

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Caso de Estudio de Certificación EDGE para un proyecto
residencial en Cumbayá**

Juan Ignacio Ramírez Lasso

Ingeniería Civil

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniero Civil

Quito, 3 de mayo de 2021

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**Caso de Estudio de Certificación EDGE para un proyecto residencial en
Cumbayá**

Juan Ignacio Ramírez Lasso

Nombre del profesor, Título académico: Miguel Andrés Guerra Moscoso, PhD

Quito, 3 de mayo de 2021

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Juan Ignacio Ramírez Lasso

Código: 00137541

Cédula de identidad: 1723200414

Lugar y fecha: Quito, 3 de mayo de 2021

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

Cada año, la industria de la construcción es responsable de alrededor del 40% de las emisiones anuales de gases de efecto invernadero a nivel mundial (Global Alliance for Buildings and Construction, 2020). A raíz de esta problemática, los países con economías desarrolladas se han centrado en la construcción sostenible en países con economías desarrolladas de todo el mundo. Sin embargo, la sostenibilidad en la construcción no ha sido una prioridad en la mayoría de los países en vías de desarrollo, especialmente alrededor de proyectos residenciales. Esto se debe principalmente a la idea preconcebida de que, para construir de manera sostenible, se necesita de una inversión sustancial por parte de los constructores con ningún otro beneficio aparte de ayudar al planeta.

Hemos desarrollado un estudio de caso basado en un proyecto residencial real ubicado a las afueras del valle de Cumbayá en Quito, Ecuador, que demuestra que la construcción de un proyecto sostenible es tanto técnica como económicamente viable mediante el uso de las medidas de ahorro adecuadas. Para ello, hemos utilizado el sistema EDGE que permite a los proyectos cuantificar sus ahorros en: Energía, Agua y Energía Incorporada en Materiales. Este estudio de caso busca promover el desarrollo de proyectos sostenibles a nivel local y brindar una hoja de ruta de medidas de ahorro aplicadas con éxito en un caso de la realidad que lograron alcanzar los requisitos para obtener la certificación preliminar EDGE.

Palabras clave: Construcción Sostenible, Certificación EDGE, Energía, Agua, Energía Incorporada, Materiales, Ahorro, Cumbayá, Residencias.

ABSTRACT

Each year, the building and construction industry is responsible for nearly 40% of the annual greenhouse gases emissions globally (Global Alliance for Buildings and Construction, 2020). To tackle this, a focus towards building sustainably has been taken in countries with developed economies around the world. However, sustainability in construction has not been a priority in most developing countries, especially in residential projects. This is due mainly to the reason that it is assumed that, to build green, there must be a substantial investment from the construction company with little to no return aside from the fact of contributing to helping the planet.

We have developed a case study based on a real residential project located just outside the valley of Cumbayá in Quito, Ecuador which demonstrates that building a sustainable project is technically and financially feasible by using the right saving measures. For this, we have used the EDGE system which allows projects to quantify their savings in: Energy, Water and Embodied Energy in Materials. This case study aims to promote the development of sustainable projects at a local level and provide certain guidelines about measures that have been successfully applied in a real scenario and achieve the EDGE preliminary certification.

Key words: Sustainable Construction, EDGE Certification, Energy, Water, Embodied Energy, Materials, Savings, Cumbayá, Housing.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	10
Introducción al Tema	10
Proyecto Integrador Final de Carrera	11
DESARROLLO DEL TEMA	13
Antecedentes	13
¿Qué es EDGE?	13
Categoría de Consumo de Energía.....	15
Categoría de Consumo de Agua.	19
Categoría de Materiales.	21
Caso de Estudio	25
Datos iniciales del proyecto para el software EDGE.....	26
Medidas de eficiencia energética	32
Medidas de ahorro de agua:	52
Energía incorporada en materiales:.....	55
Discusión	60
Energía:	60
Agua:	63
Materiales:.....	63
CONCLUSIONES.....	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Área interna bruta promedio del proyecto.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 2: Comprobación de la regla del 10% de EDGE para el área interna bruta del proyecto.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 3: Distribución de áreas por unidades residenciales del proyecto</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 4: Longitud promedio de paredes externas por piso.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 5: Área media de cubierta por unidad del proyecto.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 6: Correcciones sobre los parámetros de servicios básicos para el caso base</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 7: Correcciones realizadas a la temperatura promedio mensual en el proyecto (°C) .</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 8: Dimensiones y áreas de ventanas por orientación.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 9: WWR por orientación cardinal</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 10: Cálculos finales para WWR</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 11: Tabla 19 de la Guía del usuario de EDGE – Valores de referencia de Reflectividad Solar para materiales de pared genéricos (Corporación Financiera Internacional, 2018)</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 12: Distribución de materiales de pared por unidad</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 13: Calculadora de reflectividad solar promedio para paredes externas</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 14: Categorías de relación Dh.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 15: Cálculo y clasificación de la relación Dh para el proyecto</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 16: Áreas de ventana organizadas por orientación cardinal y relación Dh.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 17: Calculadora de AASF integrada en EDGE.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 18: Proporción de materiales acabados de piso</i>	<i>58</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Ilustración 1: Fachada Sur Unidad 5 y 6.....</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 2: Medición Ventana Cocina Unidad 5 y 6.....</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 3: Tabulación de Dimensiones de Ventanas</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 4: Dimensiones de la Unidad 5 y 6 Fachada Sur.....</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 5: Corte Lateral Unidades 6 y 7.....</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 6: Altura de la ventana del dormitorio y profundidad de dispositivo de sombreado</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 7: Consumo energético de la línea base vs. línea mejorada.....</i>	<i>52</i>
<i>Ilustración 8: Consumo de agua de línea base vs. línea mejorada.....</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 9: Consumo de energía incorporada en materiales de línea base vs. línea mejorada.....</i>	<i>60</i>

INTRODUCCIÓN

Introducción al Tema

La industria de la construcción es responsable de aproximadamente el 40% de las emisiones anuales de gases de efecto invernadero en el mundo (Global Alliance for Buildings and Construction, 2020). Esto la convierte en una de las industrias con mayores impactos ambientales. La construcción sostenible tiene como objetivo mitigar algunos de los efectos y promover el diseño y la construcción de proyectos de alta eficiencia que utilicen una cantidad óptima de recursos, reduciendo así los impactos ambientales tanto de la fase de construcción como de operación de dichos proyectos. Este estudio busca promover el desarrollo de edificios sostenibles en nuestro contexto local a través de la plataforma reconocida internacionalmente llamada EDGE. Esto mediante la explicación de los pasos tomados, las medidas utilizadas y los principales desafíos a los que se enfrenta durante el proceso de certificación de un proyecto residencial desarrollado en Ecuador.

Algunos de los mayores impactos ambientales y sociales causados por la industria de la construcción pueden observarse en países en desarrollo como Ecuador. Estos países presentan un desarrollo urbano acelerado el cual no suele ir acompañado de una planificación ni regulación adecuada para diseñar edificios de alto rendimiento lo cual puede eventualmente conducir a escasez de energía, exceso de desechos y escasez de recursos en general. Es debido a esto que es importante destacar que, contrario a la creencia popular, el desarrollo de proyectos sostenibles es especialmente relevante en países como el nuestro, ya que dependemos en gran medida de un desarrollo urbano adecuado en el futuro.

Actualmente, existe una falsa idea de que el desarrollo de proyectos sostenibles no es técnica ni económicamente viable en países con economías emergentes como Ecuador. Este estudio tiene como objetivo desacreditar este mito y mostrar que existen numerosas alternativas

técnicas para perseguir la construcción de un proyecto sostenible que logre un estándar de ahorro internacional como el establecido por EDGE. Esto es especialmente cierto si la sostenibilidad se tiene en cuenta desde la fase de diseño de un proyecto. Por lo tanto, es importante hacer que los desarrolladores se den cuenta de que lograr ciertos ahorros de consumo de recursos puede ser mucho más rentable teniéndolos en cuenta antes de que el proyecto comience a construirse.

Proyecto Integrador Final de Carrera

Este proyecto busca conectar los conocimientos teóricos obtenidos y desarrollados a través de la carrera de Ingeniería Civil con la realidad de la industria de la construcción en nuestro contexto local. Este trabajo se basa en un proyecto residencial el cual se encuentra actualmente en desarrollo y permite observar el razonamiento y proceso para implementar medidas sostenibles en el mismo. La cultura del sector de la construcción, de los potenciales clientes, de los diseñadores, ingenieros, arquitectos y trabajadores es un sistema complejo influenciado por aspectos culturales del país (M. A. Guerra et al., 2020) y de las adaptaciones por la pandemia (M. A. Guerra & Gopaul, 2021), lo que influye directamente en el desarrollo de proyectos sostenibles. Este trabajo también busca explicar y resaltar ciertos factores externos a la factibilidad técnica, como factores sociales o culturales que potencialmente puedan influir sobre el diseño sostenible y así brindar una perspectiva más amplia acerca de la forma en que un proyecto civil residencial funciona en la realidad.

Resulta importante señalar que el proceso de toma de decisiones en ingeniería civil y en la industria de la construcción como tal es sumamente complejo y se encuentra influenciado por varios factores técnicos, económicos y sociales (M. Guerra & Abebe, 2018). Este proyecto busca resaltar la importancia actual y futura de la sostenibilidad como un factor clave en la

toma de decisiones en torno a un proyecto civil, especialmente de índole residencial, para adaptarse a las nuevas tendencias de la industria.

Pese a que, en la actualidad, la construcción sostenible no posee una gran influencia sobre el desarrollo de proyectos a nivel local, la tendencia a nivel mundial nos indica un creciente interés e importancia alrededor de las prácticas de construcción sostenible lo cual en definitiva se verá reflejado en el Ecuador en el corto y largo plazo. Ante la falta de referencias de proyectos residenciales sostenibles en la coyuntura local, este trabajo se plantea ofrecer una guía para mejorar el proceso de toma de decisiones en torno a prácticas sostenibles en la construcción a través de la ejemplificación de un proyecto real y el proceso llevado a cabo para escoger las alternativas más factibles para alcanzar ciertos estándares internacionales (específicamente EDGE) de sostenibilidad.

De manera adicional, el desarrollo de este proyecto busca establecer la importancia de aplicar prácticas sostenibles a partir del proceso de diseño de un proyecto (M. A. Guerra & Tripp, 2018; M. Guerra & Shealy, 2018). Esto resulta esencial para maximizar los beneficios y ahorros obtenidos a través de medidas sostenibles minimizando la inversión necesaria para alcanzar dichos resultados. La idea preconcebida de que la construcción sostenible es extremadamente costosa y compleja a nivel técnico usualmente nace a partir del intento de una implementación tardía de medidas de ahorro. Si la sostenibilidad es tomada en cuenta desde el planteamiento inicial de cualquier proyecto, su nivel de complejidad y costos será considerablemente menor al poder aprovechar aspectos como el diseño arquitectónico o la implantación del proyecto para obtener los ahorros necesarios.

DESARROLLO DEL TEMA

Antecedentes

¿Qué es EDGE?

EDGE es una innovación desarrollada por la Corporación Financiera Internacional (IFC por sus siglas en inglés) que tiene como objetivo promover el desarrollo de edificios eficientes en países con economías emergentes como Ecuador. EDGE presenta tres componentes principales: un estándar reconocido internacionalmente, un software de uso gratuito y un sistema de certificación voluntaria.

El estándar EDGE básico establece que un proyecto debe consumir al menos un 20% menos de energía, agua y energía incorporada en materiales en comparación con las prácticas de construcción locales. Además, hay dos variaciones más del estándar EDGE. EDGE Advanced, que establece que un proyecto debe lograr un ahorro de al menos el 20% en agua y materiales y al menos el 40% en consumo de energía; y EDGE Zero Carbon que, a diferencia de los dos primeros, es un estándar de operación de construcción que se otorga a proyectos que utilizan fuentes de energía 100% renovables para toda su operación o que logran una operación carbono neutral a través de la compra de compensaciones de carbono (Carbon Offset).

Estos ahorros se calculan a través del software libre desarrollado por la IFC que genera el caso base al que se comparará cada proyecto en función de parámetros geográficos y socioeconómicos específicos de cada proyecto, así como en su función y propósito (residencial, comercial, etc.). Después de esto, el proyecto se puede modelar a través de la aplicación diferentes combinaciones de medidas de ahorro que se pueden utilizar para encontrar la mejor estrategia con el fin de alcanzar el estándar deseado. El software calcula la cantidad de energía, agua o energía incorporada en materiales ahorrados por una medida específica y lo compara con el caso base del proyecto con el fin de obtener los porcentajes de

ahorro para cada medida tomada y para el proyecto global. Además de esto, el software ofrece una estimación del costo promedio de la implementación de dichas medidas, así como el ahorro promedio que podría lograrse en las facturas de servicios públicos para facilitar un análisis de la viabilidad económica de las medidas aplicadas.

Por último, un proyecto puede pasar por el proceso de certificación voluntaria con el fin de obtener su respectivo certificado EDGE, validando el cumplimiento de todos los requisitos para alcanzar el estándar EDGE. Esto se hace a través de un proceso de auditoría que se puede completar a través de dos empresas, Green Building Certificate Inc. (GBCI) o Sintali-SGS.

Para los dos primeros estándares, el proceso de certificación es el mismo. Un nuevo proyecto que aún no está terminado puede obtener un certificado preliminar mediante un proceso de auditoría de sus diseños y medidas a utilizar para lograr los ahorros necesarios en las tres categorías. Seguido de una auditoría in situ después de que el proyecto ha sido construido para revisar el cumplimiento de los diseños y la norma para lograr la certificación final EDGE. Por otro lado, la Certificación Edge Zero Carbon sólo se puede lograr revisando los datos operativos del proyecto un año después de recibir la certificación final EDGE Advanced y tener una tasa de ocupación de al menos el 75% en el proyecto. Además, esta debe renovarse cada cuatro años en el caso de que el proyecto utilice fuentes de energía 100% renovables o cada dos años en caso de que utilice compensaciones de carbono.

Categorías y medidas de ahorro de EDGE para proyectos residenciales:

Como se mencionó anteriormente, la norma EDGE se basa en lograr ahorros de consumo en tres categorías principales, energía, agua y energía encarnada en materiales.

Categoría de Consumo de Energía.

La categoría de energía se basa en el modelado y la comparación del consumo de energía del proyecto con el caso base generada por el software EDGE. Esto se mide en kWh por metro cuadrado al año. En el caso de las unidades residenciales, EDGE considera la energía consumida para la iluminación (tanto en interiores como en exteriores), agua caliente, electrodomésticos, amenidades comunes, calefacción, refrigeración y ventiladores. Se pueden aplicar las siguientes medidas para lograr el ahorro energético suficiente para proyectos residenciales:

Proporción de vidrio en fachadas exteriores (WWR).

Esta es la única medida obligatoria en EDGE para proyectos residenciales que siempre debe tenerse en cuenta incluso si produce más consumo de energía que el caso base establecido por EDGE. Esta medida toma en cuenta la relación entre el área de ventanas en cada fachada en comparación con su superficie total de pared externa. El porcentaje de WWR para cada fachada se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$WWR(\%) = \frac{\text{Área de Ventanas}}{\text{Área de Pared Externa}} * 100\%$$

Es importante tener en cuenta que el WWR final se obtiene calculando un promedio ponderado entre todas las fachadas del proyecto.

Al lograr un WWR más bajo, se mejora el aislamiento térmico del proyecto, así como el confort térmico del edificio, reduciendo el consumo de energía de refrigeración.

Pintura reflectante/tejas para Cubierta.

Esta medida consiste en el uso de material con una alta reflectividad solar (también conocida como albedo) que es la cantidad de radiación solar reflejada por un determinado material.

Esto ayuda a mejorar la comodidad térmica dentro de cada unidad residencial.

Pintura reflectante para paredes externas:

Esta medida funciona de la misma manera que la indicada anteriormente. Considera el uso de material reflectante en todas las paredes externas con el fin de mejorar la comodidad térmica del proyecto. Esto se evalúa a través de la reflectividad solar. Cabe señalar que, si se utiliza más de un material, el valor de reflectividad solar utilizado debe ser un promedio ponderado de todos los materiales utilizados y sus respectivas proporciones en el área de pared externa del proyecto.

Aislamiento térmico de cubierta.

Esta medida consiste en aplicar un determinado material aislante en la construcción del techo con el fin de reducir la transmisión de calor del exterior hacia la residencia. Esto también se conoce como Valor-U y se mide como la cantidad de calor transmitido a través de una unidad de área a lo largo de una unidad de tiempo por un cierto sistema constructivo formado por uno o más materiales.

Aislamiento térmico de paredes externas.

Al igual que la medida indicada anteriormente, esto se puede lograr aumentando el aislamiento térmico en todas las paredes del proyecto mediante el uso de diferentes materiales. Esta medida ayuda a incrementar el aislamiento térmico de toda la unidad residencial.

Vidrio de baja emisividad.

El vidrio de baja emisividad o vidrio recubierto Low-E es un tipo especial de vidrio utilizado en las ventanas que reduce la cantidad de luz infrarroja y ultravioleta que pasa a través de sus ventanas sin reducir la cantidad de luz visible que lo atraviesa. Este tipo de vidrio busca mejorar el confort térmico en la residencia y disminuir la energía de refrigeración.

Vidrio alto rendimiento térmico.

El vidrio de mayor rendimiento térmico consiste en un vidrio multicapa que tiene un gran rendimiento térmico en comparación con ventanas regulares. Este tipo de vidrio puede tener

hasta tres capas de acristalamiento y por lo general incluyen recubrimiento térmico especial (por ejemplo, vidrio Low-E o tintado), lo que significa que su valor en U es extremadamente bajo.

Control Solar Externo.

Esta medida considera el uso de dispositivos de sombreado (ya sean horizontales, verticales o ambos) en las fachadas del edificio para reducir la cantidad de radiación solar directa recibida por las ventanas del proyecto. Esta medida utiliza un factor de sombreado promedio anual (AASF por sus siglas en inglés) con el fin de evaluar el impacto de dichos dispositivos. El AASF se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$AASF = 1 - \frac{\text{Ganancia de calor solar anual total de una ventana con control solar (kWh)}}{\text{Ganancia de calor solar anual total de una ventana sin control solar (kWh)}}$$

Es importante tener en cuenta que esta medida se ve afectada por cada orientación cardinal de la fachada, así como por la ubicación geográfica general del proyecto.

Ventiladores en todos los cuartos habitables:

Esta medida consiste en el uso de ventiladores de techo en todos los dormitorios y salas de estar de las unidades del proyecto para proporcionar un mejor confort humano en estos espacios.

Sistema de aire acondicionado.

Esta medida considera el uso de un sistema de aire acondicionado en todas las unidades residenciales del proyecto. Esto se evalúa a través de la COP de la unidad de AC que es igual a la salida total de energía de refrigeración (kW) por entrada de electricidad (kW):

$$COP = \frac{Q_{out}}{W_{in}} = \frac{\text{Salida total de energía de refrigeración (kW)}}{\text{Entrada de electricidad (kW)}}$$

El COP de la unidad de aire acondicionado del proyecto se compara con el caso base para calcular el ahorro de energía.

Bomba de calor para agua caliente.

Las bombas de calor son sistemas eléctricos que toman calor del entorno circundante con el fin de transferirlo al agua y así proporcionar un suministro de agua caliente para la unidad residencial. Esta medida se puede establecer mediante el uso de sistemas de bombas de calor con una mayor eficiencia que la establecida por el caso base del software. La eficiencia de estos dispositivos se mide por su Coeficiente de Rendimiento (COP), que es la relación entre la salida de energía de la bomba de calor y la energía eléctrica necesaria para su funcionamiento.

Refrigeradores y lavadoras de ropa de bajo consumo energético.

Esta medida consiste en equipar cada unidad residencial con electrodomésticos de alto rendimiento (refrigeradores y lavadoras). EDGE asume que un electrodoméstico tiene alto rendimiento si este contiene la clasificación Energy Star o al menos clase “A” en sistema de etiquetado de eficiencia energética de la Unión Europea.

Bombillas Ahorradoras:

Esta medida requiere el uso de bombillas que superen un umbral de 90lm/W. Los tipos de bombillas que logran esta especificación incluyen pero no se limitan a lámparas fluorescentes compactas (CFL), LED, T5 entre otros. Es importante tener en cuenta que al menos el 90% de las lámparas instaladas deben utilizar bombillas eficientes para que el proyecto pueda aplicar a esta medida.

Controles de iluminación para áreas comunes y exteriores.

Consiste en la implementación de equipos como temporizadores y sensores de movimiento con el fin de controlar la iluminación en todas las áreas externas y comunes del proyecto para evitar que estas se encuentren encendidas de manera innecesaria y de esta manera reducir el consumo de energía en iluminación.

Energía Solar Fotovoltaica.

Esto se puede obtener mediante el uso de paneles solares para la generación de electricidad en cada unidad residencial del proyecto. Es necesario indicar la proporción de electricidad que los paneles están diseñados para compensar para que de esta manera el software pueda evaluar la cantidad de energía que se espera ahorrar.

Medidores de energía inteligentes para energía eléctrica.

Esta medida considera el uso de sistemas especiales de gestión energética conocidos como medidores inteligentes para el consumo de energía eléctrica. Este sistema consiste en un medidor que monitorea el consumo de electricidad en el hogar y proporciona un análisis exhaustivo del consumo de electricidad de sus hogares y cómo se puede reducir eficazmente para de esta manera aumentar la conciencia del usuario y brindarle las herramientas para reducir su consumo energético.

Caldera de alta eficiencia para calefacción.

Esta medida consiste en el uso de calderas de alto rendimiento para sistemas de calefacción espacial. EDGE evalúa el porcentaje de eficiencia de la caldera y lo compara con el establecido por el caso base.

Categoría de Consumo de Agua.

En los edificios residenciales, la categoría de agua considera el proyecto consumo de agua en kL por año para uso de cocina, duchas, grifos, aseos, lavado y limpieza. Las siguientes medidas están disponibles para aplicarse en proyectos residenciales:

Cabezales de ducha de bajo flujo.

Esta medida consiste en el uso de duchas con un caudal inferior al del caso base establecido por EDGE. Dado que el caudal está relacionado directamente con la presión del agua, esto se evalúa para una presión de 43,5 psi con el fin de mantener la una medida constante. Esto reduce directamente el consumo de agua en el proyecto.

Grifos de bajo flujo en cocinas y baños.

Al igual que en las duchas, esta medida consiste en reducir el flujo para todos los grifos de cada unidad residencial para lograr un mayor ahorro de agua. Esto se evalúa, de igual manera, con la comparación del flujo a 43.5 psi del caso base con el caso mejorado.

Inodoros de descarga doble en todos los baños.

Esta medida consiste en la implementación de sistemas de sanitarios de doble descarga en todos los baños del proyecto. Este sistema consiste en una descarga principal utilizada para la eliminación de residuos sólidos y una descarga reducida secundaria utilizada para la eliminación de residuos líquidos. Esto permite tener un ahorro considerable en el consumo de agua para el proyecto.

Sanitarios de descarga simple en todos los baños.

Esta medida se puede aplicar si se implementan inodoros de una sola descarga en el proyecto y dicho volumen de descarga de inodoros es menor al establecido por el caso base.

Sistema de recolección de agua de lluvia.

Esta medida consiste en el tratamiento y filtrado de agua de lluvia que se ha recolectado y almacenado con el fin de ser utilizado como el principal suministro de agua para las unidades.

Aguas grises recicladas para la descarga de sanitarios.

Esta medida supone que se utiliza un sistema de reciclaje de aguas grises (aguas residuales que no contienen materia fecal) para proporcionar el suministro primario de agua para la descarga de todos los inodoros.

Aguas negras recicladas para la descarga de sanitarios.

Este sistema funciona igual que la medida previamente indicada, excepto que utiliza aguas negras recicladas y tratadas como la principal fuente de agua para la descarga de los sanitarios.

Categoría de Materiales.

El indicador de eficiencia de la categoría de materiales es la energía incorporada de los materiales utilizados tanto para la construcción de la estructura principal (losas de contrapiso, entrepiso y cubierta) como para los acabados del edificio (pisos, marcos de ventanas, etc.). La energía incorporada de un material es la energía necesaria para llevar a cabo todos sus procesos de producción. Esto se mide en mega julios por metro cuadrado. Los siguientes elementos de construcción deben ser reportados para proyectos residenciales:

Losas de piso.

Esto consiste en informar del tipo de método constructivo que se utilizará en todas las losas contrapiso y entrepiso del proyecto. El usuario debe seleccionar la alternativa que mejor se adapte a cada proyecto de una lista proporcionada por EDGE en su software, así como debe establecer el espesor de la losa y su cantidad de refuerzo (cuando exista refuerzo en la losa).

Las opciones disponibles para proyectos residenciales son las siguientes:

- Losa de concreto reforzada en obra
- Concreto en obra con más de un 25% de escorias granuladas molidas de alto horno
- Concreto en obra con más de 30% de cenizas de combustible pulverizado
- Losa alivianada de concreto
- Losas prefabricadas de concreto reforzado con vigas de soporte
- Losa alivianada de concreto con bloques de poliestireno
- Canalón de hormigón en obra
- Losa reticular de concreto en obra
- Losa hueca prefabricada
- Losas de compuestos finos con perfil doble T de acero
- Concreto en obra de compuestos y base de acero (Encofrado permanente)
- Unidades de concreto tipo doble T prefabricado

- Base fina de concreto prefabricado y los de compuestos en obra
- Construcción de piso de madera
- Piso tipo cassette de acero ligero
- Reutilización de losas existentes

Construcción de cubierta.

Al igual que la categoría anterior, el usuario debe identificar el método constructivo utilizado para las losas de cubierta en el proyecto y seleccionar la opción que mejor lo represente de la lista proporcionada por el software. Esta lista es la misma que la utilizada para las losas de contrapiso y entepiso. También debe establecerse el espesor de la losa, así como la cantidad de refuerzo (cuando esto corresponda).

Paredes externas e internas.

El material, así como el espesor de todas las paredes externas (paredes expuestas al entorno), así como las paredes internas deben ser reportados. A partir de la siguiente lista proporcionada por EDGE se debe escoger el material que más se asemeje al utilizado en el proyecto para que este sea modelado en el software.

Materiales preestablecidos para paredes externas e internas:

- Pared de ladrillo común con yeso interno y externo
- Ladrillos huecos con yeso interno y externo
- Bloques de arcilla en forma de panal con yeso interno y externo
- Bloques de hormigón hueco de peso mediano
- Bloques de hormigón macizo y pesado
- Bloques de hormigón aireado en autoclave
- Bloques de suelo estabilizado con cenizas volantes.
- Bloques de tierra comprimida estabilizada

- Bloques de suelo estabilizado con escorias granuladas molidas de alto horno
- Bloques/paredes de tierra apisonada
- Paneles de hormigón prefabricados
- Bloques de paja
- Ladrillo caravista y montante de madera
- Panel de fosfoyeso
- Panel mural de ferrocemento
- Pared reforzada en obra
- Bloques de concreto celular ligero
- Bloques de piedra
- Bloques de piedra – Corte a mano
- Bloques de piedra – Corte a máquina sin pulir
- Bloque FaLG
- Revestimiento con perfil de acero
- Revestimiento con perfil de aluminio
- Pared de ladrillo caravista con yeso interno
- Ladrillos huecos vistos con yeso interno
- Ladrillos caravista y bloques de concreto hueco
- Ladrillos caravista y bloques de concreto macizo
- Capa polimérica sobre bloques de concreto
- Capa polimérica sobre ladrillo
- Panel sándwich de concreto prefabricado
- Panel sándwich de concreto prefabricado para ladrillo caravista
- Panel sándwich de hormigón prefabricado con revestimiento de piedra
- Revestimiento de hormigón reforzado con fibra de vidrio

- Revestimiento con perfil de piedra
- Tablas de fibrocemento sobre montantes metálicos
- Tablas de fibrocemento sobre montantes de madera
- Listón de madera sobre montantes de madera
- Listón de UPVC sobre montantes de madera
- Revestimiento de tejas de arcilla sobre montantes metálicos
- Placas de yeso sobre montantes de madera
- Placas de yeso sobre montantes metálicos
- Muro cortina
- Malla 3D con concreto proyectado en ambas caras
- Panel sándwich revestido de aluminio
- Panel sándwich revestido de acero
- Reutilización de pared existente.

Acabados de Pisos.

En esta sección, los materiales utilizados para los pisos en las unidades residenciales del proyecto deben ser identificados y seleccionados de la siguiente lista proporcionada por EDGE:

- Baldosa Cerámica
- Piso de vinilo
- Baldosas/losas de piedra
- Piso de concreto con acabado
- Plancha de linóleo
- Baldosas de terrazo
- Alfombras de nylon

- Piso de madera laminado
- Baldosas de terracota
- Parqué/acabado con bloques de madera
- Alfombra de fibras vegetales
- Baldosas de corcho
- Reutilización del piso existente

Si el material a utilizarse no aparece en la lista, se debe seleccionar el que sea el más similar.

Además, si se va a utilizar más de un material, el usuario debe calcular la proporción del área interna bruta que utilizará cada material.

Marcos de ventana.

Por último, el usuario debe establecer el material que se utilizará para todos los marcos de ventana del proyecto a partir de la siguiente lista:

- Aluminio
- Acero
- Madera
- PVC no plastificado
- Madera revestida de aluminio
- Reutilización de marcos de ventanas existentes

Caso de Estudio

A continuación, presentaremos el procedimiento realizado con el fin de modelar nuestro proyecto a través del software EDGE, desde los datos iniciales del proyecto con el fin de establecer el caso base hasta las diversas medidas de ahorro implementadas para energía, agua y materiales que nos permitieron alcanzar el estándar EDGE de ahorro. Presentaremos el razonamiento detrás de la aplicación de estas medidas específicas, la forma en que se

calcularon (si hubiera algún cálculo necesario) y la cantidad de ahorro que cada una de ellas proporcionó en las diferentes categorías. También presentaremos una lista de las medidas no aplicadas y una breve descripción de por qué no fueron elegidas.

Datos iniciales del proyecto para el software EDGE.

Contexto geográfico y socioeconómico del proyecto

En primer lugar, es necesario especificar los detalles base de la unidad. La ubicación del proyecto se selecciona a partir de una lista desplegable, empezando por el país (Ecuador), la ciudad donde se encuentra (Quito) y la categoría de ingresos del proyecto, para este último hay 4 opciones: Bajo, Medio Inferior, Medio Superior o Alto. En este caso, se seleccionó la categoría de ingresos "Medio Superior".

Estos primeros ajustes establecerán las características iniciales del caso base del proyecto, desde el consumo medio de energía, agua y energía incorporada en los materiales, hasta la distribución de áreas entre espacios de la unidad (dormitorios, cocina, etc.).

Características principales de la unidad residencial

Después de esto, es necesario determinar los detalles del área del proyecto. Para ello, tenemos que establecer el tipo de unidad que estamos modelando (Casas), el área promedio de la unidad, su número de dormitorios (3), número de pisos (2) y su ocupación (4 personas). El área promedio de la unidad se obtiene midiendo cada área interna de la casa excluyendo sus paredes externas. En la siguiente tabla se presenta el área bruta interna de las unidades del proyecto y su promedio total:

Unidad	Área Interna Bruta (m2)
Unidad 1	164.84
Unidad 2	164.92
Unidad 3	164.84
Unidad 4	164.92
Unidad 5	180.66

Unidad 6	180.23
PROMEDIO	170.07

Tabla 1: Área interna bruta promedio del proyecto

Es importante señalar que las residencias de este proyecto cuentan con tipologías similares, pero no idénticas por lo que no existen variaciones en el área interna de cada una. En estos casos, las directrices de EDGE establecen que: " Para cualquier unidad residencial representativa en EDGE, la superficie real de la unidad representada debe superar el 10 % de la superficie modelada ($\pm 10\%$). Si la superficie de una unidad difiere del promedio en más del 10 %, deberá ser modelada por separado." (International Finance Corporation, 2018) Con el fin de garantizar que se respete esta directriz, calculamos la diferencia porcentual entre el área interna bruta de cada unidad con el promedio del proyecto, lo que da lugar a los siguientes resultados:

Unidad	Área interna bruta (m²)	Diferencia con el área promedio (%)	CHECK
Unidad 1	164.84	-3%	Cumple
Unidad 2	164.92	-3%	Cumple
Unidad 3	164.84	-3%	Cumple
Unidad 4	164.92	-3%	Cumple
Unidad 5	180.66	6%	Cumple
Unidad 6	180.23	6%	Cumple
Promedio	170.07		

Tabla 2: Comprobación de la regla del 10% de EDGE para el área interna bruta del proyecto

Como podemos ver, se ha respetado la directriz y las 6 unidades se pueden modelar como un solo proyecto.

Datos específicos del proyecto:

Después de establecer los datos anteriores en el software, EDGE calcula el área promedio para los espacios principales de la unidad (dormitorios, cocina, baños, sala/comedor, y utilidad), así como un valor promedio para la longitud de paredes externas por piso y área de

cubierta por unidad. Todos estos valores pertenecen al caso base con el que se comparará nuestro modelo. Debido a esto, el siguiente paso es calcular los valores reales que corresponden al proyecto como tal. Estos datos tendrán un impacto sobre los ahorros potenciales que se puedan lograr a través de las medidas que se elijan adoptar más adelante en el proceso de modelado, por lo que es importante calcularlos de una manera precisa.

Distribución de área:

En primer lugar, comenzamos midiendo los espacios principales de cada unidad residencial. Estos deben medirse desde el centro de cualquier pared interna y sin incluir ninguna pared externa. Es importante tener en cuenta que el área de utilidad se considera como la diferencia entre el área interna bruta promedio para el proyecto y la suma del área promedio para el resto de los espacios de la unidad (dormitorios, cocina, baños, y sala/comedor). La distribución de área del proyecto se presenta en la siguiente tabla:

Unidad	Área interna bruta (m2)	Área de dormitorios (m2)	Área de cocina (m2)	Área de baños (m2)	Área Sala/ Comedor (m2)	Área de utilidad (m2)
Unidad 1	164.84	50.51	15.55	16.47	67.10	15.21
Unidad 2	164.92	50.91	15.60	16.75	66.44	15.22
Unidad 3	164.84	50.25	15.55	17.66	66.16	15.22
Unidad 4	164.92	52.15	15.60	15.85	66.10	15.22
Unidad 5	180.66	61.26	15.55	18.24	70.40	15.21
Unidad 6	180.23	61.05	14.90	17.53	71.79	14.96
Promedio	170.07	54.36	15.46	17.08	68.00	15.17

Tabla 3: Distribución de áreas por unidades residenciales del proyecto

Longitud de paredes externas por piso:

Después de esto, necesitamos determinar la longitud media de paredes externas por piso para el proyecto. Las paredes externas se consideran como cualquier área de pared en la unidad que está expuesta al medio ambiente, lo que significa que cualquier pared que se encuentre en un subsuelo o adosada a otras unidades no es tomada en cuenta. Para ello hay que tener en cuenta que cuatro de las seis unidades del proyecto están adosadas a otras estructuras en dos lados, mientras que las dos restantes sólo están adosadas a otra estructura de un lado. Por esta razón, la longitud de paredes externas por planta no será la misma para todas las unidades del proyecto. Además, debido al diseño de la unidad, la longitud de las paredes externas no será igual entre su planta baja y su planta alta, lo que significa que necesitamos calcular un valor medio para cada unidad y luego un valor medio para todo el proyecto.

Unidad	Planta Baja	Planta Alta	Promedio
Unidad 1	30.95	36.95	33.95
Unidad 2	23.94	24.45	24.20
Unidad 3	23.92	24.4	24.16
Unidad 4	23.94	24.45	24.20
Unidad 5	29.55	37.2	33.38
Unidad 6	22.75	24.6	23.68
Promedio Total			27.26

Tabla 4: Longitud promedio de paredes externas por piso

Área de cubierta por unidad:

A continuación, calculamos el área media de cubierta por unidad en el proyecto. Esto se determinará midiendo el área de cubierta de cada unidad y promediando el área para todo el proyecto.

Unidad	Área de cubierta (m ²)
Unidad 1	89.31
Unidad 2	89.31
Unidad 3	89.31
Unidad 4	89.31
Unidad 5	103.78
Unidad 6	104.25

Promedio	94.21
-----------------	--------------

Tabla 5: Área media de cubierta por unidad del proyecto

Supuestos para el Caso Base:

Después de calcular y registrar estos datos en el software, necesitamos revisar la información restante utilizada para generar el caso base que se utilizará para evaluar nuestro modelo.

Primero necesitamos determinar el tipo de combustible más común para proyectos de características similares. Después de eso, el costo de electricidad, gas líquido de petróleo (GLP) y agua potable deben ser revisados y corregidos en caso de que no coincida con los costos reales en Ecuador. Para nuestro caso base, hicimos las siguientes correcciones:

Por defecto	Entrada de usuario
Combustible para el calentamiento de agua Electric Resistance	Combustible para el calentamiento de agua GLP ▼
Combustible utilizado para la calefacción Electricity	Combustible utilizado para la calefacción Electricidad ▼
Costo de la electricidad (\$/kWh) 0.19	Costo de la electricidad (\$/kWh) 0.105
Costo del combustible diésel (\$/L) 1.61	Costo del combustible diésel (\$/L)
Costo del GLP/Gas Natural (\$/L) 0.00	Costo del GLP/Gas Natural (\$/L) 0.126
Costo del agua (\$/kL) 1.98	Costo del agua (\$/kL) 0.43

Tabla 6: Correcciones sobre los parámetros de servicios básicos para el caso base

Por último, comprobamos la temperatura promedio mensual establecida para la ubicación de nuestro proyecto. En nuestro caso, esto fue establecido automáticamente por EDGE con los datos de la ciudad más cercana (Quito). Sin embargo, es importante tener en cuenta que la

temperatura en el valle de Cumbayá es significativamente más alta que la temperatura en Quito. Dado que esta información tiene un efecto directo en el consumo de energía para el caso base, decidimos modificar estos datos de acuerdo con la Guía del usuario de EDGE que permite a los usuarios modificar la temperatura promedio mensual si esta se encuentra debidamente justificada mediante el uso de un Año de Referencia de Prueba de una ubicación a no más de 50 kilómetros del proyecto o mediante datos meteorológicos reales registrados durante un año desde una ubicación dentro de esos mismos límites.

En base a esto, utilizamos los datos de temperatura obtenidos del anuario meteorológico ecuatoriano de 2014 para la Estación Nayón-Granja Santa Ana, ubicada a solo 4.39 kilómetros del proyecto.

<i>Default</i>	<i>User Entry</i>
Jan 13.8	16.2
Feb 14.0	16.2
Mar 13.9	15.7
Apr 13.9	15.7
May 14.0	16.9
Jun 14.1	16.8
Jul 13.9	16.2
Aug 14.3	17.0
Sep 13.9	17.4
Oct 13.7	16.4
Nov 13.6	17.0
Dec 13.6	16.8

Tabla 7: Correcciones realizadas a la temperatura promedio mensual en el proyecto (°C)

EDGE tiene 3 categorías principales de ahorro que son: Energía, agua y energía incorporada en materiales. Tendremos que implementar diferentes medidas de ahorro en las tres categorías principales para lograr el estándar de ahorro EDGE. El estándar se logra alcanzando un porcentaje de ahorro de al menos el 20% en todas las categorías.

Medidas de eficiencia energética

Para nuestro proyecto utilizamos siete medidas las cuales se presentan a continuación:

Proporción de vidrio en fachadas exteriores (WWR):

La proporción de vidrio en fachadas exteriores (Window to Wall Ratio) es la única medida obligatoria de ahorro de energía que debe seleccionarse al modelar nuestro proyecto. Esto significa que el WWR siempre debe registrarse incluso si su rendimiento es inferior al caso base generado por EDGE. Este valor se obtuvo calculando la relación entre el área de ventanas y el área de paredes externas en cada orientación de las unidades. Esto se hizo organizando las ventanas del proyecto por la casa a la que pertenecen, su fachada y su orientación cardinal respectivamente para luego medir y registrar el tamaño de cada una de ellas.

Ejemplificaremos el procedimiento de cálculo para las ventanas de la cocina de las unidades 5 y 6:

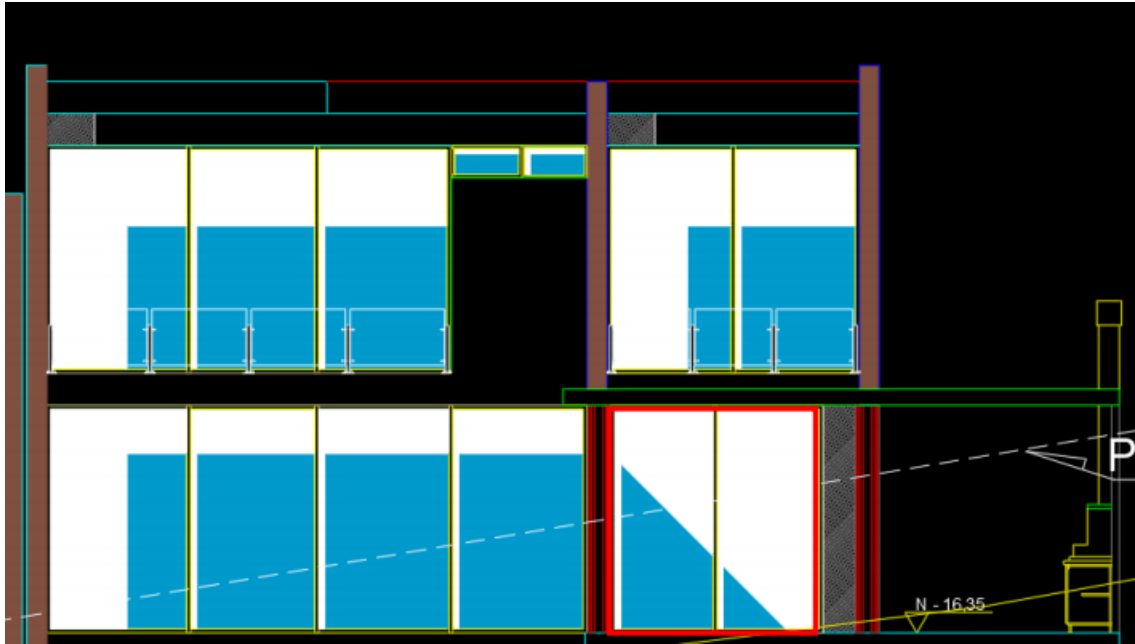


Ilustración 1: Fachada Sur Unidad 5 y 6

Obtuvimos las medidas de la ventana:

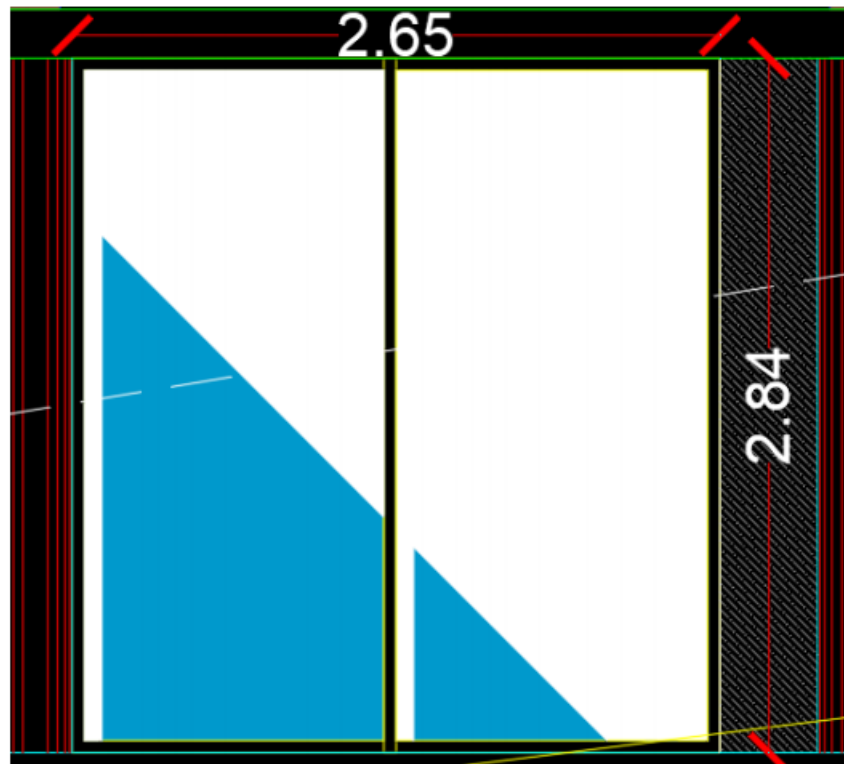


Ilustración 2: Medición Ventana Cocina Unidad 5 y 6

A continuación, calculamos el área individual de la ventana y el área para ambas unidades:

$$\text{Área Ventana} = \text{Altura} * \text{Ancho} = 2.84\text{m} * 2.65\text{m} = 7.55\text{m}^2$$

$$\text{Área Ventanas}_{5-6} = \text{Área Ventana} * \text{Cantidad Unidades} = 7.55\text{m}^2 * 2 = 15.05\text{m}^2$$

A continuación, tabulamos los resultados en una hoja de cálculo de Excel:

HME01 (Reduced Window Wall Raitio)						
Orientación	Planta	Descripción	Ancho (m)	Alto (m)	Cantidad	Area (m2)
Sur	Fachada Frontal Casa 1-2-3-4					
	Planta Baja	Tarjeta de Luz Baño	3.25	0.4	4	5.20
	Planta Alta	Ventanal Dormitorio 1	3.15	2.84	4	35.78
		Tarjeta de Luz Baño	3.25	0.4	4	5.20
		Ventanal Dormitorio 2	3.25	2.84	4	36.92
	Fachada Posterior Casas 5-6					
	Planta Baja	Ventanal Cocina	2.65	2.84	2	15.05
		Ventanal Sala-Comedor	6.65	2.84	2	37.77
	Planta Alta	Tarjeta de Luz Baño	2.45	0.4	2	1.96
		Ventanal Master	3.25	2.84	2	18.46
Ventanal Sala de Estar		4.2	2.84	2	23.86	

Ilustración 3: Tabulación de Dimensiones de Ventanas

Los resultados de todas las ventanas del proyecto se presentan a continuación:

Orientación	Planta	Descripción	Ancho (m)	Alto (m)	Cantidad	Área (m2)
Sur	Fachada Frontal Casa 1-2-3-4					
	Planta Baja	Tarjeta de Luz Baño	3.25	0.4	4	5.20
	Planta Alta	Ventanal Dormitorio 1	3.15	2.84	4	35.78
		Tarjeta de Luz Baño	3.25	0.4	4	5.20
		Ventanal Dormitorio 2	3.25	2.84	4	36.92
	Fachada Posterior Casas 5-6					
	Planta Baja	Ventanal Cocina	2.65	2.84	2	15.05
		Ventanal Sala-Comedor	6.65	2.84	2	37.77
	Planta Alta	Tarjeta de Luz Baño	2.45	0.4	2	1.96
		Ventanal Máster	3.25	2.84	2	18.46
Ventanal Sala de Estar		4.2	2.84	2	23.86	
Norte	Fachada Posterior Casa 1-2-3-4					
	Planta Baja	Ventanal Cocina	2.65	2.84	4	30.10
		Ventanal Sala-Comedor	6.75	2.84	4	76.68
	Planta Alta	Tarjeta de Luz Baño	1.68	0.4	4	2.69

		Ventanal Máster	3.15	2.84	4	35.78
		Ventanal Sala de Estar	5.05	2.84	4	57.37
	Fachada Frontal Casa 5-6					
	Planta Baja	Tarjeta de Luz	3.25	0.4	2	2.60
	Planta Alta	Ventanal Dormitorio 1	3.15	2.84	2	17.89
		Tarjeta de Luz	3.25	0.4	2	2.60
Ventanal Dormitorio 2		3.25	2.84	2	18.46	
Oeste	Fachada Lateral Casa 1-5					
	Planta Baja	Ventana Cocina	2.2	0.55	2	2.42
	Planta Alta	Tarjeta de Luz Baño	2	0.4	2	1.60
		Tarjeta de Luz Dormitorio	3.8	0.4	2	3.04

Tabla 8: Dimensiones y áreas de ventanas por orientación

Después de esto, determinamos el área de total de ventanas por orientación en cada unidad y medimos su área de pared, para después calcular la relación entre sus áreas (WWR) con la siguiente expresión:

$$WWR (\%) = \frac{\text{Área de Ventanas}}{\text{Área de Paredes Externas}} * 100\%$$

Los cálculos realizados para determinar el área de paredes externas, así como el WWR para las unidades 5 y 6 fachadas sur se presentan a continuación:

En primer lugar, medimos las dimensiones externas de la pared:

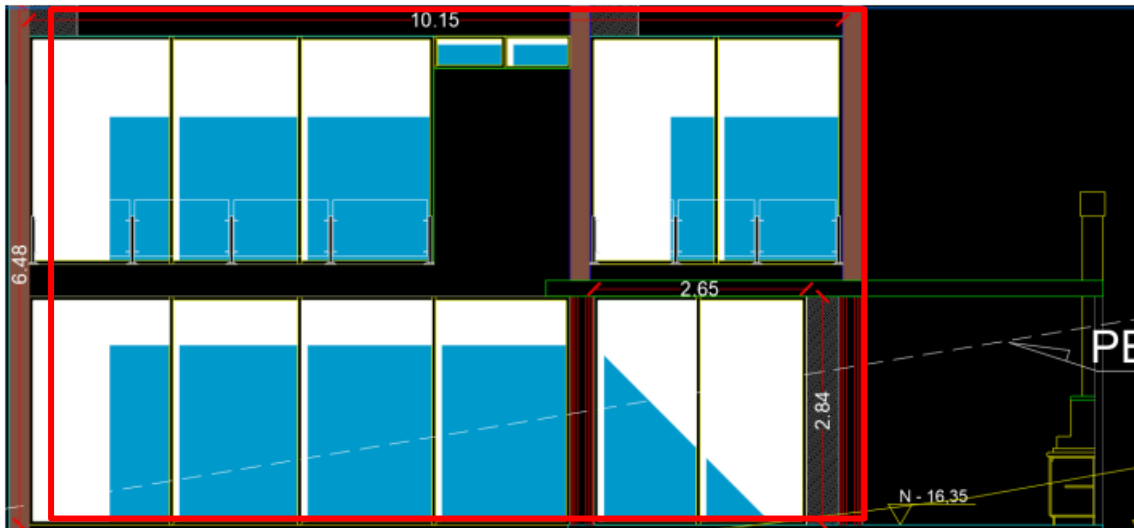


Ilustración 4: Dimensiones de la Unidad 5 y 6 Fachada Sur

Después de obtener las dimensiones y en función de las áreas de ventanas obtenidas anteriormente, procedemos a calcular el área de pared externa seguida de la relación ventana-pared:

$$\text{Área de Paredes Externas} = \text{Ancho} * \text{Altura} = 10.15\text{m} * 6.48\text{m} = 65.77\text{m}^2$$

$$WWR = \frac{51.26\text{m}^2}{65.77\text{m}^2} * 100\% = 77.9\%$$

Los resultados para el resto del proyecto se presentan en la siguiente tabla:

Fachada Sur			
Unidad	Área Pared (m2)	Área Vidriada (m2)	WWR
Casa 1	67.83	20.78	30.6%
Casa 2	67.80	20.78	30.6%
Casa 3	67.80	20.78	30.6%
Casa 4	67.80	20.78	30.6%
Casa 5	65.77	48.55	73.8%
Casa 6	65.77	48.55	73.8%
Total	402.77	180.20	44.7%
Fachada Norte			
Unidad	Área Pared (m2)	Área Vidriada (m2)	WWR
Casa 1	65.77	50.66	77.0%
Casa 2	65.77	50.66	77.0%
Casa 3	65.77	50.66	77.0%
Casa 4	65.77	50.66	77.0%
Casa 5	71.25	20.78	29.2%

Casa 6	67.80	20.78	30.6%
Total	402.13	244.18	60.7%
Fachada Oeste			
Unidad	Área Pared (m2)	Área Vidriada (m2)	WWR
Casa 1	67.10	3.53	5.3%
Casa 2	0.001	0	0.0%
Casa 3	0.001	0	0.0%
Casa 4	0.001	0	0.0%
Casa 5	66.77	3.53	5.3%
Casa 6	0.001	0	0.0%
Total	133.87	7.06	5.3%

Tabla 9: WWR por orientación cardinal

Por último, presentamos estos valores en la calculadora integrada del software EDGE para obtener el WWR promedio del proyecto que se registrará en nuestro modelo:

Orientation	Wall Area (m ²) Example: 120	Glazing Area (m ²) Example: 60	Ratio in %
North	402.13	244.18	60.72
South	402.77	180.20	44.74
East			
West	133.87	7.06	5.27
North East			
North West			
South East			
South West			
Total	938.77	431.44	
			WWR (%)
			45.96

Tabla 10: Cálculos finales para WWR

Cabe señalar que sólo dos de las seis unidades tienen una fachada lateral, ya que estas son las únicas casas que sólo están adosadas a otra estructura en un lado en lugar de dos.

En el caso de nuestro proyecto, todas las unidades están unidas a otra estructura en al menos un lado lo cual reduce las posibilidades de obtener una iluminación natural adecuada. Por este motivo, la relación ventana-pared en las fachadas que permanecen expuestas al entorno es extremadamente alta, alcanzando una media del 45,96%. Este valor es extremadamente superior al establecido por el caso base (30 %), razón por la cual esta medida causa un impacto negativo sobre el ahorro de energía. Esta alta relación causa un aumento de 14 kWh/m²/Año en la energía de refrigeración, 4 kWh/m²/Año sobre la energía de calefacción y 1 kWh/m²/Año para la energía de ventiladores en comparación con la línea base y representa una disminución del -15.16% del ahorro energético total.

Pintura reflectante/Tejas para Cubierta:

Para esta medida, decidimos aprovechar el acabado de hormigón visto en las losas de cubierta de todas las unidades del proyecto. Para determinar la cantidad de ahorro de energía atribuido a esta medida, tenemos que determinar la Reflectividad Solar (también conocida como albedo) de nuestro acabado en techo. La reflectividad solar se define como la cantidad de radiación solar que refleja una superficie dada y se expresa como un valor fraccionario entre 0 y 1 (International Finance Corporation, 2018). El valor de albedo utilizado para el modelo debe ser proporcionado por el fabricante del material. Sin embargo, como el proveedor de hormigón para nuestro proyecto no poseía dicha información, podemos utilizar la propia tabla de valores de referencia de EDGE para materiales comunes de cubierta para determinar el valor de albedo que mejor se adapte a nuestro acabado en techo. Sin embargo, el hormigón no está incluido en esta lista, razón por la cual utilizaremos el valor de reflectividad solar para hormigón nuevo obtenido del Cuadro 19 en la Guía del usuario de EDGE que se centra en materiales de pared genéricos. Esta tabla se adapta mejor a nuestro material de cubierta, ya

que indica que el hormigón tiene valores de reflectividad solar entre 35% y 45%, por lo que utilizaremos el 45% para nuestro modelo. A continuación, se presenta el Cuadro 19 utilizado:

Materiales de pared genéricos	Reflectividad solar
Hormigón nuevo	35 %-45 %
Cemento Portland blanco nuevo	70 %-80 %
Unidad de mampostería de hormigón sin pintar	40 %
Yeso blanco	90 %
Pintura acrílica blanca	70 %
Pintura acrílica de color claro (tonos de blanco)	65 %
Pintura acrílica de color intermedio (verde, rojo, marrón)	45 %
Pintura acrílica de color oscuro (marrón oscuro, azul)	25 %
Pintura acrílica de color azul oscuro o negro	15 %
Ladrillos de arcilla cocida	17 %-56 %
Ladrillo rojo	40 %

Tabla 11: Tabla 19 de la Guía del usuario de EDGE – Valores de referencia de Reflectividad Solar para materiales de pared genéricos (International Finance Corporation, 2018)

Como la cubierta de estas casas sólo tiene un material predominante, sólo necesitamos utilizar el valor de reflectividad solar del hormigón para obtener el ahorro de energía de esta medida. Es importante señalar que, como no estamos planeando utilizar ninguna medida de ahorro de energía que implique brindar aislamiento térmico al proyecto, esta medida tendrá un mayor impacto en el ahorro global. Después de aplicar esta medida, logramos un ahorro

de 3 kWh/m²/Año en energía de refrigeración y llegamos a -12.52% de ahorro energético total, proporcionando un ahorro del 2.64% del consumo total de energía del proyecto.

Pintura reflectante para paredes externas:

Al igual que la medida anterior, nuestro proyecto presenta tres materiales principales utilizados para paredes externas: pintura acrílica blanca, porcelanato con acabado de madera y hormigón visto. Como ninguno de los fabricantes fue capaz de proporcionar los valores correspondientes a reflectividad solar de los materiales, decidimos utilizar la Tabla 19 en la Guía del usuario de EDGE para aplicar los valores que mejor se adapten a nuestros materiales utilizados. En base a esto, utilizamos un valor de albedo del 70% para la pintura acrílica blanca, 45% para el hormigón y determinamos que el material de pared que mejor se adaptaba al porcelanato con acabado de madera sería la pintura acrílica de color medio (verde, rojo, marrón) con un valor SR del 45%.

Dado que contamos con tres materiales diferentes, es necesario determinar un valor promedio de reflectividad solar para el proyecto basado en el porcentaje de cada material en las fachadas de las unidades. Para ello, utilizamos los datos obtenidos para calcular la relación ventana a pared externa (WWR) del proyecto para determinar el área total de pared sin ventanas. Después de esto, calculamos el área de cada material en cada unidad de vivienda y determinamos el porcentaje del área de pared que representa utilizando la siguiente expresión:

$$\text{Proporción Material X} = \frac{\text{Área Material X}}{\text{Área de Pared} - \text{Área de Ventanas}} * 100\%$$

Después de todos los cálculos, obtuvimos los siguientes resultados:

Unidad	Area Pared - Area Ventanas (m ²)	Área Porcelanato (m ²)	% Porcelanato	Área Hormigón Visto (m ²)	% Hormigón Visto	Área Pintura Blanca (m ²)	% Pintura Blanca
Casa 1	125.74	15.65	12.4%	26.24	20.9%	83.85	66.7%

Casa 2	62.14	15.65	25.2%	16.04	25.8%	30.45	49.0%
Casa 3	62.14	15.65	25.2%	16.04	25.8%	30.45	49.0%
Casa 4	62.14	15.65	25.2%	16.04	25.8%	30.45	49.0%
Casa 5	130.93	15.65	12.0%	26.16	20.0%	89.12	68.1%
Casa 6	64.25	15.65	24.4%	16.04	25.0%	32.56	50.7%
Total	507.33	93.90		116.56		296.87	58.5%

Tabla 12: Distribución de materiales de pared por unidad

Ahora podemos introducir estos resultados junto con la reflectividad solar de cada material en la calculadora integrada de EDGE para determinar el valor medio de reflectividad solar que se utilizará en nuestro modelo y poder determinar nuestros ahorros de energía.

External Wall Type Example: Type 1, or, Brick Wall	External Wall Area (m ²) Excluding Windows. Example: 300	External Wall Area (%)	SR Example: 0.70
New Concrete	117	23.03	0.45
Porcelain (Wooden)	94	18.5	0.45
White Acrylic Paint	297	58.46	0.7 ✖
+ ADD NEW ROW			
Total Area	508	100	
Weighted Average SR			0.60

Tabla 13: Calculadora de reflectividad solar promedio para paredes externas

Como podemos ver, el valor de RS utilizado para nuestro modelo es igual al 60%. Esto genera 1 kWh/m²/Año de consumo adicional en energía de calefacción, pero genera ahorros

iguales a 4 kWh/m²/Año en energía de refrigeración y 1 kWh/m²/Año en energía de ventiladores que equivale al 2.49% del ahorro energético y ayuda a alcanzar -10.03% del ahorro energético total.

Control Solar Externo:

Para esta medida, decidimos aprovechar varios volados de losa que existían tanto en la losa de cubierta como en la losa de entrepiso de las unidades. Estos volados se encontraban sobre muchas de las ventanas más grandes de las casas. Para obtener el ahorro de energía a través de esta medida necesitamos determinar el factor de sombreado promedio anual para el proyecto. Para ello se debe identificar todas las ventanas que no poseen ningún tipo de dispositivo de sombreado y obtener la sumatoria de sus áreas. Después, para las ventanas restantes que tienen un dispositivo de sombreado horizontal, es importante calcular la relación entre la profundidad del dispositivo de sombreado con la altura de la ventana.

$$D_h = \frac{\textit{Profundidad Dispositivo de Somrbeado}}{\textit{Altura de la Ventana}}$$

Determinaremos la relación D_h para la ventana del dormitorio secundario en las fachadas de la Unidad 6 y 7 norte. Para ello, tendremos que medir la profundidad de sombreado sobre dichas ventanas. Usaremos un corte lateral de la unidad donde se pueden determinar las dimensiones del voladizo.

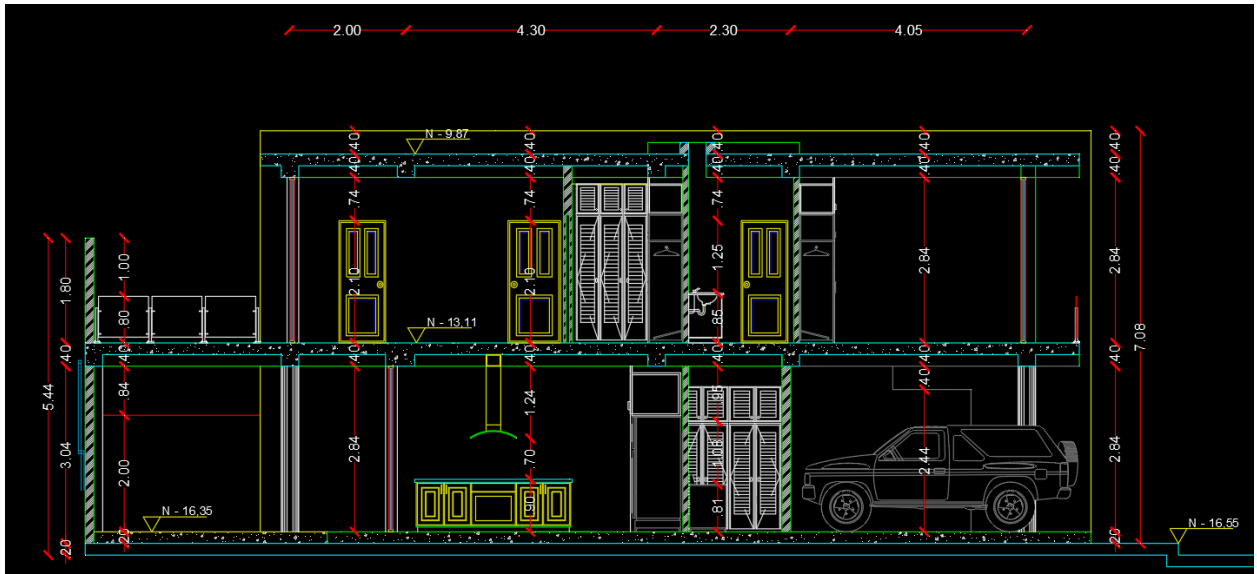


Ilustración 5: Corte Lateral Unidades 6 y 7

Como podemos ver, esta vista nos permitirá determinar fácilmente la profundidad de sombreado sobre la ventana que estamos analizando.

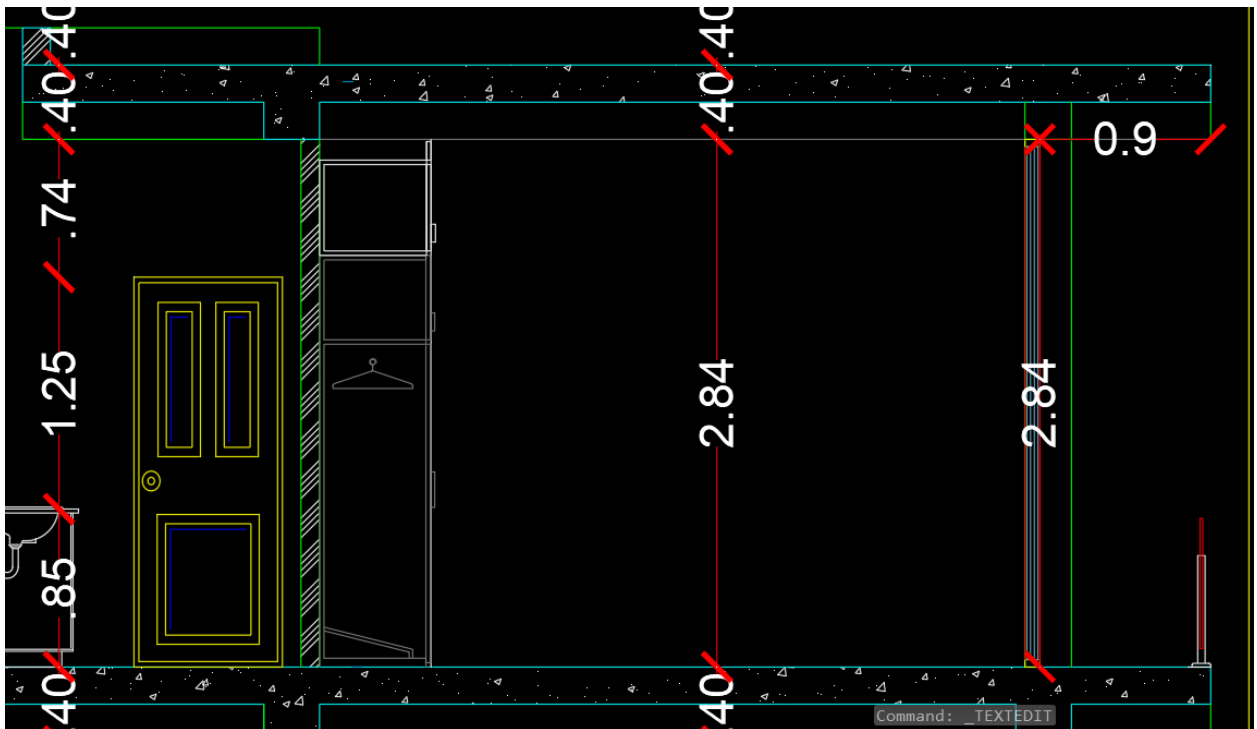


Ilustración 6: Altura de la ventana del dormitorio y profundidad de dispositivo de sombreado

Con estas dimensiones podemos calcular la relación Dh:

$$D_h = \frac{0.9m}{2.84m} = 0.317$$

Una vez calculada esta relación, tendremos que clasificarla en 4 posibles categorías que luego nos permitirán calcular el AASF final del proyecto a través de la propia calculadora integrada de EDGE:

Categoría	Límites
Dh=1/4	0.33>Dh≥0.25
Dh=1/3	0.5>Dh≥0.33
Dh=1/2	1.0>Dh≥0.5
Dh=1/1	Dh≥1.0

Tabla 14: Categorías de relación Dh

Como podemos ver, la ventana del dormitorio que calculamos anteriormente caería en la categoría 1/4 (Dh=0.317).

Después de medir la profundidad de sombreado para cada ventana y calcular la relación Dh, obtuvimos los siguientes resultados:

Orientación	Planta	Descripción	Ancho (m)	Alto h (m)	Cantidad	Área (m ²)	Profundidad del Alero Horizontal D (m)	Relación D/h
Sur	Fachada Frontal Casa 1-2-3-4							
	Planta Baja	Tarjeta de Luz Baño	3.25	0.40	4.00	5.20	0.00	0.000
	Planta Alta	Ventanal Dormitorio 1	3.15	2.84	4.00	35.78	0.90	0.317
		Tarjeta de Luz Baño	3.25	0.40	4.00	5.20	0.00	0.000
		Ventanal Dormitorio 2	3.25	2.84	4.00	36.92	0.90	0.317
	Fachada Posterior Casas 5-6							
	Planta Baja	Ventanal Cocina	2.65	2.84	2.00	15.05	5.20	1.831

		Ventanal Sala-Comedor	6.65	2.84	2.00	37.77	1.04	0.366
	Planta Alta	Tarjeta de Luz Baño	2.45	0.40	2.00	1.96	0.00	0.000
		Ventanal Máster	3.25	2.84	2.00	18.46	0.00	0.000
		Ventanal Sala de Estar	4.20	2.84	2.00	23.86	1.05	0.370
Norte	Fachada Posterior Casa 1-2-3-4							
	Planta Baja	Ventanal Cocina	2.65	2.84	4.00	30.10	5.20	1.831
		Ventanal Sala-Comedor	6.75	2.84	4.00	76.68	1.05	0.370
	Planta Alta	Tarjeta de Luz Baño	1.68	0.40	4.00	2.69	0.00	0.000
		Ventanal Máster	3.15	2.84	4.00	35.78	0.00	0.000
		Ventanal Sala de Estar	5.05	2.84	4.00	57.37	1.05	0.370
	Fachada Frontal Casa 5-6							
	Planta Baja	Tarjeta de Luz	3.25	0.40	2.00	2.60	0.00	0.000
	Planta Alta	Ventanal Dormitorio 1	3.15	2.84	2.00	17.89	0.90	0.317
		Tarjeta de Luz	3.25	0.40	2.00	2.60	0.00	0.000
Ventanal Dormitorio 2		3.25	2.84	2.00	18.46	0.90	0.317	
Oeste	Fachada Lateral Casa 1-5							
	Planta Baja	Ventana Cocina	2.20	0.55	2.00	2.42	0.00	0.000
	Planta Alta	Tarjeta de Luz Baño	2.00	0.40	2.00	1.60	0.00	0.000
		Tarjeta de Luz Dormitorio	3.80	0.40	2.00	3.04	0.00	0.000

Tabla 15: Cálculo y clasificación de la relación Dh para el proyecto

Después de clasificar cada ventana, necesitamos sumar todas las áreas que pertenecen a cada categoría en cada orientación cardinal:

Fachada Sur						
Relación D/h	0	1/4,	1/3,	1/2,	1/1,	TOTAL
Área (m2)	30.82	72.70	61.63	0	15.05	180.20
Fachada Norte						
Relación D/h	0	1/4,	1/3,	1/2,	1/1,	TOTAL
Área (m2)	43.67	36.35	134.05	0	30.10	244.18
Fachada Oeste						
Relación D/h	0	1/4,	1/3,	1/2,	1/1,	TOTAL
Área (m2)	7.06	0	0	0	0	7.06

Tabla 16: Áreas de ventana organizadas por orientación cardinal y relación Dh

A continuación, procedemos a introducir estos resultados en la calculadora integrada de EDGE con el fin de obtener nuestro valor final de AASF.

Window Type	Window Orientation Which side does this window face?	Window Area (m ²)	Overhang Type	Overhang Depth	AASF
Type 1	South	72.70	Horizontal Overhang	Dh=H/4 (window overhang depth=1/4 window height)	0.33
Type 2	South	61.63	Horizontal Overhang	Dh=H/3 (window overhang depth=1/3 window height)	0.39
Type 3	South	15.05	Horizontal Overhang	Dh=H/1 (window overhang depth=window height)	0.5
Type 4	North	36.35	Horizontal Overhang	Dh=H/4 (window overhang depth=1/4 window height)	0.35
Type 5	North	134.05	Horizontal Overhang	Dh=H/3 (window overhang depth=1/3 window height)	0.39
Type 6	North	30.10	Horizontal Overhang	Dh=H/1 (window overhang depth=window height)	0.49
Type 7	South	30.82	No Overhang	Not Applicable	0.00
Type 8	North	43.67	No Overhang	Not Applicable	0.00
Type 9	West	7.06	No Overhang	Not Applicable	0.00
+ ADD NEW ROW					
Total Window Area		431.43	Overall AASF		0.31

Tabla 17: Calculadora de AASF integrada en EDGE

Después, tras introducir este valor en nuestro modelo, obtuvimos un aumento de 3 kWh/m²/año en energía de calefacción. Sin embargo, logramos un ahorro de 20 kWh/m²/año en energía de refrigeración, lo que equivale a un ahorro del 13,9% en el consumo total de energía y nos ayudó a alcanzar 3,87% en ahorro energético en general.

Bombillas ahorradoras de energía (espacios internos):

Para esta medida, establecimos el uso de bombillas que logran al menos 90 lm/W en cada espacio interno de cada unidad del proyecto. Logramos esto mediante el uso de luminarias LED exclusivamente en toda la casa. En promedio, estas luces LED de 18W producen 1800lm.

$$\frac{1800lm}{18W} = 100 \frac{lm}{W} > 90 \frac{lm}{W}$$

Tras aplicar esta medida, se logró un ahorro de 7 kWh/m2/Año de ahorro en energía de iluminación para el proyecto, lo que equivale al 6.16% del ahorro en el consumo total de energía, lo que nos ayudó a alcanzar el 10.03% del ahorro energético total.

Bombillas de ahorro de energía (áreas comunes y exteriores):

Al igual que en la medida anterior, nos aseguramos de utilizar bombillas ahorradoras para cada espacio al exterior en el proyecto. Esto incluye, patios, área de BBQ, estacionamientos y alumbrado público. Utilizaremos luces LED con un valor de lm/W que supere el umbral de 90 lm/W establecido por EDGE.

Esta medida produjo un ahorro energético equivalente al 0.22% del consumo total de energía del caso base, lo que nos permitió alcanzar el 10.25% del ahorro energético total.

Coletores solares de agua caliente:

Para esta medida, decidimos reemplazar los calefones a gas pensados originalmente para el proyecto por un sistema de calefacción de agua solar individual para cada unidad. Este sistema consiste en un panel que se instala en la cubierta de cada una de las casas, así como un tanque que se instala al interior de la unidad. El sistema funciona mediante el uso de energía solar para calentar el agua del tanque a una cierta temperatura (45°C). Si, en cualquier caso, el panel solar no sería capaz de alcanzar dicha temperatura, un calentador eléctrico secundario entra en funcionamiento y calienta el agua hasta la temperatura deseada.

El panel solar utilizado en el sistema tiene un área de 2.37m² y estará orientado hacia el sur con una inclinación de 15 grados. Por otro lado, el tanque tiene una capacidad de 200 litros. A partir de la evaluación del fabricante se determinó que el componente solar del sistema de calentamiento de agua podría proporcionar el 47.8% de la demanda de agua caliente en una casa con un consumo diario de agua de 400 L/día. Con el fin de determinar el porcentaje de la demanda mensual de agua caliente calculada por EDGE que podría ser cubierto por el componente solar del sistema se realizaron los siguientes cálculos:

$$\text{Capacidad Diaria del Panel} = 0.478 * 400 \frac{L}{\text{día}} * 1 \text{ día} = 191.2L$$

$$\text{Capacidad Mensual del Panel} = 191.2L * 30.5 \text{ Días} = 5.8316 \text{ kL/mes}$$

$$\text{Demanda de Agua Caliente Cubierta} = \frac{\text{Capacidad Mensual del Panel}}{\text{Consumo Mensual de la Unidad}} * 100\%$$

$$\text{Demanda de Agua Caliente Cubierta} = \frac{5.8316 \frac{kL}{mes}}{17.39 \frac{kL}{mes}} * 100\% = 33.5\%$$

Como podemos observar, los colectores de agua caliente solar serían capaces de cubrir el 33.5% de la demanda de agua caliente. Esta cantidad de ahorro generaría 10 kWh/m²/Año de ahorro en energía para calentamiento de agua (8.01% del consumo total de energía) y nos permitiría alcanzar el 18.26% del ahorro total de consumo de energía en comparación con el caso base. Sin embargo, es importante tener en cuenta que este valor corresponde al modelo antes de que se hayan aplicado medidas de ahorro de agua. Después de que estas medidas hayan sido aplicadas en el software, el consumo de agua de la unidad reduciría drásticamente aumentando así la demanda de agua caliente que el panel es capaz de proporcionar. Las medidas de ahorro de agua se analizarán más a fondo en las siguientes páginas, pero tras aplicarlas, el consumo final de agua la línea mejorada se reduce a 10.60 kL/mes/unidad y el ahorro energético total aumenta al 24,60%. Con estos datos ahora podemos recalculamos el porcentaje de demanda de agua caliente que el panel solar puede cubrir:

$$\begin{aligned}
 \text{Demanda de Agua Caliente Cubierta} &= \frac{\text{Capacidad Mensual del Panel}}{\text{Consumo Mensual de la Unidad}} * 100\% \\
 \text{Demanda de Agua Caliente Cubierta} &= \frac{5.83 \frac{kL}{mes}}{10.60 \frac{kL}{mes}} * 100\% = 55.0\%
 \end{aligned}$$

Al actualizar este parámetro en el software EDGE, determinamos un ahorro de 21 kWh/m²/año en energía para calentamiento de agua y lograr un ahorro energético global equivalente al 27.69% del consumo del caso base y por ende alcanzar el estándar EDGE de consumo de energía.

Medidas no aplicadas:

Aislamiento térmico en el techo y aislamiento externo de las paredes:

Al aumentar el aislamiento térmico del proyecto, el ahorro de energía proporcionado por la pintura reflectante o los materiales para cubiertas y paredes se reducen. Debido a esto y al hecho de que esta es una solución costosa, no hemos utilizamos ninguna de estas medidas.

Vidrio Recubierto de Baja Emisividad (Low-E):

Esta alternativa es extremadamente atractiva para proyectos con un WWR alto, ya que los ahorros proporcionados son significativos y el proceso de instalación no es diferente al del vidrio común. Sin embargo, decidimos no utilizar esta medida ya que resultaba bastante caro incorporarla en nuestro proyecto.

Vidrio de mayor rendimiento térmico:

Esta medida tiene la misma función que el vidrio recubierto de baja emisividad, pero proporciona un mayor ahorro de energía que podría convertirlo en una solución atractiva para proyectos con aislamiento térmico deficiente. Sin embargo, cabe señalar que no aplicamos esta medida, ya que no se utiliza comúnmente a nivel local y requeriría una gran inversión para aplicarla, incluso más alta que la correspondiente al vidrio Low-E.

Ventiladores en todas las habitaciones habitables:

No aplicamos a esta medida ya que los ventiladores no son comúnmente utilizados por los propietarios de viviendas en Quito y sus alrededores (incluyendo Cumbayá) y como tal, esto no es una característica buscada por clientes. Y, en algunos casos, podría ser visto como una medida inútil por el usuario. Debido a estas razones decidimos que no era una medida beneficiosa para nuestro proyecto específico.

Sistema de aire acondicionado:

Esta medida ni siquiera fue considerada ya que las condiciones climáticas en la región de Cumbayá no hacen de un sistema de refrigeración como el aire acondicionado una necesidad esencial. Esta alternativa es técnicamente viable; sin embargo, no se recomienda ya que implica una gran inversión con poco o ningún beneficio práctico para el usuario.

Bomba de calor para agua caliente:

Este tipo de sistema requiere un espacio especial donde debe ser ubicado para poder funcionar correctamente y que debería determinarse durante la etapa de diseño de la casa para evitar futuras complicaciones o modificaciones en el diseño original. Es debido a esto, que la implementación de este sistema resultó ser más difícil que los sistemas solares de agua caliente y, en última instancia, la razón por la que decidimos no seguir esta alternativa.

Refrigeradores y lavadoras de ropa de bajo consumo:

Esto es técnicamente factible, ya que este tipo de equipos son bastante comunes en Ecuador. Sin embargo, nuestro modelo de negocio no considera incluir electrodomésticos con la venta de las casas, por lo tanto, no fue posible aplicar dicha medida.

Controles de iluminación para áreas comunes y exteriores:

Esta medida era técnicamente factible, ya que este equipo es ofrecido por muchas empresas de la región. Sin embargo, después de modelar y calcular el ahorro de energía que este contribuiría a consumo total de la línea mejorada, nos dimos cuenta de que el porcentaje era marginal y, por lo tanto, no era recomendable.

Energía Solar Fotovoltaica:

La aplicación de esta medida requeriría una inversión considerable, ya que tanto el equipo como la asistencia técnica son bastante caros, especialmente en el contexto local, ya que esta tecnología no es ampliamente utilizada. Debido a esto, sólo una pequeña cantidad de empresas ofrecen esos servicios. Por lo tanto, y debido al hecho de que se había decidido utilizar paneles solares para el calentamiento de agua caliente (que de por sí requería una inversión considerable) decidimos no aplicar a esta medida.

Medidores de energía inteligentes para energía eléctrica:

Este tipo de sistema aún no se utiliza comúnmente en Ecuador, lo que representaría un desafío técnico y financiero para implementarlo en nuestro proyecto. Es por esta razón que no perseguimos esta alternativa.

Caldera de alta eficiencia para calefacción por espacios:

Esta medida no era factible, ya que no planeamos incluir ningún tipo de sistema de calefacción en el proyecto. Esto debido a que no es necesario en vista de la ubicación del proyecto (donde se tienen temperaturas relativamente altas a lo largo de todo el año) y porque estos sistemas no son utilizados comúnmente a nivel local y por lo tanto resultaría técnicamente difícil y costoso implementarlos.

Resultados finales del ahorro de energía:

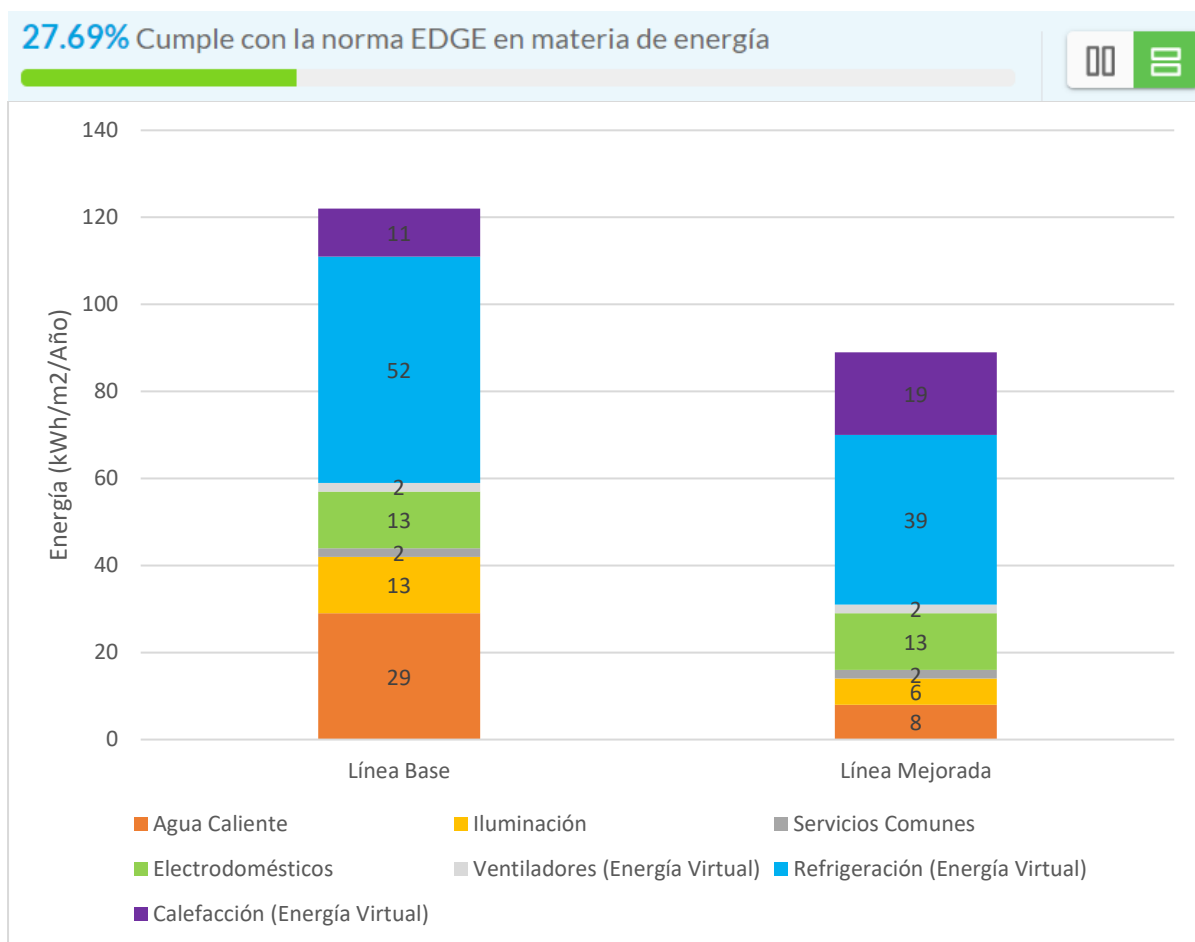


Ilustración 7: Consumo energético de la línea base vs. línea mejorada

Medidas de ahorro de agua:

Aplicamos 4 medidas de ahorro de agua disponibles para nuestro proyecto:

Cabezales de ducha de bajo flujo:

Para esta medida decidimos utilizar cabezales de ducha eficientes que tienen un flujo de agua significativamente menor a los cabezales tradicionales. Esta reducción de caudal se logra mediante el uso de aireadores especiales, los cuales son dispositivos mecánicos que se encuentran en el cabezal de la ducha que generan un flujo de agua turbulento mediante la incorporación de oxígeno en el agua. Este caudal turbulento genera una la sensación de alta presión de flujo de agua sin un consumo excesivo. Solicitamos directamente a los proveedores de las duchas aireadores que nos permitieran alcanzar un caudal de agua de 6

L/min. Este flujo reducido genera 27 kL/Unidad/Año en ahorro de agua y nos permite alcanzar el 12.60% del ahorro total de agua. Además, esta medida tiene un impacto positivo sobre el ahorro energético, al ahorrar 4 kWh/m²/año en energía de calentamiento de agua (3.42% del consumo de energía del caso base).

Grifos de cocina y baño de bajo flujo:

Esta medida busca reducir el flujo de grifos de baño y cocina en todas las unidades. Para lograr esto, decidimos usar aireadores como los utilizados para los cabezales de ducha. En el caso de los grifos, el aireador solicitado al proveedor fue uno que alcance un caudal de 4L/min.

Al reducir el flujo de grifos de cocina, logramos ahorros de agua iguales a 11 kL/Unidad/Año, lo cual equivale al 4.89% del consumo global de agua del caso base y nos ayudó a alcanzar el 17.49% del ahorro total de agua. Por otro lado, esta medida logró un ahorro energético equivalente a 1 kWh/m²/Año que equivale al 0.77% del consumo final de energía en el caso base.

Además, al reducir el flujo en los grifos de los baños a 4L/min obtuvimos 17 kL/Unidad/Año en ahorro de agua ayudándonos a alcanzar el 25.37% del ahorro total de agua y logrando el estándar EDGE para ahorro de agua. Esta medida también generó 2 kWh/m²/Año de ahorro energético que equivalen a un ahorro global de 2.15% del consumo de la línea base.

Sanitarios de Doble Descarga:

Para esta medida, decidimos implementar inodoros eficientes que disponen de un sistema de doble descarga que permite al usuario utilizar una descarga reducida para cualquier residuo líquido el cual utiliza significativamente menos agua que la descarga completa utilizada para residuos sólidos. Los inodoros escogidos tienen un volumen de descarga reducido de 3L por descarga, mientras que la descarga completa utiliza 6L. Con la implementación de este sistema logramos un ahorro de agua equivalente a 29 kL/Unidad/Año que representa el

13.64% del consumo total de agua del caso base lo cual permitió alcanzar un ahorro total de agua del 39.01%. Cabe señalar que esta medida de ahorro de agua no tiene ninguna incidencia sobre el ahorro de energía del proyecto.

Medidas no aplicadas:

Sistema de inodoro de una sola descarga:

Esta medida no se utilizó ya que decidimos utilizar un sistema de doble descarga para todos los inodoros del proyecto, ya que esos sistemas permitieron tener mayores ahorros y no tuvo una diferencia de costes significativa.

Sistema de recolección de aguas lluvia:

Esta medida no se implementó, ya que los costos eran demasiado altos (debido a la complejidad técnica) y el estándar EDGE ya se había alcanzado por lo que no era beneficioso incurrir en gastos adicionales para esta categoría.

Sistema de Tratamiento y Reciclaje de Aguas Grises:

A pesar de que esta medida también tiene un impacto sobre el ahorro de energía, los costos de implementación de estos sistemas son mucho mayores que otras medidas que proporcionaron resultados similares (cabezales de ducha de bajo flujo y grifos), razón por la cual no se consideró esta medida para este proyecto.

Sistema de Tratamiento y Reciclaje de Aguas Negras:

Esta medida requiere un mecanismo de tratamiento más sofisticado que el anteriormente mencionado, lo que la convierte en una solución aún más cara. Debido a esto, ni siquiera se consideró para este proyecto.

Resultados finales del ahorro de agua:

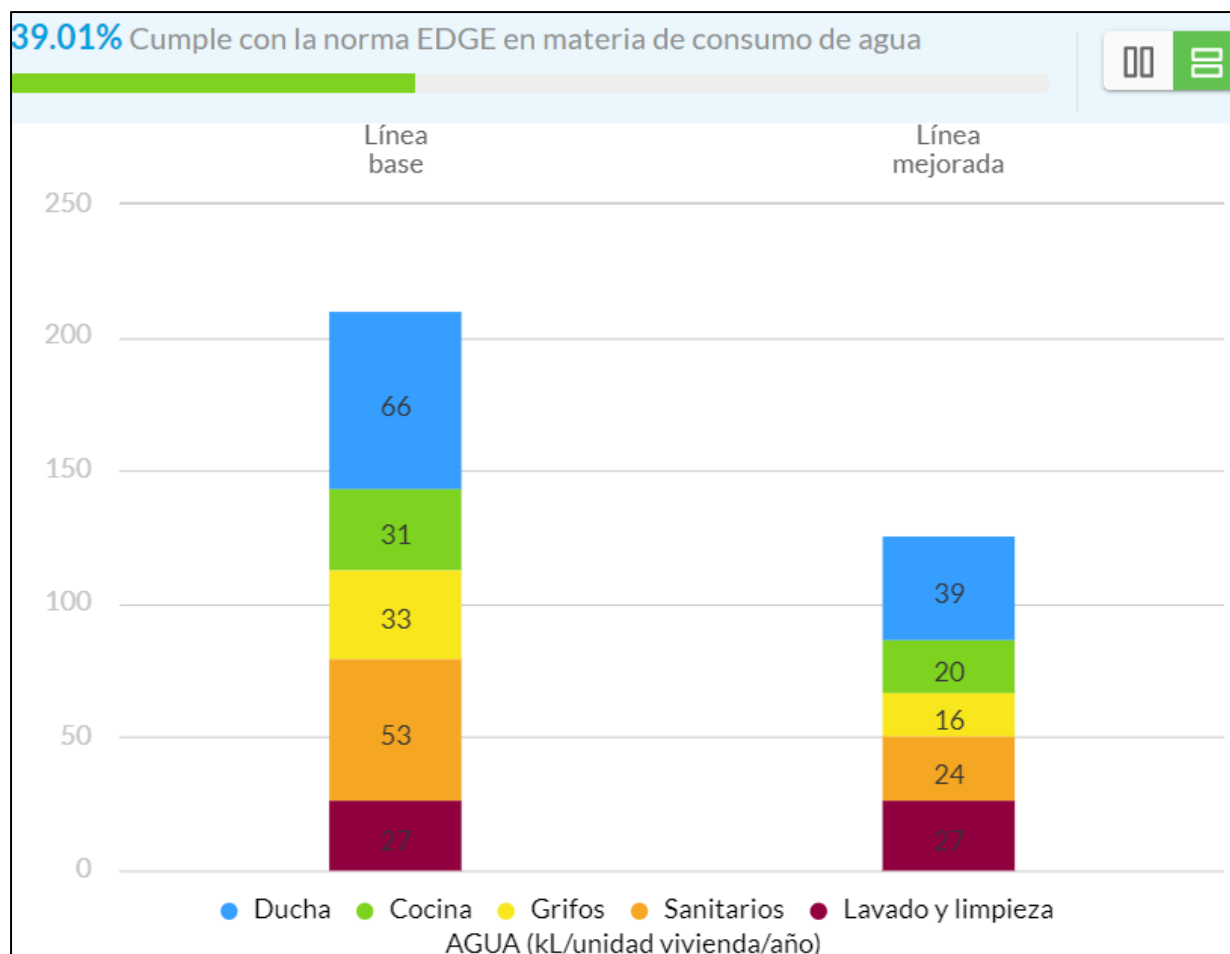


Ilustración 8: Consumo de agua de línea base vs. línea mejorada

Energía incorporada en materiales:

Losas de contrapiso, entrapiso y cubierta:

Este proyecto está diseñado para utilizar losas alivianadas de hormigón en todos los pisos y cubiertas. Este tipo de losas utilizan un determinado material de relleno en la parte inferior de la losa con el objetivo de reducir el volumen de hormigón utilizado. Esta práctica constructiva presenta numerosos beneficios contra losas de hormigón armado macizas, ya que son mucho más ligeras, más baratas y amigables con el medio ambiente. Las losas alivianadas de hormigón utilizadas en este proyecto son las mismas tanto para contrapiso, entrapiso y cubierta y tienen 200 mm de espesor y 22,01 kg/m² de refuerzo. El material de

relleno utilizado para las losas son bloques de hormigón huecos (bovedillas) de 150 mm de espesor que se colocan entre vigas de hormigón armado.

El caso base de EDGE asume el uso de una losa de hormigón armado maciza de 200 mm de espesor para todas las losas del proyecto, cuya energía incorporada es igual a 1026 MJ/m² para las losas de contrapiso y entrepiso, y 1274 MJ/m² para las losas de cubierta. Por otro lado, la EI de la losa alivianada es igual a tan sólo 611 MJ/m² para losas de contrapiso y entrepiso, y 759 MJ/m² para la cubierta.

$$E.I. \text{ Losas de Piso Caso Base vs. Mejorado} = \frac{E.I. \text{ Caso Base}}{E.I. \text{ Caso Mejorado}} = \frac{611 \frac{MJ}{m^2}}{1026 \frac{MJ}{m^2}} = 0.596$$

$$E.I. \text{ Losa Cubierta Caso Base vs. Mejorado} = \frac{E.I. \text{ Caso Base}}{E.I. \text{ Caso Mejorado}} = \frac{759 \frac{MJ}{m^2}}{1274 \frac{MJ}{m^2}} = 0.596$$

Como podemos ver, esto equivale a una reducción del 40.42% en la energía incorporada de las losas de piso y de cubierta en comparación con el caso base. También podemos determinar el porcentaje de ahorro de energía incorporada para todo el proyecto:

$$\text{Ahorro E.I. Losas de Piso} = \frac{E.I. \text{ Caso Base} - E.I. \text{ Caso Mejorado}}{E.I. \text{ Total Caso Base}} * 100\%$$

$$\text{Ahorro E.I. Losas de Piso \%} = \frac{1026 \frac{MJ}{m^2} - 611 \frac{MJ}{m^2}}{6944 \frac{MJ}{m^2}} * 100\% = 5.98\%$$

$$\text{Ahorro E.I. Losas de Cubierta} = \frac{E.I. \text{ Caso Base} - E.I. \text{ Caso Mejorado}}{E.I. \text{ Total Caso Base}} * 100\%$$

$$\text{Ahorro E.I. Losas de Cubierta} = \frac{1274 \frac{MJ}{m^2} - 759 \frac{MJ}{m^2}}{6944 \frac{MJ}{m^2}} * 100\% = 7.42\%$$

Esto significa que a través de estas dos medidas logramos el 13.4% de ahorro global en comparación con la energía incorporada total del caso base.

Paredes externas e internas:

En este proyecto, planeamos utilizar el mismo material para paredes externas e internas. Se utilizarán bloques de hormigón hueco de peso medio de 100 mm de espesor. Estos bloques son bastante ligeros y fáciles de manejar.

El caso base establecido por EDGE asume el uso de ladrillos comunes de 200 mm de espesor para la construcción de paredes externas, y el uso de ladrillos comunes de 200 mm enlucidos en ambos lados para paredes internas (International Finance Corporation, 2018). Esto equivale a energía incorporada para el proyecto igual a 2276 MJ/m² para paredes externas y 1021 MJ/m² para paredes internas. Por otro lado, las paredes externas utilizadas en el caso mejorado tienen una energía incorporada de 759 MJ/m², mientras que las paredes internas tienen un valor de 140 MJ/m². Esto nos permite calcular el ahorro de energía incorporada para ambos elementos:

$$\text{Ahorro E.I. Paredes Externas} = \frac{E.I. \text{ Caso Base} - E.I. \text{ Caso Mejorado}}{E.I. \text{ Total Caso Base}} * 100\%$$

$$\text{Ahorro E.I. Paredes Externas} = \frac{2276 \frac{MJ}{m^2} - 140 \frac{MJ}{m^2}}{6944 \frac{MJ}{m^2}} * 100\% = 30.76\%$$

$$\text{Ahorro E.I. Paredes Internas} = \frac{E.I. \text{ Caso Base} - E.I. \text{ Caso Mejorado}}{E.I. \text{ Total Caso Base}} * 100\%$$

$$\text{Ahorro E.I. Paredes Internas} = \frac{1021 \frac{MJ}{m^2} - 181 \frac{MJ}{m^2}}{6944 \frac{MJ}{m^2}} * 100\% = 12.10\%$$

Con la incorporación de estas dos medidas, alcanzamos un ahorro global del 56.26%, alcanzando con éxito el estándar de ahorro EDGE para materiales.

Acabados de piso:

Dos materiales principales fueron elegidos para ser utilizados para los acabados de piso en las casas del proyecto: tabloncillos de madera de bambú y porcelanato. Ninguno de estos materiales aparece específicamente en la lista desplegable disponible en el software EDGE.

Sin embargo, el piso de bambú se adapta mejor a la opción suelo de madera laminada ofrecido por el software, y el porcelanato sería mejor representado por la opción de baldosas cerámicas. Como hay más de un material utilizado para el suelo, necesitábamos calcular la proporción de cada material en cada casa para obtener una proporción promedio de material para todo el proyecto. Estos cálculos y resultados se presentan en la siguiente tabla:

Unidad	Área Planta Baja (m2)	Área Planta Alta (m2)	Área Interna Bruta (m2)	Área Baños PA (m2)	Área de Porcelanato (m2)	Proporción (%)	Área de Bambú (m2)	Proporción (%)
Casa 1	75.53	89.31	164.84	13.75	89.28	54%	75.56	46%
Casa 2	75.61	89.31	164.92	14.03	89.64	54%	75.28	46%
Casa 3	75.53	89.31	164.84	14.94	90.47	55%	74.37	45%
Casa 4	75.61	89.31	164.92	13.13	88.74	54%	76.18	46%
Casa 5	76.88	103.78	180.66	15.44	92.32	51%	88.34	49%
Casa 6	75.98	104.25	180.23	14.73	90.71	50%	89.52	50%
Promedio			170.07		90.19	53%	79.88	47%

Tabla 18: Proporción de materiales acabados de piso

Como podemos ver, determinamos que una proporción del 53% del área interna bruta se cubrirá con porcelanato, mientras que el 47% restante se cubrirá con tabloncillo de bambú.

La energía incorporada final del suelo para el caso mejorado es igual a 169 MJ/m², mientras que para el caso base es igual a 143 MJ/m². Como podemos ver, hay un ligero aumento de la energía incorporada que podemos calcular en relación con la energía incorporada total de los materiales del caso base:

$$\text{Ahorros E.I. Acabados de Piso} = \frac{E.I. \text{ Caso Base} - E.I. \text{ Caso Mejorado}}{E.I. \text{ Total Caso Base}} * 100\%$$

$$\text{Ahorros E.I. Acabados de Piso} = \frac{143 \frac{MJ}{m^2} - 169 \frac{MJ}{m^2}}{6944 \frac{MJ}{m^2}} * 100\% = -0.37\%$$

Este ligero aumento se traduce en un porcentaje de ahorro global equivalente al 55.89% que todavía cumple con el estándar.

Marcos de ventana:

Para este proyecto, debido a razones de diseño arquitectónico, se requerían marcos de ventanas de aluminio negro para ser utilizados en todas las ventanas. Este tipo de marcos de ventana tienen una alta energía incorporada debido al proceso detrás de su fabricación. Es por esta razón que estos marcos suelen superar la energía incorporada para el caso base y tienen un impacto negativo sobre el ahorro. Sin embargo, como el estándar EDGE ya fue superado por un gran margen, pudimos utilizar este material sin ningún impacto significativo sobre el ahorro total del proyecto. El caso base tiene una energía incorporada igual a 1204 MJ/m² para marcos de ventana, mientras que el caso mejorado es igual a 1844 MJ/m². El impacto sobre el ahorro de energía incorporada en materiales se calcula con la siguiente expresión:

$$\text{Ahorro E.I. Marcos de Ventana} = \frac{E.I. \text{ Caso Base} - E.I. \text{ Caso Mejorado}}{E.I. \text{ Total Caso Base}} * 100\%$$

$$\text{Ahorro E.I. Marcos de Ventana} = \frac{1204 \frac{MJ}{m^2} - 1844 \frac{MJ}{m^2}}{6944 \frac{MJ}{m^2}} * 100\% = -9.22\%$$

Este aumento redujo el ahorro total al 46.66%, que todavía está por encima del umbral correspondiente al estándar EDGE.

Resultados finales para energía incorporada en materiales:

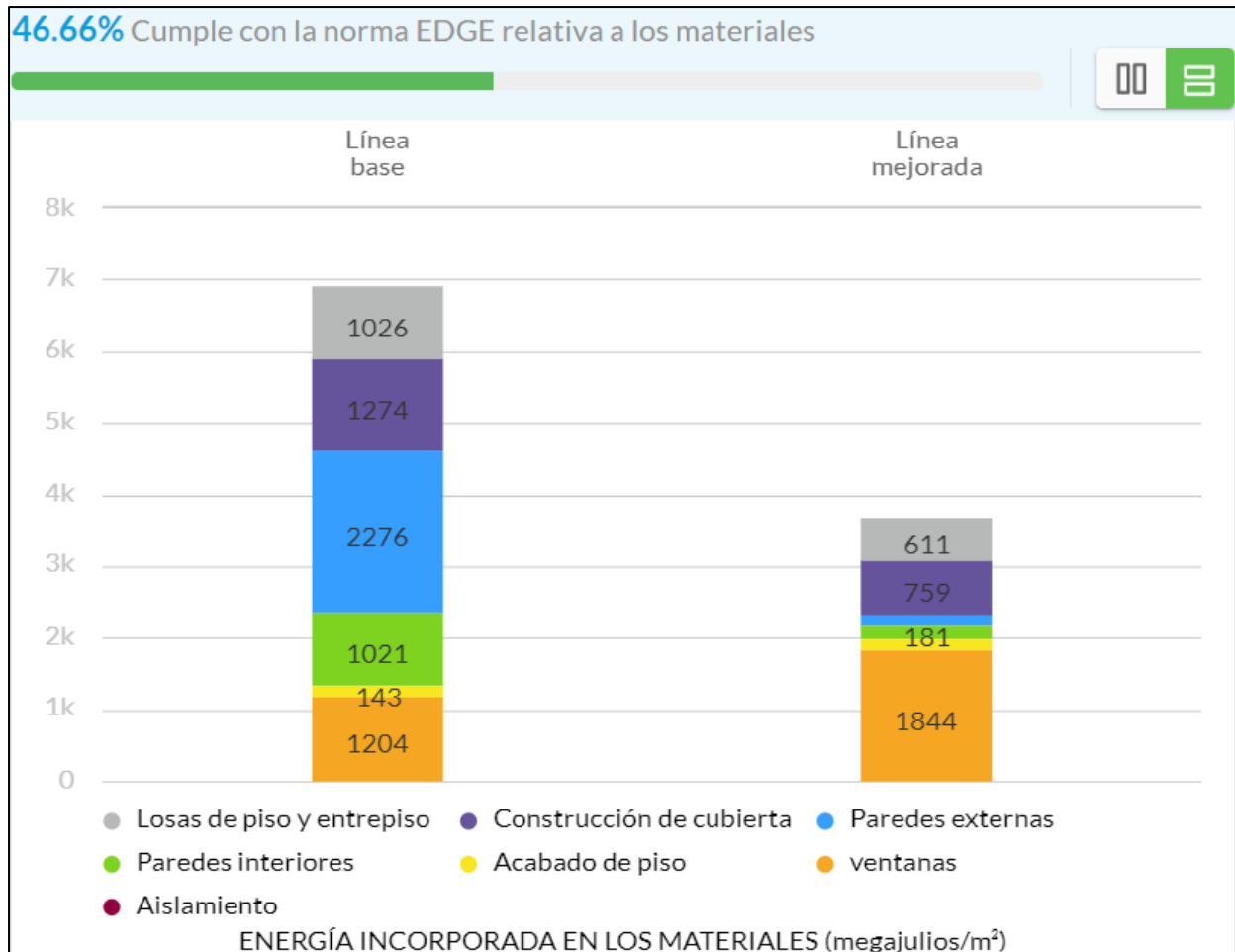


Ilustración 9: Consumo de energía incorporada en materiales de línea base vs. línea mejorada

Discusión

Energía:

Lograr el ahorro energético para este proyecto fue, sin duda, la parte más compleja del modelo. Esto se debe principalmente a la relación ventana-pared extremadamente alta en todas nuestras residencias. Esta relación era tan alta porque la mayoría de las unidades en el proyecto se encuentran adosadas a otras estructuras en dos lados. Esto reduce las formas en que podemos obtener iluminación natural adecuada en cada residencia. Por lo tanto, el diseño

arquitectónico se centra en el uso de ventanales de piso a techo causando un aumento en el WWR.

Esto causó un impacto negativo sobre el consumo de energía desde el inicio y tuvimos que implementar medidas sólo para compensar los dichos efectos negativos sobre nuestro modelo. A pesar de esta dificultad principal, logramos aplicar ciertas medidas energéticas aplicando pequeños cambios en el diseño original. Por ejemplo, obtuvimos la medida de bombillas ahorradoras para espacios interiores, así como espacios exteriores y comunales. El uso de bombillas ahorradoras se ha vuelto cada vez más común en Ecuador, lo que significaba que la implementación de estas medidas requeriría una inversión marginal, pero en última instancia nos permitiría obtener una reducción del consumo de energía del 6.38% del caso base establecido por EDGE.

Nuestra mayor inversión en una sola medida de ahorro de energía fue el uso de colectores solares para el calentamiento de agua. El costo de estos sistemas es considerablemente mayor que un calentador eléctrico o a gas común. Sin embargo, el potencial ahorro energético que se podía lograr a través de esta medida era extremadamente alta y definitivamente era necesario para alcanzar el estándar EDGE. El uso de paneles solares para el calentamiento de agua también se beneficia de la ubicación geográfica de Ecuador, ya que los rayos solares aterrizan en una dirección casi completamente perpendicular, lo cual aprovecha al máximo las células solares. Además, esta tecnología ha ido ganando popularidad en Ecuador y por tanto tenía una alta factibilidad técnica.

Es importante tener en cuenta que existen ciertas medidas que son técnicamente viables, pero no económicamente. Un claro ejemplo de esto es el uso de vidrio con recubrimiento de baja emisividad en todas las ventanas. Esto no sería un gran desafío técnico; sin embargo, requeriría una inversión significativa, elevando el precio de la perfilería y ventanas para el proyecto en casi un 8%, lo cual es bastante elevado teniendo en cuenta que este es uno de los

rubros más costosos. También existen medidas que se han empezado a implementar de forma reciente en el contexto local, lo que significa que pocas empresas y proveedores son capaces de proporcionar los servicios técnicos necesarios para la implementación de dichas tecnologías. Esto a su vez hace que el costo de las medidas sea bastante elevado. Por ejemplo, la implementación de energía solar fotovoltaica sería una alternativa atractiva debido a los beneficios de la ubicación geográfica del Ecuador, pero el uso de estos equipos todavía está en sus primeras etapas en el país, por lo que tendría que haber una gran inversión para adoptar dicha medida lo cual no tendría sentido desde el punto de vista financiero a pesar de que la medida ofrecía un ahorro energético considerable en nuestro modelo. El uso de este tipo de medidas debe promoverse aún más para que estén más fácilmente disponibles para proyectos con presupuestos más pequeños y aumentar aún más las alternativas sostenibles viables para generar ahorros en energía, agua y materiales.

Una de las categorías de consumo energético más representativas en el modelo es la energía virtual para el confort la cual considera la cantidad de energía que un consumidor necesitaría para implementar un sistema de refrigeración o calefacción en la unidad residencial para lograr un confort térmico apropiado. Sin embargo, esta suposición no se ajusta a la situación de Quito y sus valles, ya que el uso de sistemas de refrigeración o calefacción en residencias es extremadamente raro y casi no es utilizado en el contexto local. Por lo tanto, se podría afirmar que el consumo y posterior ahorro de energía virtual proyectado por el software EDGE no sería relevante para el modelo del proyecto, ya que ninguno de sus usuarios procedería con la instalación de dichos sistemas. Esto debe analizarse más a fondo para mejorar la precisión del modelo y obtener resultados de consumo de energía más alineados con el contexto local del proyecto.

Agua:

Lograr el estándar EDGE para ahorro en el consumo de agua fue menos difícil que el estándar de energía. Lo hicimos principalmente a través del uso de aireadores en cabezales de ducha y grifos lo que nos permitió reducir significativamente el caudal de agua en todas las residencias. Estos aireadores son mecanismos de bajo costo y se implementan fácilmente, ya que pueden ser incluidos directamente por nuestro proveedor. Esto significaba que el costo general de aplicar estas medidas no era significativo. Además, la reducción del flujo de agua nos permitió lograr ahorros de energía adicionales debido a una menor demanda de agua caliente. También debe señalarse que los sistemas de inodoros de doble descarga son bastante comunes en Ecuador, por lo que el uso de esta medida no causó cambios significativos en los costos respectivos.

Había otras medidas de ahorro de agua disponibles con respecto a los sistemas de reciclaje de aguas grises y negras, así como los sistemas de recolección de aguas lluvias. Sin embargo, estos no son utilizados comúnmente en Ecuador y requerirían consultoría externa de un experto y una mayor inversión para aplicarlos en nuestro proyecto, convirtiéndose en medidas económicamente inviables. Por lo general, es más fácil reducir el flujo de agua en duchas y grifos para lograr más ahorros de agua que implementar cualquiera de los sistemas previamente indicados.

Materiales:

Es importante tener en cuenta que el ahorro de energía incorporada en materiales se calcula comparando el caso mejorado modelado con las especificaciones que se utilizarán en el proyecto, con los materiales estándar asumidos por EDGE para el caso base. Sin embargo, los materiales asumidos para el caso base no representan con precisión las prácticas de

construcción estándar utilizadas en Ecuador, lo que hace que los resultados no representen con precisión la energía incorporada real que se ha reducido en los materiales utilizados en nuestro proyecto en comparación con las prácticas de construcción estándar que se utilizan en el país.

Un claro ejemplo de esto es el material asumido por EDGE para las paredes externas del caso base. El software asume que la línea base tendrá paredes externas hechas de ladrillos comunes de 200 mm de espesor. Este es un material con una cantidad extremadamente alta de energía incorporada debido a las altas temperaturas necesarias para producirlos. El material utilizado para la línea mejorada fueron paredes externas de bloques de hormigón hueco de peso medio (100 mm de espesor). Este material tiene una cantidad mucho menor de energía incorporada, lo que nos permitió obtener un alto porcentaje de ahorro sólo a través de esta medida. Sin embargo, en Ecuador, los ladrillos comunes generalmente nunca se utilizan para paredes y la práctica común real es el uso de bloques de hormigón huecos (como los de nuestro proyecto).

Es debido a esto, que lograr el estándar de ahorro de materiales EDGE resulta ser el menos complejo de las tres categorías principales. Sin embargo, esta relativa facilidad no es representativa de la realidad y por tanto los materiales predeterminados para el caso base de EDGE deberían ser revisados en el futuro para asegurar una mayor precisión en los modelos de ahorro de materiales en función de la ubicación geográfica de los diferentes proyectos.

CONCLUSIONES

A través de este caso de estudio, se ha podido demostrar la viabilidad técnica y económica para desarrollar proyectos sostenibles en nuestro contexto local. Se ha podido mostrar que, alcanzar estándares de sostenibilidad reconocidos internacionalmente como EDGE puede ser logrado a través del uso y aplicación inteligente de medidas que permiten generar ahorros considerables en el consumo de energía, agua y energía incorporada en materiales del proyecto. A nivel local cada vez existen más alternativas para alcanzar los porcentajes de ahorro necesarios y al impulsar el desarrollo de proyectos sostenibles, dichas alternativas se irán haciendo mucho más accesibles desde el punto de vista económico, por ende, incrementando el atractivo de las alternativas sostenibles en el ámbito de la construcción.

Resulta importante recalcar que, la aplicación de medidas sostenibles para un proyecto resulta ser significativamente menos compleja si está es realizada a partir de la etapa de diseño del proyecto, esto debido a que de esta manera podemos aprovechar aspectos del diseño arquitectónico para aplicar a ciertas medidas como el uso de volados sobre ventanas, una relación ventanas-paredes reducida. Este tipo de implementaciones no conllevan una inversión adicional y por tanto reduce el costo global necesario para alcanzar los estándares de ahorro.

Sin embargo, a través de este proyecto también se pudieron identificar imprecisiones significativas en el modelo establecido por EDGE para la cuantificación de ahorros. En primer lugar, EDGE considera el consumo futuro hipotético de energía en caso de que se llegará a instalar una unidad de refrigeración o calefacción en las casas del proyecto (definido como energía virtual). Esto, sin embargo, no es aplicable al contexto local de la ciudad de Quito y sus alrededores ya que, debido al clima templado de la zona, no se utilizan sistemas de refrigeración ni de calefacción para unidades residenciales. Adicionalmente, se identificó que varios de los materiales supuestos para el caso base establecido por EDGE no se alinean a las

prácticas comunes de construcción en la coyuntura local y por tanto los porcentajes de ahorro finales no representan la realidad de manera precisa. Por esta razón, se recomienda evaluar y proponer correcciones al modelo de ahorros establecido por EDGE para obtener resultados más alineados a la realidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Gatley, N. (2 de Febrero de 2019). *What is sustainable construction and why is it important?*

Obtenido de <https://www.british-assessment.co.uk/insights/what-is-sustainable-construction-and-why-is-it-important/#:~:text=The%20primary%20goal%20of%20sustainable,the%20environment%20over%20its%20lifespan.>

Global Alliance for Buildings and Construction. (2020). *2020 Global Status Report for*

Buildings and Construction. Obtenido de

https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/34572/GSR_ES.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Green Building Certification Inc. (Octubre de 2016). *About EDGE*. Obtenido de

<https://gbc.org/press-kit-edge>

Guerra, M. A., & Gopaul, C. (2021). IEEE Region 9 Initiatives: Supporting Engineering Education During COVID-19 Times. *IEEE Potentials*, 40(2), 19–24.

<https://doi.org/10.1109/MPOT.2020.3043738>

Guerra, M. A., Murzi, H., Woods Jr, J., & Diaz-Strandberg, A. (2020). *Understanding Students' Perceptions of Dimensions of Engineering Culture in Ecuador*.

Guerra, M. A., & Tripp, S. (2018). Theoretically Comparing Design Thinking to Design Methods for Large-Scale Infrastructure Systems. *DS 89: Proceedings of The Fifth International Conference on Design Creativity (ICDC 2018), University of Bath*,

Bath, UK, 168–175.

<https://www.designsociety.org/publication/40714/THEORETICALLY+COMPARING+DESIGN+THINKING+TO+DESIGN+METHODS+FOR+LARGE-SCALE+INFRASTRUCTURE+SYSTEMS>

Guerra, M., & Abebe, Y. (2018). Pairwise Elicitation for a Decision Support Framework to Develop a Flood Risk Response Plan. *ASCE-ASME J Risk and Uncert in Engrg Sys Part B Mech Engrg*, 5(011004). <https://doi.org/10.1115/1.4040661>

Guerra, M., & Shealy, T. (2018). Teaching User-Centered Design for More Sustainable Infrastructure through Role-Play and Experiential Learning. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 144(4), 05018016. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EI.1943-5541.0000385](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000385)

International Finance Corporation. (19 de Diciembre de 2018). *EDGE User Guide Version 2.1*. Obtenido de <https://edgebuildings.com/wp-content/uploads/2018/12/EDGE-User-Guide-for-All-Building-Types-Version-2.1-Release-B.pdf>

International Finance Corporation. (2021). *About EDGE*. Obtenido de <https://edgebuildings.com/about/about-edge/>

Leica, F. (3 de Junio de 2015). *Exploring Open Energy Data in Urban Areas*. Obtenido de <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2015/06/03/exploring-open-energy-data-in-urban-areas>

Milne, G., & Reardon, C. (2013). *Embodied Energy*. Obtenido de <https://www.yourhome.gov.au/materials/embodied-energy>

Ritchie, H., & Roser, M. (Septiembre de 2018). *Urbanization*. Obtenido de <https://ourworldindata.org/urbanization>

UN Department of Economic and Social Affairs. (2019). *World Urbanization Prospects The*

2018 Revision. Obtenido de

<https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf>