tanto tienen unos factores FOC y FO mayores. En edificios con locales grandes (por ejemplo, oficinas panorámicas) los usuarios del edificio a menudo protestan por el hecho de que la luz se apaga completamente en otras partes no ocupadas del local. Hay entonces una demanda y aplicación reales para estos tipos de sistemas;
- c) los sistemas que encienden automáticamente, a menudo lo hacen cuando no es necesario. Por ejemplo, cuando una persona entra brevemente en una sala para recoger un artículo olvidado, para distribuir correo, etcétera, el alumbrado artificial es usualmente innecesario, pero el sistema encenderá, en cualquier caso. Muchos sensores de presencia detectan también a través de puertas abiertas el movimiento en pasillos de las personas que pasan, cada vez, innecesariamente encienden las luces de la sala, también después de las horas de ocupación estándar (por ejemplo, el paso regular del personal de limpieza a través de un hall, unos pocos trabajadores retrasados que se van y se encuentran,

ir a la impresora, copiadora, máquina de café o aseos, etc.). Por ello *FOC* es más favorable (menor) para sistemas que solamente encienden cuando el usuario lo ordena mediante un interruptor manual. Una ventaja adicional de los sistemas que son encendidos manualmente es que no necesitan detectar la entrada en la sala, sino solamente la salida. El sistema de detección puede por ello ser apagado junto con las luminarias. En muchos casos los períodos “fuera de horas” representan una fracción sustancial del año. Esta configuración constituye por ello un medio principal para reducir el consumo de potencia parásito, aparte de reducir la propia potencia parásita instalada

A.4.2 DETERMINACIÓN DEL FACTOR *FC* DE ILUMINACIÓN CONSTANTE

Todas las instalaciones de iluminación, a partir del instante en el que son instaladas, comienzan a depreciarse y reducir su flujo luminoso. En el diseño del esquema de iluminación la tasa de depreciación es estimada y aplicada en los cálculos, conocida como el Factor de Mantenimiento (*FM*). El Factor de Mantenimiento (*FM*) es la relación entre la iluminancia mantenida y la iluminancia inicial.

Cuando la iluminancia de la tarea es especificada en términos de “iluminancia mantenida” para asegurar la conformidad, el esquema debería de proporcionar una iluminancia inicial mayor en un factor $1/FM$. El *FM* está formado por múltiples factores tales como *FMLL*, *MFL* y *MFRS*. Detalles completos de la derivación de *FM* pueden encontrarse en la Norma IEC 97.

En instalaciones en las que está previsto un sistema de iluminación de flujo luminoso regulable, es posible controlar automáticamente y reducir el flujo luminoso inicial de la luminaria para proporcionar justo la iluminancia mantenida requerida. Tales esquemas son conocidos como sistemas de “iluminancia constante controlada”. Estos esquemas también se beneficiarán del uso de la energía y de la demanda de potencia reducidos. Cuando el flujo luminoso se deprecia con el tiempo, los controles elevan la potencia de entrada a la luminaria para compensar. Cuando la demanda de potencia iguala a la potencia instalada el sistema de iluminación requiere un mantenimiento tal como limpiar luminarias, cambiar lámparas, limpiar superficies de la sala. La figura E.1 ilustra el impacto de la alimentación de potencia variable para compensar el factor de mantenimiento de depreciación para mantener la iluminancia mantenida constante en un ciclo de mantenimiento.

A.4.2.1 POTENCIA PARA FACTOR DE ILUMINANCIA CONSTANTE

La potencia para el factor de iluminancia constante es la relación de la potencia de entrada real en un instante dado a la potencia de entrada instalada inicial a la luminaria.

A.4.2.2 FACTOR *FC* DE ILUMINANCIA CONSTANTE

El factor de iluminancia constante es la relación de la potencia de entrada media en un tiempo dado a la potencia de entrada instalada inicial a la luminaria. Normalmente el tiempo es tomado como el período de un ciclo de mantenimiento completo.

Por tanto:

$$F_c = (1 + FM)/2$$

donde

FM es el factor de mantenimiento para el esquema.

A.4.3 TUBOS LUMINOSOS

Pueden obtenerse ahorros adicionales de energía cuando se utilizan tubos de luz natural (o sistemas de guiado tubulares para luz natural). Los tubos luminosos permiten que la luz natural sea dirigida a través de la mayor parte de obstáculos en los áticos del mismo modo que pueden proporcionar luz natural a través de una o más cortinas a áreas oscuras de un edificio, donde la luz procedente de los sistemas de fachada o claraboya tradicionales no puede llegar.

Los tubos luminosos son básicamente un tubo metálico o de plástico que entrega luz natural procedente del tejado al edificio. El tubo luminoso típico incluye:

- 1) una cúpula de plástico o marco de ventana acristalada montada en el tejado que captura la luz del sol;
- 2) un tubo reflectante que se extiende desde la cúpula al techo interior, y
- 3) un difusor montado en el techo que dispersa o distribuye la luz en el local.

Hay varios sistemas disponibles: bien con tubos reflectantes flexibles o con tubos reflectantes rígidos.

A.4.4 INSTALACIONES DE ILUMINACIÓN CON AJUSTE DE ESCENAS

Algunas veces las actividades en el local varían en el curso del día y la iluminación necesita adaptarse a las diferentes actividades. Este puede ser por ejemplo el caso en salas de conferencia y reuniones donde las actividades pueden variar desde la presentación de transparencias en la pantalla, discusiones entre participantes a la lectura y escritura y trabajo con ordenadores personales individuales. En una oficina las actividades pueden variar por ejemplo desde la lectura y escritura, el trabajo con ordenadores personales, la utilización de puestos de trabajo de CAD (diseño asistido por ordenador) y conversaciones con colegas o visitantes. Si para cada una de estas diferentes actividades, puede ser encendido un alumbrado específico (a menudo controlado a distancia), se habla de “ajuste de escenas”. Típicamente para el ajuste de escenas, nunca se usan diferentes ajustes en el mismo momento, así la potencia total instalada no se usa nunca. Para calcular la potencia real usada en el curso del día o del año ha de predecirse el uso promedio de cada ajuste diferente correspondiente a cada actividad específica:

$$W_{real} = \sum \left[\left(\frac{t_{ajuste1}}{t_s} * W_{ajuste1} \right) + \left(\frac{t_{ajuste2}}{t_s} * W_{ajuste2} \right) \right] [W] \quad \text{A. 28}$$

$$t_s = t_{ajuste1} + t_{ajuste2} + \dots [h] \quad \text{A. 29}$$

donde

t_s es el tiempo total operativo del ajuste de escena [h];

t_{ajuste} es el ajuste considerado en uso;
 W_{ajuste} es la potencia total de todas las luminarias que forman parte del ajuste considerado [W].

A.4.5 GUIADO DE LUZ NATURAL

A.4.5.1 FACHADAS VERTICALES

Áreas más profundas de espacios iluminados lateralmente padecen a menudo una aportación de luz natural insuficiente, aumentando la necesidad del uso costoso del alumbrado artificial y eventualmente cargas de refrigeración crecientes por las ganancias de calor interior adicionales debidas al alumbrado artificial. Además, los sistemas de oscurecimiento tradicionales reducen a menudo la luz entrante hasta el punto de que se requiere alumbrado artificial, aunque la aportación de luz exterior sea total. Aquí los sistemas de guiado de luz natural representan una opción de diseño importante para obtener ahorros de energía adicionales. En la actualidad están disponibles diversas soluciones técnicas.

Para condiciones climatológicas centroeuropeas, una estrategia robusta usa la cuarta parte o la tercera parte superior de los elementos de fachada transparentes para volver a dirigir la luz natural directa a través del techo a áreas más profundas del espacio considerado & mientras al mismo tiempo se evitan problemas de deslumbramiento en las áreas de tarea. Esta solución proporciona, en la mayor parte de los casos, el beneficio de introducir suficiente luz natural adicional al espacio al mismo tiempo que se limita todavía la penetración de cantidades adicionales de radiación solar (riesgo de sobrecalentamiento en verano). Hay disponibles diversos sistemas de persianas venecianas, de las que la parte superior puede inclinarse por separado y sistemas de laminillas para interiores con revestimientos de elevada reflectancia, así como vidrios de nuevo direccionamiento de la luz especialmente diseñados también. Aparte de guiar la luz directa al espacio, otros sistemas trabajan rechazando la luz solar directa desde la fachada al tiempo que permiten aún que entren suficientes cantidades de luz natural difusa en el espacio. Las laminillas pueden accionarse en un denominado “modo desenfilado”, es decir simplemente bloqueando la incidencia de la luz solar directa al espacio. Sistemas con elementos prismáticos emplean principios de refracción de la luz. Para muchos de los sistemas, han de considerarse controles adicionales para posicionar los componentes ópticamente efectivos (por ejemplo, laminillas o prismas). El diseño de tales sistemas tiene también que tener en cuenta que están relacionados con la orientación y la obstrucción de la fachada. Estantes de luz estáticos son soluciones alternativas efectivas en algunos climas europeos. Los sistemas que trabajan sobre la concentración y el guiado de luz difusa han sido desarrollados fotométricamente pero no han sido aún empleados a gran escala.

A.4.5.2 CLARABOYAS

En el caso de las claraboyas el guiado de la luz natural ha mostrado tener menor importancia, ya que estos sistemas iluminan generalmente los espacios de modo más uniforme. Sin embargo, micropaneles especiales diseñados pueden proporcionar una funcionalidad de oscurecimiento solar efectivo al mismo tiempo que dejan que grandes partes de luz difusa del cielo entren en el espacio.

Los espacios tienen que ser subdivididos en una zona de luz natural AD,J y una zona AND,J que no recibe nada de luz natural. Si una zona recibe luz natural desde varias fachadas o claraboyas, puede ser asumido el caso más favorable para la zona de luz natural superpuesta (con objeto de simplicidad). Alternativamente, también es permisible superponer el factor de luz natural que se usa para clasificar la aportación de luz natural exclusivamente para el tipo respectivo de abertura de luz natural (fachada o claraboya) .

Área de luz natural – fachadas verticales

La profundidad máxima posible de la zona $aD,máx.$ que recibe luz natural a través de las fachadas resulta como sigue:

$$a_{D,max} = 2,5 * (h_{Li} - H_{Ta})[m] \quad \text{A. 30}$$

donde

$aD,máx.$ es la máxima profundidad de la zona de luz natural [m];

h_{Li} es la altura del dintel por encima del suelo [m];

h_{Ta} es la altura del área de tarea (plano de referencia) por encima del suelo [m].

Aquí, la máxima profundidad de la zona de luz natural $aD,máx.$ se calcula a partir de la superficie interior de la pared exterior, perpendicular hacia la fachada considerada. Si la profundidad real de la zona de cálculo es menor que la profundidad máxima calculada de la zona de luz natural, la profundidad del espacio puede tomarse como la profundidad de la zona de luz natural aD . Si la profundidad real del espacio es menor de 1,25 veces la profundidad máxima calculada, la profundidad real del espacio de cálculo puede usarse para aD .

Así, la subárea AD,j del espacio j de luz natural resulta como sigue:

$$A_{D,j} = a_D * b_D[m^2] \quad \text{A. 31}$$

donde

aD es la profundidad de la zona de luz natural [m];

bD es la anchura de la zona de luz natural [m].

En general, la anchura de la zona de luz natural bD corresponde a la anchura interior de la fachada de la zona de edificio o del sector de cálculo. Las paredes internas pueden ser despreciadas. Si las ventanas están situadas sólo en partes de la fachada, la anchura de la zona de luz natural asignada a esta fachada corresponde a la anchura de la sección de fachada que contiene ventanas, más la mitad de la profundidad de la zona de luz natural. Las relaciones geométricas se ilustran en las Figura A. 10 y 11

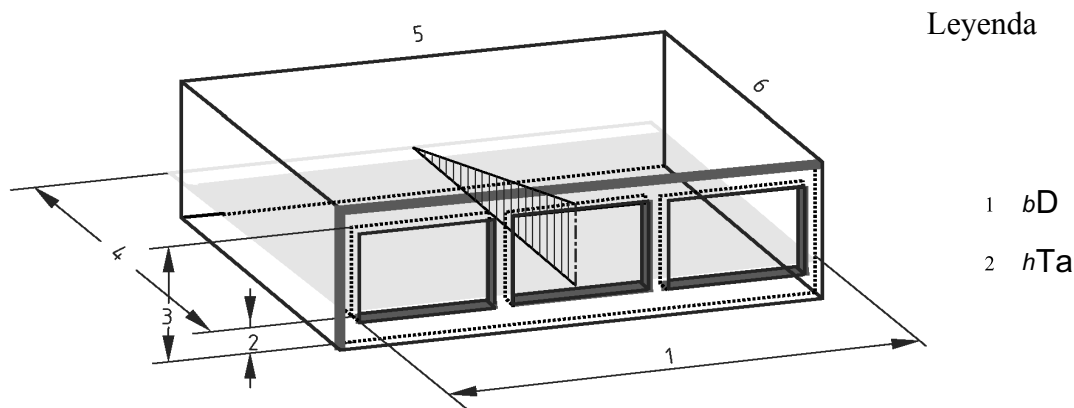


Figura A. 10. Abertura grande de fachada con profundidad de local moderada

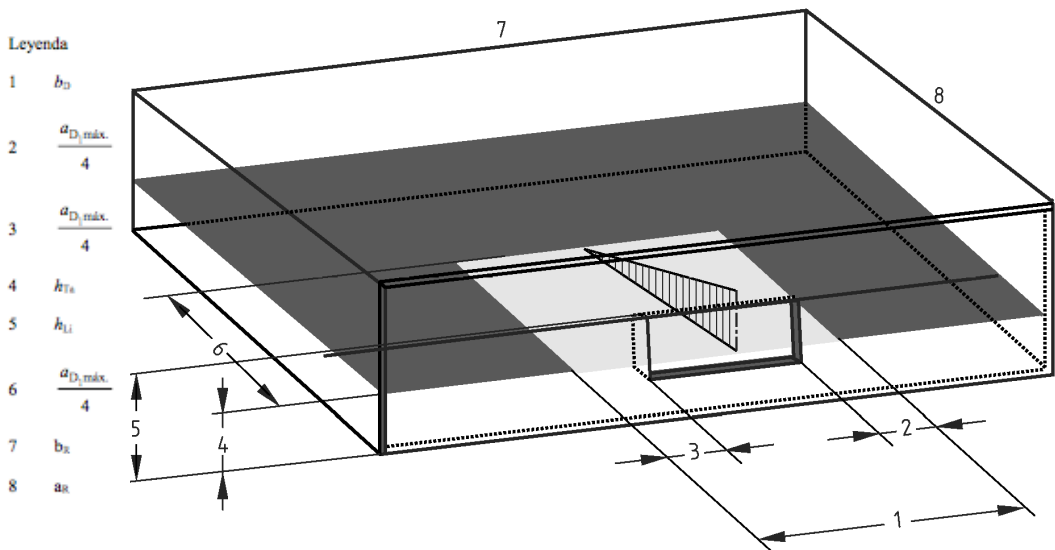


Figura A. 11. Abertura pequeña de fachada con profundidad de local mayor

Zonas de luz natural – claraboyas

Como regla, las áreas de tarea situadas directamente debajo de las claraboyas que están uniformemente distribuidas a través de la superficie del tejado son tratadas como zonas de luz natural. En caso de claraboyas únicas y para zonas que limitan sectores de claraboyas distribuidas uniformemente, aquellas subzonas del área de tarea se supone que son de luz natural que están situadas dentro de una distancia definida por $a_{D,máx.}$.

$$a_{D,máx} \leq (h_R - h_{Ta}) \text{ hacia el siguiente borde de una claraboya [m]}$$

donde

h_R es la altura libre del local del espacio de cálculo con claraboya [m]

Para superficies situadas dentro del espacio de cálculo que no reciben ninguna luz natural: $FD = 1$

Diferenciación entre fachada vertical y claraboya

En caso de duda sobre si una abertura debería tratarse como una ventana o una claraboya, todas las aberturas en las que las partes acristaladas están situadas enteramente por encima del techo de la sala, han de clasificarse como claraboyas.

A.4.6 DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE DEPENDENCIA DE OCUPACIÓN $F_{O,N}$

El factor de dependencia de ocupación, $F_{O,n}$ para un local o zona debería determinarse mediante los métodos descritos en el anexo D.

A.4.7 DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE ILUMINANCIA CONSTANTE F_c

El factor de iluminancia constante F_c para un local o zona.

La reducción del consumo de energía es posible al jugar con los diferentes elementos de las ecuaciones, por ejemplo:

- La potencia instalada se puede reducir mediante el uso de fuentes de bajo consumo eficiente y equipo de control (balastos electrónicos, transformadores electrónicos de CC, etc.).
- Atenuación de luz Natural puede dar lugar a una importante reducción del consumo de energía mediante el ajuste del flujo de luz inteligentemente de acuerdo con el nivel de luz natural. Esto es lo que se hace por el parámetro F_D .
- Horas de servicio se pueden reducir mediante el ajuste de iluminación de acuerdo con las estrategias previstas o de ocupación real a través del parámetro de F_O y la cantidad de horas de trabajo (T_n y T_d). De hecho, se requiere sólo una fracción del sistema de iluminación de un edificio en un momento dado. Luces con frecuencia se dejan en lugares no ocupados en donde no hay necesidad de iluminación a través de la reducción de los valores de F_O , T_N , DT y, el ahorro de energía se puede calcular.

El primer nivel de los controles de iluminación, también se utiliza la más ampliamente, es el interruptor manual para poner dentro o fuera de un luminaria individual o un grupo de luminarias. Este tipo de control no es lo suficientemente robusto con respecto a la eficiencia energética ya que se basa únicamente en el comportamiento de los ocupantes que no necesariamente están preocupados por el ahorro de energía, especialmente en los edificios del sector terciario. las estrategias de control de iluminación proporcionan ahorros de costes adicionales a través de la fijación de precios en tiempo real y la desconexión de carga. La reducción de potencia de iluminación durante los periodos pico de uso de la electricidad cuando los tipos de energía están en el más alto también se puede lograr a través de un sistema de gestión de iluminación (LMS).

Sistemas de gestión de iluminación permiten que los operadores de construcción a los sistemas de iluminación integrados con otros servicios de construcción, tales como calefacción, refrigeración, ventilación, a fin de lograr un enfoque global de energía para todo el edificio, en particular para la construcción verde o un edificio de producción de energía.

APENDICE B. CALCULO DE CARGA DE ENFREIAMIENTO

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.

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

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 [m²]. Su digitación está encargada por el operario.

Radiación solar (R): Este es un parámetro del cual ya se ha hecho mención y corresponde a un valor establecido, el cual es de 527 [W/m²], 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 B. 1 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, Segun tipo de material 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
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
Color Verde grisáceo	0,46
Color Opalascence claro	0,43
Color Opalascence oscuro	0,37

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, ecuación B. 2:

$$Q_{STR} = [k_{pe} * (spe1 + spe2 + spe3 + spe4) * (DTE_{pe1} + DTE_{pe2} + DTE_{pe3} + DTE_{pe4})] + [k_{te} * (stes + stei) * (DTE_{te1} + DTE_{te2})] [W]$$

B.
2

En donde:

Coefficiente de transmisión de paredes exteriores o vidrios (k_{pe}): 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 techo

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

Donde.

Superficie de las paredes (s_{pe}): Existen como máximo 4 paredes, las cuales, el usuario del programa debe suministrar el valor del área. Unidad de medida: $[m^2]$. 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 (DTE_{pe}): 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 $28,037 [^{\circ}C]$. La temperatura de confort es de $24 [^{\circ}C]$. Por tanto, el salto térmico (Δt), el cual se explica más adelante y consiste en la diferencia entre la temperatura media exterior y la interior de confort, da $4,037 [^{\circ}C]$. 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 $[^{\circ}C]$.

Tabla B. 3. Diferencia de temperatura equivalente

Orientación del muro	Temperatura hora solar 15 $[^{\circ}C]$	Ajuste para $\Delta t = 4 [^{\circ}C]$ 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

Coefficiente de transmisión para techos exteriores (k_{te}): 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 $[W/m^2 \cdot K]$. 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: $[m^2]$.

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 $[^{\circ}C]$. Los valores tenidos en cuenta para el cálculo fueron los expuestos en la Tabla B4 que sigue. Valor que selecciona el usuario.

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

Ubicación del techo	Temperatura hora solar 15 $[^{\circ}C]$
Techo soleado	16,146
Techo en sombra	5,06666667

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:

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

En donde:

Coficiente 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 $[W/m^2 \cdot K]$. 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: $[m^2]$.

Salto térmico (Δt): 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 Olgyay, 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 Olgyay 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 $[^{\circ}C]$ y 27 $[^{\circ}C]$, 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].

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 (Δt) es la diferencia entre la temperatura exterior y la interior de confort (la deseada), por lo que se tiene un valor calculado

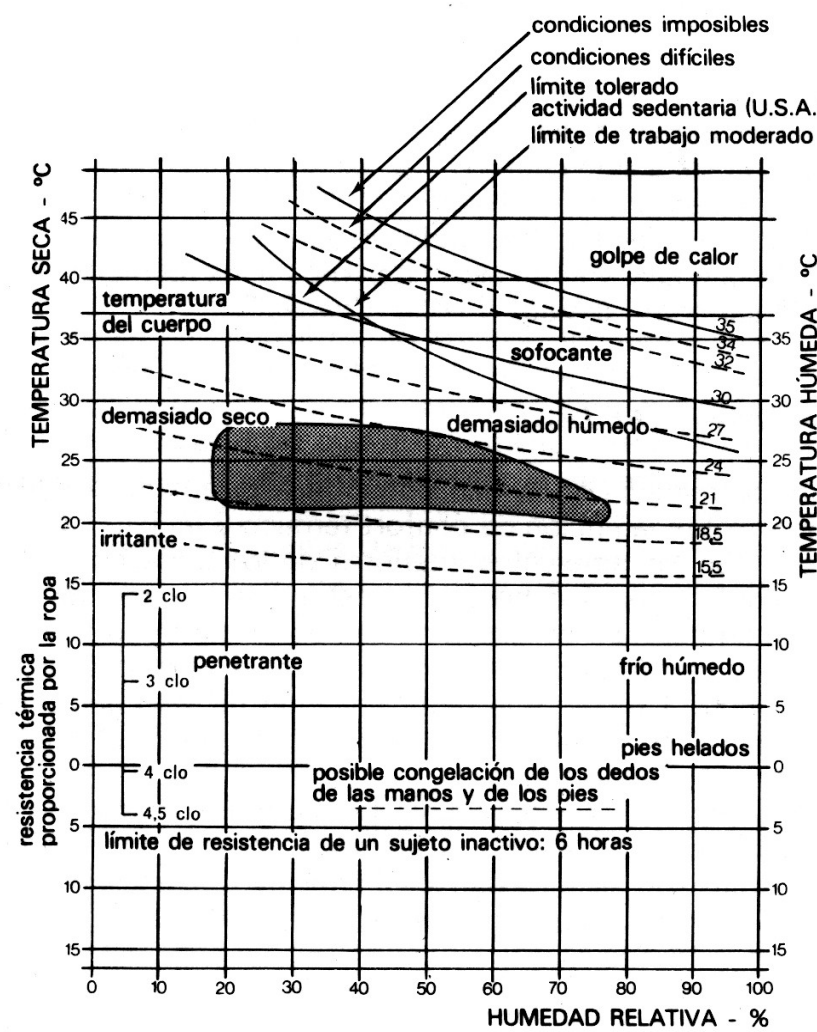


Figura B. 1. Diagrama de Olgyay

aproximadamente igual a 4,037 [°C], él se tuvo en cuenta para hallar algunos tipos de ganancia de calor necesario 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, ecuación B. 4:

$$Q_{SI} = 0.34 * nph * nv * npu * Vi * \Delta t[W]$$

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 [m³/(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.

Figura B. 2. Caudal de aire de infiltración para cada tipo de espacio interior

Tipo de local	Caudal [m³/(h_persona, puerta)]
Auditorios	45
Aulas de clase	28,8
Aulas de cómputo	27
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

Salto térmico (Δt): 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 LU-
GAR (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 B. 5 que describe este apartado, es:



$$Q_{SP} = npe * O_s[W]$$

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. 5. 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

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 ecuación B. 6 general de calor debido a la iluminación del lugar, la cual depende de los valores dados en la Tabla B. 6 enseguida.

$$Q_{SIL} = I * Q_l[W]$$

B. 6

Tabla B. 6. Q_l según tipo de iluminación

Tipo de iluminación	Q _l
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, fotocopiadoras, 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 B. 7.

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

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 ecuación B. 8:

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

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 subcapítulo B.4.

Diferencia de las unidades absolutas del aire, exterior menos interior, del lugar (ΔW): Es la diferencia de humedades absolutas del aire exterior del lugar menos la del interior del local, medida en [gw/kg].

Para determinar el ΔW , se tienen en cuenta algunos de los datos suministrados por la estación meteorológica de la UIS 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, da aproximadamente:

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

Como se había mencionado antes en el concepto de salto térmico, la temperatura 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 B. 3, se intersectan los valores de T_{Ext} y H_{Ext} , de ahí se genera el punto 1 de la Figura B. 1. 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.

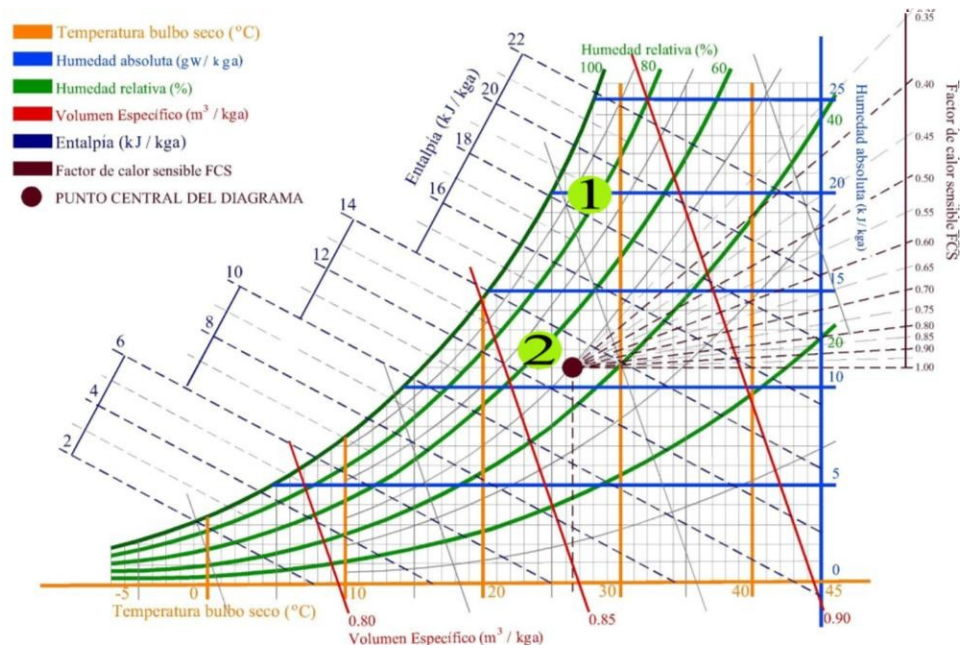


Figura B. 3. Diagrama Psicrométrico modificado

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 (ΔW) da aproximadamente 7,8 [gW/kg_a].

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

De acuerdo con la Tabla B. 5, 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. 5 y se calculará la ganancia de calor debido a las personas que habitan el lugar. La siguiente ecuación B. 9 describe matemáticamente la importancia de este apartado.

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

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. 5, 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.

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 en la ecuación B. 10

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

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 en la ecuación B. 11.

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

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. La ecuación que de análisis matemático se muestra enseguida:

$$Q_{SV} = 0,34 * V_v * fbp * \Delta t [W] \quad \text{B. 12}$$

En donde:

Volumen de infiltración para cada tipo de espacio (VV): 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 [m³/(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 (Miranda, 2010).

En la Tabla B. 7. se indican los valores del factor de By-pass según el tipo de local a adecuar.

Tabla B. 7. 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

Salto térmico (Δt): 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, ecuación B. 13 que se utiliza en la composición, es el requerido para que el aire del local se refresque.

$$Q_{LV} = 0,83 * V_V * fbp * \Delta_w [W] \quad \text{B. 13}$$

Volumen de infiltración para cada tipo de espacio (VV): El análisis de este factor fue tratado en el primer apartado de la sección B.12.

Coefficiente 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 (ΔW): 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 [gw/kg].

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 la ecuación B. 14:

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

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 la ecuación B. 15:

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

B.16 CARGA SENSIBLE EFECTIVA TOTAL (QSE)

El valor de la carga sensible efectiva parcial que se calculó en el ANEXO 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 la ecuación B. 16:

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

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 la ecuación B. 17:

$$Q_{LE} = Q_{LEP} + 0,1 * Q_{LEP} = 1,1 * Q_{LEP} [W]$$

B. 17**B.18 TOTAL 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 expresión **B. 18**.

$$Q_T = Q_{SE} + Q_{LE} [W]$$

B. 18