

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

Diseño y simulación de una edificación Energía Neta Zero aplicada a vivienda
de interés social

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Miguel Sebastián Santana Martínez

Sergio Javier Serrano Ortega

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

DEDICATORIA

Quiero empezar dedicando este trabajo a mi madre Glenda y a mi padre Carlos, quienes me llevaron de la mano firmemente durante toda mi vida académica. Son mi inspiración y los pilares de mi vida. A mis hermanos y mi familia, siempre atentos y dándome ánimos para superarme.

Finalmente, a mis compañeros y colegas, Gabriel, Chan, Luis, José, y May quienes me transformaron en alguien mejor.

Miguel Santana Martínez

A mis padres, Aida Patricia, Aida Angélica y Sergio por haber sido guías y amigos durante todo este viaje llamado vida, gracias por su apoyo y amor incondicional. A mis abuelitos, Liduvina y Miguel, que nunca los olvidaré. A mis hermanos, Fiore, Emilia y Emilio, que son mi razón para superarme. A mis amigos, Andrés, Renato, Davis, Jefferson, Carlos, Gustavo, Julissa y Marissa. Por haber hecho tan especial mi etapa universitaria. Esto se los dedico a ustedes.

Sergio Serrano Ortega

AGRADECIMIENTO

Agradecemos al PhD. Guillermo Soriano, tutor y guía en este proyecto, cuya paciencia y supervisión fueron vitales a lo largo de todo el trabajo.

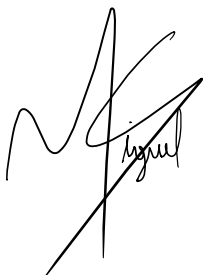
A su vez, agradecemos a la MSc. Andrea Boero, profesora y tutora, quien también nos acompañó durante todo el proyecto.

También agradecemos al MSc. José Macías y MSc. Frank Porras, cuyos aportes en el área de la simulación fueron bases para esta investigación.

Finalmente, agradecemos a quienes hayan leído y lean este proyecto, que esta investigación siga construyéndose por un futuro mejor.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Miguel Sebastián Santana Martínez y Sergio Javier Serrano Ortega damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Miguel', with a large, stylized initial 'M' and a long horizontal stroke extending to the right.

Miguel Sebastian Santana
Martínez

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Sergio Serrano', with a stylized 'S' and 'O' and a long horizontal stroke extending to the right.

Sergio Javier Serrano Ortega

EVALUADORES

Andrea Boero

PROFESOR DE LA MATERIA

Guillermo Soriano

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El déficit habitacional existente en Ecuador junto con el cambio climático debido a las elevadas emisiones de dióxido de carbono relacionadas a la industria de la construcción, generan una problemática que requieren de la promoción y políticas de mitigación. A esto, se suma la acelerada expansión habitacional, que solo provocará el aumento en estas cifras desde ya alarmantes con impactos ambientales gigantescos para el medio ambiente y sus recursos energéticos.

Para resolver estas problemáticas ya mencionadas se propuso como alternativa de solución el diseño y simulación de una vivienda de interés social NET ZERO ENERGY, que es una edificación capaz de generar por fuentes de energías renovables toda la energía in situ que consumirá a lo largo de un año.

El proyecto partió de modelos ya existentes de vivienda social, con diferentes configuraciones de materiales para techo y paredes, pasando por las convencionales en Guayaquil como lo son paredes de bloque enlucido y techo de zinc, hasta configuraciones eficientes como paredes y techo de concreto con núcleo de aislamiento. Una vez obtenido los consumos iniciales mediante simulación energética se utilizaron medidas pasivas, como selección eficiente de materiales de envolvente, análisis de sombreado de ventanas y selección de WWR. Así reduciendo el consumo, con lo que se partió a dimensionar el sistema fotovoltaico, comprobando su capacidad de proveer por las necesidades energéticas y realizar una comparación de costos.

Con este proyecto se obtuvo que el ahorro energético entre el modelo inicial de una vivienda social y nuestro modelo propuesto fue del 71.8% considerando cargas por enfriamiento, así mismo se dimensionó un sistema fotovoltaico de cuatro paneles de 545W cada uno. Finalmente, en base a la comparación de costos, la diferencia entre cada modelo se aproximó a \$5616 que es un valor para recuperarse en los primeros 8 años por la utilización de energías renovables.

Palabras Clave: Net zero energy, Paneles fotovoltaicos, Vivienda de interés social.

ABSTRACT

The existing house deficit in Ecuador and its associated carbon dioxide emissions constitutes a significant problem that requires the promotion of environmental actions and mitigation policies. The problem is exacerbated by the accelerated housing expansion will cause an increase in these already critical issues for the environment and its resources.

A net zero energy building (NZEB) oriented to low-income housing was proposed as an alternative solution for the described problem. The NZEB is a building that can generate all the required energy for the house at the site for the whole year.

This project continued an investigation of low-income housing with different materials for walls and roofs, from the conventional configuration of plastered block walls and zinc roofing structures, to a more efficient one such as walls and concrete ceiling with isolation. Once the initial energy consumption was obtained by software simulation, we applied passive house measures, such as efficient envelop materials, shading analysis, and proper WWR. With the reduced annual intake, we could select an appropriate photovoltaic system, ensuring its ability to provide the needed energy and make an economic comparison with the baseline.

We obtained a considerable energy saving of approximately 71.8% between the conventional and isolated configuration (considering cooling loads). For this, a photovoltaic system of four 545W panels was selected. Finally, based on the economic analysis, the difference between each model approached \$5,616, which is an investment with a payback period of 8 years mainly due to the savings result of the application of the proposed measures.

Key words: net zero energy, photovoltaic panels, low-income housing.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Descripción del Problema	1
1.2. Justificación del Proyecto.....	1
1.3. Objetivos	2
1.4. Marco Teórico	3
CAPÍTULO 2.....	12
2. METODOLOGÍA.....	12
2.1. Diseño conceptual.....	12
2.2. Cálculo de carga térmica.....	18
2.3. Reducción de demanda de energía	22
2.4. Dimensionamiento de fuente de energía renovable	27
2.5. Análisis económico	35
CAPÍTULO 3.....	36
3. Resultados y Análisis.....	36
3.1. Cálculo de carga térmica.....	36
3.2. Reducción de demanda de energía	37
3.3. Análisis Económico	43

3.4. Análisis.....	44
CAPÍTULO 4.....	47
4. Conclusiones y Recomendaciones	47
3.5. Conclusiones.....	47
3.6. Recomendaciones	48
BIBLIOGRAFÍA.....	50
APÉNDICES.....	52

ABREVIATURAS

NZEB	Net Zero Energy Building
WRW	Window to Wall Ratio
SCC	Espacio de Sala Comedor Cocina
ICF	Isolated concrete forms
CM	Confined Masonery
Z	Zinc alloy roof
ODS	Objetivos de desarrollo sostenible
PV	Paneles fotovoltaicos
MIDUVI	Ministerio de desarrollo urbano y vivienda
INEC	Instituto nacional de estadística y censos
RES	Renewable energy source
CA	Corriente alterna
CC	Corriente continua
HFC	Hidrofluorocarbonos

SIMBOLOGÍA

E_{elec}	Consumo medio total diario de energía eléctrica (Wh/día)
H_s	Promedio de la energía de la radiación solar incidente (kWh/(m ² *día))
P	Potencia en Watts (W)
I	Corriente eléctrica (A)
V	Diferencia de potencial (V)
F_s	Factor de seguridad
Y	Relación entre consumo e irradiancia diaria disponible (m ²)
N_{mod}	Número de módulos fotovoltaicos

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Características principales de NZEB	5
Figura 2.2 Perfil de carga de consumo de equipos electrodomésticos por hora	21
Figura 2.3 Perfil de carga de consumo de luminarias dentro del hogar por hora	21
Figura 2.4 Sistema de HVAC en OpenStudio para cada espacio de la casa	22
Figura 2.5 Distribución de zonas térmicas inicial.....	23
Figura 2.6 Simulación de muros circundantes.....	26
Figura 2.7 Simulación de pestañas de ventanas y puertas	26
Figura 2.8 Radiación diaria sobre superficie a 8° en Guayaquil	30
Figura 3.9 Tipo de edificación en relación con el consumo energético anual.....	36
Figura 3.10 Consumo energético mensual	37
Figura 3.11 Nueva distribución de zonas térmicas	38
Figura 3.12 Orientación de mayor velocidad de viento.....	39
Figura 3.13 Mapa de radiación solar para Guayaquil	40
Figura 3.14 Reducción de demanda con las medidas	42
Figura 3.15 Distribución de carga.....	45
Figura 3.16 Distribución de carga por HVAC y temperatura de bulbo seco anual.....	46
Figura 3.17 Distribución de carga mensual	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Importancia ponderada de variables en medidas de eficiencia energética.....	14
Tabla 2.2 Importancia ponderada en variables de fuentes de energía renovable	15
Tabla 2.3 Matriz de decisión de medidas de eficiencia energética.....	17
Tabla 2.4 Matriz de decisión de tipo de RES.....	17
Tabla 2.5 Propiedades de materiales de construcción utilizados	19
Tabla 2.6 Cargas térmicas para simulación.....	20
Tabla 2.7 Propiedades de ventanas de baja emisividad	25
Tabla 2.8 Perfil de carga estimado	29
Tabla 3.9 Variación de WWR y su energía anual	38
Tabla 3.10 Variación de material de ventanas y su consumo asociado	40
Tabla 3.11 Variación de consumo en relación con el offset de pestañas	41
Tabla 3.12 Número de módulos obtenidos	42
Tabla 3.13 Características del sistema de Paneles Solares.....	43
Tabla 3.14 Comparación de Precios	44

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción del Problema

Debido al gran déficit habitacional existente en Ecuador, el cual se aproxima a 500,000 viviendas para inicios del año 2021 [1], donde la mayor demanda se presenta en la provincia del Guayas y de forma específica en la ciudad de Guayaquil, la cual abarca aproximadamente la mitad de la demanda a nivel nacional [2]. Además, siendo la industria de la construcción uno de los principales emisores de CO₂ a nivel mundial por la falta de gestión en prácticas de ingeniería sostenibles. Se propone el diseño y simulación de una vivienda tipo social con Energía Neta Zero, la cual es una edificación capaz de producir in situ la cantidad de energía eléctrica que esta requerirá mediante fuentes renovables.

Este proyecto nace como una propuesta de solución a estas dos grandes problemáticas de nuestro país aplicando conocimientos de la ingeniería mecánica y teniendo como pilares fundamentales los objetivos de desarrollo sostenible.

1.2. Justificación del Proyecto

Considerando que edificios y viviendas consumen un aproximado del 30% de la energía primaria a nivel mundial. Siendo para un caso específico, en Ecuador, el sector residencial representa el 36% de la demanda nacional de electricidad, siendo esta la más alta entre los sectores [2]. Adicional a esto se conoce más de una cuarta parte de las emisiones de Dióxido de Carbono son generadas por la industria de la construcción [3]. Se tiene previsto que para los próximos 40 años estas cifras sólo seguirán aumentando debido a la acelerada expansión habitacional; sumado a que la mitad del crecimiento se prevé que ocurra en

países sin normativas obligatorias relacionadas a sostenibilidad y energía en el campo de la construcción. Sin la toma debida de acciones, la demanda energética podría aumentar en un 30% para el año 2060 [4], por lo que el despliegue de tecnologías y proyectos de construcción sostenibles y eficientes en temas energéticos y con bajas emisiones de carbono podrían disminuir considerablemente estos porcentajes. Otras acciones adicionales, como el cumplimiento de los protocolos a los cuales Ecuador está ligado, como el protocolo de Montreal y refiriéndose de manera particular a la enmienda de Kigali, entrada en vigencia el 1 de enero del 2019, el cual nos compromete como nación a la disminución de consumo y la eliminación de sustancias que agoten la capa de ozono y el consumo de hidrofluorocarbonos (HFC) así como otros potentes gases de efecto invernadero hasta en un 80% en los próximos 30 años [5].

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar una vivienda de interés social con materiales de alta eficiencia energética, consumo de energía eléctrica cero y su respectivo sistema de generación de energía renovable utilizando software de eficiencia energética.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Cuantificar la demanda energética anual para una vivienda de interés social, mediante el levantamiento de información disponible en la literatura o estadísticas nacionales.
2. Optimizar el comportamiento energético de una vivienda de interés social proponiendo medidas pasivas de mejora de la eficiencia energética.

3. Dimensionar el sistema de suministro de energía renovable que sea capaz de suplir la demanda energética anual de una vivienda de interés social.
4. Realizar un análisis económico base que permita analizar el potencial de implementación a un proyecto de construcción de viviendas de interés social.

1.4. Marco Teórico

1.4.1. Situación de la región

De acuerdo con el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), en Ecuador existe un déficit de viviendas que para el año 2015 se aproxima a 587,110 viviendas a nivel nacional, el cual representa el 13.4% de las viviendas totales. La mayor parte de la demanda se concentra en las ciudades principales como lo son Guayaquil y Quito [1]; por lo cual se ha buscado la creación de programas de vivienda social en la última década para tratar de reducir este déficit habitacional. El mismo, que representa una cantidad elevada si se consideran todas las residencias a nivel nacional que cuentan con las condiciones que se consideran como precariedad en la vivienda, el cual se conoce como déficit habitacional cualitativo, llegando a ser hasta del 75,5% a nivel nacional. Estos indicadores nos tratan cuantificar la deficiencia de la mayor parte de las viviendas en el territorio nacional ya sea por hacinamiento, por servicios básicos o por materiales de construcción. Los porcentajes son incluso más alarmantes si sólo se analizan las zonas rurales del país donde se llega hasta a un 95,3% de déficit habitacional cualitativo.

A pesar de esto, en el país se han realizado varios proyectos relacionados a viviendas con alguna iniciativa sostenible, como por ejemplo edificaciones

hechas con materiales más eco amigables y biodegradables, como se vio en el proyecto INBAR en Manabí [6], o el proyecto La Comuna en El Oro [7].

Para nuestro caso de estudio se seleccionó la ciudad de Guayaquil debido a que es la ciudad más grande y poblada de Ecuador, la cual tiene un área estimada de 2494 kilómetros cuadrados y para el año 2020 una población de alrededor de 2.72 millones de habitantes. Guayaquil por su ubicación geográfica cuenta con un clima tropical con dos estaciones bien definidas las cuales son: estación húmeda (enero-abril) y estación seca (mayo-diciembre). Con temperaturas promedio que varían entre 23.4 a 26.5 °C, con temperaturas mínimas de alrededor de 18 °C, con máximas de alrededor de 33.2 °C y niveles de humedad anuales promedio de aproximadamente 70% [8]. La suma de estas condiciones climáticas exige el uso de sistemas mecánicos para mantener el confort térmico.

1.4.2. Situación actual del uso de edificaciones NET-ZERO ENERGY a nivel mundial

Hay varias definiciones para “energía neta cero”, dependiendo del tipo de su consumo, objetivo, fuente de energía y la configuración que utilice con respecto al proveedor de energía (Figura 1.1). Por ejemplo, se puede tener: costos netos ceros, emisiones netas cero, energía casi neta cero, cero emisiones, cero carbonos, exergía neta cero, etc. [9]. Dependiendo de la definición que se utilice, se tienen distintos acercamientos con respecto al sistema. Sin embargo, a pesar de la configuración que se use, se tiene en común al menos tres principios generales:

- NZEBs se conectan a las infraestructuras de energía de proveedores.
- NZEBs deben tener menor demanda de energía utilizando métodos de eficiencia.

- NZEBs tienen generación de energía por parte de RES (fuentes de energía renovable).

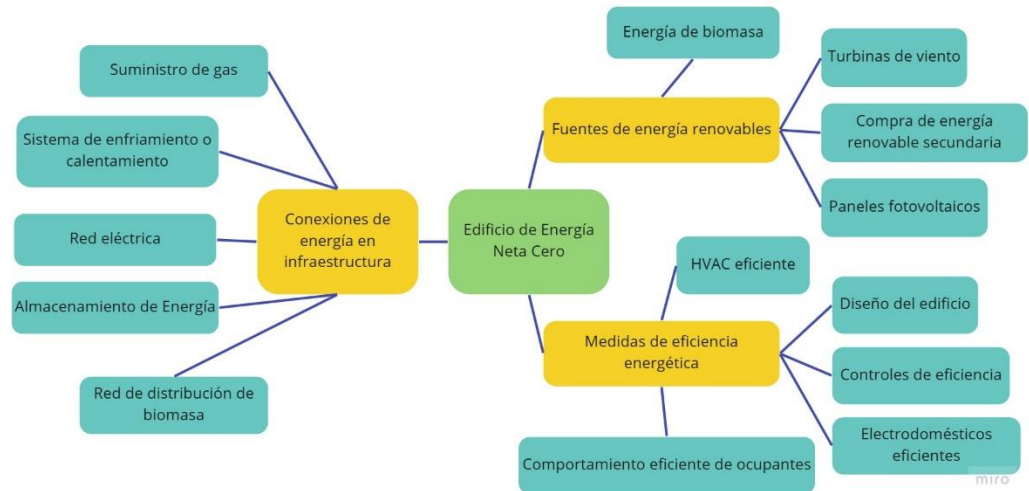


Figura 1.1 Características principales de NZEB

Además, se puede llegar a conseguir una vivienda tipo NZEB utilizando distintos acercamientos, algunos investigadores prefieren utilizar métodos pasivos de control en la etapa temprana del diseño, como la implementación de sombras, intercambiadores a tierra, o incluso enfriamiento por evaporación [10]. Otros, prefieren enfocarse utilizando aislaciones, materiales de envolvente o al seleccionar las ratios de ventana y pared [11]. Varios investigadores prefieren llevar un análisis más técnico al nivel ingenieril, en donde se tomen en cuenta los sistemas HVAC utilizando RES, y otros, incluso se enfocan en el ámbito económico, buscando recuperar el valor invertido a largo plazo en sus viviendas [12]. En general, cada edificio es único, no tan solo por su ubicación geográfica sino también por las distribuciones de áreas, el uso de los espacios, los materiales que se utilizan, etc. [13]. Al momento de diseñar, se busca no enfocarse en un solo método,

sino llegar a un análisis holístico tomando en cuenta todas las áreas en que se puede generar una mejora en la eficiencia.

1.4.3. Tecnologías NET-ZERO ENERGY BUILDINGS (NZEB)

Existe una gran variedad de herramientas accesibles para profesionales que se dediquen al modelado y diseño de vivienda tipo nZEB, como los programas computacionales dedicados a la simulación de rendimiento energético en edificios (BEPS), en los cuales se busca el equilibrio en el manejo de enfriamiento o calefacción del mismo. También, existe software de modelos de control predictivo (MPC), donde se analiza información geoespacial e historia climatológica para generar modelos matemáticos predictivos. Este tipo de programas requieren de varios factores clave para el diseño de los edificios, como la topografía, ubicación, el uso de espacios abiertos, condiciones climáticas.

Además, el uso al cual está sometido el edificio por parte de los ocupantes es de vital importancia. Se analiza cada uno de estos factores, y se propone un diseño que asegure los niveles de confort y sostenibilidad propuestos para una vivienda tipo nZEB. Esta cantidad de variantes requiere de una estrategia multidisciplinaria para alcanzar los niveles de eficiencia energética requerida, incluso para estándares de una vivienda nZEB, enfocada primordialmente en el balance térmico y el consumo eléctrico del hogar para la selección de un sistema de acondicionamiento de aire (HVAC) apropiado y la selección de un sistema de energía renovable.

Existen varios tipos de simuladores de rendimiento energético en edificios (BEPS) que permiten construir modelos y generar simulaciones de rendimiento, como EnergyPlus, CPLEX, o TRNSYS. Estas herramientas informáticas pueden usarse no solo en la etapa inicial de diseño, sino también

a lo largo del ciclo de vida del edificio, ya que pueden llegar a replantearse análisis de optimización de consumo de energía eléctrica. En general, estos programas también funcionan a base de modelos matemáticos, que toman en cuenta principios termodinámicos y de transferencia de calor. Parte de este análisis, busca tres metodologías distintas para sistemas de HVAC [14]:

- “Caja negra” o modelo de bases de datos: un modelo creado a partir de una enorme base de información empírica obtenida del mundo real. Estos modelos no requieren de un conocimiento intrínseco de la naturaleza del fenómeno físico, más bien buscan el análisis estadístico de los datos recolectados. Para el análisis de sistemas climatológicos se usan modelos de múltiple regresión lineal (MLR), asistencia por máquinas vectoriales, y redes artificiales neuronales (ANN).
- “Caja blanca” o el modelo a base de física: un método en donde se crean modelos matemáticos a partir de principios físicos de masa, conservación de energía y de ecuaciones de transferencia de calor. Es un método usual utilizado en el análisis de sistemas HVAC.
- “Caja gris” o modelo híbrido: usa básicamente ambos sistemas anteriores descritos para distintas etapas del diseño.

1.4.4. Objetivos de desarrollo sostenibles

Son los objetivos planteados por líderes mundiales con la finalidad de erradicar los altos índices de pobreza, establecer mecanismos para la protección del planeta y obtener prosperidad para la población en general siguiendo los lineamientos del desarrollo sostenible. Con la utilización de tecnologías NET-ZERO ENERGY se estaría trabajando de forma directa con los siguientes objetivos:

- ODS 7: Energía Asequible y No contaminante.
- ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura.
- ODS 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles.

Así mismo el uso de la tecnología mencionada se vincula de forma indirecta con los siguientes objetivos de desarrollo sostenibles:

- ODS 1: Fin de la Pobreza.
- ODS 3: Salud y Bienestar.
- ODS 8: Trabajo Decente y Crecimiento Económico.
- ODS 12: Producción y consumo responsables.
- ODS 13: Acción por el clima.
- ODS 17: Alianzas para lograr los objetivos.

Relacionando los objetivos de este proyecto con los ODS, podemos evidenciar la compatibilidad entre los mismos y como el uso de tecnología NZEB, así mismo es la contribución de esta tecnología la que permitirá la adaptabilidad de edificaciones a climas cambiantes y esto permitirá mantener los ODS relacionados a la salud, el entorno, productividad, acción climática y energía limpia.

1.4.5. Confort Térmico

Al hablar sobre confort térmico nos referimos a las condiciones del aire para un deseado nivel de calentamiento, enfriamiento, humidificación, limpieza o desodorización. El propósito de un sistema HVAC es el de proveer confort térmico a los usuarios siguiendo los parámetros establecidos dependiendo del clima en el que se esté utilizando. Así mismo es importante entender los aspectos térmicos relacionados al cuerpo humano con la finalidad del correcto diseño del sistema de acondicionamiento de aire. Las temperaturas corporales promedian los 37 °C para realizar las funciones esenciales y necesarias del cuerpo, lo que se conoce como metabolismo. El confort del cuerpo humano depende de tres factores fundamentales: Temperatura, Humedad Relativa y Velocidad del aire. Teniendo la temperatura como el índice de mayor importancia donde los rangos para confort van entre 23 a 27 °C, seguido de la humedad relativa con rangos entre 30 a 70 % pero

siendo el 50% el nivel más deseable y por último la velocidad del aire el cual se debería mantener bajo los 9 m/min en invierno y 15 m/min en verano. La ISO 7730 es una de las normativas que especifican las condiciones de diseño en diferentes ambientes interiores para lograr el confort térmico en edificaciones.

Para el correcto diseño se deberá considerar el confort térmico y el ahorro energético, ambos aspectos deberán tener igual importancia para el usuario. Para el apartado de ahorro energético, se buscará tener la configuración correcta de energía entre la temperatura interior y la temperatura de exterior de la zona para así brindar confort con un mínimo consumo de energía. Para el apartado de confort térmico es indispensable siempre se deberá considerar la salud de los habitantes, donde la incomodidad en su entorno térmico podría representarse como problemas de la salud y esto afectar rendimiento en las actividades cotidianas ya sea en el hogar, en oficinas o en aulas. Es de gran importancia de aplicar métodos para lograr el confort térmico en habitaciones con una alta densidad de ocupantes debido a las consecuencias negativas que existen por un ambiente térmico insatisfactorio.

1.4.6. Fuentes de energía renovable

Se presentan alternativas de generación de energía in situ que son factibles de usar de acuerdo con las definiciones de net zero energy building:

1.4.6.1. Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es aquella que se puede aprovechar y convertida en energía eléctrica mediante células o módulos fotovoltaicos, hechos de un material semiconductor, donde la exposición de fotones mueve electrones entre las capas internas del material generando un potencial eléctrico. Este módulo individual tendrá su potencial nominal para lo que en función de la necesidad se diseña o selecciona la cantidad adecuada de módulos con la finalidad de obtener la potencia total requerida. Los

parámetros que afectan el rendimiento de un sistema fotovoltaico son principalmente el recurso solar disponible en el área donde el sistema estará instalado, aunque este valor se puede estimar mediante herramientas computacionales que nos facilitan y evitan la medición del recurso solar antes de realizar una instalación. Así mismo, el mantenimiento y limpieza de los módulos fotovoltaicos es indispensable para evitar el bloqueo de los rayos solares a los módulos y la disminución del rendimiento de los mismos [15].

Algo importante al momento de seleccionar este tipo de fuente de energía renovable es que será diseñada para el mes menos favorable y así procurar la existencia del suministro eléctrico a lo largo de todo el año calendario.

1.4.6.2. Energía Eólica

La energía eólica es aquella generada en una turbina eólica a partir de las corrientes de aire existentes en el lugar de colocación de un sistema eólico; entre los parámetros a considerar son la velocidad y densidad del aire y los niveles de turbulencia existentes en la región.

Este importante método de generación de energía a partir de recursos renovables tiene desventajas considerables al momento de buscar implementarla, entre estas se encuentran: las grandes extensiones de terreno que ocupan, así como el riesgo de accidentes en su funcionamiento, por lo que deberían estar implementados en áreas remotas con bajo o nulo acceso habitacional. También tenemos el ruido que genera su movimiento, creando zonas con alta contaminación auditiva, afectando a la vida humana y silvestre que puedan habitar cerca de un campo eólico [16].

Entre las desventajas más importantes a considerar es el costo operacional y de mantenimiento que implican las turbinas eólicas por lo que el costo de la energía producida es relativamente alto, en la actualidad se busca solucionar las desventajas mencionadas con la creación de turbinas más

pequeñas que puedan funcionar en áreas reducidas y con bajos costos operacionales para así hacerlo una alternativa viable para la generación in situ en edificaciones NZE.

1.4.6.3. Biomasa

Se conoce como Biomasa a la fracción biodegradable de productos, desechos y residuos de la agricultura, siendo sustancias vegetales y animales, la energía de biomasa es la que se obtiene de esta materia orgánica mediante la combustión, gasificación, pirólisis o licuefacción. Dependiendo el tipo de biomasa, se selecciona el proceso por el cual será convertida en energía, ya que al existir diferentes residuos orgánicos se deberá considerar el proceso más eficiente para su transformación [17].

En ciertos casos existen cultivos específicos a utilizarse en la generación de energía que no necesariamente se deban considerar residuos orgánicos. Y de ellos se puede obtener directamente combustibles o derivados químicos que permiten su fácil conversión en energía mediante procesos industriales [18].

La situación para Ecuador es compleja ya que al ser un país productor agrícola, tenemos grandes cantidades de biomasa a disposición, pero no disponemos de un óptimo aprovechamiento de este por lo que las pérdidas de material para conversión de energía se desperdician. Esta alternativa para una NZEB podría ser viable en un futuro cercano con la existencia de avance en el uso de biomasa el país.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1. Diseño conceptual

2.1.1. Requerimiento de Diseño

Al considerar el objetivo general de este proyecto, se pueden definir los diferentes requerimientos a cumplirse.

1. La vivienda de interés social deberá contar con una fuente de energía renovable que pueda proveer el total de su consumo anual, incluso bajo condiciones ambientales o meteorológicas no favorables.
2. Se deberán utilizar medidas de eficiencia energética para la reducción del consumo energético.
3. La configuración de materiales utilizados en la simulación energética para paredes y techo deberán ser eficientes.
4. Las temperaturas del interior de la vivienda siempre deberán encontrarse dentro de los rangos de confort térmico, por lo que se considerará un sistema de enfriamiento para la vivienda al menos para ser considerado como energía virtual.

Para la selección de la fuente de energía renovable se consideraron diferentes alternativas que se evaluaron mediante sus factores de influencia y que serán descritas en el siguiente apartado.

Con respecto a las medidas de eficiencia energética se realizó una investigación sobre sus diferentes factores de influencia para así obtener el más conveniente para nuestra necesidad, así mismo esta detallado en el siguiente apartado.

Los materiales utilizados para la simulación inicial, que son los materiales generalmente empleados en una vivienda de interés social fueron paredes de ladrillo o bloque enlucidos con techo de aleación de zinc (CM+Z). Esto se contrasta con los materiales para la configuración propuesta, que utiliza materiales menos convencionales, pero con alta eficiencia energética que son paredes y techo de concreto con un núcleo de aislamiento térmico (ICF+S).

Con respecto al interior de la vivienda, es requerido un sistema de enfriamiento y un sistema de ventiladores para que exista la circulación de aire a través de la vivienda para mantener condiciones internas de confort. Además, la energía requerida por este sistema de enfriamiento puede considerarse como energía virtual con la cual se podrá cuantificar el consumo adicional y visualizar la necesidad de este tipo de equipos para viviendas de interés social que cuenten con este tipo de sistemas de enfriamiento.

2.1.2. Factores de influencia

Para cada uno de los mecanismos considerados para lograr una NZEB se tuvo ligeras diferencias en los factores de influencia y en cada uno de ellos con diferentes ponderaciones en base a lo que se estaba analizando.

Utilizando el software SuperDecisions, donde para cada mecanismo se le asignaron diferentes factores y se ponderaron de forma diferente en función a la importancia del caso específico, esto con el fin de seleccionar las alternativas más efectivas el momento de resolver la problemática establecida. En las medidas de eficiencia energética, se seleccionaron como factores de influencia lo siguiente:

- Costos
- Mantenimiento
- Eficiencia
- Accesibilidad

En la tabla obtenida del software SuperDecisions se puede apreciar la ponderación asignada para cada uno de los factores que influirán en la selección de las alternativas de solución. Donde es evidente que el costo es ligeramente más importante en este apartado.

Tabla 2.1 Importancia ponderada de variables en medidas de eficiencia energética

Costos		0.4077
Mantenimiento		0.0758
Eficiencia		0.3247
Accesibilidad		0.1917

En la obtención de energías de fuentes renovables in situ, se seleccionaron como factores de influencia lo siguiente:

- Costos
- Mantenimiento
- Eficiencia
- Sostenibilidad

Así mismo se obtuvo mediante SuperDecisions la ponderación asignada para los factores de influencia en este mecanismo. En el cual es evidente la alta importancia del costo versus los otros factores que influyen al momento de seleccionar un sistema de obtención de energías renovables in situ.

Tabla 2.2 Importancia ponderada en variables de fuentes de energía renovable

Costos		0.5739
Mantenimiento		0.13831
Eficiencia		0.1592
Accesibilidad		0.1286

2.1.3. Alternativas de Solución

Para el correcto diseño de una NZEB aplicado a viviendas de interés social se tiene la utilización de medidas de eficiencia energética y la obtención de energía de fuentes renovables in situ, para cada una de estas planteamos alternativas de solución:

Medidas de eficiencia energética.

- **Alternativa A: Medidas Pasivas.**
Utilizando normas de construcción actualizadas, materiales aislantes, adecuada orientación del edificio, sombreados pasivos y simulación computacional se puede optimizar el diseño de la edificación para reducir la reducción de costos energéticos.
- **Alternativa B: Sistema HVAC eficiente.**
Sistema de calefacción, ventilación o de acondicionamiento de aire de alta eficiencia que permita crear un ambiente de confort térmico dentro de la vivienda y a bajo costo.
- **Alternativa C: Electrodomésticos eficientes.**

Utilización de electrodomésticos de alta eficiencia que reducen el consumo eléctrico al mínimo.

- Alternativa D: Control eficiente.

Utilización de sistemas inteligentes para control de vivienda el cual permita mantener el consumo eléctrico al mínimo (domótica).

2.1.4. Matriz de decisión

Para la creación de las matrices de decisión se utilizó el software SuperDecisions. El cual se ingresó las alternativas de solución junto con los factores de influencia ponderados por el usuario. De estas, se obtuvieron tablas en donde se cuantifican las alternativas a ser seleccionadas para la solución de las problemáticas presentadas, cada tabla consta del nombre de las alternativas, que será la columna NOMBRE que estará al inicio de cada tabla, así mismo la columna GRÁFICA, nos indica de manera visual la ponderación de cada alternativa para nuestra problemática.

Adicionalmente, este software nos entrega tres columnas de datos a ser interpretados de la siguiente manera:

- Para la columna RAW, se obtienen las ponderaciones de datos crudos para cada alternativa de solución siguiendo la ponderación de los factores de influencia, en esta columna se muestra la alternativa que tuvo mayor calificación con respecto a las demás.
- Para la columna NORMALS, siguiendo los resultados obtenidos en la columna RAW, esta realiza una ponderación adicional con los datos para que se muestren manera porcentual, cada alternativa represente la viabilidad de la implementación de cada alternativa en un porcentaje, donde la alternativa seleccionada tendrá el porcentaje más alto.

- Para la columna IDEALS, nos muestra en base a los resultados obtenidos, cual es la alternativa ideal en función a los factores de influencia con su debida ponderación, en esta columna nos muestra la opción a seleccionar es 100% ideal para la problemática presentada.

Medidas de eficiencia energética:

Tabla 2.3 Matriz de decisión de medidas de eficiencia energética

Nombre	Gráfica	Ideals	Normals	Raw
Medidas Pasivas		1	0.34	0.17
HVAC eficiente		0.86	0.29	0.15
Controles eficientes		0.39	0.14	0.07
Electrodomésticos eficientes		0.67	0.23	0.11

Obtención de energía de fuentes renovables in situ:

Tabla 2.4 Matriz de decisión de tipo de RES

Nombre	Gráfica	Ideals	Normals	Raw
Biomasa		0.52	0.19	0.09
Turbina eólica		0.40	0.15	0.07
PV		1	0.66	0.32

Para la matriz de selección relacionada a las medidas de eficiencia energética es evidente que las medidas pasivas es la alternativa más viable al considerar costos, mantenimiento, eficiencia y accesibilidad. El uso de diferentes medidas pasivas será de manera iterativa para ir obteniendo valores de consumo en función de las características de la medida con la cual se irá tomando en consideración la conveniencia de la implementación de cada una de estas.

Para la matriz de selección relacionada a la obtención de energía de fuentes renovables in situ se obtuvo que la alternativa más viable es la utilización de paneles fotovoltaicos. Pero es importante considerar que la compra de energía exclusivamente proveniente de fuentes de energías renovables sería una opción mejor que la de los paneles fotovoltaicos. Sin embargo, actualmente en Ecuador no se puede optar por esta alternativa, por lo que no es viable incluirla entre las alternativas de solución. Los paneles fotovoltaicos al ser considerados como factores de influencia que son costos, mantenimiento, eficiencia y sostenibilidad se tienen como opción seleccionada por su viabilidad de implementación en territorio nacional. Así mismo, por la existencia previa de catálogos de los equipos necesarios para el armado de un sistema fotovoltaico.

2.2. Cálculo de carga térmica

Partimos creando una comparación de configuración de materiales de casas distintas. La selección de dimensiones y tipo de materiales fueron elegidas a raíz del estudio realizado en Ecuador sobre materiales de construcción y energía operacional [2].

Se eligieron y simularon a través de OpenStudio tres configuraciones distintas de materiales, los cuales representaron las configuraciones comunes de construcción y una configuración propuesta más eficiente.

- CM+Z: Paredes conformadas por bloques de cemento enlucidos de 15cm de espesor, junto con techo de planchas de zinc. Este tipo de configuración se usa gracias a su bajo costo y fácil instalación.
- CM+S: Paredes de bloques de cemento y techo de losa. Esta configuración también suele darse de manera común, pero en situaciones donde se cuenta con un poco más de presupuesto.

- ICF+S: Paredes de formas de cemento aislado, el cual es una configuración de cemento en mortero, en donde en el centro se encuentra poliestireno expandido.

Tabla 2.5 Propiedades de materiales de construcción utilizados

Descripción	Densidad [kg/m ³]	Conductividad [W/m K]	Emisividad
Sistema de Concreto			
Concreto Convencional	2400.00	1.90	0.90
Malla de metal	7850.00	50.00	0.30
Sistema de Albañilería			
Bloques de concreto	1600.00	0.47	0.90
Mortero de concreto	2000.00	1.30	0.90
Cavidad no ventilada de aire	1.23	0.47	
Sistema de Aislamiento			
Poliestireno expandido	15.00	0.04	0.90
Concreto convencional	2400.00	1.90	0.90
Malla de acero	7850.00	50.00	0.30

Además, para el cálculo de la carga térmica que existe en una vivienda de interés social es importante determinar los rangos de temperatura, humedad y ventilación que se desean en los interiores de la vivienda, todo esto en base a los criterios de confort térmico determinado para una ubicación geográfica específica. Siendo 22 °C una temperatura media que provee confort térmico, en donde se fijó la configuración del sistema de enfriamiento para que mantenga la temperatura interior en la misma.

Por facilidad de simulación, se utilizó una librería de OpenStudio que simula la configuración de cargas (

Tabla 2.6) de alumbrado y equipos dentro de un hogar. A su vez, la misma librería controla los horarios de uso de estos, como se muestra en las siguientes gráficas (Figura 2.2 y Figura 2.3). Se pudo seleccionar estos horarios predeterminados ya que se alinean con el comportamiento habitual habitacional y al horario de trabajo común en la sociedad ecuatoriana, siendo así una buena aproximación.

Definición	Valor	Unidad
Número de personas en la habitación	0.1	persona/m ²
90.1-2010 - HotelPequeño –CuartodeHuéspedes		
Número de equipos eléctricos en la habitación	5	W/m ²
Número de luces en la habitación	9	W/m ²
90.1-2010 - HotelPequeño –CuartodeHuéspedes		
Infiltración	0.0002	m ³ /s /área de la habitación m ²
90.1-2010 - HotelPequeño –CuartodeHuéspedes		
Ventilación (exteriores)	0.0024	m ³ /s/persona
90.1-2010 - HotelPequeño –CuartodeHuéspedes		
Ventilación (exteriores)	0.0003	m ³ /s /área de la habitación m ²

Tabla 2.6 Cargas térmicas para simulación

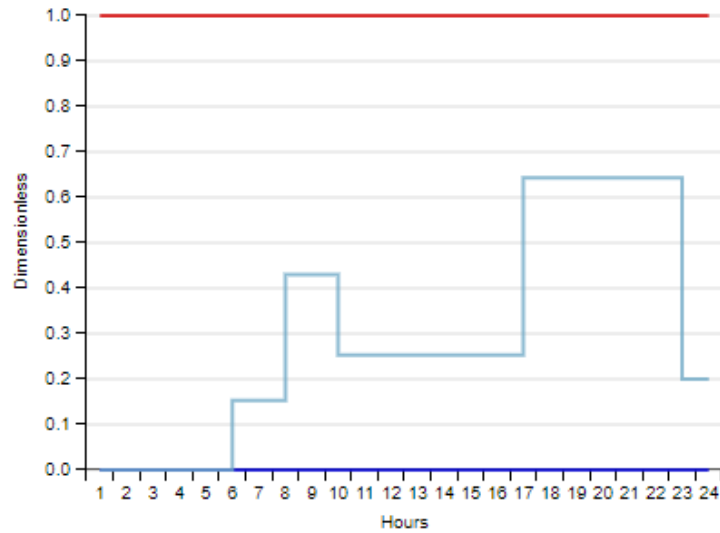


Figura 2.2 Perfil de carga de consumo de equipos electrodomésticos por hora

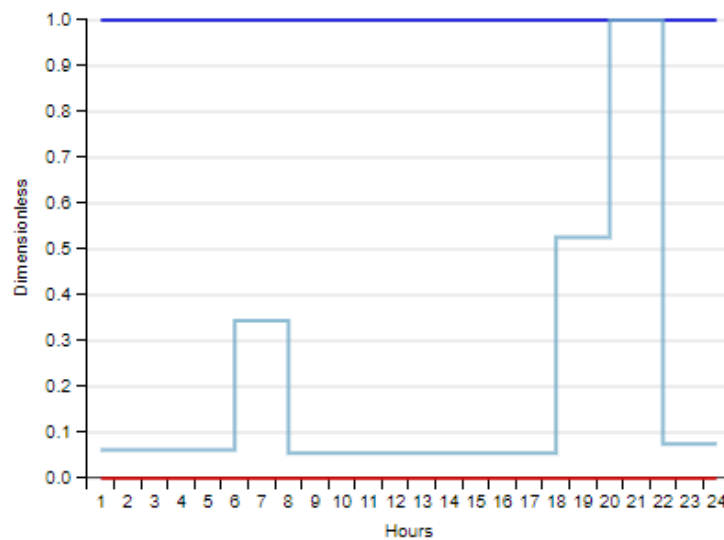


Figura 2.3 Perfil de carga de consumo de luminarias dentro del hogar por hora

Esta selección de configuración es dada por la limitación de librerías para casas de áreas tan pequeñas. Sin embargo, es una buena aproximación que obtiene valores cercanos a la de una casa residencial pequeña.

Por último, se simuló un sistema de acondicionamiento de aire central con ventiladores en paralelo y recalentamiento.

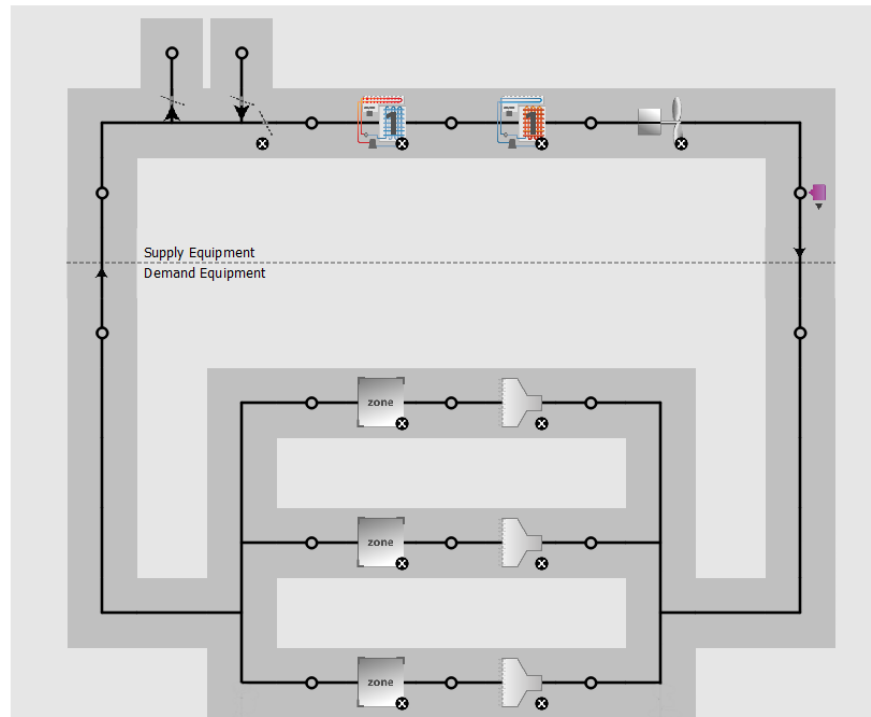


Figura 2.4 Sistema de HVAC en OpenStudio para cada espacio de la casa

Una vez simulado, se partió de este modelo eficiente para poder empezar a aplicar las medidas pasivas y continuar reduciendo su consumo. Para esto, es fundamental conocer las condiciones exteriores en la ubicación de la vivienda por lo que utilizaron datos establecidos para el promedio de temperaturas y humedad relativa en la ciudad de Guayaquil. Dichos datos, fueron encontrados utilizando la base de datos de Climate Consultant [19].

2.3. Reducción de demanda de energía

2.3.1. Distribución de zonas térmicas

La primera medida que se buscó fue disminuir el consumo a través de cambios en la configuración de la casa. En la simulación inicial de la que partimos, se consideran cuatro zonas térmicas, las cuales todas cuentan con un mismo tipo de zona.

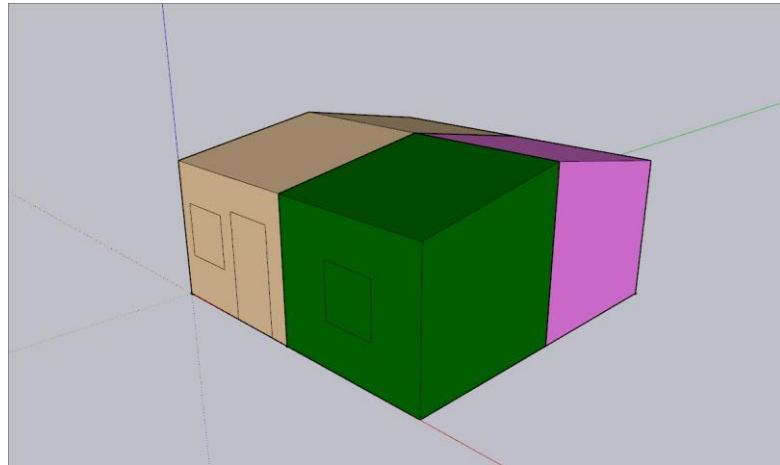


Figura 2.5 Distribución de zonas térmicas inicial

Partiendo de esta configuración, se construyó un nuevo arreglo de espacios, altura de techo y fachada. Cambios relacionados a la estética de la residencia y para crear un análisis más real. Se buscó agregar un espacio de baño en la parte posterior, esto haría que disminuyera el área de espacio acondicionado. Se realizó este cambio debido a que no es necesario para el análisis tener un confort térmico en el baño, ya que los periodos de uso de este son cortos en relación al resto de los espacios del hogar. demás, la sala se recortó para crear una estancia en la entrada y disminuir el área acondicionada de la SCC.

2.3.2. Ventilación controlada

Dado que WWR es óptimo en valores alrededor de 20-40% para conseguir una buena entrada de luz y ventilación [20], se buscó proponer una estructuración acorde al tamaño de la casa objetivo de interés social. Se partió con un valor de WWR dentro del rango y se realizan variaciones y pruebas en la simulación hasta encontrar el valor óptimo para las condiciones ambientales a lo largo del año. Esto se realizó utilizando una herramienta de OpenStudio encontrada NREL's Building Component Library (BCL). El

propósito de este análisis es encontrar el WWR de mayor eficiencia y compararlo con el potencial de control de luz solar.

Otra medida a considerar fue colocar las ventanas en direcciones opuestas de la casa, para así maximizar la entrada de aire a lo largo de la misma. Además, se diseñó la ventana de salida más grande para aumentar la circulación de aire.

2.3.3. Configuración de ventanas

Se probaron distintas opciones de ventanas con distintas propiedades. Se simuló la construcción para cada una de ellas y se seleccionó la opción que genere la suficiente ganancia por relación de su precio y devaluó a lo largo de los años. Se consideró el aislamiento de la ventana relacionado a su factor U, que es la transmitancia térmica total de los materiales y partes que componen la ventana. También, el shgc (solar heat gain coefficient), que es la radiación recibida del sol que es transmitida directamente o absorbida, y subsecuentemente liberada dentro de la vivienda. Por último, se tomó en cuenta también el valor VT (visual transmittance), que es la porción de la luz visible que atraviesa nuestra ventana [21].

En base a esto, se utilizó la siguiente tabla (Tabla 2.7) de propiedades de las propiedades antes descritas. Se compararon ventanas de un solo panel con vidrios claros y con vidrios de baja emisividad; y para ambos casos, con opción de montaje apropiado y con mala práctica de montaje [22].

Tabla 2.7 Propiedades de ventanas de baja emisividad

		Factor U [W/m ² K]	SHGC	VT
Marco de aluminio, un solo panel				
Mala montura	Exterior claro	3.5205	0.59	0.62
Rotura de puente térmico	Exterior claro	3.123	0.61	0.65
Mala montura	Baja Emisividad	2.8959	0.5	0.57
Rotura de puente térmico	Baja Emisividad	2.3848	0.52	0.59
Marco de aluminio, doble panel				
Mala montura	Exterior claro	2.6687	0.54	0.58
Rotura de puente térmico	Exterior claro	2.2713	0.56	0.6
Mala montura	Baja Emisividad	2.3848	0.47	0.52
Rotura de puente térmico	Baja Emisividad	1.8738	0.48	0.55

2.3.4. Elementos de sombreado

A pesar de no ser una medida pasiva en sí, es algo que debe considerarse y que se aplicó como medida extra en la simulación. Este paso fue obviado en el estudio realizado y se encontraron ganancia en relación con esta simulación.

Para este caso, se simularon paredes adyacentes, más no al edificio entero, para así disminuir el tiempo de simulación. Además, se agregaron las propiedades de este material en la construcción de materiales en OpenStudio, el cual fueron conformadas por bloques de cemento de 15cm de espesor.

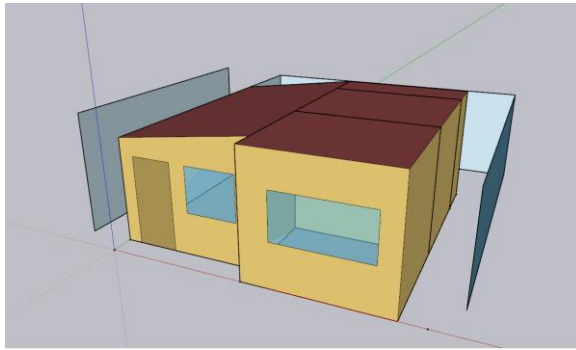


Figura 2.6 Simulación de muros circundantes

2.3.5. Pestañas de sombreado

Un factor primordial para la selección del tipo de sombreado fue la facilidad de construcción y el aparataje de costos. Bajo estos objetivos, se consideró crear sombreados en las ventanas y puertas en forma de pestañas de bloques de cemento (Figura 2.7). Además, se consideró como una medida estética para la fachada.

Para la simulación, se evaluaron distintos tamaños de pestaña, tanto para la parte delantera como posterior de la vivienda. Se realizaron variaciones del tamaño de la pestaña con respecto a la pared, y se simuló hasta qué punto se encontraban ganancias asociadas.

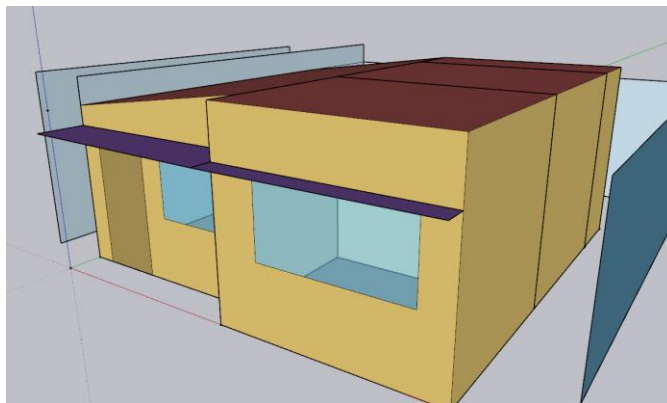


Figura 2.7 Simulación de pestañas de ventanas y puertas

2.3.6. Provisión de energía

Se aplicaron las medidas hasta obtener el valor más bajo de consumo anual. Una vez con este valor, se procedió a seleccionar un sistema de paneles fotovoltaicos que cumplan con el requisito de la vivienda. De esta selección, se dibujó y simuló nuevamente ya que los paneles disminuyen la radiación incidida sobre el techo, obteniendo así un nuevo valor de consumo mínimo.

2.4. Dimensionamiento de fuente de energía renovable

2.4.1. Determinación de tipo instalación

Al momento de plantear el diseño conceptual se consideraron diferentes fuentes de energías renovables, que fueron la solar fotovoltaica, la biomasa y eólica, pero con una matriz de selección se obtuvo que la más viable sería la de paneles fotovoltaicos, así mismo es importante determinar el tipo de instalación fotovoltaica. Para nuestra problemática planteada, al considerar una vivienda de interés social deberíamos asegurarnos de que esta cuente con energía eléctrica a lo largo de todo el año y durante las 24 horas del día ya que el uso residencial no está dentro de un rango establecido.

Al tener la necesidad de proveer de energía eléctrica durante todo el día no se puede depender exclusivamente de un sistema de paneles fotovoltaicos incluso en el caso de estar diseñados en base al requerimiento del mes menos favorable o en el caso de estar sobredimensionamiento, así como la utilización de baterías para el almacenamiento de energía y posterior utilización en las horas de baja radiación solar puede aumentar considerablemente el costo del sistema completo, se propone la utilización del sistema PV con conexión a la red eléctrica nacional, con la finalidad de generar la energía suficiente que utilizará la vivienda en las horas de luz disponibles en el día, ser inyectadas a la red eléctrica utilizando un contador bidireccional, el que tiene de función

conocer la cantidad de kWh entregado a la red eléctrica mientras que la vivienda recibirá toda la energía por un sistema convencional. Para la correcta adaptación se utiliza un inversor especializado que a su vez cumple la función de regulador para poder proporcionar un voltaje nominal adecuado a la red eléctrica.

2.4.2. Determinación de la energía eléctrica diaria requerida

Para la determinación del consumo de energía eléctrico diario, se dejó de lado los métodos convencionales que se basan en una estimación mensual de acuerdo con el número de receptores, la potencia de cada uno de estos y las horas de uso totales en el mes, este método es bastante exhaustivo e inexacto debido a todo el tiempo que requeriría obtener un perfil de carga adecuado para todo un año, por lo que se utilizó simulaciones energéticas con el software OpenStudio, donde para cargas de iluminación interior, equipos, ventiladores y sistema de enfriamiento se obtuvieron valores de consumo mensual y este valor se dividió para el número de días respectivo en cada mes obteniendo así la energía eléctrica diaria requerida, que es uno de los valores más importantes para el dimensionamiento de un sistema PV. Para los datos obtenidos mediante el software OpenStudio se utilizó la siguiente expresión:

$$E_{elec} = (100 + F_s) * \frac{E_{CC}}{100} + (100 + F_s) * \frac{E_{CA}}{\eta_{inversor}} \quad (2.1)$$

Con la finalidad de sobredimensionar el consumo como consideración de las pérdidas existentes en el sistema, ya sean por eficiencias de equipos diferentes de 100% o por pérdidas por el cableado o equipos medidores. Es importante considerar que los equipos para una vivienda son en su mayoría

de corriente alterna, pero en la expresión se consideran incluso equipos de corriente continua para los cuales su consumo será de 0.

Además, construimos una tabla de consumo estimada para cada mes, en donde se consideran varias cargas de electrodomésticos principalmente:

Tabla 2.8 Perfil de carga estimado

ar	# de Unidades	Potencia Unitaria (W)	Potencia Total (W)	Tiempo diario medio de funcionamiento (horas/mes)	Energía (kWh)
Televisor	1	150	150	120	18
Focos LED	5	18	90	150	13.5
Refrigerador	1	800	800	30	24
Ventiladores	3	200	600	60	36
Lavadora	1	800	800	16	12.8
Computadora	1	300	300	12	3.6
Microondas	1	1000	1000	0.5	0.5
Plancha	1	1200	1200	15	18
Módem + Enrutador	1	14	14	720	10.08
Cargador de teléfono	2	6	12	150	1.8
Licuada	1	500	500	4	2
Total					140.28

2.4.3. Determinación del promedio de la radiación diaria disponible

Este proceso se basa en la determinación del promedio de la energía de la irradiación solar incidente en el periodo de un día, sobre un metro cuadrado de superficie en el lugar donde se instalarán los paneles fotovoltaicos, considerando la misma orientación e inclinación. Para esto se utilizó el software especializado ClimateConsultant, que es un graficador de datos meteorológicos que utiliza el mismo archivo .epw que el software OpenStudio al momento de hacer la simulación, con eso nos aseguramos de que la información ingresada en ambos para datos de radiación será el mismo, adicionalmente ClimateConsultant nos permite obtener una gráfica de

radiación ya sea diaria o mensual, con la opción de exportar los datos a un archivo .xls para la extracción o manipulación de los mismos. De esta manera se obtienen datos aproximados que permitirán el correcto dimensionamiento del sistema de paneles fotovoltaicos.

Algo importante a considerarse en este punto es que ClimateConsultant permite colocar el ángulo de inclinación a la cual se encontrarían los paneles y así poder tener datos más confiables sobre la radiación que recibirían los paneles en función del ángulo al cual se encontrarán. Se determinó que por la ubicación geográfica la radiación máxima está dada para un ángulo de 0° o posición completamente horizontal, pero para nuestro modelo aproximamos el ángulo de nuestros paneles a 8° con la finalidad de evitar la acumulación de polvo, agua u otro tipo de desechos sobre el panel que puedan bloquear las celdas y no permitir un correcto funcionamiento de equipos.

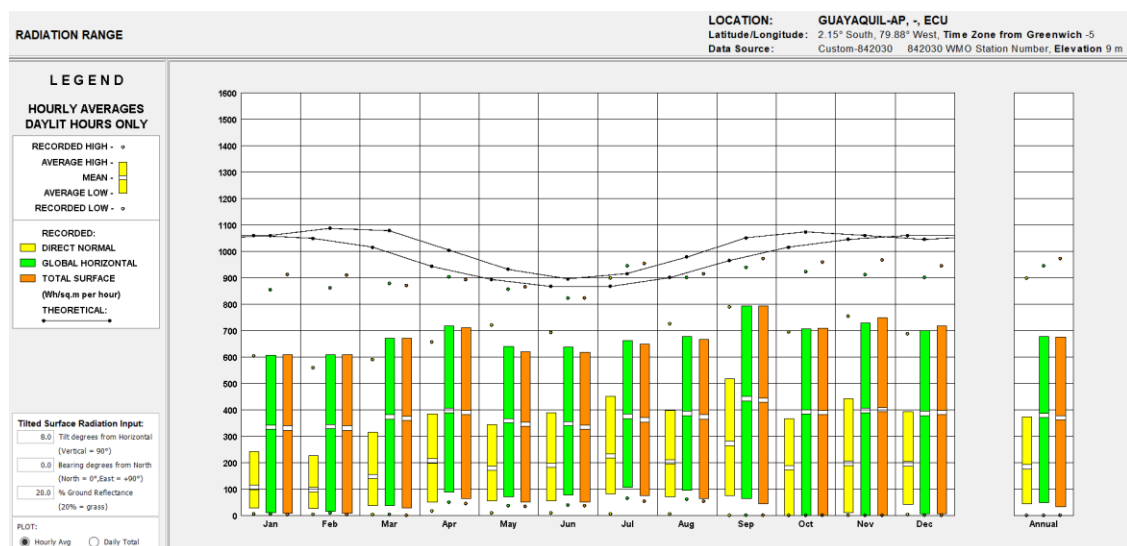


Figura 2.8 Radiación diaria sobre superficie a 8° en Guayaquil

2.4.4. Determinación del peor mes o del mes más desfavorable

Una vez obtenidos los datos de energía eléctrica diaria requerida y radiación diaria disponible para cada uno de los meses del año, se procede a cuantificar el peor mes o mes más desfavorable, que es una relación entre las dos variables antes mencionadas. Con los doce valores de cada dato inicial se utiliza la siguiente expresión:

$$Y = \frac{E_{elec}}{H_s} \quad (2.2)$$

Donde una vez realizado el cálculo para cada mes del año, se procede a seleccionar el valor máximo de Y, que será el que determinará el peor mes ya que la relación entre el promedio diario de la necesidad eléctrica y la radiación solar media diaria disponible resulta menos favorable.

2.4.5. Elección del tipo y número de paneles fotovoltaicos

Llegado a este punto procederemos a realizar el dimensionado y los cálculos utilizando los valores de Y máximos, siendo los valores del mes más desfavorable ya que serán el mes de referencia ya que al poder proporcionar la energía total necesaria para este mes, será posible para cualquiera de los otros meses.

Para esta sección ya se tuvo seleccionado el panel fotovoltaico a ser utilizado en el sistema o al menos definida la potencia pico individual de cada módulo para poder calcular la cantidad que se necesitarán para proporcionar la potencia total necesaria. Al utilizar módulos con potencia pico de 545W se procede con la siguiente ecuación:

$$N_{mod} = 1.1 * \frac{Y_{max}}{P_{mod}} \quad (2.3)$$

Se puede apreciar que en la expresión existe un término de 1.1 multiplicando la relación entre el Y máximo y la potencia pico de cada módulo, este es un factor de seguridad o un sobredimensionamiento para considerar la depreciación de los diferentes componentes que conforman este sistema, ya sea de los paneles, inversor o cableado, a su vez este coeficiente permitirá hacer frente a diferentes imprevistos que se puedan presentar en las condiciones ambientales o a los aumentos de temperatura que existan

2.4.6. Cálculo de la conexión de los módulos

Una vez obtenidos el número de módulos necesarios es fundamental conocer cuál será la conexión para los mismos, es importante conocer la tensión de trabajo de los paneles fotovoltaicos que, para este caso, el voltaje nominal fue de 24 V, valor obtenido de la ficha técnica de los módulos.

Al ser un sistema de paneles fotovoltaicos conectados directamente a la red eléctrica, se utiliza un inversor que convierta la corriente directa obtenida de los paneles a corriente alterna a ser inyectada a la red, para el inversor seleccionado con una entrada de CA de 24 V y con la siguiente expresión:

$$N_{S,mod} = \frac{V_{Inversor}}{V_{Módulo}} \quad (2.4)$$

Con la que se obtendrá el número de módulo que se conectarán en serie, así mismo existe una relación para determinar el número de módulos en paralelo, siendo la siguiente:

$$N_{P,mod} = \frac{N_{mod}}{N_{S,mod}} \quad (2.5)$$

Con lo que se determinará el número de módulos en paralelo, una vez obtenidos ambos valores se deberá corroborar que el producto de ambos cumpla la condición del valor inicial de número de módulos y en caso de ser un número mayor o menor, crear una configuración de números que cumplan la condición mínima para serie y paralelo, utilizando este criterio se podrían aumentar el número de módulos, pero así mismo se asegura el requerimiento de potencia y el funcionamiento del sistema.

Adicional a esto, una vez obtenida la configuración de paneles y conociendo las características eléctricas de los módulos, se puede obtener los principales parámetros eléctricos del subsistema de captación de energía o campo fotovoltaico. Para esto se utilizarán las siguientes expresiones.

Potencia pico total de subsistema de captación de energía:

$$P_{gen}(WP) = N_{mod} (\# \text{ total de paneles}) * P_{mod} \left(\frac{W_p}{\text{módulo}} \right) \quad (2.6)$$

Intensidad pico total de salida del subsistema de captación de energía:

$$I_{P,gen} (A) = I_{P,mod} * N_{P,mod} \quad (2.7)$$

Intensidad total de cortocircuito del subsistema de captación de energía:

$$I_{SC,gen} (A) = I_{SC,mod} * N_{P,mod} \quad (2.8)$$

Tensión nominal total de salida del subsistema de captación de energía:

$$V_{gen}(V) = V_{mod} * N_{S,mod} \quad (2.9)$$

Tensión pico total de salida del subsistema de captación de energía:

$$V_{P,gen}(V) = V_{P,mod} * N_{S,mod} \quad (2.10)$$

Tensión total en circuito abierto del subsistema de captación de energía:

$$V_{OC,gen}(V) = V_{OC,mod} * N_{S,mod} \quad (2.11)$$

Con cada una de estas ecuaciones obtuvimos los parámetros eléctricos totales que tendrá el sistema de paneles fotovoltaicos, los valores se encuentran en la sección de resultados, donde se les hace su respectivo análisis.

2.5. Análisis económico

Se realizó una comparación económica de la solución propuesta (ICF+Sa), comparándola con una línea base consistente en prácticas de vivienda tradicionales ecuatorianas (CM+Z).

Se comparó usando el método de valor presente, o TIR, en donde se calculó el valor agregado que costaría comprar una casa con nuestras características. Y se proyectó una tasa de retorno de este valor extra agregado gracias al flujo entrante pasivo, asociado al ahorro de consumo energético. Para este análisis, no se tomó en cuenta la inflación económica.

Se partió de la suposición de que se emplearía la misma cantidad de precios en el proceso de construcción inicial de la casa, como: demoliciones, adecuación de terreno y cimentaciones. Al mismo tiempo, se consideró que los acabados como sistema eléctrico, plomería y gestión de recursos serían iguales para la comparación entre ambos casos.

El alcance del estudio no llegó a encontrar precios sobre toda la construcción en particular. Sin embargo, se pudo hacer un cuadro comparativo sobre los materiales de paredes, techo y ventanas. Además del valor agregado del sistema fotovoltaico. La información de precio de materiales, mano de obra y herramientas requeridas para cada composición fueron sacados de portales web con precios del Ecuador.

CAPÍTULO 3

3.Resultados y Análisis

3.1. Cálculo de carga térmica

En la primera parte del estudio, se llegó a la conclusión que el sistema más eficiente de manera operacional es el de ICF+S (Figura 3.9). Dado que buscamos obtener la configuración con menor consumo anual, partiremos de esta configuración y buscaremos reducir su consumo aún más utilizando distintas medidas pasivas en nuestras simulaciones.

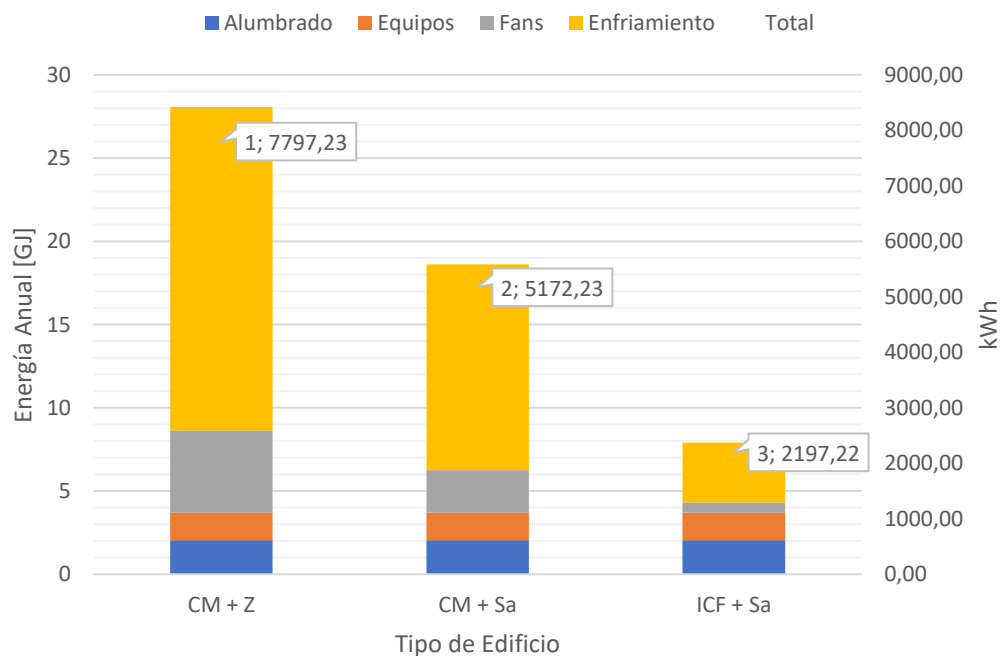


Figura 3.9 Tipo de edificación en relación con el consumo energético anual

Este valor de **2197 kWh** obtenido de la simulación fue seleccionado para encontrar la casa más eficiente por construcción de materiales, y la cual se le aplicaron las medidas pasivas para ir reduciendo aún más su consumo.

También podemos ver una gráfica de los datos de forma mensual para nuestra simulación ICF+Sa, en donde se puede ver los meses con mayor y menor consumo para cada mes.

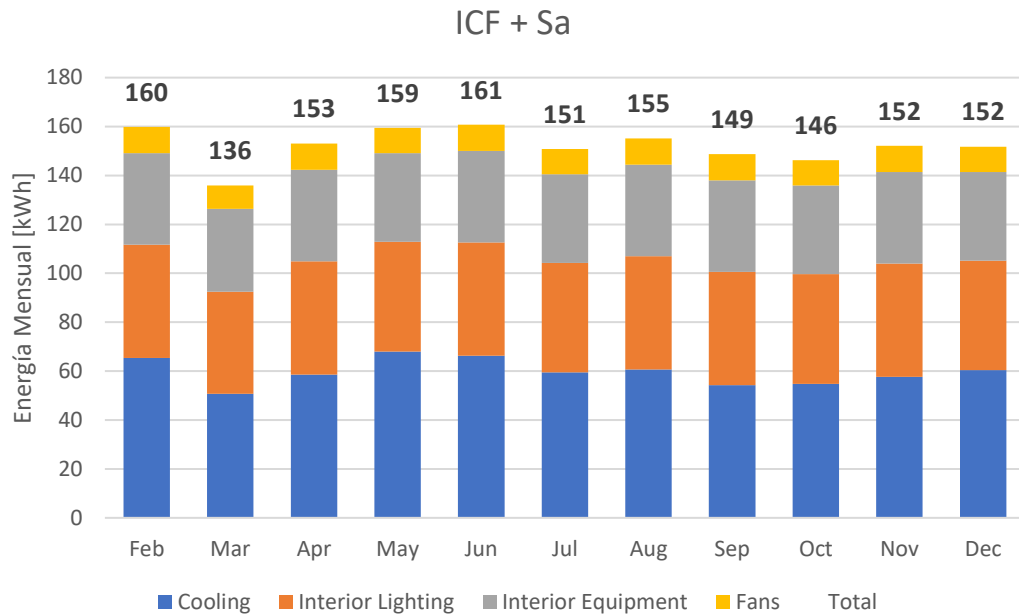


Figura 3.10 Consumo energético mensual

3.2. Reducción de demanda de energía

3.2.1. Distribución de zonas térmicas

El cambio de la distribución de cuartos en la simulación supuso una mejora energética considerable debido a la reducción del área acondicionada.

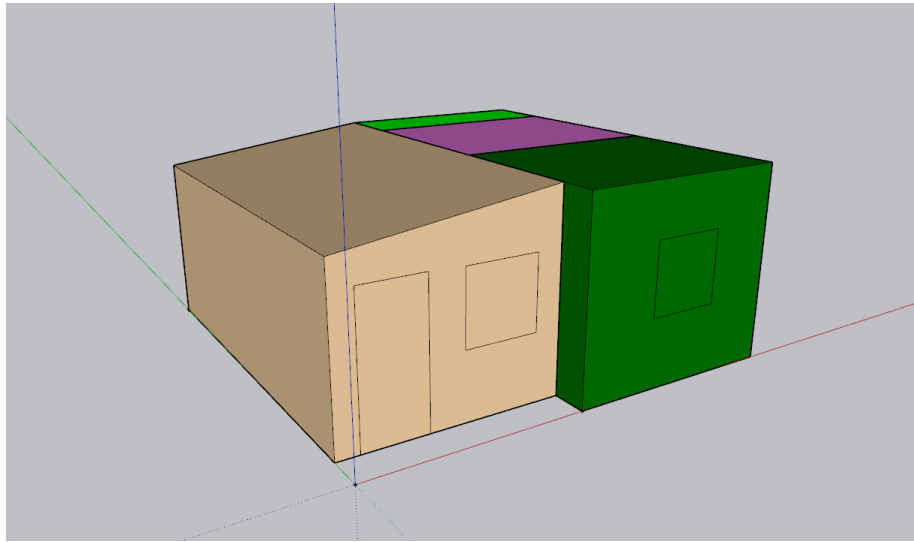


Figura 3.11 Nueva distribución de zonas térmicas

Se redujo el consumo a 1978 kWh, obteniendo una mejora del 10% del valor inicial.

3.2.2. Ventilación controlada

Luego, con la siguiente medida del cambio de WWR se tuvieron los siguientes resultados:

Tabla 3.9 Variación de WWR y su energía anual

WWR	E [kWh]
13%	1978
20%	2036
25%	2063
30%	2089
35%	2105

Al inicio, basándonos en la configuración inicial, se tenía un WWR de 13%, con ventanas de 1m². Y se seleccionó la nueva configuración recomendada de 20% de WWR. La medida con menor consumo anual, pero en el rango recomendado fue elegida para abaratar costos de construcción y mantener el menor consumo anual, teniendo así un nuevo consumo de 2036 kWh.

Continuando con las medidas de reducción, la orientación de la casa fue seleccionada en base a la dirección en donde se tiene mayor incidencia de radiación solar para la cara inclinada de la vivienda (Figura 3.12). Además de la posición en donde se reciba la mayor velocidad del viento, para así junto con la medida de WWR aumentar la capacidad de ventilación natural a lo largo del edificio (Figura 3.13).

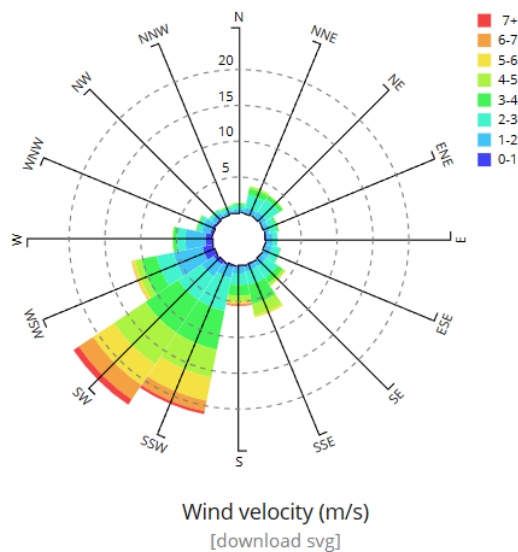


Figura 3.12 Orientación de mayor velocidad de viento

Este factor de ventilación natural y orientación de la casa **no fue simulado**, y es oportuno de analizar y simular para futuras investigaciones.

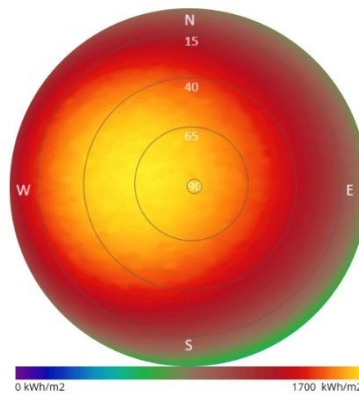


Figura 3.13 Mapa de radiación solar para Guayaquil

3.2.3. Aislamiento de ventanas

A pesar de haber aumentado el consumo, esta medida se contraatacó cambiando la configuración del material de la ventana. Los resultados obtenidos de las ventanas de baja emisividad fueron:

Tabla 3.10 Variación de material de ventanas y su consumo asociado

Marco de Aluminio, un solo panel		kWh
Mala montura	Exterior claro	1980.56
Rotura de puente térmico	Exterior Claro	1972.22
Mala montura	Baja Emisividad	1958.33
Rotura de puente térmico	Baja Emisividad	1944.45

Se seleccionó la configuración con menor consumo y económicamente viable. Ya que, en caso de accidentes, las ventanas de doble panel son de mayor costo para su reemplazo.

3.2.4. Sombras

Las sombras creadas por las paredes y viviendas a la redonda generaron una mejora con un nuevo consumo de 1903 kWh, teniendo así una mejora del 4% en comparación a la simulación anterior. Este valor no es tan

significativo en el estudio ya que estas casas deben ser modeladas en grupo, debido a que las viviendas de tipo social son construidas en serie y pegadas una junto a las otras, por lo que esta medida debe ser considerada en todas las simulaciones. Sin embargo, es una medida agregada que no fue simulada en el estudio del que se partió.

También, la medida de las pestañas en la fachada generó los siguientes valores con su offset asociado (Tabla 3.11 Variación de consumo en relación con el offset de pestañasTabla 3.11). Se seleccionó el valor de 20cm siendo una medida que reduce de manera mínima el consumo, sin embargo, al estar formada de materiales económicos, es accesible y recomendado. Tanto por el ámbito estético como por su rendimiento energético. Además, se obtiene también un offset mayor para la entrada y la ventana de la SCC.

Tabla 3.11 Variación de consumo en relación con el offset de pestañas

Offset	[kWh]
15 cm	1892
20 cm	1889
25 cm	1886
30 cm	1886

Finalmente, la sombra obtenida por los cuatro paneles solares seleccionados de aproximadamente 2 m², los cuales absorben una parte de la radiación incidida en el techo. Esto nos deja con el máximo ahorro de energía en nuestra simulación de **1842 kWh** anuales.

Se puede ver un resumen de cómo fueron disminuyendo las demandas a lo largo de las características analizadas, hasta llegar a nuestra simulación con consumo más bajo anual.

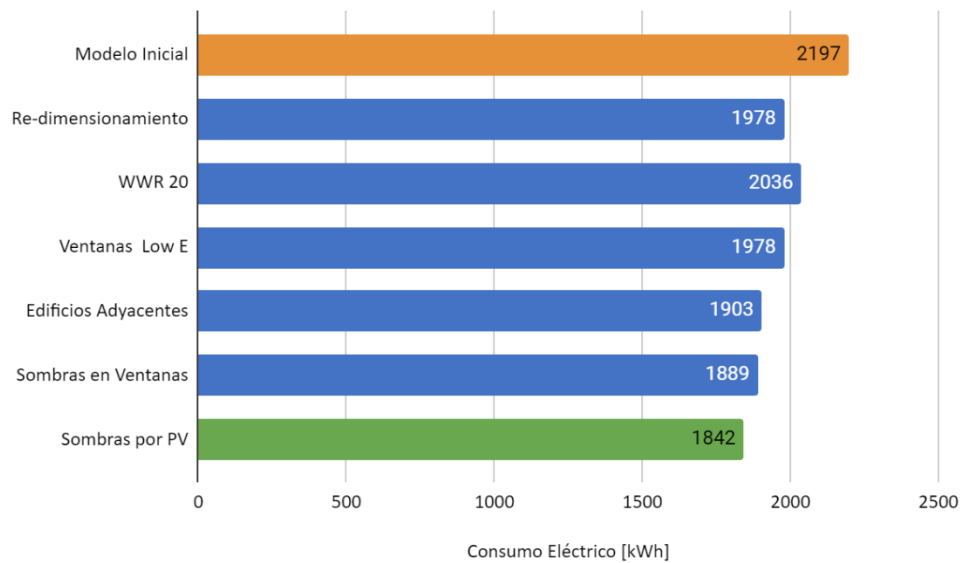


Figura 3.14 Reducción de demanda con con las medidas

3.2.5. Dimensionamiento de la fuente de energías renovables

Para la selección del RES se consideró como opción más viable al uso de un sistema PV, así que con los datos obtenidos de consumo eléctrico mediante simulaciones en OpenStudio, los datos de radiación solar diaria disponible obtenidos mediante ClimateConsultant, el uso del criterio dado por la teoría y las ecuaciones pertinentes se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 3.12 Número de módulos obtenidos

Nmod o # de módulos PV	4
Ns,mod o # de módulos PV en serie	1
Np,mod o # de módulos de PV en paralelo	4

Donde se determina que el número de módulos que deberán formar nuestro sistema es de 4, siendo módulos monocristalinos de la marca AstroSemi modelo CHSM72M-HC con una potencia pico de 545W. Estos cuatro módulos

se encuentran con una conexión en paralelo para la adaptación al inversor del sistema, el cual es de la marca Voltronic modelo Axpert VMIII de potencia nominal de 3000W y con voltaje nominal de entrada de 24V y eficiencia del 90%, el cual estará conectado a la red eléctrica nacional, se seleccionó este inversor por su característica adicional de regulador por lo que ya no se requerirá este equipo adicional, abaratando costos y reduciendo las pérdidas que se generan en este tipo de sistemas.

Tabla 3.13 Características del sistema de Paneles Solares

Características del Subsistema de Captación de Energía	
Potencia pico total del SS de captación: P_{gen} (Wp)	2180
Intensidad pico total de salida del SS de captación: I_{pgen} (A)	52.44
Intensidad total de cortocircuito del SS de captación: I_{scgen} (A)	55.52
Tension nominal total de salida del SS de captación:	24
Tensión pico total de salida del SS de captación: V_{pgen} (V)	41.57
Tensión total en circuito abierto del SS de captación: $V_{oc,gen}$ (V)	49.37

3.3. Análisis Económico

Se realizó una generación de costos primordialmente para la diferencia entre precios de materiales utilizados para una vivienda de construcción convencional de paredes de bloques de cemento y techo de zinc, comparando con los materiales simulados eficientes de cemento aislado. Para la cotización de precios en ambos casos se utilizaron portales web que contienen los costos de materiales, mano de obra y herramientas para una gran variedad de actividades de construcción. Se ubicó y seleccionó la configuración para ambos tipos de construcciones para así realizar una comparación de precios entre cuánto costaría una vivienda tipo social convencional en comparación a nuestra configuración [**APÉNDICE B**]. Construyendo así la siguiente tabla:

Tabla 3.14 Comparación de Precios

	CM+Z	ICF+S
Techo	\$ 1,060.57	\$ 2,962.23
Paredes	\$ 906.01	\$ 2,064.13
Ventanas Low E	0	\$ 176.70
RES	0	\$ 2,380.00
Total	\$ 1,966.58	\$ 7,583.05

Se obtuvo una diferencia de precios entre ambas de 5616,4\$. Este sería el costo adicional agregado que tendría en comparación al de una casa tipo vivienda social regular.

Con este valor, se calculó el tiempo de retorno de inversión. Considerando que el propietario no gastaría en energía eléctrica durante el año. Se partió del caso base en que hubiese comprado la casa de configuración de CM+Z, en donde gracias a su baja eficiencia, el usuario habría consumido alrededor de 7797 kWh anuales eso considerando de igual forma un consumo de enfriamiento en la vivienda.

Continuando con el análisis, se sabe también que el precio por kWh es de alrededor de 0.09 USD. Por lo que se calculó que la persona gastaría en esta vivienda alrededor de 701.76\$ anuales en energía eléctrica.

Se dividió el valor agregado extra por nuestra configuración de casa para este consumo obteniendo que en alrededor de 8 años se lograría recuperar este monto invertido.

En estos precios se consideró los materiales, la mano de obra y la herramienta necesaria a utilizar. Y hay especificaciones de estos en el **APÉNDICE B**.

3.4. Análisis

Inicialmente se aplicó nuestra metodología planteada, la que buscó reducir el consumo energético mediante medidas pasivas y diferentes combinaciones de materiales de construcción energéticamente eficientes. Se obtuvo valores

con los cuales se pudo diseñar un sistema de generación de energía de una fuente renovable in situ, en el cual utilizamos generación mediante paneles fotovoltaicos. De no haber realizado la reducción inicial para el consumo energético, el dimensionamiento requeriría de un sistema de generación mucho más grande y se volvería no viable por la gran capacidad de producción de energía necesaria. Esto dejaría de ser posible para la aplicación residencial, como es el presentado en nuestra problemática, otros métodos de generación desde un inicio fueron descartados por su complejidad contra la energía generada por paneles fotovoltaicos. Por lo que siempre será la reducción de energía el primer paso a tomarse para un proyecto de eficiencia energética.

Dentro del análisis de la carga final, se encontró la distribución de la carga. En donde se observa que el mayor consumo se encuentra en el enfriamiento de la vivienda. Esta carga es en realidad un consumo virtual que debe ser considerado. Sin embargo, es un sobredimensionamiento para las viviendas que no cuenten con un sistema de enfriamiento de este tipo.

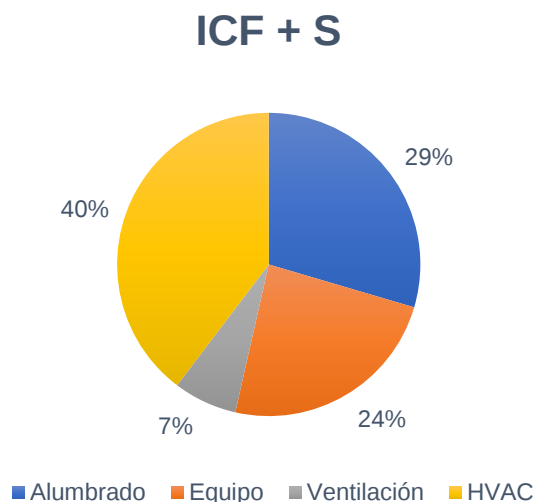


Figura 3.15 Distribución de carga

Se graficó la variación de la carga por enfriamiento a través de los meses en kWh, y a su vez, se comparó con la variación de la temperatura exterior de bulbo seco (Figura 3.16).

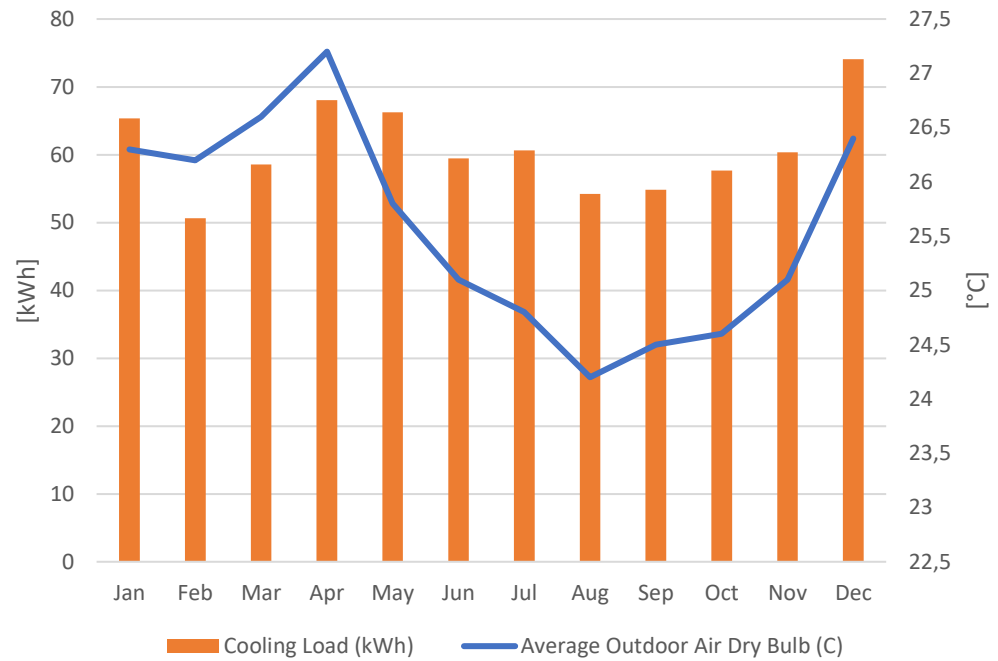


Figura 3.16 Distribución de carga por HVAC y temperatura de bulbo seco anual

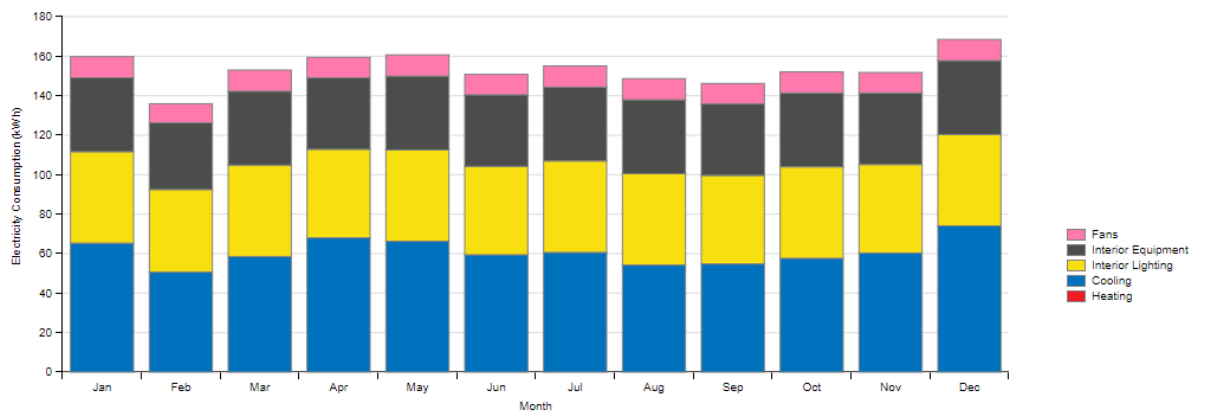


Figura 3.17 Distribución de carga mensual

CAPÍTULO 4

4. Conclusiones y Recomendaciones

3.5. Conclusiones

La construcción de modelos simples y simulación energética crean prototipos cercanos a la realidad que pueden permitir el análisis más rápido y acelerado con variaciones en el diseño. Obteniendo una gran variedad de datos y pudiendo analizarlos a detalle distintas variables de confort y consumo energético. Creando distintas configuraciones de materiales y geometría que permiten reconfigurar rápidamente el proyecto en función de los nuevos valores.

Es viable crear el proyecto de una casa NZEB a precios accesibles y con garantía a rentabilidad futura. En especial si se cuenta con algún incentivo de financiamiento para fondos verdes, el cual ofrecen ya en la actualidad ciertas instituciones (como el plan Procredit del Banco del Pichincha).

Se puede aumentar aún más la eficiencia energética de la casa considerando vidrios de doble o triple panel para este análisis en un clima tropical, o incluso eligiendo materiales de mayor eficiencia energética para paredes o techo. Como así también la construcción de distintos sombreados que puedan darle un valor agregado a la fachada de la casa y a la eficiencia térmica.

Como se vio en la parte del análisis de la carga para la selección de paneles solares. La distribución a lo largo de los meses no presenta cambios considerables para las cargas de luces, ventiladores y equipos. Pero sí para la carga de enfriamiento, como se ve en los datos de desviación estándar de los mismos en la. Se analizó entonces el valor de la carga por enfriamiento en relación con la temperatura exterior de bulbo seco (Figura 3.16). Con el valor obtenido de correlación se detectó que hay una relación regular no lineal, por lo que no se presenta una dependencia entre datos.

3.6. Recomendaciones

Asociar el proyecto a una línea de trabajo con certificación en medidas pasivas eficientes para residencias (Passive House). También una certificación LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) que permita crear un proyecto más llamativo para inversionistas y posibles compradores. Este tipo de certificaciones le dan un valor agregado a la casa, aumentado su plusvalía en el tiempo.

También, es posible extrapolar el análisis para un conjunto residencial en donde se considere aún más la reducción en el precio al crear viviendas en serie. Siendo así un proyecto aún más llamativo y accesible para el mercado objetivo al cual está direccionado. Por otro lado, se puede seguir con la investigación aumentando el tamaño de la casa, incluso simulando casas de dos plantas en donde se puedan tomar más medidas pasivas como la consideración de puentes térmicos y construcciones de ventilación vertical en el techo.

Hizo falta hacer una simulación profunda con respecto a la orientación y a la ventilación natural en la residencia. Se siguieron directrices relacionadas a estas variables, pero no se logró simular y obtener variaciones con el software.

Se puede llegar a adoptar políticas que incentiven el desarrollo de esta tecnología sostenible al ámbito ecuatoriano, acoplando las normativas ya implementadas en países europeos. Los resultados de estos proyectos son fácilmente escalables e implementables en cualquier país, sin contar el conocimiento y nivel de tecnología nZEB. Esta iniciativa puede llegar a aportar en el ámbito económico del país, al crear nuevas oportunidades para profesionales, y no profesionales, de diversas áreas [23].

Así mismo, es posible aplicar y tramitar apoyos financieros relacionados a fondos verdes, que incentiven este tipo de proyectos sostenibles. Este tipo de ayuda se han dado en países como en India, en donde la IFC ha aportado con

una suma importante de 250 millones de dólares dirigidos a proyectos ecológicos [24].

BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. de Desarrollo Urbano Y Vivienda, “Informe de Rendicion de Cuentas MIDUVI Manabi 2015”. enero de 2021.
- [2] C. R. Iddon y S. K. Firth, “Embodied and operational energy for new-build housing: A case study of construction methods in the UK”, *Energy Build*, vol. 67, pp. 479–488, dic. 2013.
- [3] U. S. Eia, “US energy information administration”, *Int. Energy Outlook*, vol. 11, pp. 1–3, 2008.
- [4] X. Li, W. Wu, y C. W. F. Yu, “Energy demand for hot water supply for indoor environments: Problems and perspectives”, *Indoor Built Environ.*, vol. 24, núm. 1, pp. 5–10, feb. 2015, doi: 10.1177/1420326X14564285.
- [5] “The Montreal Protocol evolves to fight climate change | UNIDO”. <https://www.unido.org/our-focus-safeguarding-environment-implementation-multilateral-environmental-agreements-montreal-protocol/montreal-protocol-evolves-fight-climate-change> (consultado el 30 de octubre de 2021).
- [6] “Construcción sostenible con Bambú en Ecuador”, *INBAR*. <https://www.inbar.int/es/project/construccion-sostenible-ecuador/> (consultado el 29 de octubre de 2021).
- [7] “Construcción de viviendas en Ecuador con un enfoque sostenible – Apive”. <https://apive.org/construccion-viviendas-ecuador-enfoque-sostenible/> (consultado el 29 de octubre de 2021).
- [8] J. Litardo, J. Macías, R. Hidalgo-León, M. G. Cando, y G. Soriano, “Measuring the Effect of Local Commercial Roofing Samples on the Thermal Behavior of a Social Interest Dwelling Located in Different Climates in Ecuador”, ene. 2020.
- [9] S. Deng, R. Z. Wang, y Y. J. Dai, “How to evaluate performance of net zero energy building – A literature research”, *Energy*, vol. 71, pp. 1–16, jul. 2014.
- [10] K. Loukaidou, A. Michopoulos, y T. Zachariadis, “Nearly-zero Energy Buildings: Cost-optimal Analysis of Building Envelope Characteristics”, *Procedia Environ. Sci.*, vol. 38, pp. 20–27, ene. 2017.
- [11] C. Cornaro, M. Pierro, V. A. Puggioni, y D. Roncarati, “Outdoor Characterization of Phase Change Materials and Assessment of Their Energy Saving Potential to Reach NZEB”, *Buildings*, vol. 7, núm. 3, p. 55, jun. 2017.
- [12] H. J. Kang, “Development of an Nearly Zero Emission Building (nZEB) Life Cycle Cost Assessment Tool for Fast Decision Making in the Early Design Phase”, *Energies*, vol. 10, núm. 1, p. 59, ene. 2017.

- [13] I. Susorova, M. Tabibzadeh, A. Rahman, H. L. Clack, y M. Elnimeiri, "The effect of geometry factors on fenestration energy performance and energy savings in office buildings", *Energy Build*, vol. 57, pp. 6–13, feb. 2013.
- [14] H. Sha, P. Xu, Z. Yang, Y. Chen, y J. Tang, "Overview of computational intelligence for building energy system design", *Renew. Sustain. Energy Rev*, vol. 108, pp. 76–90, jul. 2019.
- [15] B. Delgado, *Introducción al Estudio de Fuentes Renovables de Energía.*, 1st ed. 2014.
- [16] B. C. Houchens y M. L. Blaylock, "Aero-MINE (Motionless INtegrated Energy) for Distributed Scalable Wind Power.", jun. 2017, doi: 10.2172/1366895.
- [17] E. Cerdá, "Energía obtenida a partir de biomasa", *Cuad. Económicos ICE*, núm. 83, jun. 2012, doi: 10.32796/cice.2012.83.6036.
- [18] V. Bustamante García, A. Carrillo Parra, J. Á. Prieto Ruíz, J. J. Corral-Rivas, y J. C. Hernández Díaz, "Química de la biomasa vegetal y su efecto en el rendimiento durante la torrefacción: revisión", *Rev. Mex. Cienc. For.*, vol. 7, núm. 38, pp. 5–24, may 2017, doi: 10.29298/rmcf.v7i38.8.
- [19] Climate OneBuilding, "Climate Consultant", *Climate OneBuilding*. https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/default.html
- [20] K. Fleming, N. Long, y A. Swindler, "Building Component Library: An Online Repository to Facilitate Building Energy Model Creation; Preprint", *undefined*, 2012.
- [21] J. Gibberd, "Green Building Technologies":, en *Practice, Progress, and Proficiency in Sustainability*, P. Yang, Ed. IGI Global, 2020, pp. 482–510. doi: 10.4018/978-1-5225-8559-6.ch017.
- [22] T. D. Culp, S. H. Widder, y K. A. Cort, "Thermal and Optical Properties of Low-E Storm Windows and Panels", PNNL--24444, 1226413, jul. 2015. doi: 10.2172/1226413.
- [23] A. Magrini, G. Lentini, S. Cuman, A. Bodrato, y L. Marengo, "From nearly zero energy buildings (NZEB) to positive energy buildings (PEB): The next challenge - The most recent European trends with some notes on the energy analysis of a forerunner PEB example", *Dev. Built Environ.*, vol. 3, p. 100019, ago. 2020, doi: 10.1016/j.dibe.2020.100019.
- [24] B. S. Reporter, "IFC lends \$250 million to HDFC Ltd to boost green housing finance", *Business Standard India*, el 25 de julio de 2021. Consultado: el 3 de febrero de 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.business-standard.com/article/companies/ifc-lends-250-million-to-hdfc-ltd-to-boost-green-housing-finance-121072500351_1.html

APÉNDICES

APÉNDICE A

Dimensionamiento de Sistema de generación de energía de fuentes renovables

kWh	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Cooling	65.27	50.58	58.54	68.12	66.4	59.57	60.79	54.34	54.86	57.67	60.29	73.98	730.41
Interior Lighting	46.32	41.84	46.32	44.83	46.32	44.83	46.32	46.32	44.83	46.32	44.83	46.32	545.37
Interior Equipment	37.41	33.79	37.41	36.2	37.41	36.2	37.41	37.41	36.2	37.41	36.2	37.41	440.44
Fans	10.73	9.69	10.73	10.39	10.73	10.39	10.73	10.73	10.39	10.73	10.39	10.73	126.36
Total	159.73	135.9	152.99	159.53	160.86	150.98	155.25	148.8	146.27	152.12	151.7	168.44	1842.58

Voltronic Axpert VM III Off-Grid Inverter	
Potencia nominal de CA (W)	3000
Eficiencia (%)	90-93
Voltaje de operación (V)	120-450
Voltaje de Entrada (V)	24
Corriente de salida AC (A)	13

AstroSemi CHSM72M-HC Series 545 W (Módulo fotovoltaico)			
Características eléctricas		Características Físicas	
Potencia en prueba (Wp)	545	Longitud (mm)	2256
Número de célula en serie (6x24)	144		
Corriente en punto de máximo potencia (A)	13.11	Anchura (mm)	1133
Tensión en punto de máxima potencia (Vp,mod)	41.57		
Corriente en cortocircuito (Isc,mod) (A)	13.88	Espesor (mm)	35
Tensión en circuito abierto (Voc,mod) (V)	49.37		
Eficiencia	21.30%	Peso (kg)	28.4
Voltaje nominal de los módulos	24		

$$E_{elec} = (100 + F_s) * \frac{E_{CC}}{100} + (100 + F_s) * \frac{E_{CA}}{\eta_{inversor}}$$

Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Eca (Wh/día)	5389	5084	5161	5553	5424	5260	5234	5011	5079	5115	5280	5673
Eelec (Wh/día)	6584	6202	6306	6795	6630	6431	6399	6133	6230	6270	6461	6943

Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Hs (kWh/(m ² *día) a 8°	3.85	3.9	4.4	4.79	4.34	4.24	4.61	4.64	5.31	4.6	4.59	4.45

$$Y = \frac{E_{elec}}{H_s}$$

[illegible]

$$N_{mod} = 1.1 * \frac{Y_{max}}{P_{mod}}$$

$$N_{mod} = 1.1 * \frac{1707.99}{545}$$

$$N_{mod} = 3.13 \approx 4$$

$$N_{S,mod} = \frac{V_{Inversor}}{V_{Módulo}}$$

Cálculo de parámetros eléctricos totales del subsistema de captación de energía.

Potencia pico total de subsistema de captación de energía:

$$P_{gen}(WP) = N_{mod} (\# \text{ total de paneles}) * P_{mod} \left(\frac{W_p}{\text{módulo}} \right)$$

$$P_{gen}(WP) = 4 * 545 \left(\frac{W_p}{\text{módulo}} \right)$$

$$P_{gen}(WP) = 2180 (W_p)$$

Intensidad pico total de salida del subsistema de captación de energía:

$$I_{P,gen} (A) = I_{P,mod} * N_{P,mod}$$

$$I_{P,gen} (A) = 13.11 A * 4$$

$$I_{P,gen} (A) = 52.44 A$$

Intensidad total de cortocircuito del subsistema de captación de energía:

$$I_{SC,gen} (A) = I_{SC,mod} * N_{P,mod}$$

$$I_{SC,gen} (A) = 13.88 A * 4$$

$$I_{SC,gen} (A) = 55.52 A$$

Tensión nominal total de salida del subsistema de captación de energía:

$$V_{gen}(V) = V_{mod} * N_{S,mod}$$

$$V_{gen}(V) = 24 \text{ V} * 1$$

$$V_{gen}(V) = 24 \text{ V}$$

Tensión pico total de salida del subsistema de captación de energía:

$$V_{P,gen}(V) = V_{P,mod} * N_{S,mod}$$

$$V_{P,gen}(V) = 41.57 \text{ V} * 1$$

$$V_{P,gen}(V) = 41.57 \text{ V}$$

Tensión total en circuito abierto del subsistema de captación de energía:

$$V_{OC,gen}(V) = V_{OC,mod} * N_{S,mod}$$

$$V_{OC,gen}(V) = 41.57 \text{ V} * 1$$

$$V_{OC,gen}(V) = 41.57 \text{ V}$$

APÉNDICE B

Generación de precios a través de portal ecuador.generadorprecios e insucons

Configuración de CM+Z

Techo m²

Grupos > CUBIERTAS > APU de Cubierta zinc 8pies (incl. Estructura de madera)

En :					
1. MATERIALES					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
18047	Clavos	kg	0.50	1.03	0.52
18050	Pingos	m	0.70	1.10	0.77
18084	Tira de eucalipto 4x5cm	m	3.00	0.40	1.20
18085	Viga de eucalipto 14x12cm	m	0.25	1.11	0.28
18116	Varios	glb	0.10	1.00	0.10
18281	Desinfectante para madera	gl	0.12	39.20	4.70
18282	Caballote estandar eternit largo= 9	u	0.20	5.70	1.14
18283	Tirafondos para eternit	kg	1.00	0.80	0.80
18285	Tirilla de eucalipto	m	0.33	0.17	0.06
18286	Viga de eucalipto 10x12cm	m	1.50	0.80	1.20
18303	Plancha de zinc 2.40	u	0.55	4.70	2.59
Total materiales					13.35
2. MANO DE OBRA					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
15837	Peón (ESTRUC. OCUP. E2)	Hora	2.60	3.62	9.41
15838	Albañil (ESTRUC. OCUP. D2)	Hora	1.30	3.66	4.76
15868	Maestro de obra (ESTRUC. OCUP. C1)	Hora	0.26	4.06	1.06
Total mano de obra					15.23
3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
Herramientas				5.00%	0.76
Total equipo, maquinaria y herramientas					0.76
4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
5. UTILIDAD					
6. IMPUESTOS					
Total Precio Unitario de Cubierta zinc 8pies (incl. Estructura de madera)					29.33

Paredes m²

FFP020		m²	Hoja de partición interior, de mampostería de bloque de hormigón cara vista.		\$ 17,43
Hoja de partición interior, de 10 cm de espesor, de mampostería de bloque CV de hormigón, liso hidrófugo, color gris, 40x20x10 cm, resistencia normalizada R10 (10 N/mm²), con juntas horizontales y verticales de 10 mm de espesor, junta rehundida, recibida con mortero de cemento confectionado en obra, con 250 kg/m² de cemento, color gris, dosificación 1:6, suministrado en sacos.					
Rubro	Unidad	Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo parcial
1 Materiales					
mt03bhe010aae	Ud	Bloque CV de hormigón, liso hidrófugo, color gris, 40x20x10 cm, resistencia normalizada R10 (10 N/mm²), densidad 1200 kg/m³, con el precio incrementado el 20% en concepto de piezas especiales: vigas de borde y medios.	13,000	0,83	10,79
mt08aaa010a	m²	Agua.	0,004	1,61	0,01
mt01arg005a	t	Arena de cantera, para mortero preparado en obra.	0,011	21,69	0,24
mt08cem000c	kg	Cemento gris en sacos.	1,764	0,15	0,26
			Subtotal materiales:		11,30
2 Equipo y maquinaria					
mq06hor010	h	Concretera.	0,005	1,65	0,01
			Subtotal equipo y maquinaria:		0,01
3 Mano de obra					
mo021	h	Albañil especializado en trabajos de mampostería.	0,582	7,18	4,18
mo114	h	Peón de albañil especializado en trabajos de mampostería.	0,363	4,42	1,60
			Subtotal mano de obra:		5,78
4 Herramienta menor					
%		Herramienta menor	2,000	17,09	0,34
Coste de mantenimiento decenal: \$ 0,87 en los primeros 10 años.			Costos directos (1+2+3+4):		17,43

Cálculo

	\$ Unitario	Área T [m2]	Total
Techo	\$ 29.33	36.16	\$ 1,060.57
Paredes	\$ 17.43	51.98	\$ 906.01
		Total	\$ 1,966.58

Configuración de CM+Z

Techo m²

Rubro	Unidad	Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo parcial
1		Materiales			
mt04lvc010c	Ud	Ladrillo cerámico hueco doble, para revestir, 24x11,5x9 cm, densidad 780 kg/m³.	3,000	0,15	0,45
mt01arl030aa	m³	Arcilla expandida, suministrada en sacos.	0,200	121,88	24,38
mt09lec020b	m³	Lechada de cemento 1/3 CEM II/B-P 32,5 N.	0,010	109,27	1,09
mt16pea020b	m²	Panel rígido de poliestireno expandido, mecanizado lateral recto, de 20 mm de espesor, resistencia térmica 0,55 m²K/W, conductividad térmica 0,036 W/(mK), para junta de dilatación.	0,010	1,94	0,02
mt08aaa010a	m³	Agua.	0,008	1,61	0,01
mt01arg005a	t	Arena de cantera, para mortero preparado en obra.	0,065	21,69	1,41
mt08cem000c	kg	Cemento gris en sacos.	10,000	0,15	1,50
mt16lrc010fb	m²	Panel rígido de lana mineral soldable, hidrofugada, revestido con betún asfáltico y film de polipropileno termofusible, de 40 mm de espesor, resistencia térmica >= 1,05 m²K/VV, conductividad térmica 0,038 W/(mK), Euroclase F de reacción al fuego.	1,050	18,13	19,04
mt09mcr250a	kg	Adhesivo cementoso mejorado, C2 E, con tiempo abierto ampliado, para la fijación de geomembranas, compuesto por cementos especiales, agregados seleccionados y resinas sintéticas.	4,000	0,73	2,92
mt15rev220aa	m²	Lámina impermeabilizante flexible tipo EVAC, compuesta de una doble hoja de poliolefina termoplástica con acetato de vinil etileno, revestida por una de sus caras con papel de aluminio y por la otra cara con fibras de poliéster no tejidas, de 0,8 mm de espesor y 670 g/m², suministrada en rollos de 1,5 m de anchura y 30 m de longitud.	1,100	20,02	22,02
mt09mcr250b	kg	Adhesivo cementoso mejorado, C2 E S1, con tiempo abierto ampliado y gran deformabilidad, para la fijación de solapes de geomembranas, compuesto por cementos especiales, agregados seleccionados y resinas sintéticas.	0,300	3,12	0,94
mt15rev221a	m	Banda de refuerzo autoadhesiva de aluminio, de 10 cm de anchura, suministrada en rollos de 10 m de longitud, para lámina impermeabilizante flexible tipo EVAC.	0,100	5,56	0,56
		Subtotal materiales:			74,34
2		Equipo y maquinaria			
mq06hor010	h	Concretera.	0,028	1,65	0,05
		Subtotal equipo y maquinaria:			0,05
3		Mano de obra			
mo020	h	Albañil.	0,201	7,24	1,46
mo113	h	Peón de albañil.	0,559	4,45	2,49
mo029	h	Aplicador de láminas impermeabilizantes.	0,112	7,24	0,81
mo067	h	Ayudante aplicador de láminas impermeabilizantes.	0,112	4,63	0,52
mo054	h	Colocador de aislantes.	0,056	7,44	0,42
mo101	h	Ayudante colocador de aislantes.	0,056	4,63	0,26
		Subtotal mano de obra:			5,96
4	%	Herramienta menor			
		Herramienta menor	2,000	80,35	1,61
Coste de mantenimiento decenal: \$ 22,95 en los primeros 10 años.			Costos directos (1+2+3+4):		81,96

Pared m²

NAF010 m² Aislamiento térmico por el interior de la hoja exterior, en fachada de doble hoja de mampostería vista.				\$ 9,73		
Aislamiento térmico por el interior de la hoja exterior, en fachada de doble hoja de mampostería vista, formado por panel rígido de poliestireno expandido, de superficie lisa y mecanizado lateral recto, de 80 mm de espesor, resistencia térmica 2,5 m²K/W, conductividad térmica 0,032 W/(mK), colocado a tope y fijado mecánicamente.						
Rubro	Unidad	Descripción		Cantidad	Costo unitario	Costo parcial
1		Materiales				
mt16aaa020hi	Ud	Fijación mecánica para paneles aislantes de poliestireno expandido, colocados directamente sobre la superficie soporte.		2,500	0,20	0,50
mt16pei010adob	m²	Panel rígido de poliestireno expandido, de superficie lisa y mecanizado lateral recto, de 80 mm de espesor, resistencia térmica 2,5 m²K/W, conductividad térmica 0,032 W/(mK), Euroclase E de reacción al fuego, con código de designación EPS-EN 13163-L3-W3-T2-S5-P10-BS100-DS(N)2-CS(10)60.		1,050	7,32	7,69
				Subtotal materiales:		8,19
2		Mano de obra				
mo054	h	Colocador de aislantes.		0,112	7,44	0,83
mo101	h	Ayudante colocador de aislantes.		0,112	4,63	0,52
				Subtotal mano de obra:		1,35
3		Herramienta menor				
	%	Herramienta menor		2,000	9,54	0,19
Coste de mantenimiento decenal: \$ 0,19 en los primeros 10 años.				Costos directos (1+2+3):		9,73

Grupos > [PISQS](#) > APU de Encementado exterior, mortero 1:3 e= 3cm

En :

1. MATERIALES					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
15914	Cemento Fuerte Tipo GU Saco 50 Kg - Holcim DISENSA	saco	0.31	7.68	2.38
18054	Arena	m3	0.03	13.50	0.41
18056	Agua	m3	0.02	0.85	0.02
				Total materiales	2.80
2. MANO DE OBRA					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
15837	Peón (ESTRUC. OCUP. E2)	Hora	1.08	3.62	3.91
15838	Albañil (ESTRUC. OCUP. D2)	Hora	0.54	3.66	1.98
15868	Maestro de obra (ESTRUC. OCUP. C1)	Hora	0.03	4.06	0.12
				Total mano de obra	6.01
3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
			Herramientas	5.00%	0.30
				Total equipo, maquinaria y herramientas	0.30
4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
5. UTILIDAD					
6. IMPUESTOS					
Total Precio Unitario de Encementado exterior, mortero 1:3 e= 3cm					9.11

Grupos > ENLUCIDOS > **APU de Enlucido vertical, interior paleteado fino. mortero 1:4 e=1.50cm**

En :

1. MATERIALES					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
15914	Cemento Fuerte Tipo GU Saco 50 Kg - Holcim DISENSA	saco	0.14	7.68	1.08
18054	Arena	m3	0.02	13.50	0.27
18056	Agua	m3	0.01	0.85	0.01
Total materiales					1.35
2. MANO DE OBRA					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
15837	Peón (ESTRUC. OCUP. E2)	Hora	0.52	3.62	1.88
15838	Albañil (ESTRUC. OCUP. D2)	Hora	0.52	3.66	1.90
15868	Maestro de obra (ESTRUC. OCUP. C1)	Hora	0.05	4.06	0.20
Total mano de obra					3.99
3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
18102	Andamio	Hora	0.52	0.06	0.03
Herramientas				5.00%	0.20
Total equipo, maquinaria y herramientas					0.23
4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
5. UTILIDAD					
6. IMPUESTOS					
Total Precio Unitario de Enlucido vertical, interior paleteado fino. mortero 1:4 e=1.50cm					5.57

Cálculo

	\$ Unitario	Área T [m2]	Total
Techo	\$ 81.92	36.16	\$ 2,962.23
Encementado Exterior	\$ 9.11	51.98	\$ 473.54
EPS 8cm	\$ 9.73	51.98	\$ 1,011.53
Encementado Interior	\$ 5.57	51.98	\$ 579.06
		Total	\$ 7,583.05

APÉNDICE C

Fichas técnicas de los equipos principales del sistema fotovoltaico.

ELECTRICAL SPECIFICATIONS				
STC rated output (P_{mpp})*	530 Wp	535 Wp	540 Wp	545 Wp
Rated voltage (V_{mpp}) at STC	41.09 V	41.25 V	41.41 V	41.57 V
Rated current (I_{mpp}) at STC	12.90 A	12.97 A	13.04 A	13.11 A
Open circuit voltage (V_{oc}) at STC	48.89 V	49.05 V	49.21 V	49.37 V
Short circuit current (I_{sc}) at STC	13.67 A	13.74 A	13.81 A	13.88 A
Module efficiency	20.7%	20.9%	21.1%	21.3%
Rated output (P_{mpp}) at NMOT	402 Wp	406 Wp	409 Wp	413 Wp
Rated voltage (V_{mpp}) at NMOT	38.09 V	38.25 V	38.41 V	38.57 V
Rated current (I_{mpp}) at NMOT	10.55 A	10.60 A	10.66 A	10.71 A
Open circuit voltage (V_{oc}) at NMOT	45.69 V	45.85 V	46.01 V	46.17 V
Short circuit current (I_{sc}) at NMOT	11.23 A	11.28 A	11.34 A	11.39 A
Temperature coefficient (P_{mpp})	- 0.350%/°C			
Temperature coefficient (I_{sc})	+0.045%/°C			
Temperature coefficient (V_{oc})	- 0.285%/°C			
Nominal module operating temperature (NMOT)	45±2°C			
Maximum system voltage (IEC/UL)	1500V _{oc}			
Number of diodes	3			
Junction box IP rating	IP 68			
Maximum series fuse rating	25 A			

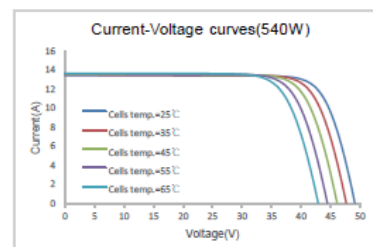
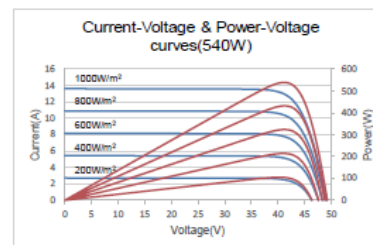
STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, AM=1.5

NMOT: Irradiance 800W/m², Ambient Temperature 20°C, AM=1.5, Wind Speed 1m/s

MECHANICAL SPECIFICATIONS	
Outer dimensions (L x W x H)	2256 x 1133 x 35 mm
Frame technology	Aluminum, silver anodized
Module composition	Glass / EVA / Backsheet (white)
Front glass thickness	3.2 mm
Cable length (IEC/UL)	Portrait: 350 mm Landscape: 1300 mm
Cable diameter (IEC/UL)	4 mm ² / 12 AWG
① Maximum mechanical test load	5400 Pa (front) / 2400 Pa (back)
Fire performance (IEC/UL)	Class C (IEC) or Type 1 (UL)
Connector type (IEC/UL)	MC4 compatible

① Refer to Astronergy crystalline installation manual or contact technical department.
Maximum Mechanical Test Load=1.5×Maximum Mechanical Design Load.

CURVE



PACKING SPECIFICATIONS

① Weight (module only)	28.4 kg
② Packing unit	31 pcs / box
Weight of packing unit (for 40'HQ container)	923 kg
Number of modules per 40'HQ container	620 pcs

① Tolerance +/- 1.0kg
② Subject to sales contract

Axpert VM III Off-Grid Inverter Selection Guide

MODEL	Axpert VM III-1500-24	Axpert VM III-3000-24	Axpert VM III 5000-48
Rated Power	1500VA/1500W	3000VA/3000W	5000VA/5000W
INPUT			
Voltage	230 VAC		
Selectable Voltage Range	170-280 VAC (For Personal Computers) 90-280 VAC (For Home Appliances)		
Frequency Range	50 Hz/60 Hz (Auto sensing)		
OUTPUT			
AC Voltage Regulation (Batt. Mode)	230VAC ± 5%		
Surge Power	3000VA	6000VA	10000VA
Efficiency (Peak)	90% ~ 93%		
Transfer Time	10 ms (For Personal Computers) 20 ms (For Home Appliances)		
Waveform	Pure sine wave		
BATTERY			
Battery Voltage	24 VDC	48 VDC	
Floating Charge Voltage	27 VDC	54 VDC	
Overcharge Protection	33 VDC	63 VDC	
SOLAR CHARGER & AC CHARGER			
Solar Charger type	MPPT		
Maximum PV Array Power	2000W	4000W	5000W
MPP Range @ Operating Voltage	120 ~ 380 VDC	120 ~ 450 VDC	
Maximum PV Array Open Circuit Voltage	400 VDC	500 VDC	
Maximum Solar Charge Current	60A	80A	
Maximum AC Charge Current	40A	60A	
Maximum Charge Current	60A	80A	
PHYSICAL			
Dimension, D x W x H (mm)	100 x 280 x 390	115 x 300 x 400	
Net Weight (kgs)	8.5	9	10
Communication Interface	USB/RS232/RS485/Bluetooth/Dry-contact		
OPERATING ENVIRONMENT			
Humidity	5% to 95% Relative Humidity (Non-condensing)		
Operating Temperature	-10°C to 50°C		
Storage Temperature	-15°C to 60°C		

Product specifications are subject to change without further notice.