

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS LINEAMIENTOS DE USO RACIONAL DE
LA ENERGÍA ENTRE LA RESOLUCIÓN 0549 DEL 10 DE JULIO DE 2015 Y EL
ESTÁNDAR DE CERTIFICACIÓN LEED**

**ÁLVARO IGNACIO REYES ARÉVALO
JAIME ANDRÉS REYES ARÉVALO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA
BUCARAMANGA
2017**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS LINEAMIENTOS DE USO RACIONAL DE
LA ENERGÍA ENTRE LA RESOLUCIÓN 0549 DEL 10 DE JULIO DE 2015 Y EL
ESTÁNDAR DE CERTIFICACIÓN LEED**

**ÁLVARO IGNACIO REYES ARÉVALO
JAIME ANDRÉS REYES ARÉVALO**

**Monografía de Grado para optar el título de Especialista en Sistemas de
Distribución de Energía Eléctrica**

**DIRECTOR
GERMAN ALFONSO OSMA PINTO
Doctor en Ingeniería – área Ingeniería eléctrica**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA
BUCARAMANGA
2017**

DEDICATORIA

DEDICO ESTE LOGRO A DIOS, QUIEN ME DA LA OPORTUNIDAD DE VIVIR CADA DÍA Y DE PODER AMAR A CADA UNA DE LAS PERSONAS QUE SE CRUZAN EN MI CAMINO.

A MIS PADRES ÁLVARO REYES Y MYRIAM ARÉVALO, QUIENES HAN DEDICADO SUS MEJORES AÑOS PARA VER MIS METAS HACERSE REALIDAD Y GUIARME POR EL CAMINO CORRECTO PARA SER MEJOR PERSONA.

A MIS DOS HERMOSOS HIJOS, SARA VALENTINA Y ÁLVARO JOSÉ, QUE ME DAN LAS FUERZAS EN LOS MOMENTOS DIFÍCILES PARA SEGUIR LUCHANDO Y SALIR ADELANTE.

A MI HERMANO JAIME ANDRÉS QUIEN HA SIDO MI COMPAÑERO DE VIDA Y APOYO INCONDICIONAL DESDE QUE NACÍÓ.

A TODOS LOS PROFESORES, FAMILIARES Y AMIGOS QUE HAN TENDIDO SU MANO EN MOMENTOS TRISTES Y ALEGRES, EN ESPECIAL A LOS QUE FUERON COMO HERMANOS, HERIBERTO LÓPEZ Y MAICOL RUIZ, EN SU MEMORIA.

A TODOS MIS COMPAÑEROS DE CLASES, CON QUIENES COMPARTÍ MUCHOS MOMENTOS DE ANGUSTIAS, PERO MUCHOS MÁS DE ALEGRÍAS.

A MIS GRANDES AMIGOS LUIS ANDRÉS ROBLES, ANDRÉS MAURICIO LOZANO Y MANUEL CABALLERO, QUIENES ME INSPIRAN A SEGUIR PONIÉNDOLE PICARDÍA A LA VIDA.

ÁLVARO IGNACIO.

“LOS LOGROS Y METAS QUE SE ALCANZAN EN ESTE LARGO CAMINO AL QUE LLAMAMOS VIVIR, NO SERÍAN POSIBLE SIN LA PRESENCIA DEL PADRE UNIVERSAL, YA QUE ENVÍA SUS MÁS HERMOSOS ANGELES A QUIENES LLAMAMOS PADRES, PARA GUIARNOS EN CADA PASO QUE DAMOS.”

A DIOS TODO PODEROSO QUE ME REGALÓ LA DICHA DE SER COLOMBIANO Y A LA VEZ OCAÑERO, A MIS PADRES QUE SIEMPRE ME HAN BRINDADO SU APOYO INCONDICIONAL, A MI HERMANO QUE HA SIDO MI AMIGO MÁS FIEL, A MIS SOBRINOS QUE AGITAN MI VIDA CON SUS RISAS Y OCURRENCIAS, A TODA MI FAMILIA, A MI “COACH PERSONALIZADA” QUE ME MOTIVA A SER CADA DÍA MEJOR, A LOS AMIGOS CON LOS QUE AÚN PUEDO COMPARTIR TERRENALMENTE Y AQUELLOS CON LOS QUE DISFRUTARÉ EN LA ETERNIDAD COMO HERI LÓPEZ, AL QUE LA IGNORANCIA DE AQUELLOS QUE NO CONOCEN EL VALOR DE LA VIDA HICIERA QUE SUS OJOS SE CERRARÁN Y SU VOZ SE SILENCIARA, A LA “DAMA DE HIERRO” QUE DESCANSA EN EL SUEÑO PERPETUO, A LOS QUE HAN FORJADO MI CARÁCTER Y A LOS QUE PERMITIERON ALCANZAR ÉSTA META,
A TODOS, DEDICO ESTA ALEGRÍA...

JAIME ANDRÉS.

AGRADECIMIENTOS

Brindamos nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de ésta monografía. Al grupo de profesionales que brindaron sus conocimientos y experiencias laborales a lo largo de la especialización para nuestra formación académica, a nuestro director de investigación, el Doctor e ingeniero German Alfonso Osma Pinto, por su apoyo y orientación desinteresada en la culminación exitosa del presente documento. A nuestros amigos que en Bucaramanga siempre nos brindan su ayuda y a los nuevos con los que compartimos durante éste tiempo en el aula de clase.

Agradecimiento especial a la empresa INGELCAF S.A.S. en cabeza de su gerente, el ingeniero Carlos Andrés Fuentes Arévalo y a todos sus integrantes, por permitir, impulsar y respaldar constantemente el crecimiento profesional de su equipo de trabajo, ya que sin su apoyo el camino hacia éste logro hubiese sido más difícil.

A nuestros gestores de vida por su apoyo incondicional, disposición y confianza celebrando nuestros triunfos, sosteniéndonos en nuestros fracasos, aliviando nuestras penas y ahora disfrutando en éste nuevo logro.

A la tuna de la escuela de artes y música TUNAR-T UIS y a su directora, Patricia Casas, por seguir permitiendo que gocemos de las gratas y excelentes experiencias que acarrea ésta bella tradición.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
2. OBJETIVOS.....	21
2.1 OBJETIVO GENERAL	21
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
3. MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES.....	23
3.1 ANTECEDENTES.....	23
3.2 MARCO DE REFERENCIA.....	27
3.2.1 Fuentes de energía	29
3.2.2. Desarrollo sostenible	30
3.2.3 Construcción sostenible	32
3.2.4 Ventajas de la construcción sostenible:	33
3.2.5 Uso racional de la energía – URE.....	35
4. GUÍA DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE – RESOLUCIÓN 0549 DE 2015 ...	37
4.1 GUÍA DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE.....	40
4.1.1 Clasificación climática	40
4.1.1.1 Línea base de consumo.....	41
4.2 MEDIDAS DE AHORRO DE ENERGÍA.....	47
4.2.1 Medidas de ahorro pasivas	47
4.2.2 Relación ventana-pared	49
4.2.3 Elementos de protección solar y vidrios de control solar	51
4.2.4 Medidas activas de ahorro de energía	55
5. CERTIFICACIÓN LEED PARA NUEVAS CONSTRUCCIONES.	60
5.1 CERTIFICACIÓN LEED.....	60
5.2 ENERGÍA Y ATMÓSFERA (EA).....	65

5.2.1 Fundamental commissioning and verification / Comisionamiento y verificación fundamental (Prerrequisito 1, EAp1):	67
5.2.2 Minimum energy performance / Mínima eficiencia energética (Prerrequisito 2, EAp2)	68
5.2.3 Building-level energy metering / Medición de niveles de energía del edificio (Prerrequisito 3, EAp3):	69
5.2.4 Fundamental refrigerant management / Gestión fundamental de refrigerantes (Prerrequisito 4, EAp4):	69
5.2.5 Enhanced commissioning / Comisionamiento avanzado (Crédito 1, EAc1):	70
5.2.6 Optimize energy performance/ Optimizar el rendimiento energético (Crédito 2, EAc2):	72
5.2.7 Advanced energy metering / Medición de energía avanzada (Crédito 3, EAc3):	76
5.2.8 Demand response / Respuesta a la demanda (Crédito 4. EAc4):	77
5.2.9 Renewable energy production / Producción de energía renovable (Crédito 5, EAc5):	79
5.2.10 Enhanced refrigerant management / Manejo de refrigerantes avanzado (crédito 6, EAc6):	80
5.2.11 Green power and carbon offsets / Energía verde y compensaciones de carbono:	80
6. COMPARACIÓN CERTIFICACIÓN LEED CON RESOLUCIÓN 0549 DE 2015	82
6.1 ANÁLISIS COMPARATIVO	84
6.1.1 Reducción de la relación ventana/pared (RVP):	85
6.1.2 Reflectividad del techo o cubierta	86
6.1.3 Reflectividad de las paredes	86
6.1.4 Valor U de la cubierta o techo	87
6.1.5 Valor U de la pared	88
6.1.6 Coeficiente de desempeño (COP):	88
6.1.7 Variadores de velocidad en torres de enfriamiento (VSD):	89

6.1.8 Variadores de frecuencia en unidades de manejo de aire (air handling unit, AHU):	89
6.1.9 Variadores de velocidad en bombas	90
6.1.10 Recuperación de calor del aire de retorno	90
6.1.11 Sensores de monóxido de carbono (CO) para ventilación de estacionamiento vehicular	91
6.1.12 Iluminación eficiente	91
6.1.13 Sensores de ocupación.....	92
6.1.14 Corrección del factor de potencia	92
6.1.5 Resumen cuadro comparativo Resolución 0549 y Certificación LEED	93
6.2 RESOLUCIÓN 0549 DE 2015: CASO 1, MODELAMIENTO DE EDIFICIO COMERCIAL EN CALI.....	95
6.3 RESOLUCIÓN 0549 DE 2015; CASO 2: Proyecto Av. ALO	96
6.4 RESOLUCIÓN 0549 DE 2015, CASO 3: Proyecto Av. Boyacá	97
6.5 RESOLUCIÓN 0549 DE 2015, CASO 4; Proyecto Carrera Séptima	97
6.6 CERTIFICACIÓN LEED, CASO 1: EDIFICIO CENTRO ÁTICO	99
6.7 CERTIFICACIÓN LEED, CASO 2; OXO 69.....	101
6.8 CERTIFICACIÓN LEED, CASO 3; HOMECENTER MANIZALES	102
6.9 CERTIFICACIÓN LEED, CONSTRUCCIÓN EN EL MUNICIPIO DE ALBANIA, GUAJIRA.	104
6.10 COMPARACIÓN CERTIFICACIÓN LEED Y RESOLUCIÓN 0549 DE 2015.....	104
7. CONCLUSIONES	108
8. RECOMENDACIONES.....	110
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	111
BIBLIOGRAFÍA	118

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Consumo mundial de energía primaria por fuente de procedencia.	23
Figura 2. Participación porcentual por agente en el consumo de energía eléctrica.	26
Figura 3. Distribución del consumo de energía en los hogares colombianos.	26
Figura 4. Fuentes, Procesos de Transformación y Usos de la Energía.	30
Figura 5 Gradualidad de aplicación de las medidas de la resolución.	38
Figura 6. Ilustración de la relación Ventana-Pared.	50
Figura 7. Ángulo de sombra vertical.	51
Figura 8. Protección horizontal o aleros.	52
Figura 9. Ángulo de sombra horizontal (HSA, Izquierda), Aletas en una construcción (derecha)	53
Figura 10. Ilustración de cómo actúa el vidrio solar.	54
Figura 11. Ilustración de la ventilación natural.	55
Figura 12. Lámparas T5 o T8 y LED.	56
Figura 13. Tipos de certificación LEED.	64
Figura 14. Proyectos LEED en Colombia.	65
<i>Figura 15. Estrategias de construcción sostenible.</i>	<i>66</i>
Figura 16. Comparación de consumos energéticos.	103

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Porcentajes de ahorro de energía durante el primer año de la resolución.	38
Tabla 2. Porcentajes de ahorro de energía durante el segundo año de la resolución.	39
Tabla 3. Clasificación del tipo de edificación contempladas en la resolución.	39
Tabla 4. Tipos de clima según la Resolución 0549 de 2015.	41
Tabla 5. Línea base de consumo de energía.	42
Tabla 6. Matriz de implementación de las medidas.	44
Tabla 7. Medidas para el ahorro de energía en clima frío. Primer año.	45
Tabla 8. Medidas para el ahorro de energía en clima templado. Primer año.	45
Tabla 9. Medidas para el ahorro de energía en clima cálido seco. Primer año.	46
Tabla 10. Medidas para el ahorro de energía en clima cálido húmedo. Primer año.	47
Tabla 11. Objetivos de las medidas por clima.	49
Tabla 12. Estimaciones del porcentaje de ahorro por medida para una construcción comercial.	58
Tabla 13. Categorías de la certificación LEED con sus puntuaciones.	63
Tabla 14. Prerrequisitos y créditos de la categoría Energy and Atmosphere.	67
Tabla 15. Puntos por porcentaje de mejora en el desempeño energético.	75
Tabla 16. Puntos por energía renovable.	79
Tabla 17. Medidas recomendadas para el ahorro energético según la Resolución 0549.	83
Tabla 18. Medidas del estándar ASHRAE 90.1 -2010.	84
Tabla 19. Medida: Reducción de relación ventana/pared (RVP)	85
Tabla 20. Medida: Reflectividad del techo o cubierta.	86

Tabla 21. Medida: Reflectividad de las paredes.	87
<i>Tabla 22. Medida: Valor U de la cubierta o techo.</i>	<i>87</i>
Tabla 23. Medida: Valor U de la pared.	88
<i>Tabla 24. Medida: Coeficiente de desempeño (COP).</i>	<i>88</i>
Tabla 25. Medida: Variadores de velocidad en torres de enfriamiento.	89
Tabla 26. Medida: Variadores de frecuencia en AHU.	89
Tabla 27. Medida: Variadores de velocidad en bombas.	90
Tabla 28. Medida: Recuperación de calor del aire de retorno.	90
Tabla 29. Medida: Sensores de Monóxido de Carbono (CO) para ventilación de estacionamiento vehicular.	91
Tabla 30. Medida: Iluminación eficiente.	92
Tabla 31. Medida: Sensores de ocupación.	92
Tabla 32. Medida: Corrección del factor de potencia.	93
Tabla 33. Resumen de las medidas comparadas por Resolución 0549 y Certificación LEED.	94
Tabla 34. Estrategias implementadas en un edificio comercial, Cali. Fuente: Adaptado de (CAMACOL, 2016).	96
Tabla 35. Medidas recomendadas para vivienda no VIS en clima frío.	98
Tabla 36. Resumen de consumo y ahorro por proyecto.	98
Tabla 37. Estrategias implementadas en el diseño modificado del edificio Centro Ático.	100
Tabla 38. Consumo y ahorro del edificio Centro Ático.	101
Tabla 39. Consumo y ahorro de energía de diseño de OXO 69.	102
Tabla 40. Consumo por cada uso del edificio.	102
Tabla 41. Resumen de los estudios de caso.	105

RESUMEN

TITULO: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS LINEAMIENTOS DEL USO RACIONAL DE LA ENERGÍA ENTRE LA RESOLUCIÓN 0549 DEL 10 DE JULIO DE 2015 Y EL ESTÁNDAR DE CERTIFICACIÓN LEED^{*}

AUTORES: ÁLVARO IGNACIO REYES ARÉVALO
JAIME ANDRES REYES ARÉVALO^{**}

PALABRAS CLAVES: Resolución 0549 del 10 de Julio de 2015, Estándar LEED, Sostenibilidad, Edificios Verdes, Ahorro de Energía, Ministerio de Vivienda de Colombia, USGBC.

DESCRIPCIÓN:

El constante crecimiento de la demanda de energía eléctrica a nivel mundial debido a la industrialización y al aumento de la población, ha significado una explotación no planificada de recursos naturales que puede afectar la calidad de vida de generaciones futuras.

Debido a ésta situación, entidades a nivel mundial como la ONU han promovido iniciativas para el uso racional y eficiente de la energía con conceptos relacionados para tal fin como la sostenibilidad. Asimismo organismos de carácter privado como el USGBC han desarrollado programas de certificación como el LEED para medir la eficiencia energética de las edificaciones bajo parámetros de ahorro y sostenibilidad.

Colombia no ha sido ajena a éste tipo de iniciativas y desde la constitución de 1991 ha emitido una serie de decretos, leyes y resoluciones para buscar la sostenibilidad ambiental mediante el uso racional y eficiente de la energía URE, en los sectores industrial, comercial y residencial. El acto legislativo más reciente fue la Resolución 0549 del 10 de julio del 2015, la cual estipula los mínimos de ahorro de energía y agua que deben garantizar las construcciones en todo el país, para las licencias de construcción que se radiquen en las secretarías de planeación a partir del 10 de julio del 2017.

Para el correcto desarrollo de la monografía, se siguieron las siguiente etapas, teniendo en cuenta que el objeto de análisis fueron construcciones con más de 6000 m² de área construida: (1) Identificación y familiarización con los conceptos de ahorro de energía, recursos naturales, sostenibilidad y edificaciones verdes, (2) Descripción de la Resolución 0549 y su guía de ahorro, (3) Descripción de la certificación LEED, (4) Comparación de la Resolución 0549 con la certificación LEED, a partir de construcciones existentes que fueron analizadas bajo éstas dos ópticas de ahorro y eficiencia, (5) Conclusiones y recomendaciones.

^{*} Monografía de Especialización.

^{**} Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: Dr. German Alfonso Osma Pinto.

ABSTRACT

TITLE: COMPARATIVE ANALYSIS OF THE GUIDELINES FOR THE RATIONAL USE OF ENERGY BETWEEN RESOLUTION 0549 OF JULY 10 OF 2015 AND THE LEED CERTIFICATION STANDARD

AUTHORS: ÁLVARO IGNACIO REYES ARÉVALO
JAIME ANDRES REYES ARÉVALO**

KEYWORDS: Resolution 0549 of July 10 of 2015, LEED Standard, Sustainability, Green Buildings, Energy Saving, Colombia Housing Ministry, USGBC.

DESCRIPTION:

The steady growth in global electricity demand due to industrialization and population growth has meant unplanned exploitation of natural resources that can affect the quality of life of future generations.

Due to this situation, entities worldwide such as the UN have promoted initiatives for the rational and efficient use of energy with related concepts for such purpose as sustainability. Likewise, private entities such as the USGBC have developed certification programs such as LEED to measure the energy efficiency of buildings under parameters of savings and sustainability.

Colombia has not been unaware of this type of initiative and since the constitution of 1991 has issued a series of decrees, laws and resolutions to seek environmental sustainability through the rational and efficient use of energy URE in the industrial, commercial and residential sectors . The most recent legislative act was Resolution 0549 of July 10 of 2015, which stipulates the energy and water saving minimums that must be guaranteed for constructions throughout the country, for construction licenses that are filed in the planning secretariats As of July 10 of 2017.

For the correct development of the monograph, the following stages were followed, taking into account that the object of analysis were constructions with more than 6000 m² of constructed area: (1) Identification and familiarization with the concepts of energy saving, natural resources, (2) Description of Resolution 0549 and its guide to saving, (3) Description of LEED certification, (4) Comparison of Resolution 0549 with LEED certification, from existing constructions that were analyzed under These two optics of saving and efficiency, (5) Conclusions and recommendations.

* Specialization Monograph.

** School of Physics and Mechanical Engineering. School of Electrical Engineering, Electronics and Telecommunications. Chief: Dr. German Alfonso Osma Pinto

INTRODUCCIÓN

La industrialización y los avances tecnológicos han desencadenado un gran consumo energético para poder satisfacer las necesidades del estilo de vida actual, este consumo no es gratuito, pues se han generado fenómenos como el calentamiento global y el cambio climático, que amenazan la estabilidad del planeta.

De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía, solo el consumo de energía eléctrica (en kWh) per cápita ha aumentado desde 1990 en más del 50% al pasar de 2100 kWh a 3105 kWh en 2013.

Para el caso colombiano, el consumo de energía aumentó cerca del 140% en el mismo periodo [1]. Otro dato relevante de dicha entidad es el porcentaje de consumo de energía procedente de combustibles fósiles; el cual en 1990 era de 80,7% y en 2013 de 81,2%, lo cual muestra que no se ha logrado sustituir dicha fuente contaminante como recurso energético principal.

Lo anterior indica que es necesario implementar mecanismos de ahorro energético que permitan reducir el crecimiento exponencial del consumo, junto con sistemas de construcción sostenible, de manera que se puedan aprovechar mejor todos los recursos que brinda el ambiente.

Con el fin de mitigar las consecuencias negativas para el planeta, entidades como *United State Green Building Council (USGBC)* han creado programas o guías con el fin de generar estándares, pautas y estrategias encaminadas a lograr sostenibilidad en construcciones de todo tipo buscando el ahorro de agua y energía.

El programa líder a nivel mundial desarrollado por USGBC es el LEED (*Leadership in Energy & Environmental Design*), el cual es un sistema de certificaciones desarrollado en 1998 que se basa en la incorporación de aspectos relacionados con la eficiencia energética, el uso de energías alternativas, la mejora de la calidad ambiental interior y la selección de materiales.

Colombia siguiendo la dinámica global, desde 2015 se vinculó al USGBC con el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS), el cual se creó desde 2008 para liderar la transformación de la actividad de la construcción y del desarrollo urbano hacia una mayor sostenibilidad, siendo el canal de las relaciones del mercado colombiano con el USGBC. Desde ese mismo año, Colombia institucionalizó la construcción sostenible para el ahorro de agua y energía a partir de la Resolución 0549 de 2015 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.

El objeto de estudio del presente trabajo es comparar los mecanismos de ahorro de energía contemplados en la Resolución 0549 de 2015 con el estándar LEED.

Inicialmente, se hace una contextualización con los problemas medioambientales ocasionados por el consumo energético, así como una reseña histórica de los proyectos de construcción verde que han sido desarrollados. Luego se plantea el análisis de la Resolución 0549 de 2015, con una previa descripción del marco legal de referencia.

Posteriormente, se estudia el estándar internacional LEED con la finalidad de resaltar los tópicos más importantes en cuanto al ahorro de energía y los procedimientos para obtener una certificación de este tipo en Colombia.

Finalmente, se presenta un análisis comparando teóricamente los ahorros posibles para un proyecto en el que se apliquen los lineamientos de la Resolución 0549 de 2015, frente al ahorro obtenido con el estándar LEED.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El aprovechamiento de la energía eléctrica forjó una revolución tecnológica, económica, política y social; como consecuencia de estos procesos se generó un constante crecimiento en su demanda, provocando una explotación indiscriminada de recursos naturales como el carbón, el agua y el petróleo.

Uno de los cambios que trajo consigo su uso, fue el poder concentrar personas en edificaciones destinadas al uso residencial y comercial, en los que el consumo de energía se caracteriza principalmente por suplir las necesidades de iluminación y de confort térmico.

Esta demanda siempre está en constante crecimiento debido al continuo mercado de la construcción requerido para atender las exigencias de una población en aumento.

En países como Colombia, donde la generación de energía se obtiene fundamentalmente de centrales hidroeléctricas y térmicas, y dónde fenómenos naturales como El Niño o La Niña son tan fuertes, seguir atendiendo una demanda energética que crece paulatinamente (crecimiento per cápita cerca del 150% desde 1990), podría llevar a racionamientos de electricidad y afectar considerablemente la economía.

Reducir el consumo de energía significa que con la misma demanda se puedan suplir las necesidades de muchas más personas, fortaleciendo el desarrollo sostenible que se requiere para asegurar los recursos de generaciones futuras.

Una estrategia para apoyar esto es edificar los inmuebles aprovechando las condiciones ambientales que ofrece el entorno, junto con el uso de materiales y equipos eficientes que ocasionen un reducido impacto al ambiente.

A raíz de ello surge la necesidad en Colombia de emitir en el año 2015 la Resolución 0549, que establece pautas para ejecutar los nuevos proyectos civiles que se radiquen en las oficinas de planeación de los municipios a partir del 10 de julio de 2017 [2], los cuales deberán garantizar un mínimo de ahorro energético exigido.

Por esta razón, se desea conocer y profundizar acerca de las estrategias de construcción sostenibles presentes en la Resolución y realizar una comparación con los lineamientos de certificación LEED los cuales son de reconocimiento internacional, y así dar una interpretación desde la perspectiva de la ingeniería eléctrica, contribuyendo al conocimiento que deben adquirir los profesionales relacionados con la construcción de edificaciones en Colombia, una vez entre en vigencia la Resolución del Ministerio de Vivienda en todo el país.

Asimismo, es de suma importancia que la población colombiana en general comprenda los beneficios de hacer un correcto uso de los diferentes recursos energéticos y adoptar nuevas tecnologías que sean amigables con el medio ambiente.

2. OBJETIVOS

A continuación, se presentan el objetivo general y los objetivos específicos proyectados para esta investigación.

2.1 OBJETIVO GENERAL

Comparar los criterios para el ahorro de energía eléctrica descritos en la Resolución 0549 del 10 de Julio de 2015 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de la República de Colombia, y el sistema de certificación de edificios sostenibles LEED, para el caso de edificaciones comerciales con un área total construida mayor a 6 000 m².

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir los lineamientos y estrategias de ahorro de energía eléctrica para edificaciones comerciales estipuladas en la Resolución 0549 del 10 de Julio de 2015 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de la República de Colombia.
- Describir los lineamientos y estrategias de ahorro de energía eléctrica para edificaciones comerciales estipuladas en el sistema de certificación BD + C del estándar LEED de edificaciones sostenibles.

- Comparar los requisitos para el ahorro energético que ofrecen las estrategias anteriores en una edificación comercial con un área total construida mayor a 6 000 m².

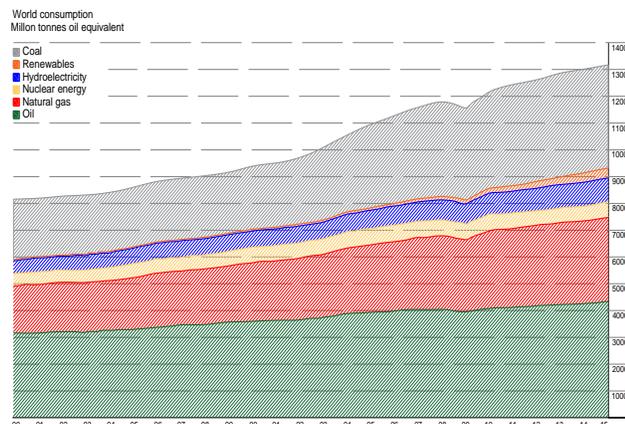
3. MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES

Este capítulo describe la evolución histórica de la construcción verde a nivel nacional e internacional y presenta conceptos básicos relacionados con el uso de la energía y el cambio climático.

3.1 ANTECEDENTES

El recurso energético principal a nivel mundial desde la revolución industrial, siempre ha estado ligado al uso de combustibles fósiles. Desde finales del siglo XVII, el consumo de energía se ha incrementado exponencialmente. Inicialmente el carbón fue el principal recurso energético, pero desde la perforación del primer pozo petrolero en 1846, el petróleo y el gas han pasado a ocupar mayor participación en la canasta energética. Desde 1990, por ejemplo, el consumo de energía proveniente de estos recursos ha estado en crecimiento, como muestra la figura 1.

Figura 1. Consumo mundial de energía primaria por fuente de procedencia.



Fuente: Adaptado de: *BP Statistical Review, of World Energy 2016.*

Los factores que más han influido en el aumento de la demanda energética son:

- El aumento de la población mundial junto con el creciente desarrollo tecnológico y urbanístico.
- El crecimiento del nivel de confort demandado por la sociedad lo cual exige un mayor consumo energético.
- La incorporación del petróleo como combustible más usado a partir de 1964.
- El desarrollo de la industria de manufactura, transportes, alimentación y cualquier otro tipo de bienes de consumo.

En 1973 con la primera crisis del petróleo, se descubre la necesidad de diversificar las fuentes de energía, pues se toma conciencia del futuro agotamiento de los recursos naturales.

La creciente demanda de energía asociada con intensas deforestaciones; accidentes nucleares (*Chernobil* en 1986), el crecimiento de las economías emergentes que disparan el consumo de energía y el denominado calentamiento global, hacen pensar a la sociedad mundial en un nuevo concepto: la sostenibilidad.

El origen de la palabra sostenibilidad se sitúa en 1987 con el informe socio-económico *Brundtland* elaborado para la ONU, donde se utilizó por primera vez el término desarrollo sostenible, definido como el “proceso de resolver las necesidades del ahora sin comprometer los recursos disponibles para solventar las que se presenten en el futuro”.

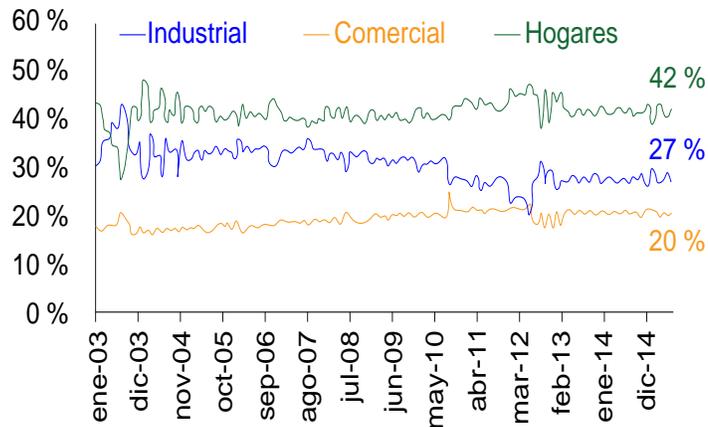
En la actualidad, al menos en la parte del mundo desarrollado, ya se tiene conciencia de las necesidades de ahorro de energía. Empieza a ser común el uso de fuentes de energía alternativa consideradas más limpias, como la energía solar, eólica, la biomasa o la hidráulica; lo cual también se puede observar en la Figura 1.

Para el caso de demanda de energía de las edificaciones, en la Unión Europea, por ejemplo, el 40% de su consumo corresponde a los edificios, de acuerdo a la directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, del 9 de mayo de 2010. Esto representa emisiones de CO₂ a la atmósfera, que provienen principalmente de la climatización y en general, del uso de energía de los edificios públicos y privados.

En el caso de Colombia, de acuerdo a estadísticas publicadas por la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), el agente con mayor participación en el consumo energético son los hogares con 42%, seguido del sector industrial con 27% y el comercial con 20%, tal como muestra la figura 2.[3]. Adicionalmente, se conoce que la mayor parte del consumo de los hogares está destinada a la refrigeración, iluminación y ventilación, lo cual es mostrado por la Figura 3.

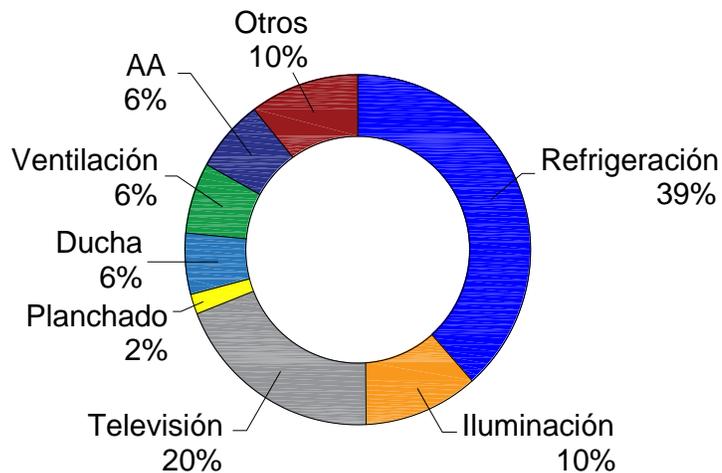
Por tanto, se puede establecer que la eficiencia energética y el diseño sostenible de las construcciones es un factor clave para el ahorro energético, sobre todo cuando se atacan los frentes relacionados con el mejoramiento de la calidad ambiental interior.

Figura 2. Participación porcentual por agente en el consumo de energía eléctrica.



Fuente: Adaptado de: Proyección de la demanda de energía eléctrica y potencia máxima en Colombia. Unidad de Planeación Minero energética, UPME. Revisión Octubre de 2015.

Figura 3. Distribución del consumo de energía en los hogares colombianos.



Fuente: Adaptado de: Proyección de la demanda de energía eléctrica y potencia máxima en Colombia. Unidad de Planeación Minero energética, UPME. Revisión Octubre de 2015.

Para conseguir edificios más sostenibles es necesario reducir la demanda de energía y agua requerida, esto se puede lograr actuando sobre tres factores:

- El uso de instalaciones más eficientes que no precisen de un gran consumo para lograr la habitabilidad y confort que se requieren.

- Reducir las transmisiones de energía y la transferencia de humedad entre las zonas habitables de los edificios con aquellas partes no habitables o con el exterior, lo cual se conoce como el mejoramiento de la calidad ambiental interior.
- Promover el uso de mecanismos de autosuficiencia energética en la construcción (aprovechamiento de energía solar).

Los ítems mencionados fueron los pilares para desarrollar estrategias de construcción sostenible como el estándar internacional LEED del USGBC, el cual empezó a ser implantado en 1993 y desde entonces se ha difundido en más de 150 países.

En Colombia, se creó el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible en 2008 para liderar la transformación de la actividad de la construcción y del desarrollo urbano hacia una mayor sostenibilidad para ser un puente entre el constructor y el USGBC. Por otro lado, en 2015 se reglamentaron las estrategias para ahorrar energía y agua en nuevas construcciones con la Resolución 0549 de 2015 emitida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.

3.2 MARCO DE REFERENCIA

En el estudio de la eficiencia energética y el uso racional de la energía debe entenderse cuales son sus fuentes y su respectiva clasificación, de acuerdo a los procesos de transformación a los que esté sometida para su consumo final, así como de los impactos que se generen al medio ambiente en dicho ejercicio, pues esto permitirá crear iniciativas para mitigar estos impactos y preservar los ecosistemas de las futuras generaciones. Es así como nacen iniciativas privadas a través del estándar de certificación LEED y políticas públicas encaminadas a disminuir las emisiones de CO₂.

Colombia no ha sido ajena a esta globalización de conciencia ecológica, ya que a través de diferentes leyes y decretos ha intentado dar su aporte en la conservación de los entornos naturales, al determinar los ahorros mínimos que deben garantizar las nuevas construcciones que se ejecuten a partir de julio de 2016. Dentro de los más recientes proyectos legislativos se encuentran los siguientes:

- Decreto 1077 de 2015: Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio.

- Decreto 1285 de 2015; por medio del cual se modifica el Decreto 1077 de 2015 en lo relacionado con los lineamientos de construcción sostenible para edificaciones.

- Proyecto de Ley No. 109 de 2016 Senado “por medio del cual se modifica y adiciona la ley 1715 de 2014” de energías renovables.

- Proyecto de Ley No. 210 de 2016 Cámara “por medio del cual se establecen los lineamientos para la formulación de la Política Nacional de Construcción Sostenible, se otorgan beneficios e incentivos para su fomento e implementación y se dictan otras disposiciones”.

- Proyecto de Ley No. 054 de 2016 Senado “por medio del cual se establecen medidas para la adaptación y mitigación del cambio climático, y se establecen otras disposiciones”.

- Proyecto de ley No. 001 de 2015 Senado “por el cual se reglamentan los estándares de calidad y habitabilidad en la vivienda de interés social”.

- Proyecto de Ley No. 049 de 2016 Senado “por medio del cual se aprueba el Protocolo al Tratado Antártico sobre Protección del Medio Ambiente, su Apéndice

y sus Anexos I, II, III y IV, hecho en Madrid el 4 de octubre de 1991, su Anexo V, adoptado en Bonn, el 17 de octubre de 1991, y su Anexo VI, adoptado en Estocolmo, el 17 de junio de 2005.

Algunos de los conceptos que se deben tener claros para el desarrollo de esta investigación se presentan a continuación.

3.2.1 Fuentes de energía: Hace referencia a todos aquellos recursos que pueden ser aprovechados directamente o transformados para generar energía, movimiento, calor o trabajo. [4]

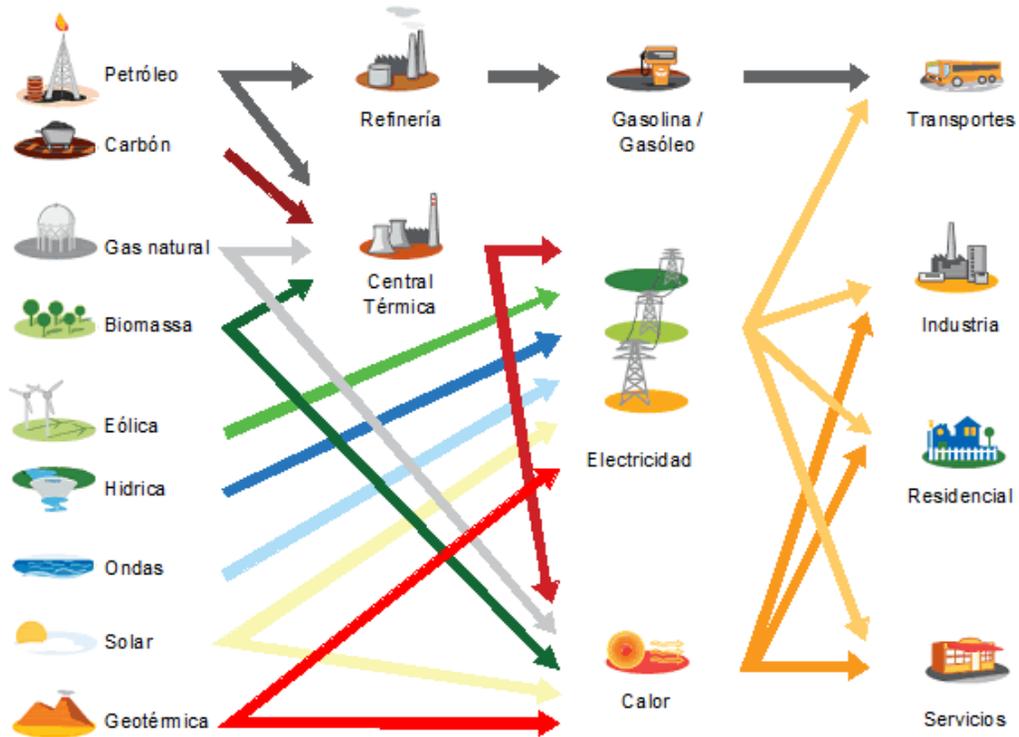
Según sea su origen, pueden clasificarse como primarias o secundarias, y de acuerdo a sus efectos luego de ser utilizadas, como limpias o sucias.

- Fuentes de energía renovables: Son aquellas que se obtienen directamente de la naturaleza y en las que sus reservas son prácticamente inagotables por las cantidades disponibles o porque pueden regenerarse por medios naturales. Entre las más conocidas se encuentran la hidroeléctrica, la eólica, la solar, la geotérmica, la mareomotriz y la biomasa. [5]
- Fuentes de energía no renovables: Son las también llamadas convencionales y que se encuentran en la naturaleza pero de forma limitada, y que una vez consumidas en su totalidad no pueden sustituirse fácilmente debido a que no existen métodos de producción económicamente viables, como los combustibles nucleares y fósiles (gas, carbón y petróleo).[5]
- Fuentes de energía limpia: Hace referencia a aquella energía que genera un menor impacto ambiental en su uso y en la construcción de la infraestructura requerida para su aprovechamiento, en contraste con el producido por las fuentes convencionales (hidrocarburos y grandes hidroeléctricas). Dentro de este grupo se puede considerar la eólica, la solar y la energía que se obtiene a partir de biomasa [6].

- Fuentes de energía sucia: Están asociadas con fuentes no renovables de energía. Se caracterizan por grandes impactos ambientales desde la extracción hasta la transformación. Generan mayores cantidades de emisiones de CO₂ durante su uso y transformación [6].

Los procesos de transformación energética a partir de cualquier tipo de fuente y su utilización por parte de los consumidores finales que se describieron anteriormente, pueden entenderse gráficamente como se muestra en la Figura 4.

Figura 4. Fuentes, Procesos de Transformación y Usos de la Energía.



Fuente: Adaptado de: [5]

3.2.2. Desarrollo sostenible: La principal definición de sostenibilidad fue adoptada por la Asamblea General de las Naciones Unidas como “desarrollo que conoce y atiende las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones de conocer y atender las suyas”. Desde el enfoque

energético esto representa un cambio hacia el uso eficiente de la energía y el uso de energías renovables y limpias, por tanto los actores de la sociedad (hogar, industria y comercio) deberán encaminar estrategias en este sentido.

Debido a que la mayor parte de las actividades humanas se desarrollan en las diferentes edificaciones que han sido construidas por el hombre, y que estas en general han sido fabricadas con materiales poco eficientes que provocan sensación de calor en su interior, el consumo de energía esperado en dichos espacios aumenta para dar comodidad a sus ocupantes por el uso de equipos de climatización, generando emisiones de CO₂ que no deberían presentarse si desde la planeación del edificio, se contemplan materiales eficientes y criterios de sostenibilidad [7].

Dentro del desarrollo sostenible se encuentra el concepto de edificaciones verdes, las cuales representan una opción diferente frente a los métodos de construcción tradicional, debido a que se optimiza la eficiencia energética y la utilización del agua. De igual forma se establecen estrategias de responsabilidad ambiental, al seleccionar materiales más óptimos en duración y mantenimiento, mejorando el confort térmico y la calidad del aire al interior de cualquier construcción, además de reducir los residuos causados por su funcionamiento.[7]

“Según el *World Green Building Council* y la *Comisión for the environmental Cooperation*, al construir de manera verde se pueden obtener ahorros entre el 30% y el 90% en los costos de desechos de construcción, entre el 30% y el 70% en el consumo de energía eléctrica, entre el 30% y el 50% en el consumo de agua potable, además, una reducción del 35% en emisiones de CO₂ y un aumento de la productividad entre el 2% y el 16%” [7].

Con base en estos estudios, es pertinente para el desarrollo sostenible de la generación actual que las entidades públicas y privadas, sigan invirtiendo dineros

que promuevan investigaciones que permitan optimizar aún más, los recursos naturales que ofrece el planeta.

3.2.3 Construcción sostenible: La construcción sostenible se refiere a las mejores prácticas durante todo el ciclo de vida de las edificaciones (diseño, construcción y operación), las cuales aportan de forma efectiva a minimizar el impacto del sector de la construcción en el cambio climático por sus emisiones de gases de efecto invernadero, el consumo de recursos y la pérdida de biodiversidad. [8].

Los proyectos sostenibles tienen como objetivo común la reducción de su impacto en el ambiente y un mayor bienestar de sus ocupantes. A continuación se presentan algunos elementos clave para lograr edificaciones sostenibles[9] [10] [11]:

- Gestión del ciclo de vida, tanto de las edificaciones como de los materiales y componentes utilizados.
- Mayor calidad de la relación de la edificación con el entorno y el desarrollo urbano.
- Uso eficiente y racional de la energía.
- Conservación, ahorro y reutilización del agua.
- Utilización de recursos reciclables y renovables durante su construcción y operación.
- Consideraciones respecto a la gestión del ciclo de vida de las materias primas utilizadas, con la correspondiente prevención de residuos y de emisiones.
- Selección de materiales derivados de procesos de extracción y producción limpia.
- Mayor eficiencia en las técnicas de construcción.
- Creación de un ambiente saludable y no tóxico en los edificios.

- Incremento de la calidad, tanto en lo que atiende a materiales, como a edificaciones y ambiente urbanizado.
- Cambio de hábitos de personas y comunidades en el uso de las edificaciones para reducir su impacto en la fase operacional e incrementar su vida útil.

3.2.4 Ventajas de la construcción sostenible: La implementación de sistemas para la construcción de edificaciones sostenibles genera un aporte importante al medio ambiente y a la calidad de vida de las personas que habitan estas construcciones. El reto como sector y país es que no sean solo los edificios, sino también las grandes obras de infraestructura, la construcción civil y los proyectos de VIS, los que incorporen, en sus diseños, construcción y operación, conceptos ambientales y sociales. Esta sería la expresión máxima de Responsabilidad Social Empresarial (RSE). A continuación se presentan algunas ventajas de la construcción sostenible[9]:

- De acuerdo con la información publicada por el Consejo de Construcción Sostenible de Colombia (Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, 2011), la implementación de sistemas sostenibles genera contundentes beneficios al bajar en promedio, 30% de ahorro de energía, 35% de carbono, entre 30% y 50% de agua y entre 50% y 90% de costos de desechos, esto sin contar la mejora en la salud y la productividad de quienes los habitan.
- Reduce los costos operativos: Los costos operativos de una edificación se derivan básicamente de la energía eléctrica, agua, y gas. Estos tres aspectos son significativamente reducidos mediante la aplicación de prácticas sustentables, no solo minimizando el impacto ambiental, sino también la economía de los ocupantes y operadores del edificio.
- Comodidad visual y térmica: Gente, economía y planeta; son los principales objetivos de la construcción sustentable, ya que se crean entornos agradables que representan un bienestar en las personas y en la sociedad.
- Mejor calidad del aire: Las edificaciones sustentables cuidan el bienestar del ser humano al mejorar la calidad del aire interior mediante el control de

aperturas al exterior del edificio, permitiendo la ventilación natural, restricciones para áreas de fumadores, empleo de materiales ecológicos, monitoreo de CO₂, entre otras prácticas.

- **Análisis de ciclos de vida:** Cuidar el medio ambiente implica reducir el uso de recursos naturales, para esto es necesario analizar los ciclos de vida de los recursos y materiales para que en vez de que sean una cadena con principio y fin, se promueva su reutilización, incrementando así su vida útil.
- **Reducción del uso de energía:** La reducción del uso de energía no consiste en disminuir las comodidades, sino en implementar prácticas como el modelado energético, la selección de luminarias más eficientes en los diseños eléctricos, el aprovechamiento de la iluminación natural, el empleo de energías renovables, entre otros aspectos, los cuales pueden controlarse mediante el commissioning. Este es un proceso en el que se analizan los rendimientos de los sistemas constructivos antes de la ocupación de un edificio, para garantizar que éste opere de acuerdo a lo previsto por el proyecto en la etapa de diseño.
- **Ahorro del agua:** Existen diversas maneras para disminuir el consumo de agua de un edificio, con la finalidad de reducir costos e incrementar su calidad con una conciencia ambiental. La selección de accesorios de plomería eficientes, la reutilización del agua y la recolección de agua pluvial son algunas prácticas que pueden ser empleadas para lograr este fin.
- **Materiales ambientalmente preferibles:** La elección de los materiales de construcción tiene un gran impacto en el medio ambiente, además de saber elegirlos, pueden contribuir a la reducción de costos e incremento del bienestar de los ocupantes. Se procura el uso de materiales regionales, con contenidos reciclados y rápidamente renovables, entre otras características.
- **Reducción de los residuos:** Tanto en la etapa de construcción, como en la vida útil del edificio, se cuida el impacto que este tiene al medio ambiente. Se disminuyen los volúmenes de materiales desechados, enviándolos a lugares donde serán reciclados o reutilizados.

- Productividad laboral y salud: Los atributos de diseño sostenible de edificios y ambientes interiores puede mejorar la productividad, salud y bienestar de los ocupantes, lo que genera mayor rentabilidad para las empresas, convirtiéndolo en el futuro de la construcción.
- Diversos estudios evidencian que los costos adicionales iniciales que implican las construcciones “verdes” se ven más que compensados durante su operación: hay menores costos, un mayor valor del edificio, de su canon de arrendamiento y de su tasa de ocupación, lo cual representa un mejor retorno de la inversión.

Construir edificios verdes se convierte en una oportunidad para los empresarios de ésta disciplina, ya que se hacen visibles en el ámbito de la bioconstrucción logrando incursionar en la red internacional de la construcción sostenible, lo cual permite aumentar la competitividad de la empresa en el mercado.

De acuerdo a varias empresas del sector de la construcción, como **Constructora Concreto** de la ciudad de Medellín, un proyecto de construcción sostenible puede costar entre 10% y 15% más que una construcción tradicional, pero en la medida en que se desarrollan el mercado de proveedores, materiales y profesionales capacitados se va reduciendo su costo.

3.2.5 Uso racional de la energía – URE: Según la Guía Didáctica para el Buen Uso de la Energía realizada por la UPME y la Universidad Nacional De Colombia, “el uso racional de la energía significa aprovechar al máximo la energía, sin sacrificio de la calidad de vida que nos brindan los servicios que recibimos”[2] y según la Ley 697 de 2001 define el uso racional y eficiente de la energía como un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional. El uso racional y eficiente de la energía ha tenido un progreso lento de adopción en la conciencia individual en países como Colombia, pero a medida que se emiten leyes y decretos que promueven éste concepto, y de la voluntad socio-ambiental de gran

parte del sector privado para aplicarlo e implementarlo, sus ventajas para la comunidad y el medio ambiente son más visibles, siendo la mejor carta de presentación para continuar con las inversiones intelectuales y económicas en dicho campo. [12]

Es por ello que se considera a las fuentes de energía renovables y tecnologías limpias, como fundamentales en el desarrollo sostenible de naciones. En Colombia, la gran diversidad de recursos energéticos, su posición geográfica y la variedad de climas garantizan la disponibilidad de energía para suplir la demanda interna, razón por la cual se tiene el Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de Energía PROURE, el cual se orienta fundamentalmente en la disminución de la intensidad energética y de los consumos indebidos (Iluminación y climatización cuando no hay individuos en determinado espacio, grifos de agua abiertos durante largos periodos, etc), alcanzando que los sectores de consumo mejoren en la eficiencia energética y se continúen promoviendo las fuentes no convencionales de energía [13].

El sector energético a nivel mundial ha ido implementando políticas de uso racional de la energía eléctrica debido al creciente consumo de energía producto del aumento acelerado de la población, generando saturaciones en la infraestructura eléctrica existente y en ocasiones desabastecimiento del fluido eléctrico, lo cual ha sido solucionado mediante la construcción de nuevas redes sin tratar de atacar el problema con el control adecuado de los consumos energéticos.

Según estimaciones de la Agencia Internacional de la Energía, al hacer un uso racional de la energía tanto a nivel domiciliario como a nivel industrial se estaría ahorrando cerca del 15% al 20% en el consumo, mejorando la cargabilidad de la infraestructura existente y disminuyendo el uso exagerado de los recursos no renovables utilizados en la generación de electricidad.

4. GUÍA DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE – RESOLUCIÓN 0549 DE 2015

Como se ha descrito, Colombia apuesta al desarrollo sostenible y a edificaciones verdes que contribuyan a mejorar la calidad del medio ambiente y a mantener las condiciones de confort en la mayor parte de su población.

En el periodo comprendido entre los años 2010 y 2015 el Ministerio de Minas y Energía emite un informe del Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y Fuentes No Convencionales PROURE[13], pero solo hasta el 10 de Julio de 2015 se establecen mediante la Resolución 0549, los porcentajes mínimos de ahorro de agua y energía en las nuevas construcciones, a partir de lineamientos de construcción sostenible mediante una guía anexa al decreto.

La aplicación de esta resolución ha sido de manera gradual, tal como se presenta en la figura 5; de manera que durante el primer año de expedición se exigió para los municipios con más de 1.200.000 habitantes (Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla) con los niveles de ahorro de la Tabla 1. A mediados de 2017, se exigirá su cumplimiento en todos los municipios con los porcentajes de ahorro mostrados en la tabla 2.

Figura 5 Gradualidad de aplicación de las medidas de la resolución.



Fuente: Adaptado de: Aplicación de la resolución de construcción sostenible, CAMACOL, 2016

Tabla 1. Porcentajes de ahorro de energía durante el primer año de la resolución.

Porcentajes de ahorro durante el primer año [%]				
% DE AHORRO CON RESPECTO A LA LINEA BASE	FRÍO	TEMPLADO	CÁLIDO SECO	CÁLIDO HÚMEDO
Hoteles	15	15	15	15
Hospitales	15	15	15	15
Oficinas	15	15	15	15
Centros Comerciales	15	15	15	15
Educativos	15	15	15	15
Vivienda no VIS	10	10	10	10
Vivienda VIS	10	10	10	10
Vivienda VIP	10	10	10	10

Fuente: Adaptado de: Resolución 0549 de 2015, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.

Tabla 2. Porcentajes de ahorro de energía durante el segundo año de la resolución.

Porcentajes de ahorro durante el segundo año [%]				
% DE AHORRO CON RESPECTO A LA LINEA BASE	FRÍO	TEMPLADO	CÁLIDO SECO	CÁLIDO HÚMEDO
Hoteles	20	35	25	45
Hospitales	35	25	35	30
Oficinas	30	30	40	30
Centros Comerciales	25	40	35	30
Educativos	45	40	40	35
Vivienda no VIS	25	25	25	45
Vivienda VIS	20	15	20	20

Fuente: Adaptado de: Resolución 0549 de 2015, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.

La tabla 3 relaciona los tipos de construcciones que se consideran en la resolución.

Tabla 3. Clasificación del tipo de edificación contempladas en la resolución.

Tipo de edificación	Escala
Vivienda de Interés Social (VIS), Vivienda no VIS, Vivienda de Interés Prioritario (VIP)	Todas
Centros Comerciales	Área total mayor a 6.000 m ² . Para el cálculo no se incluyen estacionamientos.
Oficinas	Área superior a 1.500 m ² . Para el cálculo no se incluyen las zonas destinadas a estacionamientos.
Hoteles	Más de 50 habitaciones
Educativos	Educación superior y centros de investigación, educación preescolar, básica, media, centros tecnológicos, educación no formal. Más de 1.500 alumnos.
Hospitales	Hospitales, clínicas, empresas sociales e instituciones privadas con más de 5.000 m ²

Fuente: Adaptado de: Resolución 0549 de 2015, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio

4.1 GUÍA DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

De acuerdo al Anexo I de la Resolución 0549, el consumo de agua y energía en las edificaciones está condicionado por el diseño arquitectónico y constructivo del inmueble, al igual que los patrones de comportamiento de los usuarios.

La Guía de Construcción Sostenible tiene como objetivo ofrecer una herramienta a diseñadores y constructores en la selección de medidas para reducir el consumo de agua y energía incidiendo en el diseño de la edificación, de acuerdo a las condiciones climáticas del municipio y al tipo de construcción donde se ejecutará el proyecto. En la guía se han incluido solamente aquellos aspectos que:

- Tienen el mayor impacto ambiental.
- Son fáciles de implementar.
- Son completamente medibles sin ambigüedad.

Teniendo en cuenta que el clima es el factor externo que más influye en el gasto de energía de una edificación según la guía de construcción sostenible, deben establecerse condiciones para el diseño con el fin de evitar impactos negativos en el confort térmico, de acuerdo a las zonas climáticas definidas en la misma para cada municipio según su temperatura y humedad relativa, como se muestra a continuación.

4.1.1 Clasificación climática: A continuación se muestran las zonas climáticas definidas en la guía anexa a la Resolución 0549:

- **Clima frío:** bajas temperaturas y variaciones considerables entre el día y la noche, donde el principal problema es la pérdida excesiva de calor la mayor parte del año. Ciudad: Bogotá.
- **Templado:** temperaturas moderadas tanto en el día como en la noche, algún exceso de calor se presenta durante los periodos de mayor radiación. Ciudad: Medellín.

- Cálido seco (incluyendo semi-húmedo): el mayor problema es el exceso de calor pero el aire es más seco. Hay normalmente una larga variación de temperatura diurna (día-noche), en esta clasificación climática se ha incluido la categoría de semi-húmedo. La humedad relativa para estos municipios es menor al 75%. Ciudad: Cali.
- Cálido húmedo, donde el exceso de calor no es tan grande como en las áreas cálidas secas pero se agrava por la alta humedad. La variación de temperatura diurna es pequeña. Humedad relativa mayor al 75%. Ciudad: Barranquilla.

Las principales variables que definen el clima se resumen a continuación (Tabla 4), indicando la ciudad más representativa de su clasificación. [14].

Tabla 4. Tipos de clima según la Resolución 0549 de 2015.

Tipo de clima	Temperatura (°C)	Altitud (msnm)	Ciudad
Frío	(12 - 18)	2000m-2999m	Bogotá
Templado	(18 - 24)	1000m-1999m	Medellín
Cálido seco	> 24: HR<75%	<1000m	Cali
Cálido húmedo	> 24: HR>75%		Barranquilla

Fuente: Adaptado de: Resolución 0549 de 2015, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio

4.1.1.1 Línea base de consumo: La línea base corresponde a la definición del consumo promedio de agua y energía según el tipo de edificio y la zona climática. En la elaboración de la línea base que se muestra en la guía de construcción sostenible, se tuvieron en cuenta los sistemas constructivos más utilizados y los perfiles de uso (horario, ocupación, sistema de iluminación, sistema de aire acondicionado, etc.) característicos según el tipo de edificación. Este consumo es medido en kWh/m²-año (tabla 5).

Los valores presentados en la Tabla 5 son la única forma de medir el ahorro del consumo propuesto en la Resolución 0549. Cabe resaltar que estos datos

promedios se obtuvieron de extensos estudios realizados por diferentes entidades (Corporación para la Energía y el Medio Ambiente, CORPOEMA, Cámara Colombiana de la Construcción, CAMACOL, DANE y compañías de servicios públicos).

Tabla 5. Línea base de consumo de energía.

Línea base de consumo de energía [kWh/m²-año]				
Tipo de edificación	FRÍO	TEMPLADO	CÁLIDO SECO	CÁLIDO HÚMEDO
Hoteles	96.1	151.3	132.5	217.8
Hospitales	249.6	108.3	344.1	344.1
Oficinas	81.2	132.3	318.2	221.3
Centros Comerciales	403.8	187.8	187.8	231.5
Educativos	40.0	44.0	72.0	29.8
Vivienda no VIS	46.5	48.3	36.9	50.2
Vivienda VIS	44.6	44.0	34.6	49.3
Vivienda VIP	48.1	53.3	44.9	50.6

Fuente: Adaptado de: Aplicación de la resolución de construcción sostenible, CAMACOL, 2016

Con la información recopilada, el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio estableció la línea base y construyó un modelo virtual para identificar con un análisis de sensibilidad, el potencial de ahorro de agua y energía de diferentes medidas. A estas medidas les aplicó un análisis de costos, con el fin de evaluar el impacto de la aplicación de los nuevos criterios sobre el valor de la construcción. Los costos y términos manejados en esta sección son [14]:

- Costo total de la edificación: la guía de construcción sostenible muestra un conjunto estándar de especificaciones para cada tipo de edificación en distintas ciudades, basado en los estudios compilados por CORPOEMA, para luego presentar el costo de cada uno de los edificios tipo de la línea base.
- Costo de cada medida de la línea base: es el costo aplicado a cada medida de la línea base, luego de conocer el costo total del edificio tipo.

- Costo de medida de caso mejorado: es el costo de la implementación de cada medida de eficiencia definida mediante un análisis de sensibilidad en un edificio, luego de conocer el costo de cada medida de la línea base.
- Diferencias de costo: En la mayoría de los casos, el caso mejorado costó más que el caso base según la guía de construcción sostenible. Esta diferencia se presenta como un porcentaje del costo total de construcción.
- Ahorros de consumo energía/agua: Esta diferencia en consumo representa el ahorro de agua y energía. Estos datos al multiplicarse con las tarifas de energía/agua en diversas ciudades, constituye el ahorro en costos debido a la implementación de cada medida.
- Cálculos de retorno: El costo extra de inversión dividido por el ahorro en costos, arroja el retorno para cada medida.

Con el análisis de sensibilidad y de costos, el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, definió una matriz de implementación (Tabla 6) para cada medida, teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Altamente recomendable: Estas son medidas que se incluyen en la guía de construcción sostenible y que tienen un efecto mínimo en los costos de construcción. Su potencial en ahorro de agua o energía es más del 5% mientras que el impacto en el costo es menor al 1% del valor total de la edificación, con una recuperación de la inversión en menos de 3 años [14]. Esto significa que las medidas proveerán máximos ahorros con mínimos impactos en el costo.
- Moderadamente recomendable: Muchas de estas medidas son más costosas de lo que pueden pagar muchos de los dueños de las edificaciones. El potencial de ahorro de recursos está entre el 3% y el 5% con un impacto en el costo entre el 1% y el 5% y una recuperación de la inversión entre 3 y 5 años [14].
- Poco / No recomendable: Estas son medidas que no tienen un gran impacto en el ahorro de energía/agua y fueron excluidas del alcance de la guía. El

potencial de ahorro de recursos es menor al 3% con un impacto en el costo mayor al 5% y una recuperación de la inversión en un periodo mayor a 5 años [14].

Adicionalmente en la guía de construcción sostenible se consideraron factores como disponibilidad tecnológica, factibilidad de regulación y verificación de las medidas a implementar en el edificio. [14] [15]

En el Anexo I de la Resolución 0549 se pueden encontrar todas las matrices de implementación para cada tipo de construcción, para los cuatro climas definidos y para cada una de las posibles medidas a ejecutar.

Con base en los resultados obtenidos de la matriz de implementación, la Resolución 0549 definió el porcentaje mínimo de ahorro en agua y energía que se debe obtener en las edificaciones según el uso y el clima del municipio donde se ubican (tabla 1 y tabla 2).

Tabla 6. Matriz de implementación de las medidas.

Aplicación	Altamente Recomendable	Moderadamente Recomendable	Poco / no recomendable
Potencial de ahorro de recursos	> 5%	> 3% y < 5%	< 3%
Impacto en el costo	< 1%	> 1% y < 5%	> 5%
Periodo de retorno	< 3 años	> 3 años	> 5 años
Disponibilidad	Alta	Moderada / baja	Baja

Fuente: Adaptado de: [14]

Para lograr el cumplimiento de los porcentajes de ahorro requerido tendrán que aplicarse la totalidad de medidas que son señaladas a continuación. La tabla 7, la tabla 8, la tabla 9 y la tabla 10

Tabla 10 muestran las medidas a implementar en el primer año. Igualmente las medidas para el segundo año se pueden encontrar en el Anexo I de la Resolución 0549.

Tabla 7. Medidas para el ahorro de energía en clima frío. Primer año.

FRÍO	Hotel	Oficina	Centro comercial	Hospital	Educativo	Vivienda no VIS	Vivienda VIS/VIP
Protección solar	x			x	x		
Iluminación de energía eficiente	x	x	x	x	x	x	x
Economizadores de aire	x	x					
Coefficiente de desempeño (COP)			x				
Controles: sensores de ocupación					x	x	
Corrección de factor de potencia		x	x	x		x	x
Agua caliente solar	x			x		x	

Fuente: Adaptado de: [14]

Tabla 8. Medidas para el ahorro de energía en clima templado. Primer año.

TEMPLADO	Hotel	Oficina	Centro comercial	Hospital	Educativo	Vivienda no VIS	Vivienda VIS/VIP
Protección solar	x	x		x	x		
Iluminación de energía eficiente	x	x	x	x	x	x	x
Economizadores de aire	x		x				
Coefficiente de desempeño (COP)		x	x	x	x		

TEMPLADO	Hotel	Oficina	Centro comercial	Hospital	Educativo	Vivienda no VIS	Vivienda VIS/VIP
Controles: sensores de ocupación						x	
Corrección de factor de potencia						x	x
Agua caliente solar	x			x		x	

Fuente: Adaptado de: [14]

Tabla 9 Medidas para el ahorro de energía en clima cálido seco. Primer año.

CÁLIDO SECO	Hotel	Oficina	Centro comercial	Hospital	Educativo	Vivienda no VIS	Vivienda VIS/VIP
Protección solar	x	x		x	x		x
Iluminación de energía eficiente	x	x	x	x	x	x	x
Coeficiente de desempeño (COP)	x	x	x	x			
Controles: sensores de ocupación					x	x	
Corrección de factor de potencia						x	
Agua caliente solar	x			x		x	

Fuente: Adaptado de: [14]

Tabla 10. Medidas para el ahorro de energía en clima cálido húmedo. Primer año.

CÁLIDO HÚMEDO	Hotel	Oficina	Centro comercial	Hospital	Educativo	Vivienda no VIS	Vivienda VIS/VIP
Protección solar	x	x		x	x		x
Iluminación de energía eficiente	x	x	x	x	x	x	x
Coeficiente de desempeño (COP)	x	x	x	x			
Controles: sensores de ocupación				x	x	x	
Corrección de factor de potencia				x		x	
Agua caliente solar	x			x		x	

Fuente: Adaptado de: [14]

4.2 MEDIDAS DE AHORRO DE ENERGÍA

Son métodos o estrategias que se pueden llevar a cabo mientras se diseña y construye el edificio, con el fin de optimizar el desempeño del mismo. Estas estrategias también se pueden implementar a la hora de escoger e instalar los equipos que serán utilizados para el confort de los habitantes. Por lo tanto se pueden clasificar en medidas pasivas y activas.

4.2.1 Medidas de ahorro pasivas: Las medidas de ahorro de energía pasivas son aquellas que se incorporan en el diseño arquitectónico de las edificaciones y propenden por el aprovechamiento de las condiciones ambientales del entorno,

maximizando las fuentes de control térmico, ventilación y reducción energética naturales para crear condiciones de confort para sus ocupantes. Éstas no involucran sistemas mecánicos o eléctricos.

Los aspectos pasivos están relacionados principalmente con la envolvente del edificio que consiste en la cubierta, las paredes, las ventanas y otros componentes que crean la capa exterior de la edificación. Una edificación correctamente diseñada tendrá una envolvente que mejora el confort de sus ocupantes con poca o ninguna dependencia en medios artificiales de enfriamiento, calefacción o iluminación.

La forma de la edificación y la construcción inciden bastante en cuanto del clima y las cargas internas. La cantidad de radiación solar transmitida a través de la fachada de la edificación es una función de la radiación disponible, del área expuesta y de la orientación que ésta tenga.

Un ejemplo de esto es una edificación localizada en clima cálido, el cual experimenta una gran carga del sol. Si está diseñado y orientado para reducir el área expuesta al sol y la ventana es sombreada, mucha de esta carga solar puede ser reducida para evitar un aumento en las cargas de enfriamiento. [14].

Las estrategias que contempla la Resolución 0549 se dividen en:

- Iluminación: Luz de día, reduce el consumo de energía debido a la iluminación. Si se usa bien también puede reducir la carga de enfriamiento de la edificación.
- Envolvente: Los diseños deben apuntar a aumentar la resistencia del envolvente a las condiciones externas (temperatura y humedad). Esto se puede lograr balanceando las áreas opacas y vidriadas, aumentando los niveles de aislamiento, reduciendo el área de fachada e infiltración, aumentando la masa térmica y el control solar al crear zonas de absorción.
- Ventilación: Esto incluye ventilación cruzada para enfriamiento pasivo.

Es claro que cada clima tiene condiciones diferentes, por tanto los objetivos de ahorro en cada sitio serán distintos. La Tabla 11 muestra los objetivos de diseño por clima.

Tabla 11. Objetivos de las medidas por clima.

Tipo de clima	OBJETIVO
Frío	<ul style="list-style-type: none"> • Maximizar los efectos de calentamiento de la radiación solar, ej. Orientación solar para calentamiento; • Reducir el impacto del viento imperante; y reducir los volúmenes de orientación este-oeste para aumentar la radiación solar.
Templado	<ul style="list-style-type: none"> • Maximizar los efectos de calentamiento del sol en las áreas de vivienda principales; • Maximizar la sombra en las alcobas y las zonas de cocina; y • Controlar el impacto del viento para permitir la circulación del aire en los periodos calientes del día.
Cálido seco	<ul style="list-style-type: none"> • El edificio debe volverse un buen disipador de calor • Maximizar la sombra
Cálido húmedo	<ul style="list-style-type: none"> • Maximizar la sombra, ej. Reducir fachada en orientación oeste • Aumentar el flujo del viento usando ventilación amontonada y cruzada, • Estrategias de zonificación, ej. Ubicación de las habitaciones según el viento.

Fuente: Adaptado de: [14].

4.2.2 Relación ventana-pared: Esta es la relación del área de ventanas u otras áreas de vidrios con el área bruta de pared exterior llamada relación ventana/pared (RVP), esto se muestra en la Figura 6.

Las ventanas generalmente transmiten calor hacia dentro del edificio a una tasa mayor que las paredes. Por tanto, un edificio con RVP mayor ganará más calor que un edificio con un RVP menor. El calor fluye a través de un vidrio transparente 10 veces más rápido de lo que lo hace a través de un muro bien aislado. Mientras las áreas vidriadas son deseables para admitir la radiación solar en climas fríos

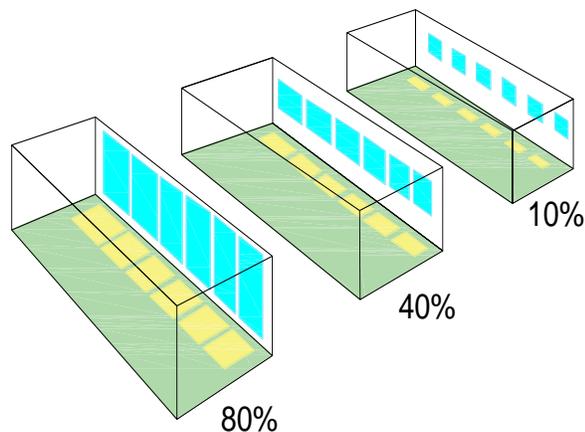
durante el día, las ventanas en climas cálidos pueden aumentar significativamente las cargas de enfriamiento de los edificios.

En promedio, la proporción de ventana a pared no debe exceder el 40% [15]. Si RVP es mayor a 40% entonces otras medidas, como el sombreado o el coeficiente de ganancia de calor solar (SHGC) del vidrio deben ser consideradas para compensar la pérdida de energía al aumentar el RVP [14]. Este cálculo debe tomarse para cada elevación desde el exterior de la edificación. El área vidriada se calcula incluyendo parteluces y marcos, lo cual se relaciona en la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{área de vidriado}}{\text{área bruta de pared exterior}} * 100 = RVP(\%) \quad \text{Ec. 1}$$

Otro factor a tener en cuenta es que la cantidad de luz que llega al interior de una habitación no está solamente relacionada con el tamaño de la ventana (RVP), sino también con la distancia desde la ventana, su posición sobre el suelo, la efectividad de las superficies de la habitación y la cantidad de obstrucción que ésta representa [14].

Figura 6. Ilustración de la relación Ventana-Pared.



Fuente: Adaptado de: [15]

4.2.3 Elementos de protección solar y vidrios de control solar: El cumplimiento de una de estas dos estrategias es suficiente para brindar protección solar al edificio y evitar sobrecalentamientos.

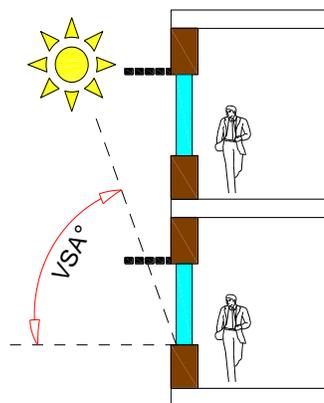
ELEMENTOS DE PROTECCIÓN SOLAR

El control solar está diseñado para bloquear la radiación solar cuando es necesario (exceso de periodo de calor). Las herramientas más efectivas para controlar la penetración del sol son elementos de sombreado externos. Tres tipos básicos de elementos de sombreado se describen a continuación:

PROTECCIÓN HORIZONTAL

Se caracterizan por un ángulo de sombra vertical (VSA) (Figura 7). Este ángulo se requiere para diseñar una sombra horizontal para una ventana. Los sistemas de sombreado no deben exceder los 70 grados de VSA a menos de que sean usados en conjunto con buenos niveles de coeficiente de ganancias térmicas solares (SHGC). Son muy efectivos debido a la gran altura del sol en la latitud en que se encuentra Colombia.

Figura 7. Ángulo de sombra vertical.



Fuente: Adaptado de: [15]

En los climas tropicales donde la ganancia de calor en el edificio se vuelve una desventaja, las ventanas con sombra ayudan a reducir la ganancia de calor hacia el edificio. Los dispositivos de sombra horizontal (también llamados aleros, Figura 8) son usados arriba de los vanos de las ventanas protegiéndolas de la radiación solar directa.

Figura 8. Protección horizontal o aleros.

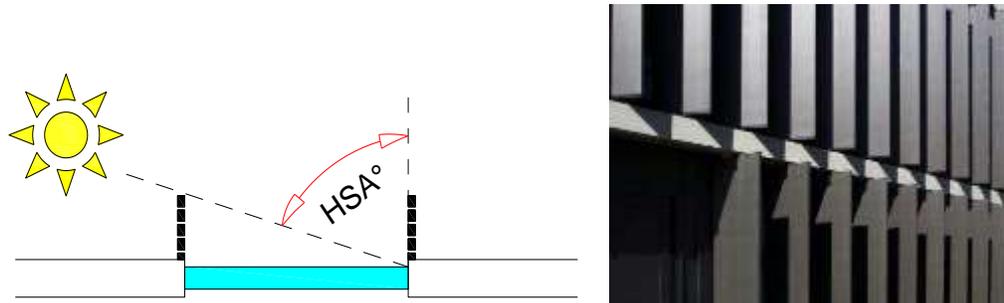


Fuente: Adaptado de: [15]

PROTECCIÓN VERTICAL

Están caracterizados por ángulos de sombra horizontal (HAS, figura 9), también son llamados aletas y son más efectivos cuando el sol está bajo y orientado hacia la dirección de la ventana; por ejemplo temprano en la mañana o al finalizar la tarde. Los sistemas de sombreado no deben exceder los 70 grados de HSA a menos de que sean usados en conjunto con buenos niveles de coeficiente de ganancias térmicas solares (SHGC).

Figura 9. Ángulo de sombra horizontal (HSA, Izquierda), Aletas en una construcción (derecha)



Fuente: Adaptado de: [15]

VIDRIOS DE PROTECCIÓN SOLAR

Los vidrios de protección solar se caracterizan por sus propiedades físicas que permiten reflejar parte de la radiación solar incidente. El coeficiente de ganancia de calor solar (SHGC por sus siglas en inglés) es una fracción del incidente de radiación solar (para todo el espectro) que pasa a través del conjunto completo de una ventana, incluyendo el marco en un ángulo específico. (Rango 0-0.85).

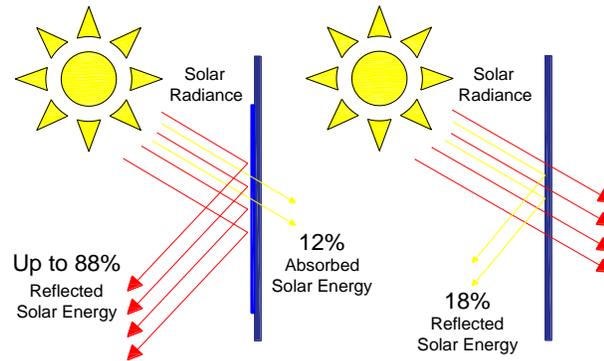
Un SHGC más alto es preferible en la concentración de calor solar (climas fríos) para capturar el máximo de sol, mientras que en una aplicación de enfriamiento (climas cálidos) un bajo SHGC reduce las ganancias no deseables de calor solar. El resultado del análisis de sensibilidad hecho en la Resolución 0549 muestra que reduciendo el SHGC de un vidrio a 0,40 se obtiene un potencial de ahorro energético entre 4% y 9% dependiendo del clima y del tipo de edificación.

La Figura 10 indica cómo actúa el vidrio solar. Un vidrio convencional tiene SHGC de 0.78, se recomienda que se usen vidrios de máximo 0.6 SHGC.

Se considera que el potencial de reducción para las medidas anteriores, que buscan reducir las cargas térmicas internas (para zonas cálidas) es alto (entre un

20% y un 50 % del consumo por aire acondicionado), dependiendo del número y tipo de equipos sustituidos y de las protecciones solares instaladas. [16]

Figura 10. Ilustración de cómo actúa el vidrio solar.

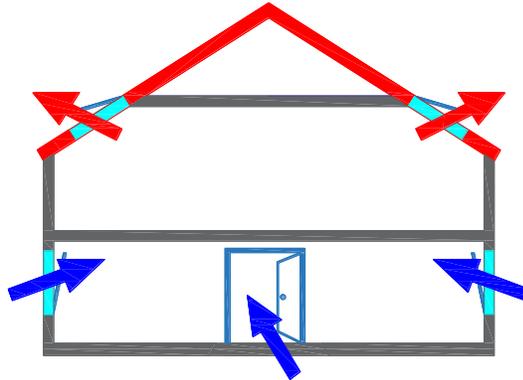


Fuente: Adaptado de: <http://www.undercoveroutdoors.com>

VENTILACIÓN NATURAL

La ventilación natural es el proceso de suministrar y extraer el aire de un espacio interior sin usar sistemas mecánicos, figura 11. Se aplica en climas fríos y templados, cuando la temperatura del aire es inferior a la temperatura de confort, permitiendo realizar el enfriamiento requerido. Una estrategia de ventilación natural correctamente diseñada permite mejorar el confort de los ocupantes proporcionándoles acceso a aire fresco y reduciendo la temperatura. Para poder diseñar una edificación de manera sostenible, debe considerarse la orientación solar, la dirección del viento, el posible sombreado y la disponibilidad completa de la luz día, basándola en un contexto específico de micro-sitio.

Figura 11. Ilustración de la ventilación natural.



Fuente: Adaptado de: [15]

4.2.4 Medidas activas de ahorro de energía: Las medidas activas comprenden el uso de sistemas mecánicos y/o eléctricos para crear condiciones de confort al interior de las edificaciones, tales como calderas y aire acondicionado, ventilación mecánica, iluminación eléctrica, entre otras.

LUZ DÍA Y CONTROL DE LUZ DÍA: Contar con el uso de sensores fotoeléctricos que detectan la cantidad de luz al interior de la edificación, los cuales manejan el encendido y apagado de la luz artificial.

ILUMINACIÓN EFICIENTE: Iluminación artificial con mayor potencia de luz, lo cual disminuye el número de lámparas instaladas en una misma área. El uso de iluminación eficiente garantiza ahorros de entre el 5% y el 25% dependiendo el tipo de edificación según la guía de construcción sostenible. Dentro de las más usadas se encuentran las lámparas compactas fluorescentes, las lámparas tubulares T5, T8 y las lámparas LED, las cuales aparecen en la

Figura 12 [17].

Figura 12. Lámparas T5 o T8 y LED.



Fuente: Adaptado de: <https://pixabay.com/es/>

ECONOMIZADORES DE AIRE: Equipos que se instalan en los aires acondicionados, los cuales permiten el ingreso del aire fresco al sistema de enfriamiento, siempre y cuando el aire del ambiente esté a una temperatura menor o igual a la temperatura de confort. Su uso de manera apropiada representa un ahorro del 6% respecto a un sistema tradicional. Una opción relacionada con el diseño del equipo de aire acondicionado también comprende:

- Dimensionar adecuadamente el equipo: Un equipo sobredimensionado con respecto al espacio por acondicionar requiere una inversión inicial mayor, demandará mayor potencia eléctrica y por ende, un elevado consumo de energía durante su operación.
- Seleccionar un modelo de bajo consumo (clase energética A) y con un elevado índice de eficiencia energética (EER superior a 12 Btu/h*W). [16]

COEFICIENTE DE DESEMPEÑO (COP): Es la proporción de la tasa de remoción de calor a la tasa de entrada de energía, en unidades consistentes. Hacer uso de equipos de enfriamiento de aire eficientes es indispensable para el ahorro energético en edificaciones climatizadas, ya que cerca del 50% del consumo de electricidad en ellas se debe al uso del aire acondicionado. El COP de los enfriadores varía basado en el tipo de sistema de aire acondicionado en un rango de 3 a 6. Aumentar el COP de 3.0 a 4.5 (oficina de caso base) da un ahorro de

energía de 15%. Asimismo, aumentar el COP de 3.0 a 3.5 (edificio de vivienda de caso base) da un ahorro de energía del 7% de la totalidad del consumo del edificio de acuerdo a la guía de construcción sostenible.

VARIABLES DE VELOCIDAD – TORRES DE ENFRIAMIENTO: Los variadores de velocidad son elementos que regulan la rotación de las piezas impulsadas por un motor, haciendo que se aplique el voltaje apropiado a la necesidad de movimiento. Estos se usan tanto en bombas de agua como en torres de enfriamiento, con una disminución estimada de entre el 1% y el 5% del consumo de energía de acuerdo a la guía de construcción sostenible.

UNIDADES DE RECUPERACIÓN DE CALOR: Las unidades de recuperación de calor usan un intercambiador de calor con contraflujo para extraer el calor del aire, y reutilizan esa energía para calentar o enfriar el aire fresco. Esto ayuda a incrementar la eficiencia energética del sistema de aire acondicionado. De acuerdo a simulaciones, las unidades de recuperación de calor pueden ahorrar de 1% a 8% de la carga total de energía.[14]

AGUA CALIENTE SOLAR: Los sistemas de agua caliente solar (SHW por sus siglas en inglés) están diseñados para entregar agua caliente la mayor parte del año usando ganancias solares. Instalar calentadores solares de agua puede reducir el consumo de energía entre el 5% y el 25% de acuerdo a la guía de construcción sostenible.

CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA: El factor de potencia se define como la relación de la potencia real que fluye al sistema con la potencia aparente en el circuito. Entre más alto el factor de potencia, mayor será la eficiencia energética del sistema. Se pueden instalar dentro del sistema eléctrico del edificio bancos de condensadores o filtros electrónicos para mejorar su eficiencia energética, buscando que éste sea mayor a 0.9 [18].

Para observar el porcentaje de ahorro por cada medida según el tipo de clima y edificación basta con remitirse al Anexo I de la Resolución 0549.

Teniendo en cuenta que el objetivo principal de este trabajo es realizar una comparación entre las estrategias propuestas en la Resolución 0549 de 2015 y el estándar LEED, para edificaciones comerciales de más de 6.000 m², a continuación, en la Tabla 12, se hace un resumen de las medidas recomendadas para este tipo de construcción por clima y su porcentaje de ahorro estimado en el estudio hecho por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.

Tabla 12. Estimaciones del porcentaje de ahorro por medida para una construcción comercial.

Medida recomendada	Tipo de Clima	Ahorro [%]	Impacto en el costo [%]	Tiempo de retorno [años]
Iluminación de energía eficiente	Frío	20,54	1,28	3
	Templado	10,87	1,87	4
	Cálido seco	18,18	0,77	2
	Cálido húmedo	15,71	2,66	6
Controles (ocupación, zonificación)	Frío	9,25	0,17	1
	Templado	5,07	0,18	2
	Cálido seco	7,36	0,17	1
	Cálido húmedo	5,93	0,17	1
Economizadores de aire	Frío	5,85	3,08	3
	Templado	5,19	0,94	7
	Cálido seco	0	0,64	N/A
	Cálido húmedo	0	0,66	N/A
Coeficiente de Desempeño (COP)	Frío	1,12	0,22	10
	Templado	1,68	0	0
	Cálido seco	2,28	0	N/A
	Cálido húmedo	3,07	0	N/A
Variadores de velocidad - torres de enfriamiento	Frío	1,17	0,17	1
	Templado	2,37	0,2	1
	Cálido seco	2,02	0,03	1

Medida recomendada	Tipo de Clima	Ahorro [%]	Impacto en el costo [%]	Tiempo de retorno [años]
	Cálido húmedo	0,82	0,04	1
Recuperación de calor del aire de retorno	Frío	0	0,32	N/A
	Templado	0	0,21	N/A
	Cálido seco	2,34	0,32	5
	Cálido húmedo	4,74	0,32	2
Variadores de velocidad - bombas	Frío	3,21	0,2	1
	Templado	4,8	0,02	1
	Cálido seco	1,29	0,3	1
	Cálido húmedo	0,49	0,04	3
Sub-medidores de electricidad	Frío	2	0,07	2
	Templado	2	0,08	2
	Cálido seco	2	0,08	2
	Cálido húmedo	0	0,06	1
Corrección de Factor de Potencia	Frío	9	0,65	3
	Templado	9	0,07	1
	Cálido seco	9	0,08	1
	Cálido húmedo	9	1,06	4

Fuente: Adaptado de: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2015). Anexo 1: Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones. Bogotá.

5. CERTIFICACIÓN LEED PARA NUEVAS CONSTRUCCIONES.

Actualmente existen múltiples organizaciones internacionales que proveen herramientas o estándares para la evaluación y certificación ambiental de proyectos de construcción, las cuales proporcionan un marco para evaluar el nivel de eficiencia de las edificaciones con base en parámetros adecuados en el uso de agua, energía, materiales, recursos, calidad ambiental, innovación y diseño, tanto en la etapa de planeación como en las fases de construcción, funcionamiento y mantenimiento de la edificación. Algunos de estos sellos son: *BREEAM*, es el primer estándar de evaluación ambiental para construcciones establecido en 1990 en Reino Unido [19], el cual aplica para Europa y parte del Golfo Pérsico; LEED, es estadounidense y tiene difusión en más de 150 países, incluido Colombia; GREEN STAR, está basado en los dos anteriores y aplica para Australia, Nueva Zelanda y Sudáfrica.

En este trabajo se pretende estudiar el estándar internacional LEED del USGBC para nuevas construcciones, con especial énfasis en el ahorro energético.

5.1 CERTIFICACIÓN LEED

LEED (*Leadership in Energy & Environmental Design*) es un sistema de certificación de edificios sostenibles, desarrollado por el Consejo de la Construcción Verde de Estados Unidos (*US Green Building Council*). Fue inicialmente implantado en el año 1998 y está diseñado para evaluar construcciones nuevas y existentes, tiene validez internacional y está organizado en cinco categorías: sitios sostenibles (SS), ahorro de agua (WE), energía y atmosfera (EA), materiales y recursos (MR) y calidad ambiental interior (IEQ).

Adicionalmente aplican dos categorías: innovación en diseño (ID) y prioridad regional (RP). El proceso de certificación requiere una inversión de tiempo y costos adicionales (inscripción, *commissioning*, modelamientos, diseños, etc.) [20].

El Programa LEED profundiza la transformación del mercado hacia mejores prácticas al fortalecer las capacidades técnicas de la industria, la oferta de educación en sostenibilidad y la utilización de esta herramienta de certificación en construcción sostenible. La herramienta de Certificación LEED® se ha posicionado como el sistema más importante en certificación sostenible en el mundo con más de 424 millones de metros cuadrados certificados, y más de 200.000 profesionales acreditados, en más de 155 países.[8]

Dentro del estándar de certificación LEED existen varios tipos de certificados para las diferentes clases de edificios:

BD+C; (LEED NC, LEED para Nuevas Construcciones): Está diseñado principalmente para nuevas construcciones comerciales, pero ha sido aplicado por los profesionales a otros tipos de edificios con usos diferentes a éste, como por ejemplo en el uso residencial de algunos rascacielos, edificios de oficinas, edificios gubernamentales, edificios institucionales (museos, iglesias), instalaciones de esparcimiento, plantas de fabricación y laboratorios, entre otros.

ID+C: Para certificar pequeños locales u oficinas que se encuentren dentro de edificaciones.

(LEED EB, LEED para Edificios Existentes), O+M: Este sistema tiene por objeto maximizar la eficiencia operativa y minimizar los impactos ambientales de un edificio. LEED para edificios existentes se ocupa de todo el edificio en términos de limpieza, mantenimiento, programas de reciclaje, sistemas y actualizaciones. Se puede aplicar tanto a los edificios existentes que buscan la certificación LEED por

primera vez y a proyectos previamente certificados bajo LEED para una nueva construcción o para certificar edificios viejos y/o en remodelación.[9]

LEED ND; LEED para Desarrollo de Barrios: Integra los principios de crecimiento inteligente, el urbanismo y el edificio verde en el primer sistema nacional de diseño del vecindario, que debe cumplir con los más altos estándares de respeto por el medio ambiente.

LEED for Homes; LEED para Viviendas: Este sistema promueve el diseño y construcción de alto rendimiento verde para viviendas. Una casa verde usa menos energía, agua y recursos naturales, generando menos residuos en el proceso. Asimismo son más saludables y confortables para los ocupantes, ya que los beneficios de una casa certificada LEED incluyen una reducción de las emisiones de gases de invernadero y una menor exposición a los hongos, moho y otras toxinas en su interior.

LEED SC; LEED para Colegios: Integra los principios de diseño inteligente que debe tener una institución de carácter educativo.

En la página web del USGBC se describe todo lo concerniente al concepto LEED en la que pueden verificarse cada una de las certificaciones y los requisitos que se deben cumplir para lograrlas, de acuerdo a las categorías que le apliquen al proyecto en cuestión. El cumplimiento de los requisitos proporciona una determinada cantidad de puntos que establecen si se certifica o no el edificio en estudio dentro del concepto LEED [21].

Las categorías que engloba la certificación LEED, con su puntuación correspondiente, se muestran en la Tabla 13.

De acuerdo a la puntuación que un edificio obtenga en su evaluación, este puede obtener un tipo específico de certificación LEED. La menor puntuación para certificar un edificio es de 40 puntos [22]. Todos los tipos de certificación y sus puntajes necesarios se muestran en la Figura 13.

En Colombia, el mercado de la construcción ha tenido un crecimiento promedio del 30% anual con más de 6.1 millones de metros cuadrados construidos con certificación LEED a diciembre de 2016, distribuidos en 337 proyectos, en 44 ciudades de 22 departamentos del país [8]. La figura 14 muestra la distribución y certificación completa de los proyectos LEED en Colombia.

Tabla 13. Categorías de la certificación LEED con sus puntuaciones.

Categoría	Puntuación
Procesos integrados (<i>Integrative Process, IP</i>)	1
Ubicación y transporte (<i>Location and Transportation, LT</i>)	16
Espacios sostenibles (<i>Sustainable Site, SS</i>)	11
Optimización del agua (<i>Water Efficiency, WE</i>)	10
Energía y ambiente (<i>Energy and Atmosphere, EA</i>)	33
Materiales y recursos (<i>Material And Resources, MR</i>)	13
Calidad ambiental interior (<i>Indoor Environmental Quality, IEQ</i>)	16
Innovación en el diseño (<i>Innovation Desing, ID</i>)	6
Prioridad regional (<i>Regional Priority, RP</i>)	4

Fuente: Adaptado de: [8]

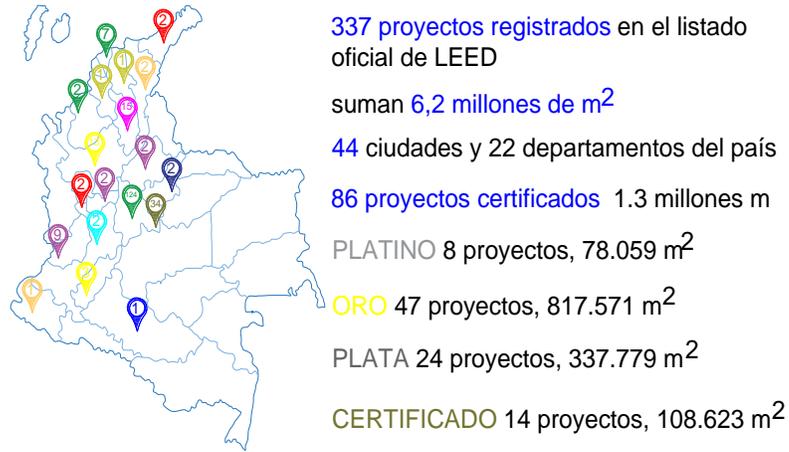
Figura 13. Tipos de certificación LEED.



Fuente: Adaptado de: [8]

Este trabajo pretende analizar los ahorros en materia energética a partir de la aplicación de estrategias LEED, por tanto es necesario hacer una revisión preliminar de la categoría Energía y Atmosfera para una nueva construcción. Esta categoría representa cerca del 35% de los puntos totales debido a los impactos ambientales potenciales y al beneficio para los humanos [20]. Es necesario entonces revisar los prerrequisitos y los créditos o consideraciones de esta categoría. Los principales aspectos están relacionados con: desempeño energético de la construcción, uso de energías renovables y climatización.

Figura 14. Proyectos LEED en Colombia.



Fuente: Adaptado de: [8]

5.2 ENERGÍA Y ATMÓSFERA (EA)

Esta categoría abarca el consumo energético ya que comprende la reducción del uso de energía, estrategias de diseño de ahorro (eficiencia de energía) y el uso de fuentes de energía renovables.

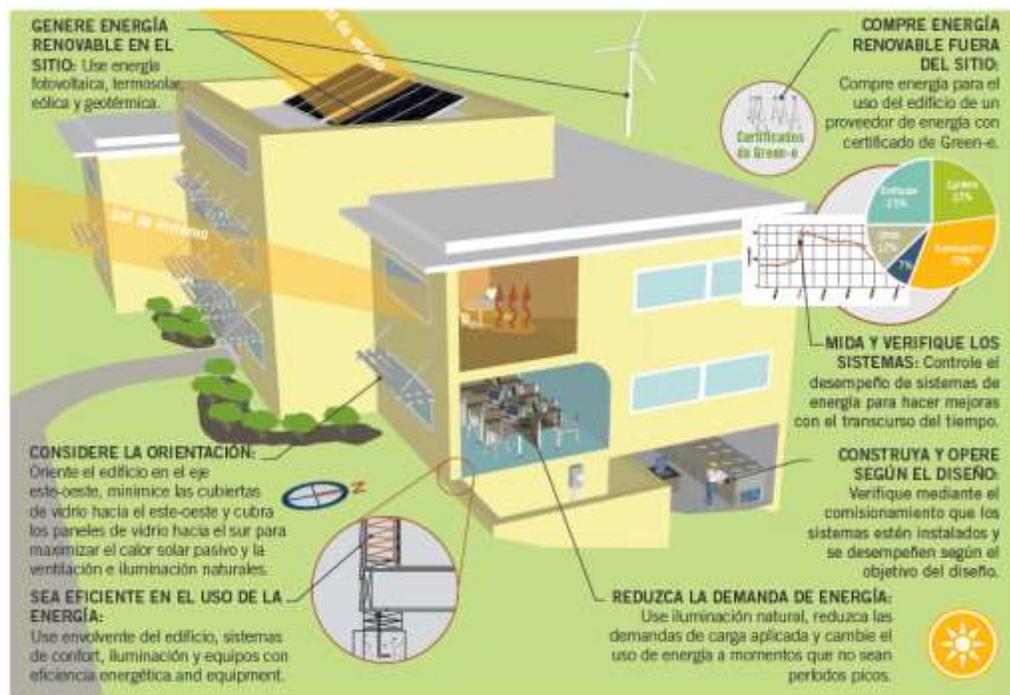
En muchos países la energía eléctrica proviene de fuentes no renovables (carbón, petróleo, gas) que generan gases de efecto invernadero durante los procesos de extracción y transformación. Los edificios diseñados y construidos bajo la certificación LEED® reducen los consumos de energía, es decir, entre mejor sea el desempeño energético de un edificio menores serán los gases de efecto invernadero emitidos a la atmósfera por parte de las fuentes de producción[23].

En esta categoría no sólo se busca la eficiencia energética del edificio, también se promueve el uso de refrigerantes ecológicos y la innovación en el uso de fuentes de energía limpias como estrategias que en conjunto reduzcan las emisiones de contaminantes al aire y a la capa de ozono [23].

La eficiencia energética de una construcción verde comienza con estrategias de diseño que reducen las necesidades globales de energía, tales como: la orientación del edificio, la selección de materiales de construcción de acuerdo a las condiciones ambientales, el aislamiento, etc. Hay otras medidas que también son aplicadas como la calefacción o refrigeración pasiva, la iluminación y ventilación natural, controles inteligentes y sistemas de aire acondicionado de alta eficiencia. Estas medidas se ejemplifican en la Figura 15.

Esta categoría da un total de 33 puntos posibles y cuenta con 4 prerequisites obligatorios y 7 créditos posibles (Tabla 14). Los prerequisites no aportan puntos para la certificación pero establecen las medidas necesarias para que un proyecto empiece su etapa de certificación, sin estos no sería posible iniciarla. La cantidad de puntos de cada crédito depende del impacto que este tiene sobre el medio ambiente y sobre el bienestar de los habitantes.

Figura 15. Estrategias de construcción sostenible.



Fuente: [24]

Tabla 14. Prerrequisitos y créditos de la categoría Energy and Atmosphere.

	Energy & Atmosphere	Possible points: 33
EAp1	Fundamental commissioning and verification	Requerido
EAp2	Minimum energy performance	Requerido
EAp3	Building-Level Energy Metering	Requerido
EAp4	Fundamental Refrigerant Management	Requerido
EAc1	Enhanced Commissioning	6
EAc2	Optimize Energy Performance	18
EAc3	Advanced Energy Metering	1
EAc4	Demand Response	2
EAc5	Renewable Energy Production	3
EAc6	Enhanced Refrigerant Management	1
EAc7	Green Power and Carbon Offsets	2

Fuente: Adaptado de [25]

A continuación se describen cada uno de los prerrequisitos y créditos.

5.2.1 Fundamental commissioning and verification / Comisionamiento y verificación fundamental (Prerrequisito 1, EAp1): Pretende asegurar que el proyecto cumpla con los requerimientos de los propietarios relacionados con la energía, el agua, la calidad ambiental interior y la durabilidad.

Este prerrequisito define el comisionamiento como un proceso enfocado a la calidad, para mejorar la entrega de un proyecto. Se enfoca en la documentación y verificación de que las instalaciones y sus sistemas estén bien planificados, diseñados, instalados y probados, de acuerdo al plan de mantenimiento y a los requerimientos del dueño del proyecto [26].

El prerrequisito también establece las obligaciones de la autoridad de control (comisionamiento), es decir, quien puede ejercer las verificaciones necesarias. Se especifica que para proyectos que excedan los 1860 m², esta autoridad no puede ser una persona empleada por la firma constructora o diseñadora ni un subcontratista de la firma constructora, y para proyectos con menos de 1860 m²,

este puede ser un miembro del equipo de diseño o construcción siempre y cuando no sea el responsable directo de las actividades de diseño o construcción.[27]

Por último se exige un requisito adicional para la preparación del plan de operaciones y mantenimiento que se debe establecer para el proyecto, el cual debe contemplar:

- Lista de operaciones del edificio.
- Horarios de ocupación.
- Horario de funcionamiento de los equipos.
- Niveles de iluminación del edificio.
- Puntos del sistema de aire acondicionado.
- Requisitos mínimos de aire exterior.
- Descripción de los sistemas y equipos mecánicos y eléctricos.
- Plan de mantenimiento preventivo.
- Un programa de verificación y control (comisionamiento) para el futuro.

5.2.2 Minimum energy performance / Mínima eficiencia energética

(Prerrequisito 2, EAp2): Su propósito es reducir los daños ambientales y económicos del uso excesivo de energía al alcanzar un nivel mínimo de eficiencia energética del edificio y sus sistemas. Lo anterior es llevado a cabo por un modelamiento de todo el edificio que demuestre una reducción energética determinada en comparación con la línea base del estándar de referencia del ASHRAE 90.1.

La exigencia de reducción mínima es de 5% para nuevas construcciones y 3% para renovaciones [23] debido a requerimientos del ASHRAE 90.1 2010. Es de anotar que antes de acceder al crédito por energías renovables, se debe cumplir el ahorro mínimo de este prerrequisito.

Una de las maneras que facilita su documentación es la plataforma *Energy Star*. En este portal se anexa el consumo de al menos un año de energía y gas del edificio y se agregan características relacionadas con el área, número de personas que lo habitan, equipos que posee, ubicación, horas de servicio, entre otros.

Energy Star se encarga de evaluar el desempeño energético del edificio y de compararlo con una base en edificios del mundo, entregando una calificación *Energy Star* que es compatible y aceptada por la certificación LEED®.[28]

5.2.3 Building-level energy metering / Medición de niveles de energía del edificio (Prerrequisito 3, EAp3): Con este prerrequisito se apoya la gestión de la energía y se identifican oportunidades de ahorro adicional mediante el seguimiento del uso energético en la edificación.

Para ello se requiere:

- Instalar un nuevo contador de energía o sub-medidores que puedan proporcionar datos del consumo total de energía del edificio (electricidad, gas natural, agua fría, vapor, fuel oil, propano, biomasa, etc.)
- Comprometerse a compartir con USGBC los datos de consumo de energía y la demanda eléctrica (si es medido) para un período de cinco años a partir de la fecha en que el proyecto acepta la certificación LEED. Como mínimo, el consumo de energía debe ser rastreado en intervalos de un mes.

Este compromiso se debe ejecutar por cinco años o hasta que el edificio cambie de propietario o arrendatario.

5.2.4 Fundamental refrigerant management / Gestión fundamental de refrigerantes (Prerrequisito 4, EAp4): El objetivo de este prerrequisito es no usar refrigerantes a base de clorofluorocarbono (CFC) en sistemas de aire acondicionado, ventilación o calefacción (HVAC), para reducir la destrucción de la

capa de ozono. Si el proyecto plantea la reutilización de un sistema acondicionado ya adquirido, debe tener un plan de eliminación de CFC antes de la culminación del proyecto.

Se exceptúan las pequeñas unidades de HVAC que contengan menos de 222 gramos de refrigerante, así como enfriadores de agua y otros equipos pequeños.

5.2.5 Enhanced commissioning / Comisionamiento avanzado (Crédito 1, EA_{c1}): Este crédito da un máximo de 6 puntos posibles. El propósito es fomentar aún más el diseño, la construcción y finalmente la operación de un proyecto que cumpla con los requisitos del propietario, relativos a energía, agua, calidad del ambiente interior y durabilidad. Está relacionado con el EA_{p1}.

Para cumplir este crédito se debe contar con un contrato para implementar las siguientes actividades del proceso de verificación y control (comisionamiento), además de las requeridas bajo el Prerrequisito 1, EA_{p1};

Autoridad de comisionamiento (CxA)

- La CxA debe tener una experiencia demostrable en procesos de comisionamiento de al menos dos proyectos de construcción con un alcance de trabajo similar. La experiencia debe extenderse desde la fase temprana de diseño hasta al menos 10 meses después de la ocupación.
- La CxA debe ser un empleado calificado del propietario, un consultor independiente o un subcontratista sin intereses que pertenezca al equipo de diseño.

Las opciones para obtener los puntos se describen a continuación:

Opción 1. Comisionamiento avanzado de sistemas (3-4 puntos)

Vía 1: Comisionamiento avanzado (3 puntos)

La autoridad de comisionamiento (CxA) debe realizar las siguientes actividades del proceso de verificación y control (CxP) en los sistemas y montajes mecánicos, eléctricos, de plomería y de energía renovable de acuerdo con las normas ASHRAE 0-2005 y ASHRAE 1.1–2007 para sistemas de HVAC&R, en lo relativo a energía, agua, calidad del ambiente interior y durabilidad. [23]

- Revisar las entregas de los contratistas.
- Verificar la inclusión de los requisitos de los manuales de los sistemas en los documentos de construcción.
- Verificar la inclusión de los requisitos de capacitación del operador y de los ocupantes en los documentos de construcción.
- Verificar las actualizaciones y la entrega de los manuales de los sistemas.
- Verificar la realización y eficiencia de la capacitación del operador y de los ocupantes.
- Revisar las operaciones del edificio 10 meses después de la finalización sustancial (pre-entrega de construcción).
- Desarrollar un plan de comisionamiento constante.

Vía 2: Comisionamiento avanzado y basado en el monitoreo (4 puntos)

Después de obtener créditos por la vía 1 se deben desarrollar procedimientos basados en el monitoreo e identificar puntos que deben ser medidos y analizados para evaluar el desempeño de los sistemas que consuman energía y agua. Los procedimientos y puntos de medición que deben incluirse son:

- Funciones y responsabilidades.
- Requisitos de medición (medidores, sistemas de medición y acceso a datos).
- Puntos de medición a monitorear, con una frecuencia y duración establecidas para determinar tendencias.

- Los límites de los valores aceptables de los puntos a monitorear (cuando sea pertinente se pueden usar algoritmos de predicción para comparar los valores ideales con los reales).
- Los elementos usados para evaluar el desempeño, incluyendo el conflicto entre sistemas, las operaciones de los componentes fuera de secuencia y los perfiles de consumo de energía y agua.
- Un plan de acción para identificar y corregir errores de operaciones.
- Capacitación para prevenir errores.
- La planificación de las reparaciones necesarias para mantener el desempeño.
- La frecuencia de los análisis durante el primer año de ocupación (al menos trimestrales).
- Actualizar el manual de los sistemas con todas las modificaciones o nuevos ajustes y argumentar las razones de todos los cambios con respecto al diseño original.

Los dos puntos restantes se pueden obtener mediante la verificación de la envolvente del edificio, llevando a cabo las actividades del proceso descrito en la opción 1 (CxP), evaluando sus características térmicas de acuerdo con la directriz ASHRAE 0–2005 y la directriz 3–2012 del *National Institute of Building Sciences (NIBS) Exterior Enclosure Technical Requirements for the Commissioning Process*, relacionado con la energía, el agua, la calidad del ambiente interior y su durabilidad.[23]

5.2.6 Optimize energy performance/ Optimizar el rendimiento energético (Crédito 2, EAc2): El propósito de este crédito es lograr el aumento del desempeño energético mucho más allá del estándar del prerrequisito, a fin de reducir los daños ambientales y económicos relacionados con el consumo excesivo de energía [23], analizando diferentes alternativas para lograr ahorros energéticos por medio de simulaciones.

Se debe documentar este proceso y comparar la opción de mayor beneficio seleccionada, con la línea base y dependiendo del ahorro que se alcance se obtendrá un mejor puntaje. LEED v4 propone un rango de 6% a 50% de reducción de energía con respecto a la línea base del ASRHAE 90.1 2010 obteniendo como máximo 18 puntos para el caso de nuevas construcciones.

El requisito más importante para este crédito es establecer un objetivo de desempeño energético durante la fase de diseño esquemático. Éste debe establecerse en kBtu por pie cuadrado al año o kWm²/año de consumo de energía primaria. Hay dos opciones para la certificación:

OPCIÓN 1: Simulación energética del edificio completo (1-18 puntos excepto en centros de educación y centros de salud, 1-16 puntos en centros de educación, 1-20 puntos en centros de salud).

En esta opción se analizan las medidas de eficiencia durante el proceso de diseño y se incluyen los resultados en la toma de decisiones sobre éste. Para esto se utiliza la simulación energética de oportunidades de eficiencia o los datos publicados de análisis en edificios similares, como los descritos en las *Advanced Energy Design Guides*.

De igual forma, se analizan medidas de eficiencia centrándose en la reducción de cargas y en estrategias relacionadas con el HVAC (se aceptan las medidas pasivas) adecuadas para las instalaciones, proyectando los potenciales ahorros de energía y las implicaciones económicas relacionadas con todos los sistemas afectados.

Deben seguirse los criterios del prerrequisito EAp2: desempeño energético mínimo (*EA prerequisite: minimum energy performance*) para demostrar el porcentaje de

mejora del índice propuesto del edificio en comparación con la línea base. Los puntos posibles de la opción 1 se asignan de acuerdo con la tabla 15.

Opción 2. Cumplimiento obligatorio: ASHRAE 50% *advanced energy design guide* (1-6 puntos)

Esta opción busca implementar y documentar el cumplimiento de las recomendaciones y estándares aplicables del capítulo 4, *design strategies and recommendations by climate zone*, de la publicación y zona climática adecuadas del ASHRAE 50% *advanced energy design guide*. Para proyectos fuera de Estados Unidos, deben consultarse los apéndices B y D de la norma ASHRAE/ASHRAE/IESNA 90.1-2010 para determinar la zona climática adecuada.

ASHRAE 50% *advanced energy design guide for small to medium office buildings*

- Envoltente del edificio, opaca: cubiertas, muros, pisos, losas, puertas y barreras de aire continuas (1 punto).
- Envoltente del edificio, vidrios: ventanaje vertical (1 punto).
- Iluminación interior, incluyendo iluminación natural y acabados interiores (1 punto).
- Iluminación exterior (1 punto).
- Cargas de tomas de corriente, incluyendo equipamiento y controles (1 punto).

ASHRAE 50% *advanced energy design guide for medium to large box retail buildings*

- Envoltente del edificio, opaca: cubiertas, muros, pisos, losas, puertas y vestíbulos (1 punto).
- Envoltente del edificio, vidrios: ventanaje - todas las orientaciones (1 punto).
- Iluminación interior, excluyendo la densidad de potencia de iluminación en la zona de ventas (1 punto).

- Iluminación interior adicional en la zona de ventas (1 punto).
- Iluminación exterior (1 punto).
- Cargas de tomas de corriente, incluyendo opciones y controles de equipamiento (1 punto).

ASHRAE 50% *advanced energy design guide for k–12 school buildings*

- Envoltente del edificio, opaca: techos, muros, pisos, losas y puertas (1 punto).
- Envoltente del edificio, vidrios: ventanaje vertical (1 punto).
- Iluminación interior, incluyendo iluminación natural y acabados interiores (1 punto).
- Iluminación exterior (1 punto).
- Cargas de tomas de corriente, incluyendo opciones y controles de equipamiento y equipamiento de cocina (1 punto).

ASHRAE 50% *advanced energy design guide for large hospitals*

- Envoltente del edificio, opaca: techos, muros, pisos, losas, puertas, vestíbulos y barreras de aire continuas (1 punto).
- Envoltente del edificio, vidrios: ventanaje vertical (1 punto).
- Iluminación interior, incluyendo iluminación natural (con y sin forma) y acabados interiores (1 punto).

Tabla 15. Puntos por porcentaje de mejora en el desempeño energético.

Nueva construcción (<i>new construction</i>)	Renovaciones importantes (<i>major renovations</i>)	Núcleo y envoltente (<i>core and shell</i>)	Puntos (excepto en centros de educación y centros de salud)	Puntos en centros de salud	Puntos en centros de educación
6%	4%	3%	1	3	1
8%	6%	5%	2	4	2
10%	8%	7%	3	5	3

Nueva construcción (<i>new construction</i>)	Renovaciones importantes (<i>major renovations</i>)	Núcleo y envolvente (<i>core and shell</i>)	Puntos (excepto en centros de educación y centros de salud)	Puntos en centros de salud	Puntos en centros de educación
12%	10%	9%	4	6	4
14%	12%	11%	5	7	5
16%	14%	13%	6	8	6
18%	16%	15%	7	9	7
20%	18%	17%	8	10	8
22%	20%	19%	9	11	9
24%	22%	21%	10	12	10
26%	24%	23%	11	13	11
29%	27%	26%	12	14	12
32%	30%	29%	13	15	13
35%	33%	32%	14	16	14
38%	36%	35%	15	17	15
42%	40%	39%	16	18	16
46%	44%	43%	17	19	
50%	48%	47%	18	20	

Fuente: Adaptado de: [27].

5.2.7 Advanced energy metering / Medición de energía avanzada (Crédito 3,

EAc3): Este crédito proporciona un (1) punto y su propósito es promover el manejo de la energía e identificar las oportunidades de mayores ahorros mediante el seguimiento del consumo energético a nivel del edificio y de los sistemas. Para ello se requiere instalar medidores de energía avanzada que muestren datos de todas las fuentes de alimentación utilizadas por el edificio, y los usos finales de energía individuales que representan el 10% o más del consumo total anual de la construcción.

La medición avanzada de la energía debe tener las siguientes características:

- Los medidores deben estar instalados de forma permanente, registrando las mediciones en intervalos de una hora o menos y transmitiendo los datos a una ubicación remota.
- Los medidores de electricidad deben registrar tanto el consumo como la demanda. De ser pertinente deben registrar el factor de potencia de todo el edificio.
- El sistema de recolección de datos debe usar una red de área local, el sistema de automatización del edificio, una red inalámbrica u otra infraestructura similar.
- El sistema debe ser capaz de almacenar todos los datos de medición de al menos 36 meses.
- Los datos deben ser accesibles desde una ubicación remota.
- Todos los medidores del sistema deben ser capaces de informar sobre datos de consumo energético horario, diario, mensual y anual. [23]

5.2.8 Demand response / Respuesta a la demanda (Crédito 4. EAc4): Este crédito da de 1 a 2 puntos. Busca fomentar el uso de tecnologías de respuesta a la demanda que hagan más eficientes los sistemas de generación y distribución de energía, aumentando la confiabilidad de la red eléctrica y reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero. Para ello se debe diseñar el edificio y los equipos que éste utilice, buscando que ambos participen en programas de respuesta a la demanda mediante el rechazo o el desplazamiento de cargas.[23]

Caso 1. Programa de respuesta a la demanda disponible (2 puntos)

- Se debe participar en un programa existente de respuesta a la demanda (RD) y llevar a cabo las siguientes actividades: Diseñar un sistema con capacidad de RD completamente automatizada y a tiempo real basada en la activación externa por parte de un proveedor de RD. En la práctica se puede utilizar un sistema semiautomático de RD.

- Se debe establecer un compromiso contractual de participación en RD que abarque al menos el 10% de la demanda máxima de electricidad estimada con un proveedor de RD calificado. La duración mínima es de un año y la intención debe ser renovar por varios años. La demanda máxima se determina en el prerrequisito EA: desempeño energético mínimo (*EA prerequisite: minimum energy performance*).
- Desarrollar un plan general para cumplir el compromiso contractual durante las situaciones de Respuesta a la Demanda.
- Incluir los procesos de RD en el ámbito de trabajo de la autoridad de verificación y control (comisionamiento), incluyendo su participación en un plan de pruebas de RD completo.

Caso 2. Programa de respuesta a la demanda no disponible (1 punto)

Suministrar infraestructuras dinámicas que aprovechen futuros programas de respuesta a la demanda, los cuales deberán permitir la fijación de precios en tiempo real y llevar a cabo las actividades que se mencionan a continuación:

- Instalar medidores de registro a intervalos con comunicaciones y la posibilidad de que el sistema de automatización del edificio acepte un precio externo o señal de control.
- Desarrollar un plan para restringir al menos el 10% de la demanda máxima de electricidad estimada. La demanda máxima se determina en el Prerrequisito EA: desempeño energético mínimo (*EA prerequisite: minimum energy performance*).
- Incluir los procesos de RD en el ámbito de trabajo de la autoridad de verificación y control (comisionamiento), incluyendo su participación en un plan de pruebas de RD completo.
- Ponerse en contacto con los representantes de las empresas locales de suministro energético para acordar la participación en el futuro de programas de RD.

5.2.9 Renewable energy production / Producción de energía renovable

(Crédito 5, EAc5): Da un total de tres (3) puntos con el objetivo de reducir los daños ambientales y económicos asociados con la energía de combustibles fósiles, mediante el autoabastecimiento de energía renovable para compensar el costo energético del edificio. El porcentaje de energía renovable se calcula mediante la siguiente ecuación:

% energía renovable

$$= \frac{\text{costo equivalente de la energía utilizable producida por el sistema de energía renovable}}{\text{costo anual de la energía del edificio}}$$

El uso de paneles solares o sistemas de energía renovable comunitarios está permitido si se cumplen los dos requisitos siguientes:

- El proyecto es propietario del sistema o ha firmado un acuerdo de alquiler por un periodo de 10 años.
- El sistema se encuentra en la misma área de servicios públicos que las instalaciones que reclaman su uso.

Este crédito se basa en el porcentaje de propiedad o de uso asignado en el acuerdo de alquiler. Los puntos se asignan de acuerdo con la Tabla 16.

Tabla 16. Puntos por energía renovable.

Porcentaje de energía renovable	Puntos (excepto en núcleo y envolvente)	Puntos (núcleo y envolvente)
1%	1	1
3%		2
5%	2	3
10%	3	

Fuente: Adaptado de: [23]

5.2.10 Enhanced refrigerant management / Manejo de refrigerantes avanzado (crédito 6, EA6): Este crédito asigna un punto por un manejo racional de las sustancias dañinas en los refrigerantes, al exigir un rango máximo para la combinación de componentes con efectos nocivos para el ozono y por ende, colaboradores del calentamiento global. Es importante recordar que los refrigerantes CFC no están admitidos en este cálculo.

Opción 1. Ausencia de refrigerantes o refrigerantes de bajo impacto (1 punto) No usar refrigerantes o utilizar solo aquellos de origen natural o sintético que tengan un potencial de agotamiento de la capa de ozono nulo y de calentamiento global menor de 50.

Opción 2. Cálculo del impacto del refrigerante (1 punto) Seleccionar refrigerantes de equipos de calefacción, ventilación, aire acondicionado y refrigeración (HVAC&R) que minimicen o eliminen la emisión de compuestos que contribuyen al agotamiento de la capa de ozono y al cambio climático.

5.2.11 Green power and carbon offsets / Energía verde y compensaciones de carbono: Este crédito cuyo propósito es fomentar el desarrollo y el uso de tecnologías de energía renovable, es comúnmente aplicado con la compra de REC (certificados de energía renovable) o bonos que contribuyen a la investigación o producción de energías renovables. Se debe celebrar un contrato por un tiempo de 5 años y se requiere suplir un 50% como mínimo, para obtener 1 punto y un 100% para obtener 2 puntos. La energía verde y los REC deben contar con certificación Green-Energy o equivalente. [25][23]

Teniendo en cuenta los créditos anteriores se realizó una búsqueda bibliográfica que permitiera encontrar estudios de casos para proyectos con certificación LEED en Colombia, especialmente para analizar el ahorro energético y su impacto en el

costo de algunos de ellos. No se encontraron proyectos con la certificación LEED v4 (2013), pero si muchos con la certificación LEED v3 (2009), por lo tanto se tomaron estos como referencia. Los ítems que nos están relacionados con energía y atmosfera no se tuvieron en cuenta por no ser objeto de estudio de este trabajo debido a que no hay un marco de referencia colombiano para compararlos.

6. COMPARACIÓN CERTIFICACIÓN LEED CON RESOLUCIÓN 0549 DE 2015

Para comparar el ahorro energético obtenido con la implementación de las dos estrategias en edificaciones comerciales (Resolución 0549 y certificación LEED) se hizo un contraste entre las medidas recomendadas para cada caso, con su impacto en el costo y el ahorro energético total.

Debido a que ambos casos representan una derivación del estándar *ASHRAE 90.1*, son comunes las medidas relacionadas con la iluminación, los sistemas HVAC, la potencia eléctrica y las medidas de eficiencia pasiva.

Para realizar la comparación, el clima de Colombia se consideró como cálido húmedo, pues este corresponde a lo descrito en el apéndice B del *Advanced Energy Design Guide for Medium to Big Box Retail Buildings*, por ello las medidas recomendadas en la Resolución 0549 se relacionan solo para este tipo de clima (Tabla 17). En general las medidas recomendadas en la resolución se traducen en ahorros de energía de 41,82 % con un impacto adicional en el costo de 5,2%.

La certificación LEED recomienda las medidas contempladas en *Advanced Energy Design Guides for 50% Savings for Medium to Big Box Retail Buildings*, las cuales se relacionan en la tabla 18. En general estas medidas están relacionadas con el mejoramiento de la eficiencia de los componentes de iluminación, la optimización del consumo y parámetros de diseño. Éstos lineamientos representan ahorros energéticos significativos del 60,2% con un impacto solo del 6% en el costo [29].

Tabla 17. Medidas recomendadas para el ahorro energético según la Resolución 0549.

Medida recomendada	Tipo de Clima	Ahorro [%]	Impacto en el costo [%]	Tiempo de retorno [años]
Iluminación de energía eficiente	Cálido húmedo	15,71	2,66	6
Controles (ocupación, zonificación)	Cálido húmedo	5,93	0,17	1
Economizadores de aire	Cálido húmedo	0	0,66	N/A
Coeficiente de Desempeño (COP)	Cálido húmedo	3,07	0	N/A
Variadores de velocidad - torres de enfriamiento	Cálido húmedo	0,82	0,04	1
Recuperación de calor del aire de retorno	Cálido húmedo	4,74	0,32	2
Variadores de velocidad - bombas	Cálido húmedo	0,49	0,04	3
Sub-medidores de electricidad	Cálido húmedo	2	0,06	1
Corrección de Factor de Potencia	Cálido húmedo	9	1,06	4
Reflectividad del muro	Cálido húmedo	1,54	0,1	2
Sensores CO para ventilación de parqueaderos	Cálido húmedo	0,42	0,007	1
Control de iluminación exterior	Cálido húmedo	0,1	0,00019	1
Total		41,82	5,2	N/A

Fuente: Adaptado de: [14]

Tabla 18. Medidas del estándar ASHRAE 90.1 -2010.

Energy Measures	Baseline values	Improved value	Energy savings (%)	Payback (years)
<i>Reduced window to wall</i>	15%	5%	0,10	No cost
<i>Reflective paint/Tiles for roof</i>	80%	-	-	No cost
<i>Reflective paint/external walls</i>	40%	70%	0,4	No cost
<i>Insulation roof / U Value (W/m²*°K)</i>	3%	0,81 (5 cm)	1,8	1,9
<i>Insulation external walls / U value (W/m²*°K)</i>	2%	0,98 (2 cm)	1,2	1,2
<i>Cooling equipment COP improvement</i>	4%	6,1	16,3	0,1
<i>VSD on the fans and cooling towers</i>	-	ON	0,8	0,1
<i>Variable frecuency drive in AHUs</i>	-	ON	13,4	0
<i>VSD on pumps</i>	-	ON	0,4	1,8
<i>Sensible heat recovery from exhaust air</i>	-	ON	4,9	0
<i>CO2 sensor / demand controlled ventilation for fresh air intake</i>	-	70%	2,8	0,1
<i>Energy savings lighth bulbs / sales areas</i>	Metal halide	LED	11,2	No cost
<i>Energy savings lighth bulbs / corridors and common areas</i>	Flourescent T8	LED	3,4	0,6
<i>Energy savings lighth bulbs / external spaces</i>	Flourescent T8	LED	0,7	0,6
<i>Occupancy sensors on bathrooms</i>	-	ON	2	0
<i>Power factor correction</i>	-	0%	0	1
<i>Smart meters</i>	-	0%	0,8	0
Total			60,2	N/A

Fuente: Adaptado de: [29][30]

6.1 ANÁLISIS COMPARATIVO

La metodología de comparación entre la Resolución 0549 y la certificación LEED para ahorro energético en edificios comerciales que se usó en este estudio comprende:

- Enumerar y definir cada medida de ahorro.

- Definir si la medida aplica en la Resolución 0549 y/o en la certificación LEED.
- Si la medida aplica para ambos casos, presentar las diferencias de implementación, en caso contrario, indicar el porqué.
- Calcular el diferencial de ahorro energético entre la Resolución 0549 y la certificación LEED. Este criterio corresponde a la diferencia entre el valor de la resolución y el de la certificación LEED. Por tanto, si es negativo quiere decir que con LEED se obtiene mayor porcentaje de ahorro y si es positivo es porque el mejor ahorro se logra con la Resolución 0549.

Los valores presentados en esta sección son tomados del Anexo 1 de la Resolución 0549 y de la guía *Advanced Energy Design Guides for 50% Savings for Medium to Big Box Retail Buildings*, para el caso de la certificación LEED.

6.1.1 Reducción de la relación ventana/pared (RVP): El resumen de esta medida se presenta en la Tabla 19. En la Resolución 0549 no se considera esta medida, en contraparte la certificación LEED propone reducir la RVP a 5% para lograr ahorros de 0,1%.

Tabla 19. Medida: Reducción de relación ventana/pared (RVP)

Reducción de relación ventana/pared (RVP)			
Es la relación del área de vidrios (ventanas y otros) con el área bruta total de la pared. Un edificio con RVP mayor ganará más calor que uno con RVP menor.			
Resolución 0549		Certificación LEED	
No se considera esta medida, en parte para conservar la tendencia arquitectónica de los nuevos centros comerciales.		Propone reducir la RVP a 5%, para tener mayor aislamiento y menor aislamiento.	
% ahorro	Retorno (años)	% ahorro	Retorno (años)
N/A	N/A	0,1	0
Diferencial de ahorro		N/A	

6.1.2 Reflectividad del techo o cubierta: La implementación de esta medida no es recomendada en la resolución porque el retorno de la inversión ocurre en un tiempo muy prolongado (mayor a 10 años). Para el caso de la certificación LEED ocurre que el estándar (ASHRAE 90.1) considera que el valor base debe ser de 80% y por tanto no se propone ningún cambio en esta medida. El resumen de la medida se muestra en la Tabla 20.

Tabla 20. Medida: Reflectividad del techo o cubierta.

Reflectividad del techo o cubierta			
Esta medida cuantifica la cantidad o porcentaje de radiación solar que es reflejada por el techo.			
Resolución 0549		Certificación LEED	
La resolución propone incrementar la reflectividad de un valor base de 40% a 80%.		El valor base usado en la certificación es de 80%, por tanto no se propone ninguna mejora para el ahorro energético.	
% ahorro	Retorno (años)	% ahorro	Retorno (años)
0,4	Sin retorno en 10 años	N/A	N/A
Diferencial de ahorro		N/A	

6.1.3 Reflectividad de las paredes: Esta medida busca reducir la ganancia de calor de la edificación comercial a través de las paredes, aumentando la reflectividad de las mismas. La resolución 0549 propone llevar la reflectividad a un valor de 80%, mientras que la certificación LEED recomienda que éste valor sea del 70%. Todos los detalles de esta medida aparecen en la tabla 21.

Tabla 21. Medida: Reflectividad de las paredes.

Reflectividad de las paredes			
Es la relación de radiación solar reflejada del material de la superficie relativa a la radiación solar incidente sobre esta. Tratándose de una fracción sin dimensión, también se puede expresar como porcentaje, y se mide en una escala de cero para la potencia de reflejo nula de una superficie perfectamente negra, hasta 1 o 100% para el reflejo de una superficie perfectamente blanca.			
Resolución 0549		Certificación LEED	
Propone pasar de un valor base de 40% a uno mejorado de 80%, con un impacto en el costo de 0,1%.		Propone pasar de un valor base de 40% a uno mejorado de 70%, sin generar ningún impacto en el costo.	
% ahorro	Retorno (años)	% ahorro	Retorno (años)
1,54	2	0,4	0
Diferencial de ahorro		1,14%	

6.1.4 Valor U de la cubierta o techo: Esta medida no es recomendada en la resolución 0549, porque de acuerdo a las simulaciones realizadas por CAMACOL el tiempo de retorno es muy grande. La Tabla 22 muestra todos los detalles de esta medida.

Tabla 22. Medida: Valor U de la cubierta o techo.

Valor U de la cubierta o techo			
Indica la tasa de pérdida o ganancia de calor del techo en $W/m^2 \cdot ^\circ K$. Entre más bajo el Valor U, mayor es la resistencia de un techo al flujo de calor y mejores sus propiedades aislantes. El aislamiento ayuda a reducir el Valor U del techo.			
Resolución 0549		Certificación LEED	
Propone un valor U de 1,49 $W/m^2 \cdot K$ más una capa aislante de poliestireno extruido de 3 pulgadas (7,6 cm).		En este caso se indica un valor U de 0,81 $W/m^2 \cdot K$ más una capa de 5 cm de aislante.	
% ahorro	Retorno (años)	% ahorro	Retorno (años)
0,32	Sin retorno en 10 años	1,8	1,9
Diferencial de ahorro		-1,48%	

6.1.5 Valor U de la pared: Al igual que para el valor U de la cubierta, el tiempo de retorno es mayor a 10 años, por lo tanto no se recomienda en la Resolución 0549. El resumen de la medida se presenta en la Tabla 23.

Tabla 23. Medida: Valor U de la pared.

Valor U de la pared			
Indica la tasa de pérdida o ganancia de calor de la pared en $W/m^2 \cdot K$. Entre más bajo el Valor U, mayor es la resistencia de la pared al flujo de calor y mejores sus propiedades aislantes. El valor U de la pared se puede reducir usando materiales aislantes.			
Resolución 0549		Certificación LEED	
Propone un valor U de $1,8 W/m^2 \cdot K$ más una capa aislante de poliestireno extruido de 2 pulgadas (5,08 cm).		En este caso se indica un valor U de $0,98 W/m^2 \cdot K$ más una capa de 2 cm de aislante.	
% ahorro	Retorno (años)	% ahorro	Retorno (años)
1,52	Sin retorno en 10 años	1,2	1,2
Diferencial de ahorro		0,32%	

6.1.6 Coeficiente de desempeño (COP): Para esta medida la Resolución 0549 no propone un valor de referencia. El resumen de esta medida se muestra en Tabla 24.

Tabla 24. Medida: Coeficiente de desempeño (COP).

Coeficiente de desempeño (COP)			
Se define como la relación entre la tasa de remoción de calor y la tasa de entrada de energía, en unidades consistentes, para un sistema AC completo o alguna porción específica de dicho sistema bajo condiciones operativas designadas [14]. Esto mide la eficiencia del sistema de aire acondicionado. Entre más alto el COD, mejor la eficiencia.			
Resolución 0549		Certificación LEED	
No establece un valor de referencia, sin embargo propone valores entre 3,5 y 6 según el tipo de edificación.		El valor de referencia propuesto en la certificación LEED es de 6,1.	
% ahorro	Retorno (años)	% ahorro	Retorno (años)
3,07	0	16,3	0,1
Diferencial de ahorro		-13,23%	

6.1.7 Variadores de velocidad en torres de enfriamiento (VSD): El resumen de esta medida se muestra en la Tabla 25. En esta medida, para ambos casos (resolución y certificación) los porcentajes de ahorro son muy similares, pues ambas proponen el funcionamiento permanente de VSD.

Tabla 25. Medida: Variadores de velocidad en torres de enfriamiento.

Variadores de velocidad en torres de enfriamiento			
Variadores de frecuencia (VSD) son usados para controlar la velocidad de la maquinaria. Funcionan variando la velocidad del transmisor cuando las condiciones del proceso demandan ajuste del flujo de una bomba o ventilador.			
Resolución 0549		Certificación LEED	
Se propone el uso permanente de VSD en ventiladores y torres de enfriamiento.		Se propone el uso permanente de VSD en ventiladores y torres de enfriamiento.	
% ahorro	Retorno (años)	% ahorro	Retorno (años)
0,82	2	0,8	0,1
Diferencial de ahorro		0,02%	

6.1.8 Variadores de frecuencia en unidades de manejo de aire (air handling unit, AHU): Esta medida no se recomienda en la resolución por el alto periodo de retorno, pero para la certificación LEED representa una de las medidas con mayor impacto en el ahorro de energía en centros comerciales, Tabla 26.

Tabla 26. Medida: Variadores de frecuencia en AHU.

Variadores de frecuencia en AHU			
Son usados para controlar la frecuencia de operación del sistema HVAC, debido a que sistema representa gran parte del consumo total de la edificación, su uso se traduce en grandes ahorros de energía.			
Resolución 0549		Certificación LEED	
Se propone el uso permanente de variadores de velocidad en el sistema HVAC.		Se propone el uso permanente de variadores de velocidad en el sistema HVAC.	
% ahorro	Retorno (años)	% ahorro	Retorno (años)
0,61	Sin retorno en 10 años	13,4	0
Diferencial de ahorro		-12,79%	

6.1.9 Variadores de velocidad en bombas: Esta medida está relacionada con las dos anteriores, pero para el caso concreto de las bombas. El resumen se presenta en Tabla 27.

Tabla 27. Medida: Variadores de velocidad en bombas.

Variadores de velocidad en bombas			
Al igual que los VSD para torres de enfriamiento; son usados para controlar la velocidad de la maquinaria. Funcionan variando la velocidad del transmisor cuando las condiciones del proceso demandan ajuste del flujo de la bomba.			
Resolución 0549		Certificación LEED	
Se propone el uso permanente de VSD en bombas.		Se propone el uso permanente de VSD en bombas.	
% ahorro	Retorno (años)	% ahorro	Retorno (años)
0,49	3	0,4	1,8
Diferencial de ahorro		0,09%	

Fuente: Autores

6.1.10 Recuperación de calor del aire de retorno: Esta medida reduce el consumo de energía debido a que aumenta la eficiencia del sistema HVAC. El resumen de la medida se muestra en la Tabla 28.

Tabla 28. Medida: Recuperación de calor del aire de retorno.

Recuperación de calor del aire de retorno			
Estas unidades utilizan un intercambiador de calor de contraflujo para extraer el calor del aire de exhosto y reutilizar el mismo para la calefacción/ enfriamiento del aire fresco. Esto ayuda a aumentar la eficiencia energética del sistema de aire acondicionado.			
Resolución 0549		Certificación LEED	
Se propone el uso permanente de unidades de recuperación de calor.		Se propone el uso permanente de unidades de recuperación de calor.	
% ahorro	Retorno (años)	% ahorro	Retorno (años)
4,74	2	4,9	0
Diferencial de ahorro		-0,16%	

6.1.11 Sensores de monóxido de carbono (CO) para ventilación de estacionamiento vehicular: Esta es una medida de seguridad que debe ser tomada en cuenta para prevenir accidentes fatales. En la Tabla 29 se resume dicha medida.

Tabla 29. Medida: Sensores de Monóxido de Carbono (CO) para ventilación de estacionamiento vehicular.

Sensores de Monóxido de Carbono (CO) para ventilación de estacionamiento vehicular			
El Monóxido de Carbono es un gas inodoro e incoloro que se encuentra presente en los humos de exhosto de los vehículos a motor. Si se encuentra presente en concentraciones grandes, puede ser fatal. Por tanto, es un ítem de seguridad importante a ser considerado para la ventilación de parqueaderos vehiculares. [14]			
Resolución 0549		Certificación LEED	
Usar estos sensores en		Usar estos sensores en un 70% de los	
parqueaderos.		parqueaderos.	
% ahorro	Retorno (años)	% ahorro	Retorno (años)
0,42	1	2,8	0,1
Diferencial de ahorro		-2,38%	

6.1.12 Iluminación eficiente: Después del sistema de ventilación y aire acondicionado, el sistema de iluminación es el que consume mayor energía eléctrica, por tanto su optimización ayudará a reducir considerablemente el consumo. Esta medida se relaciona con el uso de lámparas de mayor eficiencia, que reducen la densidad de potencia de luz, es decir el consumo en watts por cada metro cuadrado (W/m²). La tabla 30 presenta un resumen de esta medida.

Tabla 30. Medida: Iluminación eficiente.

Iluminación eficiente			
La densidad de la potencia de luz (LPD) es la potencia eléctrica total usada por las luces instaladas en el edificio dividido por el área total del edificio. Se mide en W/m ² . Para un nivel de iluminación dado, entre más bajo el LPD, más eficiente el edificio. Depende directamente del uso de lámparas eficientes en energía, como las lámparas LED por ejemplo.			
Resolución 0549		Certificación LEED	
Cubrir al menos el 80% del edificio con lámparas compactas fluorescentes (CFL), T5, T8 o LED.		Usar lámparas LED en zonas comunes, al exterior y al interior de almacenes del centro comercial.	
% ahorro	Retorno (años)	% ahorro	Retorno (años)
15,71	6	15,3	1,2
Diferencial de ahorro		0,41%	

6.1.13 Sensores de ocupación: Esta medida resume el consumo por iluminación, al apagar las luces cuando no son necesarias. La Tabla 31 presenta el resumen de esta medida.

Tabla 31. Medida: Sensores de ocupación.

Sensores de ocupación			
Se usan para apagar/encender la iluminación al percibir la ocupación de un área. En centros comerciales son de gran utilidad en los baños.			
Resolución 0549		Certificación LEED	
Usar controles de ocupación en baños y pasillos, si es posible.		Usar sensores de ocupación en baños.	
% ahorro	Retorno (años)	% ahorro	Retorno (años)
5,93	1	2	0
Diferencial de ahorro		3,93%	

6.1.14 Corrección del factor de potencia: Esta medida busca mejorar la eficiencia de todo el sistema eléctrico de la edificación. La certificación LEED no la tiene en cuenta para edificaciones comerciales; sin embargo, en el caso de la Resolución 0549 genera 9% de ahorro energético Tabla 32.

Tabla 32. Medida: Corrección del factor de potencia.

Corrección del factor de potencia			
El factor de potencia se define como la relación de la potencia real que fluye al sistema con la potencia aparente en el circuito. Entre más alto el factor de potencia, mayor será la eficiencia energética del sistema. Se pueden instalar dentro del sistema eléctrico del edificio para mejorar su eficiencia energética.			
Resolución 0549		Certificación LEED	
Propone corregir el factor de potencia para que sea mínimo de 0.9. [15]		No tiene en cuenta la implementación de esta medida para edificios comerciales	
% ahorro	Retorno (años)	% ahorro	Retorno (años)
9	4	0	0
Diferencial de ahorro		9%	

Fuente: Autores.

6.1.5 Resumen cuadro comparativo Resolución 0549 y Certificación LEED:

En términos generales las medidas de la certificación LEED ahorran 15,13% de energía frente a las medidas de la Resolución 0549. Tabla 33.

La principal medida que origina esta diferencia es el uso de variadores de frecuencia en el sistema de HVAC, la cual no se considera en la Resolución 0549 y como medida de la certificación LEED origina ahorros de 13,4%. Otra de las medidas que motiva esta diferencia es el coeficiente de desempeño (COP), pues en la resolución se estima un ahorro del 3,07% frente al 16,7% de la certificación LEED (diferencia de 13,23%). Tabla 33.

Tabla 33. Resumen de las medidas comparadas por Resolución 0549 y Certificación LEED.

Medida	Resolución 0549		Certificación LEED		Diferencial de ahorro (%)
	% ahorro	Retorno o (años)	% ahorro	Retorno (años)	
Reducción de relación Ventana/Pared (RVP).	N/A	N/A	0,1	0	N/A
Reflectividad del techo o cubierta.	0,4	10	N/A	N/A	N/A
Reflectividad de las paredes.	1,54	2	0,4	0	1,14
Valor U de la cubierta o techo.	0,32	10	1,8	1,9	-1,48
Valor U de la pared.	1,52	10	1,2	1,2	0,32
Coeficiente de desempeño (COD).	3,07	0	16,3	0,1	-13,23
Variadores de velocidad en torres de enfriamiento (VSD).	0,82	2	0,8	0,1	0,02
Variadores de frecuencia en unidades de manejo de aire (AHU).	0,61	10	13,4	0	-12,79
Variadores de velocidad en bombas.	0,49	3	0,4	1,8	0,09
Recuperación de calor del aire de retorno.	4,74	2	4,9	0	-0,16
Sensores de monóxido de carbono (CO) para ventilación de estacionamiento vehicular.	0,42	1	2,8	0,1	-2,38
Iluminación eficiente	15,71	6	15,3	1,2	0,41
Sensores de ocupación	5,93	1	2	0	3,93
Corrección del factor de potencia	9	4	0	0	9

Adicional al análisis comparativo anterior, se realizaron comparaciones con base en estudios de caso de edificaciones con certificación LEED (LEED v3) para la

categoría de energía y atmosfera y edificios que aplicaron la Resolución 0549 de 2015 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Algunos datos de los porcentajes de ahorro para el caso de construcciones con la resolución son teóricos o tomados de las simulaciones hechas por CAMACOL y por *International Finance Corporation* (IFC) del Banco Mundial.

6.2 RESOLUCIÓN 0549 DE 2015: CASO 1, MODELAMIENTO DE EDIFICIO COMERCIAL EN CALI

Se trata del modelamiento de una construcción comercial realizada por la Cámara Colombiana de Construcción (CAMACOL) y por la *International Finance Corporation* (IFC) en la ciudad de Cali (Clima cálido seco con variaciones a cálido húmedo). Las medidas que se implementaron se muestran en la tabla 34. Los detalles arquitectónicos, área construida, ubicación y materiales no se relacionan, por tal razón no aparecen en este estudio.

Los resultados del modelamiento arrojan un incremento en el costo por la implementación de las estrategias del **2,52%** en total, lo cual de acuerdo a la matriz de implementación de la Resolución 0549 es recomendable, más aún cuando se observa que el ahorro es del **33,05 %**. Este ahorro es así debido a que las edificaciones comerciales tienen un alto consumo energético por iluminación y el uso de lámparas eficientes (T5 y LED), lo cual produce un ahorro del **15,20%** con respecto a la línea base.

Tabla 34. Estrategias implementadas en un edificio comercial, Cali.

Estrategias implementadas en un edificio comercial en Cali			
Medida	% de Ahorro	% Impacto en el costo	Tiempo de retorno [años]
Reflectividad de la pared >80 %	1,44%	0,07%	2
Reflectividad de la cubierta >80 %	0,37%	1,54%	0
Uso de lamparas T5 y LED en más del 70% de la instalación	15,20%	0,65%	2
Instalación de controles de ocupación en zonas comunes	5,02%	0,15%	1
Instalación de VSD para torres de enfriamiento	2,02%	0,03%	1
Diseño con factor de potencia >0.9	9,00%	0,08%	1
Total	33,05%	2,52%	N/A

6.3 RESOLUCIÓN 0549 DE 2015; CASO 2: Proyecto Av. ALO

Es un proyecto de vivienda multifamiliar de estrato 3 ubicado en Bogotá en la localidad de Fontibón, mediante la edificación de dos torres de 15 pisos más una plataforma con semisótano y sótano para parqueaderos, cada torre cuenta con dos ascensores y dos escaleras, tiene zonas sociales y de recreación.

El proyecto está desarrollado en un lote de aproximadamente 6.000m² de área bruta, donde además de las torres y la plataforma, se realizaran las obras de urbanismo que incluyen: i) cesión de vía peatonal y andenes, y ii) cesión tipo A parque de recreación pasiva de 1.000m². El proyecto consta de 3 tipos de apartamento con áreas de 62 m², 49 m², y 35m². Tiene 7 apartamentos por piso, y se construirán 100 apartamentos en la etapa 1 y 98 en la etapa 2, con un total de área construida de 18.640m². [18]

6.4 RESOLUCIÓN 0549 DE 2015, CASO 3: Proyecto Av. Boyacá

Es un proyecto de vivienda multifamiliar de estrato 3 ubicado en Bogotá, sobre la avenida Boyacá en el barrio El Real. Corresponde a un edificio de 13 pisos sin sótanos, con los primeros tres pisos de parqueaderos y el resto de vivienda. La torre cuenta con dos ascensores y dos escaleras. Desarrollado en un lote de aproximadamente 1.250 m², el edificio tendrá aproximadamente 8.944 m² de área construida, conformada por 60 apartamentos de tres tipos de 60,2 m², 75,2 m² y 84,4 m² con dos y tres alcobas.[18]

6.5 RESOLUCIÓN 0549 DE 2015, CASO 4; Proyecto Carrera Séptima

Es una construcción comercial de vivienda multifamiliar de estrato 3, ubicado sobre la carrera 7 en el barrio Maranta de la ciudad de Bogotá. El proyecto consiste en 4 torres de 21 y 17 pisos con tres sótanos. Cada una de las cuatro torres contará con dos ascensores y dos escaleras. El proyecto se llevará a cabo en un lote de 12.870 m² y serán aproximadamente 49.867 m² de área construida, conformados por 432 unidades de vivienda con 4 tipos de apartamentos [18].

Para los tres proyectos anteriores, los elementos proyectados para la iluminación son balas ojo de buey con bombillos ahorradores de 25W en apartamentos y puntos fijos. En los sótanos y parqueaderos utilizaron una iluminación tubular T8 de 36W. El diseño eléctrico para los equipos de presión estima una potencia en el rango de 1000w a 1200w, la de los ascensores oscila entre 600w y 700w. Además para estos proyectos, sus constructores aplicaron las medidas de la Tabla 35.

Para el cálculo de la temperatura al interior de los edificios y su consumo energético, los diseñadores de éste proyecto realizaron un modelado energético en el software Virtual Environment® de Integrated Environmental Solutions Ltd

2014. Ésta es una herramienta que permite calcular los consumos de energía mes a mes, la radiación solar y el nivel de confort de los ocupantes de una edificación. Los datos de entrada del modelo utilizados por el proyectista del edificio fueron la ubicación de éste, su dirección con respecto al norte (N), su geometría, la definición de los materiales para su construcción y las cargas (eléctricas y de ganancia de calor) requeridas para su funcionamiento [18].

Tabla 35. Medidas recomendadas para vivienda no VIS en clima frío.

MEDIDAS RECOMENDADAS PARA VIVIENDA NO VIS	
Medida	Aplica (x)
Relación ventana – pared	x
Protección solar	x
Ventilación natural	x
Corrección del factor de potencia	x
Agua Caliente solar	x

Fuente: Adaptado de: [14].

A continuación se presentan los datos de consumo de energía para cada proyecto y su porcentaje de ahorro con respecto a la línea base de la Resolución 0549 de 2015 (Tabla 36).

Tabla 36. Resumen de consumo y ahorro por proyecto.

Proyecto	Línea base (kWh/m²-año)	Línea base menos 20% (kWh/m²-año)	Consumo total anual (MWh/año)	Consumo (kWh/m²-año)	% ahorro
Av. ALO	46,5	37,2	602,4	32,31	30,52
Av. Boyacá	46,5	37,2	97,55	10,9	76,56
Carrera 7ma	46,5	37,2	615,794	12,34	73,46

Se observan grandes ahorros energéticos, promovidos principalmente por el uso de ventilación natural, la cual además del ahorro energético, elimina el impacto de los sistemas de aire acondicionado o calefacción

6.6 CERTIFICACIÓN LEED, CASO 1: EDIFICIO CENTRO ÁTICO

Está ubicado en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana (PUJ) en la ciudad de Bogotá, cuenta con un área total construida de aproximadamente 8.370 m² distribuida en siete pisos.

La arquitectura del edificio combina un concreto a la vista con un enchape en piedra royal veta y grandes fachadas en vidrio, una cubierta plana con elementos que permiten la entrada de luz natural al interior del edificio y una pequeña porción de cubierta verde. Inicialmente no fue diseñado ni construido con parámetros de sostenibilidad y por tanto no siguió programas de certificación LEED. Sin embargo, fue realizada la evaluación LEED New Construction V3 2009 del edificio en su diseño original, en donde logró obtener un total de 20 puntos, razón por la cual, no alcanzó nivel de certificación. [31]

Con el fin de obtener el nivel de certificación LEED GOLD se propusieron un conjunto de alternativas en un diseño modificado, el cual se muestra Tabla 37, dónde las alternativas relacionadas con Energía y Atmosfera se resaltan en negrilla.

Tras la implementación de las estrategias planteadas en el diseño modificado, nuevamente se llevaron a cabo las evaluaciones requeridas por LEED New Construction V3 2009 para el edificio, obteniendo esta vez 66 de los 110 puntos posibles[31], es decir, que el edificio logró la certificación LEED GOLD.

Tabla 37. Estrategias implementadas en el diseño modificado del edificio Centro Ático.

CREDITO LEED	ESTRATEGIA
SS4.2	Instalación de aparca bicicletas y construcción de duchas y vestieres
SS5.1 ; SS7.2 ; WE1 ; RP1	Reemplazo de zonas duras exteriores y jardinería existente por jardinería de especies nativas o adaptadas
SS6.1 ; WE1 ; ID1 ; RP1	Construcción de sistema de recolección de agua lluvia de cubierta
SS6.2	Construcción de sistema de filtro de lecho para aguas lluvias de cubierta
SS7.2	Reemplazo de concreto gris de placa de cubierta por concreto blanco
SS8.0	Instalación de sensores de ocupación y foto sensores, y cambio de luminarias de exterior
PR WE1 ; WE2 ; WE3 ; ID1 ; RP1	Reemplazo de aparatos sanitarios convencionales por aparatos de alta eficiencia
PR EA2 ; EA1 ; RP1	Colocación de aislamiento térmico en muros de fachada y cambio de luminarias convencionales a iluminación LED
EA5	Instalación de sistema de verificación de consumo eléctrico por subsistemas
MR2 ; RP1	Implementación de plan de gestión de residuos de construcción y demolición RCD
MR4 ; ID1	Elección de proveedores de acero, concreto y vidrio
IEQ1	Instalación de medidores de concentración de CO2 y tubos de Pitot
IEQ3.2	Implementación de plan de gestión de calidad del aire interior antes de la ocupación
IEQ4.2	Elección de proveedores de pinturas y epóxicos
PR EA2 ; EA1 ; RP1 ; SS8.0	Contratación de diseño eléctrico e iluminación
PR EA2 ; PR IEQ1	Contratación de servicio de commisioning
PR EA2 ; EA1 ; RP1	Contratación de servicio de simulación energética

Fuente: Adaptado de: [31]

Para estimar el consumo de energía en el diseño original y modificado, el diseñador del edificio Centro Ático realizó un modelamiento por espacios de la construcción en el programa de Autodesk, incluyendo características arquitectónicas como la envolvente y los acabados principales de muros y pisos, para luego realizar la simulación energética completa en el software web Autodesk Green Building Studio 2011 (GBS) [31]. Tales resultados están resumidos en la Tabla 38.

Tabla 38. Consumo y ahorro del edificio Centro Ático.

Consumo anual diseño original (kWh)	Línea base anual (kWh)	Consumo anual diseño modificado (kWh)	Consumo (kWh/m ² -año)	% ahorro
775742,00	771739,00	533384,00	63.72	30,89

Fuente: Adaptado de: [31]

Los resultados muestran que se obtuvo un ahorro del **30,89%** en energía con respecto a la línea base, al implementar las estrategias LEED. Este edificio entra en la categoría de grandes remodelaciones para centros educativos, aunque también podría ser considerado como un edificio comercial.

6.7 CERTIFICACIÓN LEED, CASO 2; OXO 69

Se trata de un centro empresarial y hotelero ubicado en Bogotá con pre-certificación LEED GOLD, tiene un área total construida de 12360 m², de los cuales 4084 son para oficinas, 7659 para hotel y 617 m² para espacios comerciales, cuenta con 8 pisos y dos sótanos. Cuenta con sistema de iluminación de bajo consumo (luces led), con optimización de la luz natural y con sensores de presencia y de nivel de iluminación natural, el cual controla el nivel de iluminación artificial. También tiene ventilación natural y equipos de alta eficiencia e inteligentes. Presenta paneles solares para calefacción. Según estimaciones el

sobrecosto por aplicar LEED es de 3%. [32]. El Consumo y ahorro de energía del edificio se muestra en la Tabla 39.

Tabla 39. Consumo y ahorro de energía de diseño de OXO 69.

Consumo de energía en iluminación estimado en el diseño (kWh/año)	Consumo de energía en calefacción estimado en el diseño (kWh/año)	Consumo de energía en sistema de ventilación y aire acondicionado estimado en el diseño (kWh/año)	Consumo de energía en motores estimado en el diseño (kWh/año)	Consumo de energía estimado en el diseño (kWh/año)	Porcentaje de ahorro estimado en el diseño
352483,00	9149,00	260715,00	345332,00	1369940,00	30,79%

Fuente: Adaptado de: [32]

Los consumos de éste edificio luego de estar en funcionamiento se muestran en la Tabla 40. Con los datos reales de consumo se puede observar que el ahorro con respecto a la línea base es de **63,75%** y que el índice de uso de energía es **38.81 kWh/m²-año**.

Tabla 40. Consumo por cada uso del edificio.

Usos	Consumo (kWh/m ² -año)	Área (m ²)	Consumo (kWh/año)
Hotel	96,1	7 659	736 029,9
Oficinas	81,2	4 084	331 620,8
Comerciales	403,8	617	249 144,6
Total		12 360	1 316 795,3

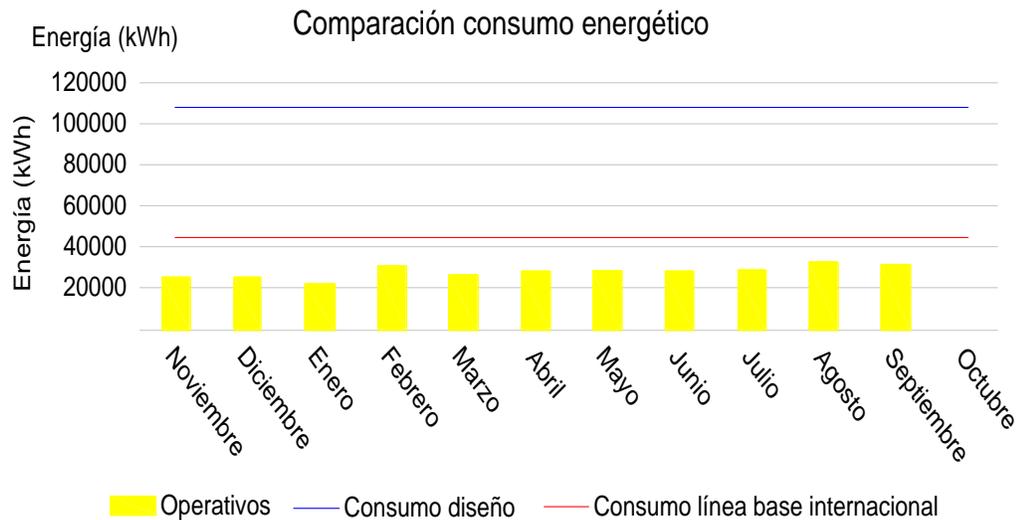
Fuente: Adaptado de: [32]

6.8 CERTIFICACIÓN LEED, CASO 3; HOMECENTER MANIZALES

Es una construcción de uso comercial (*retail*) en la ciudad de Manizales (clima templado) con un área total construida de 8800 m², tiene 1 piso y dos sótanos. Fue certificada en 2012 alcanzando el nivel GOLD para nuevas construcciones (*new constructions*). El sistema de iluminación consta de lámparas fluorescentes T5 y LED. Cuenta con cubierta translúcida que permite el ingreso de la luz natural, lo que disminuye el uso de luz artificial. Cuenta con un sistema de control de

iluminación con sensores que detectan los niveles de luz natural y gradúan la intensidad de las lámparas instaladas. Tiene un sistema de extracción de aire caliente que detecta si la temperatura aumenta más de lo permitido, el sistema de ventilación no usa compresores ni refrigerantes, por lo que se obtiene un gran ahorro energético. Según el diseño el consumo de energía estimado es de **1 291 614 kWh/año** y se estima un ahorro de **29%**. Sin embargo el consumo real se muestra en la Figura 16. Aquí se puede observar que los consumos registrados son menores a los de diseño y a los de la línea base internacional en un **76,3%** y **42,82%** respectivamente. Con los datos suministrados de consumo de energía de un año en kWh, se puede observar el índice de uso de energía, el cual es de **34.85 kWh/m²-año**. [32].

Figura 16. Comparación de consumos energéticos.



Fuente: Adaptado de: [32]

6.9 CERTIFICACIÓN LEED, CONSTRUCCIÓN EN EL MUNICIPIO DE ALBANIA, GUAJIRA.

El clima de Albania es de tipo cálido (humedad relativa entre 67% y 72%), las temperaturas máximas superan siempre los 31°C, mientras que las mínimas están por encima de los 25°C. Este proyecto obtuvo la categoría de CERTIFIED (Certificado) con un total de 41 puntos. En éste se destaca que no se usan sistemas de aire acondicionado, a pesar de estar en zona cálida, debido al buen diseño, que aprovecha los vientos de la Guajira como ventilación natural. Sin embargo, hay muchos créditos que este proyecto no puede cumplir por la localización de la construcción (zona rural) y limitaciones económicas. El sobrecosto por implementar LEED de este proyecto se estima en 10,71% con un ahorro de energía de 16%.[33]

6.10 COMPARACIÓN CERTIFICACIÓN LEED Y RESOLUCIÓN 0549 DE 2015

Como se vio en los casos de estudios presentados, ambas estrategias producen ahorros energéticos, siempre que se apliquen las medidas recomendadas. Es importante siempre tener una línea base para poder comparar la eficiencia del consumo de energía, además de datos económicos de todo el edificio (aun si es una nueva construcción), con el fin de establecer el aumento en el costo total por causa de la implementación de medidas sostenibles y comparar no solo la eficiencia energética, sino también el impacto económico. En este trabajo no se tuvo en cuenta el factor económico por lo que en la mayoría de proyectos los costos adicionales están por debajo del 10%, el cual es un valor moderado a la hora de tomar decisiones de implementación.

Al momento de hacer comparaciones con respecto al ahorro energético logrado con la implementación de la Resolución 0549 y con la certificación LEED lo ideal

sería que se compararan edificios del mismo tipo, ubicados en el mismo clima, o mejor aún, hacer dos simulaciones para el mismo edificio, una para cada caso. Sin embargo, el objeto de este proyecto no era modelar dichas condiciones, por tanto se recurrió a la bibliografía para encontrar estudios de casos en los que se aplicarán las dos metodologías. Como resultado se tienen 4 casos para cada metodología, que aunque son diferentes en uso y clima, se pueden comparar en el ahorro potencial que presentan. El resumen de los casos de estudio se muestra en la Tabla 41.

Las comparaciones que se hicieron entre los casos de estudio fueron las siguientes:

PROYECTO 1 Y 8: Comparten el mismo clima aunque el uso no es completamente similar. Se observa que el proyecto 1, presenta mayores ahorros (33,05%) frente al 16% del proyecto 8, esto se debe a que por la ubicación de éste, no fue posible hacer llegar muchos materiales y que además el presupuesto era limitado para implementar todas las medidas. En el proyecto 8 el ahorro está asociado prácticamente al uso de ventilación natural, mientras que el proyecto 1 contempla 7 medidas, que incluyen desde reflectividad de pared hasta corrección del factor de potencia (tabla 34). Por tanto en términos energéticos la aplicación de la Resolución 0549 presenta mejores resultados en estos dos proyectos.

Tabla 41. Resumen de los estudios de caso.

#	Proyecto	Uso	Clima	Area (m ²)	% ahorro	índice de consumo (kWh/m ² -año)
1	Simulación comercial - Cali	Comercial	cálido seco	-	33,05%	154,99
2	Av. ALO	Residencial	frío	18640,00	30,52%	32,31
3	Av. Boyacá	Residencial	frío	8944	76,56%	10,9
4	Carrera 7ma	Residencial,	frío	48867	73,46%	10,34

#	Proyecto	Uso	Clima	Area (m ²)	% ahorro	índice de consumo (kWh/m ² -año)
		Comercial				
5	Centro Ático	Educativo	frío	8370	30,89%	63,72
6	OXO 69	Hotel, oficina, comercial	frío	12360	63,75%	38,81
7	Homecenter Manizales	Comercial	templado	8800	42,82%	34,85
8	Albania, Guajira	Hotel, comercial	cálido seco	-	16,00%	-

PROYECTO 3 y 5: Comparten área construida similar, así como el clima (frío, Bogotá). Sin embargo, el proyecto 3 es residencial y el 5 educativo. Para ambos se observan altos porcentajes de ahorro, aunque el proyecto 5 presenta un índice mayor al de línea base nacional (Tabla 5), sin embargo es de anotar que la certificación LEED toma una referencia internacional y que además este proyecto es una remodelación y por tanto se conocían los datos de consumo del diseño original. Frente al proyecto 3 queda decir que la alta eficiencia energética está motivada por el uso de ventilación natural, aprovechamiento de la luz del día y equipos de alto desempeño.

PROYECTO 4 y 6: Comparten el mismo clima, pues ambos son en Bogotá. El proyecto 4 presenta ahorros del 73,46%, frente a 63,75% del proyecto 6. Esto obedece principalmente a que los usos son diferentes, por eso los índices de consumo tienen tanta variación. De ambos proyectos se puede decir que tienen altas eficiencias energéticas, por la buena implementación de medidas de ahorro, tanto activas como pasivas.

Para el proyecto 7 se puede observar que el índice de consumo es bastante bajo (34.85 kWh/m²-año) frente a la línea base nacional; (Tabla 5) 187.8 kWh/m²-año, lo cual daría un ahorro de 81,45% aproximadamente, frente 42,82% que se

registra teniendo en cuenta la línea base propuesta al momento de la certificación LEED. Esto quiere decir que para este proyecto se obtienen mayores ahorros con LEED que con la Resolución 0549.

7. CONCLUSIONES

- En términos generales puede concluirse que tanto la certificación LEED como la Resolución 0549 tienen gran impacto en la eficiencia energética (para ambos lineamientos hay proyectos con más del 50% de ahorro en los casos estudiados), pero la certificación LEED da un enfoque más global, pues aborda estrategias para el uso de energías limpias, eliminación del CFC y autogeneración, las cuales no solo llevan al ahorro energético, sino también a reducir la huella de carbono, a conservar la capa de ozono y por tanto a luchar contra el calentamiento global.
- Es posible que proyectos con certificación LEED presenten menor porcentaje de ahorro que aquellos donde se implementa la Resolución 0549 de 2015, porque la certificación LEED tiene en cuenta otros aspectos que también impactan el medio ambiente. Sin embargo una construcción con menos del 20% en ahorro energético puede ser certificada como el caso del proyecto 8, que cumple con los créditos exigidos para tal fin.
- En cuanto a los casos de estudio consultados para proyectos basados en la Resolución 0549 de 2015, los resultados obtenidos son motivantes, dado que el porcentaje de ahorro es superior a lo exigido. Esto se debe en gran medida al uso de luminarias eficientes y a la inexistencia de un sistema de aire acondicionado o calefacción, además del compromiso de las empresas constructoras por hacer sinergia con el medio ambiente. Cabe destacar que a pesar del poco tiempo de funcionamiento de la Resolución 0549, estos buenos resultados son producto de estrategias de construcción sostenible que se venían desarrollando en el país con anterioridad.

- A pesar de lo anterior, se observa también que la línea base de la Resolución 549 hace un esfuerzo por tratar de mejorar la eficiencia de las edificaciones, sin embargo aún es muy laxa debido a que no exige un compromiso importante de constructores y proveedores al momento de construir los inmuebles y seleccionar los equipos de consumo que éstos utilizan para su funcionamiento. Asimismo, la Resolución 549 es débil en su exigencia de cumplimiento, dado que los proyectos se certificarán mediante las curadurías urbanas, quienes tienen facultades para evaluar el proyecto en diseño, pero que en muchas ocasiones no verifican que lo construido se ajuste a lo licenciado, lo cual permitirá que muchas de las medidas se queden sobre el papel, en contraste a lo que sucede en la certificación LEED, pues ésta se emite por medio de una autoridad avalada por el USGBC, además de que todas las mediciones que soportan los ahorros deben cargarse en el sitio web de dicha entidad.

8. RECOMENDACIONES

- La principal recomendación es que para próximos trabajos se deben comparar las dos estrategias (certificación LEED y Resolución 0549) mediante modelamiento de proyectos de construcción que tengan el mismo tipo de uso y sean desarrollados en iguales condiciones ambientales.
- Colombia debe empezar a involucrar más créditos de la certificación LEED a su marco legal-constitucional, para que no solo se logre eficiencia en agua y energía, sino que también se promueva el uso de materiales y entornos más sostenibles.
- Fomentar el uso de energías renovables y auto-generación en proyectos nuevos de construcción a través de incentivos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IEA. (2016, Diciembre) International Energy Agency. [Online]. <http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/>
- [2] MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. (2015, Julio) RESOLUCIÓN 0549 DEL 10 DE JULIO DE 2015. [Online]. <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesVivienda/0549%20-%202015.pdf>
- [3] Unidad de Planeación Minero Energética, UPME. (2016, Junio) Proyección de Demanda de Energía Eléctrica y Potencia Máxima en Colombia. [Online]. http://www.siel.gov.co/siel/documentos/documentacion/Demanda/UPME_Proyeccion_Demanda_Energia_Electrica_Junio_2016.pdf
- [4] Vattenfall's Energy Portfolio and European Energy System. (2011, Febrero) Six Sources of Energy - One Energy System. [Online]. https://corporate.vattenfall.co.uk/globalassets/uk/about-us/six_sources_of_energy_one_energy_system.pdf
- [5] National Geographic. (2016, Diciembre) National Geographic - ¿Qué es el calentamiento global? [Online]. <http://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/calentamiento-global/calentamiento-global-definicion>
- [6] Juan José Castillo. (2016) El valor agregado de la energía limpia. [Online]. http://www.schneider-electric.com.co/documents/local/El_valor_agregado_de_la_energia_limpia.pdf
- [7] Marien Portilla and Cristian Pérez, *ELABORACIÓN DE UN PROGRAMA DE USO RACIONAL Y EFICIENTE DE LA ENERGÍA (URE) PARA LA FUNDACIÓN COLEGIO UIS (Tesis de Pregrado)*. Bucaramanga: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, 2013.
- [8] CCCS. (2016, Diciembre) Consejo Colombiano de Construcción Sostenible.

[Online]. <https://www.cccs.org.co>

- [9] Jorge Mario Susunaga Monroy, *CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE, UNA ALTERNATIVA PARA LA EDIFICACIÓN DE VIVIENDAS DE INTERES SOCIAL Y PRIORITARIO (Trabajo de Especialización)*. Bogotá: UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA, 2014.
- [10] Pere Alavedra, Javier Dominguez, Engracia Gonzalo, and Javier Serra. (1998, Enero) Ciudades para un Futuro más Sostenible. [Online]. <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n4/apala.html>
- [11] Laura Viviana Pinilla Fajardo, *APLICACIÓN WEB DE PROVEEDORES DE MATERIALES Y TECNOLOGÍAS DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE EN BOGOTÁ (Tesis de Pregrado)*. Bogotá: PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA, 2014.
- [12] Unidad de Planeación Minero Energética - UPME, "Consortio Bariloche - BRP, Consultoría para la Formulación Estratégica del Plan de Uso Racional de Energía y de Fuentes No Convencionales de Energía 2007-2025," Bogotá D.C, 2007.
- [13] Omar PRIAS and Omar Fredy Prias Caicedo. (2010, Abril) PROGRAMA DE USO RACIONAL Y EFICIENTE DE ENERGÍA Y FUENTES NO CONVENCIONALES - PROURE. [Online]. https://www.minminas.gov.co/documents/10180/558752/Informe_Final_Consultoria_Plan_de_accion_Proure.pdf/e8cdf796-d7b1-4bb1-90b9-e756c7f48347
- [14] Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2015, Julio) Anexo 1: Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones. [Online]. <http://www.andesco.org.co/images/Camaras/medioambiente/1.Anexo1-GuiadeConstruccionSostenibleparaalahorrodeaguayenerg%C3%ADaenedificaciones.pdf>

- [15] CAMACOL. (2016, Mayo) Aplicación de la resolución de Construcción sostenible. [Online]. http://camacol.co/sites/default/files/IT-Reglamentos/Presentacion_Taller_Construccionsostenible2016.pdf
- [16] Corpoema. Sercon, "Guía para el consumo consciente, racional y eficiente de la energía. Sector hotelero, comercial e institucional. Zonas cálidas tropicales de Colombia," Bogotá, 2014.
- [17] Lynette Vanessa Chavarría Silva, *IMPACTO TÉCNICO - ECONÓMICO DE LA APLICACIÓN DE LOS PARÁMETROS Y LINEAMIENTOS DE LA GUÍA DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE PARA EL AHORRO DE AGUA Y ENERGÍA EN EDIFICACIONES TIPO VIS EN BOGOTÁ D.C. Y ALREDEDORES (Tesis de Maestría)*. Bogotá: Universidad de los Andes, 2016.
- [18] Mario Leandro Castro, *IMPACTO Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DEBIDO A LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS MÉTODOS DE SOSTENIBILIDAD PRESCRIPTIVOS Y DE DESEMPEÑO MENCIONADOS EN LA RESOLUCIÓN NO. 549 DE 2015; EN PROYECTOS INMOBILIARIOS DE ESTRATO 3 Y 4 EN BOGOTÁ (Tesis de Maestría)*. Bogotá: Universidad de los Andes, 2016.
- [19] Appu Haapio and Pertti Viitaniemi, "A critical review of building environmental assessment tools," *Environmental Impact Assessment Review*, pp. 469-482, 2008.
- [20] J J Cardenas, G Gallego, A Escobar, A Trejos, and M Pérez, "Diagnostic Methodology based on LEED System for Energy and Environmental Evaluation of Healthcare Facilities," in *PAN AMERICAN HEALTH CARE EXCHANGES (PAHCE). CONFERENCE, WORKSHOPS, AND EXHIBITS*, Medellín, 2013.
- [21] Maira López and Ivonne Ruiz, *ANÁLISIS ENERGÉTICO DEL EDIFICIO DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES SEGÚN LINEAMIENTOS*

DEL SISTEMA DE CERTIFICACIÓN LEED A PARTIR DEL USO DE LA HERRAMIENTA AUTODESK ECOTECH ANALYSIS (Tesis de pregrado).

Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2012.

- [22] LEGRAND. (2015, DICIEMBRE) Sistemas de Potencia en Instalaciones Eléctricas, dentro de los conceptos de Eficiencia Energética y Sostenibilidad. [Online]. <http://www.voltimum.com.co/archivo-webinars/sistemas-potencia-instalaciones-electricas-dentro-concept>
- [23] U.S. Green Building Council, *LEED Reference Guide for Building Design and Construction*. Washington: U.S. Green Building Council, 2013.
- [24] U.S. Green Building Council, *USGBC LEED Green Associate Study Guide*. Washington: U.S. Green Building Council, 2009.
- [25] Julian Andrés Buendía López, *Análisis del sistema de certificación LEED v4 con base a las prioridades y necesidades actuales en materia de sostenibilidad, del sector Colombiano de la Construcción (Tesis de Maestría)*. Bogotá: Universidad de los Andes, 2013.
- [26] BSR/ASHRAE/IES standard 202P, "Commissioning Process for Building and Systems," Atlanta, 2012.
- [27] U.S. Green Building Council, *LEED v4 for BUILDING DESIGN AND CONSTRUCTION*. Washington: U.S. Green Building Council, 2014.
- [28] Juan Esteban Alis Restrepo, *Metodología para la evaluación energética de edificios comerciales en Colombia basados en estándares y normas internacionales (Tesis de Maestría)*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2014.
- [29] American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), *Advanced Energy Design Guide for Medium to Big Box Retail Buildings Achieving 50% Energy Savings*. Atlanta: ASHRAE, 2011.
- [30] Secretaría Nacional de Energía de Panamá. (2016, Diciembre) Guía de construcción sostenible para el ahorro de energía en edificaciones. [Online].

http://www.energia.gob.pa/tmp/file/478/GUIA_DISENO_Version_Final_Noviembre_2016.pdf

- [31] Óscar Ribero, Deisy Garzón, Yezid Alvarado, and Isabel Gasch, "Beneficios económicos de la certificación LEED. Edificio Centro Ático: caso de estudio," *Revista Ingeniería de Construcción RIC*, pp. PAG 139-146, 2016.
- [32] Maria Carolina Mayorga Calderón, *Evaluación de la operación de edificaciones certificadas LEED (Tesis de Pregrado)*. Bogotá: Universidad de los Andes, 2015.
- [33] Diana Jimena Arévalo Parga. (2013, Noviembre) Repositorio Institucional UMNG. [Online]. <http://hdl.handle.net/10654/10830>
- [34] U.S. GREEN BUILDING COUNCIL. (2015, Diciembre) LEED. [Online]. <http://www.usgbc.org/LEED>
- [35] ARGOS. (2015, July) ABC del reglamento colombiano de construcción sostenible. [Online]. <http://grandesrealidades.argos.co/abc-del-reglamento-colombiano-de-construccion-sostenible/>
- [36] Carlos Mauricio Bedoya Montoya, *Construcción sostenible: Para volver al camino*. Medellín: Biblioteca Jurídica Diké, Mares Consultoría Sostenible, 2011.
- [37] Juliana Bonilla Ruíz, Laura Andrea Cadena Sanchez, and Verónica García González, *INSTITUCIONES EDUCATIVAS SUSTENTABLES EN COLOMBIA CASO DE ESTUDIO COLEGIO ROCHESTER (Tesis de Pregrado)*. Bogotá: Universidad del Rosario, 2015.
- [38] Gina Alejandra Cabas Rosado and Maria Camila Garrido Barcenas, *ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS PARA UN PROYECTO DE HOTEL Y OFICINAS LEED CERTIFICADO 3.0-2009 EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ (Tesis de Pregrado)*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2011.
- [39] CCCS. (2014, Agosto) ESTUDIO DE CASO: EDIFICIO ADMINISTRATIVO: BAVARIA-SAB MILLER. [Online].

<https://www.cccs.org.co/wp/?s=edificio+sab+miller>

- [40] Consorcio Bariloche - BRP. (2007, Junio) Consultoría para la Formulación Estratégica del Plan de Uso Racional de Energía y de Fuentes No Convencionales de Energía 2007-2025. [Online]. <http://www.simec.gov.co/Portals/0/Documental/bases%20programa%20URE.pdf>
- [41] Green Building Council Chile. (2012, Noviembre) Documento de Análisis LEED. [Online]. <http://www.chilegbc.cl/user/estudios/EA.pdf>
- [42] A. JOYA, *IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS DE USO EFICIENTE Y AHORRO DE AGUA DE LOS ESQUEMAS DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE LEED, BREEAM Y GREEN STAR PARA VIVIENDAS RESIDENCIALES NUEVAS EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ (Tesis de Pregrado)*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2014.
- [43] Kenneth R Leitch, Christopher Koop, and Miles Messer, "Green Construction in Civil Engineering Instruction," Oklahoma City, 2013.
- [44] Cristian Guillermo Martínez López, *APROXIMACIÓN A UN MODELO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DESDE EL DISEÑO DE PROYECTOS VISS CON UN ENFOQUE DE CICLO DE VIDA (CV). ESTUDIO DE CASO EN UN PROYECTO VISS (Tesis de Maestría)*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2016.
- [45] M. MONTOYA, *PROPUESTA DE MEJORAS PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS SOSTENIBLES CON BASE EN MODELOS DE INTEGRACIÓN PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN PYMES COLOMBIANAS AFINES A LA CONSTRUCCIÓN (Tesis de Maestría)*. Bogotá: Universidad de los Andes, 2015.
- [46] Fuller Sieglinde. (2016, Septiembre) LIFE-CYCLE COST ANALYSIS (LCCA). [Online]. <http://www.wbdg.org/resources/life-cycle-cost-analysis-lcca?r=blcc>
- [47] U.S Green Building Council. (2017, Enero) LEED v4 Interior Design and

Construction. [Online]. <http://www.usgbc.org/resources/leed-v4-interior-design-and-construction-current-version>

BIBLIOGRAFÍA

ALIS RESTREPO Juan Esteban, Metodología para la evaluación energética de edificios comerciales en Colombia basados en estándares y normas internacionales (Tesis de Maestría). Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2014.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE), Advanced Energy Design Guide for Medium to Big Box Retail Buildings Achieving 50% Energy Savings. Atlanta: ASHRAE, 2011.

APPU HAAPIO AND PERTTI VIITANIEMI, "A critical review of building environmental assessment tools," Environmental Impact Assessment Review, pp. 469-482, 2008.

ARÉVALO PARGA Diana Jimena. Repositorio Institucional UMNG [en línea] disponible en: <http://hdl.handle.net/10654/10830>

ARGOS. ABC del reglamento colombiano de construcción sostenible. [en línea] disponible en: <http://grandesrealidades.argos.co/abc-del-reglamento-colombiano-de-construccion-sostenible/>

BEDOYA MONTOYA Carlos Mauricio, Construcción sostenible: Para volver al camino. Medellín: Biblioteca Jurídica Diké, Mares Consultoría Sostenible, 2011.

BONILLA RUÍZ Juliana, CADENA SANCHEZ Laura Andrea, and GARCÍA GONZÁLEZ Verónica, Instituciones educativas sustentables en Colombia caso de

estudio colegio Rochester (Tesis de Pregrado). Bogotá: Universidad del Rosario, 2015.

BSR/ASHRAE/IES standard 202P, "Commissioning Process for Building and Systems," Atlanta, 2012.

BUENDÍA LÓPEZ Julian Andrés, Análisis del sistema de certificación LEED v4 con base a las prioridades y necesidades actuales en materia de sostenibilidad, del sector Colombiano de la Construcción (Tesis de Maestría). Bogotá: Universidad de los Andes, 2013.

CABAS ROSADO Gina Alejandra and GARRIDO BARCENAS Maria Camila, Análisis comparativo de costos para un proyecto de hotel y oficinas leed certificado 3.0-2009 en la ciudad de Bogotá (Tesis de Pregrado). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2011.

CAMACOL. Aplicación de la resolución de Construcción sostenible. [en línea] disponible en:http://camacol.co/sites/default/files/IT-Reglamentos/Presentacion_Taller_Construccionsostenible2016.pdf

CARDENAS J J, GALLEGO G, ESCOBAR A, TREJOS A, and PÉREZ M, "Diagnostic Methodology based on LEED System for Energy and Environmental Evaluation of Healthcare Facilities," in PAN AMERICAN HEALTH CARE EXCHANGES (PAHCE). CONFERENCE, WORKSHOPS, AND EXHIBITS, Medellín, 2013.

CASTILLO Juan José. El valor agregado de la energía limpia. [en línea] disponible en:http://www.schneider-electric.com.co/documents/local/EI_valor_agregado_de_la_energia_limpia.pdf

CASTRO Mario Leandro, Impacto y evaluación económica debido a la implementación de los métodos de sostenibilidad prescriptivos y de desempeño mencionados en la resolución no. 549 de 2015; en proyectos inmobiliarios de estrato 3 y 4 en Bogotá (Tesis de Maestría). Bogotá: Universidad de los Andes, 2016.

CCCS. Consejo Colombiano de Construcción Sostenible. [en línea] disponible en:<https://www.cccs.org.co>

CCCS. Estudio de caso: edificio administrativo: bavaria-sab miller. 2014, Agosto [en línea] disponible en:<https://www.cccs.org.co/wp/?s=edificio+sab+miller>

CHAVARRÍA SILVA Lynette Vanessa, Impacto técnico - económico de la aplicación de los parámetros y lineamientos de la guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones tipo vis en Bogotá D.C. y alrededores (Tesis de Maestría). Bogotá: Universidad de los Andes, 2016.

CONSORCIO BARILOCHE - BRP. () Consultoría para la Formulación Estratégica del Plan de Uso Racional de Energía y de Fuentes No Convencionales de Energía 2007-2025. 2007, Junio [en línea] disponible en:<http://www.simec.gov.co/Portals/0/Documental/bases%20programa%20URE.pdf>

CORPOEMA. SERCON, "Guía para el consumo consciente, racional y eficiente de la energía. Sector hotelero, comercial e institucional. Zonas cálidas tropicales de Colombia," Bogotá, 2014.

FULLER SIEGLINDE. LIFE-CYCLE COST ANALYSIS (LCCA). 2016, Septiembre [en línea] disponible en:<http://www.wbdg.org/resources/life-cycle-cost-analysis->

lcca?r=blcc

GREEN BUILDING COUNCIL CHILE. Documento de Análisis 2012, Noviembre LEED. [en línea] disponible en: <http://www.chilegbc.cl/user/estudios/EA.pdf>

IEA. International Energy Agency. [en línea] disponible en:<http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/>

JOYA A., Implementación de herramientas de uso eficiente y ahorro de agua de los esquemas de construcción sostenible leed, breeam y green star para viviendas residenciales nuevas en la ciudad de Bogotá (Tesis de Pregrado). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2014.

KENNETH R LEITCH, CHRISTOPHER KOOP, AND MILES MESSER, "Green Construction in Civil Engineering Instruction," Oklahoma City, 2013.

LEGRAND. Sistemas de Potencia en Instalaciones Eléctricas, dentro de los conceptos de Eficiencia Energética y Sostenibilidad. [en línea] disponible en:<http://www.voltimum.com.co/archivo-webinars/sistemas-potencia-instalaciones-electricas-dentro-concept>

LÓPEZ Maira and RUIZ Ivonne, Análisis energético del edificio de estudios industriales y empresariales según lineamientos del sistema de certificación leed a partir del uso de la herramienta Autodesk Ecotect Analysis (Tesis de pregrado). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2012.

MARTÍNEZ LÓPEZ Cristian Guillermo, Aproximación a un modelo para la optimización de los materiales de construcción desde el diseño de proyectosviss con un enfoque de ciclo de vida (cv). estudio de caso en un proyecto VISS (Tesis de Maestría). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2016.

MAYORGA CALDERÓN Maria Carolina, Evaluación de la operación de edificaciones certificadas LEED (Tesis de Pregrado). Bogotá: Universidad de los Andes, 2015.

MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Anexo 1: Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones. [en línea] disponible en:<http://www.andesco.org.co/images/Camaras/medioambiente/1.Anexo1-GuiadeConstruccionSostenibleparaelahorrodeaguayenerg%C3%ADaenedficacion.es.pdf>

MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Resolución 0549 del 10 de julio DE 2015. [en línea] disponible en:<http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesVivienda/0549%20-%202015.pdf>

MONTOYA M., Propuesta de mejoras para el desarrollo de proyectos sostenibles con base en modelos de integración para su implementación en pymes colombianas afines a la construcción (Tesis de Maestría). Bogotá: Univerdsidad de los Andes, 2015.

NATIONAL GEOGRAPHIC. National Geographic - ¿Qué es el calentamiento global? [en línea] disponible en:<http://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/calentamiento-global/calentamiento-global-definicion>

PERE ALAVEDRA, DOMINGUEZ Javier, GONZALO Engrácia, and SERRA Javier. Ciudades para un Futuro más Sostenible. [en línea] disponible en:<http://habitat.aq.upm.es/boletin/n4/apala.html>

PINILLA FAJARDO Laura Viviana, Aplicación web de proveedores de materiales y tecnologías de construcción sostenible en Bogotá (tesis de pregrado). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2014.

PORTILLA Marien and PÉREZ Cristian, Elaboración de un programa de uso racional y eficiente de la energía (URE) para la Fundación Colegio UIS (Tesis de Pregrado). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2013.

PRIAS Omar and PRIAS CAICEDO Omar Fredy. PROGRAMA de uso racional y eficiente de energía y fuentes no convencionales - proure. [en línea] disponible en:https://www.minminas.gov.co/documents/10180/558752/Informe_Final_Consultoria_Plan_de_accion_Proure.pdf/e8cdf796-d7b1-4bb1-90b9-e756c7f48347

RIBERO Óscar, GARZÓN Deisy, ALVARADO Yezid, and GASCH Isabel, "Beneficios económicos de la certificación LEED. Edificio Centro Ático: caso de estudio," Revista Ingeniería de Construcción RIC, pp. PAG 139-146, 2016.

SECRETARÍA NACIONAL DE ENERGÍA DE PANAMÁ. Guía de construcción sostenible para el ahorro de energía en edificaciones. [en línea] disponible en:http://www.energia.gob.pa/tmp/file/478/GUIA_DISENO_Version_Final_Noviembre_2016.pdf

SUSUNAGA MONROY Jorge Mario, Construcción sostenible, una alternativa para la edificación de viviendas de interés social y prioritario (Trabajo de Especialización). Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2014.

U.S GREEN BUILDING COUNCIL. LEED v4 Interior Design and Construction. 2017, Enero [en línea] disponible en: <http://www.usgbc.org/resources/leed-v4-interior-design-and-construction-current-version>

U.S. GREEN BUILDING COUNCIL, LEED Reference Guide for Building Design and Construction. Washington: U.S. Green Building Council, 2013.

U.S. GREEN BUILDING COUNCIL, LEED v4 for BUILDING DESIGN AND CONSTRUCTION. Washington: U.S. Green Building Council, 2014.

U.S. GREEN BUILDING COUNCIL, USGBC LEED Green Associate Study Guide. Washington: U.S. Green Building Council, 2009.

U.S. GREEN BUILDING COUNCIL. LEED. [en línea] disponible en:<http://www.usgbc.org/LEED>

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME, "Consortio Bariloche - BRP, Consultoría para la Formulación Estratégica del Plan de Uso Racional de Energía y de Fuentes No Convencionales de Energía 2007-2025," Bogotá D.C, 2007.

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA, UPME Proyección de Demanda de Energía Eléctrica y Potencia Máxima en Colombia. [en línea] disponible en:
http://www.siel.gov.co/siel/documentos/documentacion/Demanda/UPME_Proyeccion_Demanda_Energia_Electrica_Junio_2016.pdf

VATTENFALL'S ENERGY PORTFOLIO AND EUROPEAN ENERGY SYSTEM. Six Sources of Energy - One Energy System. [en línea] disponible en:https://corporate.vattenfall.co.uk/globalassets/uk/about-us/six_sources_of_energy_one_energy_system.pdf