

**FACTIBILIDAD TÉCNICA DE APLICACIONES ENERGÉTICAS
PARA VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL SEGÚN EL ENFOQUE DE
VIVIENDAS *NET ZERO ENERGY***

NELLY CATHERINE BARBOSA CALDERÓN

DAVID ANDRÉS SARMIENTO NOVA



CONSTRUIMOS FUTURO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA

2013

FACTIBILIDAD TÉCNICA DE APLICACIONES ENERGÉTICAS PARA
VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL SEGÚN EL ENFOQUE DE VIVIENDAS *NET*
ZERO ENERGY

NELLY CATHERINE BARBOSA CALDERÓN

DAVID ANDRÉS SARMIENTO NOVA

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO
ELECTRICISTA

DIRECTOR:

M.Sc. GERMÁN ALFONSO OSMA PINTO

CO-DIRECTOR:

PhD. GABRIEL ORDÓÑEZ PLATA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS

ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES

BUCARAMANGA

2013

AGRADECIMIENTOS

Germán, Gabriel, Pedro Pablo y todos los que con su disposición, colaboración y ayuda constante hicieron posible la realización del presente trabajo de grado, les agradecemos de corazón y que Dios los bendiga.

David y Nelly

DEDICATÓRIA

Para Deus, meu namorado e minha família.

David Andrés Sarmiento Nova

A Dios por su infinita misericordia y amor.

A mis padres Nelly y Robiel, por ser mi mayor estímulo y apoyo constante, por ser la luz que me permite seguir adelante en los momentos de mayor dificultad, por brindarme sus cuidados, su dedicación, por amarme tanto y confiar en mí. Son los mejores.

A mis hermanos Rónel, Tefis y Gey por ser mis confidentes, consejeros y cómplices.

A toda mi familia, por su cariño y respeto.

A mis amigos y compañeros de universidad por la confianza depositada, los momentos disfrutados y las experiencias compartidas.

Finalmente, a todas y cada una de las personas que me enseñaron y me formaron en la academia y en la vida, este logro es para ustedes.

Nelly Catherine Barbosa Calderón

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	19
1.1 DESARROLLO SOSTENIBLE	20
1.2 EDIFICACIONES VERDES	21
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	25
1.4 DESCRIPCIÓN DEL trabajo de grado	27
1.5 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	28
2. REVISIÓN DEL ENFOQUE <i>NET ZERO ENERGY BUILDING</i> EN LA LITERATURA ACTUAL	30
2.1 DEFINICIONES COMUNES	30
2.2 TERMINOLOGÍA.....	31
2.3 METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL BALANCE ENERGÉTICO	32
2.4 INDICADORES ENERGÉTICOS	37
2.4.1 Indicador según energía eléctrica	39
2.4.2 Indicador según energía primaria	40
2.4.3 Indicadores según emisiones de CO ₂	43
2.4.4 Indicadores según costo de la energía	44
2.5 TIPO DE CONEXIÓN A LA RED ELÉCTRICA	46
3. ASPECTOS TÉCNICOS DE INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DE LAS VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL SEGÚN PISOS TÉRMICOS EN COLOMBIA.....	49
3.1 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE UNA VIS.....	49
3.1.1 Áreas utilizadas al interior de las VIS.....	50
3.1.2 Normatividad aplicable al diseño y construcción de una VIS	50
3.1.3 Terrenos.....	51
3.2 COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DEL SECTOR RESIDENCIAL EN COLOMBIA.....	51
3.2.1 Ubicación de las viviendas de interés social según el estrato socioeconómico	51

3.2.2	Comportamiento de la demanda de energía según los estratos donde posiblemente se ubican las VIS.....	53
3.3	INFLUENCIA DE LOS PISOS TÉRMICOS EN LAS POTENCIALES APLICACIONES ENERGÉTICAS ADAPTABLES EN COLOMBIA	57
3.3.1	Clasificación de los pisos térmicos por ciudades para identificar las potenciales aplicaciones energéticas en VIS.....	58
3.3.2	Potenciales aplicaciones energéticas en VIS según pisos térmicos	61
4.	APLICACIONES ENERGÉTICAS TÍPICAS DE VIVIENDAS TIPO <i>NET ZERO ENERGY</i> DE POTENCIAL APLICACIÓN EN ENTORNOS TROPICALES	68
4.1	TÉCNICAS DE DISEÑO PASIVO	68
4.2	APLICACIONES ENERGÉTICAS EFICIENTES	71
4.2.1	Calefacción y ventilación.....	71
4.2.2	Iluminación y aplicaciones domésticas misceláneas.....	73
4.2.3	Calentamiento de agua	74
4.3	GENERACIÓN DE ENERGÍA.....	75
4.3.1	Energía solar.....	76
4.3.2	Energía eólica	80
4.4	CASOS DE ESTUDIO.....	81
5.	CUANTIFICACIÓN FINANCIERA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIONES ENERGÉTICAS SOSTENIBLES REALIZABLES EN ENTORNOS TROPICALES.....	88
5.1	DIMENSIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS	88
5.1.1	Dimensionamiento de un Sistema Fotovoltaico	88
5.1.2	Dimensionamiento del Sistema Térmico Solar	92
5.1.3	Dimensionamiento de la Envoltura Térmica	93
5.1.4	Dimensionamiento de Otros Sistemas	94
5.2	CUANTIFICACIÓN FINANCIERA	95
5.3	CONSIDERACIONES	97
6.	MAPAS CONCEPTUALES SOBRE LAS VIVIENDAS TIPO <i>NET ZERO ENERGY</i> EN <i>CMAP-TOOLS</i>	100
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	106

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111
ANEXOS.....	136

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Factores asociados al desarrollo sostenible.	21
Figura 2. Esquema de un sistema con generación en sitio y conectado a la red..	32
Figura 3. Clasificación de los elementos que entran en el balance de energía primaria.....	34
Figura 4. Consumo cualitativo característico diario de un edificio con generación eléctrica solar.....	36
Figura 5. Esquema de la circulación de energía.	37
Figura 6. Modo ilustrativo de los procesos a los que se somete la energía primaria.....	41
Figura 7. Formas de conexión de una edificación construida bajo el concepto NZE.....	46
Figura 8. Número de habitantes y participación porcentual por estrato. Año 2012.	52
Figura 9. Número y porcentaje de suscriptores al servicio de energía eléctrica por estrato, para el sector residencial en Colombia. Año 2012.	54
Figura 10. Consumo anual de energía eléctrica por estrato. Sector residencial en Colombia año 2012.....	55
Figura 11. Consumo promedio mensual por usuario según el estrato. Sector residencial en Colombia año 2012.....	55
Figura 12. Pisos térmicos encontrados en el territorio colombiano.	58
Figura 13. Temperaturas promedio de cinco ciudades de Colombia.	60
Figura 14. Porcentaje de hogares que poseen aplicaciones que consumen energía eléctrica y gas. Año 2012.....	61
Figura 15. Orientación de la vivienda para el aprovechamiento de las corrientes de aire y la protección de la radiación solar.....	69
Figura 16. Esquema de funcionamiento del muro Trombe para diferentes climas.	70
Figura 17. Consumo de energía primaria en el sector residencial para países de América del Norte. Año 2010.	71
Figura 18. Etiqueta tipo de nivel de eficiencia.	73
Figura 19. Esquema de funcionamiento de un sistema de calentamiento de agua.	74
Figura 20. Tendencias, tecnologías y usos de la energía solar.	77
Figura 21. Sistemas fotovoltaicos según el tipo de conexión.....	78
Figura 22. Esquema de un sistema fotovoltaico autónomo.....	79

Figura 23. Rangos de temperatura en aplicaciones y usos de la energía solar térmica.	80
Figura 24. Los diferentes NZEB distribuidos en el mundo.	81
Figura 25. Clasificación de los 300 edificios construidos bajo el concepto NZEB.	83
Figura 26. Construcciones tipo NZE que tienen aplicaciones pasivas.	85
Figura 27. Construcciones tipo NZE que tienen aplicaciones activas y eficientes.	86
Figura 28. Construcciones tipo NZE que tienen generación en sitio.	86
Figura 29. Orientación de la vivienda según el clima de la ubicación.	93
Figura 30. Flujo de caja para el caso de una VIS en clima cálido con un sistema de gran capacidad, en millones de pesos.	96
Figura 31. Inicio del software en <i>Windows</i>	101
Figura 32. Ingreso a la carpeta que contiene los mapas conceptuales.	101
Figura 33. Mapa conceptual principal.	102
Figura 34. Enlaces del mapa conceptual principal.	102
Figura 35. Opciones del enlace del mapa conceptual principal.	103
Figura 36. Definiciones NZE según indicador.	104
Figura 37. Definiciones comunes edificios NZE.	105

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Comparativo entre las características de una construcción convencional y una construcción verde.....	22
Tabla 2. Proyectos edilicios que usan estrategias de bajo consumo energético...23	
Tabla 3. Sistemas de certificación de construcciones sostenibles a nivel mundial.	24
Tabla 4. Definiciones dadas por diferentes autores de NZEB.	31
Tabla 5. Tipo de balance que se busca en cada definición de NZEB.....	37
Tabla 6. Comparación entre los tipos de NZEB.....	38
Tabla 7. Factores de energía primaria.....	42
Tabla 8. Coeficientes de emisiones de CO ₂	43
Tabla 9. Resultados del ejercicio propuesto.	45
Tabla 10. Ventajas y desventajas de cada tipo de conexión.	48
Tabla 11. Ejemplos de distribución de áreas en VIS construidas en Colombia.	50
Tabla 12. Ingreso promedio mensual por hogar. Año 2012.....	53
Tabla 13. Resumen del consumo de energía eléctrica promedio y número de usuarios. Año 2012.	57
Tabla 14. Distribución de áreas operativas del IDEAM.	59
Tabla 15. Factores geográficos y climatológicos de cinco ciudades colombianas.60	
Tabla 16. Posibles cargas que demandan energía en una vivienda de interés social.....	62
Tabla 17. Materiales de construcción recomendados en VIS.....	63
Tabla 18. Comparación entre sistemas convencionales y eficientes posiblemente encontrados en una vivienda.	65
Tabla 19. Consumo de energía mensual de una VIS convencional en clima templado.	66
Tabla 20. Costo mensual de energía eléctrica para una VIS en diferentes climas y estratos.	66
Tabla 21. Aplicaciones de energías renovables según la capacidad instalada y el sitio de generación.....	75
Tabla 22. Descripción de las opciones para el suministro de energía <i>on-site</i> y <i>off-site</i>	75
Tabla 23. Promedio mensual de radiación solar global uniforme, para las diferentes zonas del país.	77
Tabla 24. Resultados de un estudio de fiabilidad de un sistema fotovoltaico aislado [107].....	78
Tabla 25. Casos de estudio de edificaciones residenciales tipo NZE.....	83

Tabla 26. Carga instalada según el piso térmico.....	90
Tabla 27. Demanda de energía para cada piso térmico.....	90
Tabla 28. Insolación promedio y horas equivalentes para cada escenario climático.	91
Tabla 29. Datos técnicos del panel fotovoltaico.....	91
Tabla 30. Datos técnicos de la batería HuP Solar One.	91
Tabla 31. Datos técnicos del inversor.....	92
Tabla 32. Resultados del dimensionamiento de un sistema fotovoltaico.....	92
Tabla 33. Costo de inversión de la implementación de un sistema solar fotovoltaico en millones de pesos.	96
Tabla 34. Indicadores económicos en la cuantificación financiera de aplicaciones energéticas de una VIS con criterio de diseño NZE.....	97

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. EJEMPLO DE CÁLCULO DE BALANCE.....	120
ANEXO B. DATOS CLIMATOLÓGICOS DE CINCO CIUDADES DE COLOMBIA.....	124
ANEXO C. VALORES DE TEMPERATURAS PREDOMINANTES EN CADA DEPARTAMENTO.....	126
ANEXO D. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	129
ANEXO E. DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICO.....	133
ANEXO F. FLUJO DE CAJA PARA LAS APLICACIONES ENERGÉTICAS DIMENSIONADAS.....	139

RESUMEN

TITULO: Factibilidad técnica de aplicaciones energéticas para viviendas de interés social según el enfoque de viviendas *Net Zero Energy*.¹

AUTORES: NELLY CATHERINE BARBOSA CALDERÓN, DAVID ANDRÉS SARMIENTO NOVA.²

PALABRAS CLAVES: NZEB, Balance NZEB, emisiones CO₂, generación *on-site*, *on-grid*, *off-grid*, aplicaciones eficientes, aplicaciones pasivas.

DESCRIPCIÓN: Actualmente, la mayoría de diseñadores de edificaciones (arquitectos e ingenieros) desconocen lineamientos de construcción verde, como aquellos característicos de viviendas tipo *Net Zero Energy*, a partir de los cuales se lograría un menor consumo energético de la red eléctrica, siendo tal beneficio significativo en Colombia si pudiese ser aplicado masivamente en proyectos de viviendas de interés social - VIS en el largo plazo.

Por ello, este trabajo de grado tiene como objeto realizar una búsqueda de información relacionada con viviendas tipo *Net Zero Energy*, a partir de una intensa revisión bibliográfica en bases de datos, que permita realizar una descripción de generalidades y comportamiento energético de ese tipo de viviendas; asimismo, identificar las aplicaciones URE características y el impacto energético producido.

Posteriormente, se establecerá el nivel de potencial implementación de las aplicaciones URE identificadas, que puedan mejorar el comportamiento energético de VIS; tal análisis se realizará desde un enfoque de factibilidad técnica.

Además, se busca cuantificar los costos asociados a las posibles aplicaciones energéticas sostenibles implementadas en viviendas de interés social ubicadas en entornos tropicales. Por otra parte, en futuros trabajos de investigación del grupo GISEL (pregrado y posgrado) se continuará la investigación y el desarrollo de temas afines al enfoque NZE en viviendas de interés social.

¹ Trabajo de grado.

² Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: M.Sc. Germán Alfonso Osma Pinto. Codirector: PhD. Gabriel Ordóñez Plata

ABSTRACT

TITLE: TECHNICAL FEASIBILITY OF ENERGETIC APPLIANCES FOR SOCIAL DWELLING BY THE NET ZERO ENERGY BUILDING APPROACH.³

AUTHORS: NELLY CATHERINE BARBOSA CALDERÓN, DAVID ANDRÉS SARMIENTO NOVA.⁴

KEYWORDS: NZEB, NZEB Balance, emission, site, source, on-grid, off-grid, energy efficient appliances, passive applications.

DESCRIPTION: Currently, most building designers (architects and engineers) are unaware of green building guidelines, such as those characteristic of type Net Zero Energy homes, from which achieve lower power consumption of the grid, being such benefit significant in Colombia, if it could be applied massively in projects related to *Viviendas de Interés Social* –VIS in the long run.

Therefore, this degree work aims to research information related to Net Zero Energy house type, from an intensive literature databases review (IEEE, ELSEVIER), which shall provide a description of general and energy behavior of such homes; also identify URE application characteristics and the energetic impact produced.

Subsequently, would be set the level of potential implementation of these URE application identified, that may improve the energetic performance of a VIS, such analysis will be conducted from the perspective of technical feasibility.

In addition, this work aims to quantify the potential costs associated with sustainable energy applications implemented in social housing located in tropical environments. Moreover, in future (undergraduate and graduate) degree works the research group GISEL, will continue researching and development related to approach issues that NZE in social housing.

³ Degree Work

⁴ Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: M.Sc. Germán Alfonso Osma Pinto. Codirector: PhD. Gabriel Ordóñez Plata.

1. INTRODUCCIÓN

En Colombia, desde el CENSO de 2005 se registró un déficit habitacional expresado mediante una cifra cercana a los 3,8 millones de hogares sin vivienda digna; ya sea porque carecen de ella, no tienen acceso a servicios públicos o necesitan una vivienda nueva a razón de la inestabilidad en la estructura de la vivienda o viven en condición de hacinamiento [1].

Esto representa un problema social que se ha convertido en un reto para los gobiernos nacional, departamentales y locales; razón por la cual, se han definido dos tipos de viviendas orientadas a resolver problemas habitacionales de la población más vulnerable; la vivienda de interés social (VIS) y la vivienda de interés prioritario (VIP) [1].

La vivienda de interés social (VIS), es una unidad habitacional que cumple con los estándares de calidad en diseño urbanístico, arquitectónico y de construcción [2–5], cuyo valor no exceda 135 SMMLV⁵; mientras la VIP no debe exceder los 70 SMMLV. Las VIS y VIP son viviendas destinadas a los ciudadanos que devengan menos de 4 SMMLV y cuyo acceso a créditos es reducido [3].

Teniendo en cuenta que solventar el déficit de vivienda requiere de un programa de construcción masiva y sostenido por varios años, se considera que el impacto ambiental de tal iniciativa será significativo. En particular, porque las edificaciones construidas de forma tradicional son responsables de consumir aproximadamente un 40% de la energía mundial [6], el 20% de agua potable [7], generar más de un tercio de las emisiones atmosféricas, residuos contaminantes por demolición y construcción, entre otros [8].

⁵ Salario mínimo mensual legal vigente

Por tal motivo, existe la necesidad de encontrar estrategias útiles y financieramente viables, que permitan reorientar los lineamientos de diseño de edificaciones para adaptar tecnologías, a fin de que sean más amigables con el medioambiente y tengan un aporte social. De acuerdo a lo anterior, se da introducción a la definición de desarrollo sostenible aplicado a proyectos edilicios, para lo cual existen alternativas que consisten en el desarrollo de edificaciones “verdes” enfocadas a la reducción de emisiones atmosféricas, uso racional de la energía y generación alternativa de energía.

1.1 DESARROLLO SOSTENIBLE

La explotación acelerada de recursos naturales es una consecuencia del consumismo irracional de bienes y servicios no esenciales, común tanto en países desarrollados como en países en vía de desarrollo. Tales consumos son más críticos debido al crecimiento poblacional y al estilo de vida [9].

Por consiguiente, es necesario el uso de energía, agua y materiales, entre otros; los cuales en su mayoría provienen de recursos no renovables y se hace indispensable aplicar el concepto de sostenibilidad, con el fin de sensibilizar los actores del proceso productivo y de consumo de tales recursos, dando a conocer estrategias que puedan ayudar a mitigar el impacto ambiental que se ha venido presentando hace varias décadas atrás.

Algunas de las definiciones que pueden resaltarse sobre sostenibilidad y tal vez la más importante fue en el año 1987 cuando la comisión Bruntland en el documento “*Our common future*” da una definición al “desarrollo sostenible” como:

“Aquel que satisface las necesidades del presente, sin comprometer la capacidad para que las futuras generaciones puedan satisfacer sus propias necesidades” [10].

Por otra parte, una definición muy interesante que se quiere resaltar en este trabajo de grado habla de desarrollo sostenible cuando existe una relación equilibrada entre los factores sociales, económicos y ambientales, llamada la “triple rentabilidad” [11], la cual se representa en la Figura 1.

La esencia de este documento yace en resaltar un criterio de diseño de viviendas orientado a la disminución de su demanda energética, haciéndolas más amigables con el medio ambiente y económicamente viables, con un enfoque social al ser específicamente viviendas de interés social.

Figura 1. Factores asociados al desarrollo sostenible.



Fuente: (Miller & Buys 2012), (Glavič & Lukman 2007).

Sin embargo, llegado el caso de no cumplir con alguno de los factores que conforman “la triple rentabilidad”, se refieren calificaciones que describen estos tipos de relaciones como proyectos rentables, vivibles o viables.

1.2 EDIFICACIONES VERDES

Actualmente, a partir de algunos proyectos edilicios se están promoviendo criterios de reducción y uso racional de la energía acuñando nombres a este tipo de edificaciones como: “*green building*” [12], “*smart building*” [13], “*low energy building*” [14], [15] o “*sustainable building*” [16].

Las edificaciones “verdes” se caracterizan por la reducción del consumo energético y de agua, la disminución en la producción de residuos, el uso de arquitectura bioclimática, la implementación de materiales con propiedades térmicas en la construcción y la generación alternativa de energía, entre otros [12]. En la Tabla 1 se presenta una comparación de características locativas, constructivas, de saneamiento y servicios básicos, entre una construcción catalogada “verde” y una construcción tradicional. Se debe tener en cuenta que si la vivienda no tienen algunas de las características presentadas, aun así podría catalogarse “verde”.

Tabla 1. Comparativo entre las características de una construcción convencional y una construcción verde.

CARACTERÍSTICA	CONSTRUCCIÓN TRADICIONAL	CONSTRUCCIÓN VERDE
Lugar	El sitio no es específico	Se realiza un análisis del clima del lugar, la orientación de la vivienda, la disposición del terreno. Se tiene disposición de zonas verdes, acceso a transporte masivo, infraestructura urbana, ciclo rutas, entre otros.
Desechos	No se hace ningún tipo de reciclaje, ni se reduce la generación de desechos	Se reciclan y se reutilizan los escombros de las demoliciones para usarlos como aislamiento acústico y térmico.
Cimientos	Losa de hormigón armado y cemento gris, que pueden contener partículas tóxicas	Biohormigón con cal, barras de acero galvanizado o de fibras sintéticas, entre otros.
Estructura vertical	Hormigón armado y cemento gris, que pueden contener partículas tóxicas	Ladrillo macizo, termoarcilla, adobe, tapia, mampostería de piedra natural, entre otros.
Estructura horizontal	Hormigón y cemento gris	Vigas de madera certificada y biohormigón.
Sistema de saneamiento	Tubos de PVC y pegamentos tóxicos	Tubos de polipropileno y tubos cerámicos.
Baños	Inodoros tradicionales con un solo tanque de descarga desde 6 litros y mas	Inodoros secos o ahorradores de agua. Tanques con doble descarga de 4 litros y 6 litros.
Energía eléctrica	Se obtiene de fuentes no renovables como las termoeléctricas	Se genera a partir de fuentes renovables en sitio e implementan sistemas energéticos eficientes.
Aislamiento térmico y acústico	Paredes y ventanas de bajo grosor	Se construyen paredes gruesas para mantener la temperatura y evitar las pérdidas por calor. Se tiene en cuenta la arquitectura bioclimática.
Acabados	Puertas y ventanas de PVC, aluminio, hierro y madera	Materiales certificados con sello de responsabilidad ambiental.
Agua	Ningún tipo de tecnología para evitar el desperdicio	Dispositivos ahorradores, sensores y griferías economizadoras.
Agua lluvia y residual	Canalización que conduce el agua hasta las alcantarillas	Se almacena el agua lluvia y se utiliza para sanitarios y riego, se tratan las aguas residuales.
Pintura	Pinturas químicas	Pinturas ecológicas

Fuente: (Baño Nieva & Vigil- Escalera del Pozo 2005),(Castro-Lacouture et al. 2009).

Este tipo de edificaciones representa la posibilidad de ahorrar hasta el 100% de energía en las construcciones más eficientes respecto a las convencionales. Además, se considera una de las formas más rápidas y económicas para disminuir las emisiones de dióxido de carbono al ambiente [8].

En la Tabla 2 se muestran proyectos que se han desarrollado a nivel mundial y en Colombia, estas edificaciones utilizan diferentes estrategias para disminuir el consumo de energía, agua y materiales y se han llevado a cabo en viviendas de interés social, condominios, universidades, hoteles, bancos, centros comerciales, oficinas y centros deportivos.

Tabla 2. Proyectos edilicios que usan estrategias de bajo consumo energético.

PROYECTO	UBICACIÓN	APLICACIONES
Edificio E ³ T- UIS	Bucaramanga, Santander, Colombia	Uso de paneles fotovoltaicos para la generación de una parte de la energía del edificio, uso de techos verdes para mejorar la temperatura de los ambientes, tubos solares para iluminación natural, iluminación eficiente por medio de sensores.
Corporativo Insurgentes 553	Ciudad de México, México	Mejora la iluminación natural y el control de temperatura por medio de persianas exteriores y estratégica ubicación del edificio.
Edificio Lewis and Clark	Jefferson City, Missouri, EEUU	Uso de paneles solares para generar el 2,51% de su consumo de energía.
NOW HOUSE	Toronto, Ontario, Canadá	Uso de paneles solares, materiales para mejorar el aislamiento y ventanas.
Tiendas Homecenter y Constructor	Bucaramanga, Santander, Colombia	Uso de materiales reciclados, maderas certificadas, pinturas ecológicas y vidrios aislantes de calor.
Vivienda de interés social	Guarne, Antioquia, Colombia	Uso de bloques de suelo-cemento, grandes ventanales para el aprovechamiento de la luz natural
Vivienda de interés social	Palmira, Valle del Cauca, Colombia	Uso de ecocemento a base de materiales reciclados y escombros.
Centro comercial, Gran Plaza San Antonio	Pitalito, Huila, Colombia	Uso de ventilación natural, iluminación de alta eficiencia con sensores. Cuenta con un tanque de recolección de agua lluvia y en los baños tienen orinales secos y griferías economizadoras.
Escuela preescolar para la primera infancia	Timayui, Santa Marta, Magdalena, Colombia	La construcción regula su temperatura a través de un sistema de muros de fachada de alta eficiencia térmica apoyada con ventilación natural y se reciclan los residuos de la cocina para hacer compostaje usado para la zona de cultivos.
Vivienda Kubik Verde	Sopó, Cundinamarca, Colombia	Es un complejo de viviendas pasivas que cuentan con calentadores solares, cubiertas verdes, ventanería y muros dobles
Aloft Hotel Bogotá Airport. Certificación LEED Gold	Bogotá, Colombia	Cuenta con cubiertas verdes, tratamiento de aguas jabonosas y aguas lluvias, iluminación de alta eficiencia acompañada de sensores de presencia y para ventilación usa un sistema de enfriamiento evaporativo.

Centro de distribución Ecobranch AVON	Guarne, Antioquia, Colombia	Cuenta con iluminación por medio de lámparas fotovoltaicas y calentamiento de agua a través de colectores solares.
Centro deportivo de la Universidad de los Andes	Bogotá, Colombia	Implementa el uso de colectores solares y bombas de calor para el calentamiento de agua de duchas y piscinas, cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales y recolección de agua lluvia.
Ciudad verde, viviendas de interés social	Soacha, Cundinamarca, Colombia	Es un proyecto de viviendas de interés social que tiene recolección de aguas lluvias para su uso en riego, reciclaje de residuos sólidos, ciclo rutas y amplios espacios verdes.
Banco GNB Sudameris	Bogotá, Colombia	Cuenta con sistemas de iluminación de alta eficiencia, tiene un sistema de recolección de aguas lluvias y mientras su construcción recicló el 99% de los residuos.
Oficinas Bancolombia	Medellín, Antioquia, Colombia	Cuenta con un sistema de aire acondicionado eficiente piso techo, ascensores de inteligencia neuronal, recolección de aguas lluvias e iluminación natural.
Oficinas ISAGEN	Medellín, Antioquia, Colombia	Implementa el uso de muros vegetales y cuenta con un sistema de automatización y control de sistemas de iluminación, ventilación y aires acondicionados, entre otros.

Fuente: (Comisión para la cooperación ambiental. Estados Unidos México y Canadá. 2008), (Bedoya 2008) y (Consejo Colombiano de Construcción Sostenible n.d.).

Por otra parte, es importante conocer la existencia de sistemas de certificación voluntaria para evaluar que tan verde es una vivienda o edificación; sin embargo, al no obtener alguna distinción no significa que una vivienda sea o no de bajo consumo. Algunas metodologías utilizadas que proclaman medir el nivel de sostenibilidad son: LEED, BREEAM, CASBEE, VERDE, entre otros [21]. En la Tabla 3 se observa los sistemas de certificación existentes en varios países del mundo y el tipo de vivienda que buscan.

Tabla 3. Sistemas de certificación de construcciones sostenibles a nivel mundial.

PAÍS	CÓDIGO O ESTANDAR	TIPO DE VIVIENDA QUE SE BUSCA
EE.UU	LEED (<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>)	<i>Green building</i> [22].
JAPÓN	CASBEE (<i>Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency</i>)	Edificaciones confortables, eficientes y de bajo consumo [23].
BRASIL	RTQ-C " <i>The Quality Technical Regulation for Energy Efficiency in Public, Commercial and Service Buildings</i> "	Vivienda pasiva [24].
U.K	BREEAM (<i>Building Research Establishment Environmental Assessment Method</i>)	Viviendas sostenibles, eficientes y de bajo consumo [25].
ESPAÑA	GBCe VERDE (<i>Green Building Council España VERDE</i>)	<i>Green building</i> [26].

SUIZA	MINERGIE ECO (<i>The Swiss Sustainable Building Standard</i>)	<i>Passive house</i> y edificaciones NZEB [27].
ALEMANIA	DGNB (<i>Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen</i> , Sociedad Alemana para la Construcción Sostenible)	<i>Passive house</i> , usando el concepto de eficiencia energética [28].

Un caso particular de este tipo de edificaciones son las *Net Zero Energy* – NZE, que hacen referencia a un edificio eficiente energéticamente, con una marcada reducción de su demanda de energía y promueve el uso de energías limpias.

Dentro de las edificaciones NZE, se encuentran diversos enfoques de diseño que en principio se aplican buscando un mismo fin, mitigar las emisiones de CO₂ y reducir el consumo de energía en el sector residencial [29]. Los enfoques de diseño encontrados en la literatura revisada son: NZEB (*Net Zero Energy Building*) [30–32], PEB (*Possitive Energy Buiding*)[29], [33], nZEB (*nearly Zero Energy Building*) [34] y LC-ZEB (*Life Cycle Zero Energy Buildings*) [35], [36], entre otros.

Este tipo de construcción consigue disminuir el consumo de energía a través del diseño bioclimático de la construcción aprovechando al máximo la energía de forma pasiva y utilizando sistemas eficientes de iluminación, calefacción, ventilación, acondicionamiento del ambiente HVAC, (*Heating, ventilation and air conditioning*) y calentamiento de agua DHW (*Domestic Hot Water*); además, genera energía eléctrica y térmica *in situ* por medio de paneles fotovoltaicos, aerogeneradores y colectores solares [37], entre otros.

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Como se mencionó, la construcción de VIS representa una necesidad sustancial en Colombia, lo que lleva a la formulación de proyectos de construcción que al ser ejecutados de forma tradicional tienen un gran impacto medioambiental y alto consumo de recursos energéticos, durante su realización, operación, mantenimiento y disposición final.

Con el fin de mitigar tales impactos, hoy en día a nivel mundial se proponen criterios y enfoques de diseño de edificaciones de bajo consumo con el objetivo de fundar construcciones más eficientes, económicas y amigables con el medio ambiente, como lo es el criterio *Net Zero Energy*.

Desafortunadamente, en Colombia existe un desconocimiento del criterio *Net Zero Energy* como alternativa exitosa [38] de diseño de viviendas de bajo consumo; lo cual es uno de los aspectos que dificulta el emprendimiento de proyectos dirigidos a un mínimo consumo de energía eléctrica de la red.

Por otra parte, el número de profesionales, entidades educativas, industriales, comerciales etc, interesados en el desarrollo de viviendas de bajo consumo, es reducido todavía; por ende, la falta de apropiación de este tipo de criterios de diseño impide efectuar lineamientos eficientes en las edificaciones [38]; además, el apoyo gubernamental, importante factor de incentivos para impulsar el crecimiento de esta clase de proyectos es limitado [38].

Por tal razón, este documento tiene el propósito de ofrecer información que ayude a subsanar la brecha identificada. Para ello, inicialmente se aborda la revisión de conceptos y enfoques de NZEB; posteriormente, se analiza la influencia de los pisos térmicos en Colombia sobre el comportamiento energético de las viviendas. Con base en esto, se establecen consideraciones sobre las aplicaciones energéticas características de viviendas tipo NZE de potencial implementación en entornos tropicales. Finalmente, se presentan las conclusiones del trabajo realizado.

Para tal fin, la búsqueda de información a través de documentos técnicos y científicos publicados en bases de datos reconocidas es fundamental; así como, el estudio de experiencias exitosas alrededor del mundo, políticas y lineamientos vigentes en países que tienen trayectoria en la implementación del criterio *Net Zero Energy*.

1.4 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE GRADO

El propósito de este trabajo de grado es: identificar las aplicaciones energéticas características de viviendas tipo NZE (*Net Zero Energy*) de potencial implementación en viviendas de interés social.

Para su cumplimiento se desglosan los siguientes objetivos específicos:

Realizar un estado del arte sobre el comportamiento energético y las aplicaciones energéticas sostenibles características en viviendas tipo *Net Zero Energy*.

Construir mapas conceptuales que describan generalidades sobre las viviendas tipo *Net Zero Energy* utilizando la herramienta *Cmap-Tools*.

Describir aspectos técnicos de influencia en el comportamiento energético de las viviendas de interés social, según los pisos térmicos en el territorio colombiano.

Identificar aplicaciones energéticas sostenibles típicas de viviendas tipo *ZEB* de potencial aplicación en entornos tropicales.

Realizar la cuantificación financiera de la implementación de aplicaciones energéticas sostenibles realizables en entornos tropicales, según el valor de mercado en Colombia.

Los alcances de este trabajo son:

La revisión de información científica y técnica afín al tema energético, se realiza con el fin de conocer, analizar y socializar las diferentes características del enfoque NZE, y es presentado a partir de un estado del arte.

La creación de mapas conceptuales se realiza a partir de la herramienta *Cmap-tools*⁶, con el fin de presentar de manera global la descripción de las características de las viviendas tipo NZE.

La identificación de las aplicaciones energéticas características de una edificación *Net Zero Energy* se hace confrontando la demanda del usuario respecto al servicio prestado por determinada aplicación, teniendo en cuenta su adaptación en entornos tropicales. Una vez identificadas las potenciales aplicaciones energéticas sostenibles según el entorno tropical, se realizará una valoración financiera de éstas para el caso de VIS, teniendo en cuenta el mercado colombiano.

1.5 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Este trabajo de grado se ha organizado de manera que se exponga el criterio de diseño *Net Zero Energy* en un contexto técnico describiendo componentes de la metodología que abarca el desarrollo de un proyecto edilicio de este tipo enfocado a VIS ubicadas en zonas con escenarios climáticos distintos.

En el capítulo 2 se describen conceptos propios de una construcción NZE indicando, las definiciones, terminología, metodologías de balance utilizadas y tipo de conexión a la red.

En el capítulo 3 se hace un estudio de las aplicaciones características de una vivienda NZE y su adaptabilidad en una VIS teniendo en cuenta la variedad de pisos térmicos presentes en Colombia.

En el capítulo 4 se determinan las aplicaciones energéticas que podrían o no implementarse en una VIS, teniendo en cuenta las necesidades de los usuarios finales y las características propias de un clima tropical.

⁶ Software gratuito utilizado como herramienta gráfica para la elaboración de mapas conceptuales.

En el capítulo 5 se realiza el dimensionamiento de aplicaciones energéticas de potencial implementación en una VIS y se realiza su cuantificación financiera teniendo en cuenta los precios del mercado colombiano.

En el capítulo 6, se hace una explicación básica sobre el manejo de los mapas conceptuales presentados en medio magnético adjunto al presente documento.

En el capítulo 7 se presentan las conclusiones y recomendaciones pertinentes de acuerdo al trabajo de grado realizado y presentado en este documento.

2. REVISIÓN DEL ENFOQUE *NET ZERO ENERGY BUILDING* EN LA LITERATURA ACTUAL

El enfoque *NET ZERO ENERGY BUILDING* (NZEB) tiene como objeto elevar el nivel de desempeño de las edificaciones y cambiar la forma como éstas son diseñadas y construidas. La ingeniería asume cada vez más el reto de diseñar edificios de energía cero, incluso en los países no industrializados donde los cambios económicos están ocurriendo rápidamente y el consumo de energía en los hogares aumenta en un 2% al año [39].

En este capítulo se presenta una revisión bibliográfica de artículos científicos relacionados con el tema de los edificios de cero consumo de energía, esto con el fin de encontrar las diferentes metodologías y definiciones que el enfoque NZEB ha producido en todo el mundo. Cada metodología encontrada refleja un conjunto de definiciones que deben tenerse en cuenta para su entendimiento.

2.1 DEFINICIONES COMUNES

El término *Net Zero Energy Building* (NZEB) hace referencia a un edificio con un consumo neto de cero energía eléctrica; para ello, se recurre a aparatos eléctricos con altas eficiencias energéticas y se compensa el consumo energético requerido a partir de generación renovable en sitio [29], [30], [40–43].

El primer requisito que debe cumplir una vivienda para ser *NET ZERO ENERGY* (NZE), es reducir su consumo energético usando aplicaciones altamente eficientes e implementando tecnologías pasivas dentro del diseño. Como segunda medida se debe promover la producción de energía eléctrica renovable en sitio [33], [42]. Promover la producción de energía eléctrica renovable como primera medida (sin disminuir su consumo energético), requerirá de una mayor generación

en sitio para compensar el uso no eficiente de la energía, generando una mayor inversión inicial.

Varios autores se centraron en la búsqueda de una definición común para los edificios construidos bajo el concepto NZE. Estas definiciones se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Definiciones dadas por diferentes autores de NZEB.

Término	Definición	Referencia
NZE	Edificio conectado a la red que encuentra un balance cero entre la energía exportada y la energía consumida, usando la red de suministro como un sistema de almacenamiento.	[44]
	Un edificio donde, como resultado de su alto nivel de eficiencia energética, el consumo anual de energía primaria es igual o menor que la producción de energía por fuentes renovables en sitio.	[45]
LC-ZEB	Construcción donde no se consumen combustibles fósiles, y el consumo de energía eléctrica es igual a la generación de electricidad para un periodo dado. La red eléctrica es considerada como un sistema de almacenamiento, donde es posible inyectar y demandar energía.	[46], [47]
	Construcción donde la energía primaria consumida en el edificio, tanto en su tiempo de vida como en su construcción y materiales usados, es igual o menor que la energía renovable producida dentro del edificio.	[36], [35], [48]
NZEB/PEB	Se refiere a un edificio con un consumo de energía neta cero o negativo en un año típico. Esto implica que la demanda de energía para calefacción y energía eléctrica se reduce, y esta reducción de la demanda se satisface en forma anual a partir de una fuente de energía renovable.	[29], [49]

Una vivienda construida bajo el concepto NZE es vista como una solución real para disminuir las emisiones de CO₂ emitidas a la atmósfera y el consumo de energía en el sector residencial [32]; cuando los usuarios hagan uso racional de los recursos energéticos y el consumo dado sea producido por medio de aplicaciones energéticamente eficientes se cumplirá el objetivo [30], [50].

2.2 TERMINOLOGÍA

A partir de lo revisado en las referencias [48], [51–55] y con el fin de exponer las generalidades del *NZEB*, se presentan en la Figura 2 los componentes de un sistema con generación en sitio, conectado a la red y la interacción entre éstos.

Un sistema es cualquier edificación o grupo de edificaciones que consume y genera energía. Al definir la frontera de un sistema se deben tener en cuenta

aspectos como la generación *on-site* u *off-site*, determinando si la frontera abarca un sólo edificio o un grupo de edificios.

También se definen las cargas que entran en el balance energético tales como calefacción, iluminación y ventilación, y se indican las redes de energía que interactúan con el sistema. El flujo energético puede ser bidireccional, es decir, que un edificio puede recibir energía por parte de la red y en ocasiones entregar energía de nuevo a ella.

Figura 2. Esquema de un sistema con generación en sitio y conectado a la red.



2.3 METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL BALANCE ENERGÉTICO

El balance se define como un estudio comparativo de los factores que intervienen en un proceso y éste se produce compensando el consumo energético a partir de generación en sitio. El tiempo que se selecciona para realizar los

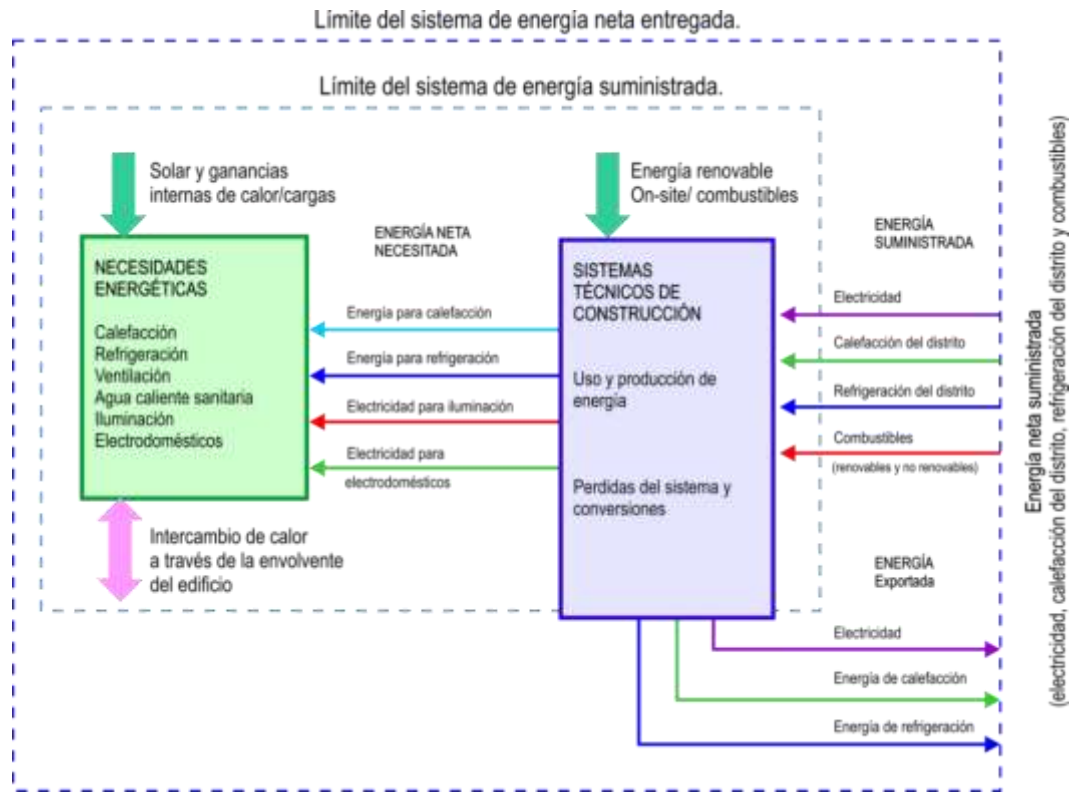
cálculos del balance energético de una edificación se denomina periodo de balance energético.

El periodo puede hacer variar de forma notable los resultados debido a la forma irregular en que se da la generación en sitio, ya que ésta depende de factores naturales como el nivel de irradiación solar y la velocidad del viento.

Algunos autores afirman que el ciclo total de vida de la edificación es el periodo más apropiado para calcular el balance energético [32], [43], pues en éste es posible incluir la energía consumida en la operación, la energía propia de los materiales de la construcción, la construcción y la demolición, para así evaluar el verdadero impacto medio ambiental causado por la edificación; sin embargo, otros autores recomiendan usar un periodo anual, teniendo en cuenta que el consumo energético de un edificio residencial se repite anualmente [56].

Para calcular el balance energético en un sistema es necesario definir fronteras energéticas, ya que a partir de éstas serán definidos los tipos de energía que entran y salen en un edificio. En la Figura 3 se describe dónde deben ir los límites energéticos en una edificación que posee generación en sitio y consume energía de las redes de suministro, mostrando de esta forma los tipos de energía que pueden ser analizados en un balance energético.

Figura 3. Clasificación de los elementos que entran en el balance de energía primaria.



En la Figura 3 la energía neta necesitada representa la demanda de energía de un edificio, esta puede ser el total de la energía demandada del edificio o simplemente la suma de las demandas energéticas de cada carga puntual de interés; normalmente se analizan las cargas más significativas en cuanto a la cantidad de energía que demanda, como lo son: la calefacción, la refrigeración, la ventilación, la iluminación y los aparatos electrodomésticos.

Se debe tener en cuenta que la energía neta necesitada se ve afectada por las ganancias o pérdidas de calor debido a la recuperación de calor interno producido por placas solares y las pérdidas de calor por bajos niveles de aislamiento [52].

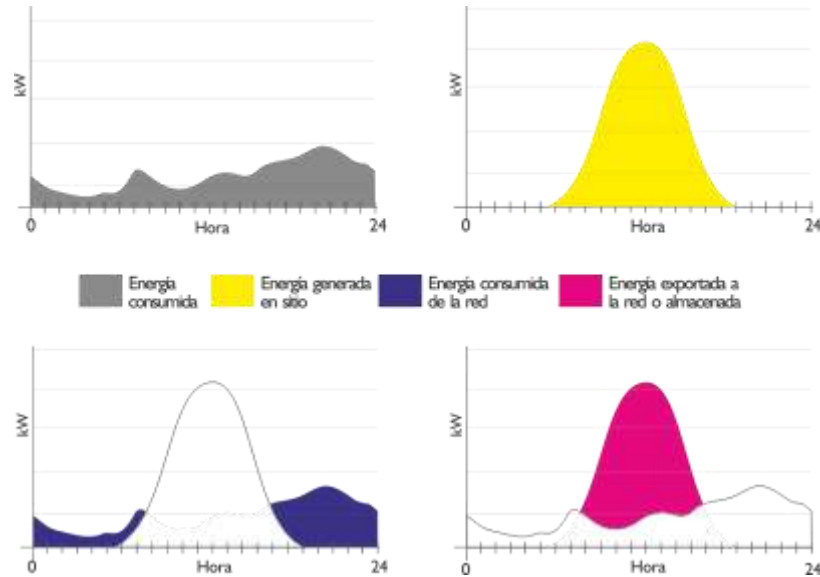
Las necesidades energéticas netas pueden ser abastecidas total o parcialmente por la producción de energía renovable en sitio y el uso de combustibles, de esta forma disminuyendo la cantidad de energía que es demandada de las redes de

suministro o produciendo en algunos casos excedentes de energía que podrían ser exportados. Los sistemas de generación en sitio no pueden disminuir la energía neta necesitada, pero si pueden reducir la suministrada, haciendo que ésta sea pequeña o cercana a cero.

El límite del sistema de energía suministrada que indica la Figura 3 encierra los flujos energéticos que se deben tener en cuenta al momento de calcular la energía total suministrada en un edificio, entre estos están: la energía eléctrica, la calefacción, la refrigeración distrital y los combustibles. El límite del sistema de energía neta entregada contiene tanto la energía suministrada como la energía exportada, y es por medio de este que se calcula un balance para viviendas tipo NZE.

En la Figura 4 se muestra la energía eléctrica que es consumida en una vivienda durante el periodo de un día; esta curva característica es la energía eléctrica neta necesitada, la cual es suministrada en algunas horas por las fuentes de generación solar fotovoltaica en sitio, por la red de suministro eléctrico o por ambas; también se muestra la curva característica de la generación en sitio durante el periodo de un día; cuando hay generación en sitio el edificio puede consumir la energía generada y dejar de consumir de la red, produciendo así un “auto-consumo”; cuando la energía generada es mayor a la consumida se exporta o almacena la energía excedente; y cuando no hay energía generada, se consume de la red.

Figura 4. Consumo cualitativo característico diario de un edificio con generación eléctrica solar.

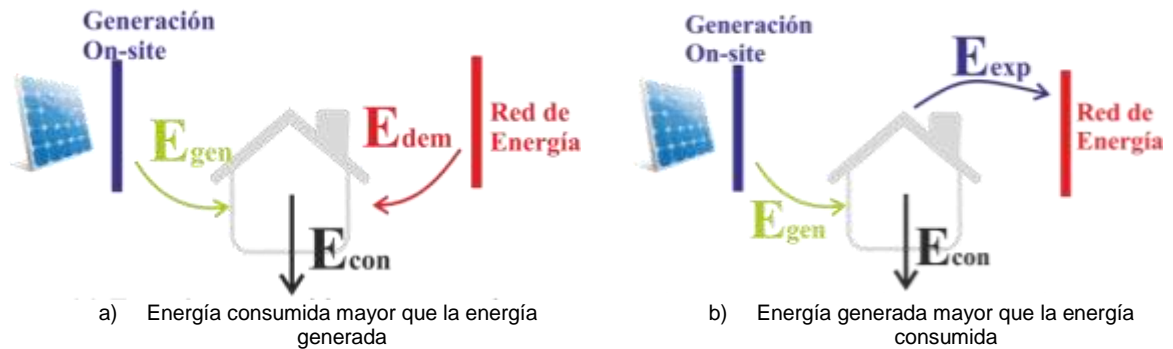


Fuente: (Hermelink 2013).

Varios autores coinciden en afirmar que el flujo bidireccional energético en las redes de suministro es una característica de gran importancia para el desarrollo de todo proyecto NZEB [29], [30], [32], [50], [58–61], ya que de esta forma, la viabilidad económica de éstos es mayor. Exportar la energía generada en sitio a la red, y demandar energía de la red en momentos donde la generada no es suficiente para suplir las necesidades, ocasiona la no dependencia de baterías o de algún otro sistema poco eficiente para el abastecimiento continuo de la energía eléctrica en un edificio.

En la Figura 5 se describe un sistema considerando a la red de suministro eléctrico como un sistema que permite el curso bidireccional de energía. En la Figura 5.a) se muestra el flujo de energía entre la red y el edificio cuando la energía consumida (E_{con}) es mayor a la energía generada como en el caso de la Figura 4 entre las 12:00 am y 8:00 am, y las 4:00 pm y 12:00 pm, haciendo que se demande energía de la red. Esto indica que no hay energía exportada como se muestra en la Ecuación (1).

Figura 5. Esquema de la circulación de energía.



$$E_{dem} = E_{con} - E_{gen} \quad (1)$$

En el caso que se muestra en la Figura 5.b), la energía consumida es menor a la generada y por esto no se demanda energía de la red, como se puede observar en la Figura 4 entre las 8:00 am y las 4:00 pm horas. No hay energía demandada como se muestra en la Ecuación 2.2.

$$E_{gen} = E_{exp} + E_{con} \quad (2)$$

2.4 INDICADORES ENERGÉTICOS

Para calcular el balance energético en un sistema es necesario definir el indicador que será estudiado; éste se escoge dependiendo de los intereses del inversionista o de los objetivos del proyecto. En la literatura actual, cuando un proyecto NZEB está enfocado en un indicador, este adquiere una denominación diferente. En la Tabla 5 se presentan las definiciones más comunes dadas por [30], [43], [48], [62], [63]; cada una se describe basándose en el tipo de balance que maneja y el indicador que la caracteriza.

Tabla 5. Tipo de balance que se busca en cada definición de NZEB.

Definición	Tipo de Balance	Indicador
Site ZEB	Balance entre la energía que se genera en sitio con la energía que se consume en la	Energía

	edificación.	eléctrica
Source ZEB	Balance entre la energía primaria que se consume en la edificación con la energía que genera en sitio.	Energía primaria
Cost ZEB	Balance entre los costos generados por el consumo de energía con los las ganancias económicas que se generan por la exportación de energía producida gracias a la generación en sitio.	Costo de energía
Emissions ZEB	Balance entre la cantidad de emisiones que se produce por el consumo de energía y la cantidad de emisiones que se deja de producir por la energía que proveniente de la generación en sitio.	Emisiones de carbono

Cada enfoque tiene factores propios que pueden llegar a ser influyentes en el momento de elegir cuál es el más conveniente para crear un prototipo de edificación NZE. En la Tabla 6 se muestran factores que cumplen (✓) y no cumplen (✗) para cada definición [30], [36], [43], [48], [62].

Tabla 6. Comparación entre los tipos de NZEB.

Factores	Site ZEB	Source ZEB	Cost ZEB	Emissions ZEB
	Genera tanta energía eléctrica como la que consume	Produce tanta energía primaria como la que consume	Produce gastos por consumo energético cercanos a cero	Genera tanta energía libre de emisiones como la que usa proveniente de fuentes no renovables
Control de demanda	✓	✗	✓	✗
Fácil de implementar	✓	✗	✓	✗
Fácil de medir	✓	✗	✓	✗
Diferencia Fuentes de energía	✗	✓	✗	✓
Tiene en cuenta contaminación	✗	✗	✗	✓
Considera costos energéticos	✗	✗	✓	✗
Necesita factores de conversión	✗	✓	✓	✓
En pro del medio ambiente	✗	✓	✗	✓

El indicador que se selecciona para calcular el balance energético de una edificación construida bajo el concepto NZE debe ser aquel que ofrezca mejores resultados teniendo en cuenta los objetivos del proyecto. A continuación se explica detalladamente en qué consiste el uso de cada indicador.

2.4.1 INDICADOR SEGÚN ENERGÍA ELÉCTRICA

Cuando el balance energético de una edificación NZE se calcula con base en la energía eléctrica, se busca igualar la cantidad de energía eléctrica que el edificio demanda (E_{dem}) con la que exporta (E_{exp}) como se indica en la Ecuación 3.

$$E_{dem} = E_{exp} \quad (3)$$

Reemplazando las ecuaciones 1 y 2 en la Ecuación 3, se obtiene:

$$E_{con} = E_{gen} \quad (4)$$

Donde la energía consumida (E_{con}) y la energía generada (E_{gen}) deben pertenecer a un mismo periodo de tiempo.

Se puede observar en la Ecuación 4 que el indicador de energía eléctrica descuida la importancia de trabajar con aparatos de altas eficiencias energéticas y simplemente incentiva cubrir el consumo energía con generación *on-site*; esto es debido a que la eficiencia en los procesos de generación, transmisión y distribución no es considerada en este enfoque; tampoco se tienen en cuenta los valores energéticos de las distintas fuentes de energía, ya que una unidad de energía eléctrica tendrá siempre el mismo valor energético si proviene de una planta que funciona a base de gas, carbón o hidráulica.

Una ventaja frente a los otros indicadores es que un balance de este tipo es fácil de verificar a través de mediciones realizadas en sitio, pues los otros indicadores necesitan de factores de conversión para determinar el balance energético.

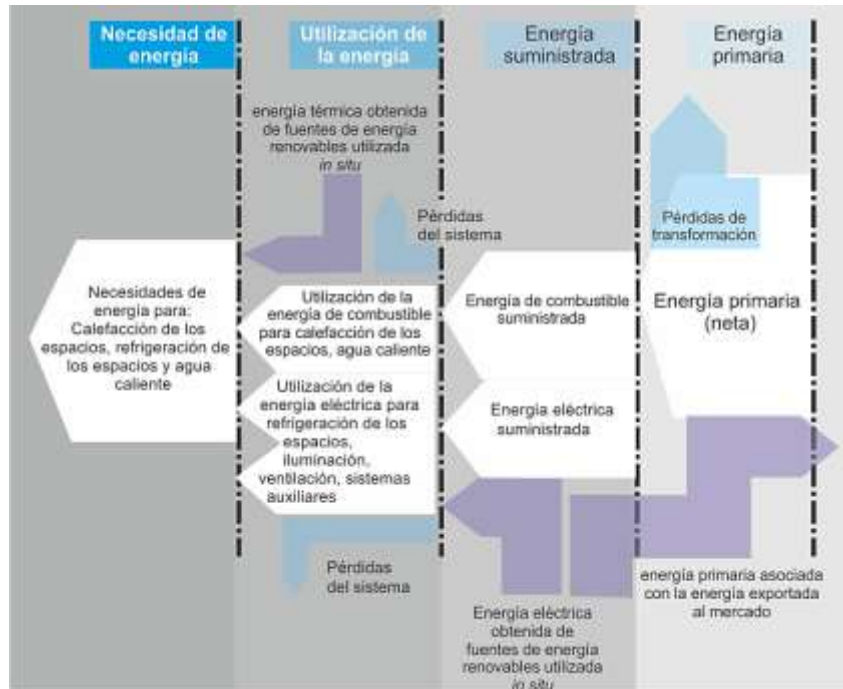
2.4.2 INDICADOR SEGÚN ENERGÍA PRIMARIA

Cuando el balance energético de una edificación NZE se calcula con base en la energía primaria, se busca igualar la cantidad de energía primaria que el edificio demanda ($E_{prim,dem}$), a la energía primaria que exporta ($E_{prim,exp}$).

Con la energía primaria se hace posible la adición de los diferentes tipos de energías (por ejemplo, electricidad, gas natural y combustibles) en los cálculos. A diferencia del indicador de energía eléctrica, este enfoque tiene en cuenta las eficiencias energéticas de los diferentes procesos de conversión y transmisión de la energía, con lo cual se considera tanto la energía que llega a las edificaciones, como la energía que se pierde en dichos procesos [32].

En la Figura 6 se muestran los procesos y pérdidas que sufre la energía primaria para llegar a ser la energía que puede ser suministrada en las edificaciones. El primer proceso al que se somete la energía primaria es la transformación, ya sea energía eléctrica, gas natural o cualquier tipo de combustible para llegar a las edificaciones la energía primaria necesita ser transformada y tiene pérdidas en el proceso. Después de llegar a las edificaciones la energía vuelve a tener otro tipo de conversión para poderse utilizar en procesos como: calefacción, refrigeración, iluminación, cocción de alimentos, etc.

Figura 6. Modo ilustrativo de los procesos a los que se somete la energía primaria.



Debido a que la generación en sitio se ubica en el campo de la energía suministrada, esta no debe ser transformada ni transportada para ser consumida, por lo que puede ser aprovechada o exportada sin pérdidas por transporte.

Con el uso del factor de energía primaria es posible incluir estas pérdidas en el proceso de balance [52], [34], [63] y obtener el costo verdadero producido por las necesidades energéticas de los edificios.

Los factores de conversión se basan en el tipo de portador de energía y poder calorífico. Según [35] se muestran los factores de energía primaria en la Tabla 7.

Tabla 7. Factores de energía primaria.

Portador de energía		Factores de energía primaria
Combustibles	Aceite combustible	1,1
	Gas natural	1,1
	Gas licuado de petróleo	1,1
	Antracita, Carbón	1,1
	Lignito	1,2
	Madera	1,2
Energía eléctrica	Electricidad de la planta de energía de carbón	4,05
	Electricidad de la planta de energía hidráulica	1,5
	Mezcla de energías eléctricas	3,31
Renovable	Energía eléctrica y térmica solar	1

Fuente: (Deutsches Institut für Normung (DIN) 2007),(European Comission and European Free Trade Association 2006).

La energía primaria neta es calculada a partir de la Ecuación 5 [64].

$$E_{prim,net} = E_{prim,del} - E_{prim,exp} \quad (5)$$

Donde,

$$E_{prim,del} = \sum (E_{del,i} f_{prim,del,i}) \quad (6)$$

$$E_{prim,exp} = \sum (E_{exp,i} f_{prim,exp,i}) \quad (7)$$

$E_{prim,del}$ es la energía primaria demandada por el sistema.

$E_{prim,exp}$ es la energía primaria exportada por el sistema.

$E_{del,i}$ es la energía entregada por la red de suministro energético i .

$E_{exp,i}$ es la energía exportada a la red de suministro energético i .

$f_{prim,del,i}$ es el factor de energía primaria para la energía entregada por la red de suministro energético i .

$f_{prim,exp,i}$ es el factor de energía primaria para la energía exportada a la red de suministro energético.

2.4.3 INDICADORES SEGÚN EMISIONES DE CO₂

El indicador de emisiones de CO₂ se utiliza para comparar las emisiones de CO₂ que se producen por el consumo de energía del sistema con las emisiones que se dejan de emitir por la producción de energía en sitio libre de emisiones. Con este indicador se busca que el sistema genere tanta energía libre de emisiones (E_{exp}), como para contrarrestar las emisiones producidas por la energía demandada por el sistema (E_{dem}).

La masa emitida de CO₂ se calcula a partir de la energía suministrada y la energía exportada para cada red de suministro de energía, como se indica en la Ecuación 8.

$$m_{CO_2} = \sum (E_{del,i} K_{del,i}) - \sum (E_{exp,i} K_{exp,i}) \quad (8)$$

Donde,

$E_{del,i}$ es la energía entregada por la red de suministro de energía i .

$E_{exp,i}$ es la energía exportada a la red de suministro de energía i .

$K_{del,i}$ es el coeficiente de emisión de CO₂ para la entrega de energía.

$K_{exp,i}$ es el coeficiente de emisión de CO₂ para la energía exportada a la red de suministro eléctrico i .

Los coeficientes para el cálculo de las emisiones de CO₂ se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Coeficientes de emisiones de CO₂.

Portador de energía	CO ₂	
	[kg/MWh]	
Combustibles	Aceite combustible	330
	Gas natural	277
	Antracita, Carbón	394
	Lignito	433
	Madera	4
Energía eléctrica	Mezcla de energías eléctricas	176
	Hidroeléctrica	7
	Termoeléctrica a gas natural	464

	Térmica a carbón	1 105
Renovable	Energía eléctrica y térmica solar	0

Fuente: (Cardona, Luis Alejandro Camargo, Maria Nohemi Arboleda n.d.; Anon 2012; International Energy Agency 2012; European Commission and European Free Trade Association 2006).

El indicador de emisiones de carbono equivalente es uno de los indicadores preferidos entre los autores [32]. La razón principal es el hecho de que a nivel mundial los debates sobre el cambio climático concluyen que existe la necesidad de reducir al máximo la emisión de gases de efecto invernadero; por otra parte, en la práctica los edificios son comúnmente evaluados y certificados en función del rendimiento energético y no en el nivel de emisiones [62].

2.4.4 INDICADORES SEGÚN COSTO DE LA ENERGÍA

El indicador costo de la energía se usa para comparar los costos que se producen por la demanda de energía de la red de suministro con las ganancias económicas producidas por la energía en sitio que se exporta. Cuando el balance energético de una edificación NZEB se calcula con base al costo de la energía, se busca que el sistema al final de cada periodo obtenga costos energéticos equivalentes a cero o ganancias económicas positivas.

Los costos se calculan a partir de las tasas de cobro para exportación y demanda suministradas por la entidad reguladora encargada. En Colombia, la tasa de cobro para demanda de energía es regulada por la CREG, mientras que la generación distribuida de energía aún no se encuentra regulada; el costo neto de la energía (Cn) se calcula como se indica en la Ecuación 9.

$$Cn = \sum (E_{del,i} C_{del,i}) - \sum (E_{exp,i} C_{exp,i}) \quad (9)$$

Donde,

$E_{del,i}$ es la energía entregada por la red de suministro de energía i .

$E_{exp,i}$ es la energía exportada a la red de suministro de energía i .

$C_{del,i}$ es el costo para la entrega de energía.

$C_{exp,i}$ es el costo para la energía exportada a la red de suministro eléctrico i .

Un edificio analizado desde el enfoque *cost ZEB* provee una comparación relativamente uniforme de los tipos de fuentes utilizados en el sitio. Sin embargo, como las tarifas de servicios pueden variar ampliamente, un edificio con eficiencia energética coherente podría cumplir con el objetivo de un *cost ZEB* en un año y no cumplirlo en el siguiente [65].

No obstante, para que en Colombia pueda existir una venta de energía por parte de los usuarios, primero se debe garantizar que exista la infraestructura técnica y legal que permita el flujo bidireccional de energía eléctrica en el sistema de distribución.

En el Anexo A se muestra un ejemplo para calcular la cantidad de energía eléctrica que se debería inyectar a la red de suministro generada por medio de fuentes renovables en sitio para producir un balance NZEB usando cada uno de los indicadores explicados anteriormente.

El ejercicio se basa en calcular la cantidad de energía eléctrica que se deben inyectar a la red para producir un balance en el periodo de un mes usando cada indicador. Para generar el balance se supone un edificio que tiene instalado un sistema de paneles solares fotovoltaicos y posee un consumo mensual de energía eléctrica y gas natural. Los resultados se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Resultados del ejercicio propuesto.

Energía consumida	Energía eléctrica		
	378 kWh	Gas natural	
	39,34 m ³		
Energía que debe ser exportada a la red	Indicador de balance	Energía eléctrica	378 kWh
		Energía primaria	523,9 kWh
		Emisiones CO ₂	1068 kWh
		Costos	1142 kWh

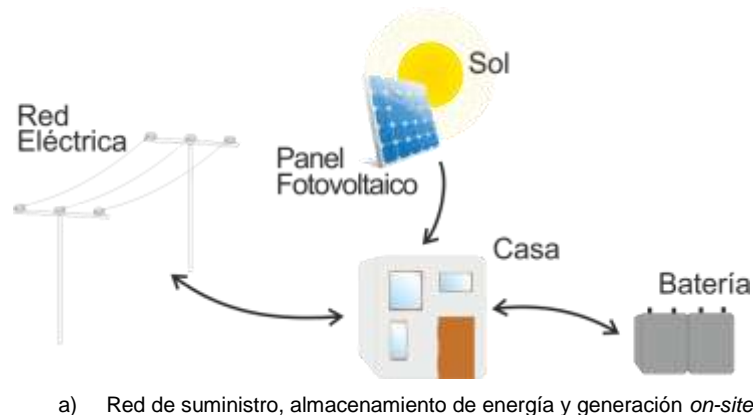
2.5 TIPO DE CONEXIÓN A LA RED ELÉCTRICA

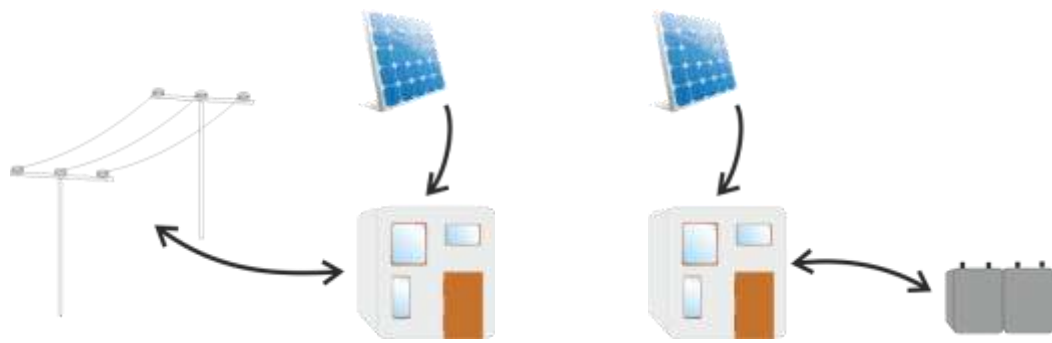
Un edificio tipo *Net Zero Energy Building* conectado o no a la red de suministro de energía eléctrica siempre será un consumidor de energía, ya sea que la energía sea producida por fuentes renovables o por la red de suministro eléctrico.

En la literatura existente es necesario identificar términos comúnmente usados como lo son *off-grid ZEB* y *on-grid ZEB* [54], ya que cada enfoque conlleva a una configuración distinta en cuanto a la conexión con la red de suministro; como principal diferencia una edificación *off-grid ZEB* no tiene conexión con las redes de suministro energético y compensa toda la energía requerida mediante la generación *on-site*, asegurando la continuidad del suministro energético por medio de baterías; el enfoque *on-site ZEB* también posee generación en sitio, pero tiene la posibilidad de comprar energía de la red y de exportarla, el uso de baterías no es necesario.

Las formas de conexión de una edificación construida bajo el concepto NZEB pueden ser tres. En la Figura 7 se muestra la descripción gráfica de los tipos de conexión.

Figura 7. Formas de conexión de una edificación construida bajo el concepto NZE.





b) Red de suministro y generación *on-site*

c) Almacenamiento de energía y generación *on-site*

En la Figura 7.a) Las fuentes renovables de energía se encargan de suplir la demanda total del edificio; cuando éstas generan más energía que la necesitada por el edificio, el excedente es enviado a las unidades almacenadoras de energía, y si éstas ya se encuentran totalmente cargadas la energía será inyectada a la red de suministro eléctrico.

En la Figura 7.b) se muestra un edificio con generación en sitio y conectado a la red de suministro eléctrico. La continuidad de energía eléctrica se garantiza por medio de la red eléctrica y la generación en sitio.

En la Figura 7.c) el edificio se encuentra conectado a la generación en sitio y a la batería; con estas características se garantiza un nivel muy alto de autonomía, la continuidad en el suministro de energía se garantiza por medio de las dos fuentes. La energía eléctrica neta consumida será suministrada por la generación en sitio. Los pros y contras de cada tipo de conexión se exponen en la Tabla 10.

- (A) Edificio conectado a la red de suministro energético, fuentes renovables de energía y a las unidades almacenadoras de energía.
- (B) Edificio conectado a la red de suministro energético y a las fuentes renovables de energía.
- (C) Edificio conectado a las fuentes renovables de energía y a las unidades almacenadoras de energía.

Tabla 10. Ventajas y desventajas de cada tipo de conexión.

Tipo de conexión	Ventajas	Desventajas	Observaciones
(A)	Se garantiza continuidad en el servicio por medio de tres fuentes distintas, brindando mayor confiabilidad.	Si el flujo bidireccional de la energía es permitido, el uso de baterías no sería necesario debido a los costos, éstas no tendrían mayor nivel de utilidad.	<ul style="list-style-type: none"> - Si la entidad reguladora no permite el flujo bidireccional de energía en las redes de suministro, será de mayor dificultad generar un balance con este tipo de conexión. - Es el tipo de conexión más recomendada en la literatura actual, debido al nivel de confiabilidad que brinda.
(B)	Menor costo debido a que no se necesita inversión en equipos de almacenamiento de energía.	No se tiene sistema de respaldo en el caso en que la red de suministro falle.	<ul style="list-style-type: none"> - Este modelo de NZEB es posible sólo si la entidad reguladora de energía permite el flujo bidireccional en las redes de suministro, de no ser así un balance sería imposible con este tipo de conexión.
(C)	Es posible para sistemas que no tienen fácil acceso a las redes de suministro de energía. Mayor nivel de autonomía.	Se necesita gran capacidad de almacenamiento de energía.	<ul style="list-style-type: none"> - Este tipo de conexión es más viable económicamente para edificios con poca posibilidad de conexión a la red de suministro; esto es debido a los altos costos de la inversión inicial causados por la gran capacidad de almacenamiento de energía requerida.

3. ASPECTOS TÉCNICOS DE INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DE LAS VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL SEGÚN PISOS TÉRMICOS EN COLOMBIA

La demanda de energía eléctrica del sector residencial en el país depende de factores socioculturales, socioeconómicos [66], políticos, climáticos (variedad de pisos térmicos) [67] y geográficos, entre otros; los cuales caracterizan la demanda de energía de una vivienda, por lo que influyen en el dimensionamiento de sistemas eficientes de energía y en la usabilidad de aplicaciones en el lugar.

El factor climático en Colombia es muy relevante debido a la diversidad de pisos térmicos existentes, cada uno con características propias como: altitud, temperatura promedio, precipitación promedio, días de lluvia, humedad relativa, brillo solar, radiación solar y velocidad del viento [68].

Por consiguiente, se pretende analizar la demanda de energía característica de una vivienda de interés social y la influencia del clima en dicho consumo debido a la variedad de pisos térmicos.

3.1 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE UNA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL

Las características básicas que describen a una VIS reflejan la importancia de alcanzar la calidad y el confort para sus habitantes cumpliendo con la reglamentación y garantizando una construcción eficiente y económica.

Por consiguiente, es importante seguir algunas sugerencias y recomendaciones generales que se hacen en [70] y [71] respecto a la distribución del área en la vivienda, normatividad vigente y disponibilidad del terreno.

3.1.1 ÁREAS UTILIZADAS AL INTERIOR DE LAS VIS

Al interior de una VIS se debe contar con espacios para que los habitantes desarrollen sus actividades normales en condiciones aceptables. En [4] se recomiendan áreas de diseño, las cuales no reemplazan los criterios del constructor o diseñador.

En la Tabla 11 se establece el área recomendada como tipo y adicionalmente se presentan ejemplos de VIS ya construidas en el país, teniendo en cuenta que no se agrega el área de los espacios de circulación como corredores y escaleras; el ejemplo 1 hace referencia al proyecto *Paseo La Feria* en la ciudad de Bucaramanga [69], el ejemplo 2 al proyecto *Las Mercedes* en El Cerrito, Valle del Cauca [70] y el ejemplo 3 se refiere a la urbanización *Lomas del Aguacatal* ubicado en Cali, Valle del Cauca [71].

Tabla 11. Ejemplos de distribución de áreas en VIS construidas en Colombia.

LUGAR	ÁREA EN m ²			
	TIPO	EJEMPLO 1	EJEMPLO 2	EJEMPLO 3
Dormitorio 1	7,00	8,40	7,00	7,26
Dormitorio 2	7,00	7,8	6,3	6,11
Cocina	3,60	2,60	4,02	3,46
Baño	2,80	2,60	4,00	2,31
Patio de ropas	1,10	4,81	-	1,45
Comedor	15,60	5,25	7,00	
Salón múltiple	14,60	7,3	8,44	12,59
Estudio	-	-	2,3	4,98
Balcón	-	-	-	1,64
Área total	51,7	38,76	39,6	39,8

3.1.2 NORMATIVIDAD APLICABLE AL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA VIS

Las normas por las cuales debe regirse un proyecto de construcción de VIS son las siguientes [5]: Reglamento de Construcciones Sismo Resistentes - NSR -10, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS 2000, Norma Técnica Colombiana - NTC 1500, Código Colombiano de Fontanería - Recomendación buenas prácticas, Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE, Reglamento Técnico

de Tuberías de Acueducto y Alcantarillado Aplicable a VIS y Reglamento Técnico de Eficiencia Energética para Vivienda de Interés Social en Proceso.

3.1.3 TERRENOS

En el proceso de elección del terreno para construir VIS se deben tener en cuenta los siguientes factores esenciales [4]: la disponibilidad de servicios públicos, el sistema de evacuación de basuras, el sistema vial, el fácil acceso a transporte público, las afectaciones geológicas, la vegetación e hidrología, el tipo de suelo, la pendiente del terreno, los focos de contaminación y los servicios comunitarios.

3.2 COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DEL SECTOR RESIDENCIAL EN COLOMBIA

El análisis del comportamiento energético de una vivienda ubicada en Colombia permite la identificación de factores a considerar para lograr un diseño energético residencial, como por ejemplo el estrato socioeconómico.

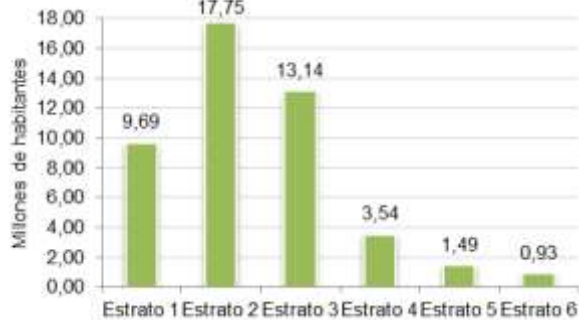
3.2.1 UBICACIÓN DE LAS VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL SEGÚN EL ESTRATO SOCIOECONÓMICO

Actualmente, en Colombia los inmuebles residenciales se clasifican en 6 estratos socioeconómicos: bajo-bajo (1), bajo (2), medio-bajo (3), medio (4), medio-alto (5) y alto (6) [72].

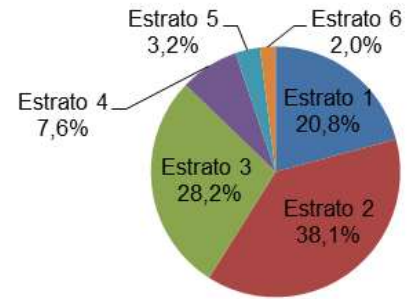
Las VIS y VIP son edificaciones destinadas a garantizar el derecho a la vivienda de los hogares con menos ingresos económicos, los cuales se ubican en los estratos 1, 2 y 3 y tienen subsidio en el cobro de los servicios públicos domiciliarios [73]. Es de resaltar que en dichos estratos se encuentra la mayor

participación de habitantes (87%) en el país como se puede apreciar en la Figura 8.

Figura 8. Número de habitantes y participación porcentual por estrato. Año 2012.



a) Número de habitantes por estrato [74], [75].



b) Porcentaje de habitantes por estrato [74].

Sin embargo, se debe tener en cuenta que las VIS son destinadas a los habitantes que tengan un ingreso mensual menor a 4 SMMLV y que no se asignan según el estrato socioeconómico [3], aunque es notoria la correlación existente. Por consiguiente, en la Tabla 12 se muestra el ingreso promedio mensual por hogar en pesos según cada estrato y se especifica a cuántos SMMLV equivale el ingreso mensual por hogar.

Debido a que no se encontró información para el año 2012, se hizo una proyección tomando los valores de ingresos presentados en [76] para el 2008 y con el índice de precios del consumidor propuesto en [77]. El valor del SMMLV para el año 2012 fue de \$ 566 700 COP [78] y el valor del dólar fue de \$ 1 798,26 COP en promedio [79].

Tabla 12. Ingreso promedio mensual por hogar. Año 2012.

Estrato	Valor en pesos [\$COP]	Valor en dólares [\$USD]	Número de salarios equivalentes
1	1 150 455	639,76	2,03
2	1 635 994	909,76	2,89
3	2 545 329	1 415,43	4,49
4	5 507 307	3 062,57	9,72
5	5 828 313	3 241,08	10,28
6	10 217 228	5 681,73	18,03

De esta manera, se puede observar que los hogares postulantes a una VIS se ubican principalmente en los estratos 1 y 2.

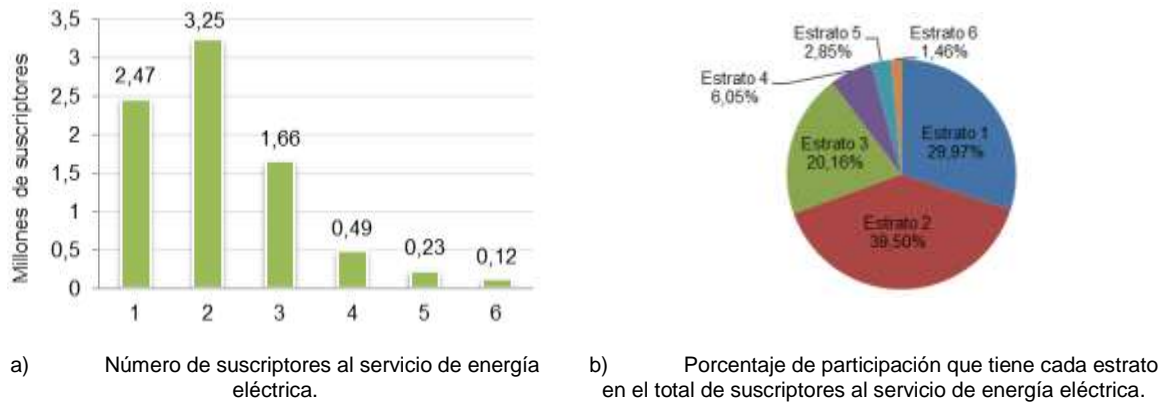
Debido a la falta de información acerca del número de habitantes por estrato para el año 2012 fue necesario realizar un análisis porcentual con base en la información encontrada de años anteriores. Los datos presentados en la Figura 8 se lograron a partir de información encontrada en [74] sobre el número de habitantes por estrato para el año 2009, logrando obtener la participación porcentual de cada estrato sobre la población total mostrada en la Figura 8.b); luego en [75] se tomó la proyección de población para el año 2012, se aplicó el porcentaje por cada estrato y se obtuvo el número de habitantes por estrato.

3.2.2 COMPORTAMIENTO DE LA DEMANDA DE ENERGÍA SEGÚN LOS ESTRATOS DONDE POSIBLEMENTE SE UBICAN LAS VIS

Una vez identificados los estratos en donde posiblemente se pueden ubicar las VIS, se describe el comportamiento de la demanda de energía que sigue el sector residencial por estrato en el país.

Por consiguiente, es importante observar la cantidad de usuarios de energía eléctrica que tiene el sector residencial en Colombia, según cada estrato, como se puede apreciar en la Figura 9.

Figura 9. Número y porcentaje de suscriptores al servicio de energía eléctrica por estrato, para el sector residencial en Colombia. Año 2012.

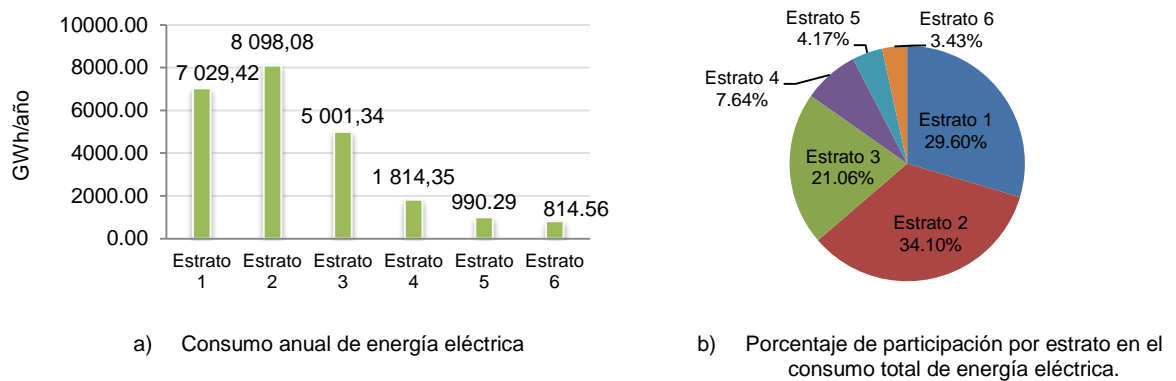


Fuente: (Sistema único de información de servicios públicos n.d.).

En la Figura 9 se aprecia que la mayoría de suscriptores al servicio de energía eléctrica se ubican en los estratos 1, 2 y 3 representados en un 90% sobre el total aproximadamente, lo cual es consecuente con lo expuesto en la Figura 8 manifestando la notable influencia que tienen estos estratos en la demanda de energía del sector residencial.

En la Figura 10 se observa el consumo de energía eléctrica anual por estrato y su porcentaje de participación sobre el consumo total residencial (23 748,04 GWh/año). Esto representa que del total de demanda aproximadamente un 85% se consume en los estratos bajo-bajo (1), bajo (2) y medio-bajo (3), lo cual es consecuente con la Figura 9.

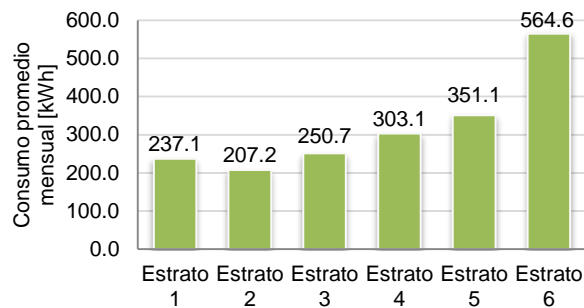
Figura 10. Consumo anual de energía eléctrica por estrato. Sector residencial en Colombia año 2012



Fuente: (XM S.A. E.S.P 2012; Unidad de Planeación Minero Energética & Universidad Nacional de Colombia 2006; Sistema único de información de servicios públicos n.d.).

Por otra parte, en la Figura 11 se observa el consumo promedio mensual por usuario para cada uno de los estratos. Se aprecia que el menor y mayor consumo se dan en los estratos dos y seis, respectivamente.

Figura 11. Consumo promedio mensual por usuario según el estrato. Sector residencial en Colombia año 2012.



Fuente: (Sistema único de información de servicios públicos n.d.; XM S.A. E.S.P 2012; Unidad de Planeación Minero Energética & Universidad Nacional de Colombia 2006).

Esto refleja la capacidad adquisitiva del usuario respecto al uso de aplicaciones habitacionales que demandan energía eléctrica, resaltando la importancia de utilizar estrategias de diseño en una vivienda tipo NZE que demanden la menor cantidad de energía, que sean económicamente viables y tengan un uso frecuente y primordial en el hogar.

Las cifras representadas en las figuras 8, 9, 10 y 11 se obtuvieron de la base de datos que dispone el Sistema Único de Información de Servicios Públicos - SUI, de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios [80]; la consulta se inicia eligiendo el servicio de energía eléctrica, se accede a los reportes comerciales y finalmente se elige el enlace “Información comercial – Departamento”.

Para acceder a la información requerida, es necesario ingresar datos previos como: año, periodo, ubicación, departamento, empresa y reporte a consultar. Para este trabajo de grado se requería información actualizada, por estrato y de todo el país, por lo cual se realizó la consulta para el año 2012, periodo anual, ubicación total, departamento sin escogencia, empresa sin escogencia y se obtuvieron los reportes de suscriptores y consumo.

La información obtenida del número de suscriptores al servicio de energía eléctrica que se representa en la Figura 9 se comparó con información encontrada para años anteriores y tiene correlación con un incremento proporcional. Por otra parte, la información inicial encontrada sobre el consumo anual del sector residencial presentaba una gran discrepancia respecto a la información de años anteriores, por lo cual se tomaron estos datos únicamente para hallar la participación porcentual de cada estrato en el consumo total de energía representada en la Figura 10.b), en la cual se basó para hallar el consumo total por estrato hacia al año 2012.

Por consiguiente, en [81] se obtuvo que la demanda de energía eléctrica del país en el año 2012 fue de 59 370,1 GWh y para el sector residencial fue de 23 748,04 GWh, este último valor se obtuvo teniendo en cuenta que la participación de este sector en el consumo total es aproximadamente el 40% [82]. Una vez hallado el consumo de energía eléctrica para el sector residencial se tomaron los valores porcentuales presentados en la Figura 10.b) para lograr el consumo por estrato en GWh para el año 2012 representado en la Figura 10.a).

Por otra parte, el consumo promedio mensual por usuario para cada estrato presentado en la Figura 11 se obtuvo, tomando la información del número de suscriptores, consumo promedio anual y el consumo promedio mensual por estrato. El consumo promedio mensual se obtuvo, dividiendo el consumo anual en los doce meses que tiene el año.

Finalmente, el consumo promedio mensual por usuario se halló dividiendo el consumo promedio mensual en el número de suscriptores o usuarios. Los datos representados en las figuras 9, 10 y 11 se pueden apreciar en la Tabla 13.

Tabla 13. Resumen del consumo de energía eléctrica promedio y número de usuarios. Año 2012.

Estrato	Número de usuarios	Consumo promedio anual [GWh]	Consumo promedio mensual [GWh]	Consumo promedio mensual por usuario [kW]
1	2 470 927	7 029,42	585,78	237,1
2	3 256 428	8 098,08	674,84	207,2
3	1 662 351	5 001,34	416,77	250,7
4	498 856	1 814,35	151,19	303,1
5	235 020	990,29	82,52	351,1
6	120 235	814,56	67,87	564,6

3.3 INFLUENCIA DE LOS PISOS TÉRMICOS EN LAS POTENCIALES APLICACIONES ENERGÉTICAS ADAPTABLES EN COLOMBIA

Colombia está ubicada en la zona tropical⁷, por lo cual tiene una significativa radiación solar a lo largo del año; asimismo, presenta un alto relieve a causa de la cordillera de los Andes, lo que hace que la altitud sea un factor climático significativo y da origen a los llamados pisos térmicos [83].

En la Figura 12 se pueden apreciar los pisos térmicos asociados a un rango de temperatura y a la elevación sobre el nivel del mar; también se relacionan algunas

⁷Zona tropical: región geográfica del planeta Tierra, comprendida entre el trópico de Cáncer y el trópico de Capricornio. En los trópicos se absorbe la mayor cantidad de energía solar [83].

ciudades del país según sus datos de altitud y temperatura encontrados en el Atlas Climatológico Nacional del IDEAM [68].

Figura 12. Pisos térmicos encontrados en el territorio colombiano.



Fuente: (IDEAM 2005).

3.3.1 CLASIFICACIÓN DE LOS PISOS TÉRMICOS POR CIUDADES PARA IDENTIFICAR LAS POTENCIALES APLICACIONES ENERGÉTICAS EN VIS

En Colombia, la diversidad de climas que se pueden apreciar en un mismo departamento dificultan las clasificaciones climáticas [68], siendo más fácil hacerlo por municipios. Por ello, para representar diversos escenarios del comportamiento climatológico y energético se seleccionaron cinco ciudades de acuerdo a tres aspectos:

- Principales ciudades del país en donde se ubican las áreas de operación que administran el sistema de observación, medición y vigilancia meteorológica del IDEAM, tal y como se ve en la Tabla 14.

Tabla 14. Distribución de áreas operativas del IDEAM.

No. ÁREA	CIUDAD SEDE	DEPARTAMENTOS
1	Medellín	Antioquia, centro y norte de Chocó
2	Barranquilla	Atlántico, norte y centro de Bolívar, Sucre y Córdoba
3	Villavicencio	Meta, Casanare, Vichada, Guainía, Vaupés y Guaviare
4	Neiva	Huila y Caquetá
5	Santa Marta	Magdalena, Guajira, norte y centro de Cesar
6	Duitama	Boyacá
7	Pasto	Nariño, Putumayo y sur de Cauca
8	Bucaramanga	Santanderes, Arauca, parte de Cesar, Bolívar y Boyacá
9	Cali	Valle, sur de Chocó, Eje cafetero y norte de Cauca
10	Ibagué	Tolima
11	Bogotá	Cundinamarca, San Andrés y Amazonas

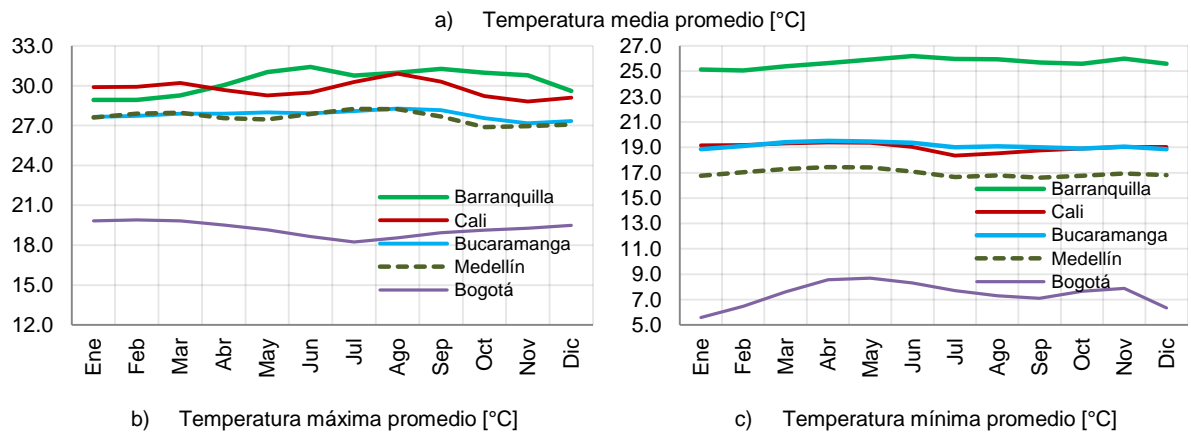
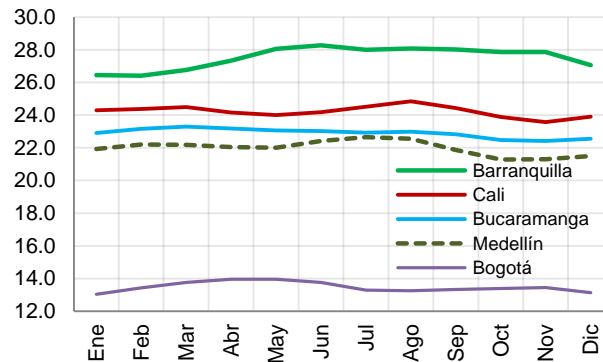
Fuente: (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales 2005).

- De las ciudades encontradas en [68], cinco de ellas presentan mayor número hogares con disponibilidad de energía eléctrica según el DANE [77]: Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla y Bucaramanga.
- Por último, cuatro de estas ciudades son las capitales de los departamentos (Cundinamarca, Antioquia, Valle del Cauca y Atlántico) que concentran más del 50% de la necesidad habitacional total y el 42% de demanda prioritaria por vivienda [1].

En la Figura 13 se pueden apreciar la temperaturas media, máxima y mínima promedio para cada una de las cinco ciudades seleccionadas, asimismo se clasifican cada una en un piso térmico específico teniendo en cuenta la

información presentada en la Figura 12. Así Barranquilla y Cali representan el piso térmico cálido, Medellín y Bucaramanga el templado y Bogotá el frío.

Figura 13. Temperaturas promedio de cinco ciudades de Colombia.



Fuente: (IDEAM 2005).

En la Tabla 15 se presentan factores geográficos y climatológicos de las ciudades escogidas; los valores de precipitaciones, días de lluvia, brillo solar y porcentaje de humedad son valores promedios.

Tabla 15. Factores geográficos y climatológicos de cinco ciudades colombianas.

Ciudad	Bogotá	Medellín	Bucaramanga	Cali	Barranquilla
Piso térmico	Frío	Templado	Templado	Cálido	Cálido
Extensión [km²]	1 587	382	165	562	166
Altitud [m.s.n.m]	2 550 - 2 620	1 490	1 018	954	2
T. media [°C]	14,2	22	23	25,2	27,7
Humedad %	76 - 80	68	82	73	80

Brillo solar [h/año]	1 085	1 898	1 391	1 974	2 553
Precipitación [mm/año]	1 583	1 685	1 303	908	821
Días de lluvia año	251	225	189	164	76

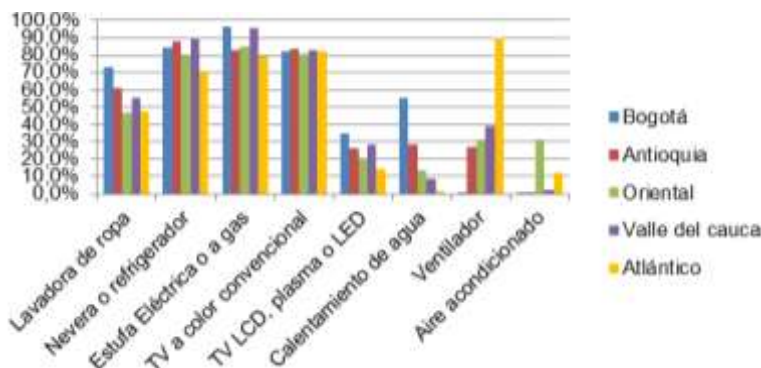
En el Anexo B se muestra de manera detallada los datos mensuales promedios de precipitación, días de lluvia, humedad relativa y brillo solar para cada una de las cinco ciudades antes mencionadas.

3.3.2 POTENCIALES APLICACIONES ENERGÉTICAS EN VIS SEGÚN PISOS TÉRMICOS

Una vez clasificadas las ciudades seleccionadas en un piso térmico diferente es posible identificar las aplicaciones energéticas que tienen un uso relevante en la vivienda.

En la Figura 14 se puede apreciar el porcentaje de hogares para la ciudad de Bogotá, la región de Antioquia, Oriental (Norte de Santander, Santander, Boyacá, Cundinamarca y Meta) Valle del Cauca y Atlántica (Guajira, Cesar, Magdalena, Atlántico, Bolívar, Sucre y Córdoba), que para el año 2012 poseen algún tipo de aplicación doméstica consumidora de energía eléctrica o gas. Estos lugares representan en su orden los climas frío, templado y cálido, respectivamente.

Figura 14. Porcentaje de hogares que poseen aplicaciones que consumen energía eléctrica y gas. Año 2012.



Es relevante la necesidad de adecuar el ambiente de las viviendas, en sitios de climas cálidos y templados como la región Atlántica, Valle del Cauca, Oriental y

Antioquia, haciendo uso de ventiladores y/o aires acondicionados; además, se aprecia que es importante el uso de agua caliente principalmente en lugares de climas fríos y templados como en Bogotá y las regiones Oriental y Antioquia, respectivamente. También se destaca que las aplicaciones energéticas utilizadas para cocción, refrigeración y entretenimiento, están presentes en altos porcentajes para todas las regiones.

En la identificación de las aplicaciones energéticas de potencial implementación para los diferentes pisos térmicos en viviendas tipo NZE se utiliza la metodología presentada en [61], [84–89]. Tal metodología inicia con la reducción de la demanda energética por medio del diseño pasivo de la edificación, en seguida se mejora la eficiencia energética de las aplicaciones domésticas para hacer uso racional de la energía; y por último, se identifican sistemas de micro-generación a partir de energías renovables adaptables a la vivienda.

Las recomendaciones realizadas se hacen teniendo en cuenta las aplicaciones energéticas de consumo pasivo y activo que pueden adaptarse a una VIS, resaltando aquellas que tienen un uso más frecuente según el piso térmico presentado en el lugar como muestra la Tabla 16.

Tabla 16. Posibles cargas que demandan energía en una vivienda de interés social.

Cargas	Tipo de energía demandada	Piso térmico al cual se adecua la carga
Iluminación artificial	Eléctrica	Todos
Iluminación natural	Directa	Todos, evitando el calentamiento de la vivienda en climas cálidos
Ventilación artificial	Eléctrica, térmica, combustible fósil	Templados y cálidos
Ventilación natural	Directa	Templados y cálidos
Pequeños artefactos eléctricos	Eléctrica	Todos
Refrigeración de alimentos	Eléctrica	Todos
Climatización del agua	Eléctrica, térmica, combustible fósil	Fríos y templados
Cocción de alimentos	Gas natural, gas propano, biogás.	Todos

Materiales de construcción

Los materiales de construcción utilizados deben ser sismo resistentes, certificados, renovables y que su producción emita a la atmósfera bajas cantidades de CO₂ y otros gases de efecto invernadero.

En la Tabla 17 se pueden apreciar los materiales que se consideran más adecuados para la construcción de VIS en Colombia, teniendo en cuenta el nivel de aislamiento térmico y su adaptación en climas fríos, templados y cálidos [2].

Tabla 17. Materiales de construcción recomendados en VIS.

USO EN LA EDIFICACIÓN	CLIMA FRÍO		CLIMA TEMPLADO		CLIMA CÁLIDO	
	Material propio de la región	Material moderno e industrializado	Material propio de la región	Material moderno e industrializado	Material propio de la región	Material moderno e industrializado
Muros	Tapia pisada y adobe	Unidades de mampostería y pañetes ⁸	Esterilla de guadua con barro y adobe	Unidades de mampostería y pañetes	Esterilla de guadua con barro y adobe	Unidades de mampostería huecas y pañetes
Cubiertas	Estructura en madera y teja de barro	Teja de fibrocemento y teja de barro	Madera y teja de zinc	Teja de fibrocemento y teja de barro	Madera	Teja de fibrocemento, teja de barro y teja de zinc
Pisos	Madera	Alfombra, madera y vinilo	Madera	Alfombra, madera, vinilo y pisos cerámicos	Baldosín	Baldosín de cemento y tableta cerámica
Ventanas	Madera con basculantes verticales	Aluminio, vidrio y ángulo	Madera con basculantes verticales de mediana abertura	Aluminio, vidrio y ángulo	Madera con basculantes verticales de gran abertura	Calados, madera, lámina y anjeo

Fuente: (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial 2011c).

El aislamiento térmico se cuantifica por medio del valor U que se denomina transmitancia térmica o coeficiente global de transferencia de calor, entre más bajo sea el valor U del material menor calor se transmite a través de él, el aislamiento es mejor y se recomienda para climas cálidos y templados; este depende de características como el porcentaje total de acristalamiento, la forma de las

⁸ Mampostería: obra hecha con piedras desiguales ajustadas y unidas con argamasa o mortero sin un orden establecido. Pañete: es un tipo de mortero con cemento portland, arena, cal y agua.

ventanas, el material de los marcos y el vidriado que puede ser simple, doble o triple [90].

Para climas fríos es recomendable aislar la vivienda para garantizar que los niveles de fuga del aire sean mínimos, también se recomiendan materiales con cambio de fase PCM (*Phase Change Material*) y de gran inercia térmica los cuales absorben el calor en las mañanas y en la noche lo transmite a la vivienda para calentarla [15].

Orientación estratégica de una VIS

La orientación estratégica de una VIS se hace con el fin de favorecer el confort en una vivienda según las condiciones climáticas del lugar; es decir, se orienta hacia una dirección específica para aprovechar o evitar la radiación solar y los vientos [4].

Para pisos térmicos templados y cálidos, se sugiere que la orientación de la fachada este en sentido NORTE-SUR y ubicada de tal manera que se proteja del sol y se exponga a vientos fríos. En el piso térmico frío la fachada se orienta en sentido NORESTE-SURESTE o ESTE-OESTE y ubicada de tal manera que se exponga al sol y se proteja de vientos fríos [4].

Ventilación e iluminación natural

Como técnica pasiva se suelen instalar áreas de ventanas considerables para facilitar la circulación del aire por la vivienda y se diseña de manera que haya ventilación cruzada natural.

Para disminuir el calentamiento del aire en una vivienda de clima cálido por incidencia directa de la radiación solar [21] se pueden usar aleros, persianas, parasoles, pérgolas [17], voladizos [91] y techos verdes, entre otros.

Para determinar la efectividad de la sombra se utiliza el valor G que designa la energía térmica que incide en un recinto; entre más bajo sea este valor es mejor la protección contra el recalentamiento [90]. Para climas fríos se evitan las pérdidas de calor a través de envolventes térmicas y glaseado doble o triple en la ventanas [90].

En iluminación natural se pueden usar como técnicas pasivas, tubos solares los cuales regulan la transferencia de calor [60], claraboyas [91], paisajismo con árboles de bajo porte que permitan la incidencia de la luz en la vivienda para climas fríos, para climas templados y cálidos se recomienda árboles de alto porte [85], y grandes áreas de ventanas.

Sistemas energéticamente eficientes en una VIS

El diseño de la vivienda debe reducir el consumo de energía, reemplazando el uso activo de sistemas convencionales por sistemas de alta eficiencia [4]. En la Tabla 18 se comparan seis sistemas representativos en la demanda de energía de una vivienda.

Tabla 18. Comparación entre sistemas convencionales y eficientes posiblemente encontrados en una vivienda.

SISTEMA	TRADICIONAL	EFICIENTE	REF
Iluminación	Las bombillas incandescentes tienen una eficiencia del 5%.	El fluorescente compacto y la bombilla LED presentan un ahorro del 80% y 90% respectivamente frente a la bombilla incandescente.	[17], [92]
Refrigeración	Neveras convencionales de baja eficiencia.	Frigoríficos y refrigeradores que tengan etiqueta ENERGY STAR puede consumir un 40% menos que los aparatos convencionales.	[92]
Calefacción	Sistema de calefacción central, chimeneas.	El suelo radiante disminuye el consumo energético aproximadamente en un 52%, Bombas de calor, chimeneas a base de pellets.	[35], [34]
Ventilación	Ventilación mecánica y aires acondicionados	Ventilación cruzada, extractores de calor, bomba de calor reversible, intercambiadores de calor por aire, room coolers.	[21], [93], [94]
Cocción	Estufa a gas, hornilla casera a base de carbón o leña.	Placas de inducción, estufas de vitrocerámica, estufas que usan biogas y estufas con etiqueta A de eficiencia.	[95], [96]
Calentamiento de agua	Ducha eléctrica	Calentador a gas, bombas de calor, colectores solares térmicos, calderas de biomasa.	[37], [85]

Para determinar la demanda de energía de una VIS en la Tabla 19, se propone una serie de aplicaciones energéticas convencionales con su determinado consumo de potencia y las horas de uso para obtener el consumo diario de

energía en clima templado, en donde es común usar artefactos para climatizar el agua y el ambiente como la ducha eléctrica y el ventilador.

Para climas cálidos, la carga que ofrece la ducha eléctrica podría obviarse y el tiempo de funcionamiento de la nevera aumentaría a doce horas diarias, obteniendo una capacidad instalada de 2 685 W y un consumo energético mensual de 172,7 kWh; para climas fríos la carga del ventilador se evita, el tiempo de funcionamiento de la nevera disminuye a 10 horas [97] y se recomienda el uso de bombillos incandescentes⁹ para aprovechar el calor, obteniendo una capacidad instalada de 4 330 W y un consumo mensual de energía de 220,9 kWh.

Tabla 19. Consumo de energía mensual de una VIS convencional en clima templado.

Aplicación	Cantidad	Potencia unitaria W	Potencia total W	Horas de uso	Consumo kWh
Bombillos	7	25	175	5	0,88
TV	1	150	150	4	0,6
Nevera	1	160	160	10	1,6
Plancha	1	1 200	1 200	0,8	0,96
Licuadaora	1	350	350	0,15	0,05
Lavadora	1	550	550	1	0,55
Ducha eléctrica	1	1 500	1 500	1	1,5
Ventilador	1	100	100	8	0,8
Consumo diario					6,94
Consumo mensual					208,2
Carga instalada					4 185 kW

Por otra parte, es interesante observar en la Tabla 20 el costo que tiene el consumo de energía eléctrica de una VIS para cada uno de los diferentes climas y estratos socioeconómicos, teniendo en cuenta el costo tarifario que tiene el kWh en Colombia según la CREG para el mes de febrero del año 2013 [98], sin tener en cuenta el subsidio.

Tabla 20. Costo mensual de energía eléctrica para una VIS en diferentes climas y estratos.

⁹ La reglamentación colombiana prohíbe el uso de bombillas incandescentes a partir del año 2014.

Tarifa estratos 1, 2 y 3		329,44 [\$/kWh]
Piso térmico	Consumo [kWh]	Valor mensual en pesos [\$ COP]
Frío	220,9	72 773,3
Templado	208,1	68 556,5
Cálido	172,7	56 894,3

4. APLICACIONES ENERGÉTICAS TÍPICAS DE VIVIENDAS TIPO *NET ZERO ENERGY* DE POTENCIAL APLICACIÓN EN ENTORNOS TROPICALES

Debido a su ubicación geográfica, Colombia goza de un clima tropical caracterizado por presentar escalas de variabilidad climática estacional, es decir tiene temporadas de precipitaciones de alta humedad y temporadas secas [83], altas temperaturas y la presencia de los vientos Alisios [83].

En el Anexo C se describen los valores predominantes de temperatura en cada una de las regiones y departamentos de Colombia, las cuales en promedio tienden a ser mayores a 18°C exceptuando los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y amplias zonas del Cauca y el Eje cafetero.

En este capítulo se presentan las principales aplicaciones energéticas de potencial implementación en viviendas NZE ubicadas en entornos tropicales, siguiendo la misma metodología trabajada en el capítulo anterior; es decir, se expondrán técnicas de diseño pasivo, aplicaciones activas y eficientes y la generación de energía renovable en sitio.

Por último, se darán a conocer casos de estudio de viviendas tipo NZE a nivel mundial, identificando las aplicaciones pasivas, activas y de generación de energía que dichas construcciones tienen.

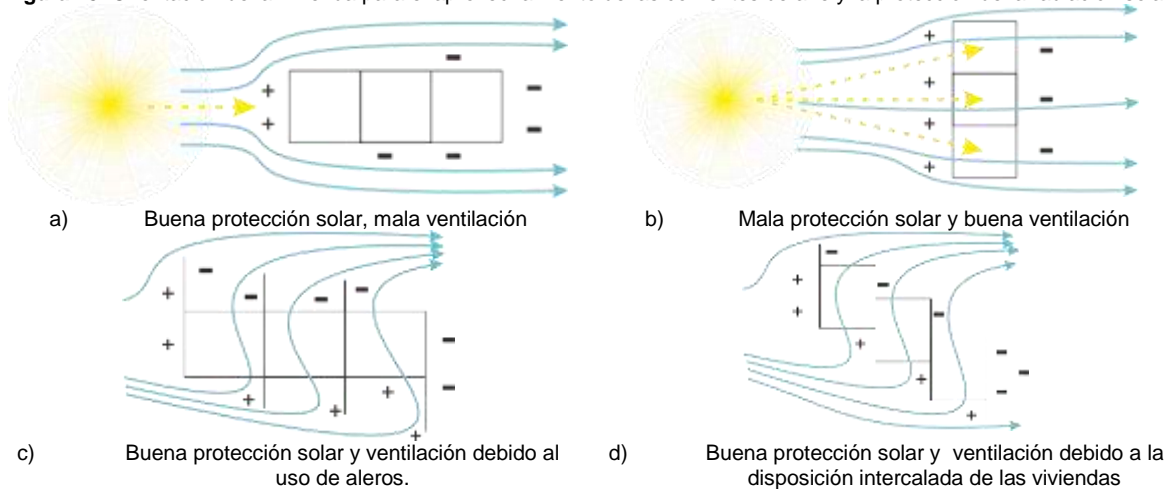
4.1 TÉCNICAS DE DISEÑO PASIVO

El diseño bioclimático de viviendas ubicadas en el trópico garantiza el confort térmico de sus habitantes y disminuye considerablemente el consumo de energía de la vivienda, en algunos casos evitando totalmente el uso de ventilación mecánica.

Por consiguiente, es necesario implementar estrategias pasivas para el aprovechamiento de la ventilación e iluminación natural variando la forma, la altura, ubicación u orientación de la vivienda, las cuales representan variables que determinan el flujo del aire a través de ella y la incidencia de la radiación solar [99]. Al aumentar su altura manteniendo fijo el largo y ancho de la misma, se puede lograr que las velocidades del viento en la parte superior aumenten [99].

En las figuras 15.a) y 15.b) se muestran formas incorrectas de orientar una vivienda, ya que carecen de una ventilación adecuada o de protección solar; a su vez, en las figuras 15.c) y 15.d) se ilustran opciones para orientar una vivienda de manera que se aprovechen las corrientes de aire y quede protegida del sol haciendo uso de aleros o por simple disposición.

Figura 15. Orientación de la vivienda para el aprovechamiento de las corrientes de aire y la protección de la radiación solar

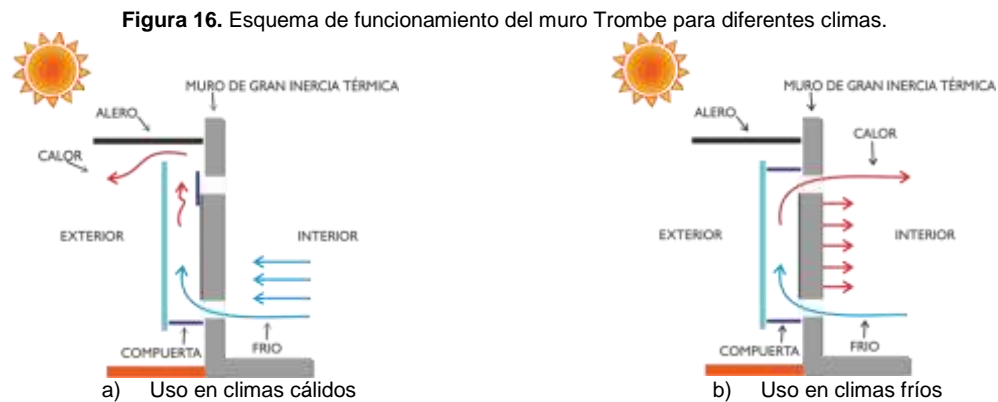


Fuente: (Mermet & Yarke 2005).

Otra forma de aprovechar la ventilación natural es la implementación de muros Trombe los cuales aplican la diferencia de densidades entre el aire frío y el caliente, es importante tener en cuenta que este tipo de muros tienen gran capacidad para almacenar el calor [100].

En la Figura 16.a) la incidencia de la radiación solar sobre el muro provoca que por convección el aire se caliente y suba a la superficie dejando un vacío que ocupa el aire frío proveniente de la casa, creando un efecto succión que permite la renovación del aire y refrigera la vivienda.

En la Figura 16.b) la radiación del sol calienta el aire frío que proviene de la casa disminuyendo su densidad y haciendo que suba a la superficie, así entra de nuevo a la casa por la abertura superior del muro.



Fuente: (Stazi et al. 2012),(Saadatian et al. 2012).

Por otra parte, el uso de grandes ventanales alrededor de la vivienda puede facilitar la incidencia de la luz solar y ventilan el interior. Para viviendas con una sola cara disponible hacia la fachada se recomienda el uso de dos ventanas para facilitar el flujo del viento [99].

Otra forma de minimizar el uso de ventilación artificial y aires acondicionados son las ecoenvolventes provenientes de materiales reciclables y especies vegetales nativas. Actualmente, se estudian tres de ellas de potencial implementación en los climas tropicales presentes en Colombia; fachadas y cubiertas ventiladas cerámicas, fachadas y azoteas verdes con especies vivas de fácil propagación y poco mantenimiento y fachadas ventiladas con paneles maderables en bambú laminado, inmunizado y preservado contra la humedad y los rayos UV [101].

Las aplicaciones pasivas anteriormente presentadas con el fin de reducir el consumo energético en la ventilación, calefacción e iluminación de una VIS pueden ser viables al momento de implementarlas, debido a que son estrategias de bajo costo y se basan en el uso de diseño arquitectónico bioclimático utilizando materiales reciclables, materiales de la región y recursos vegetales endémicos.

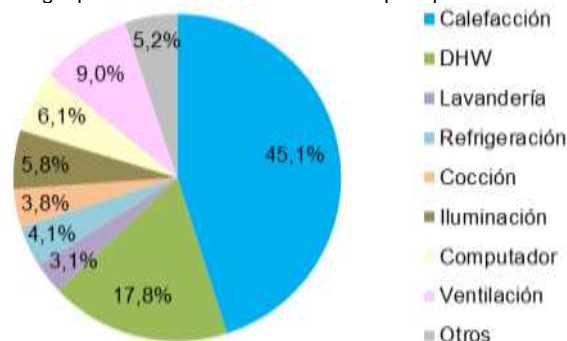
4.2 APLICACIONES ENERGÉTICAS EFICIENTES

Las aplicaciones energéticas de alta eficiencia y potencial implementación en viviendas NZE de ambientes tropicales se dividen en cinco grandes grupos; calefacción, ventilación, iluminación, aplicaciones domésticas menores y calentamiento de agua.

4.2.1 CALEFACCIÓN Y VENTILACIÓN

El uso de calefacción no es una aplicación influyente en ambientes tropicales [11] exceptuando las áreas andinas e interandinas [101] donde pueden presentarse temperaturas menores a los 10°C [68]; esto representa un punto a favor para viviendas construidas en sitios que gozan de climas tropicales ya que el sistema de calefacción en países de América del Norte representa el mayor porcentaje de consumo de energía en la vivienda como se ve en la Figura 17.

Figura 17. Consumo de energía primaria en el sector residencial para países de América del Norte. Año 2010.



Fuente: ((U.S Department of Energy 2011).

Sin embargo, existen sistemas de calefacción de alta eficiencia; por ejemplo, suelos radiantes que distribuyen el agua caliente a cada uno de los cuartos de la casa por medio de tuberías que se encuentran instaladas en el interior de los muros, pisos o techos de la edificación para calentar el ambiente, el agua que es transportada por la tubería la envía la bomba de calor de agua [31].

El calentamiento del agua que se conduce a través de los suelos radiantes se realiza por medio de colectores solares o tubos enterrados que utilizan la energía geotérmica [33]; además, suelen utilizar chimeneas y calderas a base de biomasa o biocombustibles como fuente de calor [95].

El uso de suelos radiantes puede invertir su funcionalidad para efectos de enfriamiento del ambiente, transportando agua refrigerada a través de las tuberías que conducen a cada habitación. Por otra parte, es importante hacer un control de humedad por medio de sensores, si la humedad es muy alta que es el caso de climas tropicales húmedos se deben implementar deshumidificadores y para el caso de climas tropicales secos instalar humidificadores [31].

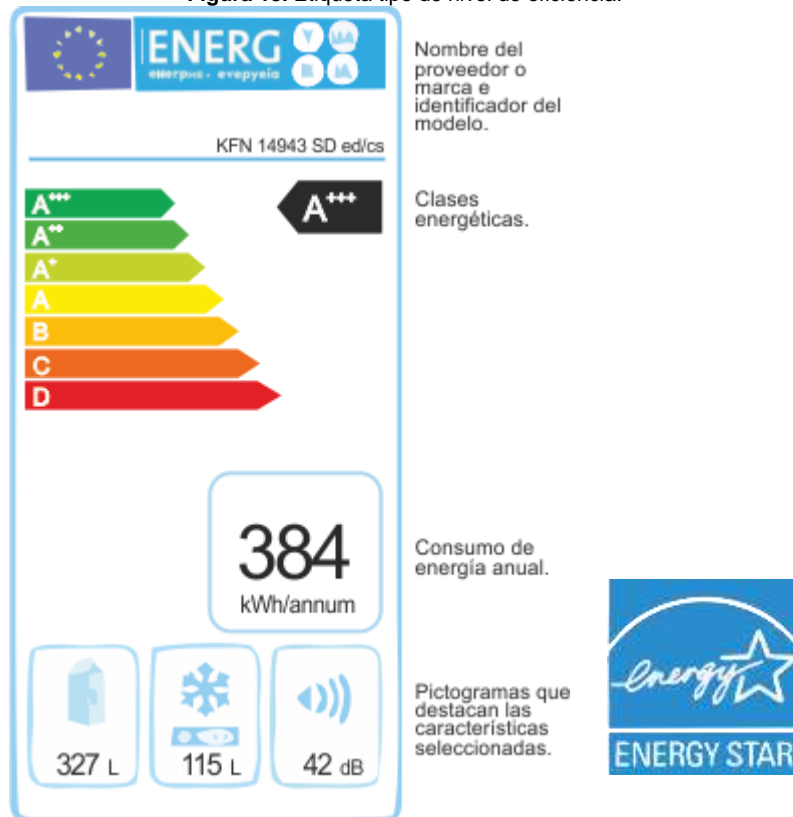
La viabilidad que tiene el sistema de calefacción para VIS en la mayor parte del territorio nacional es baja debido al clima que se presenta. Sin embargo, en climas fríos podrían utilizarse sistemas de calefacción pasiva como envolventes y materiales con propiedades térmicas que permitan conservar el calor en el interior de las viviendas.

Para el sistema de ventilación en una VIS es viable la instalación de grandes ventanales que permitan el flujo de las corrientes de aire en su mayor parte, con el fin de disminuir en el empleo de ventiladores.

4.2.2 ILUMINACIÓN Y APLICACIONES DOMÉSTICAS MISCELÁNEAS

Para el uso eficiente de iluminación artificial, iluminación inteligente, sensores de presencia, interruptores temporizados y aplicaciones domésticas de refrigeración, cocción, lavandería y entretenimiento entre otros es recomendable la adquisición de dispositivos identificados con etiquetas de alta eficiencia. En la Figura 18 se muestra la etiqueta ENERGY STAR y la escala de colores siendo G la menos eficiente y A+++ la más eficiente, las etiquetas A+, A++ y A+++ se usan únicamente para frigoríficos y lavadoras [102].

Figura 18. Etiqueta tipo de nivel de eficiencia.



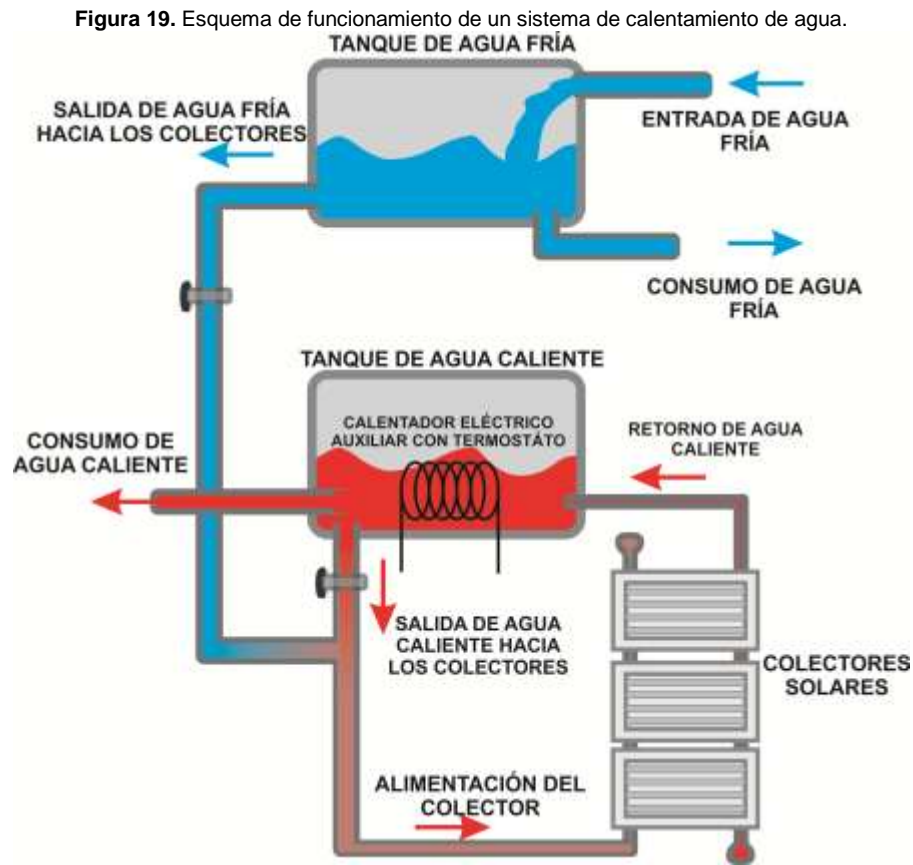
Fuente: (Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía IDAE (España) 2011; U.S Department of Energy 2011).

Este tipo de aplicaciones domésticas tienen alta viabilidad técnica en VIS, empezando por el cambio de bombillos incandescentes por fluorescente compactos o bombillas LED que se ha establecido como normativa nacional.

También se está incentivando la utilización de electrodomésticos y gasodomésticos de alta eficiencia por parte de los usuarios. Sin embargo, se debe tener en cuenta el alto costo de este tipo de aplicaciones, lo que podría representar que no sean factibles económica en este tipo de viviendas.

4.2.3 CALENTAMIENTO DE AGUA

La técnica más utilizada para el calentamiento doméstico de agua sanitaria es la instalación de colectores solares en el techo de la vivienda, acompañado de bombas de calor y tanques de almacenamiento [85], [95]. En la Figura 19 se puede observar el funcionamiento del sistema de calentamiento de agua en una vivienda.



Fuente: (Farret & Simoes 2006).

4.3 GENERACIÓN DE ENERGÍA

Actualmente, las energías renovables reconocidas por producir un impacto ambiental disminuido en comparación a los combustibles fósiles son: energía fotovoltaica, térmica, eólica, geotérmica, biomasa, mareomotriz, hidráulica y undimotriz [103].

No obstante, todas ellas no pueden ser aprovechadas en un sistema de generación *on-site* destinado a viviendas tipo NZE; en la Tabla 21 se muestran diferentes aplicaciones de la energía eólica y solar fotovoltaica según el sitio de generación y la capacidad instalada. Es importante observar que estas energías permiten su generación en sitio a pequeña escala.

Tabla 21. Aplicaciones de energías renovables según la capacidad instalada y el sitio de generación.

Energía renovable		On-site	Off-site
Viento			
Pequeña escala	<2,5 kW	×	-
Mediana escala	2,5 kW - 20 MW	×	×
Grande escala	>20 MW	-	×
Solar PV			
Sistema residencial	<10 kW	×	-
Edificios industriales	10 kW - 100 kW	×	-
Plantas industriales pequeñas	100 kW - 1 MW	×	×
Plantas de gran capacidad	>1 MW	-	×

En la Tabla 22 se describen diferentes opciones de generación de energía eléctrica y térmica de acuerdo al lugar del suministro de energía: *on-site* u *off-site*, además se citan algunos ejemplos que ilustran cada caso.

Tabla 22. Descripción de las opciones para el suministro de energía *on-site* y *off-site*.

Opción	Suministro de energía	Descripción	Ejemplos	Ref
1	<i>On-site</i>	Generación de energía dentro del espacio que comprende la huella del edificio ¹⁰ y los recursos provienen del sitio de generación.	Paneles fotovoltaicos y colectores solares instalados en el techo o fachada de la edificación.	[6], [32]

¹⁰ Es el área que comprende el espacio usado por la estructura de la edificación. Parqueaderos, zonas verdes, paisajes y otros espacios que no hacen parte de la edificación, no componen la huella del edificio.

2	<i>On-site</i>	Generación de energía cerca a la huella del edificio: áreas despejadas y zonas de parqueo, la fuente de recursos está en el sitio.	Pequeños aerogeneradores.	[32], [57]
3	<i>Off-site</i>	Generación de energía en el sitio de la edificación y los recursos se obtienen fuera del sitio de generación.	Biomasa, etanol, biocombustible y desechos extraídos fuera del sitio.	[6], [32]
4	<i>Off-site</i>	Generación de energía fuera del sitio y es financiada parcialmente por el propietario de la vivienda.	El propietario invierte en acciones de parques eólicos, solares y turbinas eólicas remotas.	[57]
5	<i>Off-site</i>	Generación de energía fuera del sitio y se le vende al propietario por medio de un contrato de suministro.	Red de suministro eléctrico con certificado de comercio de energías renovables.	[6], [32], [57]

4.3.1 ENERGÍA SOLAR

La energía solar representa grandes ventajas al tener un impacto ambiental bajo, la fuente de recursos no tiene costo y anualmente el sol emite a la tierra mucha más energía de la demandada a nivel mundial por la humanidad [105].

Sin embargo, se caracteriza por tener limitantes notables como costos de inversión altos al tratarse de tecnologías relativamente recientes, las reducidas áreas de techos y fachadas de las viviendas para instalar los sistemas solares y la fuente de recursos energéticos no es constante porque depende de la variabilidad del día [105].

En Colombia, constantemente se registran niveles considerables de radiación solar [103], esto debido a su ubicación en la zona tropical, que implica una incidencia cercana a los 90° en horas cercanas al mediodía [83].

En general, Colombia presenta un promedio mensual de radiación solar global uniforme¹¹ durante todo el año aproximadamente de 4,0 kWh/m² a 4,5 kWh/m² en la mayor parte del territorio. Sin embargo, sobresalen ciertas zonas como las que se presentan en la Tabla 23, dichos valores de radiación fueron obtenidos del documento “Mapas de radiación solar uniforme en una superficie plana” [106].

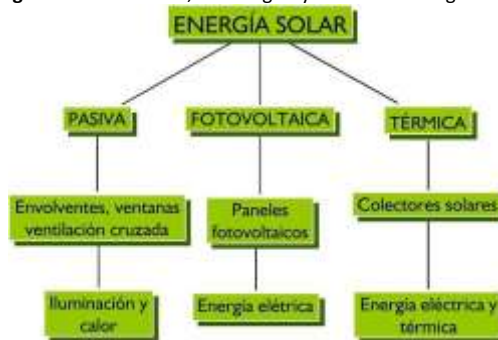
¹¹ Radiación solar que incide sobre una determinada superficie horizontal por metro cuadrado.

Tabla 23. Promedio mensual de radiación solar global uniforme, para las diferentes zonas del país.

Departamentos	Radiación solar [kWh/m ²]
Arauca, Casanare, Meta, Boyacá, Vichada y Costa Caribe incluyendo Islas de San Andrés y Providencia	5,0 – 6,0
Orinoquía, Los Santanderes, Cundinamarca, Tolima, Huila, Cauca y Valle del Cauca	4,5 – 5,5
Chocó, Nariño y Putumayo	3,0 – 4,0

Habitualmente, la energía solar se aprovecha a partir de tres estrategias, pasiva, fotovoltaica y térmica [105], como se puede apreciar en la Figura 20, siendo éstas de usual implementación en sectores residenciales según los casos de vivienda NZE que se han construido alrededor del mundo.

Figura 20. Tendencias, tecnologías y usos de la energía solar.



Energía solar fotovoltaica

Esta aplicación energética se basa en el uso de paneles fotovoltaicos para generar energía eléctrica, ubicados estratégicamente para la captación de la radiación solar. Los sistemas más utilizados se muestran en la Figura 21.

Figura 21. Sistemas fotovoltaicos según el tipo de conexión.



Los sistemas aislados son aquellos en donde la vivienda genera totalmente su consumo energético, sin tener respaldo de la red de suministro. A la hora de diseñar este tipo de sistemas se debe garantizar un tiempo prudente de respaldo (o autonomía) [105].

En la Tabla 24 se presentan los resultados de una evaluación de confiabilidad que se hace a un sistema aislado de energía fotovoltaica. Se puede apreciar que al cabo de 5 años el banco de baterías presenta un 36,8% de confiabilidad, implicando que el sistema tenga un 28,0% de confiabilidad [107]. Esto indica que la confiabilidad del sistema depende en mayor parte a la capacidad de almacenamiento de las baterías ya que éstas son las que aseguran un suministro continuo de energía. Por consiguiente, se hace necesario el cambio de baterías al quinto año de servicio del sistema, así los módulos tengan aún un alto rendimiento después de 20 años.

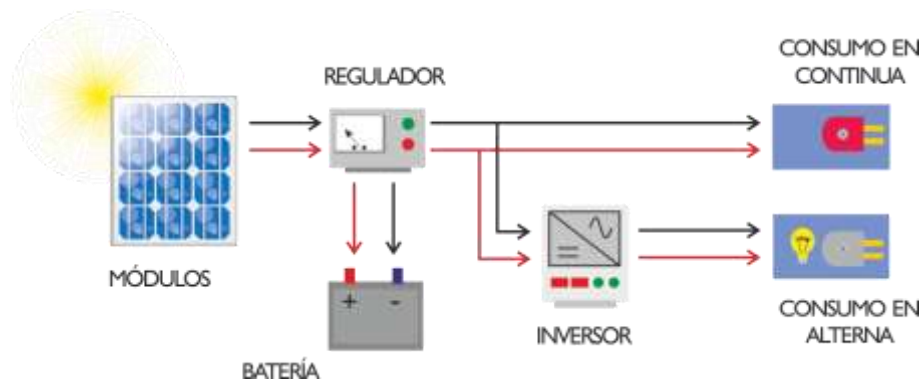
Tabla 24. Resultados de un estudio de fiabilidad de un sistema fotovoltaico aislado [107].

R (%)	6 meses	1 año	2 años	5 años	10 años	20 años
Módulos	99,9	99,8	99,6	98,8	97	92,3
Batería	99,0	96,1	85,2	36,8	1,8	0,0

Regulador	97,5	95,1	90,5	77,8	60,6	36,8
Cableado	99,9	99,8	99,6	99,0	98,0	96,1
Sistema	96,4	91,0	76,5	28,0	1,0	0,0

En la Figura 22 se muestra un esquema de un sistema fotovoltaico autónomo en donde se identifican cada una de las partes que se mencionan en la Tabla 23.

Figura 22. Esquema de un sistema fotovoltaico autónomo.



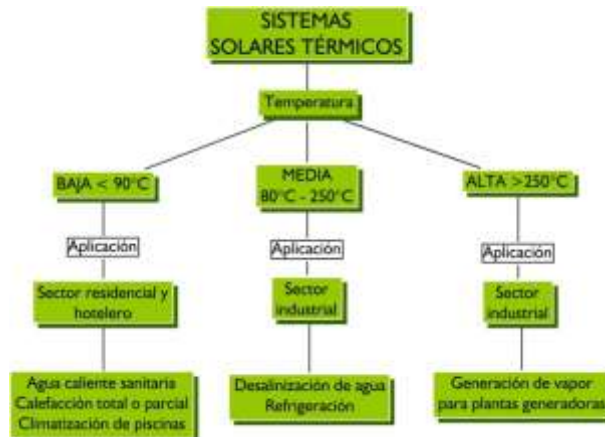
Por otra parte, los sistemas interconectados reciben respaldo de la red de suministro y los sistemas de generación híbrida usan el acoplamiento de otras fuentes de generación; por ejemplo, energía eólica, biomasa, celdas de combustible, etc.

Energía solar térmica

La energía solar térmica se usa principalmente en las viviendas como generador de calor para la climatización de espacios mediante el uso de suelos radiantes y para obtener agua caliente sanitaria y de piscinas [108].

Según lo presentado en [108], estas aplicaciones se pueden clasificar en tres sistemas de energía térmica diferente, de acuerdo a su temperatura y al uso final determinado como se ve en la Figura 23.

Figura 23. Rangos de temperatura en aplicaciones y usos de la energía solar térmica.



4.3.2 ENERGÍA EÓLICA

Los vientos colombianos situados principalmente en la península de la Guajira se encuentran entre los mejores de Suramérica para la generación de energía eólica, alcanzando velocidades alrededor de 10 m/s.

En el documento “Mapa de densidad de energía eólica” de la referencia [109], se puede observar que la densidad de energía eólica anual para 20 metros de altura presenta valores entre 216 W/m^2 y 343 W/m^2 para zonas en el departamento de la Guajira, Atlántico y entre los departamentos de Quindío y Tolima.

Además, en cierta extensión del departamento de La Guajira se pueden lograr densidades¹² con valores entre 343 W/m^2 y 729 W/m^2 , es importante resaltar que a alturas superiores y para ciertas épocas del año las densidades de energía pueden aumentar considerablemente.

Para una generación a pequeña escala como lo sería la microgeneración en viviendas diseñadas bajo el criterio *Net Zero Energy* el recurso eólico no es abundante.

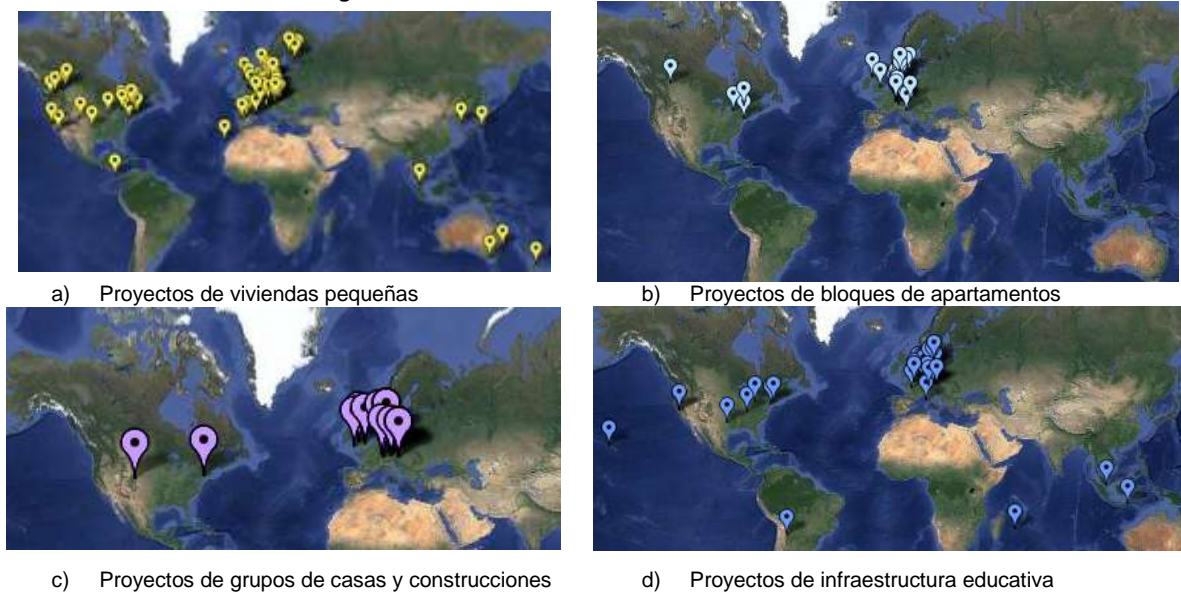
¹² Cantidad de energía que se puede obtener del viento por metro cuadrado.

El uso de energías renovables para generación de energía eléctrica y térmica que puede ser usada para calentamiento de agua, calefacción del ambiente y funcionamiento en general de los aparatos eléctricos dentro de una VIS en el país, tiene una implementación que puede ser realizable a nivel técnico, debido a la riqueza solar que tiene Colombia en la mayor parte de su extensión, además, en ciertos lugares del país también se presentan velocidades de viento altas que representan una fuente potencial de energía eólica.

4.4 CASOS DE ESTUDIO

En [110] se muestra una base de datos con información cerca de 300 proyectos tipo NZEB identificados en el mundo y se encuentran distribuidos como se muestra en la Figura 24.

Figura 24. Los diferentes NZEB distribuidos en el mundo.





e) Proyectos NZEB en general
Fuente: (Reserch for Energy Optimized Building n.d.).

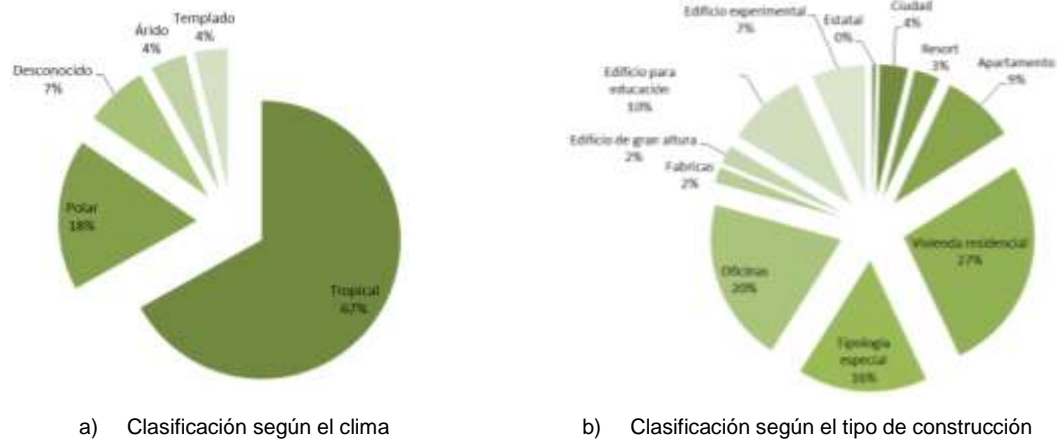
En la Figura 24.a) se aprecia que la concentración de proyectos NZE para pequeñas viviendas unifamiliares se encuentra principalmente en América del Norte y Europa, asimismo para proyectos de bloques de apartamentos y grupos de viviendas, según las figuras 24.b) y 24.c) respectivamente.

En la Figura 24.d) se puede resaltar que en el marco de proyectos de infraestructura educativa se presenta la misma concentración de las figuras anteriores, además, se observa la existencia de un solo proyecto ubicado en Argentina, América del Sur.

En general por medio de la Figura 24.e) se pueden apreciar proyectos identificados con distintos colores; proyectos de oficinas (verde), proyectos de topología especial como hospitales, hoteles, campos de juego, etc (rojo) y otras construcciones NZE (naranja).

En la Figura 25.a) se puede apreciar una clasificación de los proyectos NZEB encontrada en [111], según el clima del sitio en el que se encuentran ubicados y en la Figura 25.b) según los diferentes tipos de construcción.

Figura 25. Clasificación de los 300 edificios construidos bajo el concepto NZEB.



Fuente: (Anon 2010b).

Por otra parte, en la Tabla 25, se pueden apreciar algunos ejemplos de proyectos que se han desarrollado alrededor del mundo clasificándolos en tres áreas principales para la identificación de las aplicaciones energéticas utilizadas, lineamientos de diseño pasivos, lineamientos de diseño activo y generación en sitio.

Tabla 25. Casos de estudio de edificaciones residenciales tipo NZE.

Casos	Aplicación pasiva					Diseño activo y eficiente					Generación en sitio				Año	Ref
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N		
Riverdale Net Zero	-	x	x	x	-	x	x	x	-	x	x	-	-	-	2008	[112]
Lighthouse, Canadá	x	x	x	x	x	x	x	-	-	x	x	-	x	x	2007	[113]
EcoTerra, Canadá	-	x	x	-	-	-	x	x	x	-	x	-	x	x	2008	[114]
The Moore House, USA	x	x	x	x	x	-	x	-	-	-	x	-	x	-	2010	[115]
Edge House	-	x	x	x	x	x	-	-	x	-	x	-	x	-	2008	[116]
Livermore Residence	-	x	-	-	-	x	-	-	-	x	x	-	x	x	2008	[117]
Arlington House	-	x	-	-	-	-	x	x	x	-	-	-	-	-	2008	[117]
Westborough, Mass	-	x	-	-	-	x	x	-	x	x	-	-	-	-	2008	[117]
Montague, Mass	-	x	x	-	x	x	x	-	-	x	x	-	x	-	2008	[117]
The Needham	-	x	-	-	-	-	x	-	x	-	x	-	x	-	2008	[117]
Wisdom Way Solar Village	-	x	-	-	-	x	x	-	x	x	x	-	-	-	2006	[117]
Kempsford, Garison Way, USA	-	x	-	-	x	x	x	x	x	x	x	-	x	-	2010	[118]
ZEH, Longleaf, USA	-	x	-	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	-	2010	[119]

St. Croix, USA	-	x	-	-	-	x	-	x	x	x	x	-	x	-	2010	[120]
KB Home GreenHouse	-	x	-	-	-	x	x	x	x	x	x	-	x	-	2010	[121]
B35-Building	-	x	-	-	-	x	x	-	x	-	-	-	-	-	2011	[122]
Parcela 7, Parque ITER - Tenerife	x	x	x	-	-	x	x	-	-	-	x	x	x	-	2010	[123]
Modern Beach House, USA	-	x	-	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	-	2013	[124]
Camden Meeting House and Zero Energy Social Hall, USA	-	x	x	x	x	-	-	-	x	-	x	-	-	-	2009	[125]
Now House, Canadá	-	x	-	-	-	x	x	x	x	x	x	-	x	-	2007	[126]
Cliff House, Canadá	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	2011	[127]
Modern Eco Villa, España	-	x	-	x	x	-	x	x	x	-	x	-	-	-	2008	[128]
Seal Rocks House, Australia	-	x	x	x	x	-	-	-	-	-	x	-	-	-	2012	[129]
The UK's first zero-carbon Passive House	-	x	-	x	x	x	x	-	x	x	x	-	-	-	2010	[130]
Carbon Neutral Home, UK	x	x	x	x	x	x	-	-	x	x	-	x	x	x	2010	[131]
CarbonLight Homes, Inglaterra	-	-	-	x	x	-	x	x	x	-	-	-	x	-	2011	[132]
BedZED, Wellington, UK	x	x	x	-	x	-	-	-	x	-	x	-	-	x	2002	[133]
Casa ISEMI, Costa Rica	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	x	-	x	x	2010	[134]
Gateway Energy Center, Hawaii	x	x	-	x	x	-	-	-	-	-	x	-	-	-	2005	[135]
Pixel, Australia	-	-	x	x	x	x	x	-	-	-	x	-	-	x	2010	[136]
The Meridian building, Nueva Zelanda	-	x	x	x	x	x	-	-	x	x	-	-	x	-	-	[137]
The IDeAs Z2 Design Facility, USA	-	x	-	-	-	x	x	-	x	x	x	-	-	-	2007	[138]
The David and Lucile Packard Foundation, USA	x	-	x	x	x	x	x	-	-	x	x	-	-	-	2012	[139]
Bonaire Island, USA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	x	2007	[140]
ZEMCH109, UK	-	x	-	x	-	-	-	-	x	-	x	x	x	-	2012	[141]
The deltaZERO building of Lugano, Suiza	x	x	x	-	-	-	-	x	x	x	x	-	-	-	2009	[142]
Energy-neutral private residence, Holanda	-	x	x	x	x	-	x	x	x	-	x	x	-	-	2007	[143]
Weber House, Alemania	-	-	x	x	x	-	-	-	x	-	x	-	-	-	2011	[144]
Plus Energiehaus, Alemania	-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x	-	x	-	2011	[145]
Hunsett Mill, UK	x	x	x	-	x	-	-	x	x	-	-	x	x	x	2009	[146]
Zero – Energy Homes at Spring Leaf, USA	-	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	-	-	-	-	[147]
Esopus, USA	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	-	-	2008	[148]

Donde,

A. Orientación estratégica

B. Aislamiento térmico

C. Materiales sostenibles, de la región y con propiedades térmicas

D. Iluminación natural

H. Calentamiento doméstico de agua (bombas de calor, y tanques de almacenamiento, calentador de agua a gas)

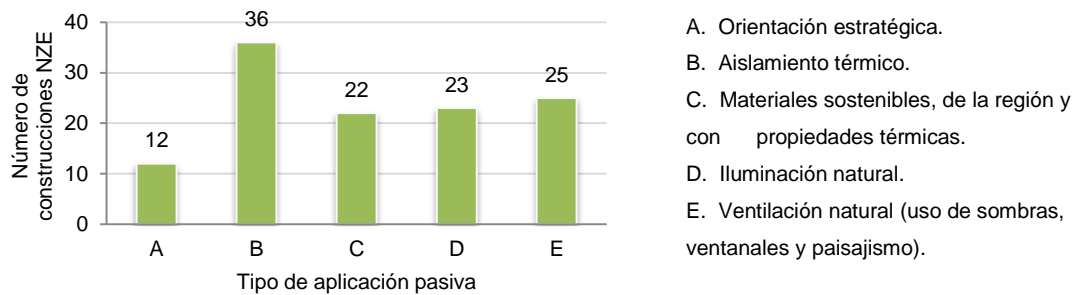
I. Calefacción eficiente (suelos radiantes y bombas de calor reversibles)

J. Aplicaciones misceláneas eficientes (refrigeradores,

- E. Ventilación natural (uso de sombras, ventanales y paisajismo)
- F. Iluminación artificial eficiente
- G. Ventilación artificial eficiente
- K. Energía solar fotovoltaica
- L. Energía eólica
- M. Energía solar térmica
- N. Energía de biomasa

Para determinar las aplicaciones que tienen una implementación frecuente en el diseño de una construcción tipo NZE se tomaron 42 casos de estudio y se clasificaron por tipo de aplicación. En la Figura 26 se puede apreciar que la aplicación pasiva que más tiene uso en una edificación NZE es el aislamiento térmico, expresando que el 84% de las construcciones estudiadas lo aplicaron.

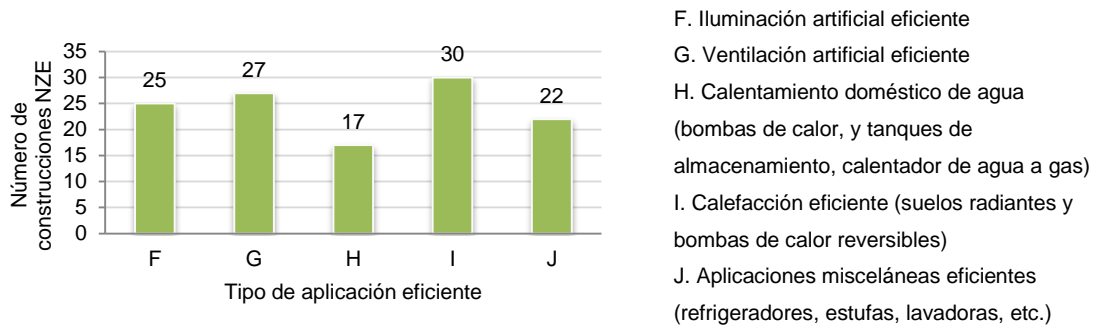
Figura 26. Construcciones tipo NZE que tienen aplicaciones pasivas.



También es importante destacar la implementación de técnicas pasivas como el uso de materiales sostenibles, iluminación y ventilación natural, donde se puede observar que más de la mitad de las edificaciones las aplican. Por otra parte, se puede apreciar que la orientación estratégica tiene una aplicación que no se utiliza con mucha frecuencia en este tipo de construcciones.

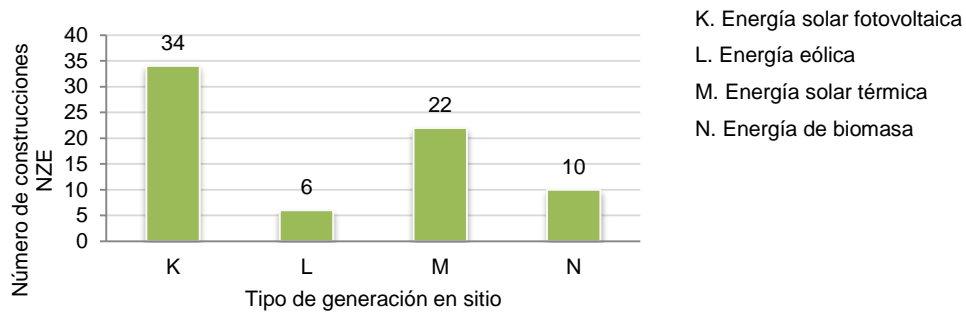
En la Figura 27 se aprecia que la frecuencia en el uso de aplicaciones activas y eficientes para disminuir la demanda de energía en la edificación es alta, destacando el uso de los sistemas de calefacción debido a que la mayoría de los casos descritos se ubican en países con variabilidad climática estacional.

Figura 27. Construcciones tipo NZE que tienen aplicaciones activas y eficientes.



En la Figura 28 se puede observar que el emplazamiento de sistemas de generación de energía solar ya sea para producir calor o energía eléctrica tiene gran acogida en este tipo de construcciones; sin embargo, el uso de la energía eólica y otro tipo de tecnologías para la generación *on-site* es aún muy reducido.

Figura 28. Construcciones tipo NZE que tienen generación en sitio.



Las figuras 27 y 28 muestran que la implementación de un sistema de calentamiento de agua para climas que presentan temperaturas muy bajas en ciertas épocas del año es muy importante. Cabe resaltar que la mayoría de las

edificaciones consultadas adaptaban la aplicación H o M para obtener agua caliente ya sea para uso sanitario, de piscinas o calefacción.

5. CUANTIFICACIÓN FINANCIERA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIONES ENERGÉTICAS SOSTENIBLES REALIZABLES EN ENTORNOS TROPICALES

La cuantificación financiera de aplicaciones energéticas que se pueden implementar en entornos tropicales, tiene como objetivo conocer el valor aproximado de los costos en el mercado colombiano, orientada especialmente a viviendas de interés social. Sin embargo, se recomienda realizar un estudio de mayor profundidad, que considere aspectos como: la devaluación del dinero y la inflación, entre otros.

Por consiguiente, como primer paso se desarrolla el dimensionamiento de los sistemas energéticos que podrían adaptarse a la vivienda ubicada en un ambiente tropical, luego se presenta el costo de inversión que tendría cada aplicación, los indicadores que determinan si un proyecto es rentable en un determinado periodo de tiempo y consideraciones que se deben tener en cuenta para que un proyecto sea viable de acuerdo a los resultados obtenidos.

5.1 DIMENSIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS

Los sistemas que pueden implementarse en una vivienda ubicada en un ambiente de clima tropical, se dimensionaron de acuerdo a características climáticas, número aproximado de usuarios en la vivienda, piso térmico que presenta el lugar, capacidad de suministro para sistemas de generación y necesidades domésticas.

5.1.1 DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico con conexión a la red se propone a manera de ejemplo suplir la demanda de energía de una vivienda de interés social ubicada en el departamento de Santander, teniendo en cuenta tres ubicaciones con comportamientos climáticos distintos: frío, templado y cálido.

Además, se plantean tres escenarios clasificados de acuerdo a la energía que puede suplir el sistema fotovoltaico: 1) Un sistema de gran capacidad capaz de suministrar la energía total demandada por la casa, 2) Un sistema de mediana capacidad que suple el 50% de la demanda y 3) Un sistema de pequeña capacidad para suplir solo el 20% de la energía demandada.

Para la propuesta se consideran cargas potenciales para una VIS en cada piso térmico de acuerdo a la información presentada en la Tabla 18. Se debe tener en cuenta que al dimensionar un sistema de micro-generación en sitio según el concepto *Net Zero Energy Building* se debe realizar una reducción previa del consumo a través de la implementación de sistemas eficientes de energía.

Se propone el reemplazo de bombillas incandescentes por fluorescentes compactos para climas cálidos y templados, el uso de ducha eléctrica por un sistema de calentamiento de agua doméstica por medio de colectores solares para climas fríos y de manera opcional para climas templados; además, el uso de envolventes térmicas para evitar la instalación de aires acondicionados en climas cálidos y sistemas de calefacción en climas fríos.

Por otra parte, se deben tener en cuenta los datos de radiación solar para cada ubicación de la VIS, el consumo de energía de la vivienda y las características del sistema, para así proceder al dimensionamiento del sistema de energía fotovoltaico.

Carga Instalada Propuesta

En la Tabla 26 se señala la carga instalada en una VIS teniendo en cuenta la carga convencional y la carga eficiente en concordancia con las medidas antes mencionadas; es decir, para climas fríos y templados se quita la carga de ducha eléctrica que son 1 500 W, para climas templados y cálidos el uso de bombillas fluorescentes ya se contempla en la carga convencional. Se observa que para clima cálido la carga convencional y eficiente es la misma debido a que el uso de ducha eléctrica no es necesario en este tipo de clima.

Tabla 26. Carga instalada según el piso térmico.

Clima	Carga instalada [W]	
	Convencional	Eficiente
Frío	4 330	2 830
Templado	4 185	2 685
Cálido	2 685	2 685

Demanda de Energía

Las características de la carga dependen de las necesidades solicitadas por el usuario hora a hora, según lo calculado para cada clima en la Tabla 27 se exponen los valores de energía según la carga convencional y la carga eficiente.

Tabla 27. Demanda de energía para cada piso térmico.

CLIMA	Frío		Templado		Cálido	
	Convencional	Eficiente	Convencional	Eficiente	Convencional	Eficiente
Tipo de carga						
Demanda de energía mensual (kWh/mes), E_m	220,9	175,9	208,2	163,1	172,7	172,7
Demanda de energía diaria (kWh/día), E_d	7,4	5,9	6,9	5,4	5,8	5,8
Demanda de energía semanal (kWh/sem), E_s	51,8	41,3	48,3	37,8	40,6	40,6

Insolación

La insolación corresponde a la cantidad de energía en forma de radiación solar por metro cuadrado que se obtiene en un día promedio. Según el Atlas de Radiación Solar Uniforme [106], el departamento de Santander presenta valores de insolación promedio de acuerdo a los tipos de clima, como se observa en la Tabla 28.

Tabla 28. Insolación promedio y horas equivalentes para cada escenario climático.

CLIMA	INSOLACIÓN PROMEDIO	
	ANUAL [kWh/m ² , l	HORAS EQUIVALENTES
Frío	3,5	3,5
Templado	4,5	4,5
Cálido	5,0	5,0

Especificaciones de los equipos

Las especificaciones de los equipos seleccionados para realizar el dimensionamiento de los diferentes sistemas se pueden observar por medio de las Tablas 29, 30 y 31.

Tabla 29.Datos técnicos del panel fotovoltaico.

Potencia máxima	260 W
Tensión a potencia máxima V_{mp}	30,84 V
Tensión de circuito abierto V_{oc}	37,73 V
Corriente a potencia máxima I_{mp}	8,46 A
Corriente de cortocircuito I_{sc}	8,9 A

Tabla 30. Datos técnicos de la batería HuP Solar One.

Tipo de celdas	Pp-6-85-23
Capacidad a un ritmo de 20hr (A-h)	1160
Capacidad a un ritmo de 100hr (A-h)	1403
Peso (lb)	1080
Código del elemento	040-07223
Capacidad de descarga (%), $C_{descarga}$	80
Tensión	12 V

Regulador marca Phocos de 300A a 24 V referencia SPS24D300.

Tabla 31. Datos técnicos del inversor.

MODEL	SP10		
Rated power	3 000 W		
Maximum AC output	6 000 W		
Output voltaje	110 V ± 10%, 60 Hz ± 2 Hz or 220 V ± 10%, 50 Hz ± 2 Hz		
No load current	0,3 A – 0,6 A		
Charger (selectable)	Max 15 A		
Input voltaje	12 V	24 V	48 V

Resultados

En el Anexo D, se puede observar la metodología utilizada para dimensionar un sistema fotovoltaico y en la Tabla 32 se muestran los resultados para cada clima y cada tipo de sistema.

Tabla 32. Resultados del dimensionamiento de un sistema fotovoltaico.

Capacidad de carga	Sistema de gran capacidad			Sistema de mediana capacidad (50%)			Sistema de pequeña capacidad (20%)		
	Frío	Templado	Cálido	Frío	Templado	Cálido	Frío	Templado	Cálido
Piso térmico									
Cantidad de paneles	10	7	7	5	4	3	3	2	2
Cantidad de baterías	1	1	1	-	-	-	-	-	-
Cantidad de reguladores	2	2	2	1	1	1	1	1	1
Cantidad de inversores	1	1	1	1	1	1	1	1	1

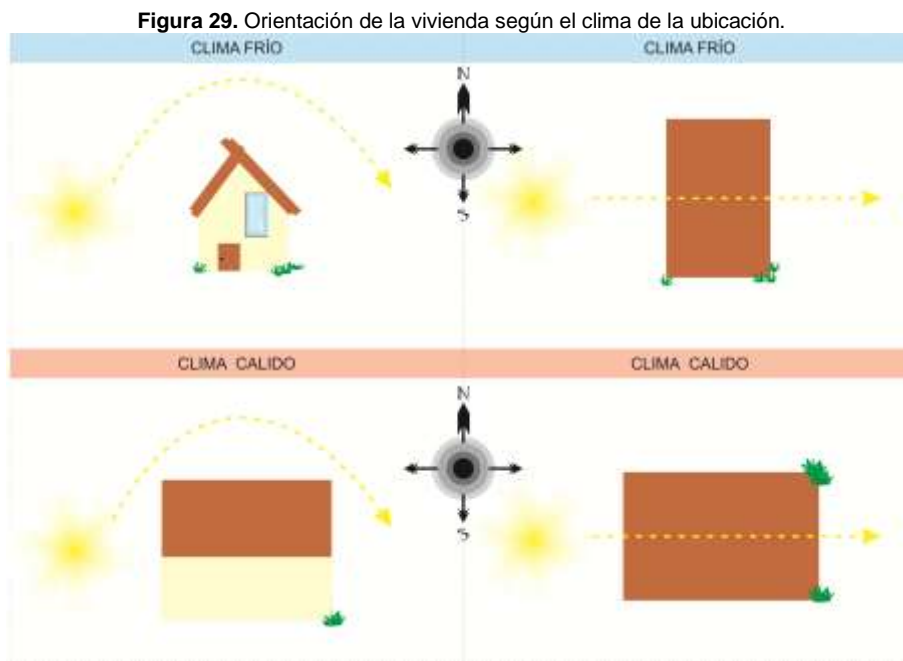
5.1.2 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA TÉRMICO SOLAR

En el Anexo E se puede dar a conocer el dimensionamiento de un sistema térmico solar, diseñado para una vivienda ubicada en clima frío con una nivel de insolación de $3\,500\text{ Wh/m}^2$ según [106], además, se hace el cálculo para una vivienda con cuatro habitantes que consumen 25 l/día por persona en promedio. El método para dimensionar el sistema se basa en el uso de la función *F-chart* [149], el cual permite realizar el cálculo de la cobertura de un sistema solar.

De acuerdo a los resultados se determinó que es necesaria la implementación de un colector solar con $1,7\text{ m}^2$ de superficie y 150 litros de capacidad, las demás especificaciones se muestran con detalle en el Anexo E.

5.1.3 DIMENSIONAMIENTO DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA

La envolvente térmica se adecua en la vivienda según las necesidades caloríficas de la misma, con el fin de disminuir la demanda energética propia de sistemas de calefacción y de ventilación. Por consiguiente, se propone para climas fríos aislar la casa por medio de envolvente térmica en todas las paredes, mientras que para climas cálidos y templados únicamente las caras de la vivienda donde incida directamente el sol. En la Figura 29 se muestra la orientación de la vivienda según el clima del lugar donde se encuentra.



Se tiene en cuenta una vivienda que tiene 10 metros de profundidad, 6 metros de fachada y 2,5 metros de altura, por lo tanto para clima frío se necesitan 80 m^2 de envolvente cubriendo todos los muros y para climas cálidos y templados 30 m^2 cubriendo los muros que reciben directamente el sol. El costo de envolvente térmica corresponde a $68\,000 \text{ [$/m}^2\text{]} [150]$.

En climas cálidos y templados también se propone la instalación de techos verdes, para los cuales se necesitarían 60 m² de techo verde aproximadamente el cual tiene un costo de 200 000 [\$/m²] [21].

Estas aplicaciones tienen un mayor impacto en viviendas de estratos 5 y 6 dónde el uso de aires acondicionados y sistemas de calefacción se implementan con mayor frecuencia.

5.1.4 DIMENSIONAMIENTO DE OTROS SISTEMAS

Las aplicaciones energéticas que conforman un sistema de consumo de energía pasivo como orientación de la vivienda, tamaño de ventanas, materiales reciclados o de características térmicas especiales y que representan una disminución en la demanda de energía debido a que permiten el aprovechamiento de la ventilación e iluminación natural, no requieren un dimensionamiento especial o característico al tratarse de aplicaciones que son inevitables en la construcción de una vivienda, y no incorporan la implementación de una tecnología novedosa que represente un sobre costo o inversión inicial con una diferencia significativa a una vivienda convencional.

Sin embargo, se debe tener en cuenta las recomendaciones que se hicieron anteriormente en el uso de dichas aplicaciones para cada tipo de clima.

Por otra parte, para las aplicaciones energéticas utilizadas en actividades de iluminación, ventilación, refrigeración, cocción, entretenimiento y otros usos domésticos se tuvieron en cuenta bombillos ahorradores de energía para vivienda en climas templados y cálidos y la potencia de aparatos convencionales en todos los climas.

Como se mencionó anteriormente, los sistemas de calefacción activa por medio de sistemas de suelos radiantes o calefacciones eficientes no tienen mayor

implementación en climas tropicales, sucediendo de la misma manera para la generación en sitio por medio de aerogeneradores por lo cual no se hará un dimensionamiento de estos sistemas.

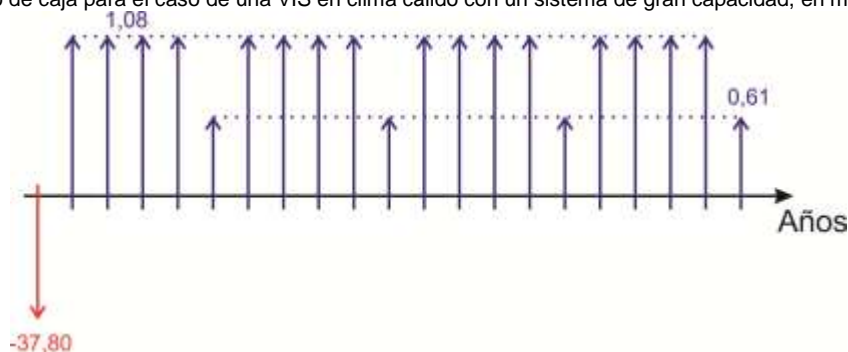
5.2 CUANTIFICACIÓN FINANCIERA

La determinación de la viabilidad financiera de un proyecto requiere de un análisis de flujo de caja (FC), el cual contemple la vida útil y la construcción del conjunto de componentes. Para evaluar la rentabilidad del sistema fotovoltaico, y las demás aplicaciones, se calcula el valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR). Estos indicadores se utilizan con mayor frecuencia para medir la viabilidad financiera de un proyecto, por su simplicidad y rápido análisis.

Estos cálculos se hacen teniendo en cuenta valores del mercado colombiano; para el sistema fotovoltaico se considera el m² con sistema de respaldo (baterías) a un costo de 2,7 millones de pesos y sin sistema de respaldo a 1,75 millones de pesos; además, se resalta que un panel fotovoltaico posee un área de 2 m².

A manera de ejemplo, se exponen los cálculos realizados en el Anexo F y se presenta en la Figura 30 el flujo de caja para el caso de una vivienda de interés social ubicada en clima cálido de gran capacidad; el sistema fotovoltaico produce un ahorro mensual de 96 855,36 [\$COP], un gasto por operación y mantenimiento anual de 75 600 [\$COP], un gasto por cambio de baterías cada cinco años de 476 310,24 [\$COP] y representa una inversión inicial (INV) de 37 800 000,00 [\$COP].

Figura 30. Flujo de caja para el caso de una VIS en clima cálido con un sistema de gran capacidad, en millones de pesos.



Por medio de los datos obtenidos en el flujo de caja se calcula la el VPN como se muestra en la Ecuación 10.

$$VPN = -17\,500\,000\text{ COP} = -INV + \frac{FC\ 1}{(1+i)} + \frac{FC\ 2}{(1+i)^2} + \frac{FC\ 3}{(1+i)^3} \dots \quad (10)$$

Donde FC es el flujo de caja mensual que se expone de manera detallada en el Anexo F y la tasa de oportunidad (i) equivale al 0% debido a que no se pretende obtener ningún tipo de ganancia.

Para encontrar la TIR, la variable i de la Ecuación 11.

$$\text{se despeja } INV = \frac{FC\ 1}{(1+i)} + \frac{FC\ 2}{(1+i)^2} + \frac{FC\ 3}{(1+i)^3} \dots \quad (11)$$

En la Tabla 33 se encuentra el VPN y la TIR para cada tipo de vivienda y para cada capacidad de sistema fotovoltaico instalada.

Tabla 33. Costo de inversión de la implementación de un sistema solar fotovoltaico en millones de pesos.

Capacidad de carga	Sistema de gran capacidad (100%)			Sistema de mediana capacidad (50%)			Sistema de pequeña capacidad (20%)		
	Frío	Templado	Cálido	Frío	Templado	Cálido	Frío	Templado	Cálido
Piso térmico m ² equivalente	20	14	14	10	8	6	6	4	4
Costo m ² [M\$]	2,7	2,7	2,7	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
Costo total [M\$]	54,0	37,8	37,8	17,5	14,0	10,5	10,5	7,0	7,0
VPN [M\$]	<M\$ 0,0	<M\$ 0,0	<M\$ 0,0	<M\$ 0,0	<M\$ 0,0	<M\$ 0,0	<M\$ 0,0	<M\$ 0,0	<M\$ 0,0

TIR	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Para las aplicaciones energéticas restantes se realiza el mismo cálculo anterior y se dan los resultados por medio de la Tabla 34.

Tabla 34. Indicadores económicos en la cuantificación financiera de aplicaciones energéticas de una VIS con criterio de diseño NZE.

APLICACIÓN ENERGÉTICA	INVERSIÓN INICIAL	BENEFICIO ANUAL		VPN	TIR
		[M\$]	[kWh]		
Orientación	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Aislamiento térmico	5,2	N.A	N.A	N.A	N.A
Ventanales	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Materiales	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Iluminación natural	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Iluminación eficiente	0,16	441	145 283	2 261 660	88%
Sistema térmico solar	4,3	547,50	180 368	<M\$0,0	N.A

Ya que el VPN para la aplicación solar fotovoltaica de la VIS en clima cálido con un sistema de gran capacidad es negativo, se calcula el porcentaje de la inversión inicial que debería ser subsidiado por parte del gobierno para obtener un VPN positivo. Con un subsidio del 47% en la inversión inicial, como se muestra en el Anexo F, el VPN que se obtiene es de 270 355,68 (\$COP).

5.3 CONSIDERACIONES

La implementación de las aplicaciones energéticas para generación de energía eléctrica o térmica (paneles fotovoltaicos y colectores solares) representan una inversión alta que requiere ser financiada y sostenida en el tiempo. Sin embargo, al ser orientadas a VIS representan un impacto social y ambiental considerable, por lo cual deben adoptarse a nivel gubernamental proyectos que incentiven el uso de este tipo de tecnologías que buscan mejorar el bienestar de los usuarios y el cuidado del medio ambiente.

El ahorro energético que resulta de la generación del sistema de paneles fotovoltaicos, se produce de tal forma que los excedentes de energía se almacenan en baterías o se inyectan a la red de suministro para ser consumidas por otras cargas ajenas al edificio generador, produciendo un ahorro económico del mismo precio por kWh que la energía que se consume. Para que un proyecto de estas características pueda llegar a ser viable económicamente, es necesario que exista una remuneración económica por la energía exportada o algún otro incentivo que promueva el uso de generación en sitio.

Se considera que la implementación de un sistema fotovoltaico en una VIS debe ser de pequeña capacidad al requerir menor costo de inversión, el cual corresponde al escenario que representa menores pérdidas económicas. Sin embargo, al no poderse recuperar la inversión inicial, se ve necesario la promoción de incentivos por parte del gobierno, ya que estos sistemas representan una estrategia para disminuir las emisiones de gases y reducir el impacto de la generación de energía al medio ambiente.

Debido al alto costo que representa la implementación de baterías en un sistema fotovoltaico, se considera que es mejor exportar la energía a la red de suministro; sin embargo, debido a la regulación y la infraestructura del país la bidireccionalidad de la energía no es posible y representa una limitante para el uso de la red como fuente de almacenamiento o como comprador de la energía que se exporta.

La instalación de techos verdes y envolventes térmicas en las viviendas de interés social no representan un beneficio financiero notable debido a que el uso de sistemas de calefacción o aires acondicionados en este tipo de construcciones es prácticamente nulo. Por lo tanto, implementar este tipo de aplicaciones no se traduce en un ahorro de energía o de dinero.

El uso del sistema térmico solar produce una inversión inicial considerablemente alta, pero su uso permite un ahorro energético aproximado de 550 kWh anuales, los cuales implican una disminución de aproximadamente un 20% del consumo mensual en viviendas con clima frío y se evitan generar 96,8 kg de emisiones de CO₂ al año para viviendas que usan DHW por medio de energía eléctrica.

Las aplicaciones energéticas misceláneas de uso doméstico se calcularon como aplicaciones convencionales, sin embargo, se considera que la promoción de equipos eléctricos y de gas con altas eficiencias y bajo consumo, de manera que se garantice una disminución en la demanda de energía.

El alto costo de inversión, la falta de adecuación técnica y regulatoria en el sistema de energía eléctrica representan limitantes para implementar aplicaciones energéticas características de edificaciones NZE en Colombia. Además, el valor del kWh actualmente es económico con referencia a otros sistemas de generación lo cual tiene como consecuencia la baja competitividad en el mercado de energía. Por otra parte, se observa que la energía del país proviene en su mayoría de fuentes hidroeléctricas que representa una energía limpia con bajas emisiones de CO₂ desestimulando el uso de fuentes alternativas de energía.

6. MAPAS CONCEPTUALES SOBRE LAS VIVIENDAS TIPO *NET ZERO ENERGY* EN *CMAP-TOOLS*

En este capítulo se presentan los pasos a seguir para hacer una revisión adecuada de los mapas conceptuales que se encuentran anexos, estos contienen información puntual que ha sido descrita con mayor detalle en el presente trabajo, logrando presentar de forma sencilla y clasificada la información que describe las generalidades de las viviendas tipo NZE, entre estas se incluyen las definiciones, características, indicadores, balances energéticos y aplicaciones propias de las NZEB.

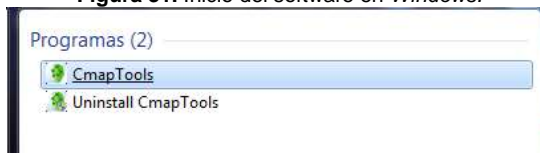
Los mapas conceptuales fueron diseñados y construidos en *CMAP-TOOLS*, un software de descarga gratuita que permite el diseño personalizado de mapas conceptuales con características que permiten una mayor manejabilidad, ya que su interfaz ofrece opciones como la vinculación de uno o más mapas, y la posibilidad de exportarlos en formato tipo imagen. Para la revisión de los mapas conceptuales es necesario descargar *CMAP-TOOLS* de la página web (<http://cmap.ihmc.us/download/>), en ésta debe realizarse un registro previo a la descarga donde también será necesario indicar el idioma en que se requiere el software y el sistema operativo donde se instalará y ejecutará. Para facilitar este paso, el instalador de *CMAP-TOOLS* fue incluido en conjunto con los mapas conceptuales en un disco óptico.

Después de descargado e instalado el software, se habrá creado automáticamente una carpeta llamada "My Cmaps" que por defecto será ubicada en "Mis documentos" para *Microsoft Windows*. Como paso siguiente, la carpeta que se encuentran en el disco óptico anexo a este documento debe ser copiada y pegada dentro de la carpeta "My Cmaps", ya que solo de esta forma podrán ser ejecutados los mapas conceptuales. Los archivos contienen un mapa conceptual

principal que en forma de enlace contiene otros mapas conceptuales de menor nivel; para poder observarlos es necesario abrir primero el mapa conceptual principal llamado “NET ZERO ENERGY BUILDING” desde CMAP-TOOLS así:

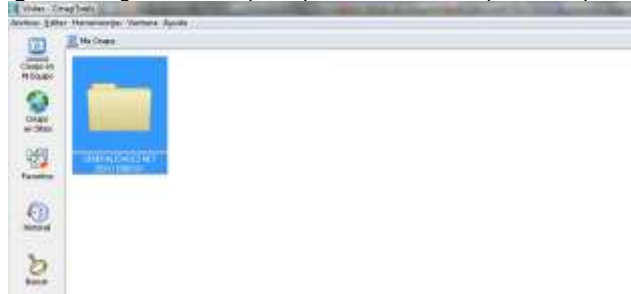
1. Abrir el programa haciendo doble *click* sobre el icono de *CMAP-TOOLS* que muestra la Figura 30. “Inicio/programas/CmapTools”.

Figura 31. Inicio del software en *Windows*.



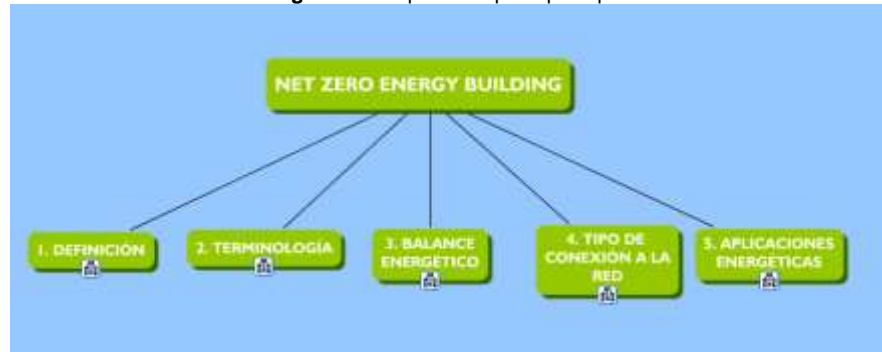
2. Presionando el botón “Cmaps en Mi Equipo” aparecerá la carpeta “GENERALIDADES NET ZERO ENERGY” como se muestra en la Figura 31.

Figura 32. Ingreso a la carpeta que contiene los mapas conceptuales.



3. Se busca el mapa conceptual llamado “NET ZERO ENERGY BUILDING” y se abre dando doble *click* sobre éste. Debe ejecutarse el mapa conceptual principal tal como se muestra en la Figura 32.

Figura 33. Mapa conceptual principal.



4. El primer mapa conceptual despliega diferentes mapas conceptuales que describen las generalidades sobre las viviendas construidas bajo el concepto NZE. Si es la primera vez que ingresa, para acceder a los demás mapas conceptuales por medio de los links, es necesario hacer *click* sobre la opción “Herramientas” seguido de la opción “Validar y Arreglar Enlaces”.

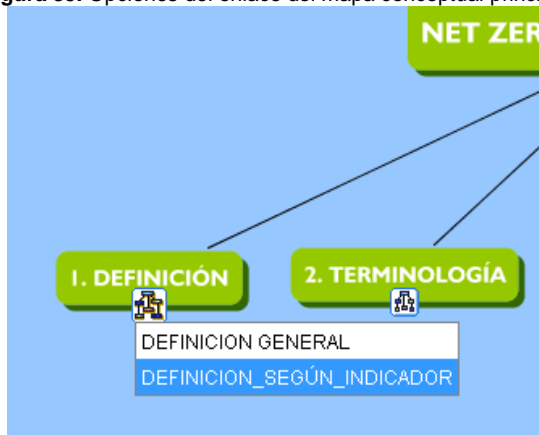
Una vez validados los enlaces, para acceder a los diferentes mapas es necesario hacer *click* sobre el icono que muestra la Figura 33. Como ejemplo, se muestra la forma de acceder a un mapa conceptual a través del enlace ubicado en la parte de “DEFINICIÓN” como muestra la Figura 33.

Figura 34. Enlaces del mapa conceptual principal.



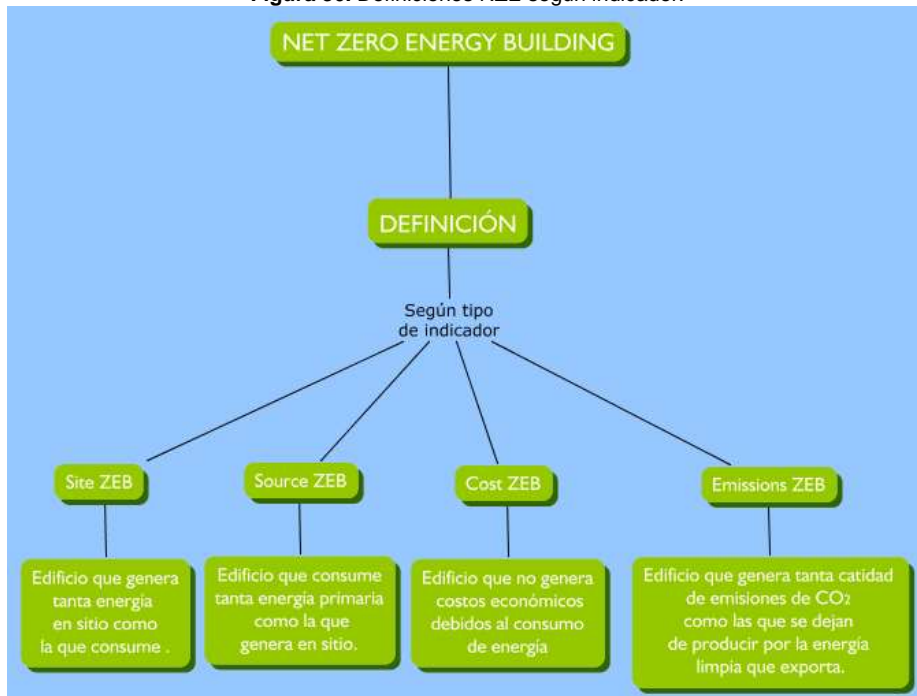
5. En el menú que se despliega es necesario hacer *click* sobre la opción deseada, “SEGÚN INDICADOR” o “DEFINICIÓN GENERAL”, como se muestra en la Figura 34.

Figura 35. Opciones del enlace del mapa conceptual principal.



Al seleccionar el enlace “DEFINICIÓN SEGÚN INDICADOR”, se mostrará el mapa conceptual que contiene las definiciones dadas a los edificios construidos bajo el concepto NZE según el indicador que los caracteriza. Como se muestra en la Figura 35 el mapa conceptual “DEFINICIÓN SEGÚN INDICADOR” contiene las cuatro definiciones dadas, donde cada una de estas integra las características del indicador que se usa para calcular el balance energético.

Figura 36. Definiciones NZE según indicador.



Para poder acceder a la información de otro mapa conceptual es necesario volver al mapa principal. Al seleccionar cualquier otro enlace se mostrará su contenido de igual forma al mapa conceptual anterior. Para mostrar otro ejemplo se abrirá el enlace ubicado en “DEFINICIÓN” que se denomina “DEFINICIÓN GENERAL” el cual se muestra en la Figura 36; este contiene las principales definiciones dadas a este tipo de edificaciones en la literatura encontrada, además de denominaciones que se encuentran estrechamente relacionadas como lo son el de “*Life Cycle - ZEN*” o “*PEB*”.

De la misma forma es posible acceder a los demás enlaces, permitiendo así una revisión general de la información expuesta en el libro, ya que esta ha sido seleccionada pretendiendo que el lector acceda a la información de forma rápida.

Figura 37. Definiciones comunes edificios NZE.



7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El concepto NZEB propone cubrir las necesidades básicas que producen el consumo energético en los edificios, contemplando aplicaciones energéticas altamente eficientes y generación renovable en sitio; viviendas, edificios estatales y centros educativos alrededor de todo el mundo han podido reducir su consumo energético de tal forma que no se degrade el confort de sus habitantes y el medio ambiente. La construcción de edificaciones consideradas de cero consumo de energía o cero emisiones de carbono ha sido posible, gracias al desarrollo de nuevas tecnologías utilizadas para disminuir la demanda energética.

Un edificio tipo *off-grid* puede producir un balance energético cero. No obstante, al no tener conexión con la red de suministro energético, este tipo de edificaciones requieren de una gran inversión inicial, principalmente por la capacidad del sistema de almacenamiento de energía. Es por esto que la mayoría de proyectos NZEB, se construyen del tipo *on-grid*, dejando las edificaciones autónomas preferiblemente para las áreas con difícil interconexión al sistema de distribución de energía.

Para producir un balance energético en las edificaciones construidas bajo el concepto *on-grid* NZEB, el flujo bidireccional de la energía eléctrica en las redes de suministro es un requisito importante, debido a que la inyección de energía en la red es la forma más recomendada de aprovechar la energía generada en sistemas renovables para compensar la energía consumida y no sería necesaria la adquisición de baterías ni de otro sistema que requiera una alta inversión.

En los edificios NZE construidos para producir un balance según el indicador de costo de la energía, será siempre necesario asegurar que la energía exportada a

la red de suministro sea remunerada económicamente al propietario de la edificación; dado que solo de esta forma podría producirse un balance energético.

El criterio de diseño NZE aplicado a viviendas de interés social, podría generar un impacto social y ambiental muy positivo. Esto puede verse a través del análisis que se hizo del comportamiento de la demanda energética en el país según los estratos socioeconómicos; de dónde se pudo inferir que los hogares postulantes a adquirir una VIS se podrían ubicar en los estratos uno y dos principalmente, y la demanda energética residencial del país predomina en estos mismos estratos, generando una disminución del consumo de energía a nivel residencial y en los estratos bajos. Además, es importante observar que la distribución que sigue la cantidad de suscriptores al servicio de energía eléctrica por estrato tiene una fuerte correlación a la distribución que sigue el número de habitantes, lo cual significa que la energía eléctrica sigue siendo un servicio indispensable.

La influencia de los pisos térmicos en el consumo energético de los electrodomésticos y gasodomésticos utilizados en los hogares colombianos tiene un impacto sustancial ya que puede generar aumento o disminución en la demanda de energía del hogar, de esta manera puede conocerse para cada lugar cuales son las aplicaciones que más demandan energía al variar los pisos térmicos y como podrían ser reemplazadas por otras más eficientes, teniendo en cuenta principalmente aquellas que tengan un uso más frecuente y puedan suplir necesidades básicas de una VIS.

En el sector residencial la generación de energía eléctrica y térmica por medio de paneles fotovoltaicos y colectores solares tiene gran utilidad; teniendo en cuenta que Colombia goza de un recurso solar abundante que incentiva la generación en sitio y cumple con una de las principales características de una vivienda NZE que es el uso de fuentes no convencionales.

Al diseñar una vivienda tipo NZE es importante establecer el tipo de concepto (PEB, LC-NZEB, NZEB) que se desea manejar y el tipo de balance que se desea alcanzar con el objetivo de dimensionar correctamente las aplicaciones energéticas eficientes y las fuentes de energía alternativa que más se adapten al lugar; sin embargo, es muy importante el diseño de una vivienda que sea financieramente viable y orientado especialmente a VIS.

Con base en los casos de estudio señalados es posible observar que independientemente del tipo de NZEB construida, la implementación de la energía solar (sistemas fotovoltaicos y térmicos) es superior al emplazamiento de sistemas eólicos o partir de la biomasa para generación de energía *in-situ*. Además, es evidente que el uso del criterio de diseño NZE en edificaciones ubicadas en América Latina es muy reducido, encontrando en esta base de datos dos casos, uno en Argentina y otro en Costa Rica específicamente.

La herramienta *CMAP-TOOLS* facilitó la construcción de los mapas conceptuales por medio de la interfaz amigable que maneja, permitiendo relacionar y mantener los mapas organizados en una misma carpeta por medio de enlaces que genera el software. Los mapas conceptuales contienen información que es útil en todo momento, ya que podría aclarar conceptos básicos, como serían, los indicaciones sobre las metodologías, balances energéticos o información sobre las aplicaciones de una edificación tipo NZE.

El bajo costo del kWh en Colombia, la falta de incentivos económicos y la no bidireccionalidad en las redes de suministro eléctrico, hacen que la generación en sitio y en consecuencia el concepto NZE no sea una estrategia factible económicamente en viviendas destinadas a las sociedades de estratos bajos. Viviendas de estratos 4,5 y 6, tienen un mayor consumo de energía eléctrica y debido a la gran capacidad adquisitiva poseen un número elevado de aplicaciones energéticas; las aplicaciones descritas en el presente trabajo lograrían reducir

considerablemente el consumo en este tipo de viviendas y con ello la cantidad de energía eléctrica que se demandaría de la red.

Para que una vivienda de interés social pueda ser construida bajo el concepto NZE, usando aplicaciones energéticas con generación en sitio y baterías, es necesario que el gobierno subsidie aproximadamente un 50% de la inversión inicial para que sea viable económicamente.

Para futuros trabajos de grado se recomienda hacer un estudio a profundidad que contemple las posibilidades técnicas, económicas y regulatorias que tiene la infraestructura eléctrica de país para permitir que la red de suministro tenga un flujo bidireccional de energía.

Se recomienda realizar un estudio que contemple los posibles incentivos que el gobierno nacional puede suministrar a proyectos que abarquen el concepto NZEB y promuevan el uso de energías renovables para la reducción de emisiones de gases al medio ambiente, teniendo en cuenta el enfoque social que propone el presente trabajo de grado.

Se recomienda realizar una cuantificación financiera que tenga en cuenta viviendas en estratos 4, 5 y 6 con el fin de analizar el impacto que tendría incentivar el uso de aplicaciones energéticas altamente eficientes y que requieren un alto costo de inversión.

La formación profesional recibida en los programas de Ingeniería Eléctrica permitió la aplicación de los conceptos aprendidos para la realización del proyecto. Temas cubiertos en las asignaturas como energía y medio ambiente, ingeniería económica, sistemas de distribución, e instalaciones eléctricas, se aplicaron en el estado del arte que cuenta con una revisión bibliográfica de un tema con poca incursión en las líneas investigativas afines a energías renovables y edificaciones

sostenibles. Para la realización del proyecto se requirió además el concepto técnico de ingenieros industriales, estudiantes de maestría y de doctorado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdalla, G., Maas, G.E.R. & Huyghe, J., 2009. Barriers to Zero Energy Construction (ZEC) Technically possible ; why not succeed yet ? PLEA 2009 - 26th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Quebec City, Canada, (June), pp.1–3.
- Anderson, R., Christensen, C. & Horowitz, S., 2006. Analysis of Residential System Strategies Targeting Least-Cost Solutions Leading to Net Zero Energy Homes. National Renewable Energy Laboratory, pp.1–19.
- Anon, Gilijamse, W. 1995. Zero energy houses in the Netherlands. IBPSA, Madison, Wisconsin.
- Anon, Iqbal, M., 2002. A feasibility study of a zero energy home in Newfoundland. Renewable Energy 29: 277–289.
- Anon, Natural Energy Laboratory of Hawaii Authority (NELHA) HAWAII GATEWAY ENERGY CENTER.
- Attia, S. et al., 2013. Assessing gaps and needs for integrating building performance optimization tools in net zero energy buildings design. Energy and Buildings, 60, pp.110–124. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778813000339> [Accessed August 7, 2013].
- Attia, S. & De Herde, A., 2011. Defining Zero Energy Buildings from a Cradle to Cradle Approach. PLEA 2011 - 27th Conference on Passive and Low Energy Architecture, (July), pp.205–210.
- B. Vale, R.V., 2002. The New Autonomus House: Design and Planning for Sustainability, Thames & Hudson.
- Balbis Morejón, M., Tovar Ospino, I.R. & Balaguera Mantilla, J.E., 2009. ENERGÍA SOLAR TÉRMICA Primera Ed. Editorial Universitaria de la Costa, ed.,
- Banco de la República de Colombia, 2012. Serie histórica empalmada de datos. Promedio anual.

- Baño Nieva, A. & Vigil- Escalera del Pozo, A., 2005. Guía de Construcción Sostenible, Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud. España.
- Bedoya, C.M., 2008. Viviendas de Interés Social y Prioritario Sostenibles en Colombia – VISS y VIPS –. Sostenibilidad, tecnología y humanismo, pp.27–36.
- Bessoudo, M. et al., 2011. Approaching Net Zero Energy. Canadian Architect.
- Bojić, M. et al., 2011. Toward a positive-net-energy residential building in Serbian conditions. Applied Energy, 88(7), pp.2407–2419. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261911000146>.
- Booth, S. et al., 2010. Net Zero Energy Military Installations : A Guide to Assessment and Planning. National Renewable Energy Laboratory, pp.1–48.
- BRE Group, 2013. BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology).
- Burdío, J.M., 2008. De las cocinas de inducción a la electrónica de potencia y la compatibilidad electromagnética. Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica, Zaragoza.
- California Energy Commission, 2008. Home Energy Rating System. Commission Regulations, (December).
- Cámara Colombiana de la Construcción CAMACOL, 2012. La construcción sostenible en Colombia , presente y futuro. Informe económico. , (40), pp.1–7.
- Carlisle, N., Geet, O. Van & Pless, Shanti, 2009. Definition of a “ Zero Net Energy ” Community. National Renewable Energy Laboratory, (November), pp.1–14.
- Castro-Lacouture, D. et al., 2009. Optimization model for the selection of materials using a LEED-based green building rating system in Colombia. Building and Environment, 44(6), pp.1162–1170. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132308002084> [Accessed March 5, 2013].
- Charron, R. & Athienitis, A., 2006. Design and Optimization of Net Zero Energy Solar Homes. ASHRAE Transactions, 112, pp.285–296.
- CODENSA E.S.P, 2013. Tarifas de energía reguladas por Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). , (Febrero), pp.1–2.

Comisión de Regulación de Energía y Gas - CREG, 2009. CONSULTORÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN LOS MERCADOS DE COMERCIALIZACIÓN PRESENTES EN EL SIN Y DEFINICIÓN DE CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN DE PLANES DE REDUCCIÓN Y/O MANTENIMIENTO DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA. , pp.1–24.

Comisión para la cooperación ambiental. Estados Unidos México y Canadá., 2008. Edificación sustentable en América del Norte. Oportunidades y retos,

Congreso de la República de Colombia, 2001. Ley 689 / 2001 Modificatoria Ley 142 / 1994. El régimen tarifario de las empresas de servicios públicos, artículo 16.

Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, Casos de estudio. Proyectos en Colombia.

Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2005. Plan de Acción para la Focalización de los Subsidios para Servicios Públicos Domiciliarios. Documento Conpes. República de Colombia, Departamento Nacional de Planeación, pp.1–30.

Cooper, P. et al., 2011a. Modelling Net Zero Energy Options for a Sustainable Buildings Research Centre. 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney, pp.2799–2086.

Cooper, P. et al., 2011b. Modelling Net Zero Energy Options for a Sustainable Buildings Research Centre. 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney, Proceedings of Building Simulation, pp.2799–2086.

Deng, S. et al., 2011. Energy supply concepts for zero energy residential buildings in humid and dry climate. Energy Conversion and Management, 52(6), pp.2455–2460. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0196890411000586>.

Deutsches Institut für Normung (DIN), 2007. Energy efficiency of buildings — Calculation of the energy needs , delivered energy and primary energy for heating , cooling , ventilation , domestic hot water and lighting — Part 1 : General balancing procedures , terms and definitions , zoning and evalu. , pp.1–66.

Díaz Villar, P., 2003. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÓNOMOS : APLICACIÓN A LA ELECTRIFICACIÓN RURAL. Universidad Politécnica de Madrid.

ECOFYS & Hermelink, A., 2013. Nearly Zero Energy Building and Offsite Renewables. Webinar Leonardo Power Quality.

European Commission and European Free Trade Association, 2006. Energy performance of buildings — Overall energy use , CO2 emissions and definition of energy ratings. European Standard, pp.1–45.

European Parliament and the Council of the European Union, 2010. Directive 2010/31/EU. Energy Performance of Building. Official Journal of the European Union, pp.13–35.

European Parliament and the Council of the European Union, 2009. Energy performance of buildings. Legislative resolution. Official Journal of the European Union, (April), pp.263–291.

Farret, F.A. & Simoes, M.G., 2006. Integration of Alternative Sources, John Wiley & Sons, Inc.

Ferguson, A., 2010. Identifying affordable net zero energy housing solutions,

Fong, K.F. & Lee, C.K., 2012. Towards net zero energy design for low-rise residential buildings in subtropical Hong Kong. Applied Energy, 93, pp.686–694. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261912000128> [Accessed July 19, 2012].

Gangoellis, M. et al., 2009. A methodology for predicting the severity of environmental impacts related to the construction process of residential buildings. Building and Environment, 44(3), pp.558–571. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S036013230800098X> [Accessed July 19, 2012].

Garde, F, David, M. & Prasad, D., 2011. Impact of the Climate on the Design of Low-Energy Buildings for Australia and Reunion Island. 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney, pp.2867–2873.

German Sustainable Building Council – GeSBC, DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen).

Green Building Council España - GBCe, 2013. Certificación VERDE.

Griffiths, I. & Nolte, I., 2011. Final Drafts Principles for Nearly Zero-Energy Buildings,

Hermelink, A., 2013. Nearly Zero Energy Buildings and Offsite Renewables.

Hernandez, P. & Kenny, P., 2010. From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB). *Energy and Buildings*, 42(6), pp.815–821. Available at:
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778809003247>.

Hoque, S., 2007. NET ZERO ENERGY HOMES : An Evaluation of Two Homes in the Northeastern United States. , 5(2), pp.79–90.

IDEAM, 2005. Aspectos Departamentales. In *Atlas Climatológico Nacional*. pp. 113–184.

IDEAM, Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial & UPME, 2006. *Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia*.

Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, 2005. Aspectos Nacionales. In *Atlas Climatológico Nacional*. pp. 3–16.

INSTITUTO DE TECNOLOGÍA Y FORMACIÓN S.A.U, Méndez Muñiz, J.M. & Cuervo García, R., 2005. *Energía solar fotovoltaica Segunda ed.* FUNDACIÓN CONFEMETAL, ed.,

Instituto de Vivienda de Interés Social y Reforma Urbana del Municipio de Bucaramanga, 2003. *UNA APROXIMACIÓN AL PROBLEMA DE LA VIVIENDA SOCIAL*.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía IDAE (España), 2011. *Guía Práctica de la Energía. Consumo eficiente y responsable Tercera Ed.*,

Japan GreenBuild Council - JaGBC & Japan Sustainable Building Consortium - JSBC, CASBEE (Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency).

Kapsalaki, M., Leal, V. & Santamouris, M., 2012. A methodology for economic efficient design of Net Zero Energy Buildings. *Energy & Buildings*, 55, pp.765–778.

Kılıç, Ş., 2012. A net-zero building application and its role in exergy-aware local energy strategies for sustainability. *Energy Conversion and Management*, 63,

pp.208–217. Available at:

<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0196890412001288> [Accessed March 19, 2013].

Kolokotsa, D. et al., 2011. A roadmap towards intelligent net zero- and positive-energy buildings. *Solar Energy*, 85(12), pp.3067–3084. Available at:

<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038092X10002847> [Accessed March 1, 2012].

Kurnitski, J. et al., 2011. Cost optimal and nearly zero (nZEB) energy performance calculations for residential buildings with REHVA definition for nZEB national implementation. *Energy and Buildings*, 43(11), pp.3279–3288. Available at:

<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778811003835> [Accessed March 8, 2012].

Kurnitski, J. et al., 2012. How to define nearly net zero energy buildings nZEB. REHVA. Federation of European Heating, Ventilation and Air-conditioning Associations, pp.1–18.

Laws, J., 2012. Getting to zero. *Occupational health & safety (Waco, Tex.)*, 81(1), pp.32, 34. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23177675>.

Lenoir, A., Wurtz, E. & Garde, François, 2011. Zero Energy Buildings in France : Overview and Feedback. *ASHRAE Transactions*, 117(2), p.817.

Marszal, A.J. et al., 2011. Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies. *Energy and Buildings*, 43(4), pp.971–979. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778810004639> [Accessed March 1, 2012].

Marszal, Anna Joanna & Heiselberg, Per, 2009. A literature review of Zero Energy Buildings (ZEB) definitions,

Marszal, Anna Joanna & Heiselberg, Per, 2011. Life cycle cost analysis of a multi-storey residential Net Zero Energy Building in Denmark. *Energy*, 36(9), pp.5600–5609. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360544211004580>.

Mermet, A.G. & Yarke, E.R., 2005. Ventilación Natural de Edificios. Fundamentos y Métodos de Cálculo para Aplicación de Ingenieros y Arquitectos Primera ed.,

Miller, W. & Buys, L., 2012. Anatomy of a sub-tropical Positive Energy Home (PEH). *Solar Energy*, 86(1), pp.231–241. Available at:

<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038092X11003549> [Accessed March 9, 2013].

Minergie Switzerland, 2013. Minergie, Higher Quality of Life, Lower Energy Consumption.

Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2011a. Calidad en la Vivienda de Interés Social,

Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2011b. Las normas aplicables en el desarrollo de vivienda de interés social,

Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2011c. Los materiales en la construcción de vivienda de interés social,

Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2011d. Procedimientos en Vivienda de Interés Social,

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial, 2012. Construcción Sostenible, estrategia para promover la sostenibilidad urbana y mitigar cambio climático.

Ministerio de Minas y Energía, 2010. Memorias al Congreso de la República. Sector Energía Eléctrica,

Ministerio de Trabajo, 2012. Salario mínimo mensual legal vigente.

Ministerios de Comunicaciones. República de Colombia, 2008. Resumen Ejecutivo. Impacto socioeconómico de la implementación de la televisión digital terrestre en Colombia,

National Renewable Energy Laboratory & NAHB Research Center Inc, 2006. The Potential Impact of Zero Energy Homes,

Naves, C. et al., 2010. Energy Efficiency Code in Brazil : Experiences in the first public building labeled in Brasilia. Sim Build, Fourth National Conference of IBPSA-USA, pp.352–357.

Obaco, F. & Jaramillo, J., 2010. Sistemas solar-térmicos : algoritmo operativo para aplicar el método F- Chart en la evaluación de colectores solares. , pp.1–3.

Oliveira Pano, M.J.N. & Gonçalves, H.J.P., 2011. Solar XXI building: Proof of concept or a concept to be proved? Renewable Energy, 36(10), pp.2703–2710.

Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960148111001169>
[Accessed March 23, 2013].

Osma Pinto, G.A., 2011. *Uso Racional de la Energía a Partir del Diseño de Aplicaciones Sostenibles en el Edificio de Ingeniería Eléctrica II de la Universidad Industrial de Santander*. Trabajo de investigación de maestría. Dirigido por Dr. Gabriel Ordóñez Plata, Universidad Industrial de Santander.

Perales Benito, T., 2007. *Instalación de Paneles Solares Térmicos Cuarta edi. Creaciones Copyright, ed., Creaciones Copyright*.

Pless, Shanti & Torcellini, Paul, 2010. *Net-Zero Energy Buildings : A Classification System Based on Renewable Energy Supply Options*. National Renewable Energy Laboratory, (June).

Ramos Niembro, G. et al., 1999. *Variables que influyen en el consumo de energía eléctrica*. México. *Aplicaciones tecnológicas*, pp.11–18.

Reserch for Energy Optimized Building, *Net Zero Energy Builging - Map of International Project*.

Rodrigues, L.T., Gillott, M. & Tetlow, D., 2013. *Summer overheating potential in a low-energy steel frame house in future climate scenarios*. *Sustainable Cities and Society*, 7, pp.1–15. Available at:
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2210670712000194> [Accessed March 4, 2013].

Saadatian, O. et al., 2012. *Trombe walls: A review of opportunities and challenges in research and development*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(8), pp.6340–6351.

Salvador, M. & Grieu, S., 2012. *Methodology for the design of energy production and storage systems in buildings: Minimization of the energy impact on the electricity grid*. *Energy and Buildings*, 47, pp.659–673. Available at:
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778812000084>.

Sartori, Igor, Napolitano, Assunta & Voss, Karsten, 2012. *Net zero energy buildings: A consistent definition framework*. *Energy and Buildings*, 48, pp.220–232. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778812000497>
[Accessed November 8, 2012].

Secretaria de Planeación Departamental del Valle del Cauca & Gobernación del Valle del Cauca, 2011. Vivienda de Interés Social en el Valle del Cauca. Normas e Instrumentos de Gestión,

Sherwood, L., 2011. U.S SOLAR MARKET TRENDS 2010. Interstate Renewable Energy Council, (June), pp.1–20.

Sistema único de información de servicios públicos, Consolidado de energía por empresa y departamento.

Sivak, M., 2009. Potential energy demand for cooling in the 50 largest metropolitan areas of the world: Implications for developing countries. *Energy Policy*, 37(4), pp.1382–1384.

Srinivasan, R.S. et al., 2012. Re(De)fining Net Zero Energy: Renewable Energy Balance in environmental building design. *Building and Environment*, 47, pp.300–315. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132311002186> [Accessed April 3, 2012].

Thiers, S. & Peuportier, B., 2012. Energy and environmental assessment of two high energy performance residential buildings. *Building and Environment*, 51, pp.276–284. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132311004021> [Accessed July 16, 2012].

Torcellini, P et al., 2006. Zero Energy Buildings : A Critical Look at the Definition. National Renewable Energy Laboratory, U.S Department of Energy, pp.1–12.

Trade Global Synergy Colombia, 2010. Colombia en cifras.

U.S Department of Energy, 2011. Energy Savers. Tips on Saving Money & Energy at Home. *Energy Efficiency & Renewable Energy*, pp.1–40.

U.S Green Building Council, 2013. LEED (Leadership in Energy and Environmental Design).

Unidad de Planeación Minero energética & IDEAM, 2005. Mapas de Radiación Solar Global Sobre una Superficie Plana. In *Atlas de Radiación Solar de Colombia*. pp. 25–40.

Universidad Nacional de Colombia & Fundación Bariloche, 2009. Análisis y revisión de los objetivos de política energética colombiana de largo plazo y actualización de sus estrategias de desarrollo,

Varini, C., 2011. Ecoenvolventes (I+D+I). Envolvertes Arquitectónicos Sensibles al Clima para Zonas Geoclimáticas Tropicales con Alto Desempeño Térmico y Bajo Impacto Ambiental. Segundo Encuentro Internacional Ekotectura. Academia Colombiana de Arquitectura y Diseño.

Voss, Karsten, Musall, Eike & Lichtmeb, M., 2011. From Low-Energy to Net Zero-Energy Buildings: Status and Perspectives. *Journal of Green Building*, 6(1), pp.46–57.

Wang, Z. et al., 2012. Multi-agent control system with information fusion based comfort model for smart buildings. *Applied Energy*.

World Commission On Environment and Development, 1987. OUR COMMON FUTURE,

XM S.A. E.S.P, 2012. Comportamiento de la demanda de energía eléctrica.

Yudelson, J., 2007. *Green Building, A to Z. Understanding the Language of Green Building*, New Society Publishers.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Secretaria de Planeación Departamental del Valle del Cauca and Gobernación del Valle del Cauca, *Vivienda de Interés Social en el Valle del Cauca. Normas e Instrumentos de Gestión*. 2011, pp. 1–57.
- [2] Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, “Los materiales en la construcción de vivienda de interés social,” *Serie Guías de Asistencia Técnica para Vivienda de Interés Social*, vol. 2, pp. 1–42, 2011.
- [3] Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, “Procedimientos en Vivienda de Interés Social,” *Serie Guías de Asistencia Técnica para Vivienda de Interés Social*, vol. 4, pp. 1–73, 2011.
- [4] Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, “Calidad en la Vivienda de Interés Social,” *Serie Guías de Asistencia Técnica para Vivienda de Interés Social*, vol. 1, pp. 1–64, 2011.
- [5] Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, “Las normas aplicables en el desarrollo de vivienda de interés social,” *Serie Guías de Asistencia Técnica para Vivienda de Interés Social*, vol. 3, pp. 1–44, 2011.
- [6] S. Pless and P. Torcellini, “Net-Zero Energy Buildings : A Classification System Based on Renewable Energy Supply Options,” *National Renewable Energy Laboratory*, no. June, pp. 1–14, 2010.
- [7] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial, “Construcción Sostenible, estrategia para promover la sostenibilidad urbana y mitigar cambio climático,” 2012. [Online]. Available: <http://www.minambiente.gov.co//contenido/contenido.aspx?conID=8078&catID=1311>. [Accessed: 02-Jun-2013].
- [8] Comisión para la Cooperación Ambiental. Estados Unidos México y Canadá, *Edificación Sustentable en América del Norte. Oportunidades y Retos*. 2008, pp. 1–75.
- [9] Cámara Colombiana de la Construcción CAMACOL, “La construcción sostenible en Colombia , presente y futuro. Informe económico,” no. 40. pp. 1–7, 2012.

- [10] World Commission On Environment and Development, *OUR COMMON FUTURE*. 1987, p. 8.
- [11] W. Miller and L. Buys, "Anatomy of a sub-tropical Positive Energy Home (PEH)," *Solar Energy*, vol. 86, no. 1, pp. 231–241, Jan. 2012.
- [12] P. Glavič and R. Lukman, "Review of sustainability terms and their definitions," *Journal of Cleaner Production*, vol. 15, no. 18, pp. 1875–1885, Dec. 2007.
- [13] J. Yudelson, *Green Building, A to Z. Understanding the Language of Green Building*. New Society Publishers, 2007, p. 241.
- [14] Z. Wang, L. Wang, A. I. Dounis, and R. Yang, "Multi-agent control system with information fusion based comfort model for smart buildings," *Applied Energy*, vol. 99, pp. 247–254, Nov. 2012.
- [15] F. Garde, M. David, and D. Prasad, "Impact of the Climate on the Design of Low-Energy Buildings for Australia and Reunion Island," 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney, pp. 2867–2873, 2011.
- [16] L. T. Rodrigues, M. Gillott, and D. Tetlow, "Summer overheating potential in a low-energy steel frame house in future climate scenarios," *Sustainable Cities and Society*, vol. 7, pp. 1–15, Jul. 2013.
- [17] P. Cooper, X. Liu, P. B. Kosasih, and R. Yan, "Modelling Net Zero Energy Options for a Sustainable Buildings Research Centre," 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney, pp. 2799–2086, 2011.
- [18] A. Baño Nieva and A. Vigil- Escalera del Pozo, *Guía de Construcción Sostenible*, no. Noviembre. Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud. España, 2005, pp. 1–126.
- [19] D. Castro-Lacouture, J. a. Sefair, L. Flórez, and A. L. Medaglia, "Optimization model for the selection of materials using a LEED-based green building rating system in Colombia," *Building and Environment*, vol. 44, no. 6, pp. 1162–1170, Jun. 2009.
- [20] Comisión para la Cooperación Ambiental. *Estados Unidos México y Canadá, Edificación sustentable en América del Norte. Oportunidades y retos*. 2008.

- [21] C. M. Bedoya, “Viviendas de Interés Social y Prioritario Sostenibles en Colombia – VISS y VIPS –,” *Sostenibilidad, tecnología y humanismo*, pp. 27–36, 2008.
- [22] Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, “Casos de estudio. Proyectos en Colombia.” [Online]. Available: <http://www.cccs.org.co/estudios-de-caso/proyectos>. [Accessed: 28-Feb-2013].
- [23] G. A. Osma Pinto, “Uso Racional de la Energía a Partir del Diseño de Aplicaciones Sostenibles en el Edificio de Ingeniería Eléctrica II de la Universidad Industrial de Santander,” Trabajo de investigación de maestría. Dirigido por Dr. Gabriel Ordóñez Plata, Universidad Industrial de Santander, 2011.
- [24] U.S Green Building Council, “LEED (Leadership in Energy and Environmental Design),” 2013. [Online]. Available: <http://www.usgbc.org/leed>. [Accessed: 01-Mar-2013].
- [25] Japan GreenBuild Council - JaGBC and Japan Sustainable Building Consortium - JSBC, “CASBEE (Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency).” [Online]. Available: <http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/>. [Accessed: 01-Mar-2013].
- [26] C. Naves, D. Amorim, M. S. Cintra, C. Frederico, J. Teixeira, and L. O. Sudbrack, “Energy Efficiency Code in Brazil : Experiences in the first public building labeled in Brasilia,” *Sim Build, Fourth National Conference of IBPSA-USA*, pp. 352–357, 2010.
- [27] BRE Group, “BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology),” 2013. [Online]. Available: <http://www.breeam.org/>. [Accessed: 01-Mar-2013].
- [28] Green Building Council España - GBCE, “Certificación VERDE,” 2013. [Online]. Available: <http://www.gbce.es/pagina/certificacion-verde>. [Accessed: 01-Mar-2013].
- [29] Minergie Switzerland, “Minergie, Higher Quality of Life, Lower Energy Consumption,” 2013. [Online]. Available: http://www.minergie.ch/home_en.html. [Accessed: 01-Mar-2013].
- [30] German Sustainable Building Council – GeSBC, “DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen).” [Online]. Available: <http://www.dgnb.de/en/>. [Accessed: 01-Mar-2013].

- [31] D. Kolokotsa, D. Rovas, E. Kosmatopoulos, and K. Kalaitzakis, "A roadmap towards intelligent net zero- and positive-energy buildings," *Solar Energy*, vol. 85, no. 12, pp. 3067–3084, Dec. 2011.
- [32] P. Torcellini, S. Pless, M. Deru, and D. Crawley, "Zero Energy Buildings : A Critical Look at the Definition," National Renewable Energy Laboratory, U.S Department of Energy, pp. 1–12, 2006.
- [33] S. Deng, a. Dalibard, M. Martin, Y. J. Dai, U. Eicker, and R. Z. Wang, "Energy supply concepts for zero energy residential buildings in humid and dry climate," *Energy Conversion and Management*, vol. 52, no. 6, pp. 2455–2460, Jun. 2011.
- [34] A. J. Marszal, P. Heiselberg, J. S. Bourrelle, E. Musall, K. Voss, I. Sartori, and A. Napolitano, "Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies," *Energy and Buildings*, vol. 43, no. 4, pp. 971–979, Apr. 2011.
- [35] M. Bojić, N. Nikolić, D. Nikolić, J. Skerlić, and I. Miletić, "Toward a positive-net-energy residential building in Serbian conditions," *Applied Energy*, vol. 88, no. 7, pp. 2407–2419, Jul. 2011.
- [36] J. Kurnitski, A. Saari, T. Kalamees, M. Vuolle, J. Niemelä, and T. Tark, "Cost optimal and nearly zero (nZEB) energy performance calculations for residential buildings with REHVA definition for nZEB national implementation," *Energy and Buildings*, vol. 43, no. 11, pp. 3279–3288, Nov. 2011.
- [37] P. Hernandez and P. Kenny, "From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB)," *Energy and Buildings*, vol. 42, no. 6, pp. 815–821, Jun. 2010.
- [38] A. J. Marszal and P. Heiselberg, "Life cycle cost analysis of a multi-storey residential Net Zero Energy Building in Denmark," *Energy*, vol. 36, no. 9, pp. 5600–5609, Sep. 2011.
- [39] L. Sherwood, "U.S Solar Market Trends 2010," Interstate Renewable Energy Council, no. June, pp. 1–20, 2011.
- [40] M. Gangoellis, M. Casals, S. Gassó, N. Forcada, X. Roca, and A. Fuertes, "A methodology for predicting the severity of environmental impacts related to the construction process of residential buildings," *Building and Environment*, vol. 44, no. 3, pp. 558–571, Mar. 2009.

- [41] M. Sivak, "Potential energy demand for cooling in the 50 largest metropolitan areas of the world: Implications for developing countries," *Energy Policy*, vol. 37, no. 4, pp. 1382–1384, Apr. 2009.
- [42] G. Abdalla, G. E. R. Maas, and J. Huyghe, "Barriers to Zero Energy Construction (ZEC) Technically possible ; why not succeed yet ?," *PLEA 2009 - 26th Conference on Passive and Low Energy Architecture*, Quebec City, Canada, no. June, pp. 1–3, 2009.
- [43] National Renewable Energy Laboratory and NAHB Research Center Inc, "The Potential Impact of Zero Energy Homes," 2006.
- [44] European Parliament and the Council of the European Union, "Directive 2010/31/EU. Energy Performance of Building," *Official Journal of the European Union*, pp. 13–35, 2010.
- [45] S. Attia and A. De Herde, "Defining Zero Energy Buildings from a Cradle to Cradle Approach," *PLEA 2011 - 27th Conference on Passive and Low Energy Architecture*, no. July, pp. 205–210, 2011.
- [46] R. V. B. Vale, *The New Autonomous House: Design and Planning for Sustainability*. Thames & Hudson, 2002, pp. 1–256.
- [47] European Parliament and the Council of the European Union, "Energy performance of buildings. Legislative resolution," *Official Journal of the European Union*, no. April, pp. 263–291, 2009.
- [48] "Gilljamse, W. 1995. Zero energy houses in the Netherlands. IBPSA, Madison, Wisconsin."
- [49] "Iqbal, M., 2002. A feasibility study of a zero energy home in Newfoundland. *Renewable Energy* 29: 277–289."
- [50] P. Hernandez and P. Kenny, "From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB)," *Energy and Buildings*, vol. 42, no. 6, pp. 815–821, Jun. 2010.
- [51] R. S. Srinivasan, W. W. Braham, D. E. Campbell, and C. D. Curcija, "Re(De)fining Net Zero Energy: Renewable Energy Balance in environmental building design," *Building and Environment*, vol. 47, pp. 300–315, Jan. 2012.

- [52] S. Thiers and B. Peuportier, “Energy and environmental assessment of two high energy performance residential buildings,” *Building and Environment*, vol. 51, pp. 276–284, May 2012.
- [53] K. Voss, E. Musall, and M. Lichtmeb, “From Low-Energy to Net Zero-Energy Buildings: Status and Perspectives,” *Journal of Green Building*, vol. 6, no. 1, pp. 46–57, 2011.
- [54] I. Griffiths and I. Nolte, *Final Drafts Principles for Nearly Zero-Energy Buildings*. 2011.
- [55] J. Kurnitski, F. Allard, D. Braham, G. Goeders, P. Heiselberg, L. Jagemar, R. Kosonen, J. Lebrun, L. Mazzarella, J. Railio, O. Seppänen, M. Schmidt, and M. Virta, “How to define nearly net zero energy buildings nZEB. REHVA,” *Federation of European Heating, Ventilation and Air-conditioning Associations*, pp. 1–18, 2012.
- [56] S. Booth, J. Barnett, K. Burman, J. Hambrick, and R. Westby, “Net Zero Energy Military Installations : A Guide to Assessment and Planning,” *National Renewable Energy Laboratory*, pp. 1–48, 2010.
- [57] A. J. Marszal and P. Heiselberg, “A literature review of Zero Energy Buildings (ZEB) definitions .,” 2009.
- [58] I. Sartori, A. Napolitano, and K. Voss, “Net zero energy buildings: A consistent definition framework,” *Energy and Buildings*, vol. 48, pp. 220–232, May 2012.
- [59] California Energy Commission, “Home Energy Rating System,” *Commission Regulations*, no. December, 2008.
- [60] J. Kurnitski, A. Saari, T. Kalamees, M. Vuolle, J. Niemelä, and T. Tark, “Cost optimal and nearly zero (nZEB) energy performance calculations for residential buildings with REHVA definition for nZEB national implementation,” *Energy and Buildings*, vol. 43, no. 11, pp. 3279–3288, Nov. 2011.
- [61] A. Hermelink, “Nearly Zero Energy Buildings and Offsite Renewables,” *Leonardo Energy Webinar*, 2013. [Online]. Available: <http://www.leonardo-energy.org/webinar/webinar-nearly-zero-energy-buildings-and-offsite-renewables>. [Accessed: 20-Jun-2013].
- [62] M. Salvador and S. Grieu, “Methodology for the design of energy production and storage systems in buildings: Minimization of the energy impact on the electricity grid,” *Energy and Buildings*, vol. 47, pp. 659–673, Apr. 2012.

- [63] Ş. Kılış, “A net-zero building application and its role in exergy-aware local energy strategies for sustainability,” *Energy Conversion and Management*, vol. 63, pp. 208–217, Nov. 2012.
- [64] K. F. Fong and C. K. Lee, “Towards net zero energy design for low-rise residential buildings in subtropical Hong Kong,” *Applied Energy*, vol. 93, pp. 686–694, May 2012.
- [65] N. Carlisle, O. V. Geet, and S. Pless, “Definition of a ‘ Zero Net Energy ’ Community,” *National Renewable Energy Laboratory*, no. November, pp. 1–14, 2009.
- [66] Deutsches Institut für Normung (DIN), “Energy efficiency of buildings — Calculation of the energy needs , delivered energy and primary energy for heating , cooling , ventilation , domestic hot water and lighting — Part 1 : General balancing procedures , terms and definitions , zoning and evalu,” pp. 1–66, 2007.
- [67] European Comission and European Free Trade Association, “Energy performance of buildings — Overall energy use , CO2 emissions and definition of energy ratings,” *European Standard*, pp. 1–45, 2006.
- [68] E. Cardona, Luis Alejandro Camargo, Maria Nohemi Arboleda, “PRODUCCIÓN DE ENERGÍA LIMPIA EN COLOMBIA, LA BASE PARA UN CRECIMIENTO SOSTENIBLE - XM.”
- [69] “CARBONO EN EL SECTOR ENERGÉTICO Foro – ‘ Bogotá se Conecta con la Energía Limpia y Enfrenta el Cambio Climático ’ Octubre 25 de 2012,” 2012.
- [70] International Energy Agency, “CO2 Emissions from Fuel Combustion - lea statistics,” 2012.
- [71] R. Anderson, C. Christensen, and S. Horowitz, “Analysis of Residential System Strategies Targeting Least-Cost Solutions Leading to Net Zero Energy Homes,” *National Renewable Energy Laboratory*, pp. 1–19, 2006.
- [72] G. Ramos Niembro, R. Fiscal, M. Maqueda, J. Sada, and H. Buitrón, “Variables que influyen en el consumo de energía eléctrica. México,” *Aplicaciones tecnológicas*, pp. 11–18, 1999.
- [73] Ministerio de Minas y Energía, “Memorias al Congreso de la República. Sector Energía Eléctrica,” 2010.

- [74] IDEAM, “Aspectos Departamentales,” in Atlas Climatológico Nacional, 2005, pp. 113–184.
- [75] Instituto de Vivienda de Interés Social y Reforma Urbana del Municipio de Bucaramanga, “UNA APROXIMACIÓN AL PROBLEMA DE LA VIVIENDA SOCIAL.” 2003.
- [76] Comfenalco Valle, “Urbanización Las Mercedes, El Cerrito.” [Online]. Available: <http://www1.comfenalcovalle.com.co/personas/vivienda/proyectos-de-vivienda-nueva/urbanizacion-las-mercedes>. [Accessed: 02-Feb-2013].
- [77] Comfenalco Valle, “Lomas del Aguacatal.” [Online]. Available: <http://www1.comfenalcovalle.com.co/personas/vivienda/proyectos-de-vivienda-nueva/lomas-del-aguacatal>. [Accessed: 02-Feb-2013].
- [78] Congreso de la República de Colombia, “Ley 689 / 2001 Modificatoria Ley 142 / 1994. El régimen tarifario de las empresas de servicios públicos, artículo 16.,” 2001. [Online]. Available: http://www.ccconsumidores.org.co/index.php?option=com_content&view=section&layout=blog&id=8&Itemid=126. [Accessed: 02-Jun-2013].
- [79] Consejo Nacional de Política Económica y Social, “Plan de Acción para la Focalización de los Subsidios para Servicios Públicos Domiciliarios. Documento Conpes,” República de Colombia, Departamento Nacional de Planeación, pp. 1–30, 2005.
- [80] Trade Global Synergy Colombia, “Colombia en cifras,” 2010. [Online]. Available: http://www.globaltradesynergy.com/alfa/index.php?option=com_content&view=article&id=12:colombia&catid=4:colombia-en-cifras&Itemid=6&lang=es. [Accessed: 02-Jun-2013].
- [81] DANE, “Proyección de población,” 2012. [Online]. Available: http://www.dane.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=75&Itemid=72. [Accessed: 03-Jul-2013].
- [82] Ministerios de Comunicaciones. República de Colombia, “Resumen Ejecutivo. Impacto Socioeconómico de la Implementación de la Televisión Digital Terrestre en Colombia.” pp. 1–17, 2008.
- [83] DANE, “Censo general,” 2005. [Online]. Available: http://www.dane.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=307&Itemid=124. [Accessed: 02-Jun-2013].

- [84] Ministerio de Trabajo, “Salario minimo mensual legal vigente,” 2012. [Online]. Available: <http://www.mintrabajo.gov.co/>. [Accessed: 02-Jun-2013].
- [85] Banco de la República de Colombia, “Serie histórica empalmada de datos. Promedio anual,” 2012. [Online]. Available: <http://www.banrep.gov.co/es/-estadisticas>. [Accessed: 02-Jun-2013].
- [86] Sistema Único de Información de Servicios Públicos, “Consolidado de energía por empresa y departamento.” [Online]. Available: http://reportes.sui.gov.co/reportes/SUI_ReporteEnergia.htm. [Accessed: 02-Jun-2013].
- [87] XM S.A. E.S.P, “Comportamiento de la demanda de energía eléctrica,” 2012. [Online]. Available: <https://www.xm.com.co/Pages/Home.aspx>. [Accessed: 02-Jun-2013].
- [88] Unidad de Planeación Minero Energética and Universidad Nacional de Colombia, “Caracterización energética de los sectores residencial, comercial y terciario,” 2006.
- [89] Universidad Nacional de Colombia and Fundación Bariloche, Análisis y revisión de los objetivos de política energética colombiana de largo plazo y actualización de sus estrategias de desarrollo. 2009, pp. 1–253.
- [90] Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, “Aspectos Nacionales,” in Atlas Climatológico Nacional, 2005, pp. 3–16.
- [91] M. Bessoudo, J. Macminn, I. Theaker, and D. Webber, “Approaching Net Zero Energy,” Canadian Architect, 2011.
- [92] R. Charron and A. Athienitis, “Design and Optimization of Net Zero Energy Solar Homes,” ASHRAE Transactions, vol. 112, no. 2, pp. 285–296, 2006.
- [93] J. Laws, “Getting to zero,” Occupational health & safety (Waco, Tex.), vol. 81, no. 1, pp. 32, 34, Jan. 2012.
- [94] A. Ferguson, “Identifying affordable net zero energy housing solutions,” 2010.
- [95] S. Hoque, “Net Zero Energy Homes : An Evaluation of Two Homes in the Northeastern United States,” Journal of Green Building, vol. 5, no. 2, pp. 79–90, 2007.

- [96] S. Attia, M. Hamdy, W. O'Brien, and S. Carlucci, "Assessing gaps and needs for integrating building performance optimization tools in net zero energy buildings design," *Energy and Buildings*, vol. 60, pp. 110–124, May 2013.
- [97] M. Kapsalaki, V. Leal, and M. Santamouris, "A methodology for economic efficient design of Net Zero Energy Buildings," *Energy & Buildings*, vol. 55, pp. 765–778, 2012.
- [98] L. T. Rodrigues, M. Gillott, and D. Tetlow, "Summer overheating potential in a low-energy steel frame house in future climate scenarios," *Sustainable Cities and Society*, vol. 7, pp. 1–15, Jul. 2013.
- [99] Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, *Calidad en la Vivienda de Interés Social*. 2011.
- [100] G. A. Osma Pinto, "Uso Racional de la Energía a Partir del Diseño de Aplicaciones Sostenibles en el Edificio de Ingeniería Eléctrica II de la Universidad Industrial de Santander," Trabajo de investigación de maestría. Dirigido por Dr. Gabriel Ordóñez Plata, Universidad Industrial de Santander, 2011.
- [101] M. J. N. O. Pano and H. J. P. Gonçalves, "Solar XXI building : Proof of concept or a concept to be proved ?," *Renewable Energy*, vol. 36, no. 10, pp. 2703–2710, 2011.
- [102] U.S Department of Energy, "Energy Savers. Tips on Saving Money & Energy at Home," *Energy Efficiency & Renewable Energy*, pp. 1–40, 2011.
- [103] A. Lenoir, E. Wurtz, and F. Garde, "Zero Energy Buildings in France : Overview and Feedback," *ASHRAE Transactions*, vol. 117, no. 2, p. 817, 2011.
- [104] P. Cooper, X. Liu, P. B. Kosasih, and R. Yan, "Modelling Net Zero Energy Options for a Sustainable Buildings Research Centre," 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney, Proceedings of Building Simulation, pp. 2799–2086, 2011.
- [105] F. A. Farret and M. G. Simoes, *Integration of Alternative Sources*. Jhon Wiley & Sons, Inc, 2006.
- [106] J. M. Burdío, "De las cocinas de inducción a la electrónica de potencia y la compatibilidad electromagnética," Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica, Zaragoza, 2008.

- [107] Comisión de Regulación de Energía y Gas - CREG, “CONSULTORÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN LOS MERCADOS DE COMERCIALIZACIÓN PRESENTES EN EL SIN Y DEFINICIÓN DE CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN DE PLANES DE REDUCCIÓN Y/O MANTENIMIENTO DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA.” pp. 1–24, 2009.
- [108] CODENSA E.S.P, “Tarifas de energía reguladas por Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG),” no. Febrero, pp. 1–2, 2013.
- [109] A. G. Mermet and E. R. Yarke, Ventilación Natural de Edificios. Fundamentos y Métodos de Cálculo para Aplicación de Ingenieros y Arquitectos, Primera ed. 2005.
- [110] O. Saadatian, K. Sopian, C. H. Lim, N. Asim, and M. Y. Sulaiman, “Trombe walls: A review of opportunities and challenges in research and development,” Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 16, no. 8, pp. 6340–6351, Oct. 2012.
- [111] F. Stazi, A. Mastrucci, and C. di Perna, “Trombe wall management in summer conditions: An experimental study,” Solar Energy, vol. 86, no. 9, pp. 2839–2851, Sep. 2012.
- [112] C. Varini, “Ecoenvolventes (I+D+I). Envolvertes Arquitectónicos Sensibles al Clima para Zonas Geoclimáticas Tropicales con Alto Desempeño Térmico y Bajo Impacto Ambiental,” Segundo Encuentro Internacional Ekotectura. Academia Colombiana de Arquitectura y Diseño, 2011.
- [113] W. Miller and L. Buys, “Anatomy of a sub-tropical Positive Energy Home (PEH),” Solar Energy, vol. 86, no. 1, pp. 231–241, Jan. 2012.
- [114] S. Deng, a. Dalibard, M. Martin, Y. J. Dai, U. Eicker, and R. Z. Wang, “Energy supply concepts for zero energy residential buildings in humid and dry climate,” Energy Conversion and Management, vol. 52, no. 6, pp. 2455–2460, Jun. 2011.
- [115] Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía IDAE (España), Guía Práctica de la Energía. Consumo eficiente y responsable, Tercera Ed. 2011, pp. 1–181.
- [116] M. Balbis Morejón, I. R. Tovar Ospino, and J. E. Balaguera Mantilla, ENERGÍA SOLAR TÉRMICA, Primera Ed. 2009.

- [117] ECOFYS and A. Hermelink, “Nearly Zero Energy Building and Offsite Renewables,” Webinar Leonardo Power Quality, 2013. .
- [118] INSTITUTO DE TECNOLOGÍA Y FORMACIÓN S.A.U, J. M. Méndez Muñiz, and R. Cuervo García, *Energía solar fotovoltaica*, Segunda ed. 2005.
- [119] INSTITUTO DE TECNOLOGÍA Y FORMACIÓN S.A.U, J. M. Méndez Muñiz, and R. Cuervo García, *Energía solar fotovoltaica*, Segunda ed. 2005.
- [120] Unidad de Planeación Minero energética and IDEAM, “Mapas de Radiación Solar Global Sobre una Superficie Plana,” in *Atlas de Radiación Solar de Colombia*, 2005, pp. 25–40.
- [121] P. Díaz Villar, “SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÓNOMOS : APLICACIÓN A LA ELECTRIFICACIÓN RURAL,” Universidad Politécnica de Madrid, 2003.
- [122] T. Perales Benito, *Instalación de Paneles Solares Térmicos*, Cuarta edi. Creaciones Copyright, 2007, pp. 1–146.
- [123] IDEAM, Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, and UPME, “Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia,” 2006.
- [124] Reserch for Energy Optimized Building, “Net Zero Energy Bulging - Map of International Project.” [Online]. Available: <http://www.enob.info/en/net-zero-energy-buildings/map/>. [Accessed: 21-Jul-2013].
- [125] Aalborg University, “NZEB Demonstration Buildings,” International Conference TOWARDS NET ZERO ENERGY BUILDINGS. [Online]. Available: www.zeb.aau.dk. [Accessed: 02-Jun-2013].
- [126] “Riverdale NetZero Project,” 2008. [Online]. Available: <http://www.riverdalenetzero.ca/Home.html>. [Accessed: 21-Jul-2013].
- [127] “Lighthouse,” 2007. [Online]. Available: <http://www.kingspanlighthouse.com/>. [Accessed: 21-Jul-2013].
- [128] “EcoTerra,” 2008. [Online]. Available: <http://www.cmhc-schl.gc.ca/fr/prin/dedu/maeq/ecte/index.cfm>. [Accessed: 21-Jul-2013].
- [129] “Net-Zero Energy House. The Moore House,” 2010. [Online]. Available: <http://doerr.org/casestudies/net-zero-energy.html>. [Accessed: 21-Jul-2013].

- [130] "Case study. Edge House," 2008. [Online]. Available: <http://www.greenbuilding.com/zero-energy-homes/case-study-net-zero-energy-home-boulder-colorado>. [Accessed: 21-Jul-2013].
- [131] "Zero Net Energy Buildings: Case Studies." [Online]. Available: <http://www.mass.gov/eea/energy-utilities-clean-tech/energy-efficiency/zero-net-energy-bldgs/zero-net-energy-buildings-case-studies.html>. [Accessed: 21-Jul-2013].
- [132] "Zero Energy Home (ZEH) – Kempsford, Garison Way." [Online]. Available: http://www.ba-pirc.org/casestud/pdf/BuildersChallengeSpotlight_GWRobinsonZEH.pdf. [Accessed: 21-Jul-2013].
- [133] "Zero Energy Home Longleaf." [Online]. Available: http://www.ba-pirc.org/casestud/pdf/BA_BuildersChallengeSpotlight_TWH-ZEH.pdf. [Accessed: 21-Jul-2013].
- [134] "Zero Energy Home (ZEH) – St. Croix, Tralee Bay." [Online]. Available: <http://www.ba-pirc.org/casestud/pdf/lifestyle-zeh.pdf>. [Accessed: 21-Jul-2013].
- [135] "KB Home GreenHouse." [Online]. Available: http://www.ba-pirc.org/casestud/ph_homes2011/pdf/KB_HomeGreenHouse.pdf. [Accessed: 21-Jul-2013].
- [136] "B35 Project." [Online]. Available: <http://www.viaggiata.ch/projekt-b35/>. [Accessed: 21-Jul-2013].
- [137] "Vivienda en Urbanización Experimental Bioclimática Parcela 7, Parque ITER - Granadilla, Tenerife." [Online]. Available: http://www.rodriguezgil-arquitecto.com/01.1.01_PV_Tenerife.html. [Accessed: 21-Jul-2013].
- [138] "Modern Beach House - Truro, MA." [Online]. Available: http://www.zeroenergy.com/p_truro.html. [Accessed: 21-Jul-2013].
- [139] "Camden Meeting House and Zero Energy Social Hall." [Online]. Available: <http://www.revisionarch.com/Projects.php?view=a&id=60>. [Accessed: 21-Jul-2013].
- [140] "Now House Windsor 5 Project." [Online]. Available: <http://www.nowhouseproject.com/workWindsor5Main.php>. [Accessed: 21-Jul-2013].

- [141] "Cliff House." [Online]. Available: <http://altius.net/projects/cliff-house/>. [Accessed: 21-Jul-2013].
- [142] "Modern Eco Villa for Southern Spain." [Online]. Available: <http://inhabitat.com/modern-eco-villa-for-southern-spain-by-diseno-earle/>. [Accessed: 21-Jul-2013].
- [143] "Seal Rocks House is a Net Zero Energy Surfer's Haven in Australia." [Online]. Available: <http://inhabitat.com/seal-rocks-house-is-a-net-zero-energy-surfers-haven-in-australia/>. [Accessed: 22-Jul-2013].
- [144] "The UK's first zero-carbon Passive House." [Online]. Available: [http://www.uwha.co.uk/About/news/Welsh Passivhaus.htm](http://www.uwha.co.uk/About/news/Welsh%20Passivhaus.htm). [Accessed: 21-Jul-2013].
- [145] "A carbon neutral home in Birmingham UK." [Online]. Available: <http://zerocarbonhousebirmingham.org.uk/>. [Accessed: 21-Jul-2013].
- [146] "CarbonLight Homes UK." [Online]. Available: <http://www.velux.co.uk/aboutvelux/modelhome2020/carbonlighthomes>. [Accessed: 21-Jul-2013].
- [147] "BedZED, UK." [Online]. Available: <http://www.bioregional.com/flagship-projects/one-planet-communities/bedzed-uk/>. [Accessed: 21-Jul-2013].
- [148] "Casa ISEAMI, Costa Rica." [Online]. Available: <http://www.arquitectoscostarica.com/2011/02/casa-iseami-juan-robles/>. [Accessed: 26-Jul-2013].
- [149] "Natural Energy Laboratory of Hawaii Authority (NELHA) HAWAII GATEWAY ENERGY CENTER." [Online]. Available: http://greensource.construction.com/projects/0707_HGEC.asp. [Accessed: 26-Jul-2013].
- [150] "PIXEL." [Online]. Available: <http://www.pixelbuilding.com.au/>. [Accessed: 26-Jul-2013].
- [151] "The Meridian Building." [Online]. Available: <http://www.meridianbuilding.co.nz/?#/>. [Accessed: 26-Jul-2012].
- [152] "Case Study - Z2 Design Facility." [Online]. Available: <http://www.z2building.com/z2casestudy.php>. [Accessed: 26-Jul-2013].

- [153] "THE DAVID AND LUCILE PACKARD FOUNDATION." [Online]. Available: <http://www.dpr.com/projects/the-david-and-lucile-packard-foundation-corporate-headquarters>. [Accessed: 26-Jul-2013].
- [154] "First 100% Sustainable Island in the Caribbean." [Online]. Available: <http://inhabitat.com/first-100-sustainable-island-in-the-caribbean/>. [Accessed: 26-Jul-2013].
- [155] "ZEMCH109." [Online]. Available: http://www.nrgstyle.com/design_solution.html. [Accessed: 26-Jul-2013].
- [156] "DeltaZERO residential and office building Lugano, Switzerland." [Online]. Available: <http://www.cottodeste.it/de/Details-zum-Projekt/5/DeltaZERO-residential-and-office-building/>. [Accessed: 26-Jul-2013].
- [157] "Energy-neutral living in wood." [Online]. Available: <http://inhabitat.com/gorgeous-energy-neutral-amsterdam-townhouse/farohouse-2/>. [Accessed: 26-Jul-2013].
- [158] "Prefab 'generation 5.0' (WeberHaus)." [Online]. Available: <http://inhabitat.com/prefab-friday-option-modular-concept-by-weberhaus/weberhaus-prefab-weberhaus-weberhaus-option-prefab-architecture-german-prefab-house-green-prefab-design-green-prefab-home-german-prefab-home-peter-c-jakob-bauart-switzerland-holz-2000-germ-2/>. [Accessed: 26-Jul-2013].
- [159] "Plus-EnergieHaus." [Online]. Available: <http://www.plusenergiehaus.de/index.php?noflash=true&pageID=21>. [Accessed: 26-Jul-2013].
- [160] "Hunsett Mill." [Online]. Available: <http://www.hunsettmill.co.uk/>. [Accessed: 26-Jul-2013].
- [161] "Zero – Energy Homes at Spring Leaf." [Online]. Available: http://www.gwattarchitect.com/?page_id=11. [Accessed: 26-Jul-2013].
- [162] "ESOPUS." [Online]. Available: <http://www.greenhillcontracting.com/pages/esopus.html>. [Accessed: 26-Jul-2013].
- [163] F. Obaco and J. Jaramillo, "Sistemas solar-térmicos : algoritmo operativo para aplicar el método F- Chart en la evaluación de colectores solares," pp. 1–3, 2010.

[164] CYPE Ingenieros S.A, "Aislamiento térmico de hogar." [Online]. Available: http://www.colombia.generadordeprecios.info/obra_nueva/Aislamientos_e_impormeabilizaciones/Aislamientos/Chimeneas_y_hogares/NAH010_Aislamiento_termico_de_hogar_o_camp.html. [Accessed: 28-Jul-2013].

ANEXO A. EJEMPLO DE CÁLCULO DE BALANCE

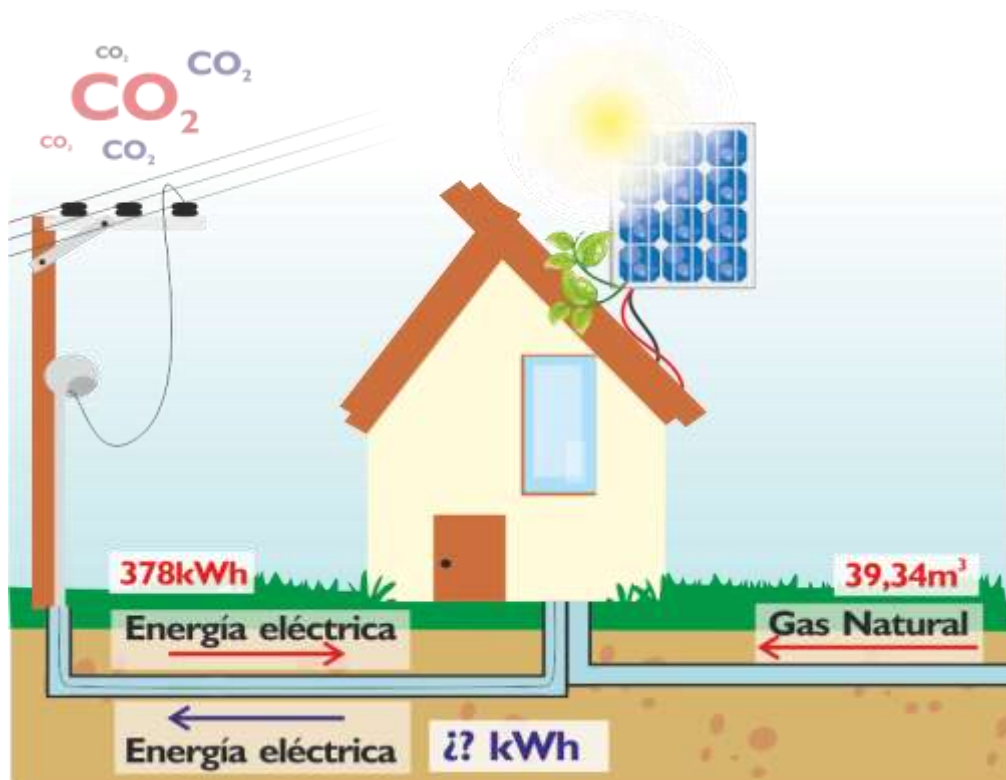
El ejercicio se basará en calcular la cantidad de energía eléctrica que se deben inyectar a la red para producir un balance en el periodo de un mes con cada indicador.

Para generar el balance se supone un edificio que tiene instalado un sistema de paneles solares fotovoltaicos y posee un consumo mensual de energía eléctrica y gas natural.

Considere una vivienda con el siguiente consumo energético mensual.

237 kWh de energía eléctrica provenientes de mezclas de energía

39,34 m³ de gas natural



El m^3 de gas natural equivale a 11,16 kWh de energía. La cantidad de gas que consume la vivienda en un mes equivale a:

$$39,34 m^3 \times 11,16 \frac{kWh}{m^3} = 439 kWh$$

El costo de la energía eléctrica es de 329,44 COP/kWh y el costo del gas natural es de 85,77 COP/kWh. La exportación de energía eléctrica se da a 143,8 COP/kWh.

ENERGÍA ELÉCTRICA

La energía eléctrica suministrada es igual a:

$$237 kWh$$

La energía eléctrica que debe ser suministrada por los paneles a la red de suministro es igual a:

$$237 kWh$$

ENERGÍA PRIMARIA

Tomando el factor de conversión para energía primaria de la Tabla 7 de la página 42, la energía primaria consumida en energía eléctrica es:

$$784,47 kWh = 237 kWh \times 3,31$$

La energía primaria consumida en gas natural es:

$$482,9 kWh = 439 kWh \times 1,1$$

La energía eléctrica que debe ser suministrada por los paneles es igual a:

$$382,8 kWh = (784,47 + 482,9)/3,31$$

EMISIONES DE CO₂

Tomando el factor de conversión para emisiones de CO₂ de la ubicada en la página 44, las emisiones de CO₂ producidas por el consumo de energía eléctrica son:

$$41,71 \text{ kg} = 0,237 \text{ MWh} \times 176 \frac{\text{kg}}{\text{MWh}}$$

Las emisiones de CO₂ producidas por el consumo de gas natural son:

$$121,6 \text{ kg} = 0,439 \text{ MWh} \times 277 \frac{\text{kg}}{\text{MWh}}$$

La energía eléctrica que debe ser suministrada por los paneles es igual a:

$$927,8 \text{ kWh} = (41,71 + 121,6)/176 \frac{\text{kg}}{\text{MWh}}$$

COSTO DE LA ENERGÍA

Usando las tasas de cobro y pago de la energía exportada, los costos producidos por el consumo de energía eléctrica son:

$$78 \ 067 \text{ COP} = 237 \text{ kWh} \times 329,4 \frac{\text{COP}}{\text{kWh}}$$

Los costos producidos por el consumo de gas natural son:

$$37 \ 653 \text{ COP} = 439 \text{ kWh} \times 85,77 \frac{\text{COP}}{\text{kWh}}$$

La energía eléctrica que debe ser suministrada es igual a:

$$804,72 \text{ kWh} = (78\,067 + 37\,653) / 143,8 \frac{\text{COP}}{\text{kWh}}$$

ANEXO B. DATOS CLIMATOLÓGICOS DE CINCO CIUDADES DE COLOMBIA

En la Tabla B1 se presentan datos mensuales de precipitación, días de lluvia, humedad relativa y brillo solar que presentan las ciudades de Bogotá (clima frío), Medellín y Bucaramanga (clima templado), Barranquilla y Cali (clima cálido).

Es posible observar que para las cinco ciudades los meses que presentan más horas de brillo solar son noviembre, diciembre, enero y febrero; además, en el primer semestre del año, los meses en donde se presentan más días de lluvia son abril, mayo y junio, en el segundo semestre los meses más lluviosos son septiembre y octubre.

Es importante mencionar que el porcentaje de humedad relativa aumenta en los meses con más días de lluvia y en general estas ciudades tienden a presentar porcentajes de humedad altos.

BOGOTÁ												
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación promedio (mm)	29	44	66	101	93	54	43	46	72	106	90	52
Días de lluvia	8	11	14	18	20	18	17	16	16	18	17	12
Humedad relativa (%)	79	80	81	82	81	79	77	77	79	82	83	81
Brillo solar (horas/mes)	187	150	144	110	112	112	137	138	121	121	132	166
MEDELLIN												
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación promedio (mm)	61	76	120	163	199	147	118	154	171	221	151	87
Días de lluvia	12	13	17	21	24	18	116	20	22	25	21	15
Humedad relativa (%)	66	66	67	70	71	67	63	65	69	72	73	70
Brillo solar (horas/mes)	175	149	154	138	138	173	203	191	153	132	136	156
BUCARAMANGA												
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación promedio (mm)	90	101	138	134	131	86	106	86	111	132	111	78
Días de lluvia	10	11	14	17	19	17	18	19	19	19	14	10
Humedad relativa (%)	80	80	81	83	84	83	82	81	82	84	85	82
Brillo solar (horas/mes)	174	107	98	100	115	88	112	111	101	104	125	156
CALI												
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación promedio (mm)	48	61	103	123	97	55	28	46	69	115	99	65
Días de lluvia	9	10	13	15	15	10	8	8	11	16	14	10
Humedad relativa (%)	72	72	73	75	76	75	72	70	72	75	76	74
Brillo solar (horas/mes)	184	157	164	144	144	154	185	183	159	154	151	168
BARRANQUILLA												
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación promedio (mm)	5	1	1	25	91	104	70	102	143	178	79	24

Días de lluvia	0	0	0	3	9	9	7	10	13	14	9	2
Humedad relativa (%)	78	77	77	78	80	81	80	81	83	84	83	80
Brillo solar (horas/mes)	282	245	240	207	188	195	215	207	164	166	191	253

Tabla B1. Precipitaciones, días de lluvia, humedad relativa y brillo solar mensual para cinco ciudades de Colombia [68].

ANEXO C. VALORES DE TEMPERATURAS PREDOMINANTES EN CADA DEPARTAMENTO

Por medio de la Figura C1, se quiere dar a conocer los valores de temperatura que se presentan con mayor frecuencia en cada una de las regiones y departamentos de Colombia.

La información presentada se basa en los datos del Atlas Climatológico Nacional, aspectos departamentales [68]. Es importante resaltar que en la mayor parte del territorio nacional goza de temperaturas mayores a 24°C que es una temperatura característica del piso térmico cálido.

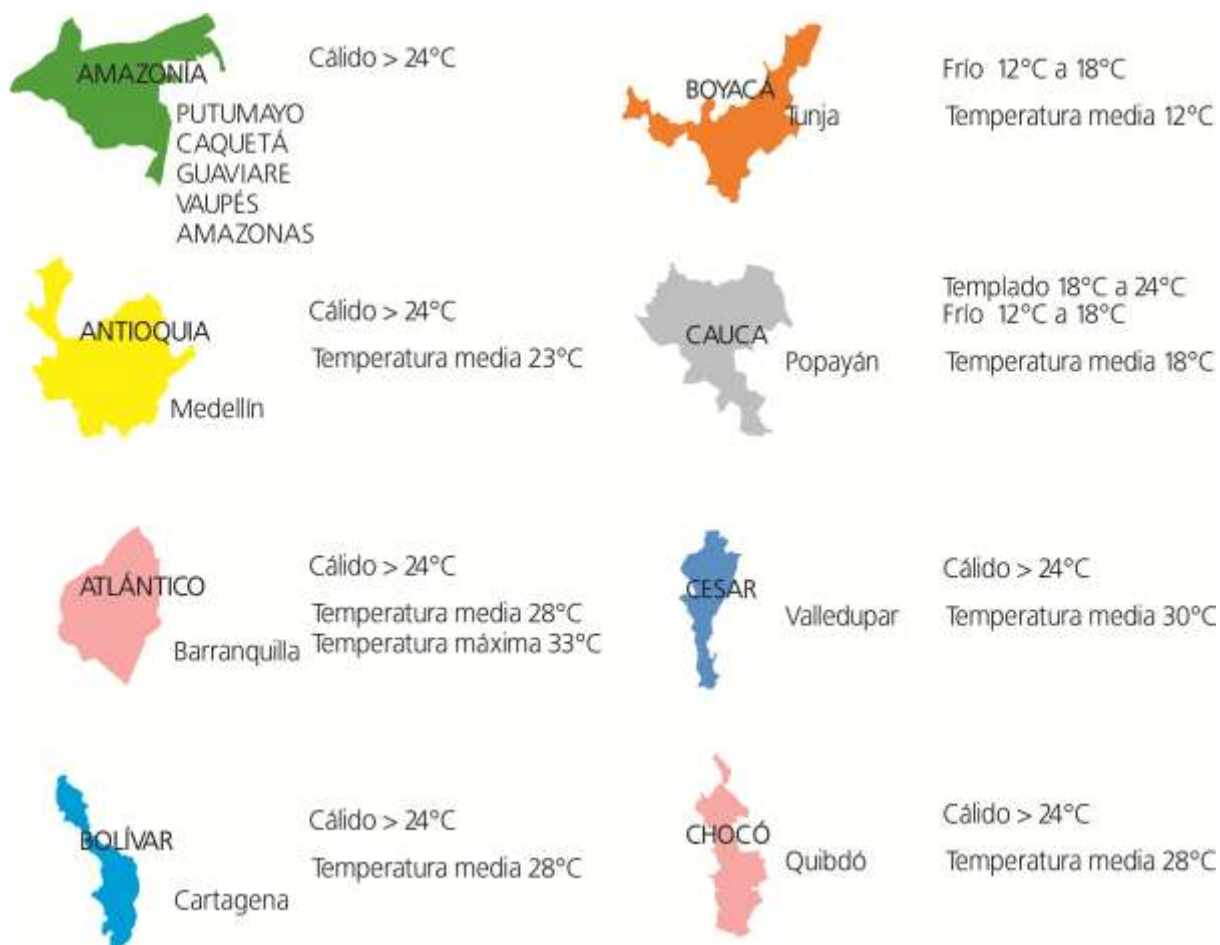
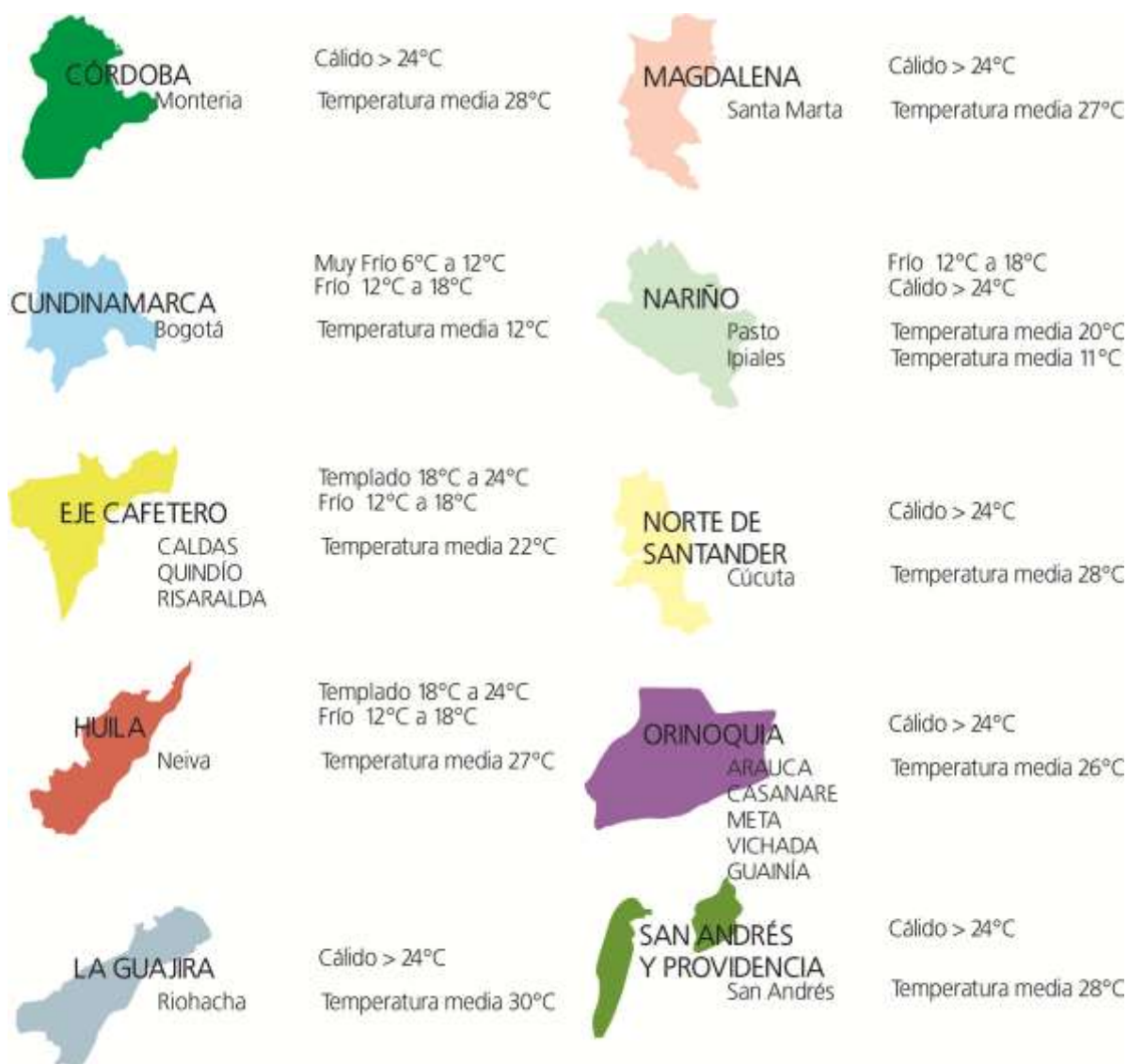
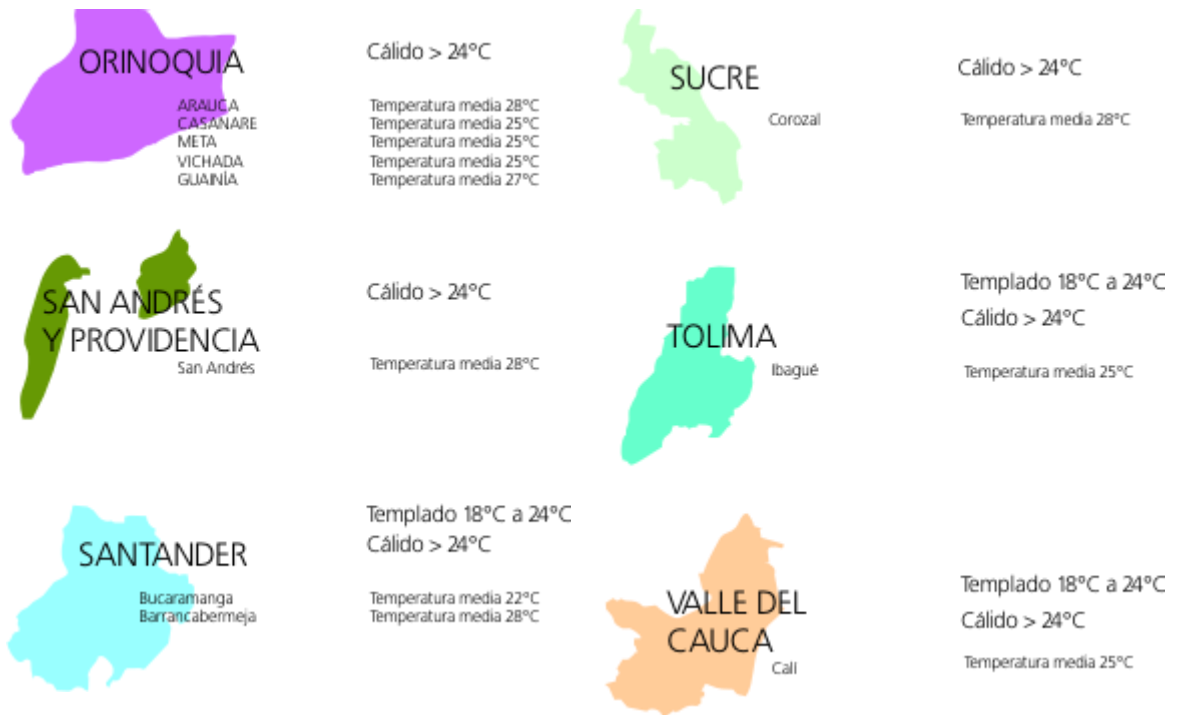


Figura B1. Temperatura característica por departamento.



Continuación figura B1. Temperatura característica por departamento.



Continuación figura B1. Temperatura característica por departamento.

ANEXO D. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

La metodología para dimensionar un sistema fotovoltaico se explica por medio de la siguiente sección teniendo en cuenta datos de carga propuestos previamente y valor de insolación para cada tipo de clima.

Las horas equivalentes se calculan según la expresión D.1 y representan el tiempo total diario durante el cual incide luz solar directa sobre la región de ubicación de la vivienda, se usan para conocer la energía que el panel puede aprovechar en la zona en la que se instalará, ya que difiere de la condición estándar del fabricante I_f , que corresponde a 1000 W/m^2 y se realiza basado en la insolación promedio I del lugar dada en la Tabla 28.

$$\text{Horas equivalentes} = \frac{I}{I_f} \quad (D.1)$$

Para climas fríos se suponen dos días de sombra y para los climas cálido y templado un día de sombra. Para mayor precisión en el cálculo, los días de sombra se deben establecer según la evaluación del potencial solar del sitio.

Según las necesidades energéticas de una VIS se consideró que no posee cargas de continua y se proyectará a suplir estas necesidades con corriente alterna, por tanto se tiene en cuenta las eficiencias tanto del inversor n_{inv} , como del regulador de carga n_{reg} . La energía total demanda se expresa por medio de (D.2).

$$E_{dtotal} = \frac{E_d}{n_{inv} \times n_{reg}} \quad (D.2)$$

El criterio de selección de los paneles y las baterías es la corriente por hora [A-h] necesaria para el sistema que se propone, la expresión utilizada es (D.3), donde V es la tensión en continua del sistema.

$$A \cdot h_{diario} = \frac{E_{dtotal}}{V} \quad (D.3)$$

CANTIDAD DE PANELES REQUERIDA

Para calcular la cantidad de paneles es necesario tener en cuenta la corriente que demanda el sistema teniendo en cuenta las horas equivalentes disponibles para cada clima, expresada en la siguiente ecuación.

$$I_{dem} = \frac{A \cdot h_{diario}}{\text{Horas equivalentes}} \quad (D.4)$$

Además, se debe tener en cuenta la corriente máxima nominal a potencia máxima del panel I_{mp} y se halla el número de paneles en paralelo por medio de la expresión (D.5).

$$PP = \frac{I_{dem}}{I_{mp}} \quad (D.5)$$

Para determinar la cantidad de paneles necesarios para suplir la tensión (paneles en serie) es necesario hallar la relación entre la tensión del sistema V y la tensión de operación de los paneles V_{mp} . El número de paneles en serie se expresa en la siguiente ecuación.

$$PS = \frac{V}{V_{mp}} \quad (D.6)$$

DIMENSIONAMIENTO DE LAS BATERÍAS

Para almacenar la energía proveniente de los paneles es necesario disponer de un banco de baterías, que supla la demanda total de energía en el momento en que no haya radiación solar.

Es necesario hallar la corriente de la carga I_c por medio de la expresión (D.7), teniendo en cuenta los días de autonomía d_{auto} , la capacidad de descarga de la batería $C_{descarga}$ y los amperes horas diario que demanda el sistema.

$$I_c = \frac{d_{auto} * A * h_{diario}}{C_{descarga}} \quad (D.7)$$

Para hallar el número de baterías necesarias para conformar el banco de baterías es necesario suplir la demanda de tensión y corriente del sistema. El número de materias en paralelo se obtiene por medio de la expresión (D.8), donde I_b es la corriente nominal de la batería según el fabricante.

$$BP = \frac{I_c}{I_b} \quad (D.8)$$

El número de baterías en serie se halla por medio de la expresión (D.9), donde V_b es la tensión nominal de la batería.

$$BS = \frac{V}{V_b} \quad (D.9)$$

CÁLCULO DEL REGULADOR DE CARGA

Además de operar a la misma tensión del sistema, el regulador de carga debe soportar la corriente de cortocircuito I_{sc} del arreglo de los paneles solares, para cada tipo de clima se hace el cálculo de la corriente del regulador por medio de la expresión (D.10).

$$I_{REG} = I_{sc} \times PP \quad (D.10)$$

CÁLCULO DEL INVERSOR

Se debe elegir de manera que su tensión de entrada y salida corresponda con las tensiones que requiere el sistema; además, que pueda convertir la máxima potencia demandada por el sistema P_p considerando el factor de potencia para carga residencial. La potencia del inversor se calcula mediante la expresión (D.11)

$$P_{inv} = \frac{P_p}{FP} \quad (D.11)$$

ANEXO E. DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

Se requiere proveer agua caliente a una vivienda de 4 habitantes, cada uno de ellos tienen un consumo de agua de 25 l/día. La insolación promedio mensual I es 3,5 [kWh/m²]. En la Tabla E1 se dan a conocer los datos de temperatura del agua y en la Tabla E2 los datos del colector.

Temperatura	Valor
Agua caliente, T_{ac}	45°C
Agua de la red, T_r	20°C
Ambiente, T_{amb}	25°C

Tabla E1. Datos de temperatura del agua

DATOS COLECTOR	
Área bruta [m ²], S_c	1,7
Pérdidas estimadas	40%
Eficiencia óptica, η_0	80,10%
Factor de corrección	0,96
Factor de corrección	0,95
a_1 (coeficiente de pérdida)	4,33
a_2 (coeficiente de pérdida cuadrática)	0,011
Capacidad del acumulador [l]	150

Tabla E2. Datos del colector solar AS 150H.

CÁLCULO DE LA CARGA CALORÍFICA MENSUAL DE CALENTAMIENTO

La carga calorífica se calcula mediante la expresión (E.1).

$$Q_a = C_e \times C \times N \times (T_{ac} - T_r) \quad (E.1)$$

Donde,

C_e : calor específico del agua

C : consumo diario de agua en kg (1 l equivale a 1 kg)

N : número de días al mes

Se realiza el cálculo para cada mes del año y se promedia, los resultados se aprecian en Tabla E3.

MES	No. Días	Q _a
Enero	31	324 492 500
Febrero	28	293 090 000
Marzo	31	324 492 500
Abril	30	314 025 000
Mayo	31	324 492 500
Junio	30	314 025 000
Julio	31	324 492 500
Agosto	31	324 492 500
Septiembre	30	314 025 000
Octubre	31	324 492 500
Noviembre	30	314 025 000
Diciembre	31	324 492 500
PROMEDIO		320 686 136,36
Q_a		321 [MJ/mes]

Tabla E3. Carga calorífica mensual.

ENERGÍA NECESARIA

La energía que se necesita para el calentamiento del agua se calcula teniendo en cuenta la carga calorífica mensual de calentamiento, según los datos del colector se considera unas pérdidas del 40%, según la expresión (E.2).

$$Q = 1,4 \times Q_a = 15 \text{ MJ/día} \quad (E.2)$$

ENERGÍA QUE SE TIENE

Para hallar la energía que se obtiene del colector solar, es necesario encontrar la radiación diaria neta R_1 según la expresión (E.3); multiplicando la insolación promedio diaria por los segundos que tiene una hora s . Por consiguiente, la energía que se obtiene del colector Q_t , se halla multiplicando la radiación diaria

neta por la superficie del colector por medio de la expresión (E.4). Los resultados se muestran en la Tabla E.4.

$$R_1 = I \times s \quad (E.3)$$

$$Q_t = R_1 \times S_c \quad (E.4)$$

R_1	12,6 MJ/m ²
Q_t	21,42 MJ/día

Tabla E.4. Resultados de radiación diaria neta y energía del colector.

Por ahora se puede decir que es necesario un colector solar para la vivienda; sin embargo, es necesario desarrollar el modelo *F-chart* para saber si la cantidad de colectores solares cubren la demanda de energía.

CÁLCULO DE LA FUNCIÓN *F-CHART*

La función *f-chart* se calcula mediante la expresión (E5).

$$F = 1,029 D_1 - 0,065 D_2 - 0,245 D_1^2 + 0,0018 D_2^2 + 0,0215 D_1^3 \quad (E.5)$$

Donde,

D_1 : $[E_a/Q_a]$

D_2 : $[E_p/Q_a]$

E_a : energía absorbida por el captador

E_p : energía de perdida

CÁLCULO DE LA ENERGÍA ABSORBIDA

Según los datos del colector presentados en la Tabla E2, se procede a realizar el cálculo de la energía absorbida por medio de la siguiente expresión.

$$E_a = S_c \times F'_r(T_a) \times R_1 \times N = 472,31 \text{ MJ/mes} \quad (E.6)$$

Donde,

$$F'_r(T_a) = F_r(T_a)_n \cdot [T_a/(T_a)_n] \cdot (F'_r/F_r)$$

$$F_r(T_a)_n = n_0 = 0,801$$

$$[T_a/(T_a)_n]: \text{factor de corrección} = 0,96$$

$$(F'_r/F_r): \text{factor de corrección} = 0,95$$

CÁLCULO DE D₁

El valor D₁ se refiere a la ganancia del colector, se le conoce como la energía solar útil proporcionada y se calcula mediante la siguiente expresión.

$$D_1 = \frac{E_a}{Q_a} = 1,47 \quad (E.7)$$

CÁLCULO DE LA EFICIENCIA

La pendiente de la función de eficiencia se calcula mediante la expresión (E.8).

$$\eta = n_0 - a_1 \frac{\Delta T}{I_r} - a_2 \frac{\Delta T^2}{I_r} = 0,53 \quad (E.8)$$

Donde,

I_r : irradiancia promedio diaria: $I_r = I / h_{sol}$

h_{sol} : horas de sol al día, se consideran 8 horas.

ΔT : variación de la temperatura = $T_{ac} - T_r$

CÁLCULO DE LA ENERGÍA PERDIDA

La expresión que se utiliza para calcular la energía que se pierde es (E.9)

$$E_p = S_c \times F'_r U_L \times (100 - T_{amb}) \times \Delta_t \times K_1 \times K_2 = 178,73 \text{ MJ/mes} \quad (E.9)$$

El factor de eficiencia del intercambiador de calor del colector solar llamado coeficiente global de pérdidas del captador $F'_r U_L$ se calcula mediante la expresión (E.10), este factor viene asociado intrínsecamente a un factor de disipación de calor en porcentaje.

$$F'_r U_L = F_r U_L \times (F'_r / F_r) = 0,503 \quad (E.11)$$

Dónde,

$F_r U_L$: pendiente de la función de eficiencia

Δ_t : período de tiempo en segundos, considerando que funciona las 24h/día.

K_1 : factor de corrección debido al almacenamiento, capacidad del colector expresada en kg.

K_2 : Factor de corrección para el agua caliente, en donde se relaciona la temperatura mínima de ésta con el agua de la red usada y también la temperatura media mensual del ambiente.

El factor K_1 se calcula mediante la expresión (E.11) y el factor K_2 mediante (E.12).

$$K_1 = \frac{\text{kg de acumulación}}{75 * S_c} - 0,25 = 0,96 \quad (E.11)$$

$$37,5 < [\text{kg de acumulación} / S_c] < 300$$

$$37,5 < 88,23 < 300$$

$$K_2 = \frac{[11,6 + 1,18 T_{ac} + 3,86 T_r - 2,32 T_{amb}]}{[100 - T_{amb}]} = 1,12 \quad (E.12)$$

CÁLCULO DE D_2

Las pérdidas totales en el colector D_2 debido a la reflexión de la luz solar, relacionan las pérdidas de energía en el captador a determinada temperatura con la capacidad calorífica y se calcula mediante la expresión (E.13).

$$D_2 = \frac{E_p}{Q_a} = 0,55 \quad (E.13)$$

A la fracción de energía solar mensual que se transforma en energía calorífica, se le conoce como parámetro f y se calcula mediante la expresión (E.14).

$$f = 1,029 D_1 - 0,065 D_2 - 0,245 D_1^2 + 0,0018 D_2^2 + 0,0215 D_1^3 \quad (E.14)$$

$$\mathbf{f = 1,016}$$

Si la función f -chart supera el valor de la unidad quiere decir que el colector solar cumple con la demanda de energía necesaria para brindar agua caliente a la vivienda.

ANEXO F. FLUJO DE CAJA PARA LAS APLICACIONES ENERGÉTICAS DIMENSIONADAS

A continuación se muestra el flujo de caja para las aplicaciones energéticas dimensionadas, teniendo en cuenta la metodología usada en [23].

AÑO	INVERSIÓN ANUAL		BENEFICIO ANUAL			COSTO ANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO		FLUJO ANUAL [M\$]
	MONTO [M\$]	CONCEPTO	ENERGÍA [kWh]	COSTO [M\$]	CONCEPTO	COSTO [M\$]	CONCEPTO	
0	54	Inversión inicial	0	0	-	0		-54,0
1	0		3 528	1,16	Costo de la Energía Generada	0,11	Mantenimiento del Sistema	1,05
2	0		3 528	1,16		0,11		1,05
3	0		3 528	1,16		0,11		1,05
4	0		3 528	1,16		0,11		1,05
5	0,68	Reemplazo de componentes	3 528	1,16		0,11		0,37
6	0		3 528	1,16		0,11		1,05
7	0		3 528	1,16		0,11		1,05
8	0		3 528	1,16		0,11		1,05
9	0		3 528	1,16		0,11		1,05
10	0,68	Reemplazo de componentes	3 528	1,16		0,11		0,37
11	0		3 528	1,16		0,11		1,05
12	0		3 528	1,16		0,11		1,05
13	0		3 528	1,16		0,11		1,05
14	0		3 528	1,16		0,11		1,05
15	0,68	Reemplazo de componentes	3 528	1,16		0,11		0,37
16	0		3 528	1,16		0,11		1,05
17	0		3 528	1,16		0,11		1,05
18	0		3 528	1,16		0,11		1,05
19	0		3 528	1,16		0,11		1,05
20	0		3 528	1,16		0,11		1,05

Tabla F1. Inversión, costo de la energía y costo de operación y mantenimiento del sistema fotovoltaico de gran capacidad conectado a la red para una vivienda de interés social ubicada en clima frío.

AÑO	INVERSIÓN ANUAL		BENEFICIO ANUAL			COSTO ANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO		FLUJO ANUAL [M\$]
	MONTO [M\$]	CONCEPTO	ENERGÍA [kWh]	COSTO [M\$]	CONCEPTO	COSTO [M\$]	CONCEPTO	
0	17,50	Inversión inicial	0	0,0	-	0		-17,50
1	0		1 764	0,58	Costo de la Energía Generada	0,04	Mantenimiento del Sistema	0,55
2	0		1 764	0,58		0,04		0,55
3	0		1 764	0,58		0,04		0,55
4	0		1 764	0,58		0,04		0,55
5	0,22	Reemplazo de componentes	1 764	0,58		0,04		0,33
6	0		1 764	0,58		0,04		0,55
7	0		1 764	0,58		0,04		0,55
8	0		1 764	0,58		0,04		0,55
9	0		1 764	0,58		0,04		0,55
10	0,22	Reemplazo de componentes	1 764	0,58		0,04		0,33
11	0		1 764	0,58		0,04		0,55
12	0		1 764	0,58		0,04		0,55
13	0		1 764	0,58		0,04		0,55
14	0		1 764	0,58		0,04		0,55
15	0,22	Reemplazo de componentes	1 764	0,58		0,04		0,33
16	0		1 764	0,58		0,04		0,55
17	0		1 764	0,58		0,04		0,55
18	0		1 764	0,58		0,04		0,55
19	0		1 764	0,58		0,04		0,55
20	0		1 764	0,58		0,04		0,55

Tabla F2. Inversión, costo de la energía y costo de operación y mantenimiento del sistema fotovoltaico de mediana capacidad conectado a la red para una vivienda de interés social ubicada en clima frío.

AÑO	INVERSIÓN ANUAL		BENEFICIO ANUAL			COSTO ANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO		FLUJO ANUAL [M\$]
	MONTO [M\$]	CONCEPTO	ENERGÍA [kWh]	COSTO [M\$]	CONCEPTO	COSTO [M\$]	CONCEPTO	
0	10,50	Inversión inicial	0	0,0	-	0		-10,50
1	0		1 058,4	0,35	Costo de la Energía Generada	0,02	Mantenimiento del Sistema	0,33
2	0		1 058,4	0,35		0,02		0,33
3	0		1 058,4	0,35		0,02		0,33
4	0		1 058,4	0,35		0,02		0,33
5	0,13	Reemplazo de componentes	1 058,4	0,35		0,02		0,20
6	0		1 058,4	0,35		0,02		0,33
7	0		1 058,4	0,35		0,02		0,33
8	0		1 058,4	0,35		0,02		0,33
9	0		1 058,4	0,35		0,02		0,33
10	0,13	Reemplazo de componentes	1 058,4	0,35		0,02		0,20
11	0		1 058,4	0,35		0,02		0,33
12	0		1 058,4	0,35		0,02		0,33
13	0		1 058,4	0,35		0,02		0,33
14	0		1058,4	0,35		0,02		0,33
15	0,13	Reemplazo de componentes	1 058,4	0,35		0,02		0,20
16	0		1 058,4	0,35		0,02		0,33
17	0		1 058,4	0,35		0,02		0,33
18	0		1 058,4	0,35		0,02		0,33
19	0		1 058,4	0,35		0,02		0,33
20	0		1 058,4	0,35		0,02		0,33

Tabla F3. Inversión, costo de la energía y costo de operación y mantenimiento del sistema fotovoltaico de pequeña capacidad conectado a la red para una vivienda de interés social ubicada en clima frío.

AÑO	INVERSIÓN ANUAL		BENEFICIO ANUAL			COSTO ANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO		FLUJO ANUAL [M\$]
	MONTO [M\$]	CONCEPTO	ENERGÍA [kWh]	COSTO [M\$]	CONCEPTO	COSTO [M\$]	CONCEPTO	
0	37.80	Inversión inicial	0.00	0.0	-	0.00		-37.80
1	0.00		3175.20	1.05	Costo de la Energía Generada	0.08	Mantenimiento del Sistema	0.97
2	0.00		3175.20	1.05		0.08		0.97
3	0.00		3175.20	1.05		0.08		0.97
4	0.00		3175.20	1.05		0.08		0.97
5	0.48	Reemplazo de componentes	3175.20	1.05		0.08		0.49
6	0.00		3175.20	1.05		0.08		0.97
7	0.00		3175.20	1.05		0.08		0.97
8	0.00		3175.20	1.05		0.08		0.97
9	0.00		3175.20	1.05		0.08		0.97
10	0.48	Reemplazo de componentes	3175.20	1.05		0.08		0.49
11	0.00		3175.20	1.05		0.08		0.97
12	0.00		3175.20	1.05		0.08		0.97
13	0.00		3175.20	1.05		0.08		0.97
14	0.00		3175.20	1.05		0.08		0.97
15	0.48	Reemplazo de componentes	3175.20	1.05		0.08		0.49
16	0.00		3175.20	1.05		0.08		0.97
17	0.00		3175.20	1.05		0.08		0.97
18	0.00		3175.20	1.05		0.08		0.97
19	0.00		3175.20	1.05		0.08		0.97
20	0.00		3175.20	1.05		0.08		0.97

Tabla F4. Inversión, costo de la energía y costo de operación y mantenimiento del sistema fotovoltaico de gran capacidad conectado a la red para una vivienda de interés social ubicada en clima templado.

AÑO	INVERSIÓN ANUAL		BENEFICIO ANUAL			COSTO ANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO		FLUJO ANUAL [M\$]
	MONTO [M\$]	CONCEPTO	ENERGÍA [kWh]	COSTO [M\$]	CONCEPTO	COSTO [M\$]	CONCEPTO	
0	14,0	Inversión inicial	0	0,0	-	0		-14,0
1	0		1 814,4	0,6	Costo de la Energía Generada	0,03	Mantenimiento del Sistema	0,57
2	0		1 814,4	0,6		0,03		0,57
3	0		1 814,4	0,6		0,03		0,57
4	0		1 814,4	0,6		0,03		0,57
5	0,18	Reemplazo de componentes	1 814,4	0,6		0,03		0,39
6	0		1 814,4	0,6		0,03		0,57
7	0		1 814,4	0,6		0,03		0,57
8	0		1 814,4	0,6		0,03		0,57
9	0		1 814,4	0,6		0,03		0,57
10	0,18	Reemplazo de componentes	1 814,4	0,6		0,03		0,39
11	0		1 814,4	0,6		0,03		0,57
12	0		1 814,4	0,6		0,03		0,57
13	0		1 814,4	0,6		0,03		0,57
14	0		1 814,4	0,6		0,03		0,57
15	0,18	Reemplazo de componentes	1 814,4	0,6		0,03		0,39
16	0		1 814,4	0,6		0,03		0,57
17	0		1 814,4	0,6		0,03		0,57
18	0		1 814,4	0,6		0,03		0,57
19	0		1 814,4	0,6		0,03		0,57
20	0		1 814,4	0,6		0,03		0,57

Tabla F5. Inversión, costo de la energía y costo de operación y mantenimiento del sistema fotovoltaico de mediana capacidad conectado a la red para una vivienda de interés social ubicada en clima templado.

AÑO	INVERSIÓN ANUAL		BENEFICIO ANUAL			COSTO ANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO		FLUJO ANUAL [M\$]
	MONTO [M\$]	CONCEPTO	ENERGÍA [kWh]	COSTO [M\$]	CONCEPTO	COSTO [M\$]	CONCEPTO	
0	7,0	Inversión inicial	0	0,0	-	0		-7,0
1	0		907,2	0,3	Costo de la Energía Generada	0,01	Mantenimiento del Sistema	0,28
2	0		907,2	0,3		0,01		0,28
3	0		907,2	0,3		0,01		0,28
4	0		907,2	0,3		0,01		0,28
5	0,09	Reemplazo de componentes	907,2	0,3		0,01		0,20
6	0		907,2	0,3		0,01		0,28
7	0		907,2	0,3		0,01		0,28
8	0		907,2	0,3		0,01		0,28
9	0		907,2	0,3		0,01		0,28
10	0,09	Reemplazo de componentes	907,2	0,3		0,01		0,20
11	0		907,2	0,3		0,01		0,28
12	0		907,2	0,3		0,01		0,28
13	0		907,2	0,3		0,01		0,28
14	0		907,2	0,3		0,01		0,28
15	0,09	Reemplazo de componentes	907,2	0,3		0,01		0,20
16	0		907,2	0,3		0,01		0,28
17	0		907,2	0,3		0,01		0,28
18	0		907,2	0,3		0,01		0,28
19	0		907,2	0,3		0,01		0,28
20	0		907,2	0,3		0,01		0,28

Tabla F6. Inversión, costo de la energía y costo de operación y mantenimiento del sistema fotovoltaico de pequeña capacidad conectado a la red para una vivienda de interés social ubicada en clima templado.

AÑO	INVERSIÓN ANUAL		BENEFICIO ANUAL			COSTO ANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO		FLUJO ANUAL [M\$]
	MONTO [M\$]	CONCEPTO	ENERGÍA [kWh]	COSTO [M\$]	CONCEPTO	COSTO [M\$]	CONCEPTO	
0	37,80	Inversión inicial	0	0,0	-	0		-37,80

1	0		3 528	1,16	Costo de la Energía Generada	0,08	Mantenimiento del Sistema	1,09
2	0		3 528	1,16		0,08		1,09
3	0		3 528	1,16		0,08		1,09
4	0		3 528	1,16		0,08		1,09
5	0,48	Reemplazo de componentes	3 528	1,16		0,08		0,61
6	0		3 528	1,16		0,08		1,09
7	0		3 528	1,16		0,08		1,09
8	0		3 528	1,16		0,08		1,09
9	0		3 528	1,16		0,08		1,09
10	0,48	Reemplazo de componentes	3 528	1,16		0,08		0,61
11	0		3 528	1,16		0,08		1,09
12	0		3 528	1,16		0,08		1,09
13	0		3 528	1,16		0,08		1,09
14	0		3 528	1,16		0,08		1,09
15	0,48	Reemplazo de componentes	3 528	1,16		0,08		0,61
16	0		3 528	1,16		0,08		1,09
17	0		3 528	1,16		0,08		1,09
18	0		3 528	1,16		0,08		1,09
19	0		3 528	1,16		0,08		1,09
20	0		3 528	1,16		0,08		1,09

Tabla F7. Inversión, costo de la energía y costo de operación y mantenimiento del sistema fotovoltaico de gran capacidad conectado a la red para una vivienda de interés social ubicada en clima cálido.

AÑO	INVERSIÓN ANUAL		BENEFICIO ANUAL			COSTO ANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO		FLUJO ANUAL [M\$]
	MONTO [M\$]	CONCEPTO	ENERGÍA [kWh]	COSTO [M\$]	CONCEPTO	COSTO [M\$]	CONCEPTO	
0	10,50	Inversión inicial	0	0	-	0		-10,50
1	0		1 512	0,5	Costo de la Energía Generada	0,02	Mantenimiento del Sistema	0,48
2	0		1 512	0,5		0,02		0,48
3	0		1 512	0,5		0,02		0,48
4	0		1 512	0,5		0,02		0,48
5	0,13	Reemplazo de componentes	1 512	0,5		0,02		0,34
6	0		1 512	0,5		0,02		0,48

7	0		1 512	0,5		0,02	0,48
8	0		1 512	0,5		0,02	0,48
9	0		1 512	0,5		0,02	0,48
10	0,13	Reemplazo de componentes	1 512	0,5		0,02	0,34
11	0		1 512	0,5		0,02	0,48
12	0		1 512	0,5		0,02	0,48
13	0		1 512	0,5		0,02	0,48
14	0		1 512	0,5		0,02	0,48
15	0,13	Reemplazo de componentes	1 512	0,5		0,02	0,34
16	0		1 512	0,5		0,02	0,48
17	0		1 512	0,5		0,02	0,48
18	0		1 512	0,5		0,02	0,48
19	0		1 512	0,5		0,02	0,48
20	0		1 512	0,5		0,02	0,48

Tabla F8. Inversión, costo de la energía y costo de operación y mantenimiento del sistema fotovoltaico de mediana capacidad conectado a la red para una vivienda de interés social ubicada en clima cálido.

AÑO	INVERSIÓN ANUAL		BENEFICIO ANUAL			COSTO ANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO		FLUJO ANUAL [M\$]
	MONTO [M\$]	CONCEPTO	ENERGÍA [kWh]	COSTO [M\$]	CONCEPTO	COSTO [M\$]	CONCEPTO	
0	7,0	Inversión inicial	0	0	-	0		-7,0
1	0		108	0,33		0,01		0,32
2	0		108	0,33		0,01		0,32
3	0		108	0,33		0,01		0,32
4	0		108	0,33		0,01		0,32
5	0,09	Reemplazo de componentes	108	0,33		0,01		0,23
6	0		108	0,33		0,01		0,32
7	0		108	0,33		0,01		0,32
8	0		108	0,33		0,01		0,32
9	0		108	0,33		0,01		0,32
10	0,09	Reemplazo de componentes	108	0,33		0,01		0,23
11	0		108	0,33		0,01		0,32
12	0		108	0,33		0,01		0,32

13	0		108	0,33		0,01		0,32
14	0		108	0,33		0,01		0,32
15	0,09	Reemplazo de componentes	108	0,33		0,01		0,23
16	0		108	0,33		0,01		0,32
17	0		108	0,33		0,01		0,32
18	0		108	0,33		0,01		0,32
19	0		108	0,33		0,01		0,32
20	0		108	0,33		0,01		0,32

Tabla F9. Inversión, costo de la energía y costo de operación y mantenimiento del sistema fotovoltaico de pequeña capacidad conectado a la red para una vivienda de interés social ubicada en clima cálido.

AÑO	INVERSIÓN ANUAL		BENEFICIO ANUAL			COSTO ANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO		FLUJO ANUAL [€]
	MONTO [M€]	CONCEPTO	ENERGÍA [kWh]	COSTO [M€]	CONCEPTO	COSTO [M€]	CONCEPTO	
0	0,16	Inversión inicial	0.00	0.0	-	0		-0.161
1	0		441	0.15		0		0.15
2	0		441	0.15		0		0.15
3	0		441	0.15		0		0.15
4	0		441	0.15		0		0.15
5	0		441	0.15		0		0.15
6	0,16	Reemplazo de bombillas	441	0.15		0		-0.02
7	0		441	0.15		0		0.15
8	0		441	0.15		0		0.15
9	0		441	0.15		0		0.15
10	0		441	0.15		0		0.15
11	0		441	0.15		0		0.15
12	0,16	Reemplazo de bombillas	441	0.15		0		-0.02
13	0		441	0.15		0		0.15
14	0		441	0.15		0		0.15
15	0		441	0.15		0		0.15
16	0		441	0.15		0		0.15
17	0		441	0.15		0		0.15
18	0,16	Reemplazo de bombillas	441	0.15		0		-0.02
19	0		441	0.15		0		0.15

20	0	441	0.15	0	0.15
----	---	-----	------	---	------

Tabla F10. Inversión, costo de la energía y costo de operación y mantenimiento del sistema de iluminación eficiente.

AÑO	INVERSIÓN ANUAL		BENEFICIO ANUAL			COSTO ANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO		FLUJO ANUAL [M\$]
	MONTO [M\$]	CONCEPTO	ENERGÍA [kWh]	COSTO [M\$]	CONCEPTO	COSTO [M\$]	CONCEPTO	
0	4.30	Inversión inicial	0.00	0.0	-	0.00		-4.30
1	0.00		547.50	0.18	Costo de la Energía Generada	0.00	Mantenimiento del Sistema	0.18
2	0.00		547.50	0.18		0.00		0.18
3	0.00		547.50	0.18		0.00		0.18
4	0.00		547.50	0.18		0.00		0.18
5	0.00		547.50	0.18		0.00		0.18
6	0.00		547.50	0.18		0.00		0.18
7	0.00		547.50	0.18		0.00		0.18
8	0.00		547.50	0.18		0.00		0.18
9	0.00		547.50	0.18		0.00		0.18
10	0.00		547.50	0.18		0.00		0.18
11	0.00		547.50	0.18		0.00		0.18
12	0.00		547.50	0.18		0.00		0.18
13	0.00		547.50	0.18		0.00		0.18
14	0.00		547.50	0.18		0.00		0.18
15	0.00		547.50	0.18		0.00		0.18
16	0.00		547.50	0.18		0.00		0.18
17	0.00		547.50	0.18		0.00		0.18
18	0.00		547.50	0.18		0.00		0.18
19	0.00		547.50	0.18		0.00		0.18
20	0.00		547.50	0.18		0.00		0.18

Tabla F11. Inversión, costo de la energía y costo de operación y mantenimiento del sistema térmico solar.

AÑO	INVERSIÓN ANUAL		BENEFICIO ANUAL			COSTO ANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO		FLUJO ANUAL [M\$]
	MONTO [M\$]	CONCEPTO	ENERGÍA [kWh]	COSTO [M\$]	CONCEPTO	COSTO [M\$]	CONCEPTO	
0	20.03	Inversión inicial	0.00	0.0	-	0.00		-20.03
1	0.00		3528.00	1.16		0.08		1.09
2	0.00		3528.00	1.16		0.08		1.09
3	0.00		3528.00	1.16		0.08		1.09
4	0.00		3528.00	1.16		0.08		1.09
5	0.48	Reemplazo de componentes	3528.00	1.16		0.08		0.61
6	0.00		3528.00	1.16		0.08		1.09
7	0.00		3528.00	1.16		0.08		1.09
8	0.00		3528.00	1.16		0.08		1.09
9	0.00		3528.00	1.16		0.08		1.09
10	0.48	Reemplazo de componentes	3528.00	1.16		0.08		0.61
11	0.00		3528.00	1.16		0.08		1.09
12	0.00		3528.00	1.16		0.08		1.09
13	0.00		3528.00	1.16		0.08		1.09
14	0.00		3528.00	1.16		0.08		1.09
15	0.48	Reemplazo de componentes	3528.00	1.16		0.08		0.61
16	0.00		3528.00	1.16		0.08		1.09
17	0.00		3528.00	1.16		0.08		1.09
18	0.00		3528.00	1.16		0.08		1.09
19	0.00		3528.00	1.16		0.08		1.09
20	0.00		3528.00	1.16		0.08		1.09

Tabla F12. Inversión, costo de la energía y costo de operación y mantenimiento del sistema fotovoltaico de gran capacidad conectado a la red para una vivienda de interés social ubicada en clima cálido, con financiación del 47% de la inversión inicial.