



Universidad Internacional de La Rioja
Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología

Máster Universitario en Gestión Ambiental y Energética en las
Organizaciones

Auditoría Energética y Propuesta de Mejora de Edificación Unifamiliar

Trabajo fin de estudio presentado por:	Denise Gabriela Albán Mendoza
Tipo de trabajo:	Tipo 2
Director:	Fidel Oscar Cedeño González
Fecha:	08/02/2023

Resumen

El objetivo de este trabajo de fin de máster es realizar la certificación energética de una edificación ubicada en la ciudad de Quito - Ecuador, mediante la utilización de los softwares CERMA y CE3X con el fin de proponer alternativas de mejora que permitan tener una vivienda eficientemente energética. En este estudio se obtuvieron los datos experimentales y simulados de la envolvente térmica de la vivienda y de las instalaciones que consumen energía, esto permitió obtener su certificación energética y plantear alternativas de mejora. También se obtuvieron datos económicos de las mejoras, las facturas de consumo de energía eléctrica y de gas GLP para realizar un análisis económico que permita escoger la mejor alternativa a ser aplicada, considerando la factibilidad técnica y económica. Con los resultados obtenidos se pudo comprobar que, aplicando las alternativas de mejora, la vivienda puede mejorar su calificación energética y ahorrar el consumo de energía primaria no renovable y emisiones de CO₂. Escogiendo la mejor alternativa de mejora, que fue la alternativa C, la cual permite recuperar la inversión en 3 años y tiene un VAN positivo, se mejora la calificación energética de una letra E a una C para el indicador de energía primaria no renovable y de una letra D a una C para el indicador de emisiones de CO₂, además con esta alternativa se puede ahorrar el 64 % de energía no renovable y 56% de emisiones de CO₂ por año.

Palabras clave: Auditoria energética, Certificación energética, Eficiencia energética, CERMA, CE3X.

Abstract

The objective of this work is to conduct the energy certification of a building located in the city of Quito - Ecuador, by using the software CERMA and CE3X in order to propose alternative improvements that allow to have an efficient energy housing. In this study, experimental and simulated data were obtained from the thermal envelope of the house and the installations that consume energy, this allowed obtaining its energy certification and proposing alternatives for improvement. Economic data were also obtained from the improvements, electricity and LPG consumption bills to perform an economic analysis that allows choosing the best alternative to be applied, considering the technical and economic feasibility. The results obtained showed that, by applying the improvement alternatives, housing can improve its energy rating and save the consumption of non-renewable primary energy and CO2 emissions. Choosing the best improvement alternative, which was alternative C, which allows to recover the investment in 3 years and has a positive NPV, the energy rating is improved from one letter E to one letter C for the non-renewable primary energy indicator and from one letter D to one letter C for the CO2 emissions indicator, also with this alternative you can save 64% of non-renewable energy and 56% of CO2 emissions per year.

Keywords: Energy audit, Energy certification, Energy efficiency, CERMA, CE3X.

Índice de contenidos

1. Justificación	12
2. Introducción y marco teórico	13
2.1. Cambio climático.....	13
2.2. Acciones gubernamentales para la lucha contra el cambio climático	16
2.3. Eficiencia energética	17
2.4. Normativa española referente a la eficiencia energética.....	18
2.5. Certificación energética	19
2.5.1. HULC (Herramienta Unificada Lider-Calener)	20
2.5.2. CERMA (Calificación Energética Residencial Método Abreviado).....	20
2.5.3. CE3X (Calificación Energética de Edificios Existentes)	20
2.5.4. CE3 (Calificación Energética de Edificios Existentes).....	21
2.6. Energías renovables	21
2.6.1. Energía solar termina	22
2.6.2. Energía solar fotovoltaica	23
2.6.3. Energía Hidráulica.....	25
2.6.4. Energía Eólica.....	25
2.6.5. Energía de Biomasa	26
2.6.6. Energía Geotérmica	26
3. Objetivos del TFE.....	27
3.1. Objetivo general.....	27
3.2. Objetivos específicos	27
4. Hipótesis de trabajo	28
5. Estado actual del consumo energético en la edificación en España	29
6. Ahorro energético en la edificación	31

6.1.	Mejoras en la envolvente térmica	31
6.2.	Mejoras en las instalaciones térmicas	33
6.3.	Instalación de energía renovable.....	33
6.4.	Hábitos de consumo	33
7.	Descripción del edificio objeto de estudio.....	34
7.1.	Ubicación	34
7.2.	Zona Climática.....	34
7.3.	Características constructivas	35
7.3.1.	Características Geométricas	35
7.3.2.	Características de los materiales constructivos	36
7.4.	Instalaciones	40
7.4.1.	Instalaciones de climatización	40
7.4.2.	Instalaciones para ACS.....	40
7.5.	Elementos consumidores de energía	41
7.6.	Calificación energética de la edificación de estudio.....	42
7.6.1.	Calificación energética con el software CERMA de la vivienda actual.....	42
7.6.2.	Calificación energética con el software CE3X de la vivienda actual.....	45
7.7.	Verificación de cumplimiento del Código técnico de la edificación (CTE)	46
8.	Medidas analizadas para la mejora de la eficiencia energética del edificio.....	49
8.1.	Alternativa A	49
8.1.1.	Calificación energética de la Alternativa A con el software CERMA.....	52
8.1.2.	Verificación de cumplimiento del CTE con la Alternativa A con CERMA.	53
8.1.3.	Ahorros energéticos con la Alternativa A.....	54
8.1.4.	Calificación energética de la Alternativa A con el software CE3X.....	55
8.2.	Alternativa B	56

8.2.1.	Calificación energética de la Alternativa B con el software CERMA	58
8.2.2.	Verificación de cumplimiento del CTE con la Alternativa B.	59
8.2.3.	Ahorros energéticos con la Alternativa B.....	60
8.2.4.	Calificación energética de la Alternativa B con el software CE3X.....	61
8.3.	Alternativa C	62
8.3.1.	Calificación energética de la Alternativa C con el software CERMA	62
8.3.2.	Verificación de cumplimiento del CTE con la Alternativa C.	63
8.3.3.	Ahorros energéticos con la Alternativa C.....	66
8.3.4.	Calificación energética de la Alternativa C con el software CE3X.....	67
8.4.	Análisis económico de las mejoras	68
8.4.1.	Coste de la alternativa de mejora A	68
8.4.2.	Coste de la alternativa de mejora B	70
8.4.3.	Coste de la alternativa de mejora C	71
8.4.4.	Valoración económica de las alternativas de mejora	71
8.5.	Comparativa de las alternativas	73
9.	Conclusiones.....	75
10.	Recomendaciones.....	77
	Bibliografía.....	78
	Anexo A.....	84

Índice de figuras

Figura 1. Temperaturas globales y concentraciones de CO2.	13
Figura 2. Aumento del nivel del mar por efecto del cambio climático.	14
Figura 3. Emisiones de gases de efecto invernadero por sector.....	15
Figura 4. Ventajas de la eficiencia energética.	18
Figura 5. Interpretación de las etiquetas de eficiencia energética.	20
Figura 6. Consumo mundial de energía de 2000 a 2050.....	21
Figura 7. Sistema solar térmico en una vivienda.....	22
Figura 8. Elementos de un captador solar plano.....	23
Figura 9. Efecto fotoeléctrico.	24
Figura 10. Instalación de energía solar fotovoltaica de autoconsumo.	24
Figura 11. Estructura del consumo de energía final por fuentes – España.....	29
Figura 12. Estructura del consumo por usos – España.....	30
Figura 13. Localización del edificio objeto de estudio.	34
Figura 14. Características de los puentes térmicos.	39
Figura 15. Instalación de ACS del edificio de estudio.....	41
Figura 16. Consumo de energía eléctrica en la vivienda en el año 2022.	41
Figura 17. Calificación energética de consumo de energía primaria no renovable de la edificación de estudio con CERMA.	43
Figura 18. Calificación energética de emisiones de CO2 de la edificación de estudio con CERMA.	44
Figura 19. Clasificación energética del edificio de estudio con CE3X.	45
Figura 20. Valores máximos y reales del cumplimiento CTE-HEO 2019.	46
Figura 21. Valores máximos y reales del cumplimiento del CTE-HE1 2019.	47
Figura 22. Comprobación del cumplimiento del CTE-HE4 2019.	48

Figura 23. Calificación energética de consumo de energía primaria no renovable con la Alternativa A con CERMA.	52
Figura 24. Calificación energética de emisiones de CO2 con la Alternativa A con CERMA.	52
Figura 25. Valores máximos y con la Alternativa A del cumplimiento del CTE-HE1 2019.	53
Figura 26. Comparativa de ahorros de energía primaria no renovable con la alternativa A - CERMA	54
Figura 27. Comparativa de ahorros de emisiones de CO2 con la alternativa A - CERMA.....	54
Figura 28. Calificación energética de la Alternativa A con CE3X.	55
Figura 29. Instalación de ACS de la Alternativa B.	56
Figura 30. Captador solar para la instalación de ACS de la Alternativa B.	57
Figura 31. Calificación energética de consumo de energía primaria no renovable con la Alternativa B con CERMA.	58
Figura 32. Calificación energética de emisiones de CO2 con la Alternativa B con CERMA.....	58
Figura 33. Comprobación del cumplimiento del CTE-HE4 con la mejora de la Alternativa B..	59
Figura 34. Comparativa de ahorros de energía primaria no renovable con la alternativa B - CERMA	60
Figura 35. Comparativa de ahorros de emisiones de CO2 con la alternativa B - CERMA.....	60
Figura 36. Calificación energética de la Alternativa B con CE3X.	61
Figura 37. Calificación energética de consumo de energía primaria no renovable con la Alternativa C con CERMA.	62
Figura 38. Calificación energética de emisiones de CO2 con la Alternativa C con CERMA.....	63
Figura 39. Valores máximos y reales del cumplimiento CTE-HEO 2019.	64
Figura 40. Valores máximos y con la Alternativa C del cumplimiento del CTE-HE1 2019.	64
Figura 41. Comprobación del cumplimiento del CTE-HE4 con la mejora de la Alternativa C..	65
Figura 42. Comparativa de ahorros de energía primaria no renovable con la alternativa C- CERMA	66

Figura 43. Comparativa de ahorros de emisiones de CO2 con la alternativa C - CERMA.....	66
Figura 44. Calificación energética de la Alternativa C con CE3X.	67
Figura 45. Valoración económica de las alternativas de mejora.	71
Figura 46. Resultados del análisis económico.	72

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Valores limites de transmitancia termica.</i>	31
Tabla 2. <i>Valores limites de permeabilidad del aire de huecos.</i>	32
Tabla 3. <i>Valores limites del coeficiente global de transmisión de calor para uso residencial privado.</i>	32
Tabla 4. <i>Área de los huecos.</i>	35
Tabla 5. <i>Materiales constructivos de muros exteriores</i>	36
Tabla 6. <i>Materiales constructivos de la medianera.</i>	37
Tabla 7. <i>Materiales constructivos de la cubierta.</i>	37
Tabla 8. <i>Materiales constructivos de particiones interiores horizontales.</i>	38
Tabla 9. <i>Materiales constructivos de la solera.</i>	38
Tabla 10. <i>Materiales de las ventanas.</i>	39
Tabla 11. <i>Materiales de la puerta principal o puerta 1.</i>	40
Tabla 12. <i>Materiales de la puerta de la cocina o puerta 2.</i>	40
Tabla 13. <i>Materiales constructivos de muros exteriores con la mejora.</i>	50
Tabla 14. <i>Materiales constructivos de la solera con la mejora.</i>	50
Tabla 15. <i>Materiales de las ventanas con la mejora.</i>	51
Tabla 16. <i>Materiales de las puertas con la mejora.</i>	51
Tabla 17. <i>Precio total de las medidas de mejora de la Alternativa A.</i>	70
Tabla 18. <i>Precio total de la alternativa de mejora B.</i>	70
Tabla 19. <i>Comparativa de las calificaciones energeticas de las alternativas</i>	73
Este anexo contiene informacion del precio de las alternativas de mejora de eficiencia energetica.....	84
Tabla 20. <i>Precio del aislamiento de lana de vidrio.</i>	84
Tabla 21. <i>Precio de las ventanas.</i>	84

Tabla 22. *Precio de las contraventas*.85

1. Justificación

El planeta está abordando grandes problemas ambientales, uno de ellos es a causa de las emisiones de gases de efecto invernadero en la atmósfera que son producidas por las actividades antrópicas y están ocasionando el cambio climático, provocando impactos negativos sobre los seres humanos, la flora y fauna del planeta (Fernández Muerza , 2021). Es así como nace este proyecto, como iniciativa para aportar al cuidado del medio ambiente y de la necesidad de disminuir el consumo de energía, que es una de las causas de las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, otro beneficio que se puede obtener por la disminución del consumo de energía es el ahorro económico en las facturas de luz y gas.

Es así como con este trabajo se busca realizar una auditoría energética a una casa unifamiliar que está ubicada en Ecuador, en la ciudad de Quito, mediante la utilización de los softwares CERMA y CE3X para calcular su eficiencia energética y así proponer alternativas de mejora a implementar en la edificación con el fin de que sea eficientemente energética. Para calcular la eficiencia energética de la casa se tomará datos energéticos de la envolvente del edificio tales como muros, suelos, cubiertas, medianeras, huecos y puentes térmicos, así como también datos de equipos y consumo eléctrico. Con estos datos se medirá la demanda energética del edificio y se identificará los indicadores de consumo anual de energía primaria no renovable y de emisiones anuales de CO₂.

La importancia de analizar esta edificación es por los consumos de energía que tiene, como por ejemplo el consumo de gas, que por los equipos que se tiene en la casa se pueden ocupar aproximadamente hasta seis cilindros de gas al mes, siendo el promedio mensual en Ecuador de 2.04 cilindros mensuales por familia (Líderes, 2012). Mostrando así que el consumo de energía en la edificación es alto y es necesario disminuirlo. Otro factor importante que tomar en cuenta es que el gas que se consume en Ecuador es importado en un 80% (Sánchez, 2021), evidenciando así la dependencia energética que posee. Es fundamental para la economía del país que la energía consumida sea de autoabastecimiento y no tener que depender de otros países.

2. Introducción y marco teórico

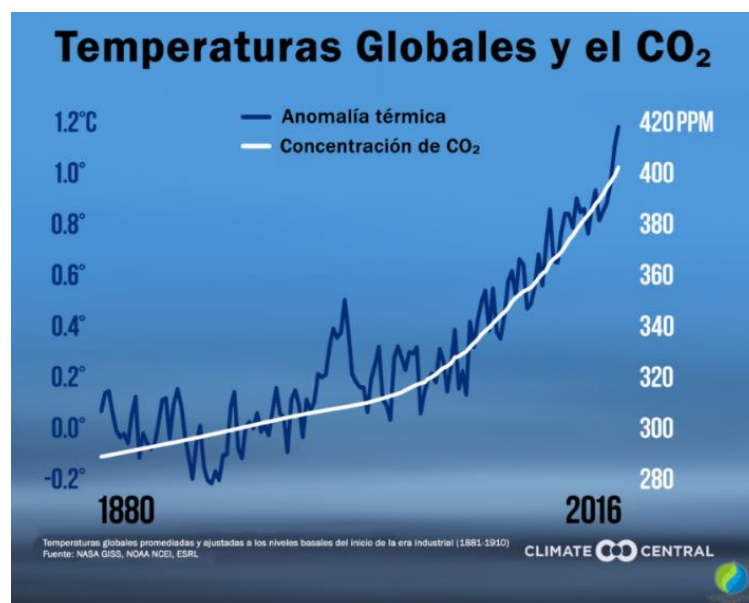
2.1. Cambio climático

El cambio climático es un cambio del clima producido por las actividades humanas (Naciones Unidas, s.f.). La principal causa del cambio climático es el incremento de emisiones de gases de efecto invernadero, que son producidos en algunos casos de forma natural y otros por actividades humanas, entre ellos el dióxido de carbono, metano, óxidos nitrosos y gases fluorados (Comisión Europea, s.f.). Estos gases se producen por actividades como, por ejemplo: la quema de combustibles fósiles, ganadería, descomposición de residuos, industria, transporte, entre otros.

Por causa del cambio climático se ha podido evidenciar algunos efectos como la afectación de los ecosistemas a nivel mundial, provocando la pérdida de numerosas especies vegetales y animales que ya se encuentran debilitadas por la contaminación y la pérdida de hábitat (Ministerio del Medio Ambiente de Chile, 2014).

Otro de los efectos del cambio climático es el calentamiento global, es así como en la Figura 1 se puede ver que desde la línea base que es el año 1980 hasta el año 2016 el aumento de la temperatura mundial se ha relacionado con las concentraciones de CO₂ en la atmósfera ya que las dos variables se han ido incrementado en similar proporción.

Figura 1. Temperaturas globales y concentraciones de CO₂.



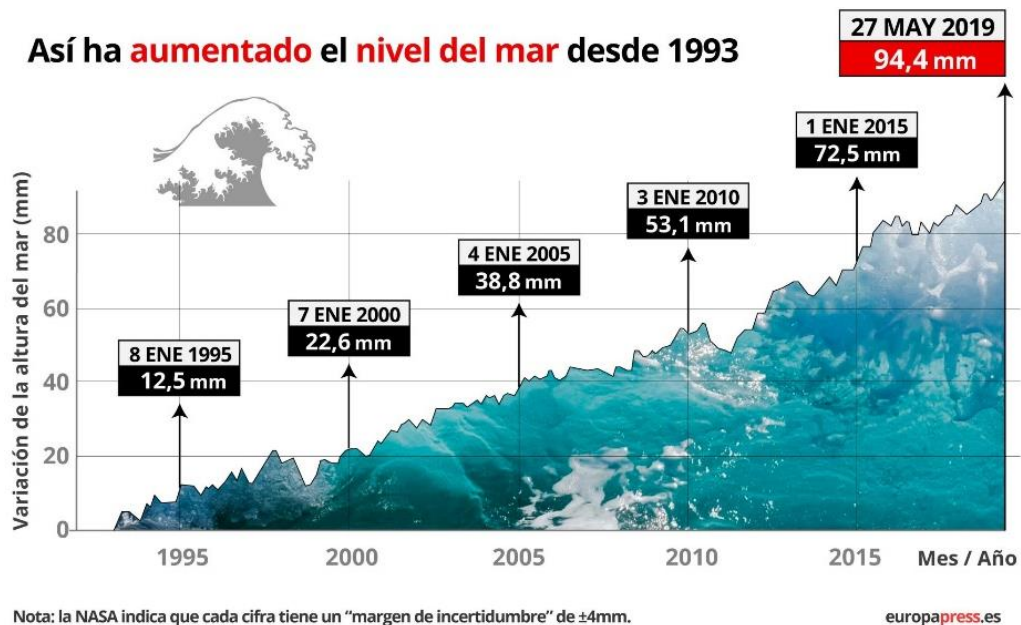
Fuente: NASA GISS et al., s.f.

Es importante añadir que el CO₂ es uno de los gases al que se le atribuye la producción del efecto invernadero, a pesar de que no tiene un gran potencial para generarlo, si es un gas que se emite en mayor cantidad alrededor del mundo comparándolo con los demás gases que producen el efecto invernadero.

De la misma forma, se puede ver los efectos del cambio climático en los océanos. El calentamiento del planeta ha provocado que los glaciares se calienten y se derritan provocando así el aumento el nivel mar. El nivel global del mar ha aumentado 20 centímetros desde 1880 y se proyecta que se elevara entre 30 y 122 centímetros más (NASA, s.f.).

Por ejemplo, en la Figura 2 se puede visualizar como ha ido aumentando el nivel del mar desde 1993, tomado este año como línea base y midiéndolo en periodos de cada cinco años. Desde dicha fecha hasta el año 1995 el nivel del mar aumento 12.5 mm, mientras que al año 2000 el aumento se elevó a 22.6 mm, en general se observa cómo sigue creciendo, tanto que para el año 2019 el mar ya creció 94.4 mm.

Figura 2. Aumento del nivel del mar por efecto del cambio climático.



Fuente: NASA, s.f.

El aumento del nivel del mar es alarmante puesto que esto provoca que el mar invada las zonas costeras, induciendo que se produzca inundaciones en áreas de vivienda, zonas de cultivo o ecosistemas en donde habitan una gran variedad de especies de flora y fauna. Otro efecto alarmante es la pérdida del agua dulce ya que, al descongelarse los glaciares, y estos al no volver a congelarse por la variabilidad del clima, se comienza a perder la reserva de agua que representan están grandes masas de hielo.

Después de ver cómo afecta la emisión de gases de efecto invernadero al cambio climático y cuáles son las consecuencias que tiene, es importante analizar qué actividad humana es la que más emite gases de efecto invernadero. En la Figura 3 se muestra las emisiones de gases de efecto invernadero por sector a nivel mundial en el año 2018, en donde se observa que el sector que más emite estos gases es el sector de la electricidad y calor con 15.591 MtCO₂eq, seguido del transporte con 8.258 MtCO₂eq. Con estos datos se puede llegar a la conclusión que uno de los sectores al que se debe apuntar para reducir los efectos del cambio climático es el sector de la electricidad. Esto se puede lograr buscando un consumo de la energía más eficiente o el intercambio de energías no renovables por energías renovables que sean más amigables con el medio ambiente.

Figura 3. Emisiones de gases de efecto invernadero por sector.



Fuente: Climatewatchdata, 2018

2.2. Acciones gubernamentales para la lucha contra el cambio climático

Como se ha podido reflejar el cambio climático es un problema que afecta a todo el mundo y a lo largo de los años han surgido diferentes acciones que pretenden frenar el cambio climático y el cuidado del medio ambiente. Entre estas acciones tenemos, por ejemplo:

En 1972 se publicó el Primer informe del club de Roma en donde llegaron a la conclusión que, si no ocurre un cambio en el acelerado crecimiento poblacional, la contaminación, en el aprovechamiento de recursos naturales, entre otros, en los próximos cien años el planeta alcanzara su límite máximo de crecimiento. (Meadows et al., 1972). Con esto se puso de manifiesto el impacto negativo que se estaba ejerciendo sobre la Tierra por el excesivo aprovechamiento de recursos desde la revolución industrial. En el mismo año se llevó a cabo la primera conferencia mundial sobre el medio ambiente en Estocolmo, en donde fue creado el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

Por otra parte, en el año de 1988 se creó el Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), este panel se creó con la finalidad de promover la evaluación integral del conocimiento a nivel técnico, científico y socioeconómico del cambio climático, tomando en cuenta sus causas, impactos y las estrategias para afrontarlos (IPCC, s.f.).

En 1992 se lleva a cabo la Cumbre de la Tierra o Conferencia de Río, en esta conferencia se buscó fijar las concentraciones de gases de efecto invernadero a niveles que no perjudiquen o pongan en peligro el ciclo climático (Francia Diplomacia, s.f.). En 1997 se realiza la conferencia de Kioto donde se aprueba el Protocolo de Kioto que entra en vigor en 2005, con este protocolo se busca que los países desarrollados reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero en un tiempo y cifras determinadas. Además, con este protocolo nacen los mecanismos de flexibilidad que son: el comercio de emisiones, el mecanismo de desarrollo limpio y el mecanismo de aplicación conjunta, estos mecanismos proporcionan a los países comprometidos con la reducción de gases de efecto invernadero una ayuda para cumplir con sus objetivos.

Finalmente, se tiene la Conferencia de las Partes, conferencias que se ha llevado a cabo anualmente desde 1995 y hace parte un total de 197 naciones y territorios, este es el organismo encargado de monitorear y revisar la implementación de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (Fourment, 2022). Una de las conferencias más significativas ha sido la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP21), que se efectuó en el año 2015, en donde se alcanzó resultados históricos porque se establece el primer acuerdo sobre el clima a nivel mundial que es el Acuerdo de París, este acuerdo tiene por objetivos evitar el aumento de la temperatura global y que este por debajo de los 2°C ,buscando limitarla 1.5°C para que al 2050 se consiga la neutralidad climática (BBVA, 2021).

2.3. Eficiencia energética

La eficiencia energética es la obtención de los mismos bienes y servicios energéticos, pero con mucha menos energía, con la misma o mayor calidad de vida, con menos contaminación, a un precio inferior al actual, alargando la vida de los recursos y con menos conflictos (AEDENAT et al., 1998). En general, la eficiencia energética se podría decir que es el consumo racional de la energía sin afectar la calidad de vida ni los servicios que nos ofrece.

Pero porque es tan importante la eficiencia energética, pues a medida que el consumo mundial de la energía crece excesivamente y que cada vez existe más dependencia de la energía, aumentan los costos. Además, las energías tradicionales contribuyen a la aceleración del cambio climático puesto que en su producción se utiliza recursos no renovables y libera a la atmosfera gases de efecto invernadero (Roperó , 2020).

Las ventajas de la eficiencia energética son muchas y en diferentes ámbitos, por ejemplo: cuida al medio ambiente disminuyendo los impactos negativos sobre él, existe disminución de emisiones de CO₂ al ambiente, genera ahorros económicos y de energía, promueve las energías renovables, entre otros (ver Figura 4).

Figura 4. Ventajas de la eficiencia energética.



Fuente: INTELTROTEL, 2018

2.4. Normativa española referente a la eficiencia energética

En el ámbito europeo la primera normativa que regula la eficiencia energética en los edificios es la Directiva 2002/91/CE, esta norma establece los requisitos mínimos de eficiencia energética que deben cumplir los edificios, modifica la metodología de cálculo de la eficiencia energética y estableciendo el método para la obtención de la certificación energética y la ejecución de inspecciones de eficiencia energética. Además, se incluye el concepto de “edificio de consumo de energía casi nulo” (Gifreu, 2019), como continuación de esta norma se recogen nuevas medidas en la Directiva 2010/31/UE.

Otra normativa relevante a la eficiencia energética es la Directiva 2012/27/UE, en la cual se establecen medidas para fomentar la eficiencia energética con el fin de lograr el objetivo de ahorro de un 20 % para el 2020. También se establecen normas con el fin de eliminar los obstáculos en el mercado de la energía y superar las deficiencias del mercado que dificultan la eficiencia del suministro y el consumo de energía.

En el caso de España, durante los años de 1980 y 1990, la legislación que precedió los temas de energía y eficiencia energética es la ley derogada NBE-CT-79. Las Normas Básicas de la Edificación, fueron las encargadas de establecer regulaciones a los edificios e instalaciones (Instaladores, 2022). Para la ordenación de la edificación se crea la Ley 38/1999 que por medio del Código Técnico de la Edificación (CTE) se desarrolla reglamentos que permitan garantizar el cumplimiento de los requerimientos básicos de la ley con respecto a la calidad de los

edificios en concepto de seguridad, habitabilidad y funcionamiento (Gobierno de España , 2022). En cambio, el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) se crea con el objetivo de establecer los requisitos para los sistemas de agua caliente, aire acondicionado y calefacción con el fin de lograr el manejo eficiente de la energía.

Por otra parte, el RD 235/2013 que deroga al RD 47/2007, es la normativa base de certificación energética de edificios de nueva construcción, este decreto afecta al mercado inmobiliario puesto que, para construir, vender o alquilar un inmueble se requiere un certificado de eficiencia energética. El RD 235/2013 fue derogado por el Real Decreto 390/2021, este decreto tiene como objetivo mejorar los procedimientos relacionados con la certificación energética de los edificios, actualizando el contenido e incrementando la calidad de la certificación energética.

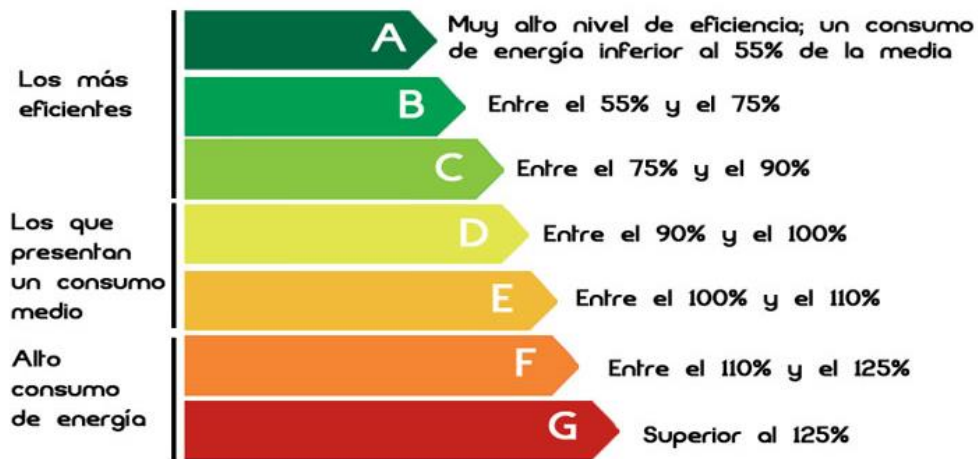
En cuanto a las auditorías energéticas existe el Real Decreto 56/2016, de 12 de febrero, que tiene como finalidad optimizar el consumo energético de equipos, sistemas o instalaciones en las empresas, promoviendo acciones que ahorren el consumo de energía. Asimismo, establece lineamientos a cerca de la realización de auditorías energéticas y el procedimiento para la acreditación de auditores y empresas que ofrecen servicios de energía (IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía , 2021).

2.5. Certificación energética

La exigencia en materia de Certificación Energética de los Edificios se deriva de la Directiva 2002/91/CE y la Directiva 2010/31/UE, traspuestas parcialmente por Real Decreto 235/2013 por el estado español.

La certificación energética es un documento que informa acerca de la eficiencia energética que tiene una edificación, este informe califica al inmueble en 7 niveles, siendo la calificación energética A la más eficiente y la G la menos eficiente (Inarquia, 2022), En la Figura 5 se puede observar un ejemplo de etiqueta energética en donde la clasificación A, que es la más eficiente, tiene un consumo inferior al 55% de energía, mientras que la clasificación G , que es la más baja, tiene un consumo energético superior al 125%.

Figura 5. Interpretación de las etiquetas de eficiencia energética.



Fuente: A-certi, 2013

El procedimiento de la certificación energética se lleva a cabo en cada Comunidad Autónoma, misma que se encarga de su registro, control e inspección y se la puede obtener mediante programas reconocidos por el Ministerio de Fomento y el Ministerio de Industria, Energía y Turismo de España, entre los cuales están los siguientes:

2.5.1. HULC (Herramienta Unificada Lider-Calener)

HULC es el programa oficial con el cual se puede obtener la certificación de eficiencia energética de una edificación existente, además permite verificar el cumplimiento de del CTE DB HE0, HE1, HE4 y HE5 (López , 2017). Este programa sirve para calificar edificios residenciales y edificios terciarios pequeños, medianos y grandes.

2.5.2. CERMA (Calificación Energética Residencial Método Abreviado)

CERMA es otro programa con que cual se puede obtener la certificación energética, en este caso sirve para edificios existentes y de nueva construcción. Este programa permite realizar un estudio de las posibles mejoras que se pueden aplicar al edificio para mejorar su calificación energética (ATECYR & IVE, 2021).

2.5.3. CE3X (Calificación Energética de Edificios Existentes)

CE3X es una herramienta que sirve para obtener el certificado de eficiencia energética de un edificio ya existente y además permite la realización de un análisis económico para determinar que el conjunto de medidas de mejora propuestas es viable o adecuado (Certicalia, 2022).

2.5.4. CE3 (Calificación Energética de Edificios Existentes)

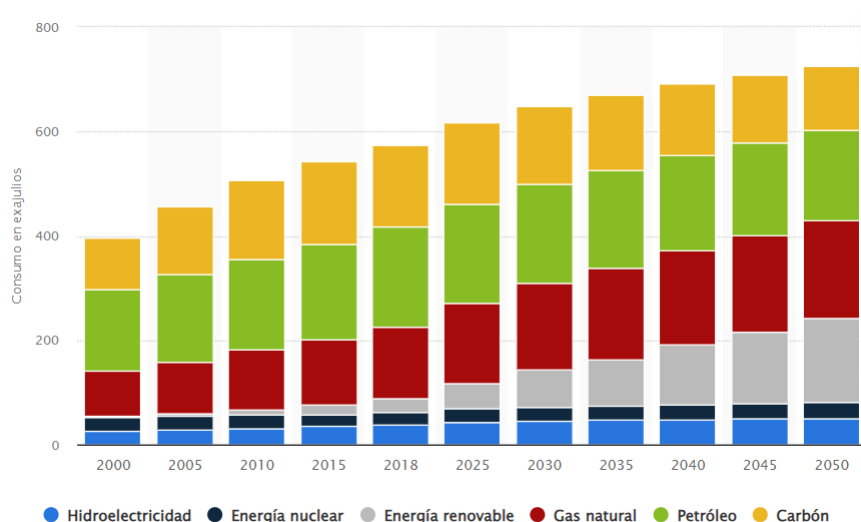
CE3 es una herramienta simplificada que es utilizada para obtener la certificación energética de edificios existentes que fueron construidos antes del año 2019. Este programa permite certificar a edificios de tipo vivienda, bloques, edificios terciarios y edificios gran terciario.

2.6. Energías renovables

Las energías renovables son producidas de forma sostenible a partir de fuentes o recursos que pueden recuperarse en corto tiempo y mediante procesos naturales (Henry & Heinke, 1999). Son consideradas como la solución a muchos de los problemas ambientales, como el cambio climático, los residuos radiactivos, las lluvias ácidas y la contaminación atmosférica (Santamarta, 2004). El interés por este tipo de energías ha ido creciendo por los beneficios que aporta al reducir la dependencia energética y la emisión de gases de efecto invernadero.

Por ejemplo, en la Figura 6 se muestra la proyección de la evolución anual del consumo mundial de energía entre el año 2000 al 2050. Se puede observar que el consumo de las energías renovables va a ir en crecimiento, pero es preocupante que el consumo de energías no renovables como el gas natural y el petróleo no disminuirán, lo que nos hace llegar a la conclusión que no basta con que se incentive al uso de energías renovables, sino que también es importante disminuir la dependencia de energías no renovables.

Figura 6. Consumo mundial de energía de 2000 a 2050.



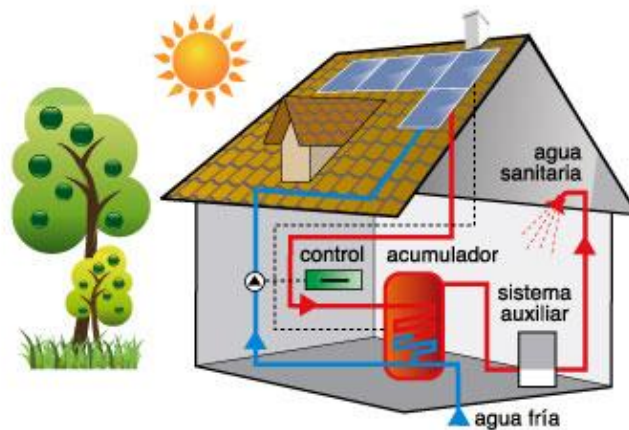
Fuente: Statista Research Department, 2021

Entre las energías renovables se tiene las siguientes:

2.6.1. Energía solar termina

La energía solar térmica consiste en transforma la energía solar en energía térmica, mediante el uso de captadores solares. Dentro de estos captadores circula un fluido que se calienta gracias a la radiación solar, haciendo que se eleve la temperatura del agua de un depósito o acumulador (Aprean, s.f.). Este tipo de energía es utilizada generalmente para brindar apoyo a los sistemas de calefacción en los hogares (ver figura 7), esto puede generar un 20% a 50% de soporte a la demanda energética de la vivienda (Renovaenergía, 2020).

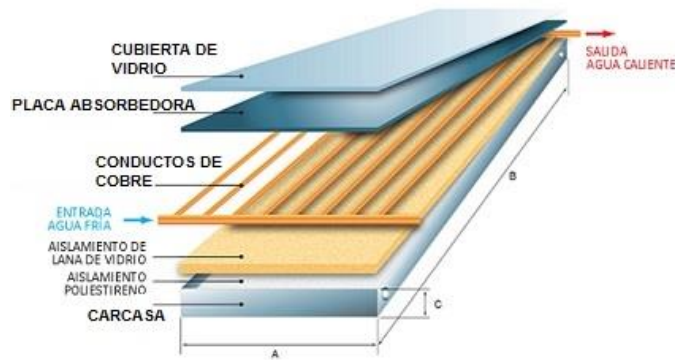
Figura 7. Sistema solar térmico en una vivienda.



Fuente: Climapal, s.f.

En la Figura 8 se observa los elementos de un captador, por lo general los captadores tienen una cubierta de vidrio que permite pasar la radiación solar hacia la placa absorbedora, que es una superficie negra que maximiza la absorción de la radiación solar. La placa absorbedora en conjunto con la carcasa, que tiene un aislamiento que evita la pérdida de calor, favorece el efecto invernadero que se produce dentro del captador. La energía captada se traslada por los conductores por medio del fluido que entra a temperatura fría y sale a temperatura caliente.

Figura 8. Elementos de un captador solar plano.



Fuente: PCQ, 2018

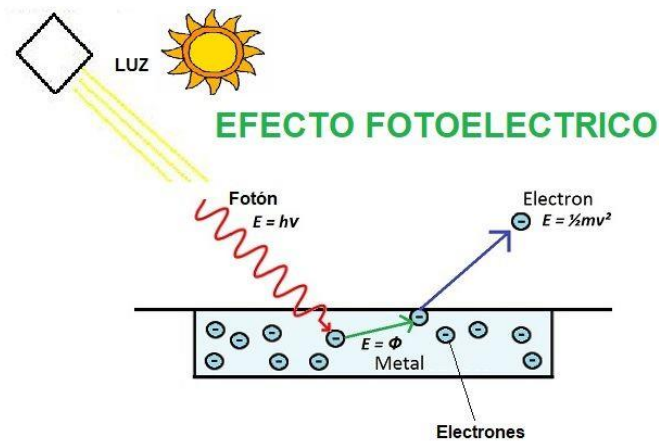
Este tipo de energía puede traer varios beneficios hacia el medio ambiente, la salud y la economía de los hogares. Por ejemplo, en la investigación de Cáceres (2020) en donde se diseña una instalación de ACS para una vivienda se llega a conclusión que al cambiar un calefón que utiliza gas GLP por una instalación que se alimenta por energía solar térmica se puede evitar la emisión de gases tóxicos, como el gas metano, que podrían ser perjudiciales para la salud y también se puede evitar la emisión de CO₂ que es uno de los gases de efecto invernadero que provocan el cambio climático.

2.6.2. Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica transforma la radiación solar en electricidad por medio de células fotovoltaicas que están colocadas en los paneles fotovoltaicos en forma de serie o en paralelo. Las células fotovoltaicas son elaboradas con materiales metálicos semiconductores, que por lo general son de silicio.

Dentro de las células se produce el efecto fotoeléctrico que se puede observar en la Figura 9, este efecto se produce cuando un fotón, que es una partícula que transporta la radiación electromagnética o solar, choca con un electrón del átomo de silicio que hace parte de la célula fotovoltaica. Cuando se produce este choque el electrón recibe la energía con la que se movió el fotón y sale de su órbita pudiendo así atravesar el material conductor, esto hace que se produzca la corriente continua (Planas, 2015).

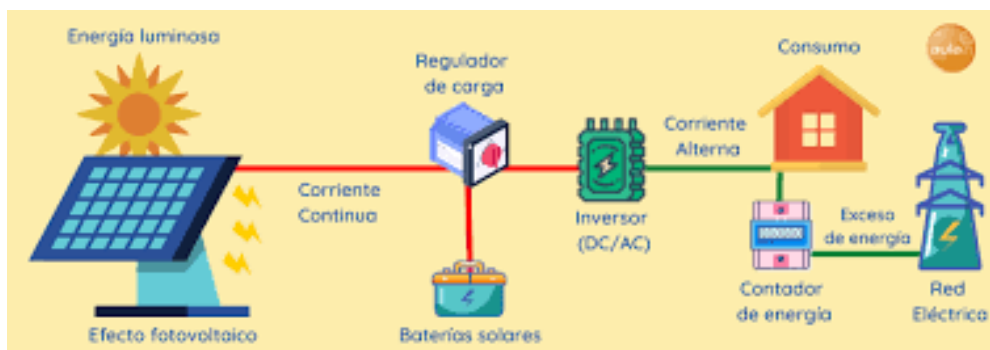
Figura 9. Efecto fotoeléctrico.



Fuente: Areatecnologia, s.f.

En una instalación de energía solar fotovoltaica se pueden encontrar varios elementos dependiendo de su uso final, como por ejemplo en la Figura 10 se puede observar una instalación para autoconsumo. Como primer elemento se tiene el panel fotovoltaico que permite obtener la electricidad en forma de corriente continua, pero es necesario transformarla a corriente alterna para poder consumirla en los hogares, esto se puede realizar por medio de un inversor. Otro de los elementos que se pueden encontrar son los acumuladores o baterías que permiten almacenar la energía que se produjo durante el día, aunque no es muy común su uso por su alto costo y poca eficiencia. En el caso que se tenga una batería será necesario colocar un regulador de carga que monitoree las baterías para evitar la sobrecarga o que la batería se descargue por completo. Por otra parte, otra forma de aprovechar la energía acumulada en exceso es direccionándola a la red eléctrica pública.

Figura 10. Instalación de energía solar fotovoltaica de autoconsumo.



Fuente: Aula21, s.f.

Este tipo de energía puede ser una de las soluciones para evitar la emisión de CO₂ a la atmósfera. Tal como se muestra en la investigación de Álvares (2021), en donde se diseña un sistema fotovoltaico para un comercial en Latacunga, Ecuador. En este estudio se pudo obtener como resultado que, al implementar esta instalación se puede evitar emitir 71.38 kg de CO₂/ año, sabiendo que sin este cambio se emite 815.96 kg de CO₂/ año, comprobando así que la utilización de energía fotovoltaica puede otorgar grandes beneficios para el medio ambiente.

2.6.3. Energía Hidráulica

La energía hidráulica es la energía que utiliza la corriente del agua para la obtención de energía eléctrica mediante molinos o presas que giran por el movimiento del agua (Factorenergía, 2021). Es considerada una energía renovable porque no consume el agua que utiliza para producir energía, sino que simplemente utiliza el movimiento de las masas de agua, que generalmente provienen de ríos que tienen un alto caudal. Las ventajas de este tipo de energía es que no contamina y no agota el recurso natural, en este caso el agua. Como desventaja se tiene que considerar el tipo de construcción de la presa, ya que si no fue construida de una manera sostenible puede ocasionar daños al medio ambiente.

2.6.4. Energía Eólica

La energía eólica proviene de la fuerza del viento, este tipo de energía se obtiene por medio de aerogeneradores que transforman la energía cinética en energía mecánica (SEMAEDES, s.f.). Este tipo de energía tiene relación con la radiación solar ya que la fuerza del aire se produce por cambios de presión y temperatura, estos cambios se producen cuando los rayos de sol atraviesan la atmósfera y van perdiendo energía intercambiándola con las masas de aire, lo que produce un punto de diferencia de temperatura que genera un cambio de presión. Este proceso hace que el aire se mueva y produzca viento, el cual contiene energía cinética y esa energía es la que se aprovecha para producir energía eléctrica.

2.6.5. Energía de Biomasa

La energía de biomasa es obtenida a partir de la combustión de materia orgánica, originada por los diferentes procesos biológicos que se dan en el día a día, como por ejemplo residuos de las podas de árboles, ciertos cereales, restos de aceite industrial, entre otros (Edesa, 2022). Este tipo de energía es considerada como renovable, a pesar de que su materia prima no es renovable, porque utiliza los residuos de otros procesos, que en otros casos pudieran ser desechados.

2.6.6. Energía Geotérmica

La energía geotérmica es un tipo de energía bastante eficiente pero poco conocida, es considerada como energía renovable porque se extrae por medio del calor interior de la Tierra y sirve para la obtención de agua caliente o para climatización (Twenergy, 2019).

3. Objetivos del TFE

3.1. Objetivo general

Ejecutar una certificación energética a una edificación ubicada en la ciudad de Quito - Ecuador, mediante la utilización de los softwares CERMA y CE3X con el fin de proponer alternativas de mejora y su valoración económica, que permitan tener una vivienda eficientemente energética.

3.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos asociados a este trabajo son:

- Caracterizar la edificación, tomando en cuenta su ubicación, zona climática, envolvente y las instalaciones que consumen energía para realizar una auditoria energética.
- Obtener la calificación energética de la edificación mediante los softwares de certificación CERMA y CE3X para conocer su estado actual referente a eficiencia energética.
- Proponer medidas de mejora de ahorro energético para mejorar la calificación energética y reducir la demanda de energía de la edificación y la emisión de CO₂.
- Analizar las medidas de mejora propuestas, tomando en cuenta sus características técnicas y sus costos para conocer su rentabilidad y escoger la mejor alternativa para ser implementada.

4. Hipótesis de trabajo

Para la elaboración de este trabajo se plantean las siguientes hipótesis, las cuales serán contrastadas con los resultados de la investigación lo cual permitirá responder identificar las hipótesis que serán cumplidas y las que no.

- Con los datos obtenidos de la edificación se podrá generar la certificación energética del edificio, y a su vez se podrá obtener los indicadores de consumo anual de energía primaria no renovable y de emisiones anuales de CO₂.
- La calificación energética de la vivienda actual es una calificación baja y puede estar entre una calificación E o F.
- La calificación energética que se obtendrá podrá ser mejorada con las propuestas de mejora que serán planteadas.
- Entre las propuestas de mejora que se podrá implementar la utilización de energía renovable como por ejemplo la instalación de paneles solares para cubrir la demanda de ACS.
- Todas las propuestas de mejora presentarán una rentabilidad alta en el transcurso del tiempo mostrando que son buenas alternativas.

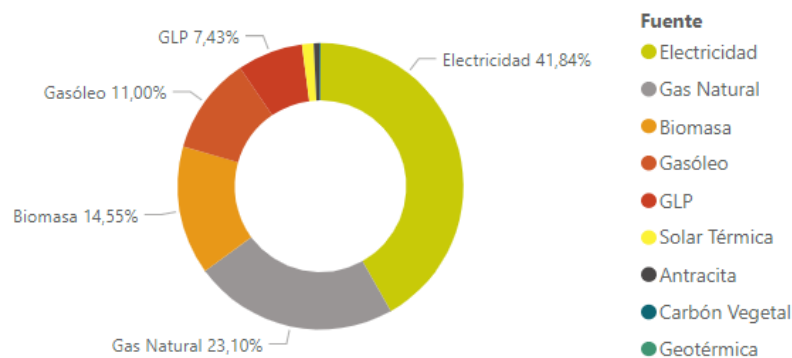
5. Estado actual del consumo energético en la edificación en España

En el estado español las necesidades de energía a nivel residencial son importantes ya que el consumo de energía final total equivale el 17% y por demanda de electricidad un 25% (IDEA, 2011).

Además, se tiene que tomar en cuenta que en España el 95% de las viviendas fueron construidas antes del año 2007, mismo año que se propusieron mejoras en la eficiencia energética de los edificios por medio del Código Técnico de la Edificación (Xylem, 2022). Lo que conlleva a un gran problema puesto que las edificaciones no son eficientemente energéticas, por no tener las características adecuadas en su envolvente térmica, lo que quiere decir que demandan de mucha energía. También se debe considerar que el tipo de energía que utilizan son energías que emiten una gran cantidad de CO₂ a atmosfera, ocasionando un impacto significativo sobre el medio ambiente. En esto recae la importancia de transformar las edificaciones convencionales en edificaciones sostenibles y que aporten a la reducción de la huella de carbono (Customedia, 2022).

En la Figura 11 se puede ver que en el sector residencial la fuente de energía que más se utiliza es la electricidad, con un 41.84 %, seguido por el gas natural que es de 23.10%. En este caso se observa que la utilización de energías renovables es baja con un 14.55% de energía basada en biomasa. Lo interesante es que no se toma en cuenta a la energía solar térmica o fotovoltaica a pesar de que son una muy buena alternativa para reducir el consumo de energía no renovable en el área residencial.

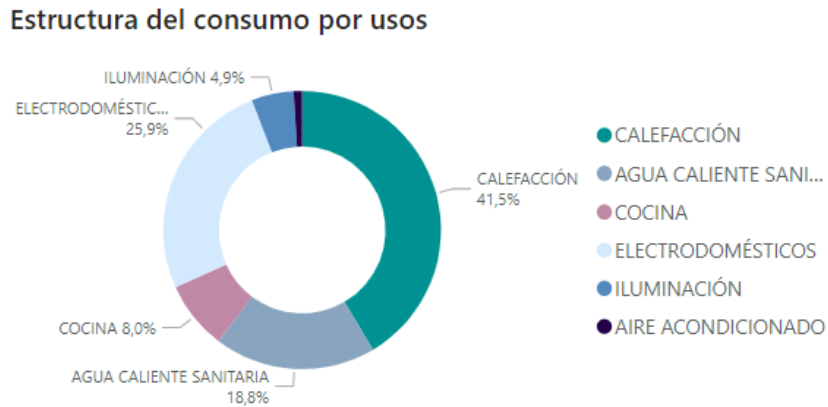
Figura 11. Estructura del consumo de energía final por fuentes – España.



Fuente: IDAE, 2022

Por otra parte, en la clasificación de consumos por usos en el sector residencial, que se puede ver en la Figura 12, el consumo para calefacción es el 41.5 %, seguido por los electrodomésticos con un 25.9%. En el caso de aire acondicionado es la más baja con un 0.9 %. Con esto se puede llegar a la conclusión que una de las áreas a la cual se le debe poner mayor interés y proponer alternativas de mejora es el sector de la calefacción.

Figura 12. Estructura del consumo por usos – España.



Fuente: IDAE, 2022

6. Ahorro energético en la edificación

6.1. Mejoras en la envolvente térmica

Existen varias formas de mejorar la envolvente térmica de los edificios y para ello se debe tomar en cuenta el Código Técnico de la Edificación (CTE), que es la normativa en la cual se instauran los requerimientos básicos de cumplimiento para edificaciones. Esto permite que las edificaciones cumplan con la calidad necesaria para ser habitables y seguras.

Entre las exigencias que establece la norma se tiene por ejemplo los valores límites de transmitancia térmica de los elementos constructivos que se muestra en la Tabla 1, en donde se clasifican los valores límites de acuerdo con la zona climática de invierno y por elemento constructivo. Esta tabla sirve para verificar que la transmitancia térmica de los elementos es la adecuada para evitar la pérdida de calor y prevenir que se altere el confort térmico de la edificación.

Tabla 1. Valores límites de transmitancia térmica.

Tabla 3.1.1.a - HE1 Valores límite de transmitancia térmica, U_{lim} [W/m^2K]

Elemento	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Muros y suelos en contacto con el aire exterior (U_s, U_M)	0,80	0,70	0,56	0,49	0,41	0,37
Cubiertas en contacto con el aire exterior (U_C)	0,55	0,50	0,44	0,40	0,35	0,33
Muros, suelos y cubiertas en contacto con espacios no habitables o con el terreno (U_T) Medianerías o particiones interiores pertenecientes a la envolvente térmica (U_{MD})	0,90	0,80	0,75	0,70	0,65	0,59
Huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana) (U_H)*	3,2	2,7	2,3	2,1	1,8	1,80
Puertas con superficie semitransparente igual o inferior al 50%	5,7					

*Los huecos con uso de escaparate en unidades de uso con actividad comercial pueden incrementar el valor de U_H en un 50%.

Los valores límite de transmitancia aseguran una calidad mínima de la envolvente térmica y evitan descompensaciones en la calidad térmica de los espacios del edificio. Sin embargo, estos valores no aseguran un nivel de demanda adecuado, limitado por el coeficiente global de transmisión de calor (K).

Fuente: Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana, 2022

En el caso que uno de estos elementos no cumpla con los límites por lo general se realiza cambios en el aislamiento de cubiertas y muros o reduciendo la infiltración de aire (Hernández, 2012). Por ejemplo, al realizar mejoras en el aislamiento se puede ahorrar hasta un 30% de energía para la calefacción (Domínguez, 2022). Por otro lado, para reducir la infiltración del

aire se puede cambiar las ventanas por otras menos permeables o por unas de doble acristamiento y verificando las áreas por donde se pierde calor.

Los límites de permeabilidad de aire de los huecos se pueden ver en la Tabla 2, en donde también se clasifican por zonas climáticas de invierno.

Tabla 2. Valores límites de permeabilidad del aire de huecos.

Tabla 3.1.3.a-HE1 Valor límite de permeabilidad al aire de huecos de la envolvente térmica, $Q_{100,lim}$ [$m^3/h \cdot m^2$]

	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Permeabilidad al aire de huecos ($Q_{100,lim}$) [*]	≤ 27	≤ 27	≤ 27	≤ 9	≤ 9	≤ 9

^{*} La permeabilidad indicada es la medida con una sobrepresión de 100Pa, Q_{100} .
Los valores de permeabilidad establecidos se corresponden con los que definen la clase 2 ($\leq 27 m^3/h \cdot m^2$) y clase 3 ($\leq 9 m^3/h \cdot m^2$) de la UNE-EN 12207:2017.
La permeabilidad del hueco se obtendrá teniendo en cuenta, en su caso, el cajón de persiana.

Fuente: Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana, 2022

Para verificar que la envolvente térmica global del edificio cumple con la transmitancia térmica adecuada se puede comprobar en la Tabla 3 en donde se muestra los valores límites del coeficiente global de transmisión de calor. Este coeficiente representa el valor medio ponderado de la transmitancia térmica de los elementos constructivos del edificio por su área y se clasifica por la zona climática de invierno y la compacidad.

Tabla 3. Valores límites del coeficiente global de transmisión de calor para uso residencial privado.

Tabla 3.1.1.b - HE1 Valor límite K_{lim} [W/m^2K] para uso residencial privado

	Compacidad V/A [m^3/m^2]	Zona climática de invierno					
		α	A	B	C	D	E
Edificios nuevos y ampliaciones	$V/A \leq 1$	0,67	0,60	0,58	0,53	0,48	0,43
	$V/A \geq 4$	0,86	0,80	0,77	0,72	0,67	0,62
Cambios de uso. Reformas en las que se renueve más del 25% de la superficie total de la envolvente térmica final del edificio	$V/A \leq 1$	1,00	0,87	0,83	0,73	0,63	0,54
	$V/A \geq 4$	1,07	0,94	0,90	0,81	0,70	0,62

Los valores límite de las compacidades intermedias ($1 < V/A < 4$) se obtienen por interpolación.
En el caso de ampliaciones los valores límite se aplicarán sólo en caso de que la superficie o el volumen construido se incrementen más del 10%.

Fuente: Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana, 2022

6.2. Mejoras en las instalaciones térmicas

Las instalaciones térmicas pueden ser sustituidas por otros de alto rendimiento, en el caso de instalaciones de calefacción y agua caliente sanitaria se puede sustituir las calderas por unas de condensación o de biomasa o bien por una bomba de calor aire-agua. En el caso de aire acondicionado, por lo general se utilizan bombas de calor que pueden ser sustituidos por bombas de calor de alta eficiencia de aire-aire.

6.3. Instalación de energía renovable

Las instalaciones de energía renovable son una de las mejores mejoras que se pueden aplicar para mejorar la eficiencia energética de los edificios, por ser un tipo de energía amigable con el ambiente y mucho más eficientes que las convencionales. Por ejemplo, para cubrir la demanda de agua caliente se pueden utilizar paneles solares térmicos o en el caso de la obtención de electricidad se puede instalar paneles fotovoltaicos. Para realizar estos cambios también es importante tomar en cuenta su factibilidad desde el punto de vista técnico y económico (Ovacen, 2013).

6.4. Hábitos de consumo

Los hábitos de consumo también son muy importantes puesto que, de nada sirve contar con instalaciones altamente eficientes si la forma de consumo es indiscriminada o no se la utiliza de la manera adecuada. Por ejemplo, es importante mantener las instalaciones de calefacción o refrigeración a temperaturas adecuadas, que estén dentro de los parámetros de confort térmico, para evitar los altos consumos de energía. De hecho, con bajar 1°C en la calefacción se podría ahorrar entre 5 y 10% de energía además de evitar hasta 300 kg de emisiones de CO₂ a la atmosfera por año (Ovacen, 2013).

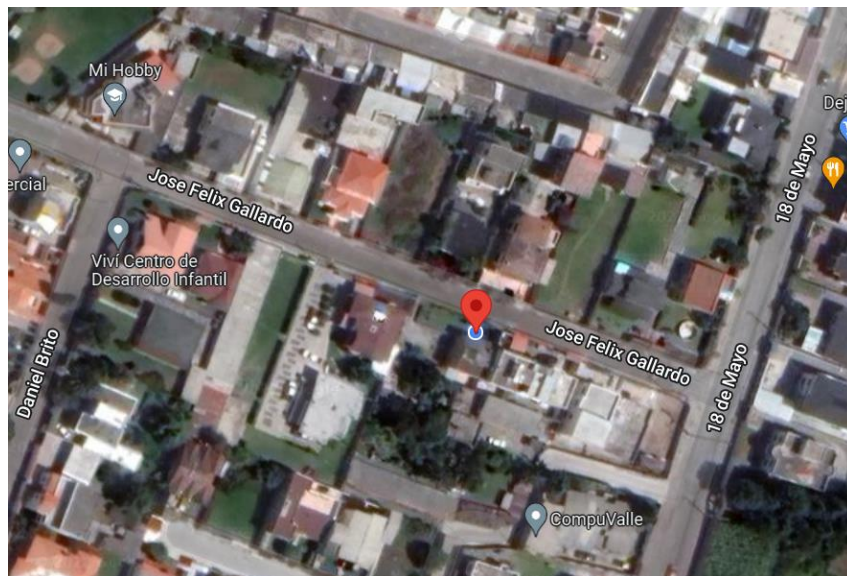
Entre otros hábitos de consumo que se pueden aplicar son: aprovechar la luz natural del sol en las horas de luz y evitar el uso de iluminación artificial si no es necesario, poner la lavadora de ropa y platos a su máxima capacidad, usar bombillas de luz más eficientes como lo son las bombillas de tipo led, entre otros.

7. Descripción del edificio objeto de estudio

7.1. Ubicación

La edificación objeto de estudio está ubicada en Ecuador en la ciudad de Quito, parroquia Conocoto, en el conjunto habitacional Sol del Valle. Como se puede observar en la Figura 13, la dirección de la vivienda es José Félix Gallardo E8-505 y 18 de mayo. Está ubicada a 2464 msnm, en las coordenadas 0°17'49.2" S y 78°27'59.0" W.

Figura 13. Localización del edificio objeto de estudio.



Fuente: Google Maps, 2022

7.2. Zona Climática

Granja, 2022 en su publicación “Auditoria energética en de una casa en Quito, Ecuador” determina que la zona climática en la que se encuentra la ciudad de Quito, según la clasificación del estado español es Alpha 4. Una de las zonas en España con esa zona climática es Santa Cruz de Tenerife. Esta ubicación será utilizada en los softwares CERMA y CE3X para poder establecer la zona climática.

7.3. Características constructivas

7.3.1. Características Geométricas

La vivienda fue construida en el año 2007 y tiene un área de 125 m² de construcción. Al lado derecho de la edificación se encuentra una casa adosada y en las otras direcciones cuenta con amplios jardines. La vivienda es de tipo unifamiliar con una cubierta plana y de dos pisos en la cual habitan 5 personas. La primera planta cuenta con sala de estar, comedor, cocina y un baño, mientras que la segunda planta tiene 4 dormitorios y 2 baños.

El área de los elementos constructivos es la siguiente:

- El muro en orientación noreste tiene un área de 43.2 m², el de orientación oeste de 42.1 m² y del sueste de 43.2 m². Por otra parte, el área de la medianera es de 42.1 m².
- La cubierta tiene un área de 62.4 m² al igual que la partición interior y la solera.
- Los huecos se dividieron por grupo y su área se puede ver en la Tabla 4.

Tabla 4. Área de los huecos.

Grupo de Hueco	Numero de ventanas	Ancho (m)	Alto (m)	Área por ventana (m ²)	Área Total (m ²)
Grupo 1	5	2.4	1.4	3.36	16.8
Grupo 2	2	0.9	0.6	0.54	1.08
Grupo 3	1	1.5	1.4	2.1	2.1
Grupo 4	1	2.4	1.15	2.76	2.76
Grupo 5	1	0,7	1.1	0.77	0.77
Grupo 6	1	1.2	2.30	2.76	2.76
Grupo 7	1	0.8	2.30	1.84	1.84

Fuente: Elaboración propia

En el grupo 1 se encuentran las ventanas de los dormitorios 1,2 y 3, en el grupo 2 las ventanas de los 2 baños, el grupo 3 representa la ventana del dormitorio 4, el grupo 4 de la ventana de la cocina y el grupo 5 es la ventana que se encuentra al lado de la puerta principal. Por otra parte, el grupo 6 es la puerta principal y el grupo 7 la puerta de la cocina.


7.3.2. Características de los materiales constructivos

En este apartado se describirá los materiales constructivos de la vivienda según el Catálogo de elementos constructivos del CTE, este catálogo de materiales se puede encontrar en la base de datos del software CERMA para poder determinar los materiales de cada elemento constructivo.

Los materiales de construcción de los muros, suelos y cubiertas detallados a continuación son simulados puesto que no se tuvo acceso a la información real de los materiales de construcción de estos elementos, pero es importante recalcar que para la simulación se buscaron los materiales que más se acercan a la realidad. Por otro lado, en el caso de las ventanas y puertas la información es real.

En la Tabla 5 se describe los materiales de las fachadas o también conocidos como muros exteriores.


Tabla 5. *Materiales constructivos de muros exteriores.*

Muro Exterior	
he= 25,00 W/m ² K	
1/2 pie LM métrico o catalán 40 mm < G < 50 mm (0,115m)	
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido d > 2000 (0,015m)	
Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm] (0,070m)	
Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 (0,015m)	
hi= 7,69 W/m ² K	
	
	$U = 2,07 \frac{W}{m^2k}$

Fuente: CERMA,2022

Se describe los materiales de la medianera en la Tabla 6, que es el muro adiabático que separa a la vivienda de la casa que se encuentra al lado derecho de esta.


Tabla 6. Materiales constructivos de la medianera.

Medianera	
he= 7,69 W/m ² K	
Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 (0,015m)	
Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm] (0,070m)	
MW Lana mineral [0.04 W/[mK]] (0,040m)	
Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm] (0,070m)	
Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 (0,015m)	
hi= 7,69 W/m ² K	
$U = 0,62 \frac{W}{m^2k}$	

Fuente: CERMA,2022

En la Tabla 7 se describe los materiales constructivos de la cubierta de la vivienda.


Tabla 7. Materiales constructivos de la cubierta.

Cubierta	
he= 25,00 W/m ² K	
Teja de arcilla cocida (0,020m)	
MW Lana mineral [0.04 W/[mK]] (0,060m)	
Betún fieltro o lámina (0,001m)	
FU Entrevigado de EPS mecanizado enrasado -Canto 250 mm (0,250m)	
Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 (0,015m)	
hi= 10,00 W/m ² K	
$U = 0,38 \frac{W}{m^2k}$	

Fuente: CERMA,2022

La partición interior es de forma horizontal, es la que separa las dos plantas de la vivienda. Los materiales de este elemento se describen en la Tabla 8.


Tabla 8. Materiales constructivos de particiones interiores horizontales.

Partición Interior	
he= 10,00 W/m ² K	 $U = 0,39 \frac{W}{m^2k}$
Azulejo cerámico (0,030m)	
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1250 (0,010m)	
EPS Poliestireno Expandido [0.037 W/[mK]] (0,080m)	
Hormigón en masa 2000<d<2300 (0,210m)	
Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 (0,010m)	
hi= 10,00 W/m ² K	

Fuente: CERMA,2022

En la Tabla 9 se describe los materiales del suelo en contacto con terreno o solera.

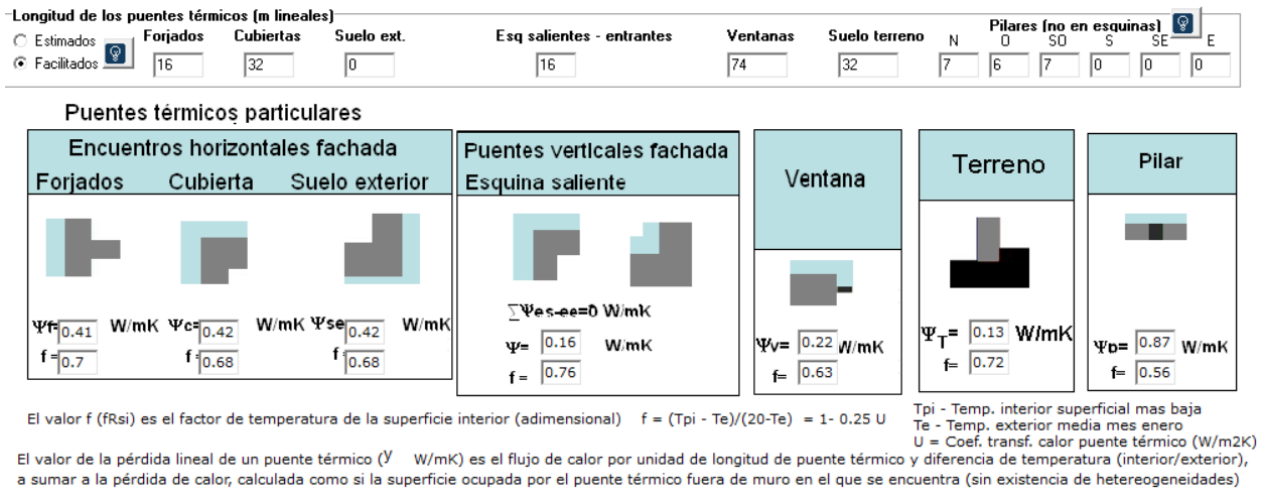
Tabla 9. Materiales constructivos de la solera.

Solera	
he= 5,88 W/m ² K	 $U = 0,95 \frac{W}{m^2k}$
Plaqueta o baldosa cerámica (0,006m)	
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido d > 2000 (0,024m)	
MW Lana mineral [0.04 W/[mK]] (0,030m)	
Hormigón armado 2300 < d < 2500 (0,300m)	
Terreno	

Fuente: CERMA,2022

Los puentes térmicos se describen en la Figura 14, los puentes térmicos son zonas en donde existe cambio de material y pérdida de calor, estos puentes térmicos pueden estar presentes en los forjados, cubiertas, suelo, esquinas, ventanas y pilares.

Figura 14. Características de los puentes térmicos.



Fuente: CERMA,2022

Los materiales de las ventanas se describen en la Tabla 10.

Tabla 10. Materiales de las ventanas.

Ventanas	
Vidrio monolítico	$U_{vidrio} = 5,70 \frac{W}{m^2k}$
Marco metálico sin rotura puente térmico - 5%	
Sin elementos fijos	$U_{marco} = 5,70 \frac{W}{m^2k}$
No existe caja de persianas	$U_{hueco} = 5,70 \frac{W}{m^2k}$

Fuente: CERMA,2022

La puerta 1 es la puerta principal que da acceso a la vivienda, los materiales de esta puerta se describen la Tabla 11.

Tabla 11. Materiales de la puerta principal o puerta 1.

Puerta 1	
Puerta metálica sin rotura puente térmico	$U = 5,70 \frac{W}{m^2k}$

Fuente: CERMA,2022

La puerta 2 es la puerta que se encuentra en la cocina y es la que tiene acceso al patio trasero de la vivienda, los materiales de esta puerta se describen la Tabla 12.

Tabla 12. Materiales de la puerta de la cocina o puerta 2.

Puerta 2	
Vidrio monolítico	$U_{vidrio} = 5,70 \frac{W}{m^2k}$
Puerta metálica sin rotura puente térmico - 70%	$U_{puerta} = 5,70 \frac{W}{m^2k}$
Sin elementos fijos	$U_{hueco} = 5,70 \frac{W}{m^2k}$
No existe caja de persianas	$U_{hueco} = 5,70 \frac{W}{m^2k}$

Fuente: CERMA,2022

7.4. Instalaciones

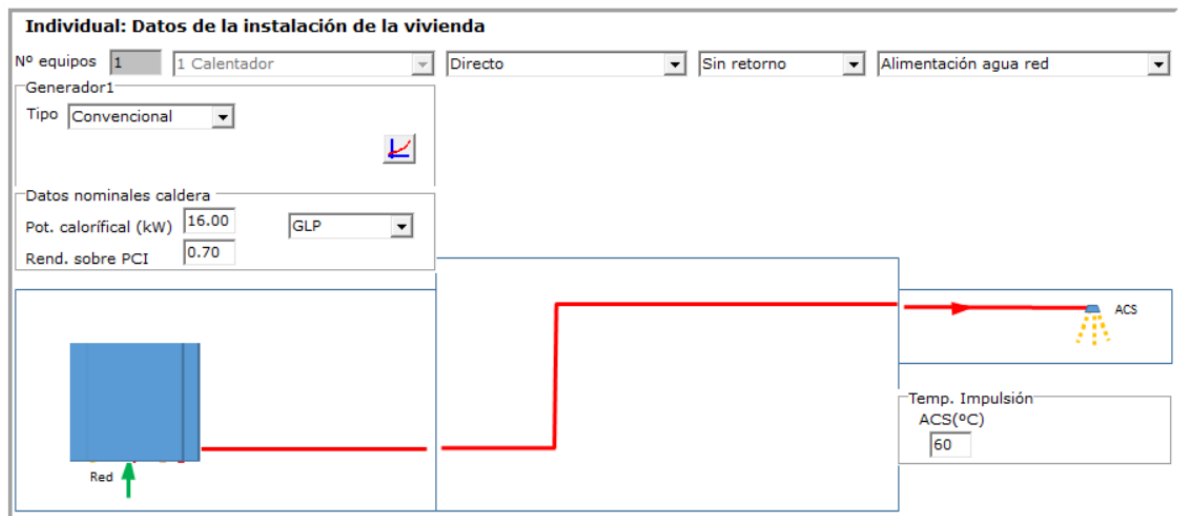
7.4.1. Instalaciones de climatización

Por las características de la zona climática en donde está ubicada la vivienda no es necesario tener instalaciones de climatización ya que en la ciudad de Quito no se producen cambios bruscos de temperatura, sino que se mantiene generalmente constante.

7.4.2. Instalaciones para ACS

Para la calefacción de agua caliente sanitaria se tiene instalado un calefón de 26 litros de marca Instamatic modelo GO-179, este calefón consume gas GLP y consume alrededor de 2 tanques al mes (ver Figura 15).

Figura 15. Instalación de ACS del edificio de estudio.



Fuente: CERMA,2022

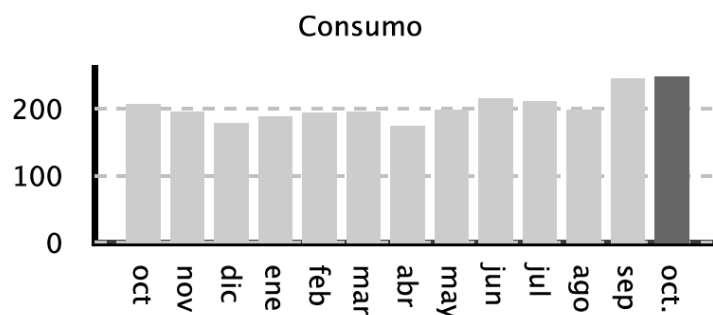
7.5. Elementos consumidores de energía

Los equipos consumidores de energía se detallan a continuación: una refrigeradora, un microondas, una cocina a gas, una secadora de ropa a gas, cuatro televisiones, una computadora de escritorio, tres laptops, cinco teléfonos celulares, una licuadora, una tostadora y entre otros elementos como planchas de ropa y cabello, etc.

En cuestión iluminación se tiene instalado en total 11 focos tipo led, un en cada espacio de la casa y 2 en la sala de estar.

Entre los electrométricos y los focos de iluminación se consume en promedio 225 kWh al mes como se puede observar en la Figura 16, en donde se muestra el consumo de los meses entre octubre del año 2021 y octubre del año 2022. Por otra parte, en consumo de gas GPL, la cocina consume aproximadamente 2 tanques de gas al mes, al igual que la secadora.

Figura 16. Consumo de energía eléctrica en la vivienda en el año 2022.



Fuente: Empresa Eléctrica Quito,2022

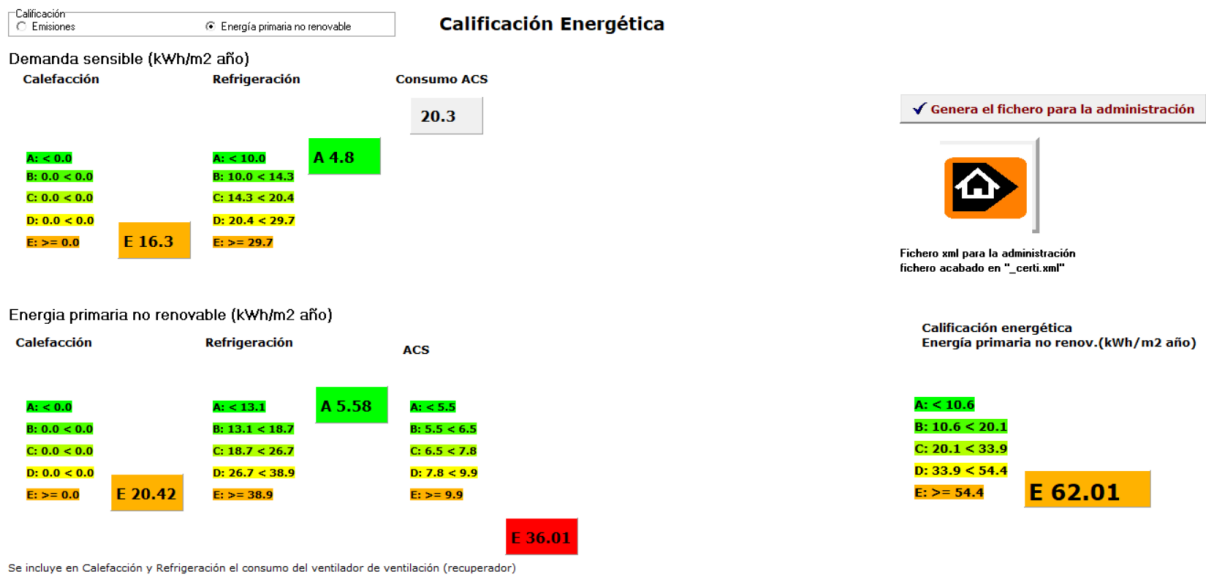
7.6. Calificación energética de la edificación de estudio

7.6.1. Calificación energética con el software CERMA de la vivienda actual

Para obtener la certificación energética en el software CERMA se ingresó los datos de la vivienda para poder simularla y generar los indicadores de consumo anual de energía primaria no renovable y de emisiones anuales de CO₂, entre los datos ingresados fueron los siguientes:

- En la pestaña de título se ingresó el objetivo de la certificación, en este caso certificación energética y cumplimiento del CTE 2019. En este caso, aunque el edificio sea existente se colocó que es nuevo para poder obtener los datos de cumplimiento del CTE. Otra de la información importante en esta sección es la zona climática en la que se encuentra la vivienda, además de otros datos de ubicación.
- En la sección de Global se colocó los datos del número de plantas, el área de suelo habitable y volumen total, la clase de higrometría que es de 3% por ser una vivienda que no genera mucha humedad, el número de espacios secos que son 6 y húmedos 4, que sirve para calcular el número de renovaciones de aire y el consumo de ACS que debe tener la vivienda según el CTE- HE4.
- En Edificio se ingresa los datos de la envolvente térmica que corresponden a los muros exteriores, medianera, particiones interiores, cubierta, suelo, puentes térmicos y huecos.
- Finalmente, en la pestaña de instalaciones se describió la instalación que sirve para la obtención de agua caliente sanitaria.

Figura 17. Calificación energética de consumo de energía primaria no renovable de la edificación de estudio con CERMA.

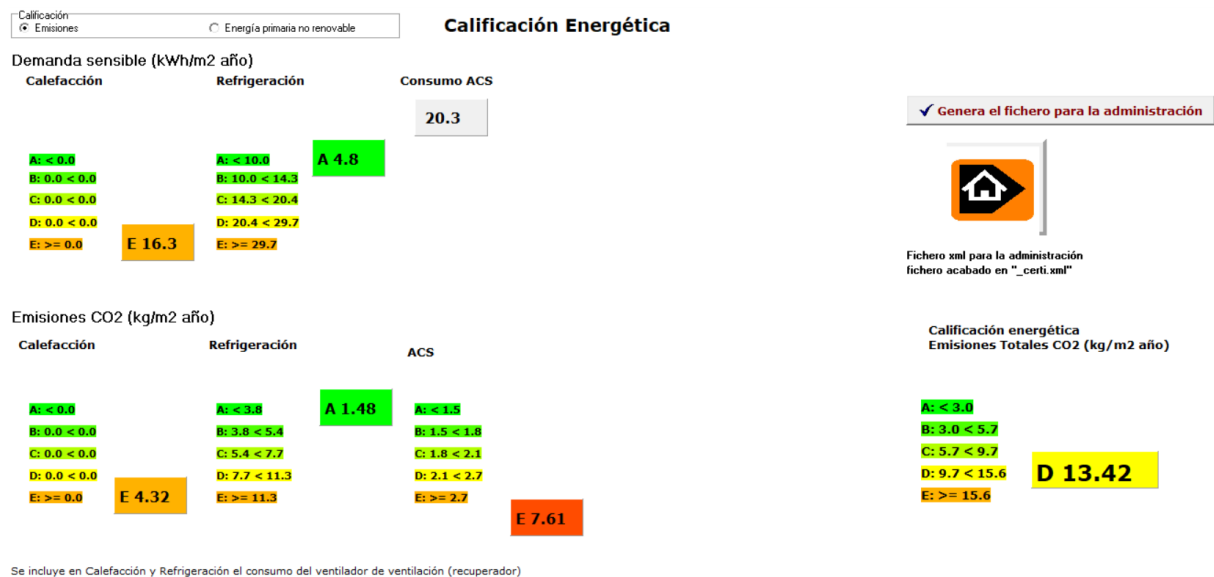


Fuente: CERMA,2022

En la Figura 17 se muestra el resultado de la calificación obtenida para el indicador de consumo de energía primaria no renovable, que es de 62.01 kWh/m² que representa una calificación E.

- Esta calificación viene dada por la alta demanda de calefacción y ACS que tiene la vivienda que representa un consumo de energía primaria no renovable de 20.42 kWh/m² año para calefacción y de 36.01 kWh/m² año para ACS.
- Por lo contrario, la demanda de refrigeración es baja por ser de 5.58 kWh/m² año, lo que se puede considerar como positivo.

Figura 18. Calificación energética de emisiones de CO2 de la edificación de estudio con CERMA.



Fuente: CERMA,2022

Por otro lado, la calificación para emisiones de CO2 se muestra en la Figura 18, con 13.42 kg/m2 año que representa una calificación D.

- Esta calificación se da porque las demandas de calefacción y ACS muestran altas emisiones de CO2 que para calefacción es de 4.32 kg/m2 año y para ACS de 7.61 kg/m2 año.
- En el caso de refrigeración las emisiones de CO2 son bajas por ser de 1.48 kg/m2 año, lo que quiere decir que el problema no se encuentra en esta variable, pero si en la calefacción y ACS.

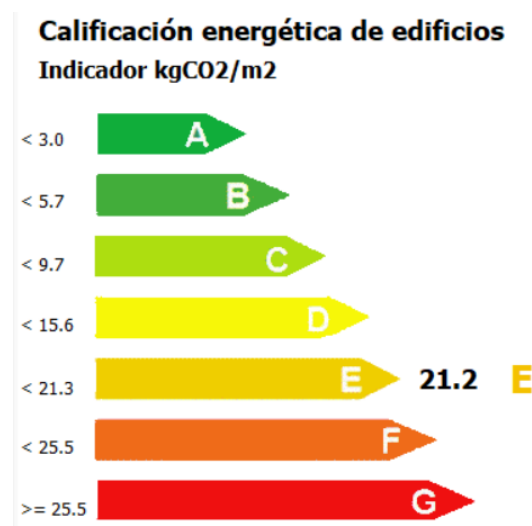
7.6.2. Calificación energética con el software CE3X de la vivienda actual

En cuanto a la obtención de la calificación energética de la vivienda con el software CE3X, funciona muy parecido a CERMA, con la diferencia que CE3X no muestra el cumplimiento del CTE 2019. Pero una ventaja que tiene sobre CERMA es que otorga un análisis económico de las mejoras planteadas para mejorar la calificación energética.

En el caso de CE3X los datos importantes que se ingresaron son los datos generales que incluye la ubicación y zona climática, la superficie útil habitable, el número de plantas y su altura, la ventilación del inmueble y la demanda de ACS.

En la envolvente térmica se colocó los mismos datos que en CERMA que son de la cubierta, muros, medianera, suelo, particiones interiores, huecos y puentes térmicos. Por último, en la pestaña de instalaciones se colocó los datos de la instalación de agua caliente sanitaria.

Figura 19. Clasificación energética del edificio de estudio con CE3X.



Fuente: CE3X,2022

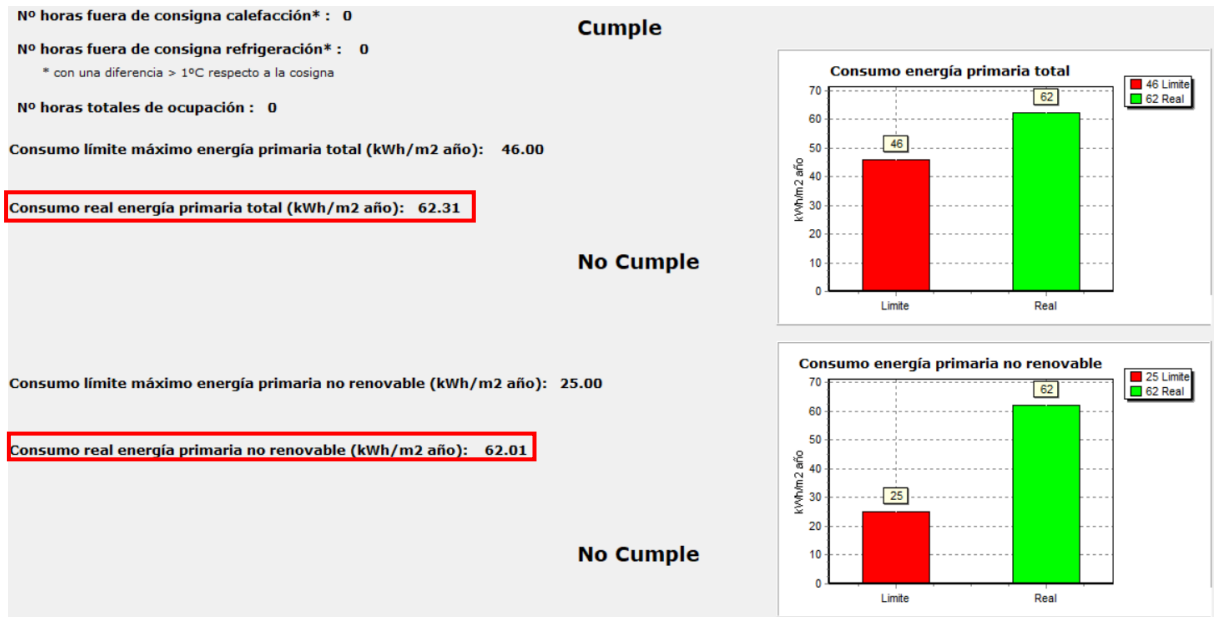
En la Figura 19 se muestra la calificación energética del edificio obtenida con el software CE3X, la calificación es E, lo que corresponde a 21.2 kg CO2/m2.

- Con esta calificación podemos observar que los dos programas obtienen resultados parecidos y que la calificación obtenida muestra que la vivienda tiene una baja eficiencia de consumo energético.

7.7. Verificación de cumplimiento del Código técnico de la edificación (CTE)

El software CERMA permite verificar el cumplimiento del Código técnico de la edificación CTE-DB-HE 2019. Aunque la edificación fue construida en el año 2007, se analiza el cumplimiento del CTE-HE0 2019 para poder encontrar alternativas de mejora en la eficiencia energética de la vivienda.

Figura 20. Valores máximos y reales del cumplimiento CTE-HEO 2019.



Fuente: CERMA,2022

En la Figura 20 se muestra los valores máximos y reales para verificar el cumplimiento del CTE-HE0 2019, que corresponde a las limitaciones del consumo energético.

- Se puede observar que no se cumple con el valor máximo de consumo de energía primaria total ya que el valor límite es de 46 kWh/m² año y el consumo de la vivienda de estudio es de 62.31 kWh/m² año.
- Para el consumo de energía primaria no renovable tampoco se cumple ya que la vivienda consume 62.01 kWh/m² año mientras que el valor límite es de 25 kWh/m² año.

Figura 21. Valores máximos y reales del cumplimiento del CTE-HE1 2019.

Cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica. Valores máximos
Tablas 3.1.1.a Tabla 3.1.3.a Tabla 3.2 CTE-HE1 2019

CERRAMIENTO. Transmitancia termica (segun CTE)	U _{max,proy}	U _{limite}	CUMPLIMIENTO
Muros de fachada	2.07	0.80	No cumple
Cerramientos con el terreno, Hz. y Vert.	1.24	0.90	No cumple
Cerramientos con locales no habitables, Hz. y Vert.	---	0.90	Cumple
Cerramientos con otros locales. Medianeras	0.62	0.90	Cumple
Suelos con el exterior	---	0.80	Cumple
Cubiertas con el exterior	0.38	0.55	Cumple
Vidrios y marcos de huecos y lucernarios (Huecos)	5.70	3.20	No cumple
Escaparate	---	6.40	Cumple
Puertas	5.70	5.70	Cumple
Particiones interiores Hz. (mismo uso)	0.39	1.90	Cumple
Particiones interiores Vert.(mismo uso)	---	1.40	Cumple
Particiones interiores (distinto uso)	---	1.35	Cumple
Permeabilidad Huecos	207.00	27.00	No cumple

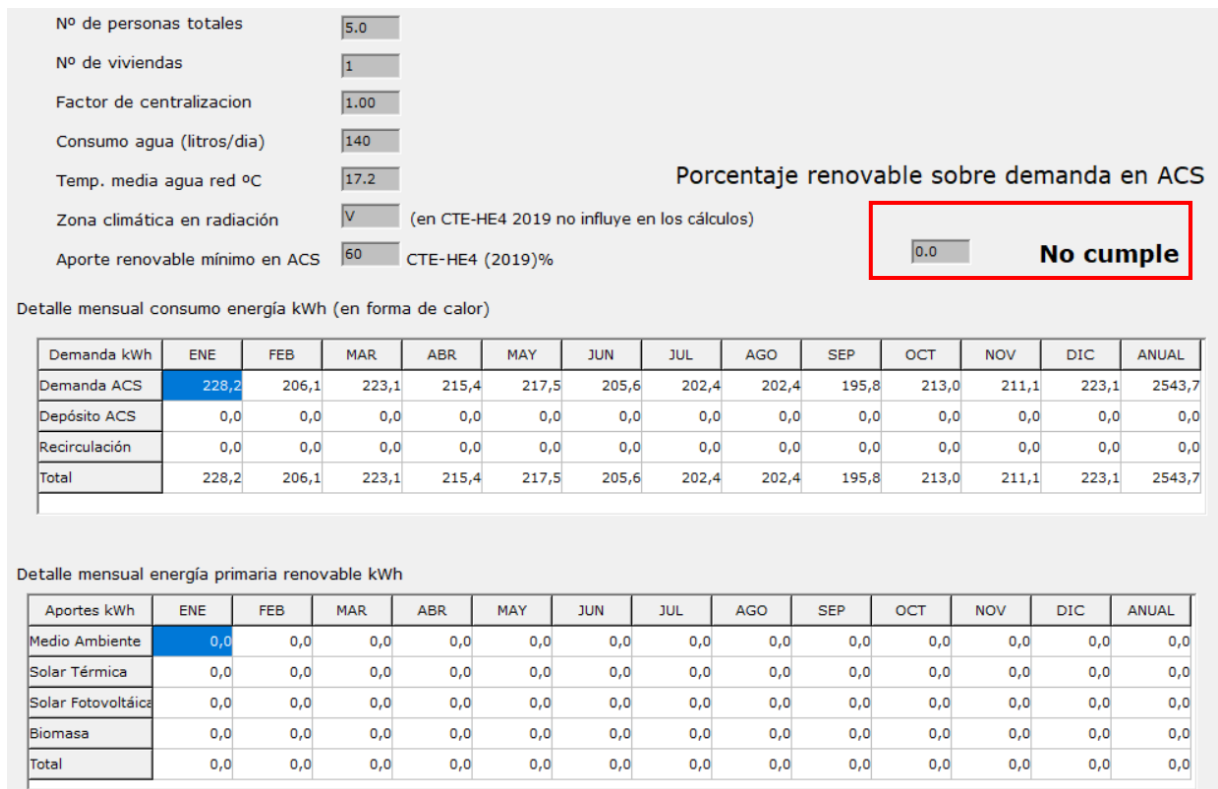
No Cumple U valores máximos

Fuente: CERMA,2022

Por otra parte, en la Figura 21 se muestra los valores máximos y reales para verificar el cumplimiento del CTE-HE1 2019, que corresponde al control de la demanda energética.

- En esta sección se observa que los valores de transmitancia térmica de los muros de fachada, cerramientos con el terreno o solera, vidrios o marcos de huecos y la permeabilidad de huecos no cumplen con los valores límites del CTE-HE1.
- Los valores de permeabilidad son demasiado altos ya que tiene un valor de 207 m³/hm² y el valor limite es de 27 m³/hm², esto se debe a que el tipo de ventana de la vivienda es corredera con ajuste regular, lo que permite un fácil paso del aire hacia el interior, afectando así a la demanda de calefacción de vivienda y por ende a su eficiencia energética.

Figura 22. Comprobación del cumplimiento del CTE-HE4 2019.



Fuente: CERMA,2022

En la Figura 22 se muestra la comprobación del cumplimiento del CTE-HE4 2019, que corresponde a la contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de ACS.

- El porcentaje mínimo para cumplir con el CTE-HE4 es de 60%, pero la vivienda tiene un 0% y por lo tanto no cumple. Esto se debe a que en la actualidad para cubrir el 100% de la demanda de ACS se utiliza un calefón que funciona a base de gas GLP que es un tipo de energía no renovable.

8. Medidas analizadas para la mejora de la eficiencia energética del edificio

En el software CERMA y CE3X se aplicaron las mismas alternativas de mejora, las alternativas que se aplicaron fueron las siguientes:

- **Alternativa A;** colocar aislamiento térmico de lana de vidrio en los muros y solera, cambiar las puertas de la entrada y de la cocina por puertas de madera de densidad media baja y cambiar las ventanas por ventanas fijas de vidrio doble bajo emisivo <0.30 de 4-12-6 con marco PVC de tres cámaras, además de instalar contraventanas en las ventanas de los dormitorios, cocina, sala de estar
- **Alternativa B,** cambiar las instalaciones de ACS por un interacumulador eléctrico con recirculado solar y colocar un captador solar plano de 6.00 m².
- **Alternativa C,** combinar las alternativas A y B en donde se plantea realizar cambios en la envolvente térmica y cambio de la instalación de ACS.

A continuación, se explicará porque se decidió aplicar cada una de estas alternativas de mejoras.


8.1. Alternativa A

Como alternativa A para mejorar la calificación energética se plantea realizar cambios en la envolvente térmica del edificio, esta alternativa surge de la necesidad cumplir con los valores máximos del HE1 ya que al verificar el cumplimiento del CTE-HE algunos elementos constructivos no cumplen con los límites permisibles. Los elementos constructivos que no cumplen con los límites máximos se pueden ver en la Figura 21.

Entre estos elementos se encuentran los muros y el suelo en contacto con terreno que tienen una transmitancia térmica de 2.07 y 1.24 W/m² K respectivamente, mientras que su valor máximo es de 0.80 W/m² K para muros y 0.90 W/m² K para el suelo. Por lo tanto, para mejorar su transmitancia térmica es necesario colocar aislamiento en estas superficies y así evitar la pérdida de energía y reducir la demanda energética de la vivienda.


En estos elementos se plantea colocar aislamiento térmico de lana mineral de vidrio pudiendo así reducir las transmitancias térmicas. En las Tablas 13 y Tabla 14 se describe los materiales y la transmitancia térmica que se obtendría realizando estos cambios.

Tabla 13. Materiales constructivos de muros exteriores con la mejora.

Muro Exterior	
<p>he= 25,00 W/m²K</p> <p>1/2 pie LM métrico o catalán 40 mm < G < 50 mm (0,115m)</p> <p>Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido d > 2000 (0,015m)</p> <p>MW Lana mineral [0.04 W/[mK]] (0,040m)</p> <p>Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm] (0,070m)</p> <p>Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 (0,015m)</p> <p>hi= 7,69 W/m²K</p>	 $U = 0,69 \frac{W}{m^2k}$

Fuente: CERMA,2022

Tabla 14. Materiales constructivos de la solera con la mejora.

Solera	
<p>he= 5,88 W/m²K</p> <p>Plaqueta o baldosa cerámica (0,006m)</p> <p>Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido d > 2000 (0,024m)</p> <p>MW Lana mineral [0.04 W/[mK]] (0,030m)</p> <p>Hormigón armado 2300 < d < 2500 (0,300m)</p> <p>Terreno</p>	 <p style="text-align: center;">Aislamiento continuo</p> $U = 0,51 \frac{W}{m^2k}$

Fuente: CERMA,2022

Otro de los elementos que no cumplen con los límites máximos son los vidrios y marcos de huecos ya que en total tienen una transmitancia térmica de 5.70 W/m² k y el límite máximo es de 3.20 W/m² k. Además, la permeabilidad de los huecos tampoco cumple con límites máximos.

Para mejorar la transmitancia térmica y permeabilidad de los huecos se plantea cambiar todas las ventanas por ventanas fijas, con vidrio doble bajo emisivo <0.30 de 4-12-6 y con marco PVC de tres cámaras. Además, en las ventanas de los dormitorios, cocina, sala de estar y comedor

se propone, colocar contraventanas. Con estos cambios se puede mejorar la transmitancia térmica de los huecos de ventana como se puede observar en la Tabla 15.

Tabla 15. Materiales de las ventanas con la mejora.

Ventanas	
Vidrio doble bajo emisivo < 0,03 4-12-6	$U_{\text{vidrio}} = 1,60 \frac{W}{m^2k}$
Marco PVC tres cámaras - 5%	
Contraventanas	$U_{\text{marco}} = 1,80 \frac{W}{m^2k}$
No existe caja de persianas	$U_{\text{hueco}} = 1,79 \frac{W}{m^2k}$

Fuente: CERMA,2022

En el caso de las puertas de la entrada principal y de la cocina se propone cambiarlas por puertas de madera con densidad baja ya que tiene una transmitancia térmica de 2.00 W/m² k (ver Tabla 16), que es menor a las actuales que tienen una transmitancia térmica de 5.7 W/m² k.

Tabla 16. Materiales de las puertas con la mejora.

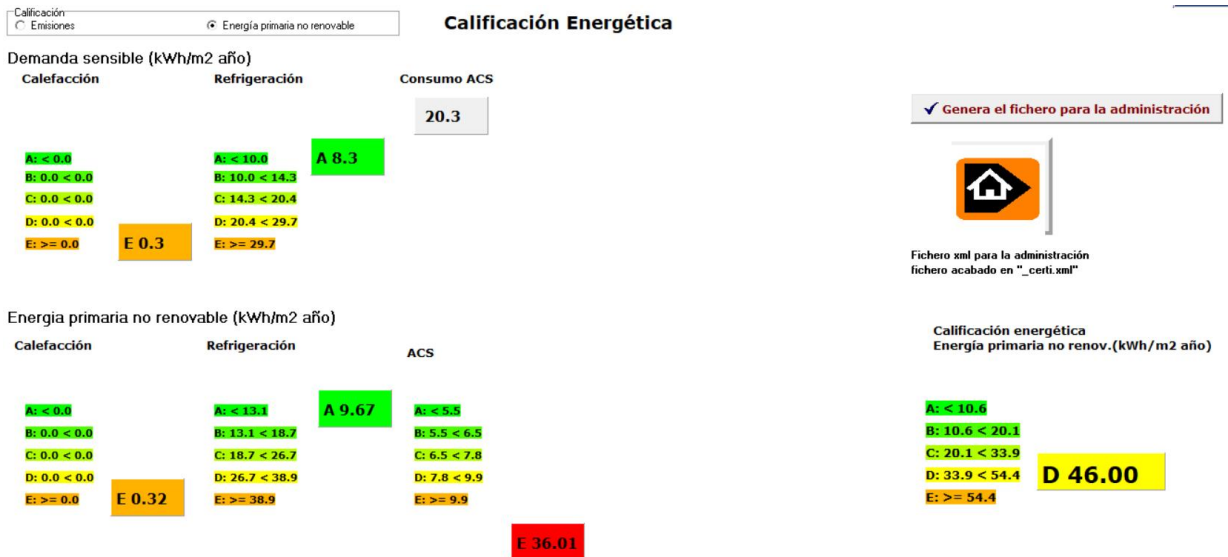
Puerta 1	
Puerta de madera densidad media baja	$U = 2,00 \frac{W}{m^2k}$

Fuente: CERMA,2022

8.1.1. Calificación energética de la Alternativa A con el software CERMA

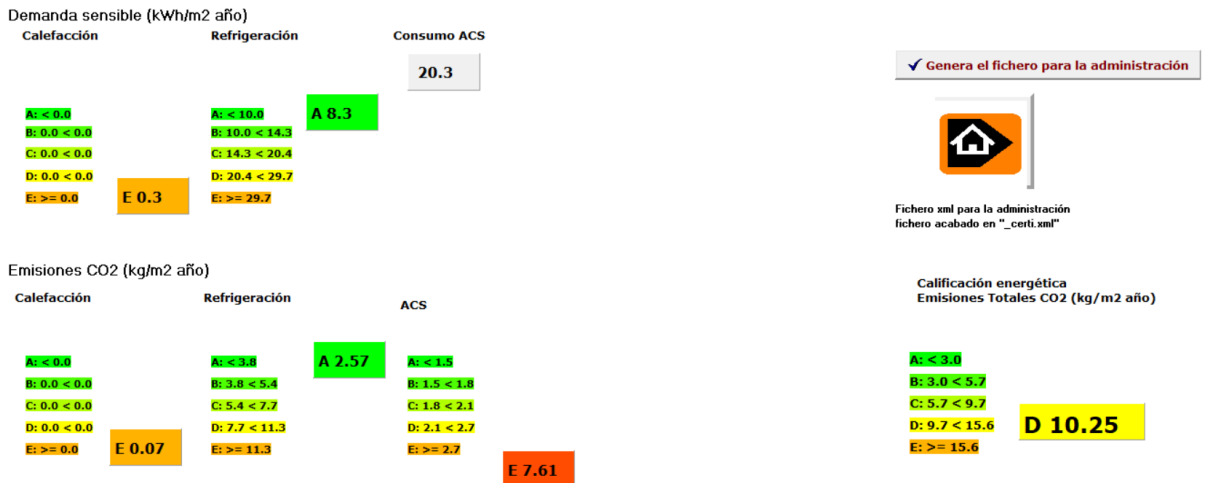
En las figuras 23 y 24 se puede observar las calificaciones energéticas de la vivienda obtenidas con CERMA si se aplicase las mejoras de la alternativa A.

Figura 23. Calificación energética de consumo de energía primaria no renovable con la Alternativa A con CERMA.



Fuente: CERMA,2022

Figura 24. Calificación energética de emisiones de CO2 con la Alternativa A con CERMA.



Fuente: CERMA,2022

- Se logra apreciar que con la alternativa A se pudo mejorar la calificación energética de la vivienda. La calificación energética para el indicador de consumo de energía primaria no renovable mejoro de una calificación E a una calificación D (ver Figura 23).
- En el caso del indicador de emisiones de CO2 se mantuvo en D, pero se redujo de 13.42 a 10.25 kg/m2 al año (ver Figura 24).

8.1.2. Verificación de cumplimiento del CTE con la Alternativa A con CERMA.

Como se planteó anteriormente, uno de los objetivo de la Alterativa A era conseguir que se cumpla con los valores máximos del HE1 del CTE, es así como al simular esta alternativa se verifico que estos límites se cumplan y como se puede observar en la Figura 25, este objetivo se cumplió logrando que los valores de transmitancia térmica de los muros sea de 0.69 W/m2 k, del suelo en contacto con terreno de 0.51 W/m2 k, de los vidrios y huecos de 2.04 W/m2 k y finalmente una permeabilidad de 0 m3/hm2.

Figura 25. Valores máximos y con la Alternativa A del cumplimiento del CTE-HE1 2019.

Cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica. Valores máximos			
Tablas 3.1.1.a Tabla 3.1.3.a Tabla 3.2 CTE-HE1 2019			
CERRAMIENTO. Transmitancia termica (segun CTE)	U_{max,proy}	U_{limite}	CUMPLIMIENTO
Muros de fachada	0.69	0.80	Cumple
Cerramientos con el terreno, Hz. y Vert.	0.51	0.90	Cumple
Cerramientos con locales no habitables, Hz. y Vert.	---	0.90	Cumple
Cerramientos con otros locales. Medianeras	0.62	0.90	Cumple
Suelos con el exterior	---	0.80	Cumple
Cubiertas con el exterior	0.38	0.55	Cumple
Vidrios y marcos de huecos y lucernarios (Huecos)	2.04	3.20	Cumple
Escaparate	---	6.40	Cumple
Puertas	2.00	5.70	Cumple
Particiones interiores Hz. (mismo uso)	0.39	1.90	Cumple
Particiones interiores Vert.(mismo uso)	---	1.40	Cumple
Particiones interiores (distinto uso)	---	1.35	Cumple
Permeabilidad Huecos	---	27.00	Cumple

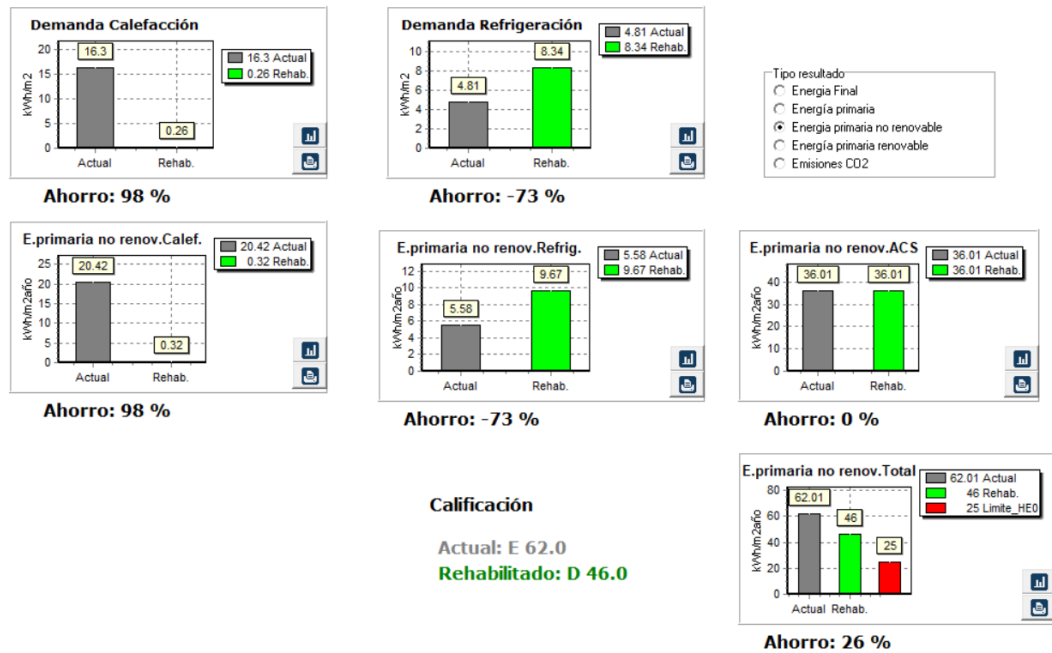
Cumple U valores máximos

Fuente: CERMA,2022

8.1.3. Ahorros energéticos con la Alternativa A.

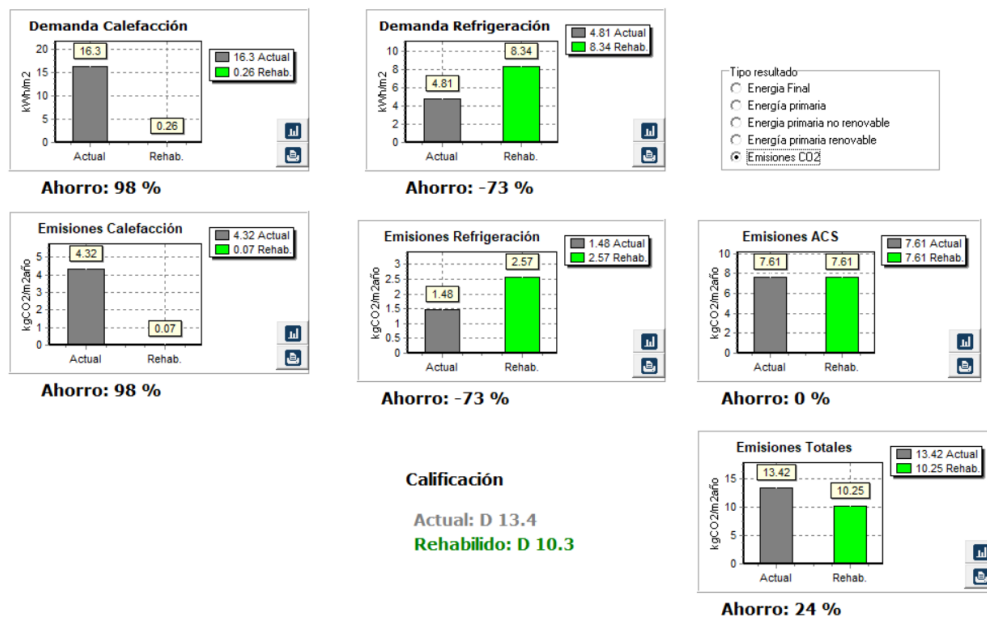
En las Figuras 26 y 27 se puede observar los resultados obtenidos de la comparativa entre la vivienda actual y la alternativa A.

Figura 26. Comparativa de ahorros de energía primaria no renovable con la alternativa A - CERMA



Fuente: CERMA,2022

Figura 27. Comparativa de ahorros de emisiones de CO2 con la alternativa A - CERMA



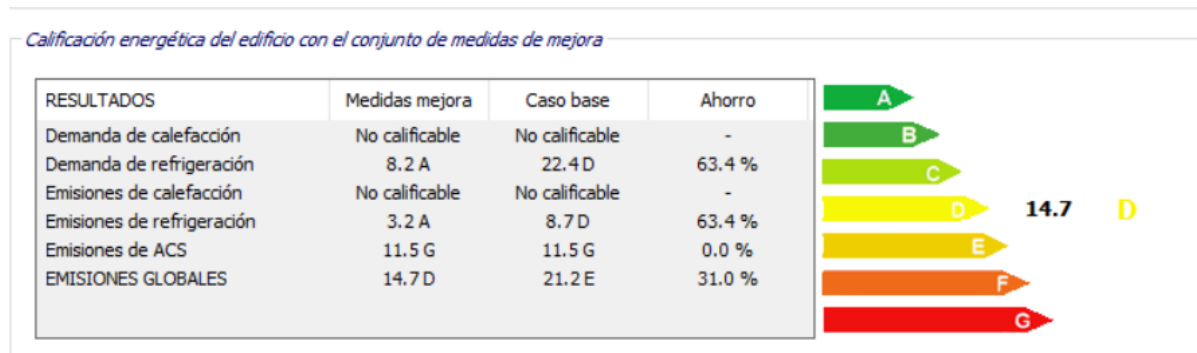
Fuente: CERMA,2022

- Con la alternativa A se logra obtener un ahorro del 98% de la demanda de calefacción al igual que el ahorro de energía primaria no renovable para calefacción y emisiones de CO₂, esto se debe a que las mejoras que se aplicaron en esta alternativa buscaban disminuir la demanda de calefacción de la vivienda.
- Lo negativo de esta alternativa es que el ahorro de la demanda de refrigeración tiene un signo negativo, lo que quiere decir que no se está produciendo un ahorro sino un consumo extra de energía para refrigeración que equivale al 73 %.
- También se puede observar que no se obtiene ahorro en el consumo de energía primaria no renovable para ACS ni de emisiones de CO₂ ya que no se realizó ningún cambio en estas instalaciones.
- Finalmente, como ahorro total de energía primaria no renovable se puede obtener un 26 % y de emisiones de CO₂ de 24% con la alternativa A.

8.1.4. Calificación energética de la Alternativa A con el software CE3X.

En la Figura 28 se observa la calificación energética de la alternativa A que se obtuvo con el software CE3X.

Figura 28. Calificación energética de la Alternativa A con CE3X.



Fuente: CE3X,2022

- La alternativa A obtuvo una calificación de D lo que representa 14.7 kg CO₂/m². Esta calificación mejoró comparándola con la calificación de la vivienda actual que tiene una calificación E de 21.2 kg CO₂/m².
- La calificación de la mejora es la misma que se obtuvo con CERMA, con la diferencia que en CERMA representa 10.25 kg CO₂/m².

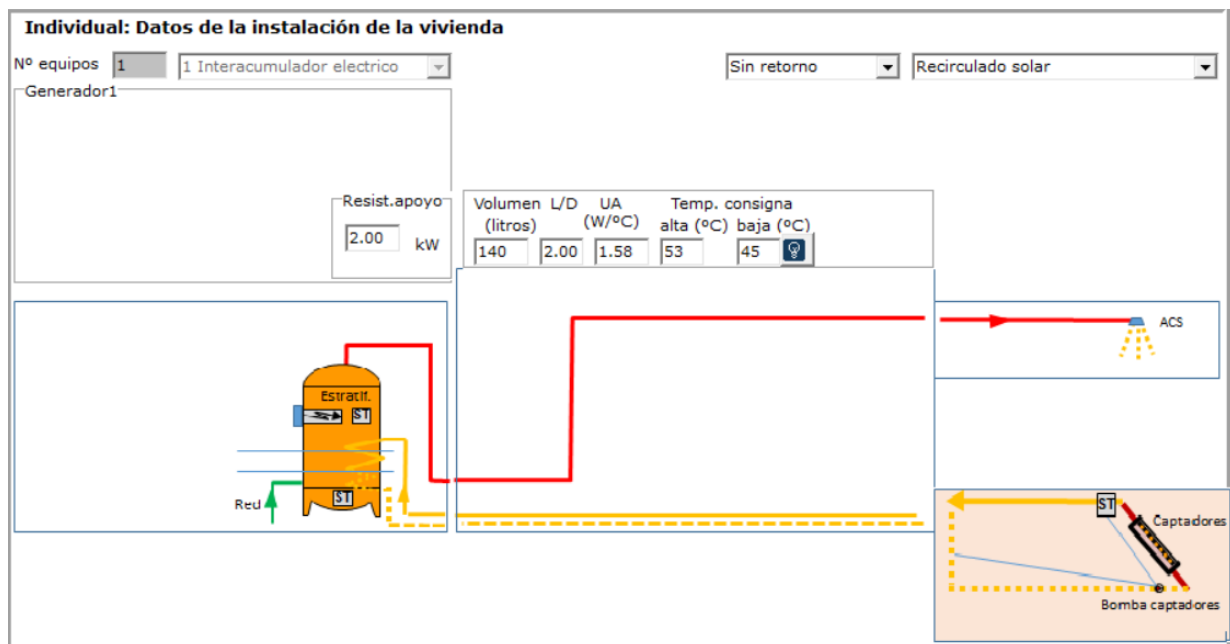
8.2. Alternativa B

En la alternativa B se plantea mejorar la instalación de ACS, el motivo de esta alternativa es que la instalación que tiene la vivienda actual utiliza energía no renovable que es el gas GLP. Esto hace que no se cumpla con el valor límite del CTE-H4, en donde se establece que se debe utilizar un 60 % de energía renovable para la demanda de ACS. Con esto también se podrá reducir los indicadores de consumo anual de energía primaria no renovable y de emisiones anuales de CO₂.

El equipo que se propone utilizar en lugar del calefón a gas es un Interacumulador eléctrico con recirculado solar, con una capacidad de 140 L/Día que es la demanda de ACS de la vivienda (Ver Figura 29).

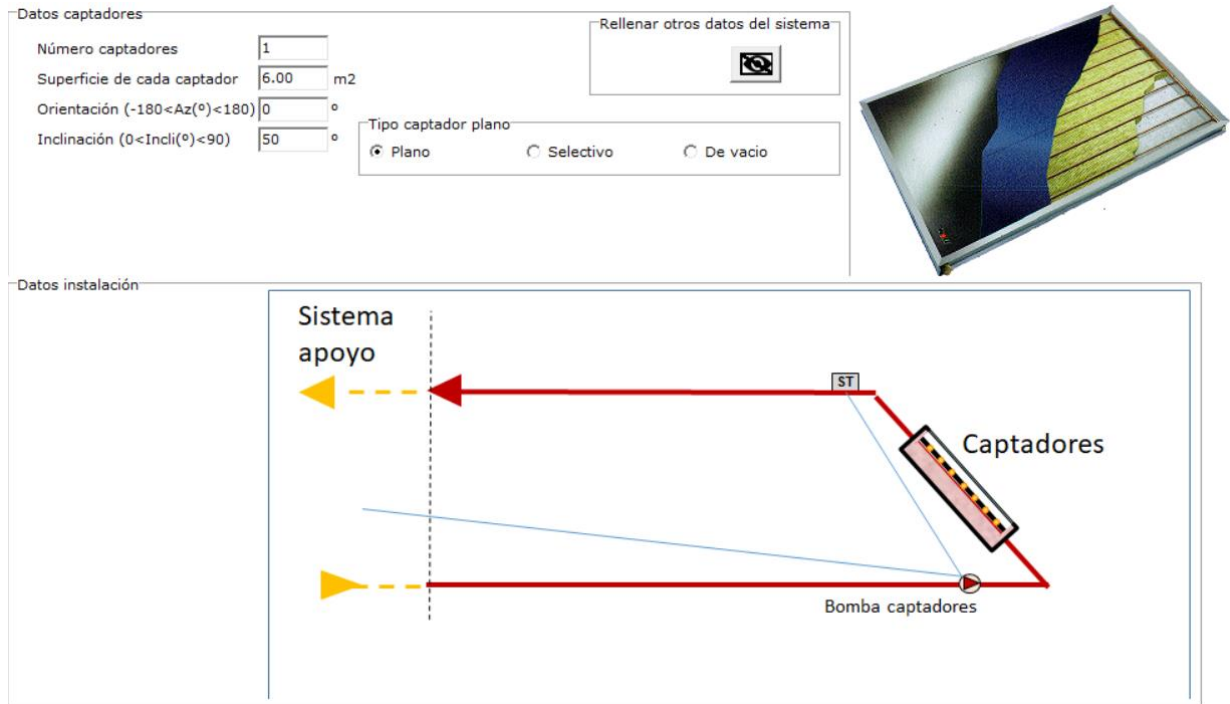
El Interacumulador eléctrico requiere de un captador solar que se caracteriza en la Figura 30, el captador solar que se colocaría sería un captador plano de 6.00 m² a una inclinación de 50°.

Figura 29. Instalación de ACS de la Alternativa B.



Fuente: CERMA,2022

Figura 30. Captador solar para la instalación de ACS de la Alternativa B.

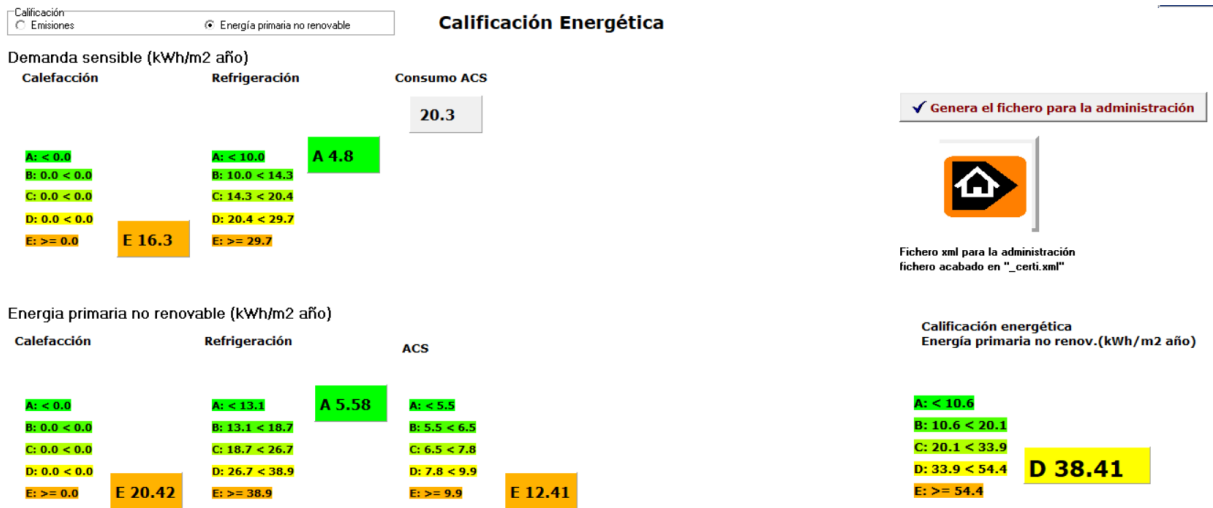


Fuente: CERMA,2022

8.2.1. Calificación energética de la Alternativa B con el software CERMA

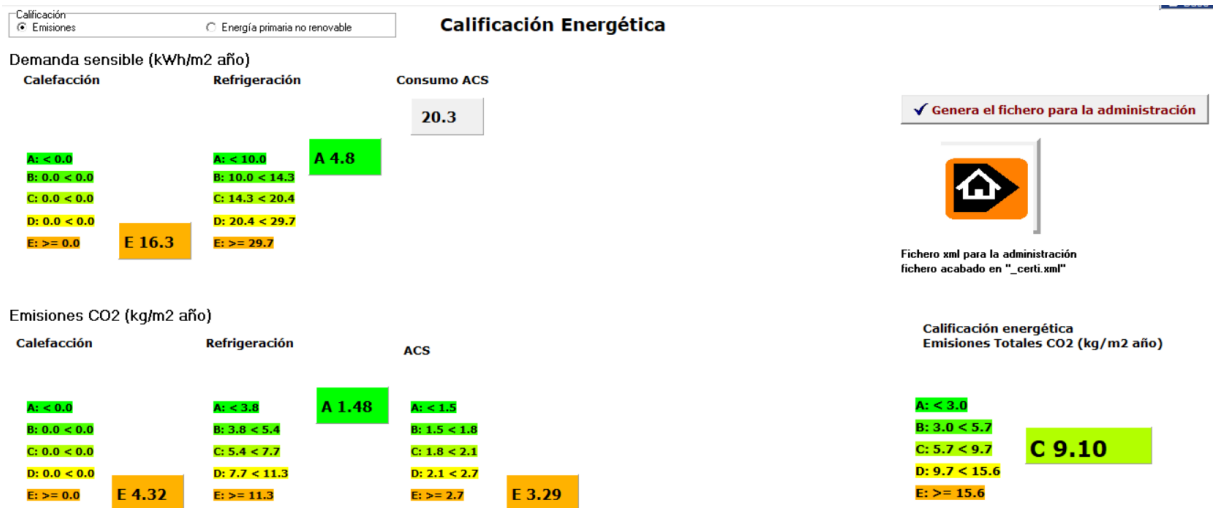
En las figuras 31 y 32 se puede observar los resultados obtenidos de la calificación energética con CERMA de la alternativa B.

Figura 31. Calificación energética de consumo de energía primaria no renovable con la Alternativa B con CERMA.



Fuente: CERMA,2022

Figura 32. Calificación energética de emisiones de CO2 con la Alternativa B con CERMA.



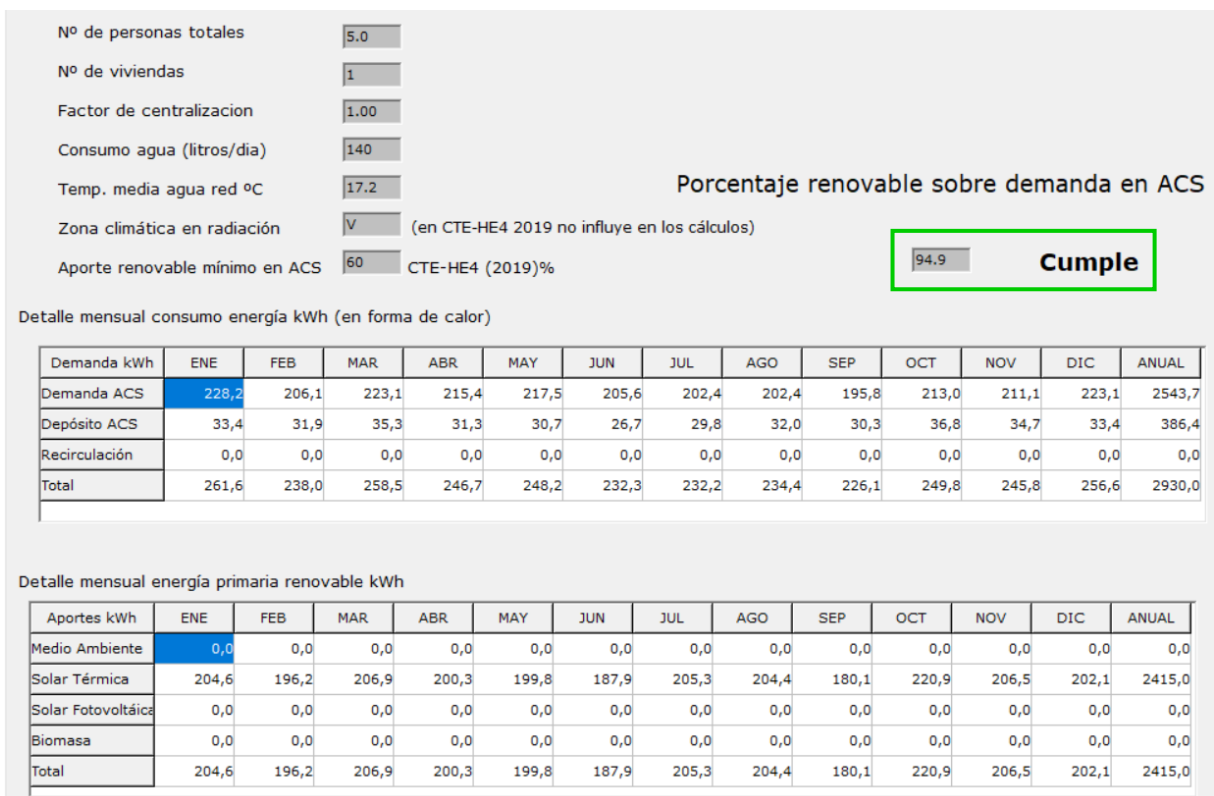
Fuente: CERMA,2022

- Aplicando la mejora de la Alternativa B la calificación energética del edificio mejora de una calificación E a una D para el indicador de consumo de energía primaria no renovable y para el indicador de emisiones de CO2 mejoro de una D a una C.
- Con estas calificaciones se puede evidenciar que la alternativa B es una buena opción puesto que comparándola con la Alternativa A, esta alternativa mejora mucho más la calificación energética de la vivienda.

8.2.2. Verificación de cumplimiento del CTE con la Alternativa B.

Con la mejora B se pudo cumplir con el CTE-HE4 (ver Figura 33), lo que no hace la vivienda actual. El porcentaje de energía renovable sobre la demanda de ACS con la mejora es de 94.9 %, siendo el valor mínimo de 60%.

Figura 33. Comprobación del cumplimiento del CTE-HE4 con la mejora de la Alternativa B.

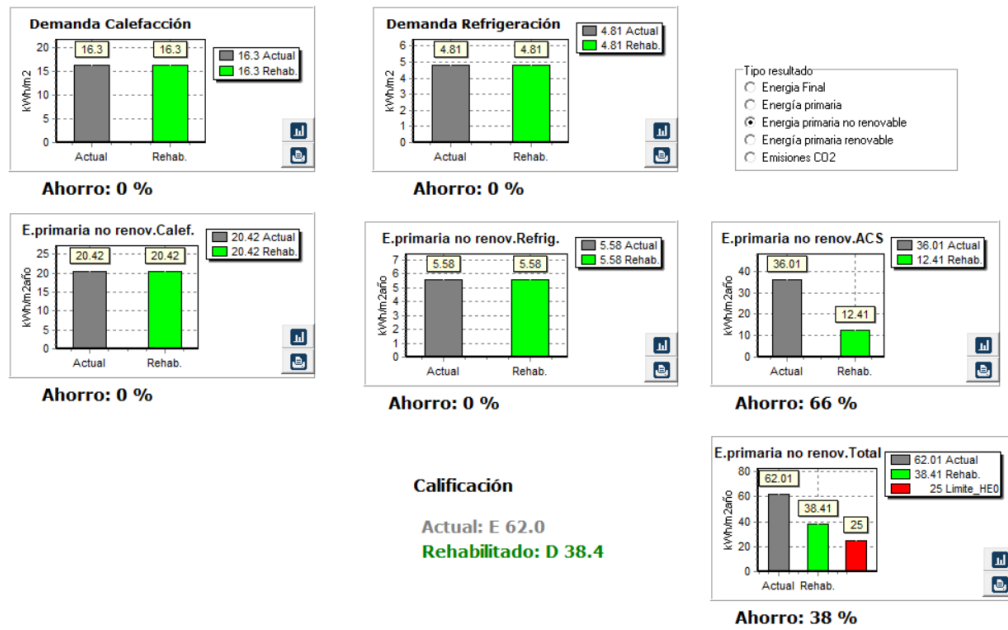


Fuente: CERMA,2022

8.2.3. Ahorros energéticos con la Alternativa B.

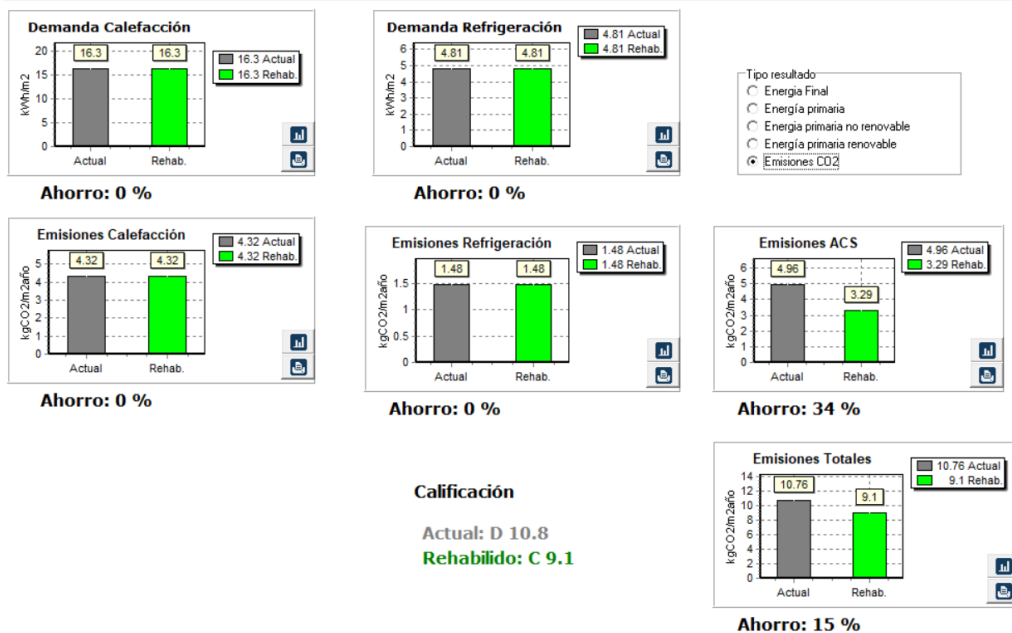
En la Figura 34 y 35 se presenta los resultados obtenidos de la comparativa entre la vivienda actual y la alternativa B.

Figura 34. Comparativa de ahorros de energía primaria no renovable con la alternativa B - CERMA



Fuente: CERMA,2022

Figura 35. Comparativa de ahorros de emisiones de CO2 con la alternativa B - CERMA



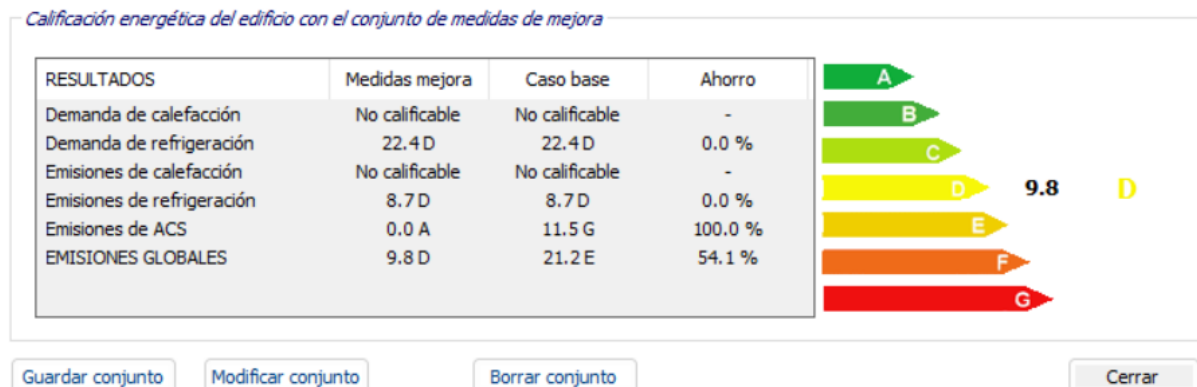
Fuente: CERMA,2022

- Con la alternativa B no se tiene ningún ahorro en las demandas de calefacción y refrigeración por lo que no se realizó ningún cambio en la envolvente térmica de la vivienda.
- Lo que si se pudo obtener es un ahorro en el consumo de energía primaria no renovable de 66% y de emisiones de CO2 de ACS de 34%, esto se debe a que la instalación de ACS que se pretende utilizar en la Alternativa B consume energía renovable al ser alimentada por energía solar térmica, con este ahorro se puede conseguir un ahorro total de 38% de energía primaria no renovable en la vivienda y del 15% de emisiones de CO2.

8.2.4. Calificación energética de la Alternativa B con el software CE3X.

La calificación energética de la alternativa B con el software CE3X se puede ver en la Figura 36.

Figura 36. Calificación energética de la Alternativa B con CE3X.



Fuente: CE3X,2022

- Aplicando la alternativa B se obtiene una calificación de D que equivale a 9.8 kg CO2/m2, esta calificación es diferente a la que obtuvo con CERMA ya que en este programa se obtuvo una calificación de C que representa 9.10 kg CO2/m2. Esto se debe a que CERMA tiene calificaciones de un rango de la A la E mientras que CE3X tiene una escala de la A la G.

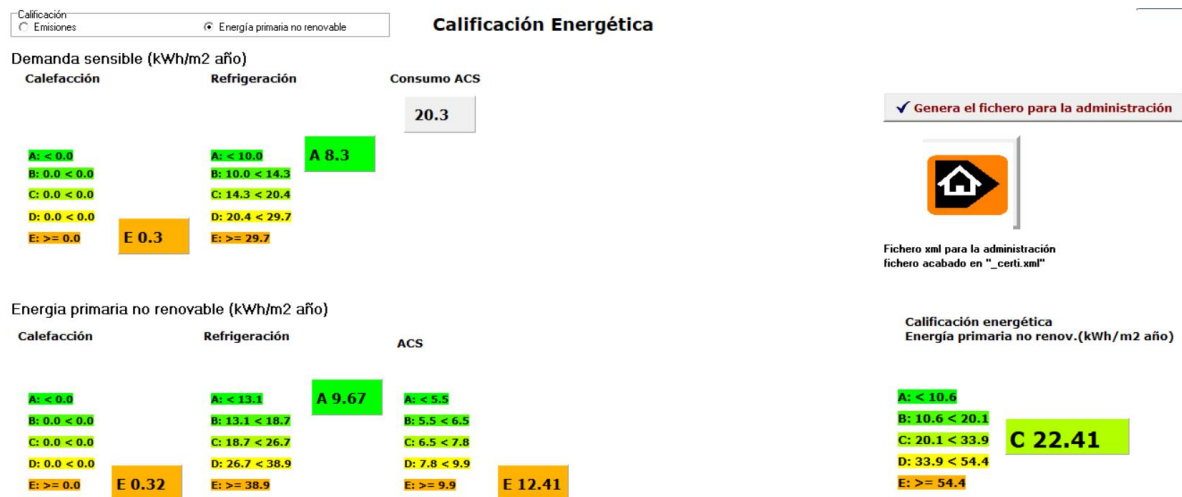
8.3. Alternativa C

En la Alternativa C se combina las mejoras de la alternativa A y B, en donde se planteaba realizar cambios en la envolvente térmica y cambio de la instalación de ACS. Esta alternativa se propone ya que con la alternativa A se llega a cumplir con la verificación del CTE-HE1, pero no con el HE4, mientras que con la B lo contrario, se cumple con el HE4 y no con el HE1. Es así como que con la alternativa C se busca cumplir con los valores límite del HE1 y HE4 y principalmente mejorar la calificación energética de la vivienda.

8.3.1. Calificación energética de la Alternativa C con el software CERMA

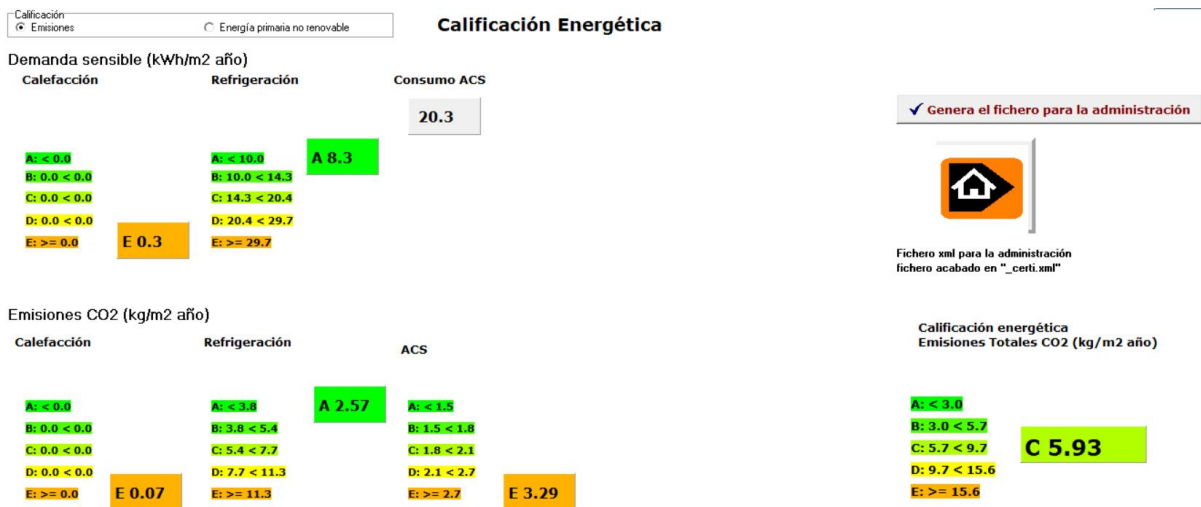
Los resultados de la calificación energética de la alternativa C se pueden observar en las figuras 37 y 38, estas calificaciones se obtuvieron con el software CERMA.

Figura 37. Calificación energética de consumo de energía primaria no renovable con la Alternativa C con CERMA.



Fuente: CERMA, 2022

Figura 38. Calificación energética de emisiones de CO2 con la Alternativa C con CERMA.



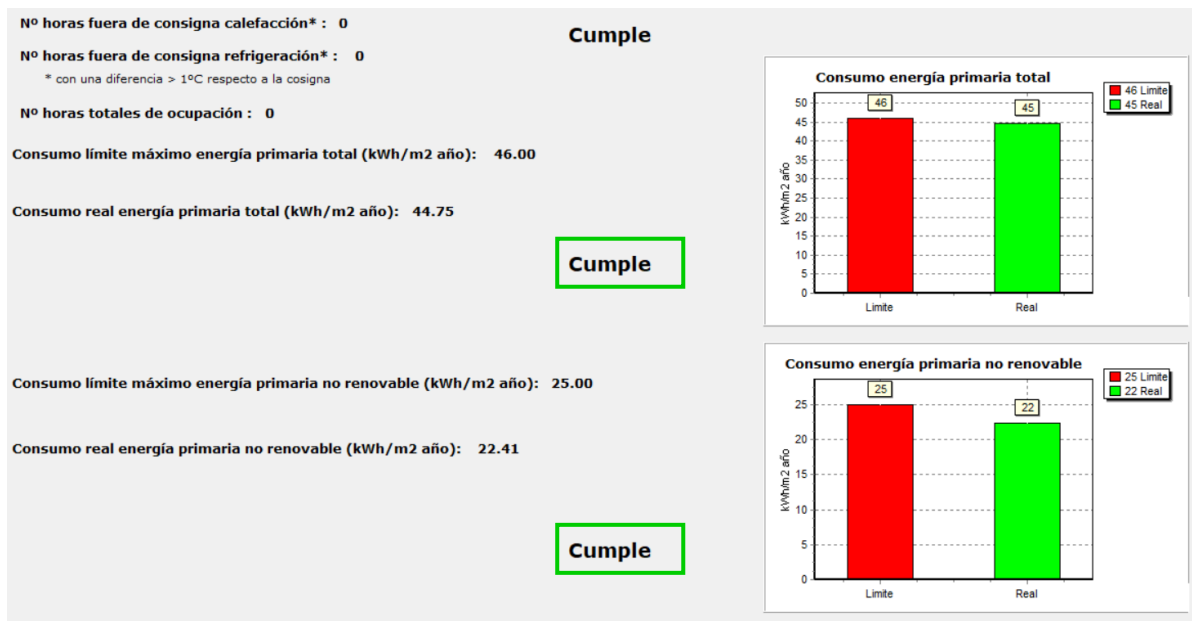
Fuente: CERMA,2022

- Como se puede evidenciar la calificación energética mejora considerablemente, obteniendo para los indicadores de de consumo anual de energía primaria no renovable y de emisiones anuales de CO2 una calificación de C.
- Si se compara con las alternativas anteriores esta alternativa es la que mejores resultados genera, mejorando de una calificación E para energía primaria no renovable a una C y para emisiones de CO2 de una D a una C.

8.3.2. Verificación de cumplimiento del CTE con la Alternativa C.

Si se verifica el cumplimiento del CTE con la alternativa C se puede observar en las Figuras 39, 40 Y 41 que con esta alternativa se logra cumplir con el HE0, HE1 y HE4, razón por la cual la calificación energética mejoro mucho más que con las alternativas A y B, por lo tanto, técnicamente se puede decir que es la mejor alternativa, sin embargo, es necesario realizar un análisis económico de las alternativas, por lo que esto se realizara a continuación en el apartado 8.5.

Figura 39. Valores máximos y reales del cumplimiento CTE-HEO 2019.



Fuente: CERMA,2022

Figura 40. Valores máximos y con la Alternativa C del cumplimiento del CTE-HE1 2019.

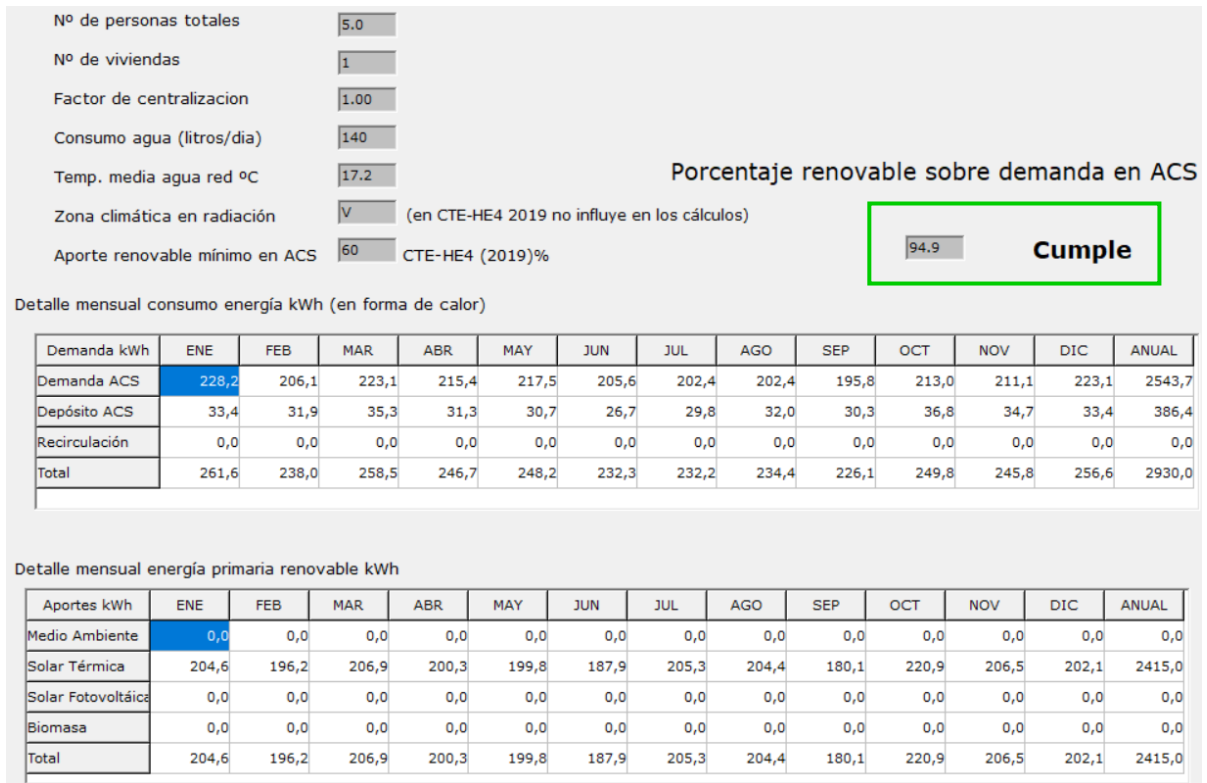
Cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica. Valores máximos
Tablas 3.1.1.a Tabla 3.1.3.a Tabla 3.2 CTE-HE1 2019

CERRAMIENTO. Transmitancia termica (segun CTE)	Umax,proy	Ulimite	CUMPLIMIENTO
Muros de fachada	0.69	0.80	Cumple
Cerramientos con el terreno, Hz. y Vert.	0.51	0.90	Cumple
Cerramientos con locales no habitables, Hz. y Vert.	---	0.90	Cumple
Cerramientos con otros locales. Medianeras	0.62	0.90	Cumple
Suelos con el exterior	---	0.80	Cumple
Cubiertas con el exterior	0.38	0.55	Cumple
Vidrios y marcos de huecos y lucernarios (Huecos)	2.04	3.20	Cumple
Escaparate	---	6.40	Cumple
Puertas	2.00	5.70	Cumple
Particiones interiores Hz. (mismo uso)	0.39	1.90	Cumple
Particiones interiores Vert.(mismo uso)	---	1.40	Cumple
Particiones interiores (distinto uso)	---	1.35	Cumple
Permeabilidad Huecos	---	27.00	Cumple

Cumple U valores máximos

Fuente: CERMA,2022

Figura 41. Comprobación del cumplimiento del CTE-HE4 con la mejora de la Alternativa C.

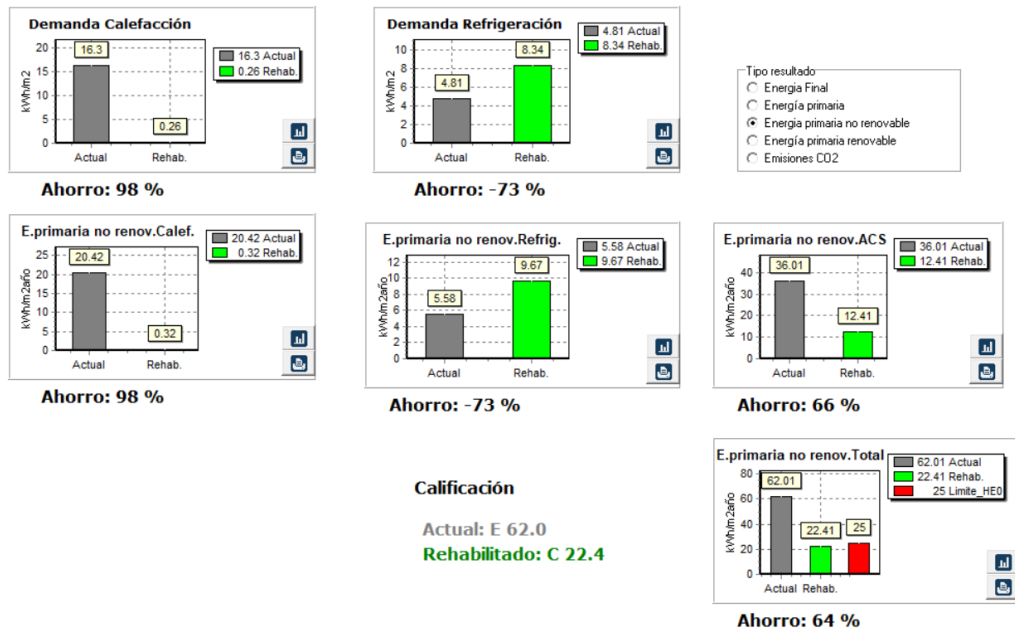


Fuente: CERMA,2022

8.3.3. Ahorros energéticos con la Alternativa C.

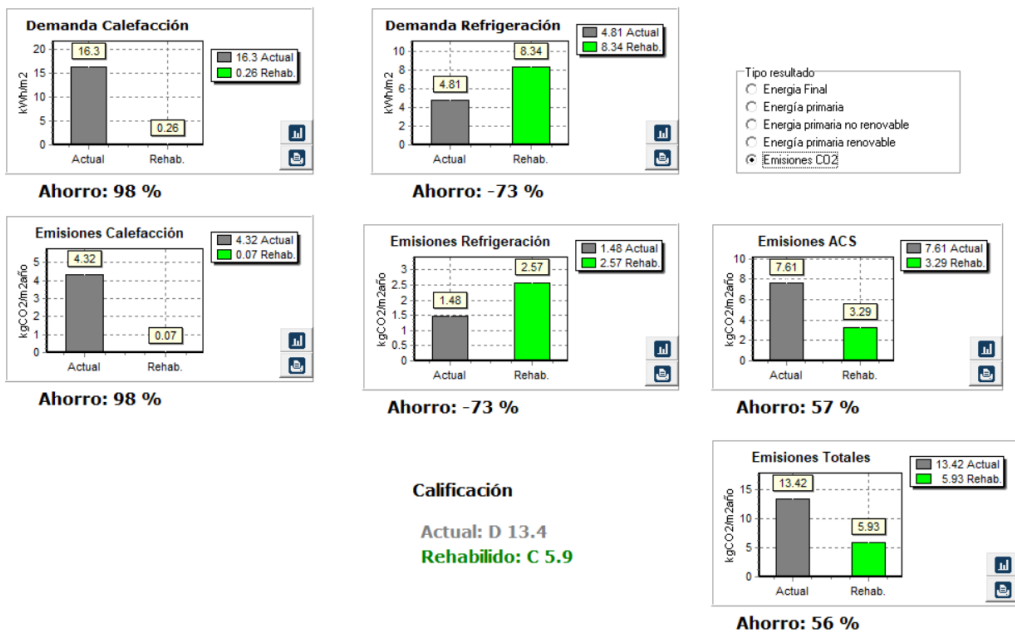
Las Figuras 42 y 43 muestran los resultados de ahorro y la comparativa entre la vivienda actual y las mejoras de la alternativa C.

Figura 42. Comparativa de ahorros de energía primaria no renovable con la alternativa C- CERMA



Fuente: CERMA,2022

Figura 43. Comparativa de ahorros de emisiones de CO2 con la alternativa C - CERMA



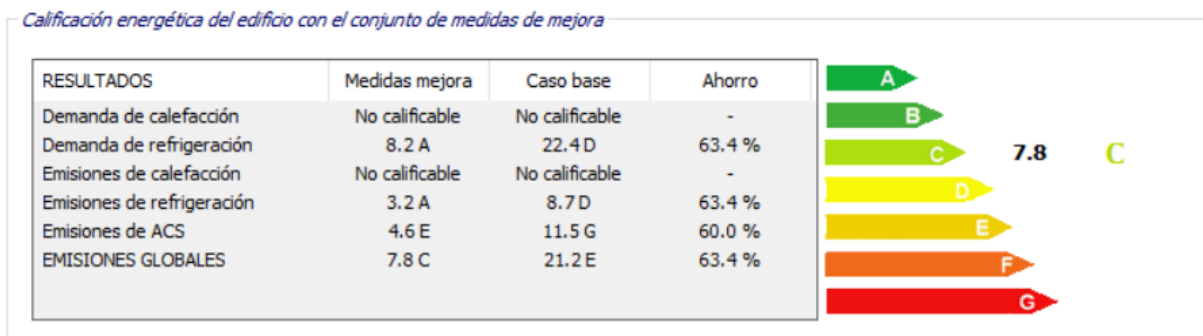
Fuente: CERMA,2022

- Con esta alternativa se puede observar que se obtiene un ahorro del 98% en la demanda de calefacción y un consumo extra del 78% de energía primaria no renovable y emisiones de CO2 para refrigeración, al igual que con la alternativa A.
- Por otro lado, el ahorro de energía primaria no renovable para la demanda de ACS también es del 66 % al igual que con la alternativa B y un ahorro de emisiones de CO2 de 57%. Estos ahorros se deben a que en la alternativa C se realizó una combinación entre la alternativa A y B.
- Lo positivo de esta alternativa es que tiene un ahorro total de 64 % de energía primaria no renovable y 56% de emisiones de CO2, el cual es mayor a la alternativa A y B.

8.3.4. Calificación energética de la Alternativa C con el software CE3X.

Los resultados de la calificación de la mejora C calculada con el software CE3X se pueden observar en la Figura 44.

Figura 44. Calificación energética de la Alternativa C con CE3X.



Fuente: CE3X,2022

- Se puede ver que la calificación mejora mucho más que con las alternativas A y B.
- Con esta alternativa la calificación dio como resultado una letra C que representa 7.8 kg CO2/m2, esta calificación es igual a la que se obtuvo con CERMA que fue C con 5.93 kg CO2/m2, lo que confirma que la alternativa C es la mejor opción si se analiza desde el punto técnico.

8.4. Análisis económico de las mejoras

Después de realizar un análisis técnico de las mejoras es necesario realizar un análisis económico de estas alternativas. Esto sirve para poder examinar cuál de estas cumple con la factibilidad económica para poder realizarla y así se pueda conseguir un beneficio en conjunto entre la eficiencia energética y lo económico.

Para el análisis económico se utilizó el software CE3X, en el cual como primer insumo se debe ingresar los datos de las facturas de los diferentes combustibles que utiliza la vivienda, en este caso fueron de energía eléctrica y de gas GLP.

- La vivienda consume 2700 kWh al año de energía eléctrica, este dato se obtuvo las facturas de energía eléctrica del periodo octubre 2021 y octubre 2022, este tipo de energía satisface las demandas de iluminación y aparatos electrónicos.
- El consumo de gas GLP al año es de 540 kg, tomando en cuenta que al mes se consume aproximadamente 3 tanques de gas GLP de 15 kg. Este combustible satisface el 100% de la demanda de ACS.

Como segunda parte se debe ingresar los precios de los diferentes combustibles en unidades de euros/kWh, estos datos de obtuvieron de la pagina web tarifaluzhora.

Finalmente, se coloca por cada una de las medidas de mejora su vida útil, el coste de la medida y el coste de mantenimiento anual.

8.4.1. Coste de la alternativa de mejora A

Para establecer el coste de la alternativa A se debe establecer el precio y vida útil de cada una de las medidas de mejora que contempla la alternativa. En este caso se debe conocer el precio y vida útil del aislamiento que se colocara en los muros y solera, de las ventanas y contraventanas.

El precio de las mejoras se obtuvo del software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción de CYPE Ingenieros (CYPE, s.f.), este programa permite buscar el precio de referencia de algunos productos de construcción tomando en cuenta el costo de la mano de obra de instalación y también muestra el costo de mantenimiento.

Los precios y vida útil se muestran a continuación:

- La vida útil del aislamiento de lana de vidrio es de 50 años (CYR62, 2019), mientras que el costo por metro cuadrado es de \$ 7.7 con un mantenimiento anual de \$ 0.15. Por lo tanto, el precio del aislamiento en el suelo costaría \$ 480.48 con un mantenimiento anual de \$ 0.94. Mientras que el aislamiento para las fachadas costaría \$ 989.45 y un mantenimiento anual \$ 1.93. En la Tabla 20 del Anexo A se muestra el detalle del costo del aislamiento en el suelo y las fachadas y el valor del mantenimiento por el área requerida.
- La vida útil de las ventanas las ventanas fijas de vidrio doble bajo emisivo de 4-12-6 con marco PVC de tres cámaras es de 50 años (REHAU, s.f.), y su precio es de \$1 518.75, tomando en cuenta que el precio por metro cuadrado de la ventana es de \$ 64.60, mientras que el costo de mantenimiento anual es de \$ 31.74. En la Tabla 21 del Anexo A se observa los precios de las ventanas por cada grupo de ventana.
- En cuanto a las puertas y contraventanas de madera su vida útil también es de 50 años (De la Cerda, 2020).
- El precio de las puertas es de \$ 884.24 puesto que el valor de cada una es de \$ 442.12, las puertas se colocarán en la entrada y en la cocina. En cambio, el costo de mantenimiento anual de las puertas es de \$ 9.73.
- Con respecto al precio de las contraventanas que se instalarían en los dormitorios, cocina, sala de estar y comedor el precio por metro cuadrado es de \$ 115.0. Por lo tanto, el precio total de las contraventanas sería de \$ 2579 con un costo de mantenimiento anual de \$ 59.28. El detalle del costo de las contraventanas se puede observar en la Tabla 22 del Anexo A.

Finalmente, en la Tabla 17 se muestra el precio total de las medidas de mejora que se realizarían en la Alternativa A, con un precio total de \$ 6452.37 y un mantenimiento anual de \$ 103.62.

Tabla 17. Precio total de las medidas de mejora de la Alternativa A.

Elemento	Precio (\$)	Mantenimiento (\$)
Aislamiento Suelo	480.48	0.94
Aislamiento Paredes	989.45	1.93
Ventanas	1 518.75	31.74
Puertas	884.24	9.73
Contraventana	2 579.45	59.28
TOTAL	6 452.37	103.62

Fuente: Elaboración propia a partir de la información tomada de CYPE (s.f.)

8.4.2. Coste de la alternativa de mejora B

Para conocer el coste de la alternativa de mejora B fue necesario investigar el precio del interacumulador eléctrico y del sistema de captación solar térmico de 6.00 m², esta información también se obtuvo en el software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción de CYPE Ingenieros (CYPE, s.f.). En la Tabla 18 se muestra el precio de cada uno de estos elementos con el costo de su mantenimiento anual.

Tabla 18. Precio total de la alternativa de mejora B.

Elemento	Precio (\$)	Mantenimiento anual (\$)
Interacumulador	1024.60	21.52
Sistema de captación solar térmica	5381.27	408.98
Total	6405.87	430.49

Fuente: Elaboración propia a partir de la información tomada de CYPE (s.f.)

Por otro lado, se determinó que la vida útil de la instalación solar térmica es de 50 años según la Guía técnica de energía solar térmica del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE, Guía Técnica de Energía Solar Térmica, 2020).

8.4.3. Coste de la alternativa de mejora C

El costo de la alternativa C es igual a la suma de la alternativa A y B puesto que esta alternativa combina las dos anteriores, que son realizar cambios en la envolvente térmica y de la instalación de ACS. Por lo tanto, el precio total de esta medida es de \$ 12858.24 y de mantenimiento anual de \$ 534.11.

8.4.4. Valoración económica de las alternativas de mejora

Una vez se conoce el coste de las medidas de mejora se ingresan estos datos en el software CE3X con sus respectivos años de vida útil y el coste de mantenimiento anual.

En la Figura 45 se puede observar la valoración económica de las medidas de mejora de las alternativas A, B y C.

Figura 45. Valoración económica de las alternativas de mejora.

	Conjunto	Tipo de medida	Vida útil (años)	Coste de medida (€)	Incremento coste mantenimiento anual (€)
1	Alternativa A	Adición de Aislamiento Térmico	50	480.48	0.94
2	Alternativa A	Adición de Aislamiento Térmico	50	989.45	1.93
3	Alternativa A	Sustitución/mejora de Huecos	50	4982.44	100.75
4	Alternativa B	Instalaciones	25	6405.87	430.49
5	Alternativa C	Instalaciones	25	6405.87	430.49
6	Alternativa C	Adición de Aislamiento Térmico	50	480.48	0.94
7	Alternativa C	Adición de Aislamiento Térmico	50	989.45	1.93
8	Alternativa C	Sustitución/mejora de Huecos	50	4982.44	100.75

Fuente: CE3X,2022

Los resultados que se obtienen del análisis económico con CE3X son los años de amortización simple y el valor anual neto (VAN), esto sirve para analizar la rentabilidad de las medidas y escoger la mejor alternativa desde el punto de vista económico.

En la Figura 46 se pueden ver los resultados de este análisis clasificado por las alternativas de mejora.

Figura 46. Resultados del análisis económico.

	Conjunto de mejoras	Años - Amortización simple (Análisis facturas)	VAN (€) (Facturas)	Años - Amortización simple (Análisis teórico)	VAN (€) (Teórico)
1	Alternativa A	-62.3	-11633.4	1282.4	-6060.0
2	Alternativa B	0.6	267311.7	0.7	211985.7
3	Alternativa C	3.1	299724.9	3.9	238067.2

Fuente: CE3X,2022

- En cuanto a la alternativa A los resultados económicos de la factura muestra que tiene una amortización de -62 años y un VAN de -11633.4 euros, estos valores negativos nos indica que no es una buena alternativa de inversión, al igual que en los resultados económicos del análisis teórico en donde la amortización es de 1282.4 años y un VAN de -6060.0 euros, confirmando que esta alternativa no es rentable.
- Con respecto a la alternativa B se observa mejores resultados, en donde se tiene que la amortización de las facturas es de 0.6 años lo que equivale aproximadamente a 6 meses y un VAN de 267311.7 euros, mientras que la amortización teórica es de 0.7 años que es aproximadamente 8 meses y un VAN de 211985.7 euros. Esto quiere decir que dentro de 6 meses se comenzara a ver las ganancias de esta medida en el valor a pagar de las facturas y en 8 meses las ganancias de la inversión que se realizó para la implementación de estas mejoras. En cambio, con el VAN o valor anual neto se puede ver que son valores positivos lo que representa que es una buena alternativa de inversión porque a lo largo del tiempo representara beneficios económicos por las ganancias que se generaran.
- Lo mismo ocurre con la alternativa C, en donde el VAN de las facturas y teórico es positivo, lo que quiere decir que la alternativa producirá ganancias y puede ser aceptada. En cuanto a la amortización, las facturas muestran una amortización de 3.1 años y el del análisis teórico es de 3.9 años que representa aproximadamente 4 años, es decir en este tiempo se podrá comenzar a ver las ganancias de la inversión de esta alternativa.
- En conclusión, las alternativas B y C pueden ser aceptadas como alternativas rentables que permitirán obtener beneficios económicos después de su implementación, mientras que la alternativa A producirá pérdidas y por ende no puede ser aceptada desde el punto de vista económico.

8.5. Comparativa de las alternativas

Para poder comparar las alternativas de mejora se realizó la Tabla 19, en donde se puede observar las diferentes calificaciones energéticas que se obtuvieron por cada alternativa y en los softwares CERMA y CE3X. La alternativa 0 equivale a la situación actual de la vivienda de estudio.

Tabla 19. Comparativa de las calificaciones energeticas de las alternativas

Software	Indicador	Alternativa 0	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
CERMA	Energía no renovable (kWh/m ²)	E (62.01)	D (46.00)	D (38.41)	C (22.41)
	Emisiones (kg/m ²)	D (13.42)	D (10.25)	C (9.10)	C (5.93)
CE3X	Emisiones (kg/m ²)	E (21.2)	D (14.7)	D (9.8)	C (7.8)

Fuente: CE3X,2022

- Como se puede ver con todas las alternativas de mejora se pudo mejorar la calificación energética, pero la que mejores resultados arroja es la alternativa C al mejorar la calificación de una E a una C.
- Por otro lado, la alternativa B también mejora la calificación de una D a una C en emisiones de CO₂ en el programa CERMA, y en cuanto a CE3X se mantiene en D. Pero se tiene que tomar en cuenta que en CE3X las calificaciones van en un rango de las calificaciones de la letra A la G y en CERMA de la A la F, entonces deberíamos comparar por la cantidad de kg/m² de emisiones de CO₂ para poder tener una comparación adecuada entre los dos programas. Es así que en los dos softwares las emisiones equivalen a 9.10 y 9.8 kg/m², que prácticamente es la misma calificación C.
- En cuanto a la alternativa A, la mejora es tan solo de una letra de diferencia ya que de una letra E cambia a una D. Además, como se pudo observar anteriormente en el análisis económico, esta alternativa fue rechazada por no ser rentable así que por lo tanto esta alternativa es rechazada desde el punto de vista técnico y económico.

- Por lo contrario, las alternativas B y C fueron aprobadas por traer beneficios económicos y ahora desde el punto de vista técnico también mejoran la calificación energética, por lo tanto, estas dos alternativas pueden ser aceptadas para ser implementadas.

9. Conclusiones

Una vez finalizado este trabajo y se ha cumplido con los objetivos de investigación se consideran las siguientes conclusiones:

- Con la obtención de la calificación energética se concluye y se aprueba la hipótesis de que la vivienda tiene una baja calificación de eficiencia energética. La calificación energética de la edificación obtenida por CERMA y CE3X fue parecida, en CERMA la calificación se encuentra en una letra E para el indicador de consumo de energía primaria no renovable y una calificación D para el indicador de emisiones de CO₂, al igual que en el software CE3X. Se pudo analizar que estas calificaciones se dieron a causa de la alta demanda de calefacción y por el alto consumo de energía primaria no renovable que se utiliza para satisfacer la demanda de ACS.
- Con la verificación del CTE-DB-HE 2019 se pudo analizar alternativas que permitieron mejorar la eficiencia energética de la edificación, analizando los requerimientos que no se cumplen y aplicando algunos cambios en la envolvente del edificio y las instalaciones de ACS para lograr su cumplimiento.
- La alternativa A de mejora obtuvo una calificación energética de letra D en los dos indicadores de eficiencia energética y en CERMA y CE3X. Estas calificaciones muestran que esta alternativa permite mejorar la calificación de eficiencia energética del edificio. Además, con estas mejoras se puede obtener un ahorro del 23 % de energía primaria no renovable y 24% de emisiones de CO₂. Pero en el análisis económico tiene un tiempo de amortización de 1282.4 años y un VAN negativo, con lo que se llega a la conclusión que esta opción no es la adecuada por no ser rentable económicamente.
- La alternativa B permite mejorar la eficiencia energética de la vivienda, obteniendo una calificación D para el indicador de energía primaria no renovable, y para el indicador de emisiones de CO₂ una letra C, también muestra un ahorro del 38 % de energía primaria no renovable y 15% de emisiones de CO₂, mostrando así que técnicamente es una buena alternativa de mejora. Con lo que respecta al análisis económico también es positivo ya que en 8 meses se recuperaría la inversión, además el VAN tiene un valor positivo. Con estos datos se puede concluir que es una buena alternativa por su análisis técnico y económico.

- Con la alternativa C se obtiene mejores resultados que con la alternativa A y B porque es la alternativa que otorga la mejor calificación energética de la edificación, cambiado de una calificación E a una C en el indicador de energía primaria no renovable y de una D a una C para emisiones de CO₂, además se obtiene un ahorro del 64% de energía no renovable y 56% en emisiones de CO₂. Por otro lado, en su análisis económica también muestra buenos resultados porque con esta alternativa se puede recuperar la inversión en aproximadamente 4 años y tiene un VAN positivo, por lo tanto, es una alternativa que se puede aceptar como válida para aplicarla.
- Si se comparan las alternativas B y C, que son las alternativas de mejora que tienen resultados positivos en el análisis técnico y económico, se concluye que la mejor alternativa a ser implementada es la alternativa C, puesto que permite obtener la mejor calificación de eficiencia energética, se llega a cumplir con los requerimientos del CTE-HE y se implementa una energía renovable, llegando a satisfacer las necesidades de ahorro económico y previene la emisión de CO₂ a la atmosfera.

10. Recomendaciones

- En esta investigación no se pudo obtener la información de los materiales de construcción de los suelos, muros y cubierta, razón por la cual tuvieron que ser simulados. Por lo tanto, los resultados podrían tener un porcentaje de incertidumbre y se recomienda que en futuros trabajos relacionado con auditoria energética se obtenga todos los datos reales de los elementos constructivos para poder lograr mejores resultados.

Bibliografía

- A-certi. (2013). *Interpretación de la letra en la Etiqueta de Eficiencia Energética*.
<https://certificadosenergeticosleon.com/2013/06/12/interpretacion-de-la-letra-en-la-etiqueta-de-eficiencia-energetica/>
- AEDENAT, CODA, CS de CCOO, & UGT . (1998). *Ante el cambio climático, menos CO2*.
- Álvarez, Y. (2021). Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para el ahorro de energía eléctrica en el Comercial Xaviercito. *Universidad Internacional de la Rioja*.
<https://doi.org/https://reunir.unir.net/bitstream/handle/123456789/12009/Alvarez%20Arcos%2c%20Mishell.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Apreat. (s.f.). *Energía Solar Térmica*. <https://www.apreat.com/energia-solar-termica/>
- Areatecnologia. (s.f.). *Efecto fotoeléctrico*.
<https://www.areatecnologia.com/electricidad/efecto-fotoelectrico.html>
- ATECYR, & IVE. (2021). *CERMA v 5.0 de marzo de 2021 Versión para edificios nuevos y existentes*. https://www.atecyr.org/docs/Manual%20de%20usuario_CERMA_5_0.pdf
- AULA21. (s.f.). *Energía Solar Fotovoltaica: Qué es y cómo funciona*.
<https://www.cursosaula21.com/que-es-energia-solar-fotovoltaica/>
- BBVA. (2021). *¿Qué es el Acuerdo de París y qué supone para el planeta?*
<https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-acuerdo-de-paris-y-que-supone-para-el-planeta/>
- Cáceres, M. (2020). Diseño de una instalación solar térmica de ACS para una vivienda unifamiliar ubicada en Riobamba-Ecuador. *Universidad Internacional de La Rioja (UNIR)*.
<https://doi.org/https://reunir.unir.net/bitstream/handle/123456789/12184/C%c3%a1ceres%20Guerrero%2c%20Mauricio.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CE3X. (2022). *Documento Reconocido para la Certificación Energética de Edificios Existentes*.
<https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetic>
- CERMA. (2022). *Calificación Energética Residencial Método Abreviado*.
<https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetic>

- Certicalia. (2022). *Definición de pequeño terciario y gran terciario*.
<https://www.certicalia.com/blog/definicion-pequeno-terciario-gran-terciario>
- Climapal. (s.f.). *Sistema solar térmico para uso domestico*:. <https://climapal.es/energia-solar-termica/>
- Climatewatchdata. (2018). *Gases de efecto invernadero* . <https://www.climatewatchdata.org/>
- Comisión Europea . (s.f.). *Causas del cambio climático*. https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change_es
- Customedia. (2022). *Los edificios consumen el 30% de la energía total utilizada en España*.
<https://www.compromisorse.com/rse/2022/04/04/los-edificios-consumen-el-30-de-la-energia-total-utilizada-en-espana/>
- CYPE. (s.f.). *Generador de precios de la construcción*. <http://generadorprecios.cype.es/>
- CYR62. (2019). *Ventajas y diferencias entre la lana de vidrio y la lana mineral*.
https://cir62.com/blog/35_lana-de-vidrio-lana-mineral-ventajas-y-aplicaciones#:~:text=Sus%20propiedades%20no%20se%20degradan,50%20a%C3%B1os%20sin%20mayor%20problema.
- De la Cerda, F. (2020). *YAKISUGI: LA TÉCNICA JAPONESA DE PRESERVACIÓN QUE CARBONIZA LA MADERA Y QUE SE POPULARIZA EN OCCIDENTE*.
<https://www.madera21.cl/blog/2020/08/12/yakisugi-la-tecnica-japonesa-de-preservacion-que-carboniza-la-madera-y-que-se-populariza-en-occidente/>
- Domínguez, M. (2022). *Mejora la eficiencia energética de tu instalación de calefacción*.
<https://www.caloryfrio.com/calefaccion/mejora-la-eficiencia-energetica-de-tu-instalacion-de-calefaccion.html>
- Edesa. (2022). *Energía de biomasa: qué es, cómo funciona y sus ventajas*.
<https://www.endesa.com/es/la-cara-e/centrales-electricas/energia-biomasa>
- Empresa Eléctrica Quito. (2022). *Consulte su factura* . <http://www.eeq.com.ec>
- Factorenergia. (2021). *La energía hidráulica*.
<https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/energia-renovable-hidraulica/>

- Fernández Muerza , A. (16 de diciembre de 2021). *Consumer*. Los problemas ambientales que deberían preocuparnos: <https://www.consumer.es/medio-ambiente/los-problemas-ambientales-que-deberian-preocuparnos.html>
- Fourment, T. (2022). *¿QUÉ ES LA CONFERENCIA DE LAS PARTES EN LA CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO (CMNUCC)?* Word Meteorological Organization : <https://youth.wmo.int/es/content/%C2%BFqu%C3%A9-es-la-conferencia-de-las-partes-en-la-convenci%C3%B3n-marco-de-las-naciones-unidas-sobre-el>
- Francia Diplomacia. (s.f.). *Cronología del Clima*. <https://www.diplomatie.gouv.fr/es/politica-exterior/clima-y-medio-ambiente/la-lucha-contr-el-cambio-climatico/la-negociacion-internacional-sobre/article/cronologia-del-clima>
- Gifreu, J. (2019). La integración de medidas de eficiencia energética en la edificación a la vista de los objetivos de la UE para los horizontes 2020-2030. *Revista Catalana De Dret Ambiental*, X(1), 1-55. <https://repositori.urv.cat/fourrepopublic/search/item/RP%3A3438>
- Gobierno de España . (2022). *Código Técnico de la Edificación*. <https://www.codigotecnico.org/QueEsCTE/Presentacion.html>
- Google Maps . (2022). <https://www.google.com/maps/?hl=es>
- Granja, A. (2022). Auditoria Energética de una casa en Quito, Ecuador. *Universidad Internacional de la Rioja* . <https://doi.org/https://reunir.unir.net/handle/123456789/12912>
- Henry , G., & Heinke, G. (1999). *Ingeniería Ambiental*. México: PRENTICE HALL. https://doi.org/https://biblioesorbogota.files.wordpress.com/2013/04/ingenieria-ambiental_glynn.pdf
- Hernández , J. (2012). *Medidas de mejora de la eficiencia energética de edificios residenciales*. Asociación Española de Ingeniería de Proyectos. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/15061>
- IDAE. (2011). *PROYECTO SECH-SPAHOUSEC*. Análisis del consumo energético del sector residencial en España:

https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Informe_SPAHOUSEC_ACC_f68291a3.pdf

IDAE. (2020). *Guía Técnica de Energía Solar Térmica*.
https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/guiasolartermica_idae-asit_v3.0_20210111_nipo.pdf

IDAE. (2021). *Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía*. Requisitos y aplicación práctica del Real Decreto 56/2016, en referencia a auditorías energéticas y la mejora de la eficiencia energética: <https://www.rd56-2016.es/#:~:text=El%20Real%20Decreto%2056%2F2016%2C%20de%2012%20de%20febrero%20tiene,o%20instalaciones%20en%20las%20empresas.>

IDAE. (2022). *Consumo por usos del sector residencial*. <https://informesweb.idae.es/consumo-usos-residencial/informe.php>

INAP. (2019). *Instituto Nacional de Administración Pública*. Certificación de la eficiencia energética de los edificios:
<https://laadministracionaldia.inap.es/noticia.asp?id=1186423>

Inarquia. (2022). <https://inarquia.es/que-programa-es-mejor-para-la-certificacion-energetica/>

INELTROTTEL. (2018). *Qué es la Eficiencia Energética?* <https://www.ineltrotelscc.com.ec/>

Instaladores. (2022). *Toda la normativa y la legislación sobre eficiencia energética en España*.
<https://www.instaladores20.com/te-ayudamos/normativa/toda-la-normativa-y-la-legislacion-sobre-eficiencia-energetica-en-espana/>

IPCC. (s.f.). *¿Qué es el IPCC?* https://archive.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml

Líderes. (2012). *El subsidio opaca el negocio del gas*.
<https://doi.org/https://www.revistalideres.ec/lideres/subsidio-opaca-negocio-gas.html>

López, M. (2017). *CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA DE UN EDIFICIO UNIVERSITARIO EXISTENTE*. Universidad de Valladolid.
<https://doi.org/https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/24358/TFG-I-618.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Meadows, D., Meadows, D., Randers, J., & Behrens, W. (1972). *The Limits to Growth - Club of Rome*.
- Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana. (2022). *Documento Básico HE Ahorro de Energía*. <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DcmHE.pdf>
- Ministerio del Medio Ambiente de Chile. (2014). *Plan nacional de adaptación al cambio climático*. Oficina del Cambio Climático. <https://doi.org/https://www.codexverde.cl/wp-content/uploads/2014/12/PAN-web2.pdf>
- Naciones Unidas. (s.f.). *¿Qué es el cambio climático?* <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change>
- NASA. (s.f.). *Aumento del nivel del mar*. https://climate.nasa.gov/climate_resources/274/aumento-del-nivel-del-mar/#:~:text=El%20cambio%20clim%C3%A1tico%20est%C3%A1%20provocando,ente%201%20y%204%20pies.
- NASA GISS, NOAA, & ESRL. (s.f.). *Estudios y evidencias del Calentamiento Global*. <https://doi.org/https://cambioclimaticoglobal.com/estudios-y-evidencias-del-calentamiento-global>
- Ovacen. (2013). *Medidas de ahorro de energía y mejora de la eficiencia energética en edificios*. <https://ovacen.com/mejora-de-la-eficiencia-energetica/>
- PCQ. (2018). *Calentadores parte 4*. <https://pcqro.com.mx/recomendaciones/calentadores-parte-4/>
- Planas, O. (2015). *¿Qué es el efecto fotovoltaico?* <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/efecto-fotovoltaico>
- REHAU. (s.f.). *¿Cuánto tiempo duran las ventanas de PVC?* <https://www.rehau.com/es-es/cuanto-tiempo-duran-ventanas-pvc#:~:text=En%20l%C3%ADneas%20generales%2C%20podemos%20decir,durante%20una%20vida%20tan%20prolongada>.
- Renovaenergía. (2020). *Energía Solar Térmica*. <https://www.renova-energia.com/energia-renovable/energia-solar-termica/>

- Ropero , S. (2020). *Qué es la eficiencia energética definición y ejemplos*.
<https://www.ecologiaverde.com/que-es-la-eficiencia-energetica-definicion-y-ejemplos-2804.html>
- Sánchez, A. (2021). *Gas licuado de petróleo Ecuador*. <https://blogs.cedia.org.ec/obest/wp-content/uploads/sites/7/2021/12/GLP-en-Ecuador.pdf>
- Santamarta, J. (2004). Las energías renovables son el futuro. *World Watch*, 22(16), 34-40.
- SEMAEDES. (s.f.). *Energía Eólica*. <https://www.oaxaca.gob.mx/semaedes/energia-eolica/>
- Statista Research Department. (2021). *Consumo global de energía por fuente 2000-2050*.
<https://es.statista.com/estadisticas/634593/consumo-global-de-energia-por-fuente/>
- Twenergy. (2019). *¿Qué es la energía geotérmica?* <https://twenergy.com/energia/energia-geotermica/que-es-la-energia-geotermica-que-aplicaciones-tiene-108/>
- Xylem. (2022). *Los edificios consumen el 30% de la energía total utilizada en España*.
<https://www.cienciasambientales.com/es/noticias-ambientales/los-edificios-consumen-el-30-de-la-energia-total-utilizada-en-espana-21214>

Anexo A.

Este anexo contiene información del precio de las alternativas de mejora de eficiencia energética

Tabla 20. Precio del aislamiento de lana de vidrio.

	Área (m2)	Precio (\$)	Mantenimiento (\$)
Suelo	62.4	480.48	0.94
Fachadas	128.5	989.45	1.93

Fuente: Elaboración propia a partir de la información tomada de CYPE (s.f.)

Tabla 21. Precio de las ventanas.

Grupo de Ventanas	Número de ventanas	Ancho (m)	Alto (m)	Área (m2)	Área Total (m2)	Precio Total (\$)
Grupo 1	5	2.4	1.4	3.36	16.8	1 085.28
Grupo 2	2	0.9	0.6	0.54	1.08	69.77
Grupo 3	1	1.5	1.4	2.1	2.1	135.66
Grupo 4	1	2.4	1.15	2.76	2.76	178.30
Grupo 5	1	0.7	1.1	0.77	0.77	49.74
Total					23.51	1 518.75

Fuente: Elaboración propia a partir de la información tomada de CYPE (s.f.)

Tabla 22. *Precio de las contraventanas.*

Grupo de Hueco	Numero de contraventanas	Ancho (m)	Alto (m)	Área (m2)	Área Total (m2)	Precio Total (\$)
Grupo 1	5	2.4	1.4	3.36	16.8	1 932.00
Grupo 3	1	1.5	1.4	2.1	2.1	241.50
Grupo 4	1	2.4	1.15	2.76	2.76	317.40
Grupo 5	1	0.7	1.1	0.77	0.77	88.55
Total					22.43	2 579.45

Fuente: Elaboración propia a partir de la información tomada de CYPE (s.f.)