



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Artes en Energía y Ambiente

**PROPUESTA DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE CASAS EXISTENTES CON
CONSUMOS MAYORES A 300 KWH EMPLEANDO LAS HERRAMIENTAS DE LA
CERTIFICACIÓN EDGE Y CASA GUATEMALA PARA LA REGIÓN CLIMÁTICA VALLES DE
ORIENTE**

Arq. Jacqueline Marisol García Cantoral

Asesorado por Mtro. Ing. Carlos Alejandro Alegre Ordóñez

Guatemala, octubre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE CASAS EXISTENTES CON
CONSUMOS MAYORES A 300 KWH EMPLEANDO LAS HERRAMIENTAS DE LA
CERTIFICACIÓN EDGE Y CASA GUATEMALA PARA LA REGIÓN CLIMÁTICA VALLES DE
ORIENTE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ARQ. JACQUELINNE MARISOL GARCÍA CANTORAL
ASESORADO POR MTRO. ING. CARLOS ALEJANDRO ALEGRE ORDÓÑEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRA EN ARTES EN ENERGÍA Y AMBIENTE

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
DIRECTOR	Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
EXAMINADOR	Ing. Axel Ernesto Siguí Gil
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**PROPUESTA DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE CASAS EXISTENTES CON
CONSUMOS MAYORES A 300 KWH EMPLEANDO LAS HERRAMIENTAS DE LA
CERTIFICACIÓN EDGE Y CASA GUATEMALA PARA LA REGIÓN CLIMÁTICA VALLES DE
ORIENTE**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 23 de julio del año 2021.

Arq. Jacqueline Marisol García Cantoral



DTG. 578.2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **PROPUESTA DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE CASAS EXISTENTES CON CONSUMOS MAYORES A 300 KWH EMPLEANDO LAS HERRAMIENTAS DE LA CERTIFICACIÓN EDGE Y CASA GUATEMALA PARA LA REGIÓN CLIMÁTICA VALLES DE ORIENTE**, presentado por la Arquitecta Jacqueline Marisol García Cantoral, estudiante de la **Maestría en Artes en Energía y Ambiente** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, octubre de 2021.

AACE/cc



Guatemala, octubre de 2021

LNG.EEP.OI.063.2021

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

“PROPUESTA DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE CASAS EXISTENTES CON CONSUMOS MAYORES A 300 KWH EMPLEANDO LAS HERRAMIENTAS DE LA CERTIFICACIÓN EDGE Y CASA GUATEMALA PARA LA REGIÓN CLIMÁTICA VALLES DE ORIENTE”

presentado por **Jacqueline Marisol García Cantoral** quien se identifica con carné **200617452** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Energía y ambiente** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director



**Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería**



Guatemala, 28 de octubre de 2020.

M.Sc. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Presente

M.Sc. Ingeniero Álvarez Cotí:

Por este medio informo que he revisado y aprobado el **INFORME FINAL** del trabajo de graduación titulado: **“Propuesta de rehabilitación energética de casas existentes con consumos mayores a 300 kWh empleando las herramientas de la certificación EDGE y CASA Guatemala para la región climática Valles de oriente”** de la estudiante **Jacqueline Marisol García Cantoral** quien se identifica con número de carné **200617452** del programa de **Maestría en Energía y Ambiente**.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el **Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014**. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.

Atentamente,

M.Sc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador
Área de Desarrollo Socio Ambiental y Energético
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería USAC



Guatemala, 25 de octubre 2020

Ingeniero Mtro.
Edgar Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería USAC
Ciudad Universitaria, Zona 12

Distinguido Ingeniero Álvarez:

Atentamente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que como asesor del trabajo de graduación de la estudiante Jacquelinne Marisol García Cantoral, Carné número 200617452, cuyo título es "**PROPUESTA DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE CASAS EXISTENTES CON CONSUMOS MAYORES A 300 KWH EMPLEANDO LAS HERRAMIENTAS DE LA CERTIFICACIÓN EDGE Y CASA GUATEMALA PARA LA REGIÓN CLIMÁTICA VALLES DE ORIENTE**", para optar al grado académico de Maestra en Energía y Ambiente, he procedido a la revisión del mismo.

En tal sentido, en calidad de asesor doy mi anuencia y aprobación para que la estudiante García Cantoral, continúe con los trámites correspondientes.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

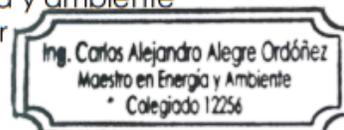
Atentamente,



Ing. Carlos Alejandro Alegre Ordoñez

Maestro en Energía y ambiente

Asesor



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por sostenerme en todo momento y proveerme de sus bendiciones para alcanzar cada meta propuesta.
Mis padres	Por darme la vida y ser los pilares para proveerme de enseñanza y apoyo incondicional.
Mis hermanos	Yasmín, José, Ilse, Raquel y Joseph García, porque cada uno ha brindado su carisma y apoyo.
Mi abuela	Enma Ramírez, por sus oraciones y consejos.
Mi sobrina	Marisol Herrera, por su ternura y cariño.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por la formación profesional en tan prestigiosa casa de estudios.
Escuela de Estudios de Postgrado	Por la coordinación y seguimiento en todo el proceso de aprendizaje.
Mi asesor	Mtro. Carlos Alejandro Alegre por estar siempre al pendiente de mi avance académico y compartir sus conocimientos para cumplir con los objetivos de mi formación académica.
Amigos y familia en general	Por apoyarme en cada etapa de mi vida y alentarme a seguir mis metas.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO	XXI
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Sectores de consumo energético	1
1.2. Economía circular	2
1.3. Infraestructura sostenible.....	4
1.4. Demanda energética y consumo energético del sector residencial.....	5
1.4.1. Regiones climáticas de Guatemala.....	6
1.4.2. Tipología de viviendas	8
1.5. Sistemas de certificación ambiental para edificios.....	9
1.5.1. Certificación EDGE	10
1.5.2. Certificación CASA Guatemala	11
1.6. Rehabilitación energética en casas	12

1.7.	Potencial de ahorro energético y reducción de CO ₂ en casas existentes	12
2.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	15
2.1.	Identificar los criterios de las certificaciones ambientales EDGE y CASA Guatemala para certificar edificios residenciales existentes	15
2.2.	Establecer las estrategias de eficiencia energética que EDGE y CASA Guatemala ofrecen para reducir el consumo de energía y recursos naturales en una casa existente ubicada en clima cálido	16
2.2.1.	Diagnóstico	19
2.2.1.1.	Selección de la muestra	19
2.2.1.2.	Localización de la muestra	19
2.2.1.3.	Actividades previas a la visita de campo	20
2.2.1.4.	Visita de campo: evaluación de habitabilidad y recolección de información	21
2.2.1.5.	Línea base del consumo eléctrico	23
2.2.1.6.	Línea base del consumo de agua	27
2.2.2.	Implementación de estrategias de eficiencia energética	28
2.2.2.1.	Lista de chequeo CASA Guatemala	28
2.2.2.2.	Modelaje de estrategias con el software EDGE	30

2.3.	Estimar los beneficios económicos y ambientales de implementar estrategias de eficiencia energética en una casa existente comparada con la línea base de consumo de esta	37
3.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	39
3.1.	Resultados del objetivo 1	39
3.2.	Resultados del objetivo 2	39
3.3.	Resultados del objetivo 3	43
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	47
	CONCLUSIONES	51
	RECOMENDACIONES	53
	REFERENCIAS	55
	ANEXOS	59

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Consumo energético por sector	1
2.	Ciclo de vida de un proyecto	2
3.	Economía circular	3
4.	Marco de la Infraestructura Sostenible.....	5
5.	Regiones climáticas de Guatemala.....	7
6.	Mapa localización de muestras	20
7.	Consumo eléctrico en factura.....	23
8.	Estrategias para ahorrar agua.....	35
9.	Comportamiento del ahorro energético	40
10.	Comportamiento del ahorro de agua.....	41
11.	Comportamiento del ahorro energético en materiales	42
12.	Comportamiento del consumo eléctrico anual	44
13.	Comportamiento del uso de materiales.....	49
14.	Comportamiento del retorno de inversión	50

TABLAS

I.	Tipología de viviendas.....	8
II.	Criterios de certificación	15
III.	Estrategias generales certificación CASA Guatemala	16
IV.	Estrategias generales certificación EDGE.....	18
V.	Consolidado de la evaluación de la infraestructura.....	22
VI.	Áreas de construcción.....	22

VII.	Consumo eléctrico muestra 1	24
VIII.	Consumo eléctrico muestra 2	25
IX.	Consumo eléctrico muestra 3	26
X.	Consumo eléctrico muestra 4	26
XI.	Consumo de agua mensual	28
XII.	Selección de estrategias CASA Guatemala.....	29
XIII.	Diseño de proyecto	30
XIV.	Estrategias para ahorrar energía	34
XV.	Estrategias para ahorrar energía incorporada a los materiales	36
XVI.	Reporte de resultados EDGE	37
XVII.	Evaluación de criterios de las certificaciones.....	39
XVIII.	Propuesta de estrategias de solución pasiva y activa.....	42
XIX.	Ponderación de logros	43
XX.	Ahorro mensual de energía y recursos naturales (porcentual)	45
XXI.	Beneficios ambientales anuales	45

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
COP	Coeficiente de rendimiento
CO₂	Dióxido de carbono
\$	Dólar americano
h	Hora
J	Joule
kg	Kilogramo
kL	Kilolitros
kWh	Kilovatio hora
L	Litros
m²	Metro cuadrado
m³	Metro cúbico
mm	Milímetro
min	Minuto
%	Porcentaje
Q	Quetzales
s	Segundo
Ton	Tonelada
W	Vatio

GLOSARIO

Ahorro energético	Consiste en la optimización del consumo de la energía y los recursos naturales, por la necesidad de economizar y salvaguardar las fuentes de energía no renovables y con ello reducir el impacto del cambio climático.
Certificación ambiental	Acredita que determinados procesos, servicios o productos, se han llevado a cabo de un modo respetuoso con el ambiente y cumplen con estándares nacionales e internacionales en su implementación.
Construcción sostenible	Se define como aquella construcción que, teniendo especial respeto por el ambiente, implica el uso eficiente de la energía y de los recursos naturales, para reducir los impactos ambientales propios de la actividad y el funcionamiento de los edificios.
Diagnóstico energético	Es un proceso sistemático, que permite obtener un conocimiento suficientemente fiable del consumo energético de un edificio, para detectar los factores que afectan a dicho consumo e identificar y evaluar las distintas oportunidades de ahorro, en función de su rentabilidad.

EDGE	Excellence in Design for Greater Efficiencies
Emplazamiento	Ubicación de una obra definida por los linderos del terreno.
ISO	Organización Internacional de Normalización.
Línea base	En proyectos, es un conjunto de variables o datos que definen la situación inicial del proyecto y sirven para determinar el alcance que tendrán los cambios que se planteen.
Rehabilitación energética	Son las obras necesarias para reformar un edificio, aumentando su eficiencia de modo que, reduzca las emisiones de gases efecto invernadero manteniendo o mejorando los niveles de confort.
Soluciones de diseño activo	Son estrategias que se basan en el empleo de dispositivos o equipos con mayor rendimiento energético, para sustituir los existentes que necesitan mayor mantenimiento y cuya vida útil es más corta.
Soluciones de diseño pasivo	Son estrategias que aprovechan el clima para proporcionar calefacción, refrigeración, ventilación e iluminación doméstica, reduciendo el uso de energía y los impactos ambientales.

Sostenibilidad

Es el uso consciente y responsable de sus recursos, sin agotarlos o exceder su capacidad de renovación y sin comprometer el acceso a estos por parte de las generaciones futuras.

Tipología constructiva

Se fundamenta en el emplazamiento del edificio dentro del terreno, los materiales predominantes empleados en las paredes, techos y cubiertas, que determinan la calidad habitacional y su vida útil.

RESUMEN

De acuerdo con el balance energético realizado por el Ministerio de Energía y Minas MEM en el año 2017, el sector residencial es uno de los mayores consumidores de recursos energéticos en el país con el 59.54 %, por lo cual esta investigación se realiza en la línea de energía aplicada, para el uso eficiente de la energía en residencias y edificios.

Para ello se estableció como objetivo general determinar las estrategias que las certificaciones ambientales *Excellence in Design for Greater Efficiencies* EDGE y CASA Guatemala, proponen para reducir el consumo de energía y recursos naturales en una casa existente con consumos mayores a 300 kWh ubicada en la región climática cálida del país en una propuesta de rehabilitación energética, considerando que el uso principal de estas es el diseño, planificación y construcción de edificios sostenibles.

Dentro de la metodología de investigación se hizo un análisis bibliográfico para definir los criterios de aplicación de cada una de las certificaciones seleccionadas y poder establecer las estrategias de la propuesta de rehabilitación energética mediante un análisis experimental basado en una muestra no probabilística de cuatro casas que tienen en común el consumo de energía eléctrica superior a 300 kWh y su ubicación en la región climática cálida del país.

Es importante mencionar que para el uso del software EDGE y la lista de chequeo CASA Guatemala, se necesitó capacitación previa que fue facilitada por el *Guatemala Green Building Council* GGBC, quienes a través de varios talleres

introdujeron al uso de las guías de aplicación y sus herramientas digitales a nivel experimental.

A final del desarrollo de la investigación, el software de la certificación EDGE, como herramienta de modelación de rendimiento permitió visualizar resultados de la implementación de estrategias en la rehabilitación energética de la casa evaluada, con una reducción en el consumo de energía eléctrica en un 35.64 %, agua con un 25.32 % y materiales de construcción con un 93.45 % comparado con el consumo energético de la línea base.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El alto consumo energético en el sector residencial supone un problema de sostenibilidad ambiental, porque para cubrir la demanda de energía es necesario consumir recursos naturales y fósiles, que pueden ahorrarse para no comprometer la posibilidad de satisfacer las necesidades de las generaciones futuras.

Se considera que una de las causas de los altos consumos de energía en el sector residencial, corresponde a que los edificios construidos entre 1980 y 2000 no tienen una administración eficiente de energía, influenciada por el consumo lineal; la no obligatoriedad a prácticas constructivas sostenibles y equipamiento no regulado con eficiencia energética, ya que el término de desarrollo sostenible evolucionó a nivel mundial en ese período.

Por lo descrito y para plantear una propuesta de rehabilitación energética en casas existentes, se estableció la pregunta principal de investigación siguiente:

- ¿Cómo reducir el consumo de energía y recursos naturales para el funcionamiento de una casa existente con consumos mayores a 300 kWh ubicada en la región climática cálida del país, empleando las certificaciones EDGE y CASA Guatemala?

Así mismo, se establecieron las preguntas auxiliares siguientes:

- ¿Cuáles son los criterios técnicos que emplean las certificaciones ambientales EDGE y CASA Guatemala para certificar edificios residenciales existentes?
- ¿Cuáles son las estrategias de eficiencia energética que EDGE y CASA Guatemala ofrecen para reducir el consumo de energía y recursos naturales en una casa existente ubicada en clima cálido?
- ¿Cuáles son los beneficios económicos y ambientales de implementar estrategias de eficiencia energética en una casa existente comparada con la línea base de consumo de esta?

OBJETIVOS

Objetivo general

Reducir el consumo de energía y recursos naturales en una casa existente con consumos mayores a 300 kWh, ubicada en la región climática cálida del país implementando una propuesta de rehabilitación energética con las herramientas de las certificaciones EDGE y CASA Guatemala.

Objetivos específicos

- Identificar los criterios de intervención de las certificaciones ambientales EDGE y CASA Guatemala para certificar edificios residenciales existentes.
- Establecer las estrategias de eficiencia energética que EDGE y CASA Guatemala ofrecen para reducir el consumo de energía y recursos naturales en una casa existente ubicada en clima cálido.
- Estimar los beneficios económicos y ambientales de implementar estrategias de eficiencia energética en una casa existente comparada con la línea base de consumo de esta.

INTRODUCCIÓN

La construcción de edificios es una de las actividades que mayor impacto generan en el ambiente, por la extracción de recursos naturales y por la cantidad de residuos que se generan con la construcción de nuevas obras, la demolición y restauración de estructuras a lo largo de su ciclo de vida.

Con lo cual la investigación que se presenta, buscaba definir una alternativa para mejorar la eficiencia energética en residencias, vinculando la práctica de rehabilitación de edificios con las soluciones de mejora energética que ofrecen las certificaciones ambientales en la construcción de edificios sostenibles.

Lo que conllevó a establecer objetivos que se respondieron con la sistematización de las certificaciones ambientales EDGE y CASA Guatemala, como herramientas de solución en una propuesta de rehabilitación energética, que reduzcan el consumo de energía eléctrica y de recursos naturales en casas existentes ubicadas en clima cálido.

De acuerdo con lo anterior, se seleccionó una metodología de investigación mixta, porque en el campo cualitativo se hizo una revisión bibliográfica para el estado del arte y el marco teórico; y en el desarrollo de la investigación se utilizó el campo cuantitativo para hacer un análisis experimental, con el diagnóstico de consumo energético básico de 4 casas existentes seleccionadas de forma aleatoria, con los medios de verificación lista de chequeo CASA Guatemala y software EDGE.

Por lo tanto, en el capítulo III y IV se presentan y discuten los resultados del análisis experimental de implementar las herramientas EDGE y CASA Guatemala en la rehabilitación energética de una casa existente, siendo las variables de energía eléctrica, agua y materiales, las que tienen mayor potencial de ahorro en la medida que se seleccionan y cumplen las estrategias de solución.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

La investigación se inició con el análisis cualitativo de información contenida en el arte y marco teórico del documento, la cual fue obtenida de talleres, libros, artículos, revistas, guías de aplicación y sitios web. Lo que permitió comprender la problemática de sostenibilidad económica y ambiental del consumo desmedido de energía y recursos naturales en el sector residencial; y plantear los objetivos con los que se buscaba minimizarla.

Con esa premisa, se definieron los criterios de aplicación de las certificaciones ambientales EDGE y CASA Guatemala, para verificar y evaluar el potencial de desempeño de implementar la rehabilitación energética, de una casa construida en la zona climática cálida del país, indistintamente su tipología constructiva, a través de la selección de estrategias para la construcción sostenible.

Con lo cual, en la metodología de la investigación se estableció una muestra no probabilista de 4 casas unifamiliares a las cuales se tuvo acceso para recopilar información y están emplazadas 2 de forma aislada (1 y 2) y 2 con colindancias (3 y 4), para con ello establecer mayor cantidad de estrategias de solución de eficiencia energética.

Posteriormente, en la fase de desarrollo de la investigación se programaron y se llevaron a cabo visitas de campo, para hacer un diagnóstico del estado físico de la infraestructura y el funcionamiento de las instalaciones y el equipamiento de las casas seleccionadas, empleando formularios preestablecidos en el arte del documento, facturas de consumo y listas de chequeo.

Seguidamente, se hizo un análisis experimental con el software EDGE que está validado externamente por el *International Finance Corporation* IFC, para modelar la reducción del consumo de energía y recursos naturales en un porcentaje igual o mayor al 20 % comparado con la línea base de consumo del edificio analizado, a través del vaciado de información recolectada en el diagnóstico (dirección, etapa del proyecto, tipo de edificio, fecha de construcción, tipología constructiva, clima y el consumo de energía y recursos naturales); y la elección de estrategias de eficiencia energética que se procuran implementar.

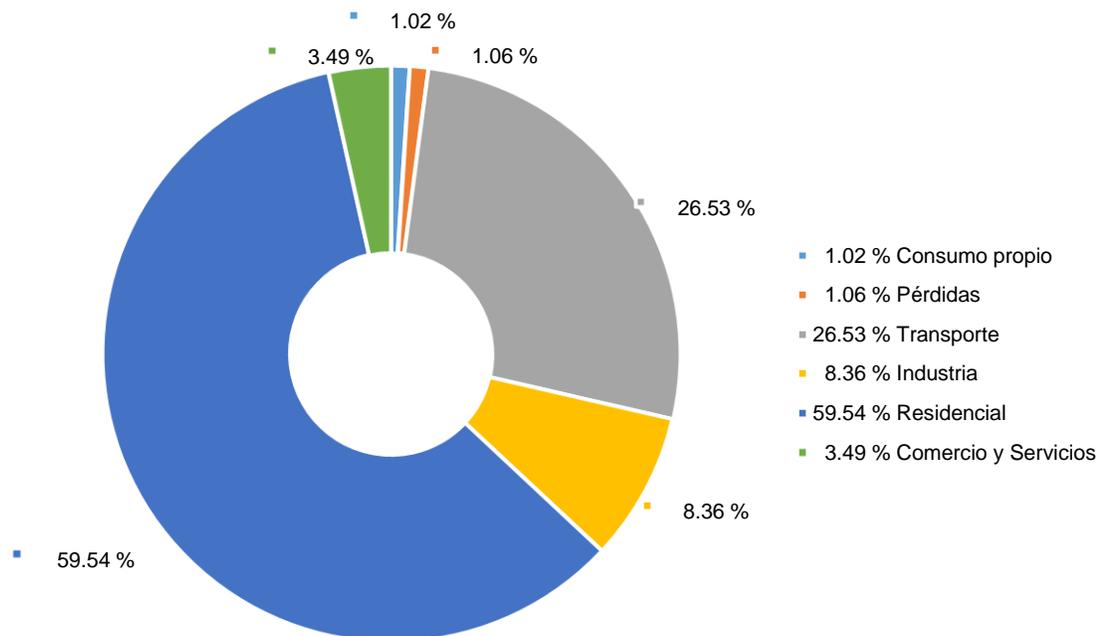
Con los resultados porcentuales de la fase anterior, se hizo un análisis comparativo del consumo energético y de recursos naturales de la línea base y el consumo de la línea mejorada. Representando con ello los beneficios económicos y ambientales de rehabilitar energéticamente una casa, en las fases de presentación y discusión de resultados.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Sectores de consumo energético

El Ministerio de Energía y Minas (2017), establece en la figura 1 el balance energético realizado en el año 2017, con datos de consumo por sector y se observa que el residencial es el que más consume con un 59.54 %.

Figura 1. Consumo energético por sector



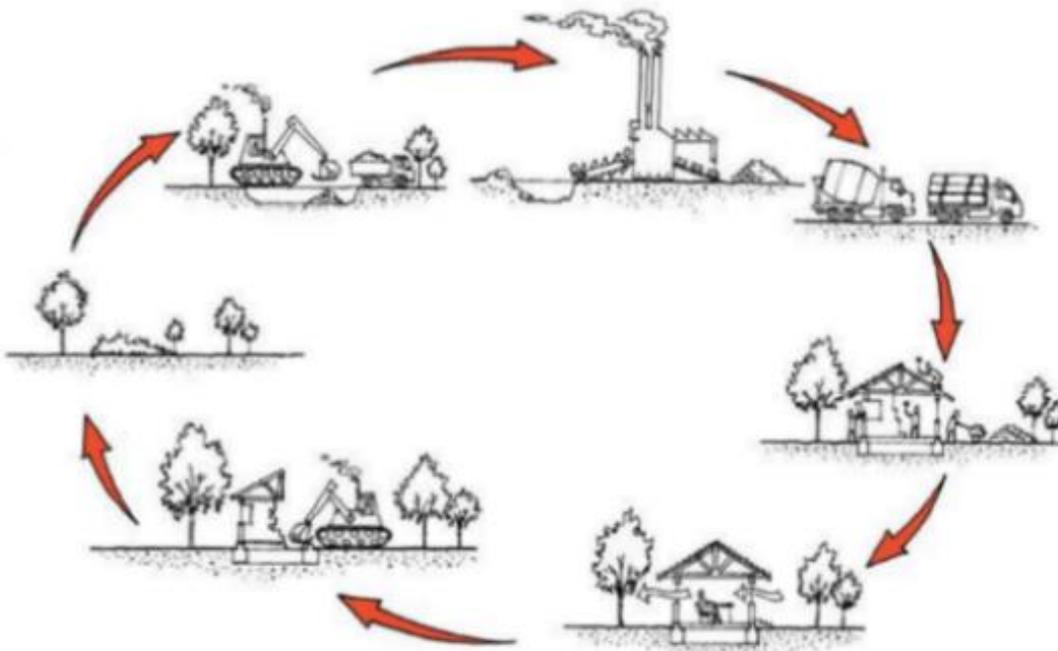
Fuente: Ministerio de Energía y Minas. (2017). *Informe Balance Energético*.

Estos resultados reflejan la demanda de energía que tiene el sector residencial y el potencial mercado para generar ahorro energético, de hasta un 18 % equivalente a 684.16 GWh para el año 2032, de acuerdo con el Plan Nacional de Eficiencia Energética del Ministerio de Energía y Minas.

1.2. Economía circular

Conforme a lo explicado por Bustamante (2009), el agotamiento de los recursos naturales y fósiles es el claro ejemplo de una economía lineal, la cual consiste generalmente en la extracción, manufactura o fabricación, uso y descarte de un producto como se observa en la figura 2.

Figura 2. **Ciclo de vida de un proyecto**



Fuente: Bustamante. (2009). *Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social.*

Por lo que la economía circular como se observa en la figura 3, presupone una interrelación de aspectos económicos, ambientales y sociales para un desarrollo sostenible.

Figura 3. **Economía circular**



Fuente: García. (2019). *Nuestro Plan A: La economía Circular*. Consultado el 10 de junio de 2021. Recuperado de <https://stakeholders.com.pe/economia-circular/plan-la-economia-circular-lenny-garcia/>

Pietro-Sandoval, Jaca y Ormazabal (2017), en su investigación demuestran que, la evolución del concepto de sostenibilidad y su relación con la economía circular, identifican campos de acción que promueven el diseño de productos que mejoren la gestión ambiental y oportunidades nuevas de negocio.

Martin (2019), expone en su investigación que, las ciudades de España a nivel de Estado y Municipalidades, están vinculando la economía circular con los Objetivos de Desarrollo Sostenible número once (Ciudades y comunidades sostenibles) y número doce (Producción y consumo responsable), con la finalidad de implementar estrategias que consideran los elementos siguientes:

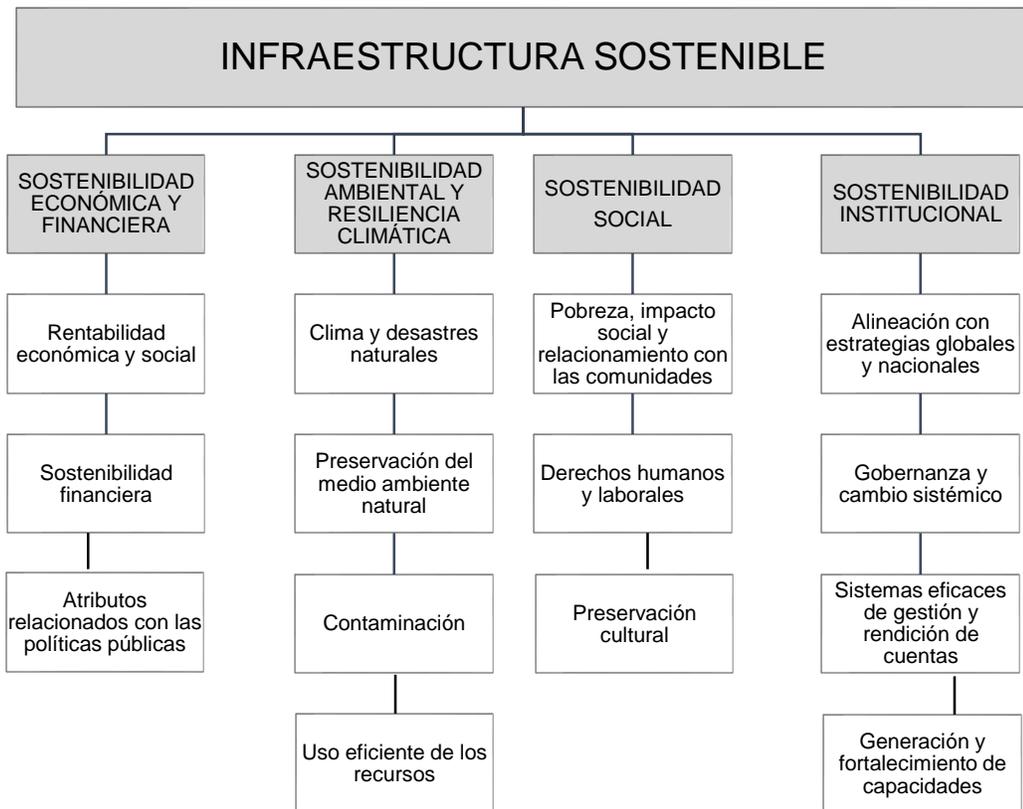
- Eficiencia energética y ahorro de energía,
- Optimización y reducción del consumo de agua,
- Fomento de redes de drenajes separativos y
- Reducción de residuos para su reciclaje.

1.3. Infraestructura sostenible

Bhattacharya, Casado, Jeong, Amin, Watkins y Silva (2019), destacan en su investigación que, el desarrollo sostenible se definió por primera vez en el año de 1987 y el término de infraestructura sostenible comenzó a aparecer en conferencias internacionales a partir del año 2006, refiriéndose a "... proyectos de infraestructura que son planificados, diseñados, construidos, operados y desmantelados, asegurando la sostenibilidad económica y financiera, social, ambiental... e institucional a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto." (Bhattacharya, et al. 2019 p.15).

Bhattacharya, et al. (2019), identifican los atributos que componen la infraestructura sostenible en la figura 4 (los cuales se encuentran desglosados en el anexo 1).

Figura 4. **Marco de la Infraestructura Sostenible**



Fuente: Bhattacharya, et al. (2019). *Atributos y Marco para la Infraestructura Sostenible*.

Consultado el 11 de junio de 2020. Recuperado de

https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Atributos_y_marco_para_la_infraestructura_sostenible_es_es.pdf.

1.4. **Demanda energética y consumo energético del sector residencial**

La Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid (2014), dan a conocer en su publicación que, la demanda energética en los edificios será la energía necesaria por el usuario para calentar, enfriar, ventilar e iluminar disfrutando condiciones de confort. Lo cual se condiciona, por el clima

y la tipología de materiales empleados para su aislamiento en muros, pisos y cubierta.

Por otro lado, el consumo energético se refiere a la energía que necesitan las instalaciones para suplir la demanda energética. Es decir que es la demanda por el rendimiento de las instalaciones y los hábitos del usuario.

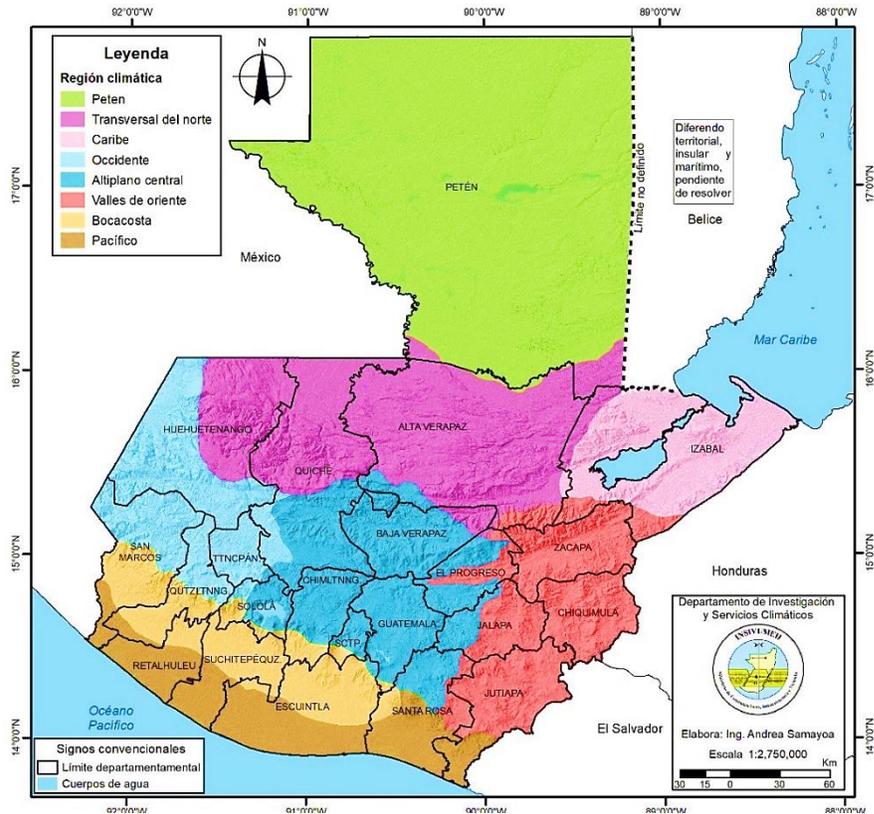
Además, la Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid (2014), expone parámetros y métodos para analizar el consumo energético de un edificio, con el objetivo de, mostrar oportunidades de ahorro energético, de los cuales se destacan las fases siguientes:

- Fase A: Diagnóstico (fuente de información, frecuencia de registro de datos y caracterización de jornadas y periodo analizado).
- Fase B: Plan de reducción de consumo a corto plazo que requieren o poca o nula inversión (reducción de consumos ocultos por medio de la automatización, mantenimiento regular y actuaciones de concientización).
- Fase C: Inversión por condición del edificio (mejoras tecnológicas en equipos, aprovechamiento de recursos naturales y modificaciones en la infraestructura del edificio).

1.4.1. Regiones climáticas de Guatemala

El Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología INSIVUMEH (2020), zonifica el país en regiones climáticas locales como se observa en la figura 5 y están caracterizadas por la topografía regional, vegetación, geología y tipos de suelo.

Figura 5. **Regiones climáticas de Guatemala**



Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. (2020). *Regiones Climáticas*. Consultado el 11 de agosto de 2021. Recuperado de <https://insivumeh.gob.gt/solicitud-de-informacion/>

De la interpretación del mapa, se representan las características de temperatura de cada región, de la forma siguiente:

- Petén presenta temperaturas entre los 20 °C y 30 °C.
- Caribe y Transversal del Norte muestra variaciones de clima cálido y semicálido, entre 29 °C y 38 °C.
- Occidente y Altiplano central registran temperaturas entre 16 °C a 21 °C, que van de templados a semifríos.

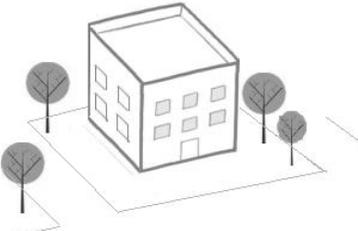
- Valles de Oriente está registrando temperaturas con los niveles más altos del país, alcanzando hasta 42 °C.
- Bocacosta presenta un clima semicálido entre 20 °C y 28 °C.
- Pacífico registra una temperatura por lo general cálida, de 27 °C a 38 °C, con inviernos secos.

1.4.2. Tipología de viviendas

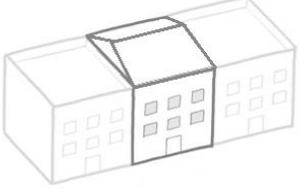
El Instituto Valenciano de la Edificación IVE (2015), considera que, para evaluar la demanda energética de las viviendas en una región, es necesario dividir el sector residencial, con parámetros como: el tipo de sistema constructivo, la carga de ocupación, la tenencia y el tamaño de la casa.

Por lo cual, con el objetivo de regionalizar esos parámetros a la zona climática Valles de Oriente, las casas que conforman la muestra, tienen la característica de tenencia de la vivienda como propia, la ocupación como unifamiliar y los tipos constructivos como aislados y con colindancias, como se observa en la tabla I.

Tabla I. **Tipología de viviendas**

Tipo	Descripción	Gráfica
1	Casa aislada y sistema constructivo de mampostería reforzada con cubierta de hormigón.	

Continuación de la tabla I.

Tipo	Descripción	Gráfica
2	Casa con colindancia y sistema constructivo de mampostería reforzada con cubierta de hormigón.	

Fuente: Instituto Valenciano de la Edificación (2015). *Potencial de ahorro energético y reducción de emisiones de CO₂ en la Comunidad Valenciana*.

1.5. Sistemas de certificación ambiental para edificios

Según explica Lodoño (2009), que se tiene mayor conciencia del impacto ambiental negativo producido por los edificios, en el consumo de recursos naturales, y eso da origen a varias iniciativas, que tienen como objeto impulsar estrategias y buenas prácticas de construcción sostenible, para reducir el consumo energético y mejorar la calidad de vida de los ocupantes.

Valverde, Ayala y Álvarez (2017), indican en su investigación que, estas estrategias sostenibles han desarrollado herramientas, normas y certificaciones ambientales globales que, establecen un estándar que permite comparar el desempeño energético de un edificio, sobre una línea base que es validada por un tercero.

Valverde et al. (2017), también resaltan la importancia de adaptar las herramientas de evaluación de edificios a los contextos locales y explican en su investigación que, los modelos de certificación ambiental son: de tipo voluntario y de tipo obligatorio.

Lo anteriormente descrito, se toma como base para analizar el contenido de las Certificaciones EDGE y CASA Guatemala que el Guatemala Green Building Council GGBC promueve en Guatemala.

1.5.1. Certificación EDGE

La Corporación Financiera Internacional IFC por sus siglas en inglés, miembro del Grupo Banco Mundial, en su labor de facilitar y promover la construcción de edificios sostenibles, crea la Certificación EDGE (del inglés *Excellence in Design for Greater Efficiencies*), la cual funciona como una herramienta de evaluación interactiva (software), que permite ser utilizada para prever la mejora del consumo energético en construcciones nuevas o existentes, logrando generar como mínimo un ahorro de: 20 % en el consumo de energía eléctrica, 20 % en el consumo del recurso agua y 20 % de la energía incorporada a los materiales.

Según la IFC (2019), esta herramienta es predictiva y nos permite conocer el rendimiento energético de un edificio y los costos de inversión, antes que este se construya o renueve, ya que incluye los elementos siguientes:

- Calculadora financiera
- Enfoque cuantitativo
- Ventanilla única
- Integración del proyecto
- Localización específica
- Edificios verdes para todos

El formato de la herramienta, se puede observar en el anexo 2.

1.5.2. Certificación CASA Guatemala

GGBC (2020), elabora el sistema de certificación CASA Guatemala, manifestando que es necesario mejorar la sostenibilidad ambiental del país, por ello desarrollan un método de evaluación para viviendas, con el objetivo de impulsar cambios integrales en el uso de los recursos naturales y el confort de los usuarios.

Es importante resaltar que, la guía de aplicación de esta certificación, indica que su utilidad es en la etapa de diseño del proyecto; y por la naturaleza de esta investigación, se realizó una consulta vía electrónica al GGBC, sobre su aplicación en rehabilitación energética en viviendas existentes y se considera que, en efecto, las estrategias de CASA permiten hacer mejoras significativas al edificio existente.

CASA Guatemala se encuentra separado en categorías de acuerdo a las estrategias que se desean aplicar y se subdividen en logros, considerando los aspectos siguientes:

- Sitio 5 logros
- Agua 4 logros
- Energía 8 logros
- Materiales y Recursos 7 logros
- Ambiente Interior 4 logros
- Liderazgo / Creatividad libre

De acuerdo con la amplitud del contenido de la certificación, en el anexo 3 se incluye la lista de chequeo que se utiliza para alcanzar la certificación CASA Guatemala.

1.6. Rehabilitación energética en casas

La Consejería de Economía y Hacienda de la Comunidad de Madrid (2014), explica en su investigación que: la rehabilitación se realiza para actualizar estética o funcionalmente los edificios construidos en las décadas de los 80 y 90, ya que tienen un consumo de energía ineficiente, porque no existían normativas u obligatoriedad para realizar construcciones sostenibles.

Así mismo el Instituto Valenciano de la Edificación (2011), explica que, de manera similar a una certificación ambiental para edificios nuevos, se debe proponer un distintivo para la rehabilitación de edificios existentes; y considera tres requisitos que son: la accesibilidad al medio físico, ahorro de energía y uso sostenible de los recursos naturales. Mostrando con ello que, para conseguir la rehabilitación energética, debe haber coherencia con las soluciones constructivas, el estado de conservación estructural y la habitabilidad del edificio, para incorporar mejoras pasivas respecto a la envolvente del edificio y mejoras activas con la introducción de equipos y sistemas eficientes, aunando al proceso la planificación de mantenimiento del edificio.

1.7. Potencial de ahorro energético y reducción de CO₂ en casas existentes

El Instituto Valenciano de la Edificación (2015), dentro su investigación indica que: el conocer el potencial de ahorro de energía en casas existentes, ayudara a mejorar la eficiencia energética de sus sistemas y elementos constructivos pasivos, planteando las fases de estudio siguientes:

- Evaluación de la demanda energética del sector residencial según zona climática, caracterizando la tipología constructiva de dichos edificios.

- Identificación de patrones de uso y hábitos de consumo energético, por medio de encuestas.
- Estimación del consumo energético basada en las encuestas de consumo de los equipos y sistemas de la vivienda, clasificadas por tipo de energía (gasoil, gas, electricidad y otros).
- Evaluación del ahorro energético alcanzado, determinado por demandas teóricas y los consumos reales por tipología de vivienda en la zona climática.
- Escenarios y alcance de un Plan de rehabilitación que pueda generar conocimiento del potencial de ahorro energético real.

Es de resaltar que Luxán, Vázquez, Gómez, Román, y Barbero (2011), consideran el coste energético de derribar un edificio para construir uno nuevo, como un factor que justifica la rehabilitación de un edificio de viviendas, ya que se sustituirán algunos elementos constructivos y de instalaciones, suponiendo un potencial de ahorro energético y de contaminación del 60 % en comparación con uno nuevo, evaluando los aspectos siguientes:

- Contaminación acústica por la demolición
- Contaminación del aire, por material particulado
- Consumo de energía y materiales para medidas de seguridad
- Consumo de combustibles de maquinaria y transporte de desechos
- Contaminación por obstrucción de tráfico
- Ocupación del suelo por los materiales vertidos
- Impacto ambiental en la obtención de materiales
- Contaminación por la fabricación de productos
- Consumo de energía y combustibles para el traslado de materiales y maquinaria

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Para conocer a mayor detalle el funcionamiento de las certificaciones ambientales propuestas para el desarrollo de éste capítulo, se recibió capacitación con el GGBC en modalidad virtual y atendiendo a los derechos de autor, para uso de la información, se solicitó autorización expresa al GGBC y a IFC, a través de un correo electrónico dirigido a los sitios web: educacion@guatemalagbc.org y edge@ifc.org. Y para dar respuesta a los objetivos de investigación, se implementaron las actividades siguientes:

2.1. Identificar los criterios de las certificaciones ambientales EDGE y CASA Guatemala para certificar edificios residenciales existentes

Las guías de aplicación de las certificaciones EDGE y CASA Guatemala demuestran que el sistema de gestión es, el diseño y construcción de edificios sostenibles, pero interiorizando en la información bibliográfica se identificó que existe oportunidad para certificar edificios existentes, si se cumplen los criterios referidos en la tabla II.

Tabla II. **Criterios de certificación**

EDGE	CASA Guatemala
Reducción del 20 % del consumo de energía eléctrica	Proyecto estrictamente habitacional
Reducción del 20 % del consumo de agua	Proyecto con áreas mayores a 35 m ²
Reducción del 20 % del consumo en materiales	Cumplimiento de estrategias de al menos 20 puntos de 87 disponibles
Estructura de la casa en buen estado	Estructura de la casa en buen estado

Fuente: elaboración propia.

2.2. Establecer las estrategias de eficiencia energética que EDGE y CASA Guatemala ofrecen para reducir el consumo de energía y recursos naturales en una casa existente ubicada en clima cálido

Para este objetivo, en las tablas III y IV se integraron todas las estrategias de eficiencia energética que proponen las certificaciones EDGE y CASA Guatemala, para hacer eficiente energéticamente un edificio, para disponer de ellas en el análisis experimental.

Tabla III. Estrategias generales certificación CASA Guatemala

Variable	Estrategia	Partes	
Sitio	Alteración de suelos	Reducción de perturbaciones	
		Control de erosión y sedimentación	
		Movimientos de tierra balance cero	
	Agua Pluviales	-	
	Comunidad, comercio y transporte	Conectividad a transporte colectivo	Servicios básicos
			Centros educativos y de organización comunitaria
			Uso mixto
	Conservación y biodiversidad	Tala de árboles y reforestación	Superficies vegetadas
			Biodiversidad del sitio
Islas de calor	Techos de edificios	Pavimentos	
Agua	Irrigación de jardines	30 % - 49 % de ahorro	
		50 % - 69 % de ahorro	
		70 % - 89 % de ahorro	
	Agua potable para higiene	Ruta de cumplimiento A artefactos eficientes	Ruta de cumplimiento B de 25 % al 39 %
			Ruta de cumplimiento B de 40 % al 59 %
			Ruta de cumplimiento B de 60 % o más
	Tratamiento de Aguas residuales y pluviales	Aguas negras	Aguas pluviales
			Infiltración
	Manejo de aguas balance cero	Agua pluvial	Agua potable

Continuación de la tabla III.

Variable	Estrategia	Partes
Energía	Iluminación	Eficiencia de luminaria
		Libre de mercurio
		Reducción de DPI
		Instalaciones a detalle
		Calidad de iluminación
		Controles de iluminación
	Fenestras - Ganancias térmicas	Proporción de fachadas
		Tecnología de vitrinas
	Iluminación natural	-
	Energía renovable - generación eléctrica	Instalación prescriptiva
		Instalación detallada
	Energía renovable - calefacción de agua	Dimensionamiento de tanque de calentador de agua
		distancia de instalación
Aislamiento de instalaciones		
Eficiencia de distribución		
Motores eléctricos	-	
Climatización	-	
Electrodomésticos	-	
Materiales	Desechos de construcción	Desvío de desechos del relleno sanitario 10 %
		Desvío de desechos del relleno sanitario 20 %
		Desvío de desechos del relleno sanitario 30 %
	Desechos sólidos domésticos	Acopio condominal
		Acopio individual
	Regionalidad de materiales	-
	Contenido reciclado de materiales	-
	Industria local de PYMES	-
	Certificaciones	-
	Guías sostenibles para el proceso constructivo	-
Interior	Ventilación	Ventilación natural
		Aperturas para ventilación natural
		Renovaciones de aire en el ambiente
		Calidad del aire
	Confort térmico	Natural
		Mecánico
	Control de moho	Reducción por iluminación y ventilación
		Reducción por impermeabilización
Baja emisividad	-	
Liderazgo	Estrategias de liderazgo y creatividad	-

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Estrategias generales certificación EDGE**

Variable	Estrategia
Energía	Iluminación
	Ventilación
	Calefacción
	Refrigeración
	Agua caliente
	Electrodomésticos
	Energías renovables
	Compensaciones de emisiones de carbono
Agua	Grifos de bajo flujo en cocinas
	Artefactos eficientes
	Sistemas de recolección de agua de lluvia
	Reciclaje de aguas grises para sanitarios
	Reciclaje de aguas negras para sanitarios
Materiales	Losas de piso y entrepiso
	Cubierta
	Paredes externas
	Paredes interiores
	Acabado de piso
	Marcos de ventana
	Aislamiento

Fuente: elaboración propia.

Con lo antes descrito, se implementó un análisis experimental, para definir la propuesta de rehabilitación energética a la muestra seleccionada, realizando las actividades que se detallan en los apartados a continuación:

2.2.1. Diagnóstico

El diagnóstico se realizó con varios pasos consecutivos, dispuestos de la manera siguiente:

2.2.1.1. Selección de la muestra

El criterio de selección de la muestra se realizó a conveniencia, por la limitante de acceso a la información, en virtud que la captura de datos se hizo durante el confinamiento por pandemia, sin embargo, las 4 muestras son significativas por las características siguientes:

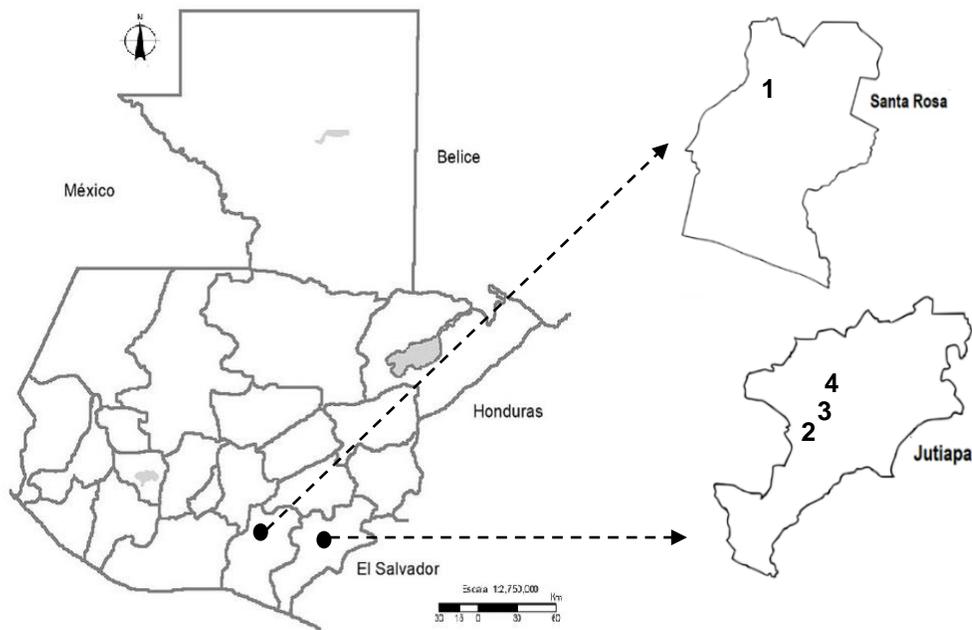
- Casas construidas en años anteriores al 2010.
- Casas con consumos mayores a 300 kW/h.
- Tipología constructiva variada (muros de mampostería reforzada, con techos de concreto y techos de lámina).
- Ubicación dentro del terreno variada (viviendas aisladas y viviendas con colindancias).
- Localización en la misma región climática.
- Infraestructura habitable.

2.2.1.2. Localización de la muestra

Las 4 muestras se localizaron en la región climática Valles de Oriente, la cual abarca 6 departamentos del país. No obstante, por la limitante descrita anteriormente, se ubicaron las muestras en 2 departamentos, una en el departamento de Santa Rosa y tres en el departamento de Jutiapa.

La dirección exacta, se omite a requerimiento de los propietarios por privacidad y en la figura 6 se representa la ubicación dentro de cada departamento.

Figura 6. **Mapa localización de muestras**



Fuente. Mapas del Mundo. (2021). *Mapa de Guatemala*. Consultado el 11 de agosto de 2021. Recuperado de <https://www.mapasdelmundo.org/91-mapa-guatemala-pais/>

2.2.1.3. **Actividades previas a la visita de campo**

En este punto se verificó que los propietarios contaran con las facturas de pago de los servicios básicos (electricidad y agua potable), planos de arquitectura, estructuras e instalaciones; y para los casos que no tenían disponible toda la información, se programaron las actividades descritas a continuación:

- Levantamiento de medidas en un esquema para cuantificar los metros cuadrados de construcción y áreas de jardines;
- Cuantificar y medir la ventanería, para determinar el área total;
- Listar las especificaciones de los materiales utilizados en el piso, muros y cubierta;
- Determinar el consumo mensual de electricidad, usando los datos de facturación y listar las especificaciones de las luminarias, electrodomésticos, motores y equipos eléctricos y las horas de uso de cada uno al mes; y
- Determinar el consumo mensual de agua en metros cúbicos, listando la cantidad de usuarios y las especificaciones de consumo de cada artefacto sanitario.

2.2.1.4. Visita de campo: evaluación de habitabilidad y recolección de información

De acuerdo con el Instituto Valenciano de la Edificación (2011), la factibilidad de rehabilitar una casa está relacionada con el estado de conservación estructural y de habitabilidad de esta.

Por lo cual, considerando el nivel experimental de la investigación, en lugar de contratar a un especialista en estructuras para obtener un dictamen, se optó por realizar en la visita de campo, una inspección visual de la infraestructura por la experiencia en el análisis de habitabilidad de bienes inmuebles; evaluando los aspectos planteados en el formato de evaluación rápida de obras existentes, de las Normas de seguridad Estructural para la República de Guatemala (2018), de la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica AGIES (anexo 4); con lo cual, se consolidan los resultados de las boletas de evaluación en la tabla V.

Tabla V. **Consolidado de la evaluación de la infraestructura**

Condiciones externas y daños geotécnicos	Muestra 1 (Casa asilada)		Muestra 2 (Casa asilada)		Muestra 3 (Casa colindante)		Muestra 4 (Casa colindante)	
	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No
Colapso		X		X		X		X
Inclinación de la edificación		X		X		X		X
Daños severos en muros		X		X		X		X
Desplazamiento cimentación		X		X		X		X
Peligro desplome de elementos		X		X		X		X
Asentamientos		X		X		X		X
Corrimientos		X		X		X		X
Grietas en suelo		X		X		X		X
Deslizamiento		X		X		X		X
Derrumbes		X		X		X		X
Licuefacción		X		X		X		X

Fuente: elaboración propia.

Con los aspectos evaluados en la tabla anterior, se deduce que no hay condiciones de riesgo y se establece que la infraestructura es habitable y cumplen con ese criterio para ser certificadas. Adicionalmente, para este punto, se establece el área de construcción de cada muestra, como se observa en la tabla VI.

Tabla VI. **Áreas de construcción**

Tipo	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Área	180 m ²	240 m ²	160 m ²	175 m ²

Fuente: elaboración propia.

2.2.1.5. Línea base del consumo eléctrico

La energía eléctrica es una variable por reducir con las estrategias de EDGE y CASA Guatemala y de allí la importancia de establecer la línea base en cada muestra; y para ello se emplearon dos métodos: el primero es un método práctico, utilizando la factura de electricidad como se observa remarcado en la figura 7.

Figura 7. Consumo eléctrico en factura

ENERGUATE
LUZ DE MI TIERRA

DISTRIBUIDORA DE ELECTRICIDAD DE ORIENTE, S.A. (DEORSA) - NIT: 1494620-3
Diag. 6 10-50 z10 Interamericas World Center Torre Sur Nivel 14 Of. 1401
www.energuate.com - atencionalcliente@energuate.com
ATENCION AL CLIENTE, TELEFONO: 2385 2222
GUATEMALA, GUATEMALA

NOMBRE COMPLETO **NIS**

DIRECCIÓN COMPLETA, ZONA, NO. DE CASA Factura No.: RBD-000000007936
ZONA, MUNICIPIO Mes: FEBRERO NIT
Oficina Comercial: Fecha de Emisión: 01/02/2020
NIR: 0.399999.01.14/01/2020 Original Cliente MED: 0001111111

TOTAL A PAGAR Q 000.00	Q000.00	Consumo de Electricidad	1	300 kWh Energía del mes
	Q38.00	Tasa de Alumbrado Público	2	
	Q 0.00	Pago de Convenio	3	
	Q 0.00	Facturas no pagadas	4	
FECHA DE PAGO 15 de febrero 2020				

Fuente: Empresa Distribuidora de Energía Eléctrica de Guatemala. (2020). *Conoce tu factura*. Consultado el 10 de junio de 2020. Recuperado de <https://www.energuate.com/conoce-tu-factura>

En cuanto al segundo método, se desarrolla a mayor detalle listando en una tabla de Excel, la luminarias, electrodomésticos, motores o equipos según su tipo; cantidades, potencia de consumo y tiempo de uso, para operar la fórmula a continuación:

$$\text{Consumo de energía} = \frac{\text{Cantidad de equipos} \times \text{Consumo} \times \text{tiempo}}{1000}$$

Dónde:

Consumo = Potencia en Watts de cada equipo (definida en las especificaciones de la etiqueta o en su ausencia, verificar en el sitio web <https://www.energuate.com/calcula-tu-consumo>).

Tiempo = Horas de uso al mes de cada equipo (Información definida con el propietario)

En consecuencia, en las tablas VII, VIII, IX y X se definieron los consumos de energía eléctrica mensual para cada una de las casas seleccionadas.

Tabla VII. **Consumo eléctrico muestra 1**

Equipo	Cantidad	Consumo unitario (W)	Tiempo (h)	Consumo energía (kWh)/mes
Bombillas incandescente 75W	25	75	60	112.50
Computadora	3	50	30	4.50
Impresora	1	30	1	0.03
Internet	1	10	180	1.80
Televisión	3	150	35	15.75
Refrigeradora	1	250	360	90.00
Lavadora	1	650	8	5.20
Secadora	1	600	2	1.20
Plancha de ropa	1	1200	5	6.00
Plancha de cabello	1	300	5	1.50
Secador de pelo	1	825	1	0.825
Licuada	1	975	2	1.95
Tostadora	1	1800	1	1.80
Microondas	1	900	2	1.80
Cafetera	1	400	3	1.20
Batidora	1	200	1	0.20
Calentador de agua	1	5400	15	81.00

Continuación de la tabla VII.

Equipo	Cantidad	Consumo unitario (W)	Tiempo (h)	Consumo energía (kWh)/mes
Bomba para Cisterna	1	370	1	0.37
Ventilador de pared	3	60	120	21.60
TOTAL CALCULADO				349.225
TOTAL FACTURADO				350.00

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. Consumo eléctrico muestra 2

Equipo	Cantidad	Consumo unitario (W)	Tiempo (h)	Consumo energía (kWh)/mes
Bombillas ahorradoras	47	20	60	56.40
Computadora	5	50	80	20.00
Impresora	1	30	5	0.15
Internet	1	10	300	3.00
Televisión	7	150	30	31.50
Refrigeradora	1	250	360	90.00
Lavadora	1	650	12	7.80
Secadora	1	600	3	1.80
Lavavajillas	1	1500	15	22.50
Plancha de ropa	1	1200	6	7.20
Plancha de cabello	1	300	3	0.90
Secador de pelo	1	825	2	1.65
Afeitadora	1	20	1	0.02
Licuada	1	975	3	2.93
Tostadora	1	1800	1	1.80
Microondas	1	900	4	3.60
Cafetera	1	400	5	2.00
Waflera	1	800	2	1.60
Batidora	1	200	1	0.20
Sistema de vigilancia CCTV	1	1286	55	70.73
Bomba para Cisterna	1	370	2	0.74
Aire Acondicionado (minisplit)	2	950	55	104.50
TOTAL CALCULADO				431.015
TOTAL FACTURADO				431.00

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Consumo eléctrico muestra 3**

Equipo	Cantida d	Consumo unitario (W)	Tiempo (h)	Consumo energía (kWh)/mes
Bombillas incandescente 75W	20	75	80	120.00
Computadora	2	50	60	6.00
Impresora	1	30	1	0.03
Internet	1	10	360	3.60
Televisión	4	150	30	18.00
Refrigeradora	1	250	360	90.00
Lavadora	1	650	16	10.40
Plancha de ropa	1	1200	4	4.80
Plancha de cabello	1	300	5	1.50
Secador de pelo	1	825	1	0.825
Afeitadora	1	20	1	0.02
Licuadora	1	975	2	1.95
Microondas	1	900	2	1.80
Cafetera	1	400	2	0.80
Batidora	1	200	1	0.20
Sistema de vigilancia CCTV	1	1286	40	51.44
Equipo de sonido	1	300	5	1.50
Bomba para Cisterna	1	370	1	0.37
Ventilador de pared	2	60	30	3.60
TOTAL CALCULADO				316.835
TOTAL FACTURADO				317.00

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Consumo eléctrico muestra 4**

Equipo	Cantidad	Consumo unitario (W)	Tiempo (h)	Consumo energía (kWh)/mes
Bombillas ahorradoras	22	20	100	44.00
Computadora	2	50	90	9.00
Impresora	1	30	1	0.03
Internet	1	10	360	3.60
Televisión	1	150	90	13.50
Refrigeradora	1	250	360	90.00
Lavadora	1	650	10	6.50
Plancha de ropa	1	1200	10	12.00
Plancha de cabello	2	300	5	3.00
Secador de pelo	1	825	2	1.65
Afeitadora	1	20	1	0.02
Licuadora	1	975	5	4.875

Continuación de la tabla X.

Equipo	Cantidad	Consumo unitario (W)	Tiempo (h)	Consumo energía (kWh)/mes
Tostadora	1	1800	2	3.60
Cafetera	1	400	8	3.20
Waflera	1	800	2	1.60
Batidora	1	200	1	0.20
Sistema de vigilancia CCTV	1	1286	60	77.16
Equipo de sonido	1	300	10	3.00
Calentador de agua	1	5400	3	16.20
Ventilador de pared	3	60	90	16.20
TOTAL CALCULADO				309.335
TOTAL FACTURADO				310.00

Fuente: elaboración propia.

2.2.1.6. Línea base del consumo de agua

Al establecer el consumo de agua para la línea base, se denota que en los departamentos de Jutiapa y Santa Rosa la dotación no se cuantifica en metros cúbicos despachados al mes; siendo necesario establecer la dotación en 200 litros de agua por persona al día, tomando como referencia lo establecido por la Empresa Municipal de Agua de la Municipalidad de Guatemala (2018), para viviendas unifamiliares en la Ciudad de Guatemala.

Con esa premisa se consolidó en la tabla XI, el consumo de agua para cada casa, estableciendo la cantidad de usuarios, el consumo diario de cada uno y operando las cantidades para obtener el consumo mensual en litros y metros cúbicos.

Tabla XI. **Consumo de agua mensual**

No.	Usuarios	Consumo por persona (litros)	Total Consumo diario (litros)	Total Consumo mensual (litros)	Total Consumo mensual (m3)
Muestra 1	6	200	1,200	36,000	36.00
Muestra 2	8	200	1,600	48,000	48.00
Muestra 3	5	200	1,000	30,000	30.00
Muestra 4	5	200	1,000	30,000	30.00

Fuente: elaboración propia.

2.2.2. Implementación de estrategias de eficiencia energética

En este apartado se analiza el comportamiento de selección de las estrategias que las herramientas de las certificaciones CASA Guatemala y EDGE ofrecen, frente a las variables clima e infraestructura existente, para elaborar la propuesta de rehabilitación energética.

2.2.2.1. Lista de chequeo CASA Guatemala

La guía de aplicación de la certificación CASA Guatemala, establece para cada estrategia de la lista de chequeo (anexo 3) un valor predeterminado y su cumplimiento pondera el grado de certificación a alcanzar.

Sin embargo, para esta investigación la selección de estrategias se hizo a nivel experimental, debido a que los formularios para verificar el cumplimiento no están disponibles al público, únicamente se brindan a los profesionales que están optando a certificar un proyecto. Por lo cual, con esa premisa en la tabla XII se consolidan los resultados de las listas de chequeo utilizadas en el diagnóstico, con las estrategias que podrían implementarse en cada muestra.

Tabla XII. Selección de estrategias CASA Guatemala

Variable	Estrategias	Logros	Punteo	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Agua	Irrigación de jardines	30 % - 49 % de ahorro	1	X	X	X	X
	Uso del agua potable	Artefactos eficientes	2	X	X		X
Energía	Iluminación	Eficiencia de luminarias	2	X	X	X	X
		Libre de mercurio	1	X	X	X	X
		Calidad de iluminación	1		X	X	X
	Iluminación natural	Apertura de ventanas	2	X	X	X	X
	Electrodomésticos	Equipos eficientes	1	X	X	X	X
	Materiales	Desechos de construcción	Desvío de desechos del relleno sanitario 30 %	3	X	X	X
Desechos sólidos domésticos		Acopio individual	1	X	X	X	X
Regionalidad de materiales		Selección de materiales localmente	2	X	X	X	X
Contenido reciclado en materiales		Materiales que tienen porcentajes de reciclado	1		X	X	X
Certificaciones		Materiales que cuentan con certificaciones ambientales	1	X	X		
Interior	Ventilación	Ventilación natural	4		X		
		Aperturas para ventilación natural	1	X	X		
		Renovaciones de aire en el ambiente	1		X	X	
		Calidad del aire	1		X		X
	Confort térmico	Natural	3		X		
		Mecánico	2	X	X	X	X
	Control de moho	Reducción por iluminación y ventilación	1		X	X	
		Reducción por impermeabilización	1	X	X	X	X
Liderazgo	Estrategias de liderazgo y creatividad	Huertos familiares	4		X		X

Fuente: elaboración propia.

2.2.2.2. Modelaje de estrategias con el software EDGE

El software EDGE (versión 2.1.5) es de uso gratuito, con recursos para ser utilizado en 160 países, ya que en su interfaz tiene métricas que consideran las condiciones climáticas donde se emplaza el proyecto y los costos locales para las soluciones técnicas predeterminadas, para las variables de energía, agua y materiales de construcción. Para su uso, únicamente se registra un usuario en el sitio web de la certificación (<https://edgebuildings.com/>).

Tomando en cuenta las estrategias seleccionadas en la implementación de la lista de chequeo para las cuatro muestras, se decide utilizar la muestra con mayor consumo eléctrico (número 2), para implementar la modelación de estrategias con el software EDGE.

A medida que se ingresa en el software, se habilitan apartados para llenar la información básica y de línea base del proyecto, con los datos recolectados en campo, como se observa en la tabla XIII.

Tabla XIII. **Diseño de proyecto**

<u>Detalles del Proyecto</u>	
Nombre del Proyecto Rehabilitación energética	Dirección línea 1 Jutiapa
Cantidad de edificios distintos 0	Dirección línea 2
Cantidad de subproyectos EDGE asociados 1	Ciudad Jutiapa
Superficie total del proyecto (m ²) 240	Estado/Provincia Jutiapa

Continuación de la tabla XIII.

Nombre del titular del Proyecto Jacqueline Marisol García Cantoral	Código postal
Email del titular del Proyecto garciacantoral@gmail.com	País Guatemala
Teléfono del titular del Proyecto Móvil 502 - 41103391	Número de Proyecto 10000695342
¿Compartir con inversor(es) o banco(s) No	
Subproyecto(s) asociados(s) Rehabilitación energética de casas	
Detalles de subproyecto	
Nombre del subproyecto Rehabilitación energética de casas	Dirección línea 1 Zona climática Valles de Oriente
Nombre de la Casa o Edificio Muestra 2	Dirección línea 2
Multiplicador del subproyecto 1	Ciudad Jutiapa
Etapas de certificación Postconstrucción	Estado/Provincia
Estado Autorevisión	Código postal 502
Auditoría	País Guatemala
Certificador	Tipo de subproyecto Edificio existente
	Año de construcción 2005
Datos de servicios públicos del edificio	
Consumo anual medio de electricidad (kWh / año) 5172	índice de rendimiento energético del edificio existente (kWh / m ² / año) 28.92
Consumo anual medio de agua (m ³ / año) 576	índice de consumo de agua de edificio existente (kL / mes / Unidad Vivienda) 48.00
Consumo anual medio de gas natural (m ³ / año)	
Consumo anual medio de diésel (kL / año)	
Consumo anual medio de GPL (kg / año) 135	

Continuación de la tabla XIII.

Datos del edificio	Área detallada	Entrada de usuario
Tipo de unidad de vivienda	Por defecto	
Casa	Dormitorios / Unidad (m ²)	
	91	
Área promedio de la unidad de vivienda (m ²)	Cocina (m ²)	
240	16	
Dormitorios / Unidad (número)	Sala / Comedor (m ²)	
6	53	
Número de pisos / niveles	Baño (m ²)	
2	14	
Unidades de vivienda (número)	Cuarto de ropas, balcón, punto fijo** (m ²)	
1	66.72	
Ocupación (personas por unidad)	Área interna bruta (m ²)	
8	240	
	Longitud de las paredes externas en metros por piso (metros)	
	45	
	Área de techo / unidad (m ²)	
	120	
	Proporción de vidrio respecto a la superficie / piso (%)	
	31.30 %	

**El campo de cuarto de ropas, balcón y punto fijo (m²) es equivalente al espacio restante para alcanzar el área interna bruta total (m²).

Sistemas del edificio

¿El diseño del edificio incluye sistema de A/A?

Sí

¿El diseño del edificio incluye sistema de calefacción de espacios?

No

Continuación de la tabla XIII.

Supuestos para la línea base

<i>Por defecto</i>	<i>Entrada de usuario</i>	
Combustible para el calentamiento de agua		
Resistencia eléctrica	<i>Por defecto</i>	<i>Entrada de usuario</i>
Combustible utilizado para la calefacción	Ene.	
Electricidad	17.1	27
Costo de la electricidad (\$ / kWh)	Feb.	
0.16	18.2	28
Costo del combustible diésel (\$ / L)	Mar.	
0.57	19.3	30
Costo del GPL / Gas Natural (\$ / L)	Abr.	
0.67	20.4	31
Costo del agua (\$ / kL)	Mayo	
0.01	20.5	30
Emisiones de CO ₂ g / kWh de electricidad (gramos / kWh)	Jun.	
607	19.8	27
Proporción de vidrio respecto a la pared (%)	Jul.	
30 %	19.6	28
Reflectividad solar de la pintura: pared (%)	Ago.	
40 %	19.9	27
Reflectividad solar de la pintura: techo (%)	Sept.	
30 %	19.4	28
Eficiencia de la caldera de agua caliente (%)	Oct.	
80 %	19.1	29
	Nov.	
	18.2	29
	Dic.	
	17.6	28
	Latitud (grados)	
	15	
Eficiencia del sistema de aire acondicionado (COP)		
2.90		

Fuente: International Finance Corporation. (2020). *Software Excellence in Design for Greater Efficiencies v2.1.5*. Consultado el 10 de julio de 2020. Recuperado de <https://edgebuildings.com/project/homes>

Para los apartados del software denominados supuestos para la línea base, se dejó la información preestablecida por defecto en el software, pero para definir la temperatura máxima mensual, se utilizó la entrada del usuario para modificar las cantidades en grados centígrados, con la información histórica del año 2020, para el departamento de Jutiapa, recuperada de la página web <https://weather.com>.

Luego, para evaluar la variable de energía, el software desplegó las estrategias de eficiencia energética que dispone, seleccionando aquellas que tenían relación con las establecidas en la lista de chequeo, como se muestra en la tabla XIV.

Tabla XIV. **Estrategias para ahorrar energía**

Medidas de eficiencia energética

HME01 Reducción de la Proporción de vidrio en la fachada exterior - WWR de 20%	HMET3 Sensible Heat Recovery from Exhaust Air - Efficiency of 50%
✓ HME02 Pintura reflectiva/tejas para techo: reflectividad solar (albedo) de 0.7	HME13 Caldera de alta eficiencia para agua caliente - Eficiencia de 95 %
HME03 Pintura reflectiva para paredes externas: reflectividad solar (albedo) de 0.7	HME14 Bomba de calor para agua caliente - COP de 3
HME04 Control solar externo - Factor promedio de sombreado anual (AASF) de 0.51	✓ HME15 Refrigeradores y lavadoras de ropa energéticamente eficientes
HME05 Aislamiento del techo - Valor-U de 0.45	✓ HME16 Bombillas ahorradoras de energía - Espacios internos
HME06 Aislamiento térmico de paredes externas - Valor-U: 0.44	✓ HME17 Energy-Saving Light Bulbs - Common Areas and Outdoor Areas
HME07 Vidrio de baja emisividad - Valor-U: de 3 W/m ² .K y SHGC: 0.45	✓ HME18 Controles de iluminación para iluminación exterior
HME08 Vidrio de alto rendimiento térmico - Valor-U: 1.9 W/m ² .K y SHGC: 0.28	HME19 Colectores solares de agua caliente - 50 % de la demanda de agua caliente
✓ HME09 Ventilación natural	HME20 Energía solar fotovoltaica - 25 % del uso total de energía
	HME21 Medidores inteligentes

Continuación de la tabla XIV.

HME10 Ventiladores de techo en todos los ambientes habitables	HME22 Otra energía renovable para generación de electricidad
✓ HME11 Sistema de aire acondicionado - COP de 3.5	HME23 Adquisición de energía renovable externa; equivale a 100 % de CO2 total durante el uso
HME12 Caldera de alta eficiencia para calefacción - Eficiencia: 95%	HME24 Compensación de emisiones de carbono ; 100 % de CO ₂ total

Fuente: International Finance Corporation. (2020). *Software Excellence in Design for Greater Efficiencies v2.1.5*. Consultado el 10 de julio de 2020. Recuperado de <https://edgebuildings.com/project/homes>

De igual manera en la figura 8, se observa la selección de estrategias para ahorrar agua que a consideración individual se podían implementar como solución para reducir el consumo de agua en la muestra analizada.

Figura 8. Estrategias para ahorrar agua

Medidas de eficiencia de agua

- ✓ HMW01 Cabezales de ducha de bajo flujo - 8 lts./min
- ✓ HMW02 Grifos de bajo flujo para cocina - 6 l/min
- ✓ HMW03 Grifos de bajo flujo en todos los baños - 6 L/min
- ✓ HMW04 Descarga doble para inodoros en todos los baños - 6 L en la primera descarga y 3 L en la segunda descarga
- HMW05 Sanitarios de descarga simple - 6 l. por descarga
- HMW06 Sistema de recolección de agua de lluvia - 50% del área del techo utilizado para este fin
- HMW07 Aguas grises recicladas para la descarga de los sanitarios
- HMW08 Aguas negras recicladas para la descarga de los sanitarios

Fuente: International Finance Corporation. (2020). *Software Excellence in Design for Greater Efficiencies v2.1.5*. Consultado el 10 de julio de 2020. Recuperado de <https://edgebuildings.com/project/homes>

Y por último en la tabla XV, se observa la selección de estrategias para la variable de materiales, optando por la reutilización del sistema constructivo de la casa, sin embargo, para observar la variabilidad de rendimientos, también se eligió la estrategia de cambio de ventanas.

Tabla XV. Estrategias para ahorrar energía incorporada a los materiales

Medidas de eficiencia de los materiales

		Proporción %	Grosor (mm)
HMM01	Losas de piso y entrepiso Losas reforzadas de concreto en obra 300 mm Acero : 33 kg/m ²	Reutilización de losas del piso existentes	100%
HMM02	Construcción de cubierta Losas reforzadas de concreto en obra 300 mm Acero : 33 kg/m ²	Tipo 1 Reutilización del techo existente	100%
HMM03	Paredes externas Pared de ladrillo común con yeso externo e interno 200 mm	Tipo 1 Reutilización de pared existente	100%
HMM04	Paredes interiores Pared de ladrillo común con yeso en ambas caras 100 mm	Tipo 1 Reutilización de pared existente	100%
HMM05	Acabado de piso Baldosa cerámica	Tipo 1 Reutilización del piso existente	100%
HMM06	Marcos de ventana Aluminio Vidriado simple	Tipo 1 Madera	

Fuente: International Finance Corporation. (2020). *Software Excellence in Design for Greater Efficiencies v2.1.5*. Consultado el 10 de julio de 2020. Recuperado de <https://edgebuildings.com/project/homes>

2.3. Estimar los beneficios económicos y ambientales de implementar estrategias de eficiencia energética en una casa existente comparada con la línea base de consumo de esta

Al momento de establecer la propuesta de estrategias, a través de la herramienta lista de chequeo de la certificación CASA Guatemala, no se logró establecer a nivel experimental la identificación de beneficios económicos o ambientales, debido a que, no hay una línea base de comparación de consumos.

A diferencia de la lista de chequeo, el software EDGE si permitió comparar el consumo de energía, agua y materiales definidos en la línea base de la muestra seleccionada, con los resultados obtenidos con las estrategias implementadas a nivel experimental, dando como resultado lo observado en la tabla XVI.

Tabla XVI. Reporte de resultados EDGE

Resultados

Consumo final de energía (kWh/Mes/Unidad Vivienda) 277.39	Ahorro de CO ₂ durante el uso (tCO ₂ /Año/Unidad Vivienda) 6.16
Consumo final de agua (kL/Mes/Unidad Vivienda) 35.85	Ahorro de energía incorporada en materiales (MJ/unidad) 770,535.37
Costos de servicios públicos - Línea base (\$/mes/unidad) 370.57	Costo incremental (\$/unidad) 12,060.72
Reducción en el costo de servicios públicos (\$/mes/unidad) 133.51	Retorno en años (Años) 7.53
Ahorros de energía (MWh/Año) 18.43	Ahorros de agua (m ³ /año) 145.84
Ahorros de energía incorporada en los materiales (GJ) 770.54	Superficie total del subproyecto (m ²) 240
Emisiones De Carbono (tCO ₂ /Año) 11.11	

Fuente: International Finance Corporation. (2020). *Software Excellence in Design for Greater Efficiencies v2.1.5*. Consultado el 10 de julio de 2020. Recuperado de <https://edgebuildings.com/project/homes>

Es importante mencionar, que el software generó un listado de verificación establecido en anexo 5, para dar cumplimiento a las estrategias seleccionadas en la propuesta de rehabilitación energética, si se quiere certificar el proyecto.

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Resultados del objetivo 1

Con el análisis bibliográfico se identificó que las certificaciones EDGE y CASA Guatemala tienen la versatilidad de utilizarse para diseñar nuevos edificios sostenibles y para mejorar la eficiencia energética de los edificios existentes, siempre y cuando las estructuras sean habitables y se cumplan los criterios que se muestran en la tabla XVII.

Tabla XVII. **Evaluación de criterios de las certificaciones**

Criterio	Cumplimiento experimental muestra 2
Proyecto habitacional	Casa
Proyecto con áreas mayores a 35 m ²	240 m ²
Cumplimiento de estrategias de al menos 20 puntos de 87 disponibles	36 puntos
Reducción del 20 % del consumo de energía eléctrica	35.64 %
Reducción del 20 % del consumo de agua	25.32 %
Reducción del 20 % del consumo en materiales	93.45 %
Estructura de la casa en buen estado	Habitable

Fuente: elaboración propia.

3.2. Resultados del objetivo 2

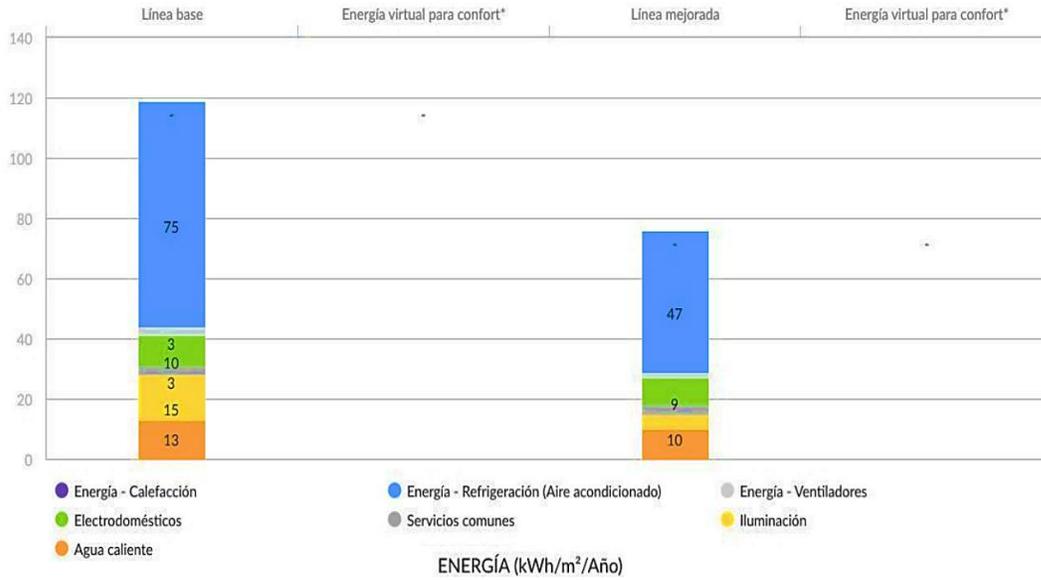
Al conocer la gama de estrategias de solución que plantean las certificaciones EDGE y CASA Guatemala, se experimentó a través del software EDGE, que la elección de estrategias refleja su rendimiento de solución de forma cuantitativa y gráfica, como se observa en las figuras 9, 10 y 11.

Figura 9. Comportamiento del ahorro energético

AHORROS DE ENERGÍA

Medidas de eficiencia energética 35.64%

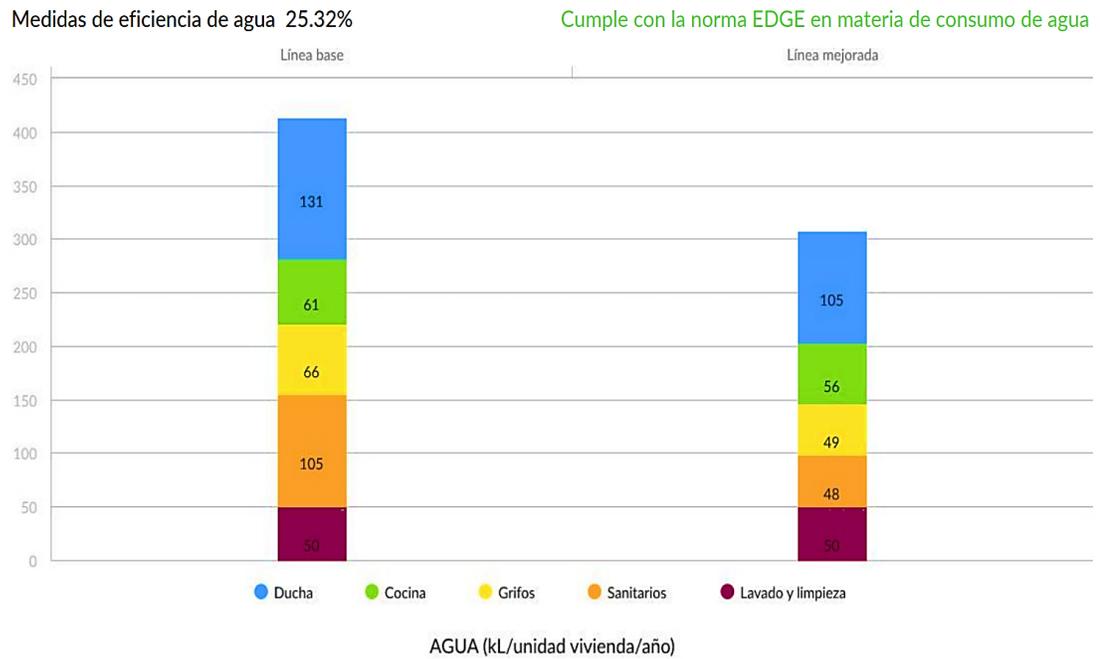
Cumple con la norma EDGE en materia de energía



Fuente: International Finance Corporation. (2020). *Software Excellence in Design for Greater Efficiencies v2.1.5*. Consultado el 10 de julio de 2020. Recuperado de <https://edgebuildings.com/project/homes>

Figura 10. Comportamiento del ahorro de agua

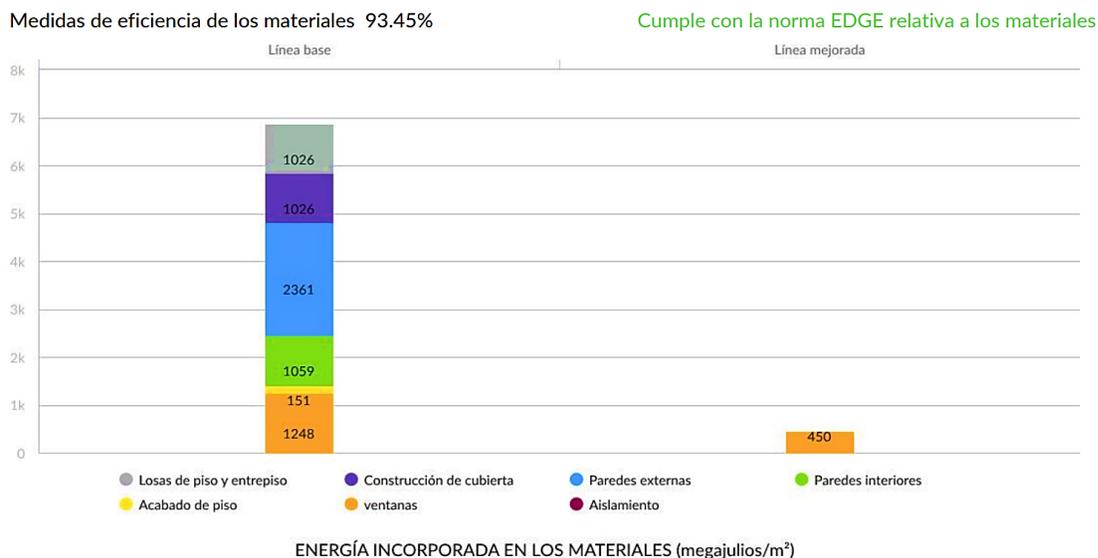
AHORRO DE AGUA



Fuente: International Finance Corporation. (2020). *Software Excellence in Design for Greater Efficiencies v2.1.5*. Consultado el 10 de julio de 2020. Recuperado de <https://edgebuildings.com/project/homes>

Figura 11. **Comportamiento del ahorro energético en materiales**

Ahorro de energía incorporada en materiales



Fuente: International Finance Corporation. (2020). *Software Excellence in Design for Greater Efficiencies v2.1.5*. Consultado el 10 de julio de 2020. Recuperado de <https://edgebuildings.com/project/homes>

Por lo cual, en la tabla XVIII se definen las estrategias de ahorro energético que integran la propuesta de rehabilitación energética de casas existentes ubicadas en clima cálido.

Tabla XVIII. **Propuesta de estrategias de solución pasiva y activa**

Variable	Estrategias
Energía	Instalación de luminarias eficientes
	Instalación de controles de iluminación exterior y de áreas comunes (automatización)
	Uso de electrodomésticos energéticamente eficientes
	Ventilación natural con la apertura de ventanas
	Refrigeración eficiente con aire acondicionado
	Control de moho por iluminación, ventilación e impermeabilización
	Aplicación de pinturas con reflectividad solar en exteriores

Continuación de la tabla XVIII.

Variable	Estrategias
Agua	Irrigación eficiente de jardines Instalación de artefactos eficientes
Materiales	Desvío de desechos del relleno sanitario, con la reutilización de estructuras y materiales Acopio, reutilización y reciclaje de desechos domiciliarios Uso de materiales regionales Materiales que tienen porcentajes de reciclado
Innovación	Aprovechamiento de jardines para huertos familiares

Fuente: elaboración propia.

3.3. Resultados del objetivo 3

Al implementar las estrategias de la lista de chequeo CASA Guatemala, los beneficios económicos y ambientales que se pueden alcanzar, se interpretaron de forma cualitativa en la tabla XIX, ponderando las estrategias seleccionadas en el desarrollo de la investigación, para definir el tipo de certificado que se obtendría si se llegara a certificar el proyecto.

Tabla XIX. **Ponderación de logros**

Tipo	Categorías			
	Certificado Base 20 - 34	Certificado ★★★ 35 - 44	Certificado ★★★★ 45 - 54	Certificado ★★★★★ 55 a +
Muestra 1 Casa aislada	20			
Muestra 2 Casa aislada		36		
Muestra 3 Casa con colindancia	20			
Muestra 4 Casa con colindancia	25			

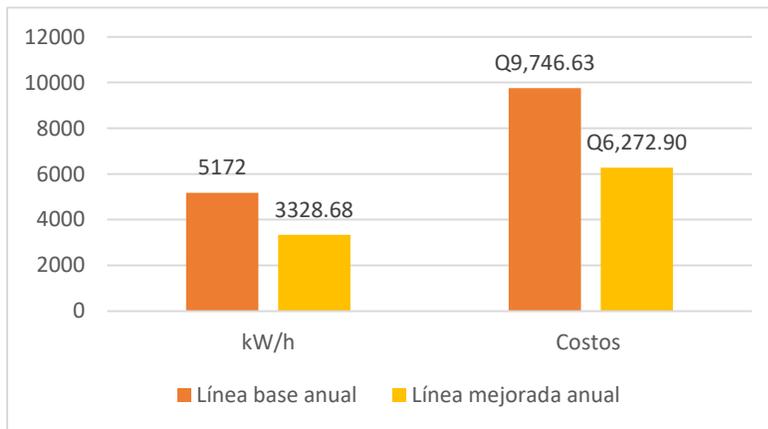
Fuente: elaboración propia.

En cuanto a la certificación EDGE, el interfaz del software generó resultados de ahorro económico, en el escenario de implementar las estrategias de solución energética seleccionadas en la investigación. Así mismo, sugirió un costo de inversión de 12,060.72 dólares americanos (Q. 93,108.76 con la tasa de cambio del Banco de Guatemala de Q 7.72 al día 29 de mayo de 2021), con un plazo de retorno de 7.53 años.

Además de mostrar los resultados del software, se plantea una opción empírica para establecer resultados económicos, multiplicando el consumo de electricidad de la línea base y de la línea mejorada, con el precio de la tarifa eléctrica del trimestre de mayo-julio de 2021, establecido por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (2021) Distribuidora de Energía Eléctrica de Oriente S.A, DEORSA en: 1.8845 Q/kWh, (tarifa no social).

Cabe mencionar, que para la operación se estableció un escenario ideal de consumo mensual no variable y se comparan los resultados en la Figura 12.

Figura 12. **Comportamiento del consumo eléctrico anual**



Fuente: elaboración propia.

Los resultados que se obtuvieron al utilizar el software EDGE se muestran en la tabla XX.

Tabla XX. **Ahorro mensual de energía y recursos naturales (porcentual)**

Categoría	Consumo línea base	Consumo mejorado	Porcentaje mínimo para certificar	Porcentaje de reducción
Energía	431 kWh/mes	277.39 kWh/mes	20 %	35.64 %
Agua	48 m ³	36 m ³	20 %	25.32 %
Materiales (energía incorporada)	6,871 MJ/m ²	4,195.43 MJ/m ²	20 %	93.45 %

Fuente: elaboración propia.

Para identificar los resultados ambientales de implementar de forma experimental la propuesta de rehabilitación, también se utilizan los datos generados por software EDGE, ya que calcula de forma integral las emisiones de CO₂ de las fuentes más significativas, como el consumo de electricidad, el consumo de combustibles y las actividades de construcción en sus diferentes etapas, como se muestra en la Tabla XXI. Sin embargo, si fuera necesario hacerlo de forma manual, se pueden considerar los criterios que establecen en la Norma ISO 14064-1: 2018 de Gases de efecto invernadero, la cual permite la cuantificación y notificación de las emisiones y absorciones.

Tabla XXI. **Beneficios ambientales anuales**

Categoría	Emisión línea base	Ahorro	Porcentaje mejorado
CO ₂	11.11 TonCO ₂ /año	6.16 TonCO ₂ /año	44.55 % anual
Agua	576 m ³	145.84 m ³	25.32 % anual

Fuente: elaboración propia.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Las certificaciones ambientales EDGE y CASA Guatemala, cuentan con guías de aplicación, que permiten definir el ámbito de aplicación y los criterios para diseñar y construir edificios sostenibles, sin embargo, ofrecen un valor agregado como en la investigación de Vera y Cañon (2018), al certificar edificios existentes, para que sean energéticamente eficientes, indistintamente la zona climática en la que se ubiquen. Es decir, que se pueden certificar este tipo de edificios, si se cumplen los criterios de: área mínima de intervención, tipo de uso y la reducción de mínimo un 20 % en cada variable (energía, agua y materiales).

Para el desarrollo de la investigación se realizaron actividades de diagnóstico básico, ya que la rehabilitación energética se desarrolló a nivel de propuesta, sin embargo, se definieron actividades de aplicación técnica en la rama de la arquitectura, con formatos simples y de rápido llenado, para establecer la línea base de la información que se empleará en el análisis experimental. Cabe destacar que, aunque en el diagnóstico no estableció como actividad la toma de decisión para la selección de estrategias, si se consideró el criterio del propietario de la casa, porque es imprescindible conocer la capacidad de inversión del propietario, porque ese factor puede limitar o facilitar el alcance de las metas que requieren las certificaciones para validar un proyecto.

Al terminar la fase de implementación experimental de estrategias de ahorro energético con la lista de chequeo CASA y el software EDGE, se obtuvo una visión clara de las soluciones energéticas y resultados de implementar la rehabilitación energética en casas existentes, estableciendo que al igual que en Leyva, Alonso y Reynoso (2016), las estrategias seleccionadas combinaron

soluciones activas y pasivas, las cuales incluyen la instalación de artefactos sanitarios de bajo consumo, instalación de electrodomésticos, motores y luminarias de alta eficiencia, captación de agua para riego, aplicación de pintura reflectante, impermeabilizaciones, cambios de ventanería, entre otros. Adicional a las variables energía, agua y materiales para la propuesta de rehabilitación, se incorporó la variable denominada innovación, porque en ella se pueden incluir estrategias que permitan acciones de aprovechamiento de los recursos naturales.

Para verificar el resultado del tercer y último objetivo, se utilizó principalmente la información que se recopiló en el diagnóstico y los resultados del modelaje de estrategias energéticas seleccionadas en el software EDGE, los cuales se clasificaron como beneficios económicos y beneficios ambientales por las dimensionales que se manejan en el interfaz del software.

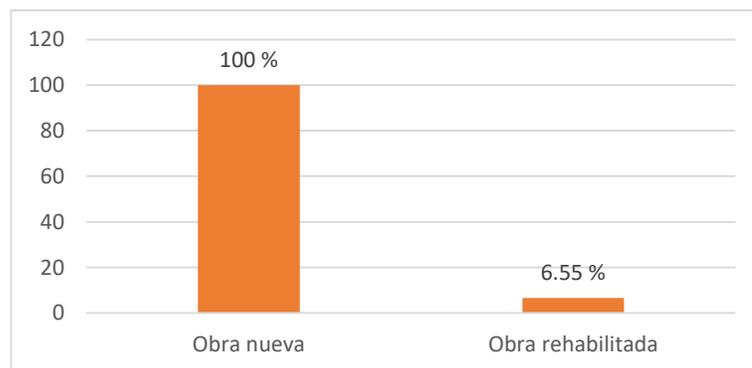
En esta fase, se interiorizó en la utilidad de cada certificación empleada, en virtud que, si bien su función es la misma, el mecanismo de verificación en etapa de diseño es distinto, es decir, que para la certificación CASA Guatemala, los resultados se pueden referir como subjetivos, porque la herramienta que se emplea no puede modelar el futuro rendimiento que tendrá la casa, con lo cual no se tiene un medio de comparación. Sin embargo, no se descarta su aplicación para la propuesta de rehabilitación energética en fase de diseño, porque se pueden ponderar las estrategias que pretenden cumplir y llegar a la calificación mínima que establece la certificación para ser favorable; y para el caso del análisis efectuado, las 4 muestras superaron el punteo de 20 puntos, que es el mínimo establecido para certificar edificios nuevos o existentes.

En cuanto a la certificación EDGE, se considera que es útil como herramienta para diseñar y predecir beneficios energéticos en los edificios existentes, porque

es posible realizar un análisis comparativo de los consumos establecidos por el investigador y los consumos mejorados que opera el interfaz del software, por consiguiente, la validez de la información o los criterios con los que se calculan los resultados, son respaldados y promovidos en 160 países por el Consejo de Construcción Verde (GBC por sus siglas en inglés), lo cual genera confianza para el desarrollador y el usuario final de obtener beneficios reales. No obstante, también se realizó el cálculo empírico del ahorro económico que se obtendría para la variable de energía eléctrica, utilizando como referencia el 35.64 % de reducción anual de los resultados del software para su planteamiento.

Otro resultado importante de la implementación de la propuesta de rehabilitación energética en casas existentes, es el ahorro de materiales de construcción, que particularmente es de 93.45 %, porque en la fase constructiva una casa nueva se necesitará el 100 % de los materiales para su materialización y en la casa a rehabilitar solamente se utilizará el 6.55 %, como se observa en la figura 13.

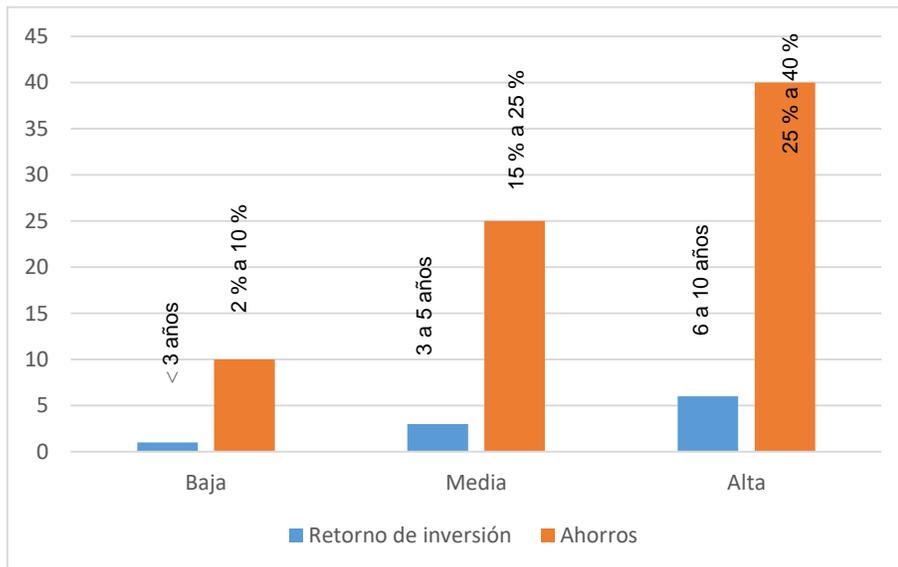
Figura 13. **Comportamiento del uso de materiales**



Fuente: elaboración propia.

Aunado a lo anterior es importante considerar que Monterroso (2019), establece que los ahorros energéticos están relacionados con el costo de las mejoras implementadas, como se observa en la figura 14, es decir, que con los 7.53 años de retorno de inversión que resultan en la operación del software, se cataloga como una inversión alta con un periodo de retorno largo (de 6 a la 10 años).

Figura 14. **Comportamiento del retorno de inversión**



Fuente: Monterroso. (2019). *Nota técnica Gestión de la energía*. Consultado el 10 de octubre del año 2020. Recuperado de <https://fecaica.com/nota-tecnica-gestion-de-la-energia/>

Por último y no menos importante, el beneficio ambiental de reducir 6.16 toneladas de CO₂ al año, es el resultado que interfaz del software EDGE realiza al consolidar las actividades que desarrolla el ser humano con las diferentes fuentes de energía.

CONCLUSIONES

1. Para certificar un edificio existente con las certificaciones EDGE y CASA Guatemala, al igual que para los edificios nuevos, se hará a través del cumplimiento de los criterios técnicos de diseño y de los logros o estrategias que se implementen en el proyecto, para cumplir con la ponderación mínima del 20 % en la reducción del consumo de variables para EDGE y obtención de 20 puntos para CASA.
2. Al hacer uso del sistema de gestión de EDGE y CASA Guatemala en la muestra analizada, se establecieron las estrategias aplicables para la propuesta de rehabilitación energética, siendo estas una combinación de soluciones activas (mejoras tecnológicas) y pasivas (aprovechamiento del clima).
3. Los beneficios económicos y ambientales de hacer energéticamente eficiente la casa analizada, fueron calculadas a través del interfaz del software EDGE, proyectando ahorros mensuales de, 35.64 % en el consumo de energía eléctrica, 25.32 % en el consumo del recurso agua, 93.45 % de energía para la fabricación de nuevos materiales de construcción y la reducción de 44.55 % de emisiones de CO₂ anuales.

RECOMENDACIONES

1. El investigador debe recibir capacitación previa para el uso de las herramientas de las Certificaciones EDGE y CASA Guatemala.
2. El investigador o lector puede elaborar una propuesta de rehabilitación energética para casas ubicadas en clima frío, porque las necesidades de consumo son distintas en cada zona climática.
3. El Estado de Guatemala, podría generar incentivos económicos para promover la rehabilitación energética de edificios, por los beneficios ambientales que resultan de la implementación de estrategias de eficiencia energética con las certificaciones ambientales.

REFERENCIAS

1. Altamonte, H. Coviello, M. y Wolfgang, F. L. (2003). *Energías renovables y eficiencia energética en América Latina y el Caribe: Restricciones y perspectivas*. Santiago de Chile. (s.E.)
2. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (2018). *Normas de seguridad Estructural para Guatemala, Evaluación y rehabilitación de obras existentes NSE 6*. Guatemala: Autor.
3. Bhattacharya, A., Casado, C., Jeong, M., Amin, A., Watkins, G. y Silva, M. (junio 2019). *Atributos y marco para la infraestructura sostenible*. Consultado el 11 de junio de 2020. Recuperado de https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Atributos_y_marco_para_la_infraestructura_sostenible_es_es.pdf.
4. Bustamante, W. (abril 2009). Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social. *Ministerio de Vivienda y urbanismo*. (Publicación No. 333). Santiago de Chile: Autor
5. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (mayo 2021). *Boletín de prensa, Ajuste tarifario trimestral periodo mayo-julio 2021*. Recuperado de <https://www.cnee.gob.gt/wp/wp-content/uploads/2021/04/ajuste-tarifario-mayo-2021-1.pdf> 1-5.
6. Consejería de Economía y Hacienda de la Comunidad de Madrid. (2014). *Renovar para consumir menos energía*. Madrid, España: Autor.

7. Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid. (2014). *Guía sobre Gestión de la Demanda Energética del Edificio*. Madrid, España: Autor.
8. Empresa Distribuidora de Energía Eléctrica de Guatemala. (2020). *Conoce tu factura*. Consultado el 10 de junio de 2020. Recuperado de <https://www.energuate.com/conoce-tu-factura>
9. Empresa Municipal de Agua. (2018). *Guía de requisitos para la evaluación de sistemas de agua y alcantarillado de proyectos en la Ciudad de Guatemala*. Municipalidad de Guatemala: Autor.
10. García, L. (2019). *Nuestro Plan A: La economía Circular*. Consultado el 10 de junio de 2021. Recuperado de <https://stakeholders.com.pe/economia-circular/plan-la-economia-circular-lenny-garcia/>
11. Guatemala Green Building Council. 2020). *Guía de aplicación Certificación CASA Guatemala. Volumen 01*. Guatemala: Autor.
12. International Finance Corporation. (2020). *Software Excellence in Design for Greater Efficiencies v2.1.5*. Consultado el 10 de julio de 2020. Recuperado de <https://edgebuildings.com/project/homes>
13. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. (2020). *Regiones Climáticas*. Consultado el 11 de agosto de 2021. Recuperado de <https://insivumeh.gob.gt/solicitud-de-informacion/>

14. Instituto Valenciano de la Edificación. (2011). *Guía de Proyecto del Perfil de Calidad de Rehabilitación*. Valencia, España: Autor.
15. Instituto Valenciano de la Edificación. (2015). *Potencial de ahorro energético y reducción de emisiones de CO₂ en la Comunidad Valenciana*. Valencia, España: Autor.
16. Leyva, C., Alonso, A. & Reynoso, M. (septiembre 2016). Viviendas con bajo consumo energético. Tipologías de diseño en el contexto cubano. *Revista de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Nuevo León, México*. (Volumen 10). 38-49.
17. Lodoño, J (junio 2009). Un edificio verde es un edificio inteligente. *Producción + Limpia*. (Volumen 4). 61-75.
18. Luxán, M., Vázquez, M., Gómez, G., Román, E. & Barbero, M. (2011). Actuaciones con criterios de sostenibilidad en la rehabilitación de viviendas en el centro de Madrid. *Revista de EGA* (Volumen 17). 4-5.
19. Mapas del Mundo. *Mapa de Guatemala*. (2021). Consultado el 11 de agosto de 2021. Recuperado de <https://www.mapasdelmundo.org/91-mapa-guatemala-pais/>
20. Martín, J. M. (marzo 2019) Economía Circular, un nuevo paradigma para nuestras ciudades. *Tiempo de Paz*. (Nº 132). 23-32.
21. Ministerio de Energía y Minas. (junio 2017). Balance Energético 2017. *Dirección General de Energía*. 1-10

22. Ministerio de Energía y Minas. (2017). *Plan Nacional de Energía 2017-2032*. Guatemala: Autor.
23. Monterroso, J. (2019). Nota técnica Gestión de la energía. Consultado el 10 de octubre del año 2020, Recuperado de <https://fecaica.com/nota-tecnica-gestion-de-la-energia/>
24. Pietro-Sandoval, V., Jaca, C. y Ormazabal, M. (agosto 2017). Economía circular: Relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación. *Memoria Investigaciones en Ingeniería (Volumen 15)*. 85-95.
25. Valverde, A, Ayala, D. y Álvarez, A. (diciembre 2017). Una aproximación al sistema voluntario de certificación de edificios denominado Bogotá Construcción Sostenible. *Arquitectura y Urbanismo*. (Volumen 38). 71-85.
26. Vera, J. y Cañon, J. (enero 2018). El valor agregado de un sistema de gestión ambiental más allá de la certificación. *Revista Bistua*. (Volumen 16). 86-91.
27. Wegertseder, P., Schmidt, D., Hatt, T., Saelzer, G. y Hempel, R. (junio 2014). Barreras y oportunidades observadas en las oportunidades de desarrollo de alta eficiencia energética en la vivienda social chilena. *Arquitectura y Urbanismo*. (Vol. 35). 37-49.

ANEXOS

Anexo 1. Atributos para la infraestructura sostenible

SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA Y FINANCIERA	RENTABILIDAD ECONÓMICA Y SOCIAL	SOSTENIBILIDAD FINANCIERA	ATRIBUTOS RELACIONADOS CON LAS POLÍTICAS PÚBLICAS
	<ul style="list-style-type: none"> • Rentabilidad económica y social a lo largo del ciclo de vida del proyecto • Crecimiento, productividad y efectos indirectos • Creación de empleo • Acceso, calidad, confiabilidad y asequibilidad del servicio 	<ul style="list-style-type: none"> • Índice adecuado de rentabilidad ajustado al riesgo • Claridad en los flujos de ingresos • Asignación y gestión eficaz de los riesgos • Rentabilidad operativa • Rentabilidad del activo • Valor presente neto positivo del activo • Ratio de liquidez • Ratio de solvencia • Movilización de financiamiento local 	<ul style="list-style-type: none"> • Regulación eficaz • Deuda y sostenibilidad fiscal • Precios y alineación de incentivos • Mantenimiento y uso óptimo del activo

SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL Y RESILIENCIA CLIMÁTICA	CLIMA Y DESASTRES NATURALES	PRESERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE NATURAL	CONTAMINACIÓN	USO EFICIENTE DE LOS RECURSOS
	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de las emisiones de GEI • Riesgo climático y resiliencia • Gestión del riesgo de desastres 	<ul style="list-style-type: none"> • Biodiversidad • Capital natural, áreas de alto valor ecológico y tierras de cultivo • Conectividad ecológica y servicios ambientales • Manejo de suelos • Especies invasoras • Equipamientos públicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación del aire • Contaminación del agua • Otras formas de contaminación • Materiales peligrosos 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso eficiente del recurso hídrico • Uso de materiales y reciclaje • Uso de energía y fuentes renovables • Gestión de residuos y reciclaje

Continuación de anexo 1.

SOSTENIBILIDAD SOCIAL	POBREZA, IMPACTO SOCIAL Y RELACIONAMIENTO CON LAS COMUNIDADES	DERECHOS HUMANOS Y LABORALES	PRESERVACIÓN CULTURAL
	<ul style="list-style-type: none"> • Distribución equitativa de beneficios • Involucramiento de los grupos de interés y participación juvenil y consulta comunitaria • Mecanismo de reclamación y reparación • Reasentamiento y desplazamiento económico • Acceso comunitario a los recursos • Indemnización de la comunidad y distribución de beneficios • Movilidad y conectividad de la comunidad • Discapacidad y accesibilidad • Salud y seguridad de la comunidad • Salud y seguridad ocupacional 	<ul style="list-style-type: none"> • Preservar los derechos de los grupos afectados • Normas laborales • Seguridad de la comunidad y prevención del delito • Diseño de proyecto con perspectiva de género 	<ul style="list-style-type: none"> • Recursos culturales y patrimonio • Pueblos indígenas y tradicionales
SOSTENIBILIDAD INSTITUCIONAL	ALINEACIÓN CON ESTRATEGIAS GLOBALES Y NACIONALES	GOBERNANZA Y CAMBIO SISTÉMICO	SISTEMAS EFICACES DE GESTIÓN Y RENDICIÓN DE CUENTAS
	<ul style="list-style-type: none"> • Compromisos nacionales e internacionales • Integración sectorial, del uso del suelo y de la planeación urbana 	<ul style="list-style-type: none"> • Estructuras de gobierno corporativo • Marco anticorrupción y de transparencia 	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño y viabilidad del proyecto • Cumplimiento del proyecto • Licitaciones y adquisiciones sostenibles • Evaluación integrada del impacto ambiental y social • Sistemas de gestión y rendición de cuentas • Monitoreo de la información del proyecto y seguimiento de la sostenibilidad • Gestión de pasivos existentes

Fuente: Bhattacharya, et al. (2019). *Atributos y marco para la infraestructura sostenible*.

Consultado el 11 de junio de 2020. Recuperado de

https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Atributos_y_marco_para_la_infraestructura_sostenible_es_es.pdf.

Anexo 2. Informe software EDGE



EDGE Assessment: v2.1.5

Downloaded date & time: 2020-07-22 08:08

Project Name:

Subproject Name:

0.00% | 0.00% | 0.00%

Project Details

Project Name	Address Line1
Number of Distinct Buildings 0	Address Line2
Number of EDGE Subproject(s) associated	City
Total Project Floor Area (m ²)	State/ Province
Project Owner Name	Postal Code
Project Owner Email	Country
Project Owner Phone Mobile -	Project Number
Share with Investor(s) or Bank(s)?	

Subproject Details

Subproject Name	Address Line1
House or Apartment Block Name	Address Line2
Subproject Multiplier for the Project 1	City
Certification Stage	State/ Province
Status	Postal Code
Auditor	Country
Certifier	Subproject Type New Building

Continuación de anexo 2.

Location Data



Building Data

Type of Unit
Flats/Apartments

Average Unit Area (m²)
80

Bedrooms/Unit (no.)
2

Floors (no.)
10

Units (no.)
50

Occupancy (People/Unit) (no.)
3

Area Details

Default	User Entry
Bedrooms/Unit (m ²)	20
Kitchen (m ²)	8
Living/Dining (m ²)	32
Bathroom (m ²)	6
Utility, Balcony, Service Shaft** (m ²)	13,60
Gross Internal Area (m ²)	80
External Wall Length m/Unit (m)	17
Roof Area/Unit (m ²)	8
Window to Floor Ratio (%)	19,8%
Common Area/Unit (m ²)	20

**The Utility, Balcony, Service Shaft (m²) field is equal to the remaining space required to total the Gross Internal Area (m²).

Continuación de anexo 2.



Project Name:
Subproject Name:


EDGE Assessment: v2.1.5
Downloaded date & time: 2020-07-22 08:08
0.00% | 0.00% | 0.00%

Building Systems

Does the building design include an AC system?
Yes

Does the building design include a space heating system?
Yes

Continuación de anexo 2.



EDGE Assessment: v2.1.5

Downloaded date & time: 2020-07-22 08:08

Project Name:
Subproject Name:

0.00% | 0.00% | 0.00%

Key Assumptions for the Base Case

Default	User Entry		
Fuel Used for Hot Water			
Electric Resistance	Electric Resistance	Default	User Entry
Fuel Used for Space Heating		Jan	
Electricity	Electricity	23.9	
Cost of Electricity (ZAR/kWh)		Feb	
1.55		22.2	
Cost of Diesel Fuel (ZAR/L)		Mar	
12.68		20.0	
Cost of LPG/Natural Gas (ZAR/L)		Apr	
0.67		16.1	
Cost of Water (ZAR/kL)		May	
24.22		12.2	
CO ₂ Emissions g/kWh of Electricity (g/kWh)		Jun	
831.00		8.3	
Window to Wall Ratio (%)		Jul	
35%		8.3	
Solar Reflectivity for Paint - Wall (%)		Aug	
30%		11.1	
Solar Reflectivity for Paint - Roof (%)		Sep	
30%		15.0	
Hot Water Boiler Efficiency (%)		Oct	
80%		18.3	
Roof U-value (W/m ² .K)		Nov	
0.27		20.0	
Wall U-value (W/m ² .K)		Dec	
0.45		22.2	
Glass U-value (W/m ² .K)		Latitude (Deg)	
5.75		26	
Glass SHGC (Factor)			
0.80			
AC System Efficiency (COP)			
2.90			

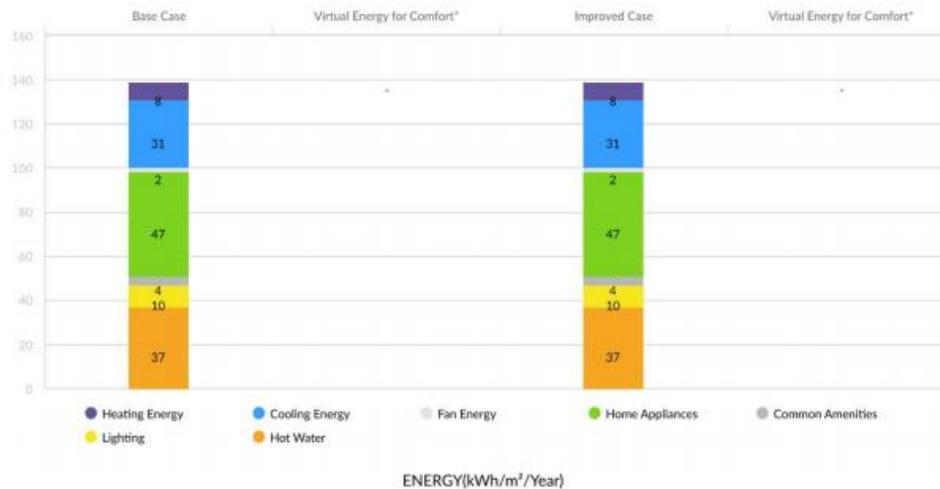
Continuación de anexo 2.

Results

Final Energy Use (kWh/Month/Unit)	932.19	Operational CO ₂ Savings (tCO ₂ /Year/Unit)	0.00
Final Water Use (kL/Month/Unit)	22.45	Embodied Energy Savings (MJ/Unit)	
Base Case Utility Cost (ZAR/Month/Unit)	1,988.73	Incremental Cost (ZAR/Unit)	-
Utility Cost Reduction (ZAR/Month/Unit)	-	Payback in Years (Yrs.)	NA
Energy Savings (MWh/Year)	0.00	Water Savings (m ³ /Year)	0.00
Embodied Energy in Materials Savings (GJ)	0.00	Total Subproject Floor Area (m ²)	5,000
Carbon Emissions (tCO ₂ /Year)	464.79		

ENERGY SAVINGS

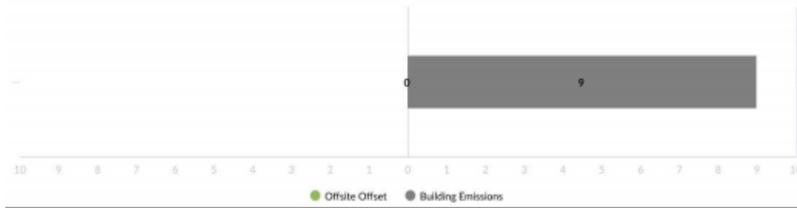
Energy Efficiency Measures 0.00%



Continuación de anexo 2.



Carbon Emissions: 9.30 tCO₂/Year/Unit



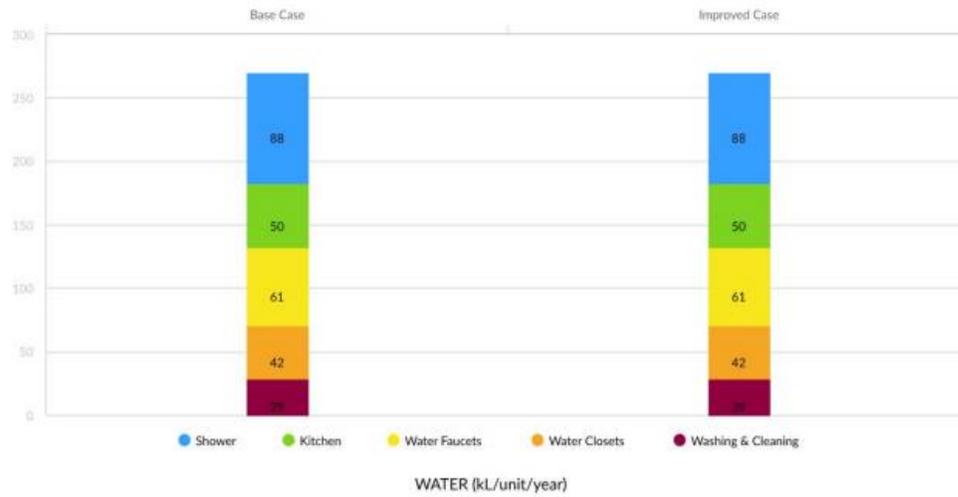
Energy Efficiency Measures 0.00%

HME01 Reduced Window to Wall Ratio - WWR of 30%	HME13 High-Efficiency Boiler for Hot Water - Efficiency of 95%
HME02 Reflective Paint/Tiles for Roof - Solar Reflectivity (albedo) of 0.7	HME14 Heat Pump for Hot Water - COP of 1.5
HME03 Reflective Paint for External Walls - Solar Reflectivity (albedo) of 0.7	HME15 Energy-Efficient Refrigerators and Clothes Washing Machines
HME04 External Shading Devices - Annual Average Shading Factor (AASF) of 0.8	HME16 Energy-Saving Light Bulbs - Internal Spaces
HME05 Insulation of Roof : U-value of 0.18	HME17 Energy-Saving Light Bulbs - Common Areas and External Spaces
HME06 Insulation of External Walls : U-value of 0.25	HME18 Lighting Controls for Common Areas and Outdoors
HME07 Low-E Coated Glass : U-value of 3 W/m ² .K and SHGC of 0.45	HME19 Solar Hot Water Collectors - 50% of Hot Water Demand
HME08 Higher Thermal Performance Glass : U-value of 1.9 W/m ² .K and SHGC of 0.28	HME20 Solar Photovoltaics - 25% of Total Energy Use
HME09 Natural Ventilation	HME21 Smart Meters
HME10 Ceiling Fans in All Habitable Rooms	HME22 Other Renewable Energy for Electricity Generation
HME11 Air Conditioning System - COP of 3.5	HME23 Offsite Renewable Energy Procurement - Equal to 100% of Total Operational CO ₂
HME12 High-Efficiency Boiler for Space Heating - Efficiency of 95%	HME24 Carbon Offset - 100% of Total CO ₂

Continuación de anexo 2.

WATER SAVINGS

Water Efficiency Measures 0.00%



HMW01 Low-Flow Showerheads - 8 L/min

HMW02 Low-Flow Faucets for Kitchen Sinks - 6 L/min

HMW03 Low-Flow Faucets in All Bathrooms - 6 L/min

HMW04 Dual Flush for Water Closets in All Bathrooms - 6 L/first flush and 3 L/second flush

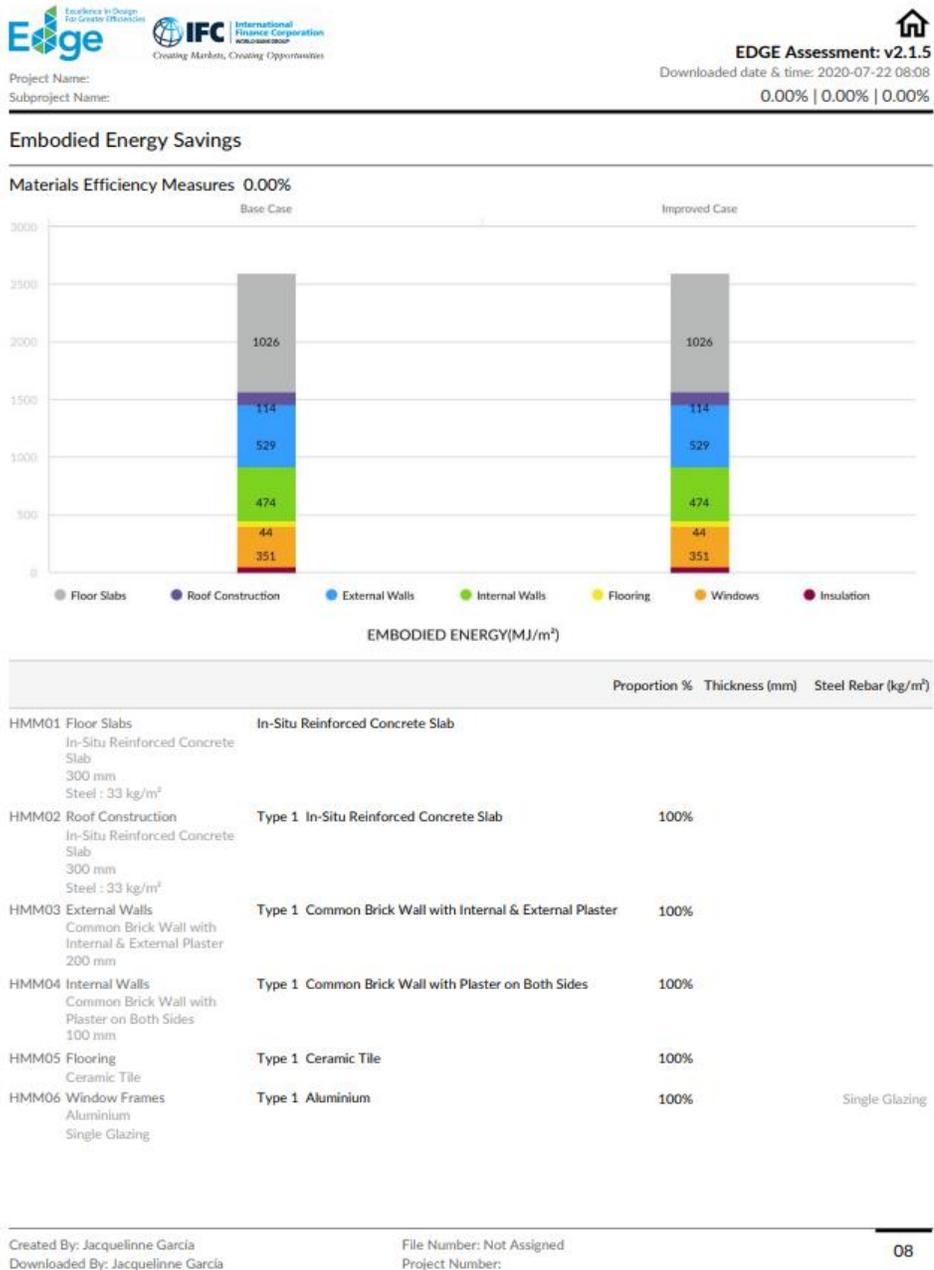
HMW05 Single Flush for Water Closets - 6 L/flush

HMW06 Rainwater Harvesting System - 50% of Roof Area Used for Rainwater Collection

HMW07 Recycled Grey Water for Flushing

HMW08 Recycled Black Water for Flushing

Continuación de anexo 2.



Fuente: International Finance Corporation. (2020). *Software Excellence in Design for Greater Efficiencies v2.1.5*. Consultado el 22 de julio de 2020. Recuperado de <https://edgebuildings.com/project/homes>.

Anexo 3. Lista de chequeo certificación CASA Guatemala

CHECKLIST

SITIO		
Obligatorio: Selección del Sitio		
Logro 1	Alteración de Suelos	
	Parte 1 - Reducción de Perturbaciones	1
	Parte 2 - Control de Erosión y Sedimentación	2
	Parte 3 - Movimientos de Tierra Balance Cero	3
Logro 2	Aguas Pluviales	1
Logro 3	Comunidad, Comercio y Transporte	
	Parte 1 - Conectividad a Transporte Colectivo	2
	Parte 2 - Servicios Basicos	2
	Parte 3 - Centros Educativos y de Organización Comunitaria	1
	Parte 4 - Uso Mixto	1
Logro 4	Conservación y Biodiversidad	
	Parte 1 - Tala de Arboles y Reforestación	2
	Parte 2 - Superficies Vegetadas	2
	Parte 3 - Biodiversidad del Sitio	1
Logro 5	Islas de Calor	
	Parte 1 - Techos de Edificios	2
	Parte 2 - Pavimentos	1
Total:		21
		0

AGUA		
Obligatorio: Funcionamiento Integrado de Manejo de Aguas		
Logro 1	Irigación de Jardines	
	30% - 49% de Ahorro	1
	50% - 69% de Ahorro	3
	70% - 89% de Ahorro	5
Logro 2	Agua Potable para Higiene	
	Ruta de Cumplimiento A - Artefactos Eficientes	2
	Ruta de Cumplimiento B - de 25% a 39%	3
	Ruta de Cumplimiento B - de 40% a 59%	4
	Ruta de Cumplimiento B - de 60% o más	5
Logro 3	Tratamiento de Aguas Residuales y Pluviales	
	Parte 1 - Aguas Negras	2
	Parte 2 - Aguas Pluviales	2
	Parte 3 - Infiltración	1
Logro 4	Manejo de Aguas Balance Cero	
	Ruta de Cumplimiento A - Agua Pluvial	2
	Ruta de Cumplimiento B - Agua Potable	3
Total:		18
		0

Continuación de anexo 3.



ENERGÍA		
Obligatorio: Uso Final de Energía		
Logro 1	Illuminación	
	Parte 1 - Eficiencia de Luminaria	2
	Parte 2 - Libre de Mercurio	1
	Parte 3 - Reducción de DPI	3
	Parte 4 - Instalaciones a Detalle	1
	Parte 5 - Calidad de Iluminación	1
	Parte 6 - Controles de Iluminación	1
Logro 2	Fenestras - Ganancias Térmicas	
	Parte 1 - Proporción en Fachadas	1
	Parte 2 - Tecnología de Vitrinas	1
Logro 3	Fenestras - Iluminación Natural	2
Logro 4	Energía Renovable - Generación Eléctrica	
	Ruta de Cumplimiento A - Instalación Prescriptiva	1
	Ruta de Cumplimiento B - Instalación Detallada	2
Logro 5	Energía Renovable - Calefacción de Agua	
	Parte 1 - Dimensionamiento de Tanque de Calentador de Agua	2
	Parte 2 - Distancia de Instalación	1
	Parte 3 - Aislamiento de Instalaciones	1
	Parte 4 - Eficiencia de Distribución	1
Logro 6	Motores Eléctricos	1
Logro 7	Climatización	1
Logro 8	Electrodomésticos	1
Total:		22
		0

MATERIALES		
Obligatorio: Planificación Apropiada de Manejo de Desechos en Construcción		
Logro 1	Desechos de Construcción	
	Desvío de Desechos del Relleno Sanitario 10%	1
	Desvío de Desechos del Relleno Sanitario 20%	2
	Desvío de Desechos del Relleno Sanitario 30%	3
Logro 2	Desechos Sólidos Domésticos	
	Parte 1 - Acopio Condominial	1
	Parte 2 - Acopio Individual	1
Logro 3	Regionalidad de Materiales	2
Logro 4	Contenido Reciclado en Materiales	1
Logro 5	Industria Local de PYMES	2
Logro 6	Certificaciones	1
Logro 7	Guías Sostenibles para el Proceso Constructivo	1
Total:		12
		0

Continuación de anexo 3.



INTERIOR		
Logro 1	Ventilación	
	Ruta de Cumplimiento A - Ventilación Natural	4
	Ruta de Cumplimiento B - Parte 1 - Aperturas para Ventilación Natural	1
	Ruta de Cumplimiento B - Parte 2 - Renovaciones de Aire en el Ambiente	1
	Ruta de Cumplimiento B - Parte 3 - Calidad del Aire	1
Logro 2	Confort Térmico	
	Ruta de Cumplimiento A - Natural	3
	Ruta de Cumplimiento B - Mecánico	2
Logro 3	Control de Mocho	
	Parte 1 - Reducción por Iluminación y Ventilación	1
	Parte 2 - Reducción por Impermeabilización	1
Logro 4	Baja Emisividad	1
Total:		10

CREATIVIDAD		
Libre	Estrategias de Liderazgo y Creatividad	4

Total de Puntaje	87	0
-------------------------	-----------	----------

TOTAL DE PUNTOS ALCANZADOS	
Certificado	20 - 34
★★★ Certificado	35 - 44
★★★★ Certificado	45 - 54
★★★★★ Certificado	55 +

Fuente: Guatemala Green Building Council. (2020). *Guía de aplicación Certificación CASA Guatemala.*

Anexo 4. **Formato rápido de evaluación y rehabilitación de obras existentes**

1. Fecha de la evaluación: _____
2. Nombre de la edificación: _____
3. Nombre del propietario: _____
4. Dirección de la edificación: _____
5. Tipo de ocupación: _____
6. Carga de ocupación: _____
7. Áreas evaluadas: _____

8. Etiqueta: _____
9. Orden de prioridad: _____
10. Daños encontrados: _____

11. Conclusiones: _____

12. Recomendaciones: _____

Evaluador coordinador (Nombre y firma)

Continuación de anexo 4.

1. DATOS GENERALES DE LA EDIFICACIÓN	
Nombre de la edificación: _____	
Dirección: _____	
Municipio: _____	Departamento: _____
No. de pisos: sobre el terreno: ___ debajo del terreno: ___ Uso principal: _____	
ID grupo de evaluación: _____	Evaluador coordinador: _____
Fecha: _____	Hora: _____

2. EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES EXTERNAS	
	Comentarios
1. Colapso: No hay <input type="checkbox"/> Parcial <input type="checkbox"/> Total <input type="checkbox"/>	_____
2. Inclinación de la edificación Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	_____
3. Daños severos en muros Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	_____
4. Desplazamiento cimentación Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	_____
5. Peligro desplome de elementos Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	_____
6. Otros (Incluye componentes no estructurales)	_____
_____	_____

3. DAÑOS GEOTÉCNICOS	
	Comentarios
1. Asentamientos Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	_____
2. Corrimientos Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	_____
3. Grietas en el suelo Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	_____
4. Deslizamiento Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	_____
5. Derrumbes Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	_____
6. Licuefacción Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	_____
7. Otros	_____
_____	_____

4. CLASIFICACIÓN	
HABITABLE. No hay peligro aparente. Habitable en su totalidad. Sin limitaciones de uso.	Etiqueta
ENTRADA LIMITADA. Prohibido ingresar. Requiere nueva inspección. Daños parciales. Ingreso solamente al propietario y por emergencias.	<input type="checkbox"/> Verde
INSEGURA. Prohibido ingresar. Daño severo y peligro inminente. Ingreso no permitido.	<input type="checkbox"/> Amarilla
PELIGRO EN ÁREA ACORDONADA. Daños parciales. Acordonamiento de áreas con prohibición de ingreso. Requiere nueva inspección.	<input type="checkbox"/> Roja
PELIGRO GEOTÉCNICO.	<input type="checkbox"/> Anaranjada
	<input type="checkbox"/> Morada

Anexo 5. Lista de verificación de la certificación EDGE



Evaluación de EDGE: v2.1.5

Nombre del Proyecto: Rehabilitación energética
Nombre del subproyecto: Rehabilitación energética de casas

35.64% | 25.32% | 93.45%

Lista de verificación de la certificación EDGE

Tipo de edificio	Etapas de certificación	Nombre del subproyecto
Casas	Posconstrucción	Rehabilitación energética de casas
Medidas de energética		Requisitos de auditoría de construcción
HME02	Pintura reflectiva/tejas para el techo	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ficha de datos del producto correspondiente a los materiales y el acabado (incluido el valor de reflectividad solar). ✓ Fotografías de los materiales y el acabado del techo (si el acabado es blanco, puede concederse sin pruebas adicionales). ✓ Nota de entrega y documentos de compra donde conste que el acabado del techo especificado ha sido entregado en la obra.
HME09	Ventilación natural con ventanas operables y sin aire acondicionado	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Planos conformes a obra, que incluyen las plantas y secciones. ✓ Confirmación del equipo del proyecto de que no se realizaron modificaciones al plano ni a la altura entre el piso y el cielorraso durante el proceso de diseño y construcción. ✓ Evidencia fotográfica para demostrar que la construcción se llevó a cabo conforme a la disposición de los pasillos y la ubicación de las aberturas especificadas en la etapa de diseño.
HME11	Sistema de refrigeración con volumen de refrigerante variable (VRV)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Planos de las instalaciones mecánicas conformes a obra con esquemas de aire acondicionado. ✓ Notas de entrega que muestren que los enfriadores especificados han sido entregados en la obra. ✓ Ficha de datos del fabricante correspondiente al sistema de refrigeración con VRV, que especifique el COP. ✓ Fotografías de las unidades de aire acondicionado externas e internas instaladas.
HME15	Energy Efficient Refrigerators and Clothes Washing Machines	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Lista resumida actualizada de los refrigeradores y las lavadoras de ropa instalados en el edificio, detallando la cantidad, el fabricante y el modelo. ✓ Constancia de certificación otorgada por Energy Star, EU Energy Efficiency Labelling Scheme o un ente equivalente. ✓ Especificaciones del fabricante que detallen el consumo de energía.
HME16	Bombillas ahorradoras de energía - Espacios internos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fotografías de las luminarias instaladas. No es necesario adjuntar fotos de cada luminaria instalada; no obstante, el auditor debe tener la certeza de que se ha controlado y verificado una proporción razonable de estas. ✓ Planos de las instalaciones eléctricas conformes a obra, con la disposición de luminarias, si se modificó con respecto al diseño. ✓ Recibos de compra y notas de entrega correspondientes a las lámparas.
HME17	Bombillas ahorradoras de energía - Espacios externos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fotografías de las luminarias instaladas. No es necesario adjuntar fotos de cada luminaria instalada; no obstante, el auditor debe tener la certeza de que se ha controlado y verificado una proporción razonable de estas. ✓ Planos de las instalaciones eléctricas conformes a obra, con la disposición de luminarias, si se modificó con respecto al diseño.

Continuación de anexo 5.



Evaluación de EDGE: v2.1.5

Fecha y hora de la descarga: 2020-07-03 10:31

Nombre del Proyecto: Rehabilitación energética
Nombre del subproyecto: Rehabilitación energética de casas

35.64% | 25.32% | 93.45%

HME17	Bombillas ahorradoras de energía - Espacios externos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Recibos de compra y notas de entrega correspondientes a las lámparas.
HME18	Controles de iluminación para pasillos y escaleras	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fotografías de los controles de iluminación. No es necesario adjuntar fotos de cada sensor instalado; no obstante, el auditor debe tener la certeza de que se ha controlado y verificado una proporción razonable de estos. ✓ Planos de las instalaciones eléctricas conformes a obra que muestren el tipo y la ubicación de los sensores y controles, si se modificaron con respecto al diseño. ✓ Recibos de compra y notas de entrega correspondientes a los sensores y controles.
Medidas relativas al agua		Requisitos de auditoría de construcción
HMW01	Cabezales de ducha de bajo flujo	<ul style="list-style-type: none"> ✓ On site test results by the auditor of the flow rate at the highest flow per minute, using a timer and a measurement container. It is also recommended to use a Pressure gauge to measure the water pressure. ✓ Fotografías de los cabezales de ducha instalados. ✓ Recibos de compra y notas de entrega correspondientes a los cabezales de ducha.
HMW02	Grifos de bajo flujo para cocina	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fotografías de los grifos o limitadores de flujo instalados. ✓ Recibos de compra y notas de entrega correspondientes a los grifos o limitadores de flujo.
HMW03	Grifos de bajo flujo para lavabos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fotografías de los grifos o limitadores de flujo instalados. ✓ Recibos de compra y notas de entrega correspondientes a los grifos o limitadores de flujo.
HMW04	Sanitarios de descarga doble	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fotografías de los sanitarios instalados. ✓ Recibos de compra y notas de entrega correspondientes a los sanitarios.
Medidas del material		Requisitos de auditoría de construcción
HMM01	Losas de piso y entrepiso	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fotografías con fecha de las losas de piso y entrepiso, tomadas durante o después de la construcción, y ✓ Recibo de compra del material especificado para las losas de piso y entrepiso, o ✓ Notas de entrega.
HMM02	Construcción de cubierta	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fotografía con fecha del techo, tomada durante o después de la construcción, y ✓ Recibo de compra de los materiales de construcción utilizados para el techo, o ✓ Nota de entrega de los materiales utilizados para la construcción del techo.
HMM03	Paredes externas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fotografía con fecha de las paredes, tomada durante o después de la construcción, y ✓ Recibo de compra de los materiales de construcción utilizados para las paredes, o ✓ Nota de entrega de los materiales utilizados para la construcción de las paredes.
HMM04	Paredes interiores	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fotografía con fecha de las paredes, tomada durante o después de la construcción, y

Continuación de anexo 5.

 		 Evaluación de EDGE: v2.1.5 Fecha y hora de la descarga: 2020-07-03 10:31
Nombre del Proyecto: Rehabilitación energética Nombre del subproyecto: Rehabilitación energética de casas		35.64% 25.32% 93.45%
HMM04	Paredes interiores	✓ Recibo de compra de los materiales de construcción utilizados para las paredes, o ✓ Nota de entrega de los materiales utilizados para la construcción de las paredes.
HMM05	Acabado de piso	✓ Fotografía con fecha del acabado de piso una vez colocado, y ✓ Recibo de compra de los materiales de construcción especificados utilizados como acabado de piso, o ✓ Nota de entrega de los materiales utilizados para el acabado de piso.
HMM06	Marcos de ventana	✓ Fotografía con fecha de las ventanas instaladas, y ✓ Recibo de compra de la ventana especificada, o ✓ Nota de entrega de las ventanas.
HMM07	Aislamiento de paredes	✓ Fotografía con fecha del aislamiento instalado durante la construcción, y ✓ Una factura por el aislamiento especificado, o ✓ Nota de entrega de los materiales utilizados para el aislamiento.
HMM08	Aislamiento de techo	✓ Fotografía con fecha del aislamiento instalado durante la construcción, y ✓ Una factura por el aislamiento especificado, o ✓ Nota de entrega de los materiales utilizados para el aislamiento.

Fuente: International Finance Corporation. (2020). *Software Excellence in Design for Greater Efficiencies v2.1.5*. Consultado el 03 de julio de 2020. Recuperado de <https://edgebuildings.com/project/homes>