

UCUENCA

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Carrera de Arquitectura

Diseño de una vivienda bajo el concepto de Powerhouse a través de plataformas BIM en la ciudad de Cuenca-Ecuador

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Arquitecto.

Autores:

Joan Alejandra Astudillo Gomezcoello

CI: 0302713839

Correo electrónico: joanastudillo2612@hotmail.com

Daniel Alejandro Orellana Castro.

CI: 0104998794

Correo electrónico: dano.orellanacastro@gmail.com

Director:

Felipe Esteban Zalamea León

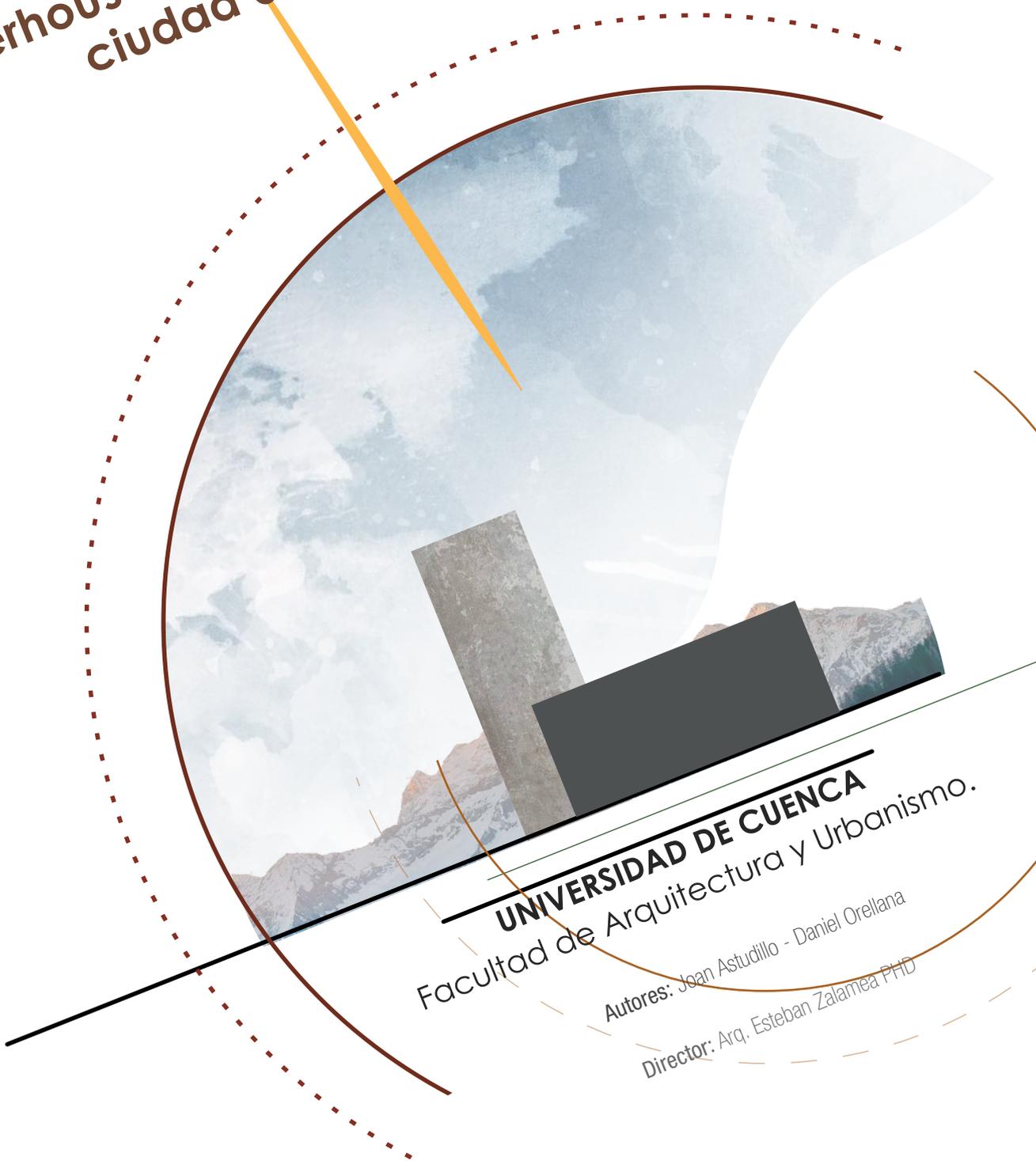
CI: 0102125952

Cuenca-Ecuador

11-noviembre-2022



Diseño de una vivienda bajo el concepto de Powerhouse a través de plataforma BIM en la ciudad de Cuenca-Ecuador.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Arquitectura y Urbanismo.

Autores: Joan Astudillo - Daniel Orellana

Director: Arq. Esteban Zalamea PHD

RESUMEN.

El crecimiento de las ciudades ha dado lugar a múltiples situaciones una de ellas es el aumento de la demanda de energía eléctrica domiciliar a nivel mundial, la cual se ha abastecido mayoritariamente mediante el consumo de combustibles fósiles, afectando gravemente las condiciones climáticas del planeta y aumentando a un nivel acelerado la contaminación atmosférica; a raíz de esta notable emergencia se ha hecho evidente la creación e implementación de fuentes generadoras de energía limpia a partir de recursos renovables; es por esto que surgen los Estándares energéticos sostenibles orientados a la construcción, siendo uno de ellos el concepto Powerhouse; nace en Noruega y es un modelo de edificaciones que opera con energía producida por celdas PV, cuyo objetivo es ser una micro central eléctrica con la capacidad de dotar de energía a edificaciones aledañas y que al momento de su construcción se usan materiales con baja energía incorporada. Resulta obvio que al tener alternativas menos contaminantes y más eficientes se busque globalizar su implementación, es por esto que el presente trabajo de titulación busca determinar la factibilidad y el potencial de una vivienda que aplique en su diseño todos los conceptos del estándar Powerhouse en Cuenca-Ecuador como caso representativo de ciudad andina.

La metodología implementada para determinar el potencial de aplicación de una vivienda bajo el concepto Powerhouse es mediante el uso de herramientas BIM que ayuden a determinar la producción de energía eléctrica a partir de celdas PV y el confort dentro de la vivienda como resultado de las estrategias implementadas en el diseño.

Los resultados obtenidos a partir del modelo energético demuestran que es más que factible la implementación de una Powerhouse en el lugar de estudio y ciudades con similitudes climáticas.

Palabras clave:

Powerhouse. Energía renovable. Construcción en tierra. Estándares energéticos. Energía incorporada.

ABSTRACT.

The growth of cities has given rise to multiple situations, one of them is the increase in the demand for household electricity worldwide, which has been supplied mainly through the consumption of fossil fuels, seriously affecting the climatic conditions of the planet and increasing atmospheric pollution at an accelerated level; as a result of this remarkable emergency, the creation and implementation of clean energy generating sources from renewable resources has become evident; this is the reason for the emergence of sustainable energy standards oriented to construction, being one of them the Powerhouse concept; it was born in Norway and it is a model of buildings that operates with energy produced by PV cells, whose objective is to be a micro power plant with the capacity to provide energy to neighboring buildings and that at its construction are used materials with low embodied energy. It is obvious that by having less polluting and more efficient alternatives, it is sought to globalize its implementation, which is why this degree work seeks to determine the feasibility and potential of a house that applies in its design all the concepts of the Powerhouse standard in Cuenca-Ecuador as a representative case of an andean city.

The methodology implemented to determine the potential application of a house under the Powerhouse concept is through the use of BIM tools that help determine the production of electrical energy from PV cells and the comfort inside the house as a result of the strategies implemented in the design.

The results obtained from the energy model show that it is more than feasible to implement a Powerhouse in the study site and cities with similar climatic conditions.

Key words:

Powerhouse. Renewable energy. Ground-mounted construction. Energy standards. Embodied energy.

1

Introducción y primeras definiciones

- 1.1 Definición de objetivos.
- 1.2 Justificación del lugar de diseño.
- 1.3 Planteamiento del problema.
- 1.4 Estado del arte

2

Materiales y métodos

- 2.1 Metodología.
- 2.2 Investigación de energía contenida en materiales de construcción comercializados en la ciudad de Cuenca a partir de referentes.
- 2.3 Criterios de diseño.

3

Diseño

- 3.1 Memoria técnica.
- 3.2 Planta arquitectónica y de cubiertas.
- 3.3 Elevaciones, secciones y detalles constructivos.
- 3.4 Renders.
- 3.6 Análisis y resultados.
- 3.7 Estimación de la energía contenida en construcción.
- 3.8 Evaluación energética.
- 3.9 Producción energética.

4

Conclusiones y recomendaciones

- 4.1 Conclusiones.
- 4.2 Recomendaciones.

ÍNDICE

Cláusulas	10
Agradecimientos	14
Dedicatoria	14

1

Introducción y primeras definiciones

Introducción.....	19
1.1 Definición de objetivos	21
1.1.1 Objetivo general.....	21
1.1.2 Objetivos específicos	21
1.2 Justificación de lugar de diseño	22
1.3 Planteamiento del problema.....	24
1.3.1 El impacto ambiental de la construcción	24
1.3.2 El ciclo de vida de las edificaciones	26
1.3.3 El origen de la energía eléctrica en Ecuador	26
1.3.4 Modelos de construcción sostenible.....	28
1.3.5 Arquitectura en tierra como modelo de construcción sostenible	29
1.3.6 Estándares energéticos sostenibles en edificaciones	29
1.3.6.1 Estándar Passivhaus	30
1.3.6.2 Estándar NetZero	30
1.3.6.3 Estándar Plus Energy	31
1.3.6.4 Estándar Powerhouse	31
1.3.6.5 Tabla de resumen	32
1.4 Estado del arte.....	33
1.4.1 Casos de estudio de Estándar Powerhouse	33
1.4.1.1 Casa de máquinas Brattørkaia.....	33
1.4.1.2 Powerhouse Telemark.....	36
1.4.2 Caso de estudio de arquitectura en tierra.....	38
1.4.2.1 Casa vernácula del sXXI.....	38

2

Materiales y Métodos

2.1 Metodología.....	43
2.2 Investigación de energía contenida en materiales de construcción comercializados en la ciudad de Cuenca a partir de referentes.....	43
2.3 Criterios de diseño	46
2.3.1 Criterios de diseño en función del entorno.....	46
2.3.2 Criterios de diseño respecto a los materiales. . .	48
2.3.3 Criterios de diseño incorporando tecnologías. . .	50
2.3.4 Criterios de generación de energía.....	50
2.3.4.1 Tipos de celdas fotovoltaicas.....	51
2.3.4.1.1 Tabla de resumen.....	52
2.3.4.2 Criterios de integración arquitectónica... ..	53

3

Diseño

3.1 Memoria técnica	57	3.7 Evaluación energética	81
3.2 Planta Arquitectónica y de cubiertas.....	60	3.7.1 Aplicación de la metodología BIM	81
3.2.1 Planta arquitectónica	60	3.7.1.1 Análisis realizados	82
3.2.2 Planta de cubiertas.....	61	3.8 Producción energética.....	87
3.3 Elevaciones, secciones y detalles		3.8.1 Calibración de la herramienta SAM	87
constructivos	62	3.8.2 Resultados del análisis de producción energética....	87
3.3.1 Elevación norte	62		
3.3.2 Elevación sur.....	62		
3.3.3 Elevación este	63		
3.3.4 Elevación oeste	63		
3.3.5 Sección A-A.....	64		
3.3.6 Sección B-B	64		
3.3.7 Detalles constructivos	65		
3.4 Renders	72		
3.5 Análisis y resultados	78		
3.5.1 Descripción metodológica	78		
3.6 Estimación de la energía contenida en			
construcción.....	78		
3.6.1 Estimación de la energía contenida por concepto de			
materiales de construcción.....	78		
3.6.2 Estimación de la energía contenida por concepto de			
actividades de construcción.....	80		

4

Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones	91
4.2 Recomendaciones.....	93

Bibliografía	94
Índice de figuras y tablas	99
Anexos	105

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Joan Alejandra Astudillo Gomezcoello en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Diseño de una vivienda bajo el concepto de Powerhouse a través de plataforma BIM en la ciudad de Cuenca-Ecuador", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 11 de noviembre de 2022



Joan Alejandra Astudillo Gomezcoello

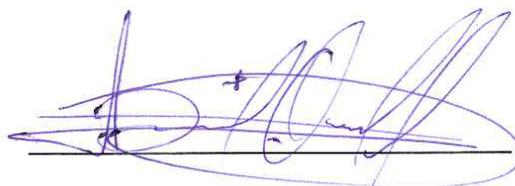
C.I: 0302713839

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Daniel Alejandro Orellana Castro en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Diseño de una vivienda bajo el concepto de Powerhouse a través de plataforma BIM en la ciudad de Cuenca-Ecuador", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 11 de noviembre de 2022



Daniel Alejandro Orellana Castro

C.I: 0104998794

Cláusula de Propiedad Intelectual

Joan Alejandra Astudillo Gomezcoello, autora del trabajo de titulación "Diseño de una vivienda bajo el concepto de Powerhouse a través de plataforma BIM en la ciudad de Cuenca-Ecuador", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 11 de noviembre de 2022



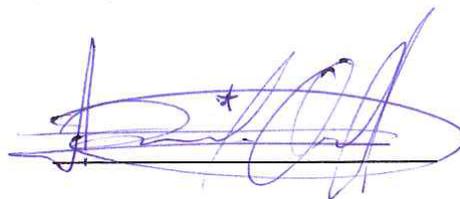
Joan Alejandra Astudillo Gomezcoello

C.I: 0302713839

Cláusula de Propiedad Intelectual

Daniel Alejandro Orellana Castro, autor del trabajo de titulación "Diseño de una vivienda bajo el concepto de Powerhouse a través de plataforma BIM en la ciudad de Cuenca-Ecuador", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 11 de noviembre de 2022



Daniel Alejandro Orellana Castro

C.I: 0104998794

AGRADECIMIENTOS.

A los docentes y personal administrativo de la facultad que nos han acompañado a lo largo de la carrera.

A nuestro director Arq. Esteban Zalamea por su guía, paciencia y dedicación durante toda la elaboración de nuestro trabajo de titulación.

DEDICATORIA.

A mis padres y hermano que han sido mi apoyo incondicional, mi motivación y mi fuerza.

A Andrés Hidalgo que ha estado conmigo en los momentos más difíciles.

Joan.

A mis padres y hermanos.

De nada humanidad.

Daniel.



CAPÍTULO 1: Introducción y primeras definiciones

INTRODUCCIÓN

Con la crisis del petróleo de la década de 1970 resurgió la preocupación por los aspectos ambientales de la construcción, y hoy la creciente emergencia de combatir el cambio climático se evidencia en el cuarto informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, que estima con una alta probabilidad (más de 90%) que la causa del calentamiento global son las emisiones de dióxido de carbono de las actividades humanas (Wassouf, 2014). La ONU (2022) en su informe anual sobre el cambio climático, señala que las consecuencias de las acciones humanas sobre el medio ambiente son irreversibles. La ONU-Habitat (2015), organismo que trabaja para promover una ciudad adecuada para vivir, expone los problemas ambientales que actualmente enfrenta el planeta: En el mundo actual, la urbe es el elemento más importante que provee bienestar, seguridad y oportunidades. Los asentamientos urbanos, que sólo ocupan el 3% de la superficie de la Tierra, producen más de la mitad de toda la contaminación ambiental del planeta y generan el 75% de las emisiones de carbono, siendo uno de los primeros focos de contaminación.

Las nuevas tendencias energéticas en arquitectura e ingeniería se basan en la construcción de edificios que requieran poca energía para funcionar, que sean ambientalmente responsables y pasivas en su consumo energético. Edificios con energía positiva de FutureBuilt¹ como los edificios de estándar Net Zero, Passivhaus o Powerhouse, ya se están implementando en países desarrollados como Estados Unidos, Alemania, Reino

Unido, Suecia y Noruega; las ventajas de estas nuevas tecnologías son la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y bajos requerimientos energéticos al momento de su construcción, así como la generación de energía a partir de fuentes renovables en su etapa de uso; es por ello que, para ser competitivos, países emergentes como Ecuador deben replantear su arquitectura con nuevas estrategias de ingeniería y tecnología.

Este estudio se desarrolló con el objetivo de determinar la factibilidad de la implementación de una vivienda de estándar Powerhouse en climas ecuatoriales andinos; para abarcar cada aspecto que engloba dicho estándar es necesario detectar, a partir de referentes, materiales de construcción de bajo impacto ambiental; los cuales se seleccionarán y aplicarán en el diseño de la vivienda en conjunto con estrategias bioclimáticas pasivas, que contribuirán a la reducción del consumo de energía operativa y estrategias de integración de paneles fotovoltaicos para la generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables. Con la ayuda de plataformas BIM² y programas de simulación energética se busca estimar cuánta energía consumiría la vivienda propuesta en un lapso de vida útil de 60 años y cuánta energía recuperaría gracias a los paneles solares en el mismo lapso de tiempo; esta información permitirá establecer el potencial de generación energética en climas ecuatoriales andinos, y así, determinar si la vivienda resulta conforme a los estándares Powerhouse.

¹ Edificios con energía positiva de FutureBuilt son aquellos que producen en promedio anual tanta o más energía que la que requieren para su funcionamiento normal. Y la energía que producen es proveniente de recursos renovables (Powerhouse, 2018).

² BIM del inglés, Building Information Modeling es una herramienta de software para modelado de edificios en tres dimensiones y en tiempo real, BIM logra centralizar toda la información de un proyecto en un único modelo, permitiendo estudiar todo su ciclo de vida, desde el diseño hasta su posterior demolición (Kensek, 2014).

El Capítulo 1 plantea los objetivos y la justificación del lugar de diseño, se profundiza el planteamiento del problema en busca de explicar el impacto ambiental de la construcción, se plantea el estado del arte y algunas definiciones importantes para entender el trabajo, y se muestran los casos de estudio que sirvieron como referente para el diseño propuesto. En el Capítulo 2 se plantea la metodología a seguir en el estudio, se muestran los resultados de la investigación de energía contenida en materiales de construcción, a partir de artículos desarrollados por varios autores a diferentes niveles: local, nacional e internacional; dando prioridad a aquellos que se hayan realizado más cerca al lugar de estudio; para finalizar se describen los criterios de diseño que se aplicarán a la propuesta.

En el Capítulo 3 se plantea el diseño de la vivienda con la aplicación de los materiales seleccionados y las estrategias activas y pasivas, se realiza el análisis de energía contenida por concepto de materiales y actividades de construcción, se hace la evaluación de confort térmico y requerimiento energético del prototipo y con la herramienta SAM (System Advisor Model, por sus siglas en inglés) se calcula el rendimiento, consumo y ganancia energética; posteriormente se muestran los resultados obtenidos. En el Capítulo 4 se muestran las conclusiones y se determina si la vivienda cumple o no con los requerimientos del estándar Powerhouse.

1.1 DEFINICIÓN DE OBJETIVOS.

1.1.1 OBJETIVO GENERAL:

Diseñar una vivienda de máximo estándar de sostenibilidad energética bajo el estándar de Powerhouse en climas ecuatoriales andinos, con ayuda de plataformas BIM y simuladores de energía renovable.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

Determinar materiales con bajo contenido energético disponibles en Cuenca, Ecuador.

Plantear un diseño de vivienda con baja cantidad de energía contenida y determinar niveles de confort, considerando maximizar superficies para captación solar pasiva y activa.

Determinar la capacidad de generación energética posible durante 60 años, detectando factibilidad de estándar Powerhouse y si el estándar es alcanzable con menos vida útil.

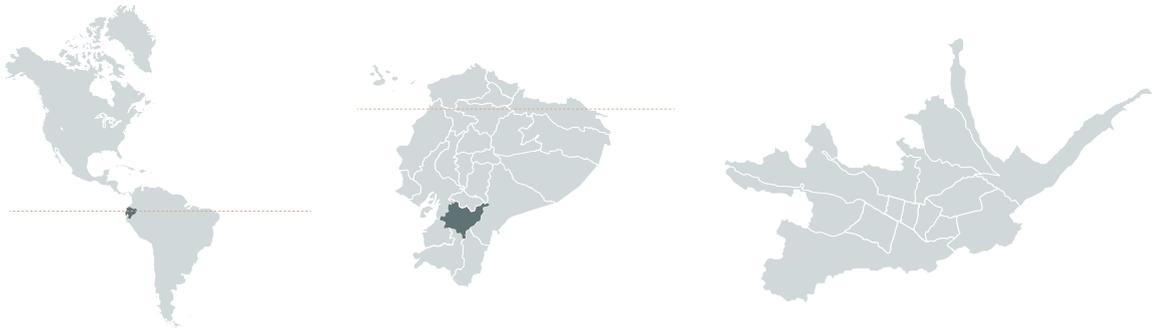


Fig. 01. Ubicación de la ciudad de Cuenca, Ecuador.
Autor: Elaboración propia.

1.2 JUSTIFICACIÓN DE LUGAR DE DISEÑO.

Ecuador es un país único en su tipo, cuenta con una flora y fauna diversa y su clima es tan complejo como interesante; al estar ubicado en la zona tórrida del planeta, exactamente sobre la línea ecuatorial y atravesado por la cordillera de los Andes, cuenta con cuatro regiones claramente diferenciadas tanto por su clima, su posición y división política: La región Insular, compuesta por las Islas Galápagos; la región Costa que limita con el océano Pacífico; la región Sierra donde predomina el cordón montañoso de los Andes y la región Amazónica, donde se emplazan las majestuosas selvas tropicales.

El enfoque del presente estudio se centra en emplazar la propuesta en temperaturas andinas. Este clima se encuentra entre los 2000 y 3000 m.s.n.m., es templado por lo que varias ciudades como Quito, Cuenca, Bogotá, Loja, Arequipa, entre otras, se han implantado en estas zonas que poseen similitud climática. Cuenca (lugar de estudio), ubicada a una altura promedio de 2530 m.s.n.m.; se encuentra a 301.28 km al sur de la línea Ecuatorial; su clima, posición y rango de temperatura es un caso representativo de ciudad andina, como se puede apreciar en la tabla comparativa (tabla 01).

Ciudad	Altitud (m.s.n.m)	Temp. min. Promedio (°C)	Temp. Promedio (°C)	Temp. max. Promedio (°C)
Quito (Ecuador)	2850	7.1	13.8	21.1
Bogotá (Colombia)	2640	7.2	13.6	19.4
Cuenca (Ecuador)	2530	8.0	14.4	21.8
Arequipa (Perú)	2335	6.8	14.5	22.6
Pasto (Colombia)	2527	9.9	15.2	20.4
Loja (Ecuador)	2060	11.3	16.5	22.8

Tabla 01. Temperaturas promedio máxima y mínima promedio de ciudades próximas a la línea ecuatorial, entre los 2000 y 3000 m.s.n.m..
Autor: Elaboración propia. Fuente: Zalamea & Barragán (2021).

El promedio de temperatura anual de Cuenca ronda los 14.4 °C (Zalamea & Barragán, 2021), siendo los meses más fríos de junio a septiembre y los más calurosos de diciembre a enero; dada esta condición climática que en promedio es levemente inferior a la temperatura de confort, implica que las edificaciones requieran mínima o nula cantidad de energía para ambientación. Posee un clima templado con lluvias constantes durante todo el año, las más altas de febrero a mayo con 101.13 mm/m², y las más bajas de octubre a diciembre con precipitaciones de 87.7 mm/m² (Cordero & Guillén, 2013). Los vientos presentan una dirección predominante desde el Noreste, con una velocidad que se encuentra entre los 9 y 12.82 km/h (Cordero & Guillén, 2013) por lo que se puede considerar una ciudad de baja ventosidad.

En cuanto a los índices de radiación solar, es prudente mencionar que Cuenca, a pesar de tener un índice de radiación constante (Fig.02), no es la ciudad con mejor potencial solar de la sierra ecuatoriana; ya que, este lugar es ocupado por Quito y Riobamba; sin embargo, posee una radiación solar promedio entre 1359 kWh/m² y 1968 kWh/m² al mes (Calle & Tinoco, 2018).

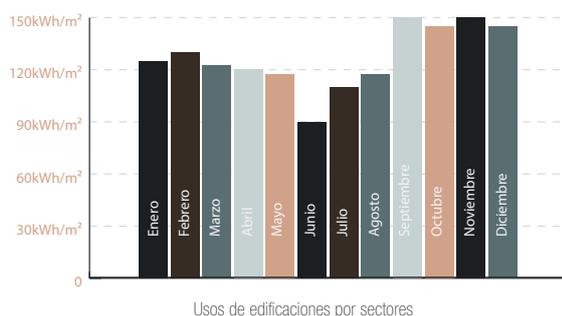


Fig. 02. Oscilación de irradiación en Cuenca Ecuador, como ejemplo de clima ecuatorial andino.

Autor: Elaboración propia. Fuente: Zalamea & Barragán (2021).

La arquitectura de Cuenca.

El crecimiento de la ciudad también condiciona la naturaleza del proyecto arquitectónico al establecer diferentes tipos de contextos urbanos. La influencia del proyecto en los espacios urbanos puede tener la certeza de forjar una ciudad más habitable y sostenible; por lo que, es importante conocer el contexto arquitectónico en el que se plantea esta propuesta.

La arquitectura cuencana surge posterior a las conquistas de América cuando se produce un cambio social radical, donde nace el concepto de casa colonial, en esta etapa las decisiones constructivas responden a criterios funcionales y tecnológicos constructivos, mas no estéticos para responder a las necesidades de vivienda con materiales y técnicas de la zona; muros de adobe o bahareque, cubiertas de teja o paja sobre estructura de madera, pisos de tierra o piedra; vigas, columnas, balcones y portales de madera.

Posteriormente, en la época republicana se dan importantes desarrollos económicos y sociales, se incorporan materiales como el ladrillo en muros, mármol en fachadas, hierro forjado para balcones y ventanas; la introducción de estos elementos trajo consigo una fusión de técnicas arquitectónicas, debido a ello es posible hallar en el austro ecuatoriano edificaciones de adobe; que fue usado tanto por europeos como por nativos; tapial o bahareque (Barzallo et al., 2018). La tierra como material de construcción es uno de los componentes de la arquitectura Vernácula, podemos considerar a ésta como una arquitectura arraigada a un contexto, de carácter resiliente, que se adapta a su entorno. Su origen se remonta a épocas precolombinas y ha persistido a lo largo de la historia, perdurando hasta hoy en día; sin embargo, esta es una arquitectura tradicional que ha sido abandonada en una fase de cambio económico y social debido, principalmente, a la intrusión de nuevos materiales de construcción y nuevas tecnologías constructivas.

Debido a las condiciones climáticas favorables, su ubicación y su cultura arquitectónica se ha escogido a Cuenca como un referente de clima ecuatorial andino propicio para desarrollar la investigación. Se debe tener en cuenta que la propuesta de diseño del prototipo de vivienda no se emplazará en un lote en particular; ya que, el objetivo del estudio va orientado a determinar la viabilidad de implementar una vivienda de estándar energético sostenible, que integre materiales con la mínima cantidad de energía contenida y que además genere la máxima cantidad de energía en este tipo de ubicaciones, por lo que se tomarán en cuenta las condicionantes atmosféricas y geográficas de la ciudad, mas no su normativa u otros factores morfológicos o sociales que influyan directamente en el diseño; es decir, se plantea un terreno ficticio e idílico, con las condiciones más favorables posibles, pero simulando la realidad climática de la ciudad.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.3.1 EL IMPACTO AMBIENTAL DE LA CONSTRUCCIÓN.

A nivel mundial los edificios y los procesos de construcción están entre los sectores que mayor consumo energético demanda (fig. 03). La industria (37%), el transporte (29%) y el sector residencial (21%) son los principales responsables del mayor consumo energético y producción de gases de efecto invernadero a nivel mundial (Alvarado, 2021).

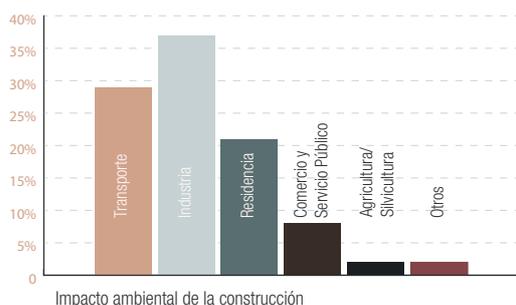


Fig. 03. Consumo energético mundial por sectores (%).
 Autor: Elaboración propia. Fuente: Agencia Internacional de Energía (IEA, 2017).

Según datos extraídos de la investigación de Wadel et al. (2010), quien realizó un análisis de ciclo de vida a una edificación en Cataluña, basándose en las normas ISO 14040/43 (2006), se obtiene que para construir una vivienda se necesitan unos 1666.67 kWh por cada metro cuadrado (kWh/m²). El uso supone un gasto energético anual de 138.89 kWh/m², si consideramos un promedio de vida útil de 60 años y sumamos el coste energético de la producción de los materiales y su transporte tenemos un total de 10000 kWh/m². Si bien esta investigación brinda unas pautas para comprender de forma cuantitativa el impacto ambiental de las construcciones, este puede variar dependiendo de los materiales empleados, técnicas constructivas o lugar donde se encuentre; sin embargo, dichos datos pueden servir para compararlos con los resultados de esta investigación y determinar si la propuesta se puede considerar de bajo impacto ambiental.

Por otra parte, tenemos el impacto producido por los procesos de manufactura de los materiales de construcción; por ejemplo, el hormigón es el material fabricado por el hombre que más ha sido utilizado en la historia, es el responsable del 8% de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) del mundo, si la industria cementera fuera una nación, estaría entre los emisores más grandes del mundo de dióxido de carbono, solo por detrás de China y EE.UU., contamina más que el combustible de aviación (2,5%) y está cerca de las emisiones mundiales por concepto de agricultura (12%) (Rodgers, 2018). Este problema se ahonda sí consideramos que la energía necesaria para la producción de los materiales en algunos casos no proviene de energías renovables, sino de combustibles fósiles.

En Ecuador, según datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, 2020) el hormigón es el material predominante en: cimientos (93.91%) (fig. 04), estructura (88.07%) (fig. 05) y cubierta (55.64%) (fig. 06); mientras que el bloque de hormigón (64.91%), y el ladrillo (30.65%) son los más empleados en mamposterías (fig. 07); hablamos de obras que no solo tienen un consumo

prolongado de energía con respecto a otros materiales, sino que, también, generan un impacto negativo al final de su vida útil (Alvarez & Ripoll, 2018).

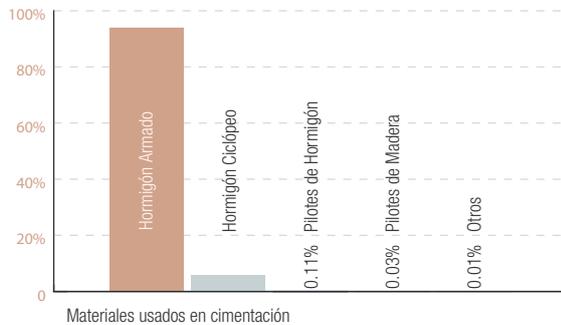


Fig. 04. Materiales usados en cimentación. Autor: Elaboración propia. Fuente: INEC (2019)

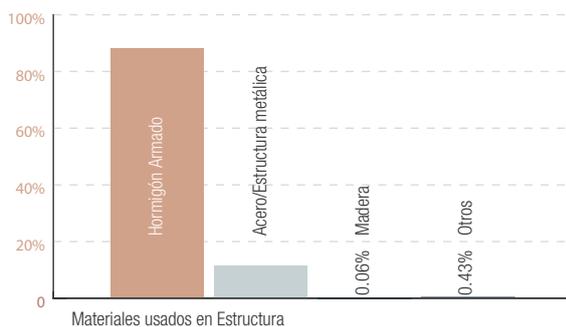


Fig. 05. Materiales usados en estructura. Autor: Elaboración propia. Fuente: INEC (2019).

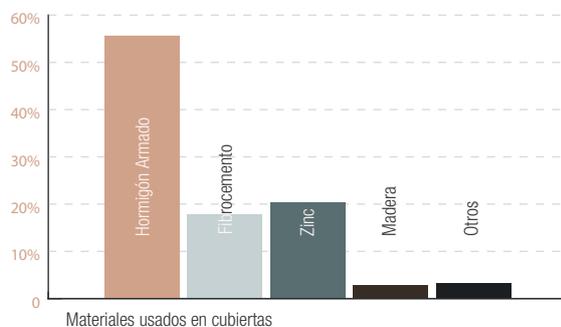


Fig. 06. Materiales usados en cubiertas. Autor: Elaboración propia. Fuente: INEC (2019).

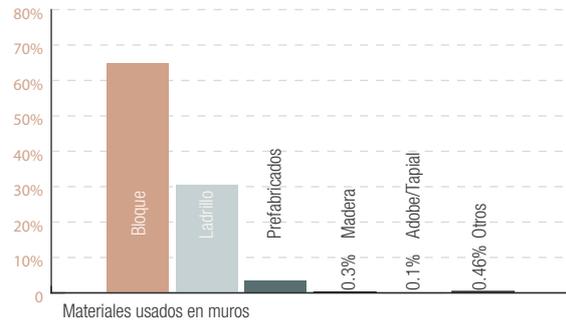


Fig. 07. Materiales usados en muros. Autor: Elaboración propia. Fuente: INEC (2019).

En cuanto al uso de las edificaciones, según datos del INEC (2020) el 86,0% corresponde a construcciones residenciales, el 9,0% a no residenciales, y el 5,0% a construcciones mixtas (fig 08). La principal categoría de las edificaciones residenciales son las viviendas unifamiliares que representa el 69.7% de estas, le sigue la vivienda multifamiliar con el 16.3%, comercial 6.3%, mixto 5%, industrial 7% y otros usos 2% (fig. 09).

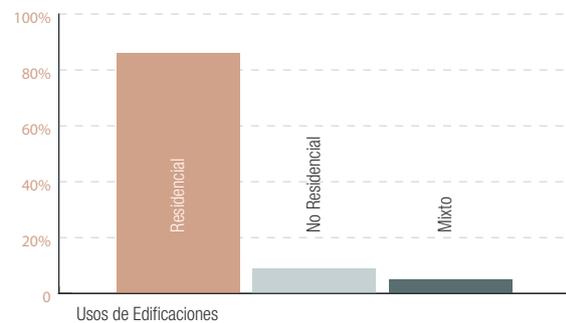


Fig. 08. Uso de edificaciones. Autor: Elaboración propia. Fuente: INEC (2019).

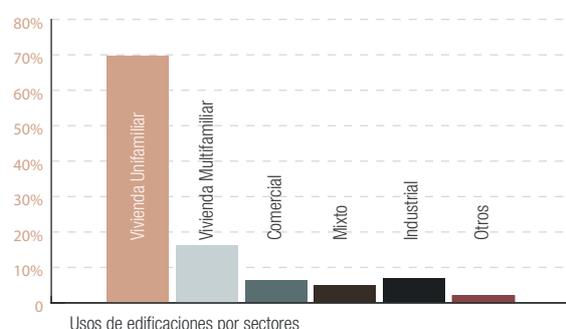


Fig. 09. Uso de edificaciones por sectores. Autor: Elaboración propia. Fuente: INEC (2019).

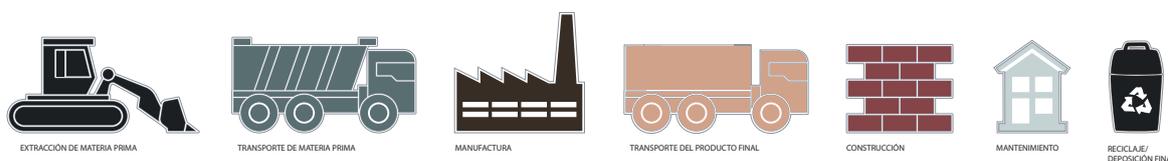


Fig. 10. Etapas y terminología del Análisis de Ciclo de Vida de un material. Autor: Elaboración propia. Fuente: Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Gobierno Vasco (Ihobe, 2009).

1.3.2 EL CICLO DE VIDA DE EDIFICACIONES.

El ciclo de vida de las edificaciones (fig.10) son todos los procesos que se dan durante su vida desde la adquisición de la materia prima hasta la construcción, uso y disposición final. La cuantificación de estas cantidades de energía que afecta al medio ambiente se calcula de acuerdo a la normativa ISO 14040 (2006) que comprende cuatro fases: definición de objetivos y alcance, desarrollo del inventario de ciclo de vida (ICV), evaluación del impacto del ciclo de vida e interpretación.

El análisis del ciclo de vida (ACV) es la herramienta de gestión ambiental que calcula la energía contenida en materiales de construcción, la cual se define como la cantidad de energía requerida para el proceso de fabricación de un producto; contempla, pero no se limita a: su extracción, transporte a fábrica, procesos de manufactura, almacenamiento y transporte a centros de distribución (Muñoz & Quiroz, 2014).

Una de las problemáticas que se presentan al momento de la realización de un ACV es la poca información disponible sobre los materiales de construcción, lo que implica la realización de largos procesos de obtención de datos o en muchas ocasiones se tiene que recurrir a los inventarios existentes en Estados Unidos o Europa (que si poseen extensas bases de datos), lo que puede ampliar el margen de error en la elaboración de los estudios (León & Guillén, 2020).

Alvarez & Ripoll (2018) señalan en su estudio realizado a viviendas sociales en el Área Metropolitana de San Juan, Argentina que si consideramos las emisiones totales de la vivienda a lo largo de su ciclo de vida, la energía contenida en construcción representa el 48.48%, en tanto, la energía operacional constituye el 51.5% del total y la demolición el 0.02%. Por la obvia relación existente entre el ciclo de vida de las edificaciones y el cambio climático, es necesario replantear la forma de construir, empleando materiales de bajo impacto ambiental y procurar invertir en el mantenimiento durante el periodo de uso de la edificación para prevenir el deterioro progresivo que en muchos casos provoca su demolición y por ende una gran producción de desechos de muy difícil clasificación, lo que hace casi imposible que se dé un proceso de reciclaje de los mismos.

1.3.3 EL ORIGEN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN ECUADOR.

En los últimos años, en Ecuador se ha logrado un cambio en la matriz energética, dejando de lado los combustibles fósiles y usando fuentes parcialmente renovables, mayoritariamente las hidroeléctricas³ para la producción de energía eléctrica. Según datos de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR., 2021), el 90.68% de la energía eléctrica es obtenida de fuentes renovables como se muestra en la tabla 02.

³ Actualmente se ha entrado en un debate si las hidroeléctricas son fuentes renovables de energía por las afectaciones que causan a los cauces de los ríos y el entorno mismo en el que se emplazan.

ENERGÍA ELÉCTRICA ENTREGADA A SERVICIO PÚBLICO E IMPORTACIONES			
	Generación de energía	GWh	%
Energía renovable	Hidráulica	23107.39	89.37%
	Eólica	75.23	0.29%
	Fotovoltaica	37.19	0.14%
	Biomasa	181.21	0.70%
	Biogas	43.62	0.17%
	Total energía eléctrica renovable.	23444.64	90.68%
Energía no renovable	Total energía eléctrica no renovable.	2159.64	8.35%
Importaciones	Total de importaciones de energía eléctrica.	250.79	0.97%
Total de energía eléctrica entregada-importación		25855.07	100%

*Tabla 02. Energía eléctrica entregada a servicio público e importaciones.
Autor: Elaboración propia. Fuente: ARCERNNR (2021).*

En Ecuador, el sector residencial representa un 37.4% del consumo total de la energía eléctrica (ARCERNNR., 2021), además posee un alto consumo de gas licuado de petróleo para la cocción de alimentos y calentamiento de agua según datos Balance Energético Nacional (IIGE, 2019), como se puede apreciar en la figura 11; por tanto, uno de los desafíos del sector energético ecuatoriano es sustituir al máximo el consumo de GLP en el sector residencial por tecnologías menos contaminantes (Ríos et al., 2018); por lo que una de las estrategias del estado ecuatoriano ha sido impulsar el uso de cocinas de inducción para la preparación de alimentos y colectores solares para el calentamiento de agua; la sustitución de GLP por electricidad permitirá, reducir en un 90% las emisiones de dióxido de carbono (Ríos et al., 2018) y reducir la necesidad de recursos públicos en la importación y subsidio de GLP para la población, entre otras.

A pesar de que la mayoría de la energía eléctrica consumida en el país proviene de hidroeléctricas, estas también presentan cierto grado de afectación al medio ambiente, tienen un impacto negativo en ríos y en los ecosistemas que se desarrollan en ellos, también generan un impacto en las comunidades que las rodean, otro de los problemas que se enfrenta es que el aumento de la demanda de energía se encuentra en un ritmo muy

superior a su crecimiento, por lo que será necesario avanzar hacia otras fuentes de producción energética como la solar. La tecnología fotovoltaica (PV) tiene un potencial significativamente mayor que las otras tecnologías; supera la demanda de electricidad de la ciudad de Cuenca en 3,19 veces (Barragán et al., 2020); por lo que, con el aprovechamiento de la energía solar se obtendría mucha más energía con un menor impacto ambiental, produciendo energía eléctrica para cubrir toda la demanda, e incluso tendría un excedente que podría emplearse en otros sectores (Zalamea & Barragán, 2021).

Uno de los mayores retos para lograr la sustitución de los combustibles fósiles en el país es la falta de incentivos económicos y de subsidios de estas nuevas tecnologías.

En Ecuador los incentivos económicos a combustibles fósiles impiden el desarrollo de cualquier alternativa de microgeneración y autoabastecimiento, por más que en su tecnología haya alcanzado precios competitivos a nivel internacional [...] A escala comercial la competitividad de precio será posible cuanto exista la decisión política para promover, ayudar y subsidiar las tecnologías emergentes. Sin duda, esto es un impacto para una sociedad que tiene muy arraigada la costumbre de un estado aprovisionador de energía a precios reducidos como una obligación. (Zalamea & Barragán, 2021, p. 130)

En Ecuador la Nueva versión de Regulación Expedida en sesión de ARCERNNR (2021) se detalla que de haber un remanente positivo en la producción de energía se lo otorgará como crédito energético al consumidor, y con un remanente negativo se factura al consumidor (pliego tarifario).

Consumo de energía del sector residencial (2019)

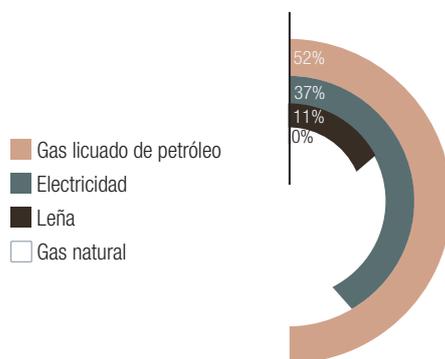


Fig. 11. Consumo energético del sector residencial.
 Autor: Elaboración propia. Fuente: IIGE (2019).

1.3.4 MODELOS DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE.

Un enfoque de sostenibilidad tiene en cuenta tres elementos clave: Las necesidades de la presente generación; la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades; la equidad intergeneracional; es decir, el hecho de que las generaciones futuras tienen derecho a la misma calidad de vida que las generaciones presentes; por tanto, la sostenibilidad puede ser definida como la capacidad de una generación para satisfacer sus necesidades sin comprometer la capacidad de futuras generaciones a satisfacer sus propias necesidades (ONU-Habitat, 2015). La definición posee tres aspectos fundamentales, relacionados e inquebrantables, los cuales son:

- **Sostenibilidad Social.**

La sostenibilidad social busca promover el bienestar de las personas y reducir las desigualdades; para ello, es necesario garantizar el acceso a la educación, la salud y los servicios básicos, así como fomentar la inclusión social, también es importante proteger los derechos humanos y promover la participación ciudadana; además, es fundamental combatir la pobreza y la exclusión social. Según Wassouf (2014) la sostenibilidad social comprende el desarrollo de la sociedad en un proceso participativo de todos sus integrantes, lo cual implica un equilibrio entre los diferentes sectores de la sociedad para garantizar una convivencia pacífica; en casos específicos como el de Cuenca, parte de la sostenibilidad social consiste en preservar las tradiciones constructivas, propias de una ciudad Patrimonio de la Humanidad.

- **Sostenibilidad Económica.**

Uno de los objetivos fundamentales de la sostenibilidad económica es la generación de riqueza a largo plazo; para ello, es necesario promover el crecimiento económico sostenible, lo que requiere la adopción de medidas que fomenten la competitividad, la inversión y el empleo; así mismo, es importante reducir la pobreza y la desigualdad; para alcanzar estas metas, es fundamental promover el uso eficiente de los recursos naturales, la diversificación económica y la innovación; es aquella capaz de garantizar el poder de compra, la protección de los recursos y el bienestar económico frente a la explotación por parte de grupos e intereses determinados (Wassouf, 2014).

- **Sostenibilidad Ambiental.**

El objetivo de la sostenibilidad ambiental es proteger el medio ambiente y garantizar el uso sostenible de los recursos naturales; para ello, es necesario adoptar medidas que fomenten la reducción de las emisiones de gases

de efecto invernadero, el aprovechamiento de energías renovables y la conservación de la biodiversidad, también es importante promover el reciclaje y el uso eficiente de los recursos naturales, la protección del medio ambiente para las futuras generaciones, que contempla, entre otras cuestiones, el mantenimiento de la biodiversidad y la protección contra el cambio climático (Wassouf, 2014).

Los tres aspectos de la sostenibilidad son importantes y deben estar presentes en cada objetivo, ya que si una de las dimensiones falla se puede generar grandes impactos negativos; por ejemplo, una economía sostenible puede generar desarrollo social, pero si estos recursos no son utilizados de forma adecuada pueden causar daños ambientales, por lo tanto, para que una edificación sea sostenible debe ser ambientalmente eficiente, socialmente necesaria y económicamente viable.

1.3.5 ARQUITECTURA EN TIERRA COMO MODELO DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE.

Actualmente, las tendencias en la industria de la construcción, tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo, se están desplazando hacia la revalorización de la tierra como material de construcción; sin embargo, cada uno de ellos lo hace por diferentes motivos, mientras que en los países industrializados se busca un comportamiento bioclimático de los edificios, en los países en vías de desarrollo los motivos son más de necesidad de vivienda, autoconstrucción, economía y rapidez (Yuste & Barbata, 2013); en ambos casos se ha dado un proceso de revalorización de la tierra y sus cualidades dentro del campo de la construcción.

Su uso supone beneficios como el excelente comportamiento térmico y acústico, bajo coste económico, ahorro energético, ausencia de contaminación, reutilización indefinida y disponibilidad en abundancia. Si bien es un material que tiene importantes limitaciones, como la construcción en altura o las amplias secciones

en muros, brinda solución a problemas de vivienda, consumo energético, coste de construcción, problemas medioambientales y puesta en valor de la arquitectura vernácula.

Se sabe que los niveles de contaminación en países en vías de desarrollo como Ecuador son bajos en comparación a países industrializados (British Petroleum, 2021), por lo tanto es necesario actuar de manera preventiva con miras a posibles desarrollos industriales en el país. Es necesario reducir el impacto de la construcción con soluciones que están disponibles, pero no han sido combinadas. Si se fusiona la construcción en tierra con estrategias de captación de energías renovables obtendremos edificaciones de bajo impacto ambiental y alta eficiencia energética. Con el desarrollo de la tecnología en el área de la construcción, el uso de materiales básicos y ecológicos ganan mayor aceptación.

1.3.6 ESTÁNDARES ENERGÉTICOS SOSTENIBLES DE EDIFICACIONES.

Los estándares energéticos se han desarrollado con el objetivo de reducir la demanda y consumo de energía durante la etapa de uso de las edificaciones, algo que se ve reflejado en la disminución de las emisiones de gases contaminantes y en las facturas de servicios de energía que pagan los ocupantes. Existen estándares que además incorporan el impacto ecológico y de salud ambiental, pero sin la pretensión global de los sistemas de certificación medioambiental (Wassouf, 2014). Los estándares van mucho más allá de las regulaciones oficiales y pueden considerarse los pioneros de la construcción energéticamente eficiente.

Las edificaciones de acuerdo a su consumo energético pueden alcanzar distintos estándares de rendimiento, los cuales se describen a continuación acorde a la capacidad.

1.3.6.1 ESTÁNDAR PASSIVHAUS.

La definición nace en el año 2005 y se traduce como "habitación pasiva". Esta arquitectura pasiva es una tendencia resiliente que se adapta al contexto donde está implantada. Emplea, principalmente, estrategias bioclimáticas pasivas para reducir o incluso eliminar sistemas mecánicos de acondicionamiento térmico. Según Wassouf, (2014) el estándar de construcción tiene tres requerimientos que cumplir para considerarse Passivhaus, los cuales son:

- Requisitos energéticos mínimos. -Consiste en limitar el consumo energético para sistemas de acondicionamiento térmico y el consumo primario total.
- Conjunto de Soluciones. -Establece un conjunto de estrategias bioclimáticas que buscan elevar el confort ambiental dentro de la edificación sin incrementar el consumo energético. Esta práctica está más desarrollada para climas centroeuropeos, y no son tan necesarios en climas como el de la región ecuatorial andina por la carencia de estaciones y por el clima templado cercano a la zona de confort térmico.
- Herramientas de Cálculo. -Cada estándar ofrece herramientas para certificar que el edificio cumpla con los criterios establecidos. Para el caso de Passivhaus se emplea el Passivhaus Projecting Package: paquete para proyectos Passivhaus. (p. 15, 16)

Para reducir demandas energéticas en la etapa de diseño se emplean estrategias pasivas de confort, acompañadas de materiales con inercia térmica. Para evitar pérdidas de energía en puentes térmicos, como en ventanales, se regula el área de manera que se obtenga un adecuado acceso de luz solar, pero con la menor cantidad de pérdidas caloríficas posibles.

En climas como el de Cuenca, se busca una óptima iluminación natural, pero evitando el exceso de radiación solar que ingresa a la vivienda, por temas de sobrecalentamiento. De igual forma la selección de materiales debe estar en función de reducir las pérdidas

energéticas por cambios repentinos de temperatura, algo que es muy común en climas ecuatoriales andinos.

A pesar de todas las estrategias aplicadas, existen demandas que no podrán ser satisfechas, como el uso de aparatos eléctricos y sistemas de iluminación; por lo que, estas necesidades deberán ser cubiertas por las redes públicas de energía.

1.3.6.2 ESTÁNDAR NETZERO.

La certificación Net Zero Energy Building (NZEB, o Edificio de Energía Neta Cero, en español), acredita a aquellas edificaciones de alta eficiencia energética, producto del autoabastecimiento desde energías renovables y que producen cero emisiones de gases de efecto invernadero. El concepto fue planteado por el Parlamento Europeo en 2010 y el objetivo era que se implementaría el concepto gradualmente en las edificaciones hasta ser un estándar obligatorio para el año 2020 (Wassouf, 2014); sin embargo, actualmente son muy pocas las edificaciones que cumplen los criterios para ser considerados Net Zero.

Esta definición no debe ser confundida con la de edificación autosuficiente energéticamente (Self-sufficient building), ya que este segundo caso hace referencia a las edificaciones que producto de su autoabastecimiento, pueden desconectarse de la red pública (Zalamea & Barragán, 2021). El estándar Netzero requiere que su consumo sea cercano al que su uso produce, por lo que requiere de un intercambio con la red pública en épocas en las que el autoaprovisionamiento no satisface las necesidades internas.

Igual que el estándar Passivhaus, se busca reducir el consumo energético al mínimo, con estrategias pasivas de tal forma que se reduzca el balance anual de energía y evitar la alimentación desde redes públicas y el consumo de GLP. Por lo general este estándar suele generar excedentes, los cuales hoy en día pueden ser útiles

para alimentar la creciente demanda de autos híbridos y eléctricos, por ejemplo, contribuyendo a la reducción de emisiones de CO₂ en ciudades.

En localidades como Cuenca este modelo puede funcionar gracias a las capacidades de abastecimiento desde distintos tipos de energía renovable.

1.3.6.3 ESTÁNDAR PLUS ENERGY.

Plus Energy es un concepto que va más allá del autoabastecimiento, ya que se trata de una arquitectura que genera más energía de la que necesita; el excedente se vende a la red pública generando réditos económicos al propietario, o sirve para contribuir a otras demandas externas o complementarias a la edificación como demandas urbanas, transporte, o incluso otros barrios que no alcanzan a autoabastecerse; el origen de la energía debe provenir de fuentes renovables. Esta arquitectura no toma en cuenta el impacto ambiental que su construcción provoca, pero es un buen acercamiento a la eficiencia energética (Zalamea & Barragán, 2021).

Un conjunto de edificaciones de estándar Plus Energy puede brindar soporte al abastecimiento de energía urbana a través de la implementación de una smart grid⁴ que transporte la energía excedente a barrios o zonas que no alcanzan a autoabastecerse por las altas demandas como los barrios industriales o de alto comercio o servicio, de igual forma se puede abastecer a equipamientos urbanos y en el caso de Cuenca puede contribuir al sistema de transporte público eléctrico, ya que en la ciudad es el sector de mayor consumo de energía urbana (Zalamea & Barragán, 2021), beneficiando a la ciudad y reduciendo costes.

El conjunto de edificaciones Plus Energy generan excedentes que las ciudades pueden aprovechar para

abastecerse, el origen de la energía también es relevante, ya que estos modelos plantean sistemas capaces de generar energía de los recursos más próximos como el sol, el viento y la geotermia. El cambio de paradigma a estos estándares energéticos puede generar ciudades Net Zero (Zalamea & Barragán, 2021).

La aplicación de este estándar es muy factible en localidades ecuatoriales ubicadas en altura media por su clima constante durante el año y los niveles de irradiación solar relativamente estables, además dado el mínimo o nulo requerimiento de ambientación, sobre todo, en edificaciones bajas de bajo consumo como las residenciales (Zalamea & Barragán, 2021); lo que hace que su adaptación en estos contextos sea mejor que en países con clima estacional.

1.3.6.4 ESTÁNDAR POWERHOUSE.

Powerhouse es un nuevo estándar de construcciones para el futuro planteado en Noruega (Bernhard, 2018); el objetivo es cumplir con los acuerdos de París⁵ de 2015. El concepto supone que en parámetros de energía se tornará neutra en su globalidad, por lo que estas edificaciones producirán una cantidad cercana de energía a la que consumirán a lo largo de su ciclo de vida; la notable diferencia con otros estándares de construcción sostenible es la elección de los materiales; para que una vivienda pueda cumplir con estas metas debe incorporar materiales que tengan un bajo impacto ambiental en su fabricación y puesta en obra. La generación de energía eléctrica proviene de fuentes renovables para alcanzar a cubrir las demandas no solo de operación del edificio sino de la totalidad de energía eléctrica que requerirá a lo largo de su ciclo de vida, esta energía recuperada significará un excedente mensual en su periodo de operación, lo que le permitirá a la PowerHouse contribuir con demandas externas urbanas (Zalamea & Quesada, 2017).

⁴ Smart Grid es "una red de energía avanzada... que se caracteriza por un flujo bidireccional de energía e información que incluyen equipos instalados en la parte de la red del cliente y sensores asociados" (Hiskens, 2010; Boswarthick, Elloumi, & Ballot, 2010 como se citó en Díaz & Hernández (2011)).

⁵ Los acuerdos de París de 2015 tienen como objetivo reforzar la respuesta mundial ante la amenaza del cambio climático, comprometiéndose a las naciones desarrolladas a reducir sus emisiones y apoyar a naciones menos desarrolladas a cumplir las mismas metas. El esfuerzo se enfoca en limitar el incremento global de la temperatura a 1.5°C para el año 2050 (United Nations, 2016).

El estudio de factibilidad de este estándar de construcciones abre nuevas oportunidades de mitigar los impactos ambientales producto de la construcción en ciudades menos desarrolladas como Cuenca donde la alternativa de aprovisionamiento con mayor potencial, por lejos, es la energía solar (Zalamea & Barragán, 2020). Gracias a las condiciones climáticas de la región con un adecuado diseño y construcción no se requiere sistemas de ambientación, lo que se convierte en una

ventaja para reducir consumos. Materiales con una buena inercia térmica en muros servirían como estabilizadores de temperatura en climas como el de Cuenca, donde los requerimientos de acondicionamiento térmico son mínimos. La consecución de este ambicioso nivel de rendimiento en la presente propuesta de diseño es el resultado de la fusión de una arquitectura e ingeniería vanguardistas y altamente eficientes con fuentes de energía renovables.

1.3.6.5 TABLA DE RESUMEN.

	AUTOABASTECIMIENTO DESDE FUENTES RENOVABLES	APLICACIÓN DE ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS	CONSUMO ENERGÉTICO	ENERGÍA CONTENIDA EN LA EDIFICACIÓN	FUENTE
ESTÁNDAR PASSIVHAUS	No necesariamente usa sistemas de generación energética	Aplicación de estrategias pasivas para reducir la necesidad de acondicionamiento mecánico	Reduce el consumo energético al mínimo	No aplica	(Wassouf, 2014)
ESTÁNDAR NETZERO	Pueden usar distintas fuentes renovables de generación de energía, las edificaciones con esta certificación no se desconectan de la red pública ya que la energía que producen en ciertos meses de baja irradiación solar no abastece completamente su demanda	Incorporan estrategias pasivas para reducir su consumo eléctrico	Reduce el consumo energético al mínimo	No aplica	(Wassouf, 2014) (Zalamea & Barragán, 2021)
ESTÁNDAR PLUS ENERGY	Genera más energía de la que consume, mediante sistemas de captación solar, vendiendo el excedente a la red pública, la energía proviene de fuentes renovables	Incorporan estrategias pasivas para reducir su consumo eléctrico	Reduce el consumo energético al mínimo	No aplica	(Zalamea & Barragán, 2021)
ESTÁNDAR POWERHOUSE	Una de las principales características de estas edificaciones es producir mucha más energía de la que requiere para su abastecimiento, devolviendo el excedente a la red eléctrica incorporando una o más fuentes de energía renovable	Emplea estrategias activas de captación solar y estrategias pasivas para reducir el consumo eléctrico tanto en acondicionamiento como en iluminación	Reduce el consumo energético al mínimo	Implementa materiales de baja energía contenida y potencia al máximo las propiedades de cada uno	(Bernhard, 2018) (Zalamea & Quesada, 2017)

Tabla 03. Tabla de resumen de los estándares energéticos.
Autor: Elaboración propia. *Fuente:* Las indicadas.



Fig. 12. Fotografía exterior de la Casa de máquinas Brattørkaia, donde se aprecia su materialidad y la distribución de los paneles solares en su fachada más angosta.

Fuente: Skanska & Snøhetta, Estudio de Arquitectura (2020).

1.4 ESTADO DEL ARTE.

1.4.1 CASOS DE ESTUDIO DE ESTÁNDAR POWERHOUSE.

1.4.1.1 CASA DE MÁQUINAS BRATTØRKAIA

Nombre del proyecto: Casa de Máquinas Brattørkaia

Arquitecto (s): Snøhetta, Estudio de Arquitectura

Ubicación: Trondheim, Noruega

Año: 2019

Área: 18000 m²

Descripción del proyecto.

Descripción obtenida de SKANSKA & SNOHETTA (2020).

Casa de máquinas Brattørkaia (fig. 12) es la edificación de estándar Powerhouse más grande de Noruega y durante la fase de operación generará más energía de la que se utilizó para la fabricación de los materiales empleados, construcción, operación y eliminación del edificio. A pesar de tratarse de una edificación localizada en un clima

complejo escandinavo, en donde existen estaciones muy marcadas, con un predominio importante de la temporada de frío y con mínima radiación solar durante el largo invierno noruego, teóricamente alcanzaría la neutralidad energética durante la vida útil de la edificación, gracias a sus sistemas de captación de energía solar. En el aspecto teórico-filosófico, es el principal referente del presente trabajo.

Análisis.

El patio central ayuda a obtener la mayor ganancia de ventilación e iluminación al interior de las oficinas. Al ubicarse a 7050 Km aproximadamente y a 63° de la línea ecuatorial, se explora una posibilidad de generar energía solar en condiciones extremas, ya que el recorrido solar

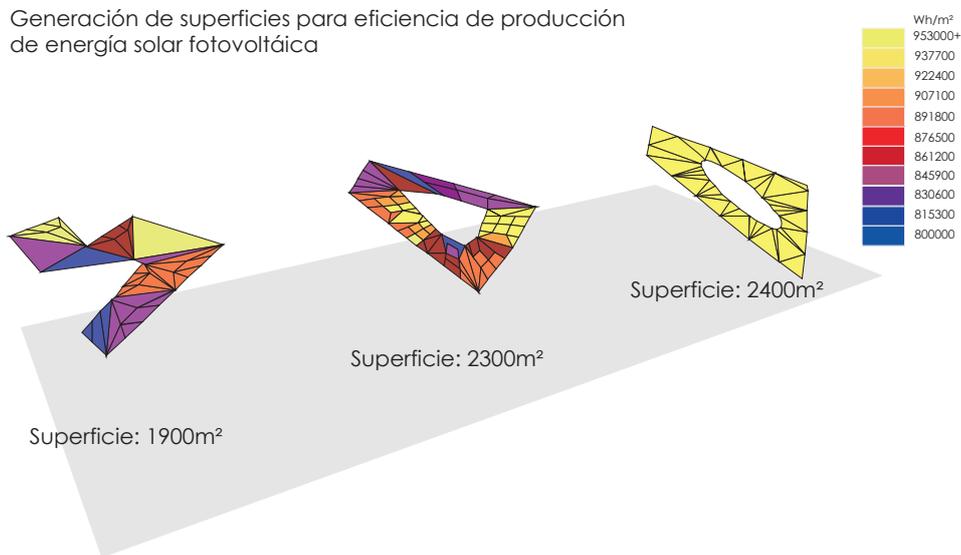


Fig. 13. Análisis de formas para garantizar la mayor ganancia energética. Autor: Elaboración propia. Fuente: Skanska & Snøhetta, Estudio de Arquitectura (2020).

en esta región varía según las estaciones del año. Para la búsqueda del terreno el proyectista buscó el lugar idóneo para obtener la mayor ganancia de luz solar posible durante cada estación del año; una vez encontrado, el reto fue buscar la mejor forma arquitectónica posible para aprovechar dicha energía.

En la figura 13 se puede apreciar el proceso de desarrollo de la cubierta con ayuda de herramientas BIM, en el primer modelo se plantea una cubierta con una geometría un tanto extraña, que permite la posibilidad de colocar

1900m² de paneles solares y la ganancia energética está muy por debajo de los niveles adecuados. El segundo modelo ya se asemeja a la forma final, permite colocar 400 m² adicionales de paneles solares y su eficiencia energética ha mejorado, pero aún no llega a los niveles deseados. El tercer modelo, ya el definitivo, permite colocar 2400 m² de paneles solares en superficie, su geometría y disposición permite llegar a los niveles deseados de generación energética, su patio central de forma ovalada permite un mayor rango de iluminación (SKANSKA & SNOHETTA, 2020) (fig. 13).

Aprovechamiento de luz solar

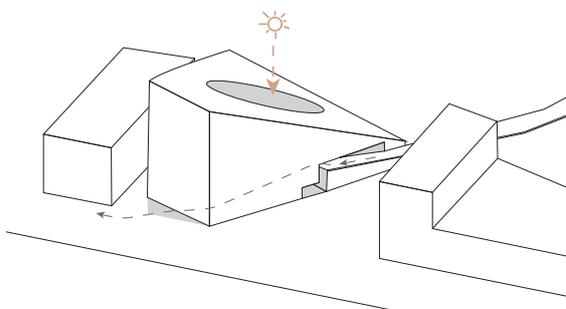


Fig. 14. Gráfico de aprovechamiento solar. Autor: Elaboración propia. Fuente: Skanska & Snøhetta, Estudio de Arquitectura (2020).

Inclinación de la cubierta con respecto al Sol.

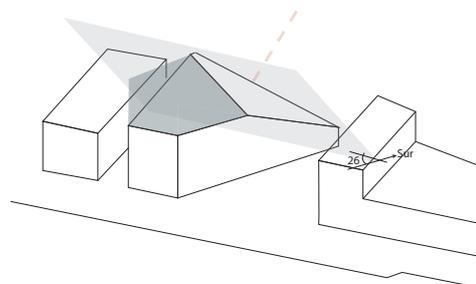


Fig. 15. Gráfico de inclinación de la cubierta. Autor: Elaboración propia. Fuente: Skanska & Snøhetta, Estudio de Arquitectura (2020).

La estructura del edificio consiste en un sistema de hormigón de baja energía contenida que funciona como masa térmica; el material le permite absorber y retener el calor y el frío y ayuda a regular la temperatura en el edificio reduciendo la necesidad de energía para la ambientación. La cubierta está diseñada con una inclinación de 26° (como se aprecia en la figs. 14, 15) la cual permite captar la energía solar de manera más eficiente.

El sistema de ventilación suministra aire limpio a las oficinas y demás espacios internos. Para aminorar el gasto energético en iluminación, el edificio emplea la llamada "Luz líquida", que consiste en un sistema de luz artificial que brinda luz acorde al tipo de actividad que se desarrolla dentro de un determinado espacio. Gracias a estas estrategias el edificio consume solamente la mitad de energía que otros edificios de oficinas típicos de tamaño similar de la zona. A pesar de contener materiales con alto contenido de carga energética, las estrategias pasivas y el alto potencial de autoabastecimiento energético amortizarán estas magnitudes durante sesenta años. A través de una red local la Powerhouse Brattørkaia abastece

de energía renovable a los edificios vecinos, autobuses eléctricos, automóviles y barcos, ya que produce más del doble de la electricidad que consume diariamente.

Casa de Máquinas Brattørkaia es uno de los pioneros en implementar el estándar Powerhouse y algunos de los aspectos más destacables de este referente y los que pueden ayudar a cumplir los objetivos de este estudio son, su aprovechamiento solar activo (la implementación de grandes áreas de paneles solares) que permite generar más energía de la que necesita para su funcionamiento dotando a la ciudad con dicho excedente; y su aprovechamiento solar pasivo (un adecuado diseño de los espacios interiores que permiten el aprovechamiento de la iluminación natural y la inercia térmica de los materiales); el uso de materiales con baja energía incorporada (considerando las exigencias estructurales del diseño) como el hormigón de baja energía contenida; además del uso de plataformas BIM que facilitaron la obtención del diseño más óptimo de la cubierta que pudiera abarcar la mayor superficie de paneles PV.



Fig. 16. Powerhouse Telemark. Autor: Ivar Kvaal. Fuente: Skanska & Snøhetta, Estudio de Arquitectura (2020).

1.4.1.2 POWERHOUSE TELEMARK

Nombre del proyecto: Powerhouse Telemark
Arquitecto (s): Snøhetta, Estudio de Arquitectura
Ubicación: Porsgrunn, Noruega
Año: 2015-2020
Área: 8313 m²

Descripción del proyecto.

Descripción obtenida de Powerhouse (2018)

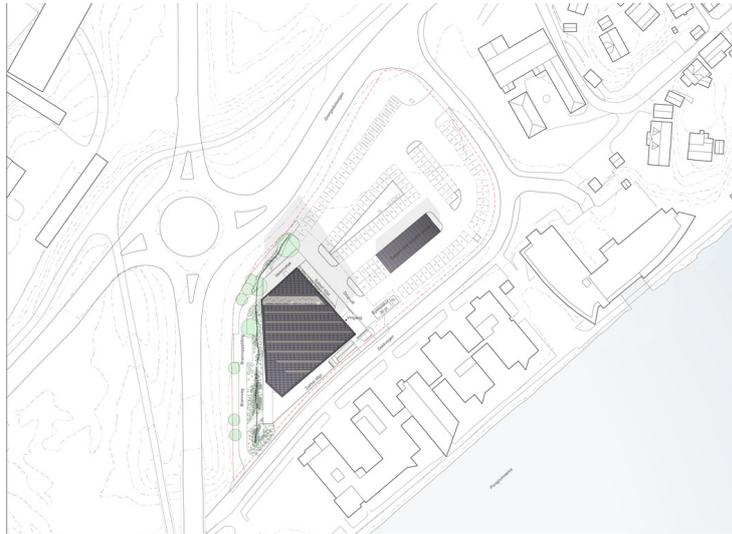
Powerhouse Telemark es el primer edificio certificado BREEAM-Nor. En comparación con otros edificios nuevos la reducción de las necesidades netas de energía es de hasta un 66%. La volumetría del edificio está diseñada para que tenga una captación óptima de energía solar, lo que le permite generar más energía de la que consumirá a lo largo de toda su vida lo que le permite proveer a la red eléctrica con la energía adicional producida.

Análisis.

El edificio se encuentra a orillas del río Porsgrunnselva junto al Canal Telemark (fig.17).

La estructura del edificio consiste en un sistema de hormigón de baja energía contenida, las losas de hormigón gracias a su densidad almacena el calor durante el día y emiten este calor almacenado durante toda la noche, es decir funcionan como masa térmica, sus fachadas de vidrio cuentan con triple aislamiento para evitar la pérdida de calor; posee además pozos geotérmicos excavados a 350m bajo tierra, todo esto permite regular la temperatura interna del edificio sin necesidad de sistemas de climatización adicionales; también se incorporan materiales resistentes y con poca energía contenida como madera local, yeso y hormigón ambiental que se dejan expuestos y sin tratar. La cubierta y la fachada orientada al sur están revestidas de células fotovoltaicas. Para optimizar al máximo la captación solar la cubierta posee una inclinación de 24° gracias a las cuales genera 256000 kWh cada año; convirtiéndose en una pequeña planta de energía que devuelve el excedente de energía a la red.

Para reducir el consumo de energía en iluminación, se han diseñado grandes ventanales y se han dejado ranuras de vidrio en el techo para la iluminación.



*Fig. 17. Emplazamiento del proyecto Powerhouse Telemark.
Fuente: Skanska & Snøhetta, Estudio de Arquitectura (2020).*

Al igual que el referente antes mencionado Powerhouse Telemark ha servido como punto de partida en la elaboración de este trabajo de investigación por sus criterios de diseño y las estrategias aplicadas para lograr el estándar Powerhouse, su aprovechamiento solar activo

y las estrategias pasivas de diseño que reducen los requerimientos de sistemas de climatización e iluminación artificial, la selección de materiales con bajo contenido energético y su diseño que permite la máxima captación solar que genera más energía de la que consume.



*Fig. 18. Casa Vernácula Del sXXI.
Autor: Xavier d'Arquer. Fuente: Edra Arquitectura Km0 (2014).*

1.4.2 CASO DE ESTUDIO DE ARQUITECTURA EN TIERRA.

1.4.2.1 CASA VERNÁCULA DEL SXXI / EDRA ARQUITECTURA KM0.

Arquitecto (s): Edra arquitectura km0

Ubicación: Ayerbe, España

Año: 2014

Área: 276 m²

Descripción del proyecto.

Descripción obtenida de Edra Arquitectura Km0 (2014)

El proyecto de 276 m² cuenta con muros conformados por tierra extraída del propio lugar, su núcleo ha sido reforzado con paja de cebada para mejorar su comportamiento térmico y como recubrimiento de agentes externos se usó la técnica de tapia calicostrada⁶; se ha inspirado en los métodos constructivos y materiales de la zona, buscando así revitalizar su tradición vernácula, que se ha perdido por la excesiva migración que se dio en el pueblo en el sXX.

La casa respeta el nivel de la calle y la topografía del terreno, incorpora estrategias pasivas de captación solar para iluminación y climatización. El arquitecto ha incluido todas las estrategias bioclimáticas posibles para este proyecto con la finalidad de reducir al mínimo el consumo de energía. Ha sido ganadora del Premio Internacional de Arquitectura en Tierra Contemporánea Terra Award 2016.

Análisis

La vivienda se ubica en Ayerbe, un pueblo del norte de España, en un contexto rural; se emplaza en un lote rectangular rodeado de edificios de tierra. La temperatura media en Ayerbe es de 1 °C en las épocas más frías de invierno y asciende a los 33 °C en los días más cálidos de verano. Las precipitaciones varían de 15 mm en julio que es el más seco a 42mm en el mes de noviembre que es el mes con más precipitaciones.

⁶La Tapia Calicostrada o acerada es un tipo de tapia cubierta por sus dos caras de una mezcla de cal y arena. (Yuste & Barbeta, 2013)

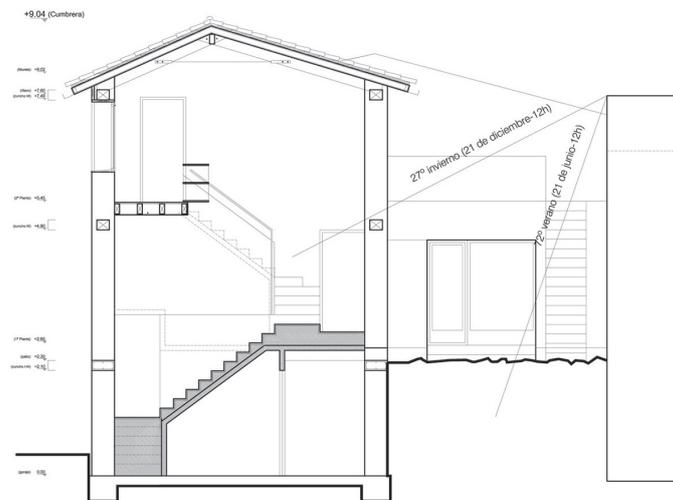


Fig. 19. Sección del proyecto Casa Vernácula del s. XXI.
Fuente: Edra Arquitectura Km0 (2014).

Una de las estrategias bioclimáticas ha sido el uso de materiales de baja carga energética, que se encuentran en el entorno inmediato, son de fácil extracción y se ponen en obra sin procesar, de manera que su impacto ambiental es prácticamente nulo; dado que solo contienen cal como aditivo.

La vivienda está orientada de tal manera que las ventanas tengan el mayor aprovechamiento de luz solar, además en el invierno permite que los muros de tapial acumulen calor durante el día para liberarlo a lo largo de la noche funcionando como masa térmica. Para los días de verano posee aleros que protegen la vivienda de la radiación solar; además, se ha incluido un aislamiento de 20cm de lana de oveja en la cubierta para evitar las pérdidas de calor en invierno y regular la temperatura interior en los días de

verano (fig.19). Posee un aljibe subterráneo en el que se acumula el agua lluvia para su posterior uso. En las caras norte y oeste se han ubicado aberturas para conseguir ventilación cruzada para la vivienda, estas aberturas se cubren con contraventanas de madera cuando no se requiere de ventilación en la vivienda y evitar pérdidas de calor.

El sistema constructivo empleado en este proyecto es uno de los menos contaminantes, con menor energía contenida por lo cual ha servido de base para el diseño de la propuesta del presente estudio, además de que, por su amplia sección en muros permite usarlos como masa térmica, manteniendo así la temperatura interior reduciendo la necesidad de sistemas de climatización.



CAPÍTULO 2: Materiales y Métodos

2.1 METODOLOGÍA.

- **Selección de materiales.**

Para la selección de los materiales, se realizó una investigación bibliográfica de la energía contenida de materiales de construcción que se comercializan en la ciudad.

- **Selección de criterios de diseño.**

La determinación y aplicación de criterios de diseño se realizó tomando en cuenta la condición climática de Cuenca. Se aplicaron criterios de diseño pasivos para la reducción de consumo eléctrico y como criterios activos la producción de energía eléctrica mediante un sistema PV.

- **Diseño de la vivienda e integración arquitectónica.**

Se diseña la vivienda integrando lo anteriormente analizado (condiciones climáticas del entorno, materiales, criterios de diseño), se emplea un programa arquitectónico pensado para una familia de 4 integrantes.

- **Análisis energético de la propuesta.**

Para este análisis se usan 2 herramientas de cálculo, la primera, Archicad de Graphisoft como metodología BIM y su herramienta EcoDesigner que permite determinar los requerimientos energéticos de la vivienda y la temperatura interna de cada espacio del proyecto y como segunda herramienta de cálculo el software SAM (System Advisor Model) que calcula la producción energética del sistema PV.

- **Conclusiones.**

En base a los análisis realizados se concluirá si es factible implementar el estándar Powerhouse en la ciudad de Cuenca como caso representativo de clima ecuatorial andino.

2.2 INVESTIGACIÓN DE ENERGÍA CONTENIDA EN MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN COMERCIALIZADOS EN LA CIUDAD DE CUENCA A PARTIR DE REFERENTES.

La presente investigación tiene como objetivo estimar el impacto ambiental de los diferentes materiales de construcción que se pueden encontrar en la ciudad de Cuenca; es importante para la propuesta de vivienda ya que se busca reducir al máximo posible la energía contenida en su construcción, que con el paso del tiempo requiera la mínima energía para su mantenimiento y que cause el menor impacto al momento de su demolición; la elección de los materiales se realizará en base a los resultados de la investigación; se seleccionarán los materiales con menor energía contenida. Para la selección de las fuentes se consideró que sean datos obtenidos según metodologías que apliquen como control la norma ISO 14040.

Los resultados de la investigación serán presentados en forma de tabla (tabla 04); hay que señalar que la comparación entre energías contenidas extraídas de diferentes investigaciones no es del todo exacta; ya que al ser estudios de varios lugares se emplean diferentes materias primas, además de distintos métodos para obtenerlas y también los procesos de manufactura no son iguales, cada investigación posee objetivos, alcances e inventarios propios de cada autor y respecto al lugar donde se realizó el estudio; sin embargo, el análisis aportó cifras aproximadas sobre energía contenida y emisiones de CO₂ en los procesos de fabricación de los diferentes materiales de construcción disponibles en la ciudad de Cuenca, adjunto a esto se detalla el lugar en el que se realizó la investigación de la que se obtuvo los datos de cada material.

MATERIAL	ENERGÍA CONTENIDA (Producción) [kWh/kg]	ECEF [kgCO ₂]	CONTEXTO	FUENTE
Tierra				
Tierra cruda	0,097	0,026	Bogotá, Colombia	(Muñoz, 2019)
Tierra cocida tabletas vitrificadas	2,089	0,564	Bogotá, Colombia	(Muñoz, 2019)
Adobe	0,014	0,004	Azuay, Ecuador	(Alvarado, 2021)
Ladrillo	0,469	0,127	Cuenca, Ecuador	(Vanegas, 2018)
Cerámica	0,644	0,174	Azuay, Ecuador	(Alvarado, 2021)
Porcelana	7,528	2,032	Azuay, Ecuador	(Alvarado, 2021)
Arena	0,028	0,007	Valdivia, Chile	(Osorio, 2010)
Teja	2,500	0,675	Valdivia, Chile	(Osorio, 2010)
Yeso	0,714	0,193	Azuay, Ecuador	(Alvarado, 2021)
Cal	0,900	0,787	Torreón, México	(González & Guerrero, 2022)
Piedra				
Piedra Natural	0,050	0,014	Azuay, Ecuador	(Alvarado, 2021)
Piedra aserrada	1,250	0,338	Bogotá, Colombia	(Muñoz, 2019)
Piedra labrada	1,888	0,510	Bogotá, Colombia	(Muñoz, 2019)
Granito	0,500	0,135	San Juan, Argentina	(Alvarez & Ripoll, 2018)
Grava	0,028	0,008	Navarra, España	(Cepeda & Mardaras, 2004)
Cemento				
Hormigón H-150	0,275	0,074	Navarra, España	(Cepeda & Mardaras, 2004)
Hormigón H-175	0,286	0,077	Navarra, España	(Cepeda & Mardaras, 2004)
Hormigón H-200	0,306	0,082	Navarra, España	(Cepeda & Mardaras, 2004)
Hormigón Prefabricado	0,639	0,172	Azuay, Ecuador	(Alvarado, 2021)
Bloque de Pómez	0,773	0,209	Cuenca, Ecuador	(Urgilés, 2017)
Bloque Mixto	0,471	0,127	Cuenca, Ecuador	(Urgilés, 2017)
Bloque de Hormigón	0,268	0,072	Cuenca, Ecuador	(Urgilés, 2017)
Fibrocemento	2,639	0,712	Azuay, Ecuador	(Alvarado, 2021)
Mortero	0,653	0,176	Azuay, Ecuador	(Alvarado, 2021)
Cemento	0,887	0,239	Azogues, Ecuador	(León & Guillén, 2019)
Asfalto	0,669	0,181	Medellín, Colombia	(Monterrosa & Gil, 2020)
Madera				
Madera	0,583	0,157	Azuay, Ecuador	(Alvarado, 2021)
Rolliza, Orilla (sin proceso industrial)	2,639	0,712	Bogotá, Colombia	(Muñoz, 2019)
Aserrada	0,333	0,090	Bogotá, Colombia	(Muñoz, 2019)
Laminas de triplex	2,889	0,780	Bogotá, Colombia	(Muñoz, 2019)
Tablero aglomerado	7,167	1,935	Azuay, Ecuador	(Alvarado, 2021)
MDF	2,151	0,581	Coruña, España	(Cal, 2017)
OSB	2,639	0,712	Valdivia, Chile	(Osorio, 2010)

MATERIAL	ENERGÍA CONTENIDA (Producción) [kWh/kg]	EGEF [kgCO ₂]	CONTEXTO	FUENTE
Metales				
Acero	9,722	2,625	Azuay, Ecuador	(Alvarado, 2021)
Acero Galvanizado	9,722	2,625	Valdivia, Chile	(Rodríguez, 2006)
Acero Inoxidable	4,722	1,275	Valdivia, Chile	(Rodríguez, 2006)
Aluminio	56,944	15,375	Azuay, Ecuador	(Alvarado, 2021)
Metales no ferrosos: Cobre	19,611	5,295	Bogotá, Colombia	(Muñoz, 2019)
Metales no ferrosos: Bronce y otros	17,222	4,650	Bogotá, Colombia	(Muñoz, 2019)
Zinc	11,944	3,225	Valdivia, Chile	(Osorio, 2010)
Metales ferrosos (hierro)	9,444	2,550	Bogotá, Colombia	(Muñoz, 2019)
Vidrio				
Vidrio	4,417	1,192	Azuay, Ecuador	(Alvarado, 2021)
Vidrio en láminas	4,417	1,192	Bogotá, Colombia	(Muñoz, 2019)
Vidrio en bloques	4,417	1,192	Bogotá, Colombia	(Muñoz, 2019)
Vidrio estructural	4,528	1,222	Bogotá, Colombia	(Muñoz, 2019)
Fibra de vidrio	8,417	2,272	Bogotá, Colombia	(Muñoz, 2019)
Polímeros				
Polímeros naturales caucho y goma	18,750	5,063	Bogotá, Colombia	(Muñoz, 2019)
Polímeros sintéticos	32,500	8,775	Bogotá, Colombia	(Muñoz, 2019)
y adhesivos	25,111	6,780	Bogotá, Colombia	(Muñoz, 2019)
Polímeros sintéticos, láminas acrílicas, plexiglás.	28,611	7,725	Bogotá, Colombia	(Muñoz, 2019)
PVC	19,444	5,250	Azuay, Ecuador	(Alvarado, 2021)
Policarbonato	21,900	5,913	Barcelona, España	(Quispe, 2016)
Impermeabilizante Brea Epoxica	27,778	7,500	Andalucía, España	(Solís, 2010)
Textiles				
Algodón/Fique/Mimbre	39,722	10,725	Bogotá, Colombia	(Muñoz, 2019)
Productos animales: Textiles y cueros. Lana, Alpaca y cuero	0,556	0,150	Bogotá, Colombia	(Muñoz, 2019)
Minerales - Lana Mineral como aislante térmico	4,056	1,095	Bogotá, Colombia	(Muñoz, 2019)
Sintéticos - Nylon, Poliéster	41,111	11,100	Bogotá, Colombia	(Muñoz, 2019)
Neopreno	33,333	9,000	Valdivia, Chile	(Rodríguez, 2006)
Vegetales				
Corcho y fibras	0,278	0,075	Bogotá, Colombia	(Muñoz, 2019)
Bambú	0,000	0,000	Manabí, Ecuador	(Vanga et al., 2021)
Plantas vivas	0,014	0,004	Bogotá, Colombia	(Muñoz, 2019)
Agua				
Agua	0,278	0,075	Valdivia, Chile	(Rodríguez, 2006)

Tabla 04. Energía contenida en materiales de construcción disponibles en la ciudad de Cuenca a partir de referentes.
Autor: Elaboración propia. Fuente: Las indicadas.

Esta investigación ha permitido evidenciar el bajo impacto ambiental que tienen aquellos materiales provenientes de recursos renovables frente a materiales con un proceso de industrialización mayor, y sobre todo, que la tierra como material de construcción tiene menor impacto en comparación al hormigón, ladrillo, bloque de concreto, entre otros. No obstante, hay aspectos que aumentan la energía incorporada en tierra, por ejemplo, que se emplea cal o cemento, casi de forma obligatoria, para estabilizarlos y que presten un mejor rendimiento; a pesar de esto, aún se los considera materiales de bajo impacto ambiental.

2.3 CRITERIOS DE DISEÑO.

Los criterios de diseño son implementados con el objetivo de lograr un óptimo confort térmico y lumínico interior aplicando estrategias que aprovechen los recursos naturales, reduciendo el consumo de energía para satisfacer dichas necesidades de confort; además se procurará implementar materiales que brinden un adecuado comportamiento estructural, térmico y estético, ya que, una acertada selección de los mismos es clave para potenciarlas de manera positiva.

Las condicionantes propias del sitio donde se van a emplazar los proyectos arquitectónicos influyen directamente en el diseño de las edificaciones; por ejemplo, la orientación respecto al sol y los vientos es fundamental para lograr un adecuado confort térmico y un óptimo sistema de ventilación pasivo que no requiera de sistemas mecánicos (Wassouf, 2014); de la misma forma, la orientación de los elementos constructivos como cubierta, ventanas y muros afecta también a la demanda energética.

Según las condicionantes y necesidades del lugar de estudio se han establecido los siguientes criterios:

2.3.1 CRITERIOS DE DISEÑO EN FUNCIÓN DEL ENTORNO.

Orientación del edificio.- Dos de las condicionantes más relevantes que nos da el sitio, considerando el clima ecuatorial templado-frío, son la dirección del viento y el soleamiento que posee, esto determinará el diseño de la vivienda, la orientación y tamaño de los vanos en las distintas fachadas.

La vivienda propuesta se orienta con el acceso principal al sur y su parte posterior al norte (fig. 20).

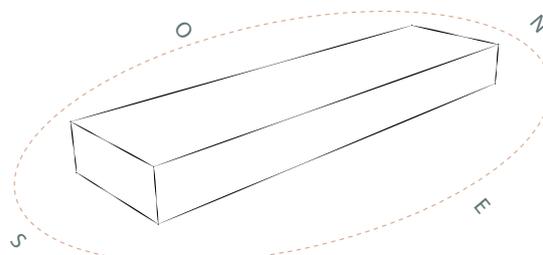


Fig. 20. Orientación-Vista Axonométrica.
Autor: Elaboración propia.

Soleamiento.- Es fundamental para mantener el confort térmico que la vivienda tenga una buena orientación de vanos, ya que si se orientan los vanos más grandes directamente hacia el sol sin ningún tipo de protección la temperatura dentro de la edificación podría aumentar, este es un efecto recurrente en Cuenca cuando se orientan los vanos amplios al poniente, y será necesario implementar sistemas de acondicionamiento adicionales; para evitar esto se deben procurar vanos más pequeños hacia el poniente o que posean protección de aleros para limitar la entrada directa de sol en las horas de mayor radiación. Por otra parte, se deben generar vanos lo suficientemente grandes para permitir el paso de la luz natural y evitar el uso de iluminación artificial la mayor parte del día, para esto también se debe involucrar el diseño adecuado de los espacios interiores.

El soleamiento con respecto a la vivienda va de Este a Oeste, dando el sol directamente a las caras más largas; por la mañana a la zona de dormitorios para promover la

captación solar pasiva y reducir el enfriamiento en estas áreas de la casa; y por la tarde a la zona social; esto es estratégico porque permite aprovechar la inercia térmica de los muros y mantener estable la temperatura interna especialmente por la noche (fig. 21).

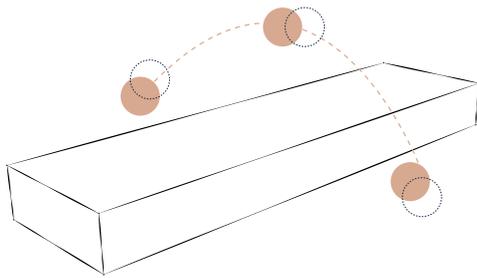


Fig. 21. Soleamiento de la propuesta de vivienda. Vista Axonométrica. Autor: Elaboración Propia.

Vientos.- Se debe considerar la dirección de los vientos en el diseño y orientación de la vivienda para evitar captar posibles corrientes de aire y evitar incomodidad al interior de la vivienda.

La vivienda se ha orientado de tal forma de aprovechar los bajos vientos provenientes del Noroeste (Cordero & Guillén, 2013) para provocar una buena ventilación natural en la vivienda. Gracias a la baja velocidad de vientos de la ciudad no se necesitan sistemas mecánicos de acondicionamiento y recambio de aire (fig. 22).

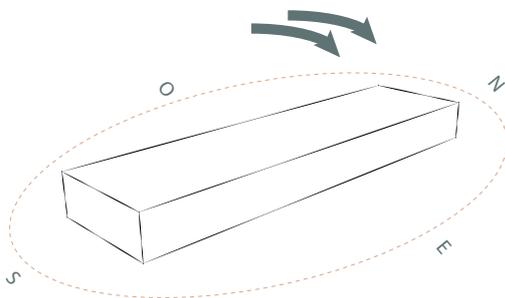


Fig. 22. Gráfico de dirección de vientos predominantes. Vista Axonométrica. Autor: Elaboración Propia.

Ventilación natural.- La ventilación en un espacio es primordial para garantizar la calidad del aire en el interior. La ventilación natural se da de manera espontánea por los cambios de presión del aire o por las corrientes de

la zona. Con un buen diseño arquitectónico se facilita el recambio de aire gracias a ventilaciones cruzadas.

Ventilación cruzada. Se genera una corriente de aire al tener dos aberturas enfrentadas estando una de ellas conectada directamente al exterior. Con el clima de Cuenca es muy simple lograr este efecto, ya que solo con abrir una ventana se produce el recambio de aire (fig. 23).

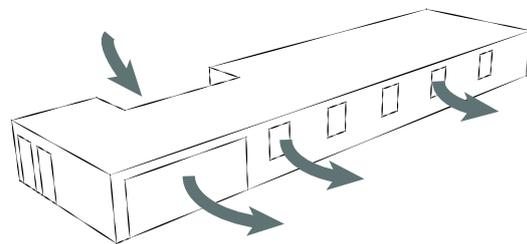


Fig. 23. Gráfico explicativo de cómo funciona la ventilación natural. Perspectiva Axonométrica. Autor: Elaboración Propia.

Protección de agentes climáticos.- Con la utilización de aleros se puede lograr una captación y filtración controlada de los rayos solares al interior de la vivienda siempre considerando el ingreso de luz natural.

Este es uno de los principios más importantes integrados en el diseño, ya que, además de ofrecer protección solar en las horas de mayor radiación (11am-2pm), brindan protección a los muros de tapia calicostrada de las precipitaciones que son muy comunes en Cuenca (fig. 24).

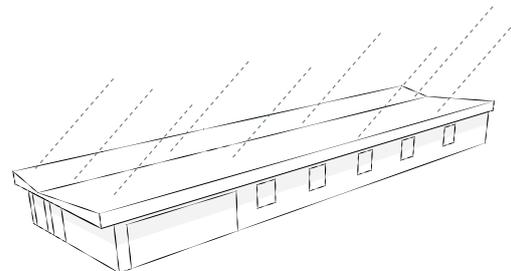


Fig. 24. Gráfico del comportamiento de los aleros a diferentes horas del día. Perspectiva Axonométrica. Autor: Elaboración Propia.

2.3.2 CRITERIOS DE DISEÑO RESPECTO A LOS MATERIALES.

Inercia térmica. Según Medina et al. es:

La inercia térmica es la propiedad que indica la cantidad de calor que puede conservar un cuerpo y la velocidad con que este la cede o absorbe del entorno. No se trata de una magnitud física en sí misma, sino que depende de la masa o densidad, del calor específico, del coeficiente de conductividad térmica del material y de la geometría del cuerpo (espesor). (p. 4)

La conductividad térmica. Según Turégano et al. (2013) es "la cantidad de energía que atraviesa una superficie de 1 m² y un metro de espesor cuando las temperaturas a ambos lados difieren en un °C." (p. 66), cabe aclarar que, para mejorar el comportamiento térmico de una envolvente, la conductividad térmica debe ser menor.

La densidad de un material es la relación que existe entre su masa y el volumen que ocupa la misma. La densidad influye en la capacidad de aislamiento que tiene un material, a mayor densidad mayor es su capacidad de aislamiento.

El calor específico es la cantidad de calor que se necesita para que un material incremente su temperatura en una unidad (°C).

En la tabla 05 se han recopilado los distintos valores de la inercia térmica, conductividad térmica y la densidad de los materiales de construcción de fácil acceso en la ciudad de Cuenca.

Gracias a la investigación previa de la inercia térmica de los distintos materiales de construcción más comúnmente usados, podemos concluir que los muros de tierra (en especial el tapial), en función de su espesor, funcionan como masa térmica en la vivienda lo que reafirma la idoneidad de dicho sistema constructivo para este estudio.

INERCIAS TÉRMICAS DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN MAS EMPLEADOS

Materiales	Conductividad térmica (λ) w/m.k	Densidad (ρ) Kg/m ³	Calor específico (cp) KJ/Kg.K	Inercia térmica (I)	Fuentes
Agua	0,5	1000	0,7	18,71	(Instituto Nacional de Normalización - INN, 2008)
Granito	4	2750	0,79	93,22	(American Concrete Institute, 2002)
Tierra (Adobe)	0,8	1100	0,88	27,83	(Holguino et al., 2018)
	0,8	1800	0,88	35,60	
Tierra (Tapial)	0,6	1400	1,67	37,45	(Editorial Restauro Compás y Canto, 2022)
	1,6	2000	2,5	89,44	
Tierra (Bahareque)	1,2	2000	1,1	51,38	(Cuitiño et al., 2020) (Canavesi, 2021)
Madera de roble	0,155	800	2,39	17,22	(Instituto Nacional de Normalización - INN, 2008)
Madera de pino	0,16	430	2,3	12,58	(Barra, 2016)
Hormigón	1,63	2400	0,88	58,67	(Instituto Nacional de Normalización - INN, 2008)
PVC	0,12	1370	1,1723	13,88	(Instituto Nacional de Normalización - INN, 2008)
	0,25	1420	1,1723	20,40	
Vidrio	1,2	2500	0,795	48,84	(Instituto Nacional de Normalización - INN, 2008)
Piedra caliza blanda	1,1	1600	1	41,95	(Instituto Nacional de Normalización - INN, 2008)
	1,1	1790	1	44,37	
Ladrillo	0,87	1800	0,84	36,27	(Cuitiño et al., 2020)
Baldosa cerámica	1	2000	0,8	40,00	(Hernandez, 2013)
Acero	58	7850	0,46	457,64	(Bustamante et al., 2009)
Aluminio	210	2700	0,88	706,37	(Bustamante et al., 2009)
Bloque	0,312	1676,48	0,84	20,96	(Bustamante Crespo et al., 2018) (Camacho, et al. 2016)

Tabla 05. Tabla de inercia de los materiales.
Autor: Elaboración propia. Fuente: Las indicadas.

2.3.3 CRITERIOS DE DISEÑO INCORPORANDO TECNOLOGÍAS.

Iluminación de bajo consumo.

Tecnología LED.- El Light Emitting Diode o más comúnmente conocido por sus siglas LED es el sistema de iluminación más eficiente, convierte el 80% de la electricidad en luz.

En la actualidad se pretende sustituir las lámparas tradicionales (incandescentes y fluorescentes) por la razón de su mayor consumo de potencia, haciendo que los LEDs (diodo emisor de luz) pasen a un primer plano ya que su consumo de potencia es aproximado a un 40% menos que las lámparas tradicionales. (Déleg, 2011, p.1)

2.3.4 CRITERIOS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA.

Para la selección de energías renovables aplicadas en la ciudad de Cuenca, se toma como referencia el trabajo realizado por Zalamea & Barragán (2021), quienes realizan un análisis multicriterio basados en expertos internacionales en el tema, pero dotándolo de una mirada local. En su escrito se sugiere la implementación de la energía solar fotovoltaica, debido a la posición geográfica de la ciudad, su altura a nivel del mar y su azimut con respecto al sol, la energía fotovoltaica tiene grandes prestaciones para cubrir las demandas domésticas e, incluso, podría dejar un excedente para contribuir a otros sectores, como la industria. En otro estudio realizado por Barragán et al. (2020), en el que se consideran 5 fuentes renovables potenciales de generación de energía para la ciudad de Cuenca se determinó que la más factible es la solar fotovoltaica por las bajas variaciones climáticas en estaciones, la estabilidad de la demanda energética en la ciudad, la baja influencia de la inclinación y orientación del panel en su eficiencia.

Otra de las ventajas de los paneles solares es que su tiempo de recuperación de la energía invertida en su

proceso de fabricación es de 2,2 a 4 años, siendo las células policristalinas las que menor impacto ambiental producen (Calderón, 2013).

Sistema Fotovoltaico (PV) conectado a red.

El sistema PV del prototipo se plantea como un sistema conectado a red, ya que la intención del diseño es una gran producción energética y la contribución de la misma a la red pública. Para la propuesta se plantea la distribución de espacios dispuesta en una sola planta con la intención de conseguir la mayor superficie de captación solar en la cubierta.

La energía solar PV es una de las fuentes con menor impacto en la generación de energía eléctrica.

En el análisis de ciclo de vida y huella de carbono de los productos fotovoltaicos, respecto a la producción de las propias celdas, considerando la tecnología, nivel de irradiación o matriz energética, se puede cubrir con la energía generada en 1,5 años para células monocristalinas, alrededor de 2,5 años para células policristalinas y para tecnología de silicio amorfo entre 1,0 y 1,5 años, dependiendo de la irradiación. En consecuencia, es un material que genera entre 1000% y 2500% de energía respecto a la requerida para fabricación e incluso la instalación (Zalamea & Barragán, 2021, p. 93).

El proceso inicia cuando una célula fotoeléctrica, que componen los paneles solares, es puesta a la luz, al iluminarse una de las caras del panel se genera una diferencia de potencial entre ambas caras produciendo una excitación de los electrones, esto genera voltaje eléctrico. El sistema PV conectado a red (fig. 25) está conformado por:

1. **Paneles solares.**- Son los encargados de convertir la radiación solar en corriente continua.
2. **Inversores Solares.**- Su función es convertir la corriente continua del sistema en corriente alterna para el uso doméstico.
3. **Breakers de protección.**- Es un interruptor automático que corta el paso de la corriente eléctrica si se cumplen determinadas condiciones, tales como altibajos de tensión.
4. **Medidor bidireccional.**- Permite la conexión a red y registra la energía producida por el sistema PV y la energía suministrada por parte de la red pública a la vivienda.

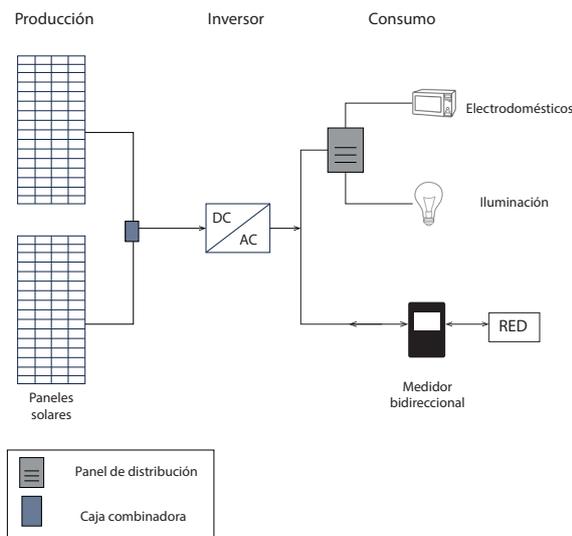


Fig. 25. Diagrama de conexión panel-red.
 Autor: Elaboración propia. Fuente: Buele & Chazi (2019).

2.3.4.1 TIPOS DE CELDAS FOTOVOLTAICAS.

- **Celdas de Silicio monocristalino.**

Se obtienen desde obleas de silicio de seis pulgadas de lado, son más eficientes por la pureza del silicio, pudiendo llegar a una eficiencia de entre 13% a 20%, por su proceso de fabricación poseen las esquinas recortadas, su coloración es de un tono uniforme más oscuro, cercano a negro. En el proceso de fabricación hay y un alto porcentaje de desperdicio de silicio.

- **Celdas de Silicio policristalino.**

El proceso de obtención del silicio dista del monocristalino, se funde el silicio para obtener piezas más regulares y disminuir el desperdicio, la desventaja de esto es que se generan impurezas y provoca una disminución en la eficiencia del PV de hasta el 20%, siendo menos eficientes en días más calurosos. Tienen un color azul oscuro con una textura de cristales con distinta tonalidad.

- **Celdas de tecnología de lámina delgada.**

Formada es el sílice amorfo, es más delgado que las celdas monocristalinas y policristalinas, el compuesto se dispone sobre un sustrato, que generalmente es vidrio, mediante procesos químicos, al ser tan delgados y, dependiendo del panel PV, casi transparentes es de fácil integración arquitectónica, es la tecnología que menos se sobrecalienta pero la menos eficiente, también sufre un proceso de degradación más rápido.

2.3.4.1.1 TABLA DE RESUMEN.

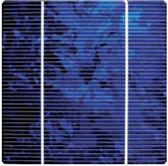
CELIDAS FOTOVOLTAICAS	CARACTERÍSTICAS	EFICIENCIA
 <p>Celdas monocristalinas</p>	<p>Formado por láminas de sílice puro</p>	<p>13% - 20%</p> <p>(17% a 22% de acuerdo con SHC e IEA)</p>
 <p>Celdas policristalinas</p>	<p>Formado por láminas de sílice fundido (menos eficiente)</p>	<p>14% - 16%</p> <p>(11% a 17% de acuerdo con SHC e IEA)</p>
 <p>Celdas de lámina delgada</p>	<p>Formado por sílice amorfo</p>	<p>6% - 12%</p> <p>(4% a 8% en celdas amorfas de silicón con otros materiales semiconductores hasta 12% de acuerdo con SHC e IEA)</p>

Tabla 06. Tabla de resumen de los PV.
Autor: Elaboración propia. *Fuente:* Zalamea & Barragán (2021).

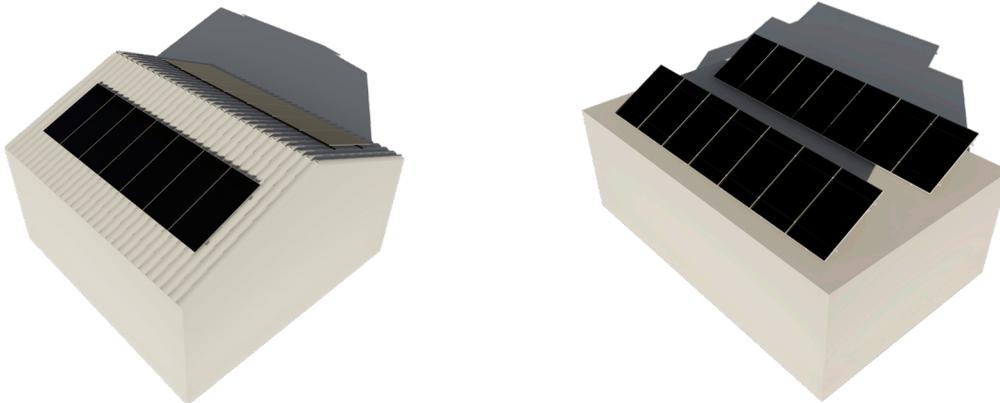


Fig. 26. Gráfico de paneles PV simplemente colocados.
Autor: Elaboración propia.

2.3.4.2 CRITERIOS DE INTEGRACIÓN ARQUITECTÓNICA

Los paneles solares integrados arquitectónicamente cumplen con otras funciones más allá del aprovisionamiento energético; cumplen la función de cierre de la envolvente, absorben parte de la radiación solar que se dirige a la superficie donde se asientan. Al ser elementos colocados en zonas visibles de la edificación, deben contener aspectos de composición visual intencionada.

El área requerida para la incorporación de paneles PV varía de acuerdo al uso de la edificación y actividades que en ella se desarrollan. Por ejemplo, una edificación de uso residencial tiene demandas energéticas mucho menores al de una fábrica, por lo tanto el área necesaria de paneles PV será reducida. Sin embargo, agentes externos como edificaciones en altura o vegetación elevada pueden comprometer la eficiencia de los paneles PV debido principalmente a las sombras que generan sobre estos.

De igual manera cada vivienda al tener distintos requerimientos energéticos, ya sea por concepto de calefacción, refrigeración o consumo eléctrico en iluminación o equipos necesitará una diferente área de paneles PV para operar. En la presente propuesta se tomarán en cuenta las condiciones más favorables para la producción de los paneles PV.

Integración en la edificación.

Uno de los principios de la arquitectura vernácula, es el aprovechamiento de los recursos cercanos, muchas veces procedentes de fuentes renovables. Este tipo de técnica constructiva es de carácter sostenible, debido a que reduce costes energéticos. Implementar a estas tendencias arquitectónicas las tecnologías actuales para autoabastecimiento energético podría proporcionar una oportunidad de revitalización de estas edificaciones tradicionales que poco a poco van desapareciendo, víctimas del desarrollo de nuevos materiales constructivos más contaminantes. Existen varios métodos de integración arquitectónica (Zalamea & Barragán, 2021), como se detalla a continuación.

- **Paneles PV simplemente colocados en edificación.**

Cuando se instalan estos sistemas no se tiene en consideración su relación formal con la fachada de la edificación, tanto por materiales, como por colores; por lo general esto sucede en edificaciones ya construidas que se adaptan posteriormente a estas estrategias. Es un sistema de integración que altera el diseño primario (fig. 26).

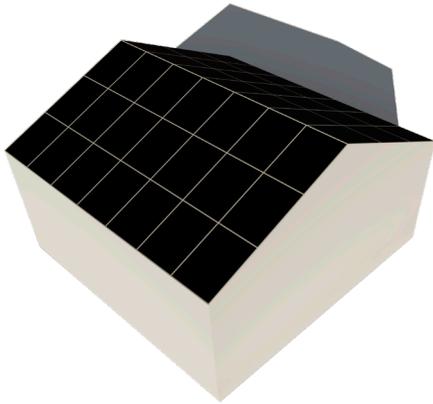


Fig. 27. Gráfico de paneles PV Superpuestos en la edificación.
Autor: Elaboración propia.



Fig. 28. Gráfico de paneles PV Integrados Arquitectónicamente.
Autor: Elaboración propia.

- **Paneles PV superpuestos en la edificación.**

Se instalan manteniendo criterios formales con la edificación, ya sea por modulación o ritmos. Su puesta en obra no altera significativamente el diseño primario, ya que su integración es adaptativa e intencionada (fig. 27).

- **Paneles PV Integrados Arquitectónicamente.**

El desarrollo de la industria de fotovoltaicos ha evolucionado de modo que hoy en día se puede conseguir en el mercado paneles PV de distintos tamaños y formas, por lo

que este tipo de integración se da al colocar paneles que asemejan a otros elementos constructivos, como tejas, claraboyas, ventanales o balaustradas. La ventaja frente a otros tipos de integración es que pueden mimetizarse en la edificación, sin embargo, su eficiencia es menor respecto a los otros (fig. 28).

3

CAPÍTULO 3: Diseño

3.1 MEMORIA TÉCNICA

El proyecto ha sido planteado buscando la mayor eficiencia de espacios en función de la materialidad y el sistema constructivo aplicado; se desarrolla en una sola planta con la intención de tener la mayor área posible en cubierta para la captación solar con los paneles PV.

- **Materialidad.**

Como resultado de los análisis de energía contenida y la comparación de los materiales según sus contenidos energéticos y características físicas se ha podido realizar la selección de los materiales a implementar en la propuesta; ya que se puede observar que una acertada selección de los mismos es clave para disminuir el consumo energético a lo largo de todo el CV.

Materiales seleccionados.

- Tierra cruda, piedra natural, madera, arena, fibras naturales.- Se han seleccionado estos materiales por su bajo contenido energético, sus distancias cortas de transporte y por poseer un muy buen comportamiento térmico que posibilita el confort térmico dentro de la vivienda.
- Cemento, Cal.- A pesar de que su energía contenida es alta, se seleccionan estos materiales por ser buenos aglomerantes necesarios para la estructura e impermeabilización del prototipo.

- Ladrillo, adoquín.- Se los usa como recubrimientos de piso, su energía contenida es menor a otros recubrimientos como se puede ver en la tabla de energía contenida (tabla 04).

- Vidrio.- A pesar de su alto contenido energético, el vidrio es imprescindible como cierre de vanos de ventanas y puertas.

- Lámina asfáltica.- En este caso es necesario sacrificar el bajo contenido energético a razón de brindar una adecuada impermeabilización en la cubierta.

- Aislante de lana mineral.- A pesar de su alto contenido energético es necesaria su implementación en los cierres de muros y en la cubierta, para mantener la temperatura de confort en la vivienda y evitar el consumo energético en climatización durante el tiempo de operación de la casa.

La mayoría de los materiales han sido seleccionados por su bajo contenido energético y su alta capacidad térmica que permite lograr el confort dentro de la vivienda, pero en algunos casos no se puede prescindir de ciertos materiales con un alto grado de industrialización y, por ende, un alto contenido energético, (como se puede apreciar en la tabla 04), que son necesarios ya sea para la envolvente (aislamiento e impermeabilización) como para instalaciones, lo que eleva significativamente la energía contenida de toda la vivienda.

- **Aplicación de materiales.**

- Cimentación y sobrecimentación, se emplea mampostería de piedra; a pesar de sus altos niveles de energía contenida, está por debajo de hormigón armado y es un material óptimo para transmitir las cargas de la vivienda y aislar efectivamente los muros del suelo.
- Como material para muros se seleccionó la tierra y fibras naturales en su núcleo y como revoque tierra estabilizada con cal.
- Para las soleras se plantean vigas de pino de 10x20cm.
- Para la cubierta se utilizan vigas de pino de 10x20cm sobre las que se soportan un sistema de sándwich como cierre de la cubierta que está compuesto por una primera capa de duelas de madera de pino; como segunda capa, para evitar pérdidas de calor, se coloca lana de roca de 5cm de espesor como aislamiento, la tercera capa del sistema son planchas de OSB que se impermeabilizan con lámina asfáltica sobre la que se soporta la estructura de sujeción de los paneles fotovoltaicos.

- **Sistema Constructivo.**

Los sistemas constructivos en tierra son variados, todos presentan ventajas y limitaciones muy marcadas. Para la presente propuesta se ha optado por la tapia calicostrada debido a que brinda una retracción mucho más baja, para proteger las superficies de los agentes ambientales se emplea una la superficie calicostrada, con cal al 15% tal como se indica en Cabrera et al. (2020). Otra de las ventajas frente a la construcción con adobe, es que las construcciones en tapial son monolíticas, por lo tanto, poseen una mayor estabilidad y resistencia.

- **Emplazamiento.**

El proyecto se encuentra emplazado en un terreno idílico, sin edificaciones en altura o vegetación que pueda bloquear la radiación solar. La vivienda se orienta de sur a norte, de tal forma que las caras más largas reciban directamente los rayos del sol.

- **Programa.**

La vivienda posee los espacios básicos para una familia de 4 personas agrupados por zonas, distribuidos en 330 m²; en la zona social se encuentra la sala, comedor, cocina, una sala de estar exterior y el baño social; y en la zona privada un estudio, lavandería, 3 dormitorios y dos baños; adicionalmente posee un cuarto de máquinas externo para los equipos que requieren los PV.

- **Distribución interna de espacios.**- El diseño se compone de la zona social que cuenta con: sala, comedor, cocina, baño social, además de una sala de estar exterior que conecta con un jardín; en la zona privada se encuentran el estudio, la lavandería y los dormitorios; la distribución se la realizó de esta manera por las diferencias de temperatura que requiere cada espacio de acuerdo a sus usos y al tiempo de ocupación de cada una. En la zona social se plantea un monoambiente que permite un mejor flujo de aire (que es necesario en especial para la cocina) y una iluminación natural general durante la mayor parte del día (fig. 29).



Fig. 29. Gráfico explicativo de distribución de los espacios de la vivienda propuesta. *Autor:* Elaboración propia.

- **Sistema solar Fotovoltaico.**

Para el aprovisionamiento de energía eléctrica de la vivienda se ha optado por celdas monocristalinas por ser más eficientes que las policristalinas o las de lámina delgada; con la incorporación de dichos paneles en 324.27 m² que representan casi la totalidad de la cubierta de la casa, se espera producir energía suficiente para abastecer esta vivienda y poder dotar a la red pública con energía restante.

El sistema solar fotovoltaico de la vivienda abarca 132 paneles en toda la cubierta, los seleccionados son de la marca SUNPOWER modelo SPR-435NE-WHT-D cuyas especificaciones se pueden ver en la tabla 07 y en el anexo 1.

Para el sistema de abastecimiento de agua caliente (ACS) se eligió el uso de calefones eléctricos a inducción, ya que, "utilizando calentadores solares de tubos de vacío se puede generar un aporte energético para obtener ACS que va desde el 40,92 % al 44,23 %." (Calle & Tinoco, 2018, p. 99) y no se abastecería la demanda total de ACS de la vivienda, además no requieren equipos adicionales de almacenamiento de agua, son más eficientes, permiten regular instantáneamente la temperatura de salida del agua, no presentan el riesgo que se agote el agua caliente y la electricidad usada se obtiene del sistema solar fotovoltaico incorporado en la propuesta.

DATOS TÉCNICOS

Medidas	1,072x2,073m
Potencia nominal (+/-5%)	435 W
Eficiencia de la celda	22.4%
Eficiencia del panel	20.1%
Voltaje nominal	72.9 V
Corriente nominal	5.97 A
Voltaje de circuito abierto	85.6 V
Voltaje de circuito corto	6.43 A
Voltaje máximo del sistema	1000 V

Tabla 07. Tabla de características de los paneles PV seleccionados.
Autor: Elaboración propia. *Fuente:* SunPowerCorporation (2011).

3.2 PLANTA ARQUITECTÓNICA Y DE CUBIERTAS

3.2.1 PLANTA ARQUITECTÓNICA.

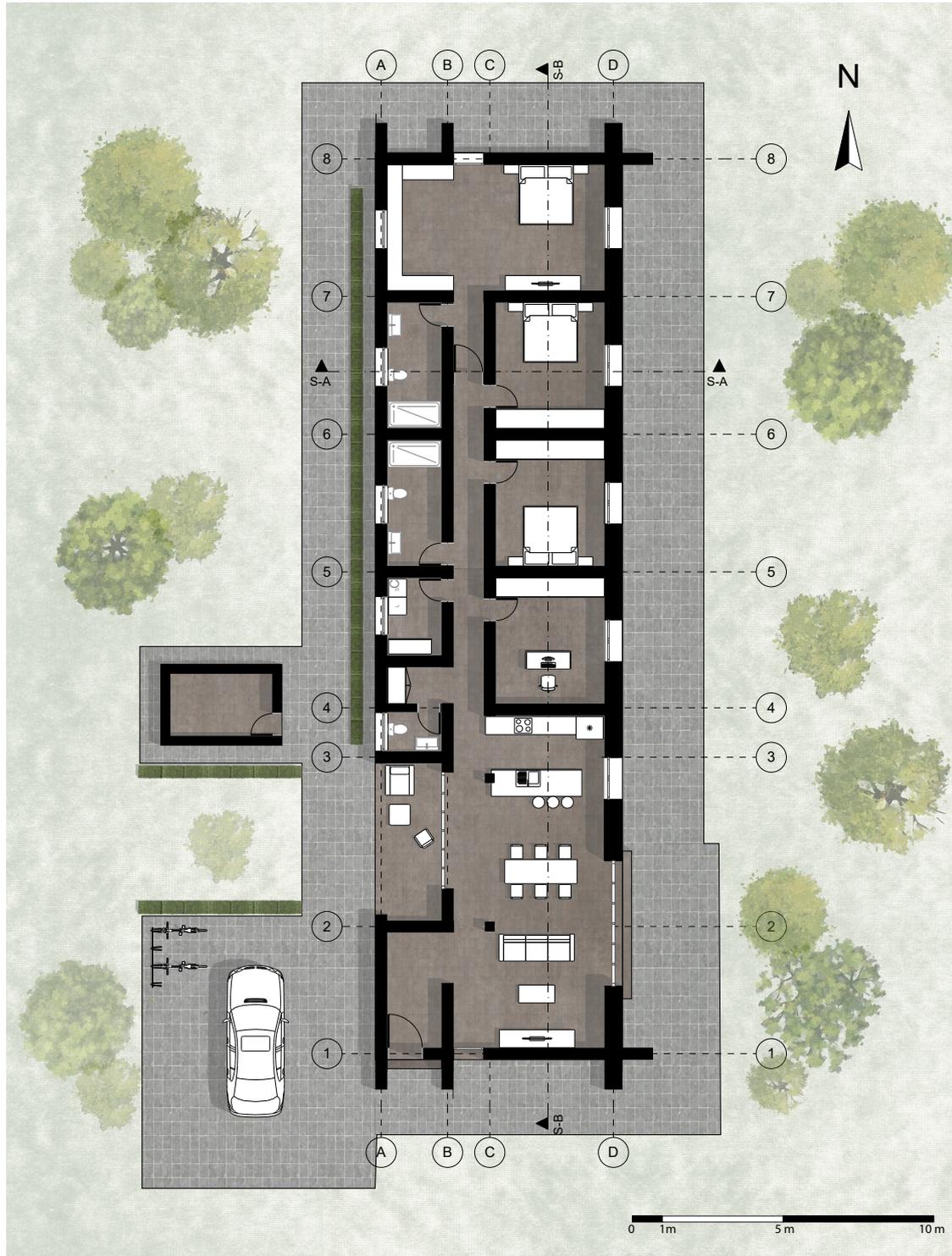


Fig. 30. Planta arquitectónica.
Autor: Elaboración propia.

3.2.2 PLANTA DE CUBIERTAS.

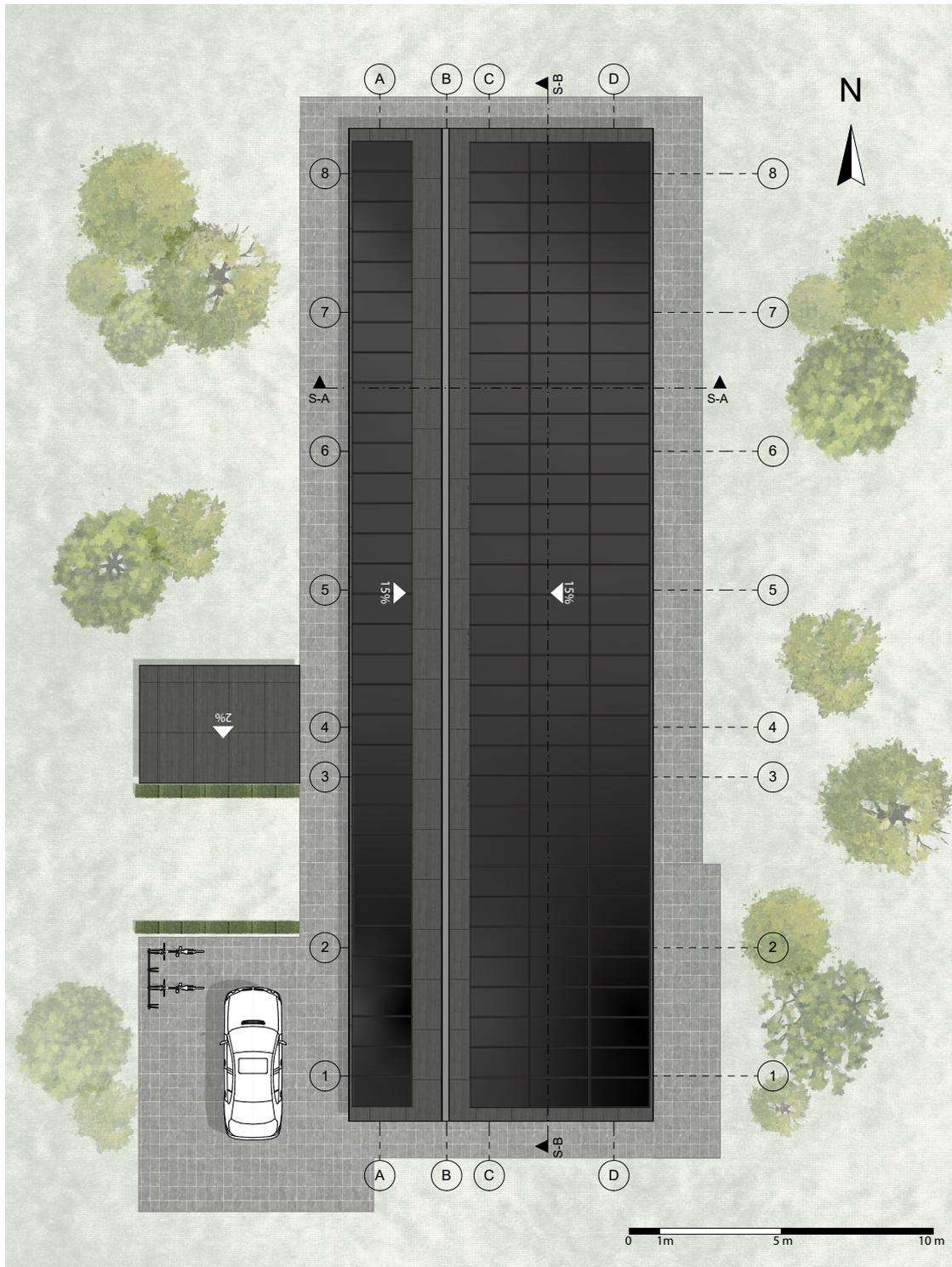


Fig. 31. Planta de cubiertas.
Autor: Elaboración propia.

3.3 ELEVACIONES, SECCIONES Y DETALLES CONSTRUCTIVOS.

3.3.1 ELEVACIÓN NORTE.

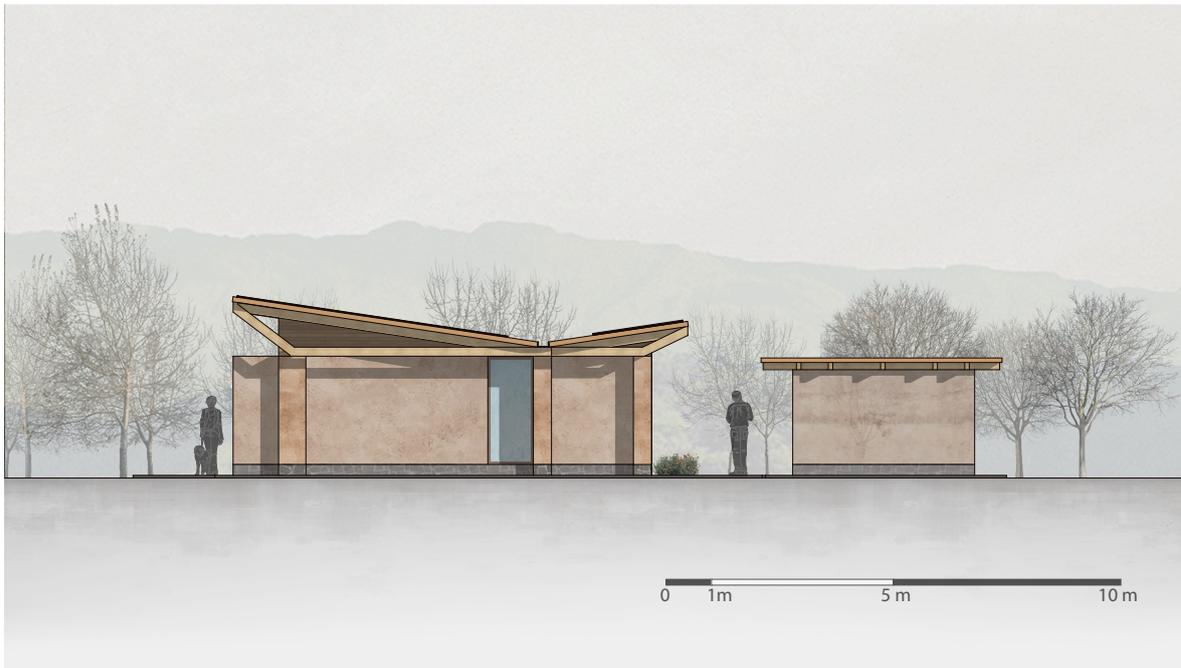


Fig. 32. Elevación norte.
Autor: Elaboración propia.

3.3.2 ELEVACIÓN SUR.



Fig. 33. Elevación sur.
Autor: Elaboración propia.

3.3.3 ELEVACIÓN ESTE.



Fig. 34. Elevación este.
Autor: Elaboración propia.

3.3.4 ELEVACIÓN OESTE.



Fig. 35. Elevación oeste.
Autor: Elaboración propia.

3.3.5 SECCIÓN A-A.



*Fig. 36. Sección A-A.
Autor: Elaboración propia.*

3.3.6 SECCIÓN B-B.



*Fig. 37. Sección B-B.
Autor: Elaboración propia.*

3.3.7 DETALLES CONSTRUCTIVOS.

DETALLE CONSTRUCTIVO 1: ESTRUCTURA DE CUBIERTA.

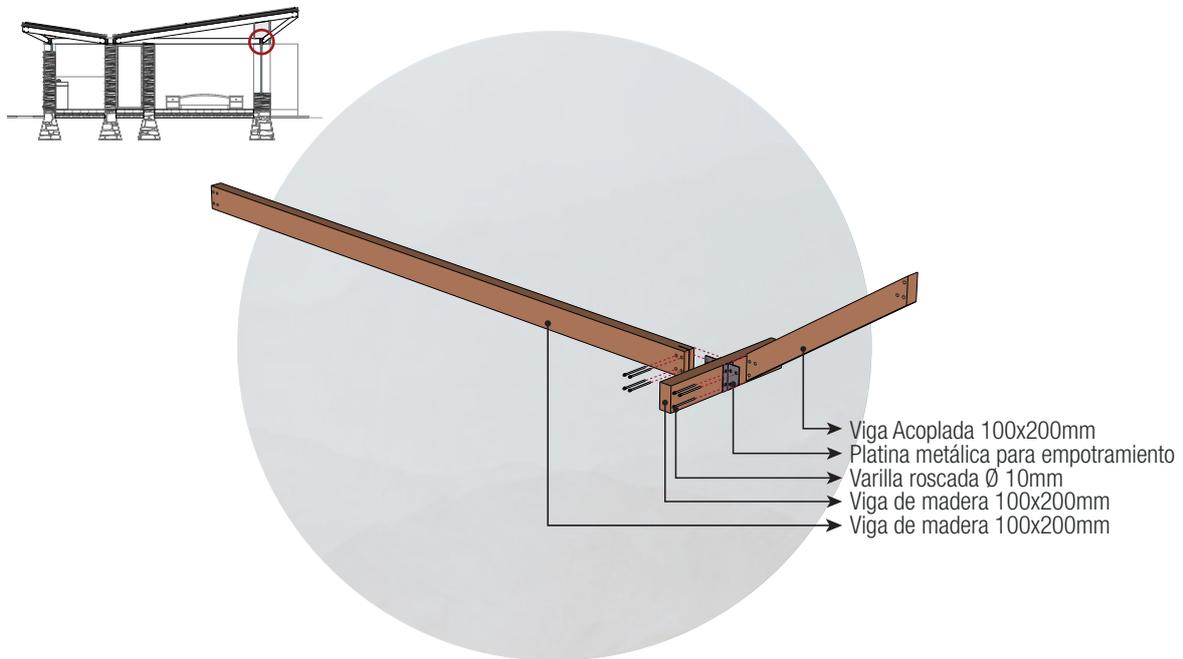


Fig. 38. Detalle constructivo 1: Estructura de cubierta. *Escala:* (S.E.).
Autor: Elaboración propia.

DETALLE CONSTRUCTIVO 2: UNIÓN VIGA-ESTRUCTURA DE CUBIERTA.

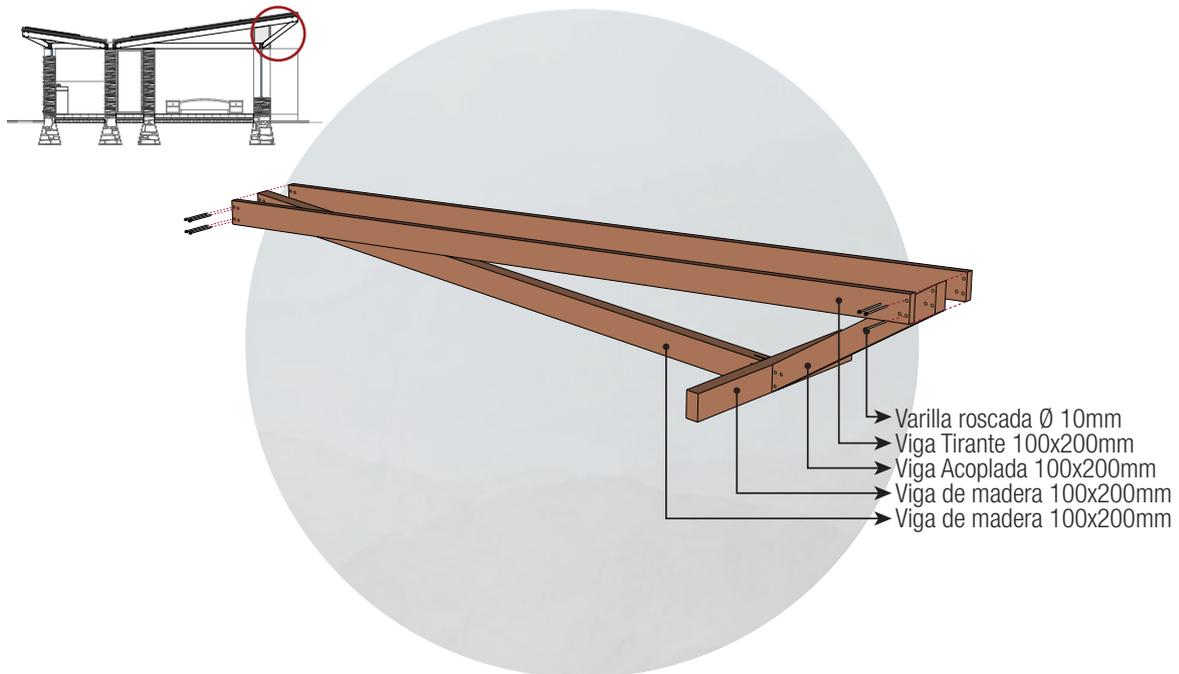


Fig. 39. Detalle constructivo 2: Unión solera-Estructura de cubierta.
Escala: (S.E.).
Autor: Elaboración propia.

DETALLE CONSTRUCTIVO 3: CIERRE DE MURO-ESTRUCTURA DE CUBIERTA.

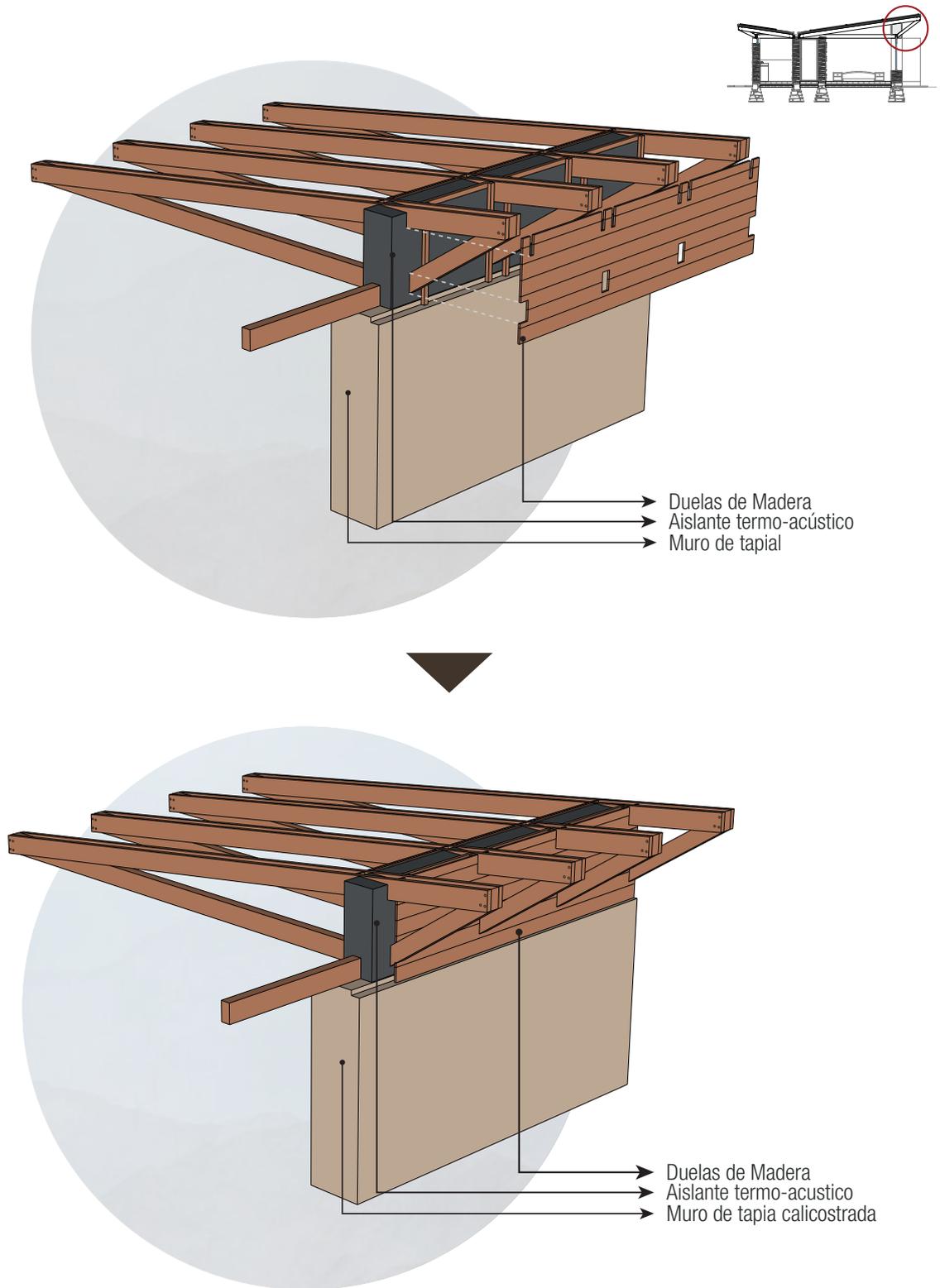


Fig. 40. Detalle constructivo 3: Cierre de muro-Estructura de cubierta.

Escala: (S.E.).

Autor: Elaboración propia.

DETALLE CONSTRUCTIVO 4: CIERRE DE CUBIERTA.

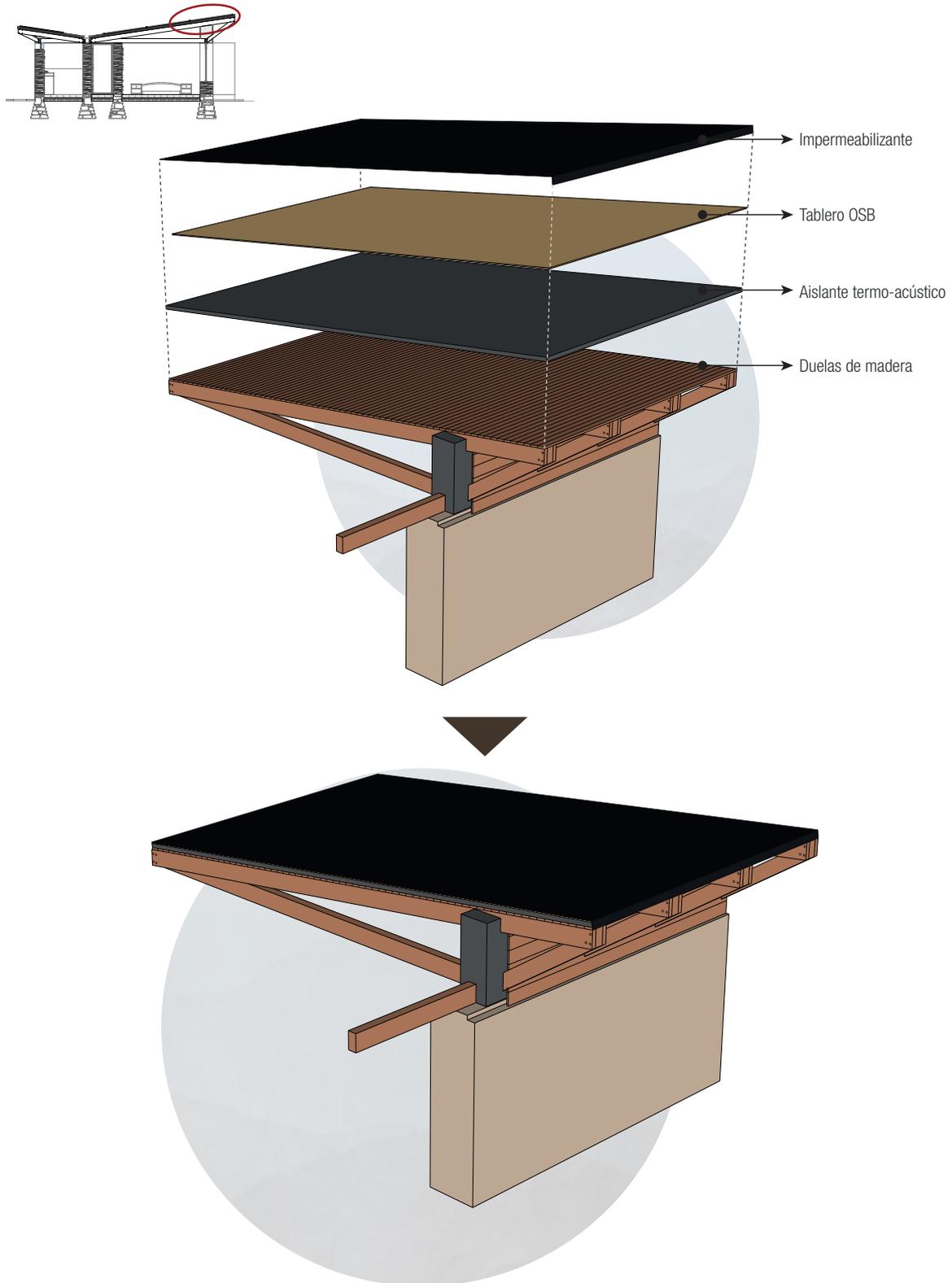


Fig. 41. Detalle constructivo 4: Cierre de cubierta. Escala: (S.E.).
Autor: Elaboración propia.

DETALLE CONSTRUCTIVO 5: CIERRE DE CUBIERTA.

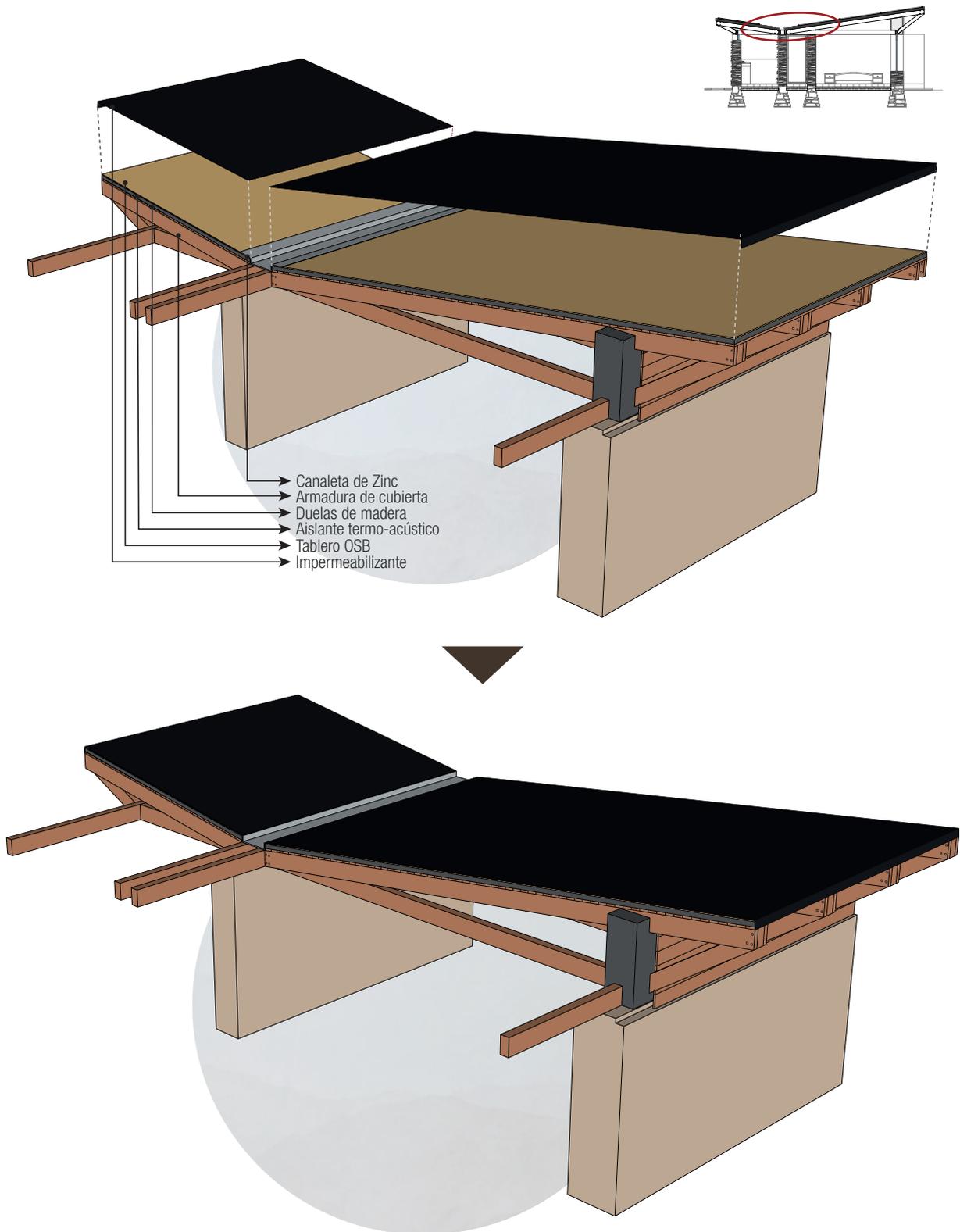


Fig. 42. Detalle constructivo 5: Cierre de cubierta. Escala: (S.E.).
Autor: Elaboración propia.

DETALLE CONSTRUCTIVO 6: DETALLE DE PISO.

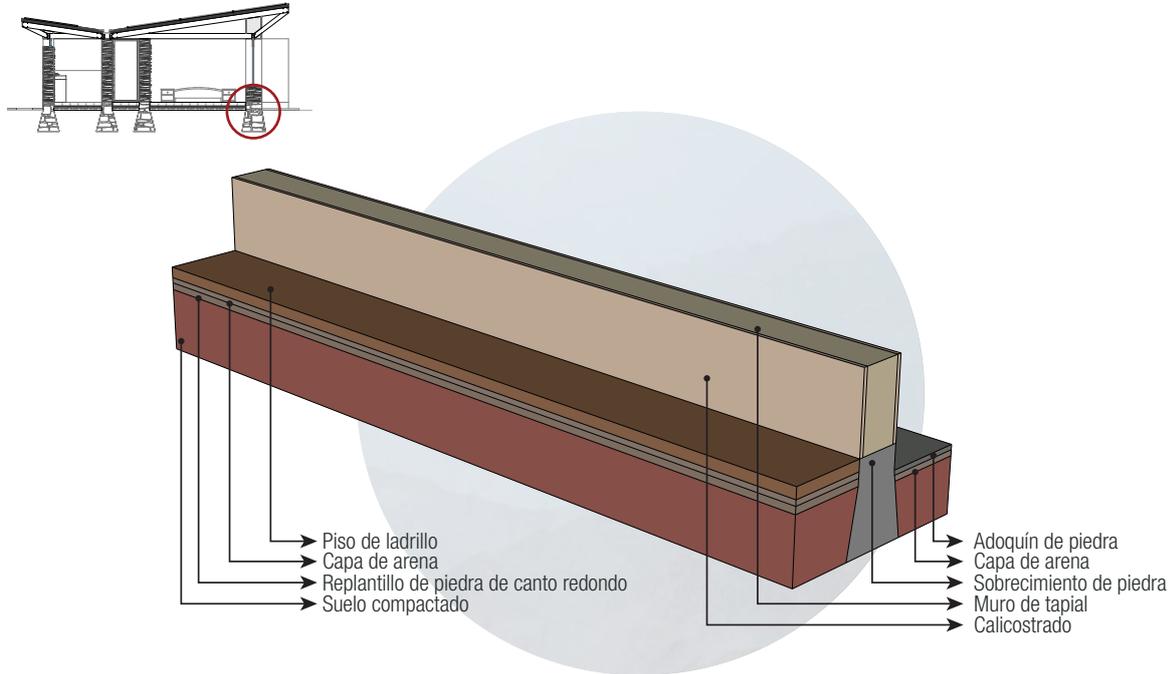


Fig. 43. Detalle constructivo 6: Detalle de piso. *Escala:* (S.E.).
Autor: Elaboración propia.

DETALLE CONSTRUCTIVO 7: DETALLE DE TAPIALERA Y CONSTRUCCIÓN DE MURO.

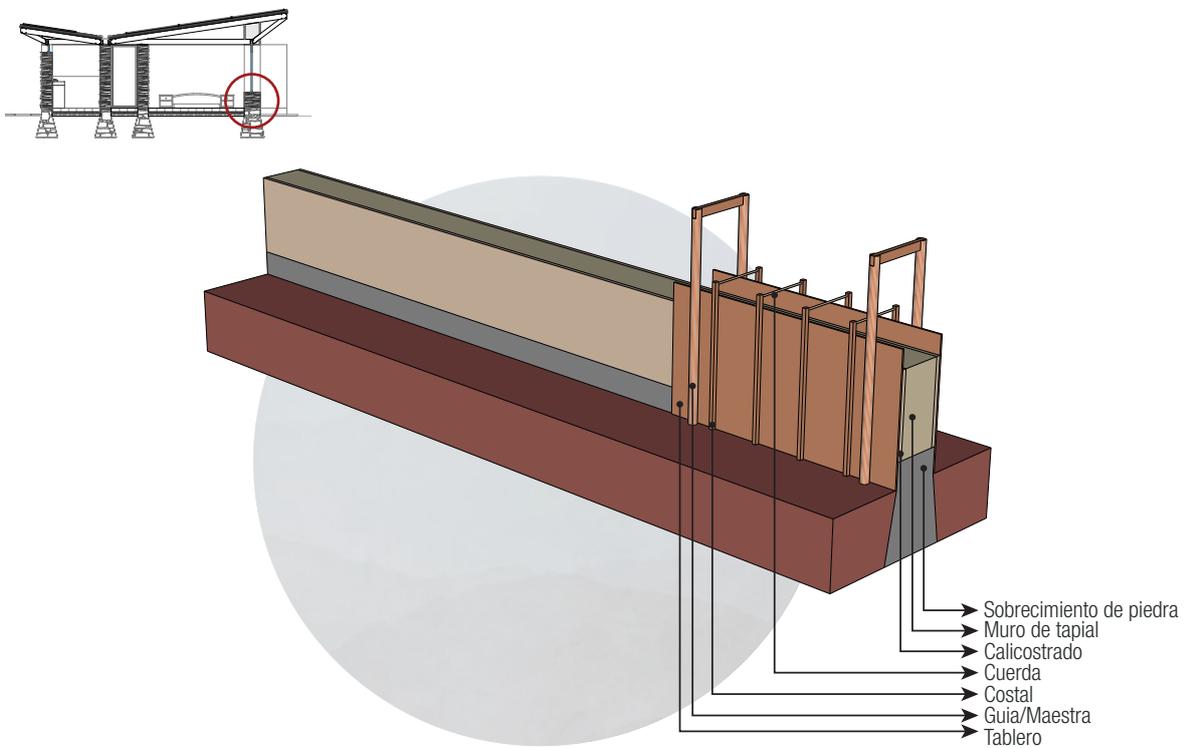


Fig. 44. Detalle constructivo 7: Detalle de tapialera y construcción de muro. *Escala:* (S.E.).
Autor: Elaboración propia.

DETALLE CONSTRUCTIVO 9: DETALLE DE ENSAMBLE DE COLUMNA.

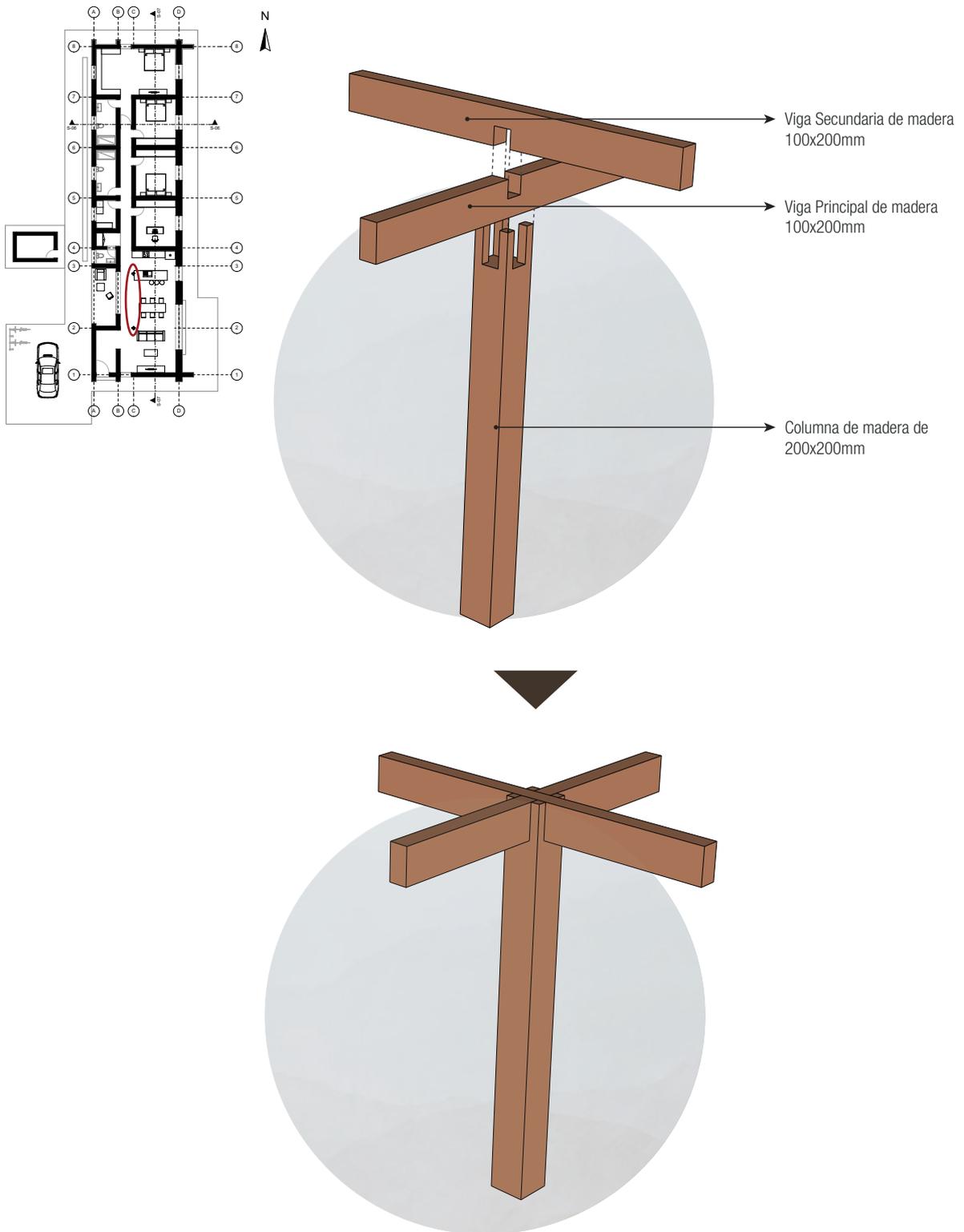


Fig. 46. Detalle constructivo 9: Detalle de ensamble de columna.
Escala: (S.E.).
Autor: Elaboración propia.

DETALLE CONSTRUCTIVO 8: DETALLE DE UNIÓN MURO-SOLERA.

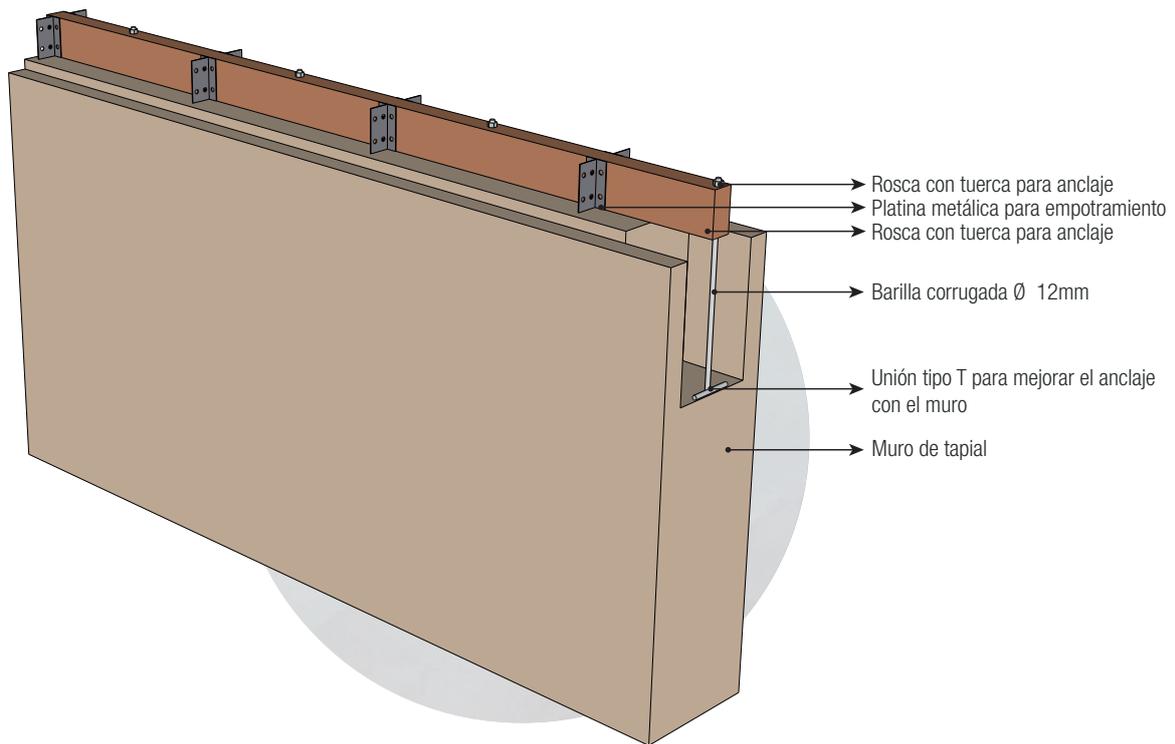
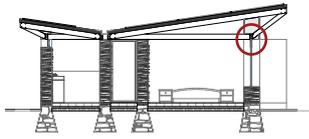


Fig. 45. Detalle constructivo 8: Detalle de unión muro-solera.
Escala: (S.E.).
Autor: Elaboración propia.

3.4 RENDERS.

3.4.1 RENDERS INTERIORES.



Fig. 47. Render interno 1-Living.
Autor: Elaboración propia.



Fig. 48. Render interno 2-Cocina,comedor.
Autor: Elaboración propia.



Fig. 49. Render interno 3-Área social.
Autor: Elaboración propia.

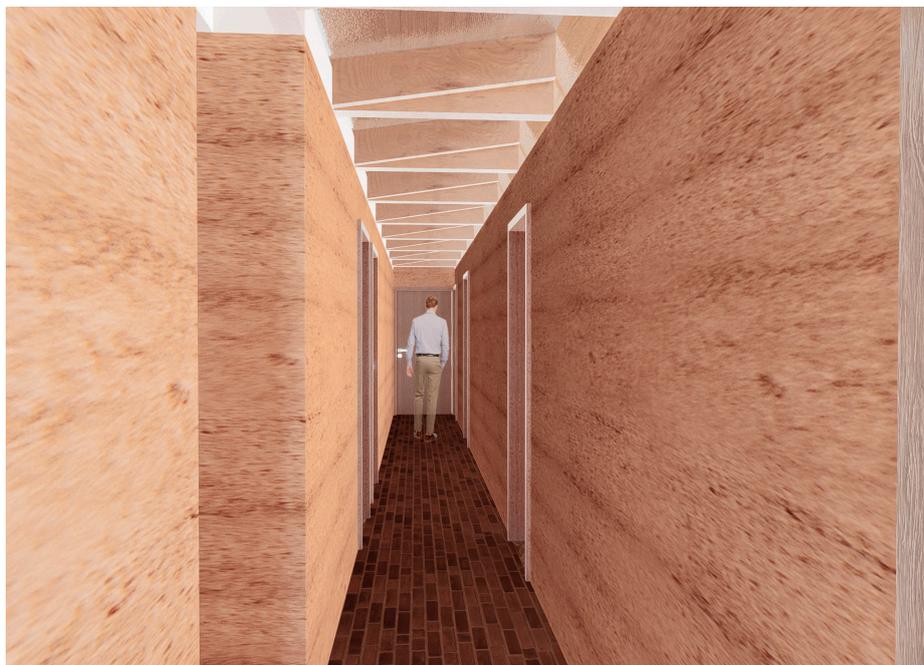


Fig. 50. Render interno 4-Pasillo de conexión entre el área social y el
área privada.
Autor: Elaboración propia.



*Fig. 51. Render interno 5-Living.
Autor: Elaboración propia.*



*Fig. 52. Render interno 6-Dormitorio master.
Autor: Elaboración propia.*

3.4.2 RENDERS EXTERIORES.



Fig. 53. Render externo 1-Fachada frontal.
Autor: Elaboración propia.



Fig. 54. Render externo 2-Ingreso garage.
Autor: Elaboración propia.



*Fig. 55. Render externo 3.
Autor: Elaboración propia.*



*Fig. 56. Render externo 4-Vista aérea de los paneles PV.
Autor: Elaboración propia.*



Fig. 57. Render externo 5-Fachada posterior.
Autor: Elaboración propia.



Fig. 58. Render externo 6-Vista aérea de los paneles PV.
Autor: Elaboración propia.

3.5 ANÁLISIS Y RESULTADOS.

3.5.1 DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA.

El objetivo de este cálculo es estimar la cantidad de energía que representa la construcción de la vivienda propuesta, y además comparar los resultados obtenidos con estudios similares realizados en otros contextos, de esta forma determinar el porcentaje de reducción de impacto ambiental frente a construcciones típicas.

Se trabajó con una unidad habitacional pensada para una familia de clase media-alta, el programa se resuelve en una sola planta. La investigación consideró las siguientes actividades:

- Estimación de Energía Contenida en materiales de construcción.
- Estimación de Energía Contenida en actividades de construcción.
- Estimación de demanda Energética.
- Análisis Energético de la vivienda con la herramienta Ecodesigner.
- Análisis de Producción Energética con la herramienta SAM.
- Comparación y cálculo de tiempo de cumplimiento de estándar Powerhouse

Para la medición de Energías Contenidas en materiales de construcción se empleó los datos recolectados en la investigación del Capítulo 2. Para la medición de Energías Contenidas en actividades de construcción se tomó como referencia el trabajo de (Muñoz et al., 2012) realizado en Chile, donde determina estas cantidades en base a la metodología de la norma ISO 14040 (2006).

Las unidades empleadas para el cálculo de cantidades son las establecidas por el Sistema Internacional de Medidas; como unidad de medida de energía se empleó el kW/h. Para este proceso se modeló digitalmente la vivienda con la ayuda de la plataforma BIM Archicad, esto facilitó la precisión a la hora de determinar las cantidades de material necesario para la vivienda.

3.6 ESTIMACIÓN DE LA ENERGÍA CONTENIDA EN CONSTRUCCIÓN.

3.6.1 ESTIMACIÓN DE LA ENERGÍA CONTENIDA POR CONCEPTO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.

Para estimar la energía contenida en el proceso de construcción se tomó la información obtenida en la investigación del capítulo 2 (tabla 04). Para la cuantificación del transporte se tomó como referencia el trabajo de Bin & Parker (2012), realizado en Ontario, Canadá; donde establecen, mediante análisis, que la energía contenida por concepto de transporte en distancias menores a 100 km es igual al 1% del total de la energía contenida.

A continuación (tabla 08) se detalla la energía contenida de los materiales de construcción de la propuesta; para dicho análisis se tomaron en cuenta los materiales de:

- Cimiento.- piedra, cemento.
- Sobrecimiento.- piedra, cemento.
- Contrapiso.- arena, material de mejoramiento
- Pisos.- ladrillo, adoquín, mortero de cal.
- Muros.- tierra, cal, fibras naturales, aislamiento termo-acústico.
- Cubierta.- madera, aislamiento termo-acústico, impermeabilizante.
- Instalaciones.- eléctricas y sanitarias.
- Revestimiento de muros en zonas húmedas.- piedra labrada.

No se realizó el cálculo de mobiliario fijo, griferías, baterías sanitarias ni elementos de anclaje.

Material Empleado	Energía Contendida [kWh/kg]	Fuente (Energía Contendida)	Transporte [kWh/kg]	Densidad [kg/m ³]	Cantidad [m ³]	Total en obra [kWh]
Cimientos y Sobrecimientos						
Piedra Natural	0,05	Alvarado (2021)	0,00	2400,00	54,13	6560,80
Mortero	0,65	Alvarado (2021)	0,01	2000,00	36,09	47602,24
Contrapiso						
Cama de arena	0,03	Osorio (2010)	0,00	2400,00	9,06	614,68
Material de Mejoramiento	0,10	Muñoz (2019)	0,00	700,00	34,72	2381,26
Pisos						
Ladrillo	0,47	Vanegas (2018)	0,00	1800,00	24,36	20767,73
Cal	0,73	Gonzalez & Guerrero (2022)	0,01	1150,00	4,30	3639,50
Adoquín	1,88	Muñoz (2019)	0,02	2400,00	9,45	43087,51
Arena	0,03	Osorio (2010)	0,00	2400,00	1,41	95,89
Muros						
Tierra cruda	0,10	Muñoz (2019)	0,00	1330,00	137,74	17984,25
Cal	0,73	Gonzalez & Guerrero (2022)	0,01	1150,00	5,09	4311,76
Fibras naturales	0,278	Muñoz (2019)	0,00	1700,00	21,78	10385,82
Madera	0,58	Alvarado (2021)	0,01	430,00	1,79	452,16
Revestimiento de Muros						
Piedra Labrada	1,89	Muñoz (2019)	0,02	2400,00	1,28	5857,94
Columnas						
Madera	0,58	Alvarado (2021)	0,01	430,00	0,28	70,90
Cubierta						
Madera	0,58	Alvarado (2021)	0,01	430,00	14,54	3681,48
Duelas de Madera	0,58	Alvarado (2021)	0,01	430,00	10,23	2577,25
Aislamiento (mineral blando)	0,55	Muñoz (2019)	0,01	30,00	43,87	731,14
OSB	2,64	Osorio (2010)	0,03	680,00	10,23	18544,24
Asfalto	0,67	Gil & Monterrosa (2019)	0,01	1300,00	1,02	898,73
Instalaciones						
PVC	19,44	Alvarado (2021)	0,19	1450,00	0,05	1423,49
Zinc	11,94	Osorio (2010)	0,12	8430,00	0,02	2338,20
Cobre	19,61	Muñoz (2019)	0,20	8930,00	0,01	2476,16
Total						196483,12

Tabla 08. Tabla de cantidades de Energía Contendida en materiales de construcción de la vivienda propuesta.

Autor: Elaboración propia. Fuente: Las indicadas.

3.6.2 ESTIMACIÓN DE LA ENERGÍA CONTENIDA POR CONCEPTO DE ACTIVIDADES DE CONSTRUCCIÓN.

Para la recolección de datos de la tabla 09 se toma como punto de partida desde la llegada de los materiales al sitio de la obra y termina cuando la vivienda está terminada y lista para iniciar la etapa de uso. Para el estudio se empleó la investigación de Muñoz et al. (2012), quien no consideró:

El uso y mantenimientos de los equipos y máquinas, disposición de productos y residuos de proceso, recuperación de productos usados, excepto si es parte fundamental de algún proceso unitario, manufactura de materiales auxiliares, manufactura, mantenimiento y desmantelamiento de equipo principal, operaciones adicionales, tales como iluminación y calefacción, la energía utilizada por el hombre, entre los más relevantes. (p. 130)

De acuerdo a los objetivos de este estudio la categorización de los datos fue de carácter energética, sin considerar los costes económicos que la obra requeriría.

Resumen	Área	Energía Contendida [kWh/m ²]	Consumo Eléctrico [kWh/m ²]	Energía Incorporada [kWh]
Trazado	99,08	0,32	0,00	31,86
Cimentación	181,13	33,51	0,60	6178,34
Tapialera	56,99	9,38	0,02	535,76
Albañilería y Estructura	70,85	723,93	0,09	51296,68
Losa	385,81	223,88	0,02	86383,63
Muros	56,99	33,51	0,01	1910,07
Revestimiento de Muros	48,07	5,35	0,00	257,30
Estructura techumbre	341,05	90,64	0,03	30921,98
Aislamiento	341,05	95,28	0,00	32495,24
Puertas	42,00	11,68	0,02	491,32
Ventanas	15,41	361,36	0,07	5569,68
Vidrios	61,67	71,25	0,00	4393,99
Total				220465,86

Tabla 09. Tabla de cantidades de Energía Contendida en actividades de construcción de la vivienda propuesta.
Autor: Elaboración propia. *Fuente:* Muñoz et al. (2012) Estudio realizado en la planta productora Región del Biobío, Chile.

3.7 EVALUACIÓN ENERGÉTICA.

En la evaluación energética de la casa se tomó en cuenta un consumo promedio con los equipos más comunes en una familia de 4 personas; se realizó con dos herramientas de cálculo, Archicad como metodología BIM y su herramienta EcoDesigner en la cual se determinó el consumo y el confort de la vivienda, partiendo de un modelado base del proyecto; y el software SAM que realiza el cálculo de la energía eléctrica producida por el sistema solar PV implementado en la vivienda según el archivo climático de la ciudad de Cuenca que es nuestro lugar de implantación.

3.7.1 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM.

Building Information Modeling (BIM) es una metodología que se emplea cada vez más en la industria de la construcción, es un nuevo acercamiento al diseño, planificación y gestión de los proyectos. Este método está impulsado por la necesidad de mejorar el sector ante los nuevos avances tecnológicos y brindar respuesta a retos globales como el cambio climático, la seguridad de edificaciones frente a desastres naturales, la reducción de costos de operación, etc. El BIM es una representación tridimensional (3D) del futuro edificio o infraestructura construida, incluyendo todos sus componentes y sistemas integrados. El modelo incorpora todo tipo de información relacionada con la estructura: desde materiales hasta instalaciones sanitarias y eléctricas pasando por datos geométricos e incluso comportamiento térmico de la edificación.

Para la presente investigación el software empleado fue Archicad, de Graphisoft y su herramienta EcoDesigner. La metodología BIM aplicada consistió en el diseño y modelado (3D) del prototipo de vivienda con todos sus materiales y componentes, para generar resultados más precisos fue necesario introducir en el programa el tapial como material, ya que este no está disponible en el software, para ello se tuvo que indicar al programa ciertas características físicas del material como: su calor específico, densidad, inercia térmica, entre otros. Una vez

diseñado el proyecto, incorporando todas las estrategias bioclimáticas antes mencionadas, se procedió a la calibración del mismo para determinar, con la herramienta EcoDesigner, los rangos de confort de la vivienda y la demanda energética.

La calibración del simulador pasó por varios procesos: primero se asignó zonas térmicas a las diferentes habitaciones por su uso y según los requerimientos de cada una; dichos requerimientos se establecieron en los perfiles de operación, donde se asignó un rango de confort de 17,5 a 26 °C según la NEC (2014), el área que ocupa cada persona al estar en esa habitación, la iluminación requerida y la ganancia calorífica por los equipos, todo esto tomando en consideración los horarios y el uso habitual de las familias cuencanas. En la Calibración de Definiciones del Entorno se especifica la ubicación exacta y los datos climáticos del lugar donde se emplaza el proyecto, en este caso es la ciudad de Cuenca que es el lugar de estudio. En los Sistemas de construcción se asignaron los diferentes sistemas de climatización además de la ventilación natural que está considerada desde el proceso de diseño, si bien en Cuenca no son necesarios los sistemas mecánicos de refrigeración o calefacción por su clima templado, el programa solicita que establezcamos estos datos para obtener resultados más exactos. Posterior a esto es necesario indicarle al software el origen de la energía, si bien en nuestro estudio esta proviene de fuentes hidroeléctricas en un 90%, esto puede variar dependiendo del país. Previo a realizar el análisis también se requiere configurar los valores de infiltración de puertas, ventanas y cubierta, esto se hace con el propósito de hacer la simulación con valores más cercanos a la realidad del lugar de diseño. Una vez realizada la simulación del modelo con las características del proyecto y el archivo climático, nos arroja resultados absolutos anuales y resultados específicos de cada área al que se le asignó una zona térmica; con esto se identifican las fluctuaciones de temperatura y se concluye la eficacia de las estrategias pasivas implementadas en el diseño.

Esta metodología no solo facilitó los análisis necesarios para el desarrollo del diseño de la vivienda, también facilitó la cuantificación de cantidades de materiales, lo que reduce considerablemente el margen de error.

3.7.1.1 ANÁLISIS REALIZADOS.

A continuación se detalla cuáles son los resultados arrojados por los parámetros antes mencionados, el análisis completo puede ser revisado en el anexo 2.

Balance energético del proyecto.

El balance energético en los edificios consiste en conseguir la misma suma de ganancias y pérdidas energéticas. En este análisis podemos ver el balance anual de la vivienda a lo largo de las 52 semanas, las pérdidas (26643,1 kWh/a) y las ganancias (26619,9 kWh/a) energéticas están casi equiparadas. (fig. 59)

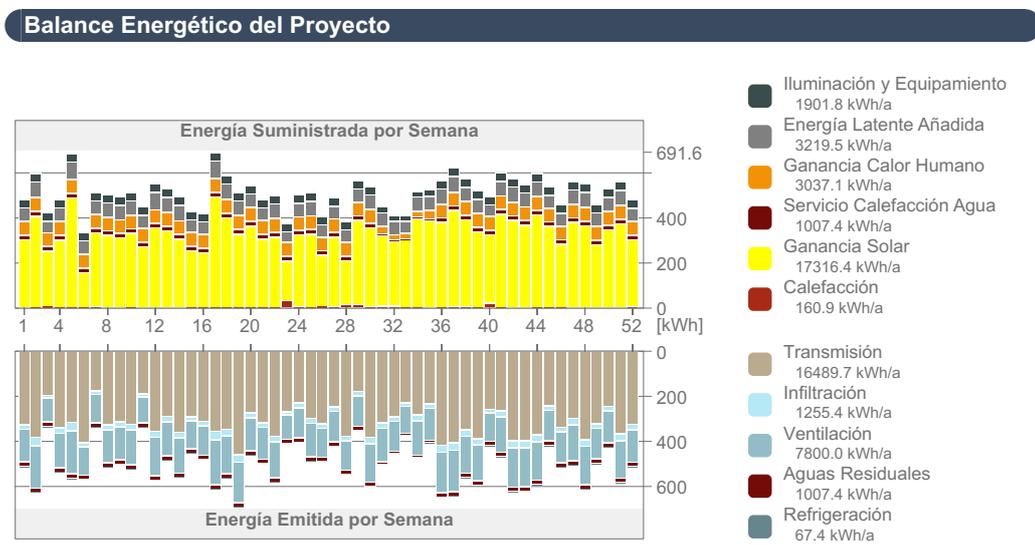


Fig. 59. Diagrama del balance energético del proyecto. Autor: Elaboración propia. Fuente: EcoDesigner.

Valores clave.

Este análisis permite detectar cuáles son los días de mayor temperatura en cada uno de los espacios y cuáles son sus

requerimientos no satisfechos de climatización además de las características generales del espacio. (fig. 60)

001 Living - Valores Clave			
Datos de la Geometría			
Área bruta de la planta:	40.18	m ²	
Área suelo tratado	33.20	m ²	
Área de estruct. compleja:	79.55	m ²	
Volumen ventilado:	111.72	m ³	
Ratio acristalamiento:	12	%	
Temperatura Interna			
Min. (06:00 Jul 16):	11.89	°C	
Media Anual:	19.70	°C	
Max. (10:00 Dic 20):	32.65	°C	
Horas de carga no satisfechas			
Calefacción:	38	hrs/a	
Refrigeración:	20	hrs/a	
Coefficientes de transfer.			
Pavimentos:	-	Valor U	[W/m ² K]
Externo:	0.20 - 2.47		
Subterráneo:	-		
Aberturas:	5.50 - 5.74		
Provisiones Anuales			
Calefacción:	88.80	kWh	
Refrigeración:	67.00	kWh	
Picos de Carga			
Calefacción (07:00 Jun 28):	1.29	kW	
Refrigeración (10:00 Ene 21):	1.50	kW	

Fig. 60. Diagrama de valores clave del proyecto. Autor: Elaboración propia. Fuente: EcoDesigner.

Perfil de temperatura diario.

En esta sección se analiza las variaciones térmicas al interior y exterior de los espacios, se ha analizado principalmente en los meses más calurosos en el año (diciembre a marzo) y en los meses más fríos (junio a septiembre), además de los días más críticos al interior de los espacios según los datos obtenidos en los valores clave de cada zona. Como

conclusión se puede apreciar que la temperatura interna de las habitaciones se mantiene mayormente estable independientemente de las fluctuaciones externas de la temperatura, esto nos permite corroborar la eficacia de la envolvente para aislar adecuadamente el proyecto. (fig. 61)

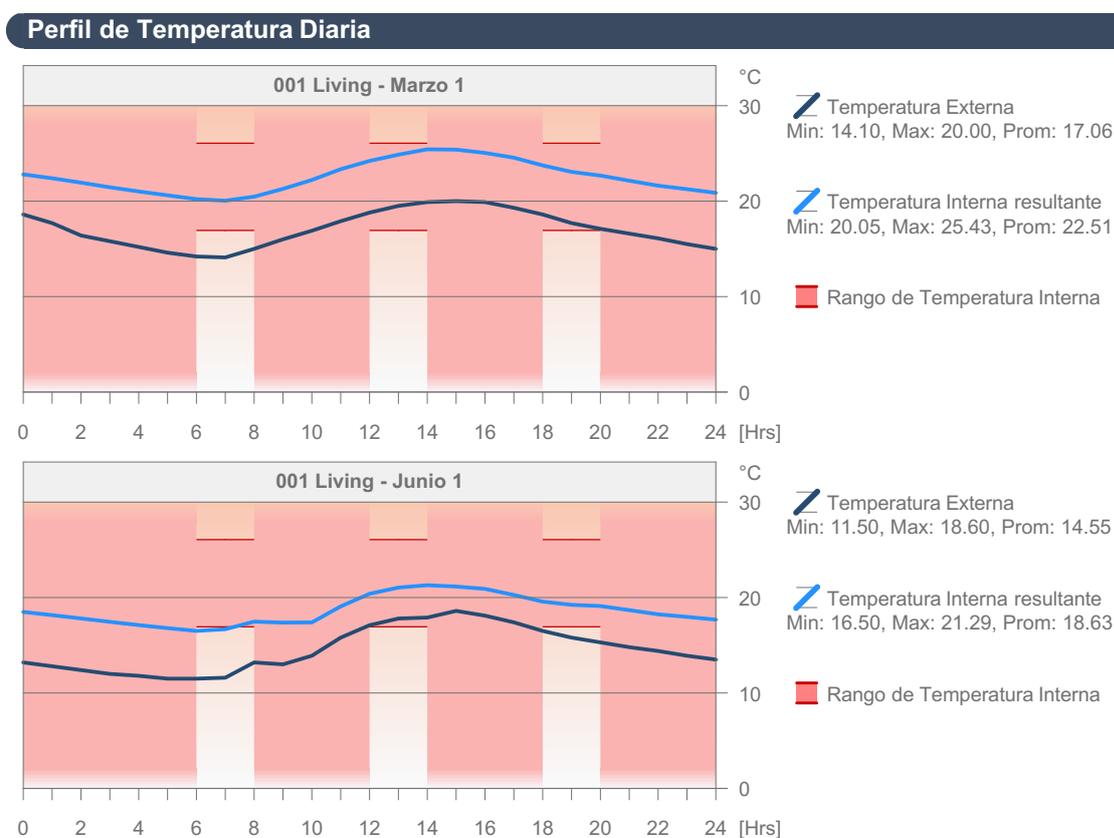


Fig. 61. Diagrama del balance energético del proyecto.
Autor: Elaboración propia. Fuente: EcoDesigner.

En la tabla 10 se resumen las temperaturas máximas, mínimas y el promedio anual de cada uno de los espacios y su relación con la temperatura exterior, estos datos fueron obtenidos de la simulación realizada en EcoDesigner, se puede ver las horas y las fechas en las que las habitaciones no cumplen con el rango de confort de 17.5 a 26 °C. Las temperaturas mínimas se alcanzan en los meses más

fríos en horas de la mañana y las temperaturas máximas en los meses más cálidos en horas de la tarde donde hay mayor incidencia solar, pero el aislamiento y la inercia térmica de la envolvente evita que los ambientes se vean tan afectados por la temperatura del exterior logrando una temperatura general promedio de 19.53 °C.

RANGOS DE TEMPERATURA

	Min			Max			Media anual interna °C
	Temperatura	Temperatura externa °C	Fecha/hora	Temperatura interna °C	Temperatura externa °C	Fecha/hora	
Living	11.89	6.60	16 de julio 6am	32.65	22.40	20 de diciembre 10am	19,7
Cocina	14.10	6.00	04 de agosto 7am	26.10	22.40	20 de diciembre 10am	20,22
Estudio	15.12	6.00	04 de agosto 7am	23.19	22.21	31 de marzo 6pm	19,51
Dormitorio hijo 1	15.24	6.00	04 de agosto 7am	23.77	21.90	20 de marzo 5pm	20,12
Dormitorio hijo 2	15.29	6.00	04 de agosto 7am	23.80	20.00	21 de marzo 5pm	20,11
Dormitorio padres	15.64	11.00	03 de 12pm	24.79	21.60	21 de junio 11am	19,59
Vestidor	14.09	12.70	09 de junio 9am	24.56	19.30	31 de marzo 9pm	19,02
Baño de padres	14.70	7.70	09 de junio 9am	24.38	17.90	21 de marzo 9pm	19,42
Baño hijos	14.74	11.70	09 de junio 9am	24.35	18.90	21 de marzo 9pm	19,44
Lavandería	14.53	12.70	09 de junio 8am	23.97	16.00	01 de abril 10am	19,22
Baño social	14.12	11.60	16 de julio 9am	23.22	16.80	20 de diciembre 7pm	18,81
Vestíbulo	13.69	14.80	16 de julio 8am	23.19	13,50	01 de abril 1pm	18,51
Circulación	14.35	7.70	09 de junio 7am	31.30	20.60	20 de marzo 6pm	20,22
Promedio anual de temperatura interna del proyecto							19,53

Tabla 10. Tabla de Temperaturas.
Autor: Elaboración propia. *Fuente:* EcoDesigner.

Requerimientos de sistemas de climatización por ambiente.

Como ya se analizó en el punto anterior, al no lograr llegar a las temperaturas de confort todos los días del año, la vivienda requiere algunas horas de calefacción y refrigeración por ambiente, pero estos requerimientos son mínimos, 350 horas de calefacción y 114 horas de refrigeración al año. (fig. 62)

Datos de Diseño HVAC

Bloque Térmico	Demanda de		Demanda de		Interno	
	Anualment [kWh]	Por Horas Pico [kW]	Anualment [kWh]	Por Horas Pico [kW]	Min. [°C]	Max. [°C]
001 Living	88	1.3 07:00 Jun 28	67	1.5 10:00 Ene 21	11.9 06:00 Jul 16	32.7 10:00 Dic 20
002 Cocina	0	0.3 07:00 Jul 16	0	0.1 14:00 Dic 20	14.1 07:00 Ago 04	26.1 10:00 Dic 20
003 Oficina	4	0.3 19:00 Jun 08	0	0.0 --	15.1 07:00 Ago 04	23.2 18:00 Mar 31
004 Dormitorio hijo 1	4	0.3 06:00 Jun 09	0	0.0 --	15.2 07:00 Ago 04	23.8 17:00 Mar 20
005 Dormitorio hijo 2	4	0.3 06:00 Jun 09	0	0.0 --	15.3 07:00 Ago 04	23.8 17:00 Mar 20
006 Dormitorio master	58	0.7 06:00 Jul 16	0	0.0 --	15.6 12:00 Ago 03	24.8 11:00 Jun 21
007 Vestidor	0	0.0 --	0	0.0 --	14.1 09:00 Jun 09	24.6 21:00 Mar 31
008 Baño Padres	0	0.0 --	0	0.0 --	14.7 09:00 Jun 09	24.4 21:00 Mar 21
009 Baño Hijos	0	0.0 --	0	0.0 --	14.7 09:00 Jun 09	24.4 21:00 Mar 21
010 Lavandería	0	0.0 --	0	0.0 --	14.5 08:00 Jun 09	24.0 10:00 Abr 01
011 Baño Social	0	0.0 --	0	0.0 --	14.1 09:00 Jul 16	23.2 19:00 Dic 20
012 Vestíbulo	0	0.0 --	0	0.0 --	13.7 08:00 Jul 16	23.2 24:00 Mar 31
013 Circulación	0	0.0 --	0	0.0 --	14.4 07:00 Jun 09	31.3 18:00 Mar 20
Todos los Bloques Térmicos:	160	2.4 07:00 Jul 16	67	1.5 10:00 Feb 25		

Número de Horas Usadas en el Año:

Calefacción: **350** hrs
Refrigeración: **114** hrs

Horas de carga no satisfechas en el año:

Calefacción: **38** hrs
Refrigeración: **20** hrs

30 / 33

Fig. 62. Diagrama del Requerimientos de sistemas de climatización por ambiente del proyecto.
Autor: Elaboración propia. Fuente: EcoDesigner.

Consumo de energía por Objetivos.

En este apartado se calcula la energía que la propuesta requerirá para los sistemas de ambientación, agua caliente sanitaria, iluminación y cargas eléctricas además del coste de la energía. Al emplearse sistemas a inducción en la vivienda las emisiones de CO₂ son cero, lo que significa una reducción de 486 kg CO₂ al año.

El consumo energético total de la propuesta es de 3137KWh/a como se puede ver en la fig. 63 en el Total de la columna de "Cantidad KWh/a"; pero cómo se ha

podido apreciar en los análisis anteriores, hay periodos en los que ciertos espacios de la vivienda están ligeramente fuera de los rangos de confort, lo que se ve reflejado en el consumo energético de calefacción y refrigeración en este apartado, pero al ser valores tan bajos y ser poco común los sistemas de calefacción en la zona andina no se tomará en cuenta dicho consumo eléctrico, por lo que los cálculos posteriores se realizarán con 2910 KWh/a. (fig. 63)

Evaluación del Rendimiento Energético

[Número de Proyecto] [Nombre Proyecto]

Consumo de energía por Objetivos

Nombre Destino	Energía			CO ₂ Emisión kg/a
	Cantidad kWh/a	Primario kWh/a	Coste USD/a	
Calefacción	160	227	3	0
Refrigeración	67	142	1	0
Servicio de Agua Caliente	1007	1330	14	4
Ventiladores	0	0	0	0
Iluminación & aparatos	1901	5705	174	54
Total:	3137	7406	194	60

Fig. 63. Diagrama de consumo de energía por objetivos. Autor: Elaboración propia. Fuente: EcoDesigner.

3.8 PRODUCCIÓN ENERGÉTICA.

3.8.1 CALIBRACIÓN DE LA HERRAMIENTA SAM (SYSTEM ADVISOR MODEL).

System Advisor Model es un programa de simulación diseñado para calcular ganancias energéticas provenientes de fuentes renovables. SAM realiza cálculos en base a los datos que se ingrese al programa; devuelve informes de energía generada, costes de implementación de sistemas renovables e incluso en qué tiempo se recupera la inversión.

Para la calibración el primer paso es ingresar al programa los datos climáticos de la ciudad de Cuenca; posterior a esto se ingresa el modelo de paneles PV que se implementan. En la siguiente parte de la calibración es necesario multiplicar la potencia unitaria de cada panel por el número de paneles instalados; en esta misma sección es necesario determinar el ángulo de inclinación de los paneles en este caso 8.53° y su azimut con respecto al norte, de este modo obtendremos el rango de potencia que requiere el inversor. Para tener información de costes económicos es necesario ingresar la información de costes de consumo de electricidad. Previo a finalizar la calibración se ingresa el consumo eléctrico por cada mes.

3.8.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE PRODUCCIÓN ENERGÉTICA.

En la tabla 11 de puede ver el cálculo de la producción energética de cada uno de los faldones de la cubierta, dichos datos han sido obtenidos del cálculo realizado en la herramienta SAM.

	ÁREA (m ²)	NÚMERO DE PANELES	PRODUCCIÓN ANUAL (KW/H)
Faldón 1	101,47	32	19845,33 Kw/h
Faldón 2	222,90	96	59600,00 Kw/h
TOTAL	324,37	128	79445,33 Kw/h

Tabla 11. Tabla resultados de la producción energética.
Autor: Elaboración propia. *Fuente:* SAM (System Advisor Model).



CAPÍTULO 4: Conclusiones y Recomendaciones.

4.1 CONCLUSIONES.

Los resultados obtenidos en la estimación de energía incorporada de la propuesta revelan que la vivienda tiene un impacto en materiales de 196 483,12 kWh; en procesos de construcción de 220 465,86 kWh; en su etapa de uso la vivienda consumirá 2910 kWh/a, para un lapso de vida útil de 60 años tenemos un acumulado de 174 600 kWh; el total de energía en la vida útil del prototipo es de 591 548,98 kWh, distribuido de la siguiente manera: energía incorporada en materiales de construcción 33,22%, energía incorporada en actividades de construcción 37,27%, consumo energético durante la etapa de uso 29,52%. La propuesta tiene un área de construcción de 330 m², lo que significa que durante todo su ciclo de vida la vivienda tiene una energía incorporada de 1792,57 kWh/m² (tabla 12).

La vivienda propuesta con un área de 324m² de PV en cubierta produce 476 6720 kWh durante toda su vida útil, con lo cual podría recuperar la energía contenida en el proceso de construcción y el periodo de uso en 8 años

aproximadamente; por lo tanto, podemos considerar que la vivienda cumple exitosamente con los criterios para ser considerada de estándar Powerhouse; adicional a este periodo se debe considerar la energía contenida de grifería, mobiliario fijo y baterías sanitarias que como se mencionó en el capítulo anterior no se consideraron al momento de realizar el cálculo de la energía contenida, además del tiempo de recuperación de la energía invertida en la fabricación de los PV que es de 2,2 a 4 años, tomando en cuenta que su periodo de vida útil corresponde a 25 años, lo que implica 3 sustituciones durante el periodo de vida de la edificación aproximadamente; con estas consideraciones se requerirían 20 años en el peor de los casos para recuperar toda la energía. Se podría inferir que en el caso de una vivienda de dos pisos, con la misma energía incorporada se necesitaría el doble de tiempo para recuperar la energía contenida; ya que, el área de paneles solares sería la mitad, pero se debería hacer un estudio mas profundo y aplicado a un diseño en específico.

ENERGÍA CONTENIDA EN EL CICLO DE VIDA

	Total de energía	Unidad	Porcentaje
Energía Contenida en Materiales	196483,12	kWh	33,22 %
Energía Contenida en Actividades de Construcción	220465,86	kWh	37,27 %
Consumo Energético en 60 años	174600,00	kWh	29,52 %
Total de Energía Contenida	591548,98	kWh	100,00 %
Total de Energía Contenida por m ²	1792,57	kWh/m ²	

ENERGÍA PRODUCIDA EN EL CICLO DE VIDA

Energía Generada Anualmente	79445,33	kWh/a
Vida útil de la vivienda	60,00	años
Total de Energía Generada en el periodo de VU	4766720,00	kWh
Tiempo de recuperación de energía	7,45	años

Tabla 12. Tabla de análisis energético de la propuesta.
Autor: Elaboración propia.

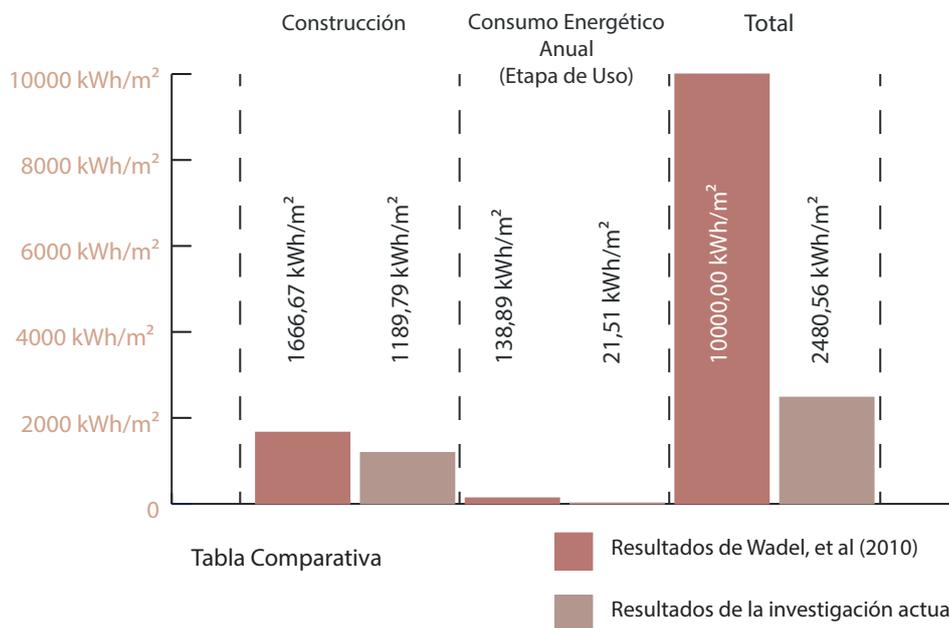


Fig. 64. Gráfica comparativa entre investigaciones. Autor: Elaboración propia. Fuente: Wadel et al. (2010). Sostenibilidad en la arquitectura industrializada: cerrando el ciclo.

Para poder comparar la propuesta con otros sistemas industrializados se tomó los resultados de Wadel et al. (2010), en su investigación se realizó un ACV en Cataluña, España de un edificio con tres posibilidades, que corresponden a tres sistemas constructivos: uno basado en hormigón, otro basado en madera y el tercero basado en acero. La comparativa se presenta en forma de gráfica (fig. 64) donde se obtiene que en construcción la propuesta es un 28,61% menor en comparación a los resultados de Wadel et al. (2010); el consumo energético es un 85% menor que las edificaciones analizadas en España, esto se debe principalmente al consumo energético en calefacción y refrigeración, muy común en edificaciones europeas, pero que en nuestro medio no es necesario; la energía total que requerirá la propuesta es un 75% menor a las edificaciones industrializadas.

El proceso de diseño con la implementación de estrategias pasivas también jugó un papel importante, gracias a esto se puede prescindir de sistemas de calefacción y refrigeración debido a que las horas totales en que la temperatura de la vivienda sale de la zona de confort

representan menos del 1% del tiempo total de uso de la vivienda. De igual forma gracias a la ganancia de luz natural los requerimientos energéticos por concepto de iluminación artificial son más bajos.

Gracias a la implementación de sistemas eléctricos como: Cocina a inducción y Calefón eléctrico; las emisiones de CO₂ de la casa, producto de combustibles fósiles, es cero. Esto se logró gracias a la significativa mejora en rendimiento que han tenido los paneles PV en los últimos años.

La presente investigación ha elevado a un nivel tecnológico las cualidades sostenibles que los materiales en tierra significan, demostrando mediante un análisis técnico que la arquitectura del pasado es la clave para un futuro donde la construcción no implique un impacto negativo para el medio ambiente.

En base a lo anterior se puede concluir que se han cumplido satisfactoriamente con los objetivos planteados al inicio de la investigación.

4.2 RECOMENDACIONES.

Para tener más precisión en cuanto a las estimaciones de energía contenida en materiales de construcción es necesario que se realicen más investigaciones sobre análisis de ciclo de vida a nivel local de los diferentes materiales de construcción comercializados en la ciudad de Cuenca.

Es necesario ampliar la presente investigación planteando el mismo sistema en edificaciones de dos pisos, que por poseer un mayor requerimiento estructural tendrá más energía incorporada y una menor superficie en cubierta lo que disminuirá la producción energética, aumentando el periodo de recuperación de la energía. También se podría emplazar una propuesta similar con el mismo concepto de Powerhouse en condiciones no idílicas y en otras localidades.

En futuros estudios de aplicación del estándar Powerhouse se podría analizar la factibilidad económica realizando un presupuesto y el tiempo de recuperación de la inversión y hacer una comparativa con los costes de la construcción tradicional.

Se debe tener en cuenta que los cálculos realizados en cuanto a la producción de energía se han realizado de acuerdo a las tecnologías actuales de PV; con el avance de la ciencia la tecnología será más eficiente y económica que las actuales y quizá, dentro de 60 años, sea obsoleta frente a nuevas formas de generar energía y se podría generar más energía eléctrica en la misma superficie y a menor precio.

Durante el proceso de investigación hubo poco acceso a trabajos de ACV de paneles fotovoltaicos: por lo que esto supone una importante oportunidad de investigación, en la cual se calcule la energía contenida en el proceso de producción de paneles solares y no solo el tiempo de retribución de la energía.

BIBLIOGRAFÍA

- Regulación No. Arcernnr 001 / 2021 “Marco normativo de la Generación Distribuida para autoabastecimiento de consumidores regulados de energía eléctrica,” 39 (2021).
- Alvarado, M. (2021). Determinación del consumo energético y emisión de CO₂ en los procesos de fabricación del adobe [Universidad del Azuay]. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/10926>
- Alvarez, A. A., & Ripoll, V. (2018). Matriz de referencia para la optimización del ciclo de vida de los materiales constructivos de la vivienda social en zonas árido-sísmicas. *Revista Hábitat Sustentable*, 8(2), 52–63. <https://doi.org/10.22320/07190700.2018.08.02.04>
- American Concrete Institute. (2002). Guide to thermal properties of concrete and masonry systems.
- ARCERNNR. (2021). Estadística anual y multianual del sector eléctrico ecuatoriano 2020. <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/09/Estadistica-2020-baja.pdf>
- Barra, J. (2016). Determinación de propiedades Termofísicas de madera pinus radiata impregnada con materia de cambio de fase. <http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/2322>
- Barragán, E., Zalamea, E., Terrados, J., & Vanegas, P. F. (2020). Energy self-supply estimation in intermediate cities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 129(May). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109913>
- Bin, G., & Parker, P. (2012). Measuring buildings for sustainability: Comparing the initial and retrofit ecological footprint of a century home - The REEP House. In *Applied Energy* (Vol. 93). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.05.055>
- British Petroleum. (2021). Statistical Review of World Energy globally consistent data on world energy markets . and authoritative publications in the field of energy. *BP Energy Outlook 2021*, 70, 8–20. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf>
- Buele, C., & Chazi, A. (2019). Modelación del sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. Universidad Politécnica Salesiana.
- Bustamante Crespo, M., Martínez Gómez, J., & Macías, J. (2018). Caracterización Térmica y Mecánica de Bloque de Concreto. *INNOVA Research Journal*, 62–79. <https://doi.org/10.33890/innova.v3.n11.2018.650>
- Bustamante, W., Rozas, Y., Cepeda, R., Encinas, F., & Martínez, P. (2009). Guía de diseño en la eficiencia energética en la vivienda social. *Monografías y Ensayos: Il Tecnología de La Construcción*, 333(83), 214. http://old.acee.cl/576/articles-61341_doc_.pdf
- Cabrera, S. P., Jiménez, Y. G. A., Domínguez, E. J. S., & Rotondaro, R. (2020). Bloques de tierra comprimida (BTC) estabilizados con cal y cemento. Evaluación de su impacto ambiental y su resistencia a compresión. *Habitat Sustentable*, 10(2), 70–81. <https://doi.org/10.22320/07190700.2020.10.02.05>

- Cal, A. (2017). El ciclo de vida de la madera en la construcción. Análisis de un caso práctico. Universidad da Coruña.
- Calderón, V. (2013). Análisis de Ciclo de Vida de Sistemas Solares Fotovoltaicos Policristalinos Centralizados en Instalaciones de Generación Distribuida para Autoconsumo. *Tecnológico de Costa Rica*, 53(9), 1689–1699.
- Calle, J., & Tinoco, Ó. (2018). Obtención de ACS con energía solar en el cantón Cuenca y análisis de la contaminación ambiental. *Ingenius*, 19, 89–101. <https://doi.org/10.17163/ings.n19.2018.09>
- Canavesi, L. E. (2021). Aplicación de un modelo matemático para la determinación de la conductividad térmica en materiales de tierra.
- Cepeda, M., & Mardaras, I. (2004). Cuantificación energética de la construcción de edificios y el proceso de urbanización. *NA (Nueva Arquitectura Con Arcilla Cocida)*, 12(Tecnologías: Construcción. Arquitectura. Tecnología ambiental), 65.
- Cordero, X., & Guillén, V. (2013). Diseño y validación de vivienda bioclimática para la ciudad de Cuenca Introducción : Desing and Validation of Bioclimatic Housing for the City of Cuenca, 2, 61–75.
- Cuitiño, M., Rotondaro, R., & Esteves, A. (2020). Análisis comparativo de aspectos térmicos y resistencias mecánicas de los materiales y los elementos de la construcción con tierra. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 22(1), 138–151.
- Déleg, M. (2011). *TECNOLOGÍA LED*. <https://www.monografias.com/trabajos-pdf4/tecnologia-led-ensayo/tecnologia-led-ensayo.pdf>
- Editorial Restauo Compás y Canto. (2022). Caracterización del comportamiento térmico de un muro de tapia mediante la termofluxometría. <https://editorialrestauo.com.mx/caracterizacion-del-comportamiento-termico-de-un-muro-de-tapia-mediante-la-termofluxometria/>
- Edra Arquitectura Km0. (2014). Casa de Tapia. Edra Arquitectura Km0. <http://arquitectura.edraculturaynaturaleza.com/portfolio-item/casa-de-tapia/>
- González, A., & Guerrero, L. (2022). Bajareque tecnificado. Evaluación de energía incorporada y emisiones de CO₂ en comparación con la edificación convencional Sistema constructivo alternativo para la vivienda rural de Torreón, México. *Vivienda y Comunidades Sustentables*, 11, 9–21. <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i11.177>
- Hernandez, J. (2013). Metodología basada en ACV para la evaluación de sostenibilidad en edificios [Universitat Politècnica de Catalunya]. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/94898>
- Hernández, Juan Carlos, & Díaz Andrade, Carlos Andrés (2011). Smart Grid: Las TICs y la modernización de las redes de energía eléctrica – Estado del Arte. *Sistemas & Telemática*, 9 (18),53-81.[fecha de Consulta 27 de Septiembre de 2022]. ISSN: 1692-5238. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=411534385004>
- Holguino, A., Olivera, L., & Escobar, K. (2018). Confort térmico en una habitación de adobe con sistema de almacenamiento de calor en los andes del Perú. *Proceedings of the 2021 IEEE 28th International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing, INTERCON 2021*, 20(3), 289–300. <https://doi.org/10.1109/INTERCON52678.2021.9533024>

- lhobe. (2009). Análisis de ciclo de vida y huella de carbono. lhobe S.A., 0(0), 4–36. http://www.comunidadism.es/wp-content/uploads/downloads/2012/10/PUB-2009-033-f-C-001_analisis-ACV-y-huella-de-carbonoV2CAST.pdf
- IIGE, I. de I. G. y E. (2019). Balance Energético Nacional 2019. 1–172. <https://www.recursosyenergia.gov.ec/5900-2/>
- Instituto de Investigación Geológico y Energético - IIGE. (2019). Balance energético nacional 2019. https://drive.google.com/file/d/1v1GWIJGk0eFf5mNSyuG9yDBY2nVzl3h_/view
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2020a). Encuesta Nacional de Edificaciones (ENED) 2019.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2020b). Información Ambiental en Hogares ESPND 2019. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Hogares/Hogares_2019/MOD_AMB_HOGAR_ESPND_2019_11.pdf
- Instituto Nacional de Normalización - INN. (2008). Norma Chilena NCH 853.
- ISO 14040, S. O. I. (2006). ISO 14040:2006(es) Gestión ambiental — Análisis del ciclo de vida — Principios y marco de referencia. Online Browsing Platform (OBP). <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es>
- Kensek, K. (2014). PocketArchitecture: Technical Design Series Building Information Modeling.
- León, A., & Guillén, V. (2019). Energía contenida y emisiones de CO₂ en el proceso de fabricación del cemento en Ecuador. *Ambiente Construido*, 20(3), 611–625. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000300448>
- León, A., & Guillén, V. (2020). Energía contenida y emisiones de CO₂ en el proceso de fabricación del cemento en Ecuador. *Ambiente Construido*, 20(3), 611–625. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000300448>
- Medina, M., Kaiser, E., López, R., Domizio, C., & Santillán, L. (2021). Aprovechamiento de la inercia térmica del hormigón para el ahorro energético de los edificios Use of concrete thermal inertia for buildings energy savings *Consumo energético. Ingenio Tecnológico*, 3. <https://ingenio.frlp.utn.edu.ar/index.php/ingenio/article/view/47>
- Monterrosa, D., & Gil, H. (2020). Determinación del efecto de la incorporación de diferentes polímeros termoplásticos en el desempeño ambiental de mezclas de asfalto. *Estructuras, Vías y Transporte*. https://www.researchgate.net/publication/344407470_Determinacion_del_efecto_de_la_incorporacion_de_diferentes_polimeros_termoplasticos_en_el_desempeno_ambiental_de_mezclas_de_asfalto
- Muñoz, C., Zaror, C., Saelzer, G., & Cuchí, A. (2012). Estudio del flujo energético en el ciclo de vida de una vivienda y su implicancia en las emisiones de gases de efecto invernadero, durante la fase de construcción Caso Estudio: Vivienda Tipología Social. Región del Biobío, Chile. *Revista de La Construcción*, 11(3), 125–145. <https://doi.org/10.4067/s0718-915x2012000300011>
- Muñoz, Claudia, & Quiroz, F. (2014). Análisis de Ciclo de Vida en la determinación de la energía contenida y la huella de carbono en el proceso de fabricación del hormigón premezclado. Caso estudio planta productora Región del Bío Bío, Chile. *Revista Hábitat Sustentable*, 4(2), 16–25. <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/447/410>

- Muñoz, E. (2019). Análisis y Factibilidad de costos en proyectos de construcción sostenible [Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/78362/1032378738.2020.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2014). Estructuras de hormigón armado. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-HM-Hormigón-Armado.pdf>
- ONU-Habitat, C. de las N. U. para los A. H. (2015). Lineamientos para el Plan de Acción Climático a Nivel Urbano. 40. <https://unhabitat.org/books/accion-climatico-a-nivel-urbano/>
- ONU. (2022). Mitigation of Climate Change Climate Change 2022 Working Group III contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/uncertainty-guidance-note.pdf>.
- Osorio, J. (2010). Análisis comparativo de materiales bioconstructivos versus materiales clásicos utilizados en 85 viviendas sociales sector bancario en La Unión [Universidad Austral de Chile (UACH)]. <https://www.virtualpro.co/biblioteca/analisis-comparativo-de-materiales-bioconstructivos-versus-materiales-clasicos-utilizados-en-85-viviendas-sociales-sector-bancario-de-la-union>
- Powerhouse. (2018). Powerhouse Telemark. <https://www.powerhouse.no/prosjekter/powerhouse-telemark/>
- Quispe, C. (2016). Análisis de la energía incorporada y emisiones de CO₂ aplicado a viviendas unifamiliares de eficiencia energética [Universidad Politécnica de Cataluña]. <https://www.waie.webs.upc.edu/maema/wp-content/uploads/2016/10/Quispe-Gamboa-Claudia-Nataly.pdf>
- Ríos, A., Guamán, J., & Vargas, C. (2018). Análisis de la Implementación de una Estrategia de Reducción del Consumo Energético en el Sector Residencial del Ecuador: Evaluación del Impacto en la Matriz Energética. <http://revistaenergia.cenace.gob.ec/index.php/cenace/article/view/328/447>
- Rodgers, L. (2018). La enorme fuente de emisiones de CO₂ que está por todas partes y que quizás no conocías. BBC News.
- Rodríguez, G. (2006). El impacto de la enseñanza de la sostenibilidad en la arquitectura y el urbanismo. AUS, 1, 6–9. <https://doi.org/10.4206/aus.2006.n1-09>
- SKANSKA, & SNOHETTA. (2020). Powerhouse Brattørkaia The northernmost plus energy office building in the world Powerhouse Brattørkaia.
- Solís, J. (2010). Evaluación de la huella ecológica del sector edificación (uso residencial) en la comunidad andaluza Departamento de Construcciones Arquitectónicas II. Universidad de Sevilla.
- SunPower. (2011). SunPower E20 / 435 SOLAR PANEL (p. 2).

- Turégano, J. A., Hernández, M. A., & García, F. (Grupo Energía y Edificación/Dpto. de Ingeniería Mecánica, U. de Z. (2013). La inercia térmica de los edificios y su incidencia en las condiciones de confort como refuerzo de los aportes solares de carácter pasivo. *Conarquitectura*, 8(Ediciones para la arquitectura), 65–80. <http://www.conarquitectura.com/articulos tecnicos pdf/08.pdf>
- United Nations. (2016). Report of the Conference of the Parties on its twenty-first session, held in Paris from 30 November to 13 December 2015.
- Urgilés, D. (2017). Inventario del ciclo de vida para la determinación de la energía incorporada y las emisiones de CO₂ en el proceso de elaboración del bloque en una fábrica de Cuenca – Ecuador. [Universidad De Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28601>
- Vanegas, A. (2018). Evaluación de la energía contenida, emisiones de CO₂ y material particulado en la fabricación del ladrillo semi-mecanizado tochano en cuenca, a través del análisis de ciclo de vida (acv). [Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/29319>
- Vanga, M., Briones, O., Zevallos, I., & Delgado, D. (2021). Bioconstrucción de vivienda unifamiliar de interés social con caña Guadua angustifolia Kunth. *Novasinería revista digital de ciencia, ingeniería y tecnología*, 4(1), 53–73. <https://doi.org/10.37135/ns.01.07.03>
- Wadel, G., Avellaneda, J., & Cuchí, A. (2010). Sustainability in industrialised architecture: Closing the materials cycle. *Informes de La Construcción*, 62(517), 37–51. <https://doi.org/10.3989/ic.09.067>
- Wassouf, M. (2014a). De la casa pasiva al estándar Passivhaus: La arquitectura pasiva en climas cálidos.
- Wassouf, M. (2014b). De la casa pasiva al estándar Passivhaus: La arquitectura pasiva en climas cálidos (G. Gili (ed.)). Editorial GG.
- Yuste, B., & Barbeta, G. (2013). ARQUITECTURA DE TIERRA caracterización de los tipos edificatorios [Universidad Politécnica de Cataluña]. https://www.aie.webs.upc.edu/maema/wp-content/uploads/2016/07/26-Beatriz-Yuste-Miguel-Arquitectura-de-tierra_COMPLETO.pdf
- Zalamea, E., & Barragán, A. (2020). Revisión conjunta de fuentes primordiales para autoabastecimiento energético urbano e incidencia solar como principal fuente, en contexto de ciudad ecuatorial-andina. *ACI Avances En Ciencias e Ingenierías*, 12(1), 21. <https://doi.org/10.18272/aci.v12i1.1580>
- Zalamea, E., & Barragán, A. (2021). *Arquitectura, Sol y Energía* (M. P. Andrade (ed.)). Imprenta Universidad de Cuenca.
- Zalamea, E., & Quesada, F. (2017). Criterios de integración de energía solar activa en arquitectura. *Revista de Arquitectura de La Universidad Católica de Colombia*, 19, 57–68. www.rodrirogcue.com

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1.

- **FIGURA 01:** Elaborada por los autores (2022). Ubicación de la ciudad de Cuenca-Ecuador. [Ilustración].
- **FIGURA 02:** Elaborada por los autores (2022), adaptada de Zalamea & Barragán (2021). Oscilación de irradiación en Cuenca Ecuador, como ejemplo de clima ecuatorial andino. [Gráfica].
- **FIGURA 03:** Elaborada por los autores (2022), adaptada de (IEA, 2017). Consumo energético mundial por sectores (%). [Gráfica].
- **FIGURA 04:** Elaborada por los autores (2022), adaptada de INEC (2019). Materiales usados en cimentación. [Gráfica].
- **FIGURA 05:** Elaborada por los autores (2022), adaptada de INEC (2019). Materiales usados en estructura. [Gráfica].
- **FIGURA 06:** Elaborada por los autores (2022), adaptada de INEC (2019). Materiales usados en cubiertas. [Gráfica].
- **FIGURA 07:** Elaborada por los autores (2022), adaptada de INEC (2019). Materiales usados en muros. [Gráfica].
- **FIGURA 08:** Elaborada por los autores (2022), adaptada de INEC (2019). Uso de edificaciones. [Gráfica].
- **FIGURA 09:** Elaborada por los autores (2022), adaptada de INEC (2019). Uso de edificaciones por sectores. [Gráfica].
- **FIGURA 10:** Elaborada por los autores (2022), adaptada de (Ihobe, 2009). Etapas y terminología del Análisis de Ciclo de Vida de un material. [Ilustración].
- **FIGURA 11:** Elaborada por los autores (2022), adaptada de IIGE (2019). Consumo energético del sector residencial. [Gráfica].
- **FIGURA 12:** Fotografía exterior de la Casa de máquinas Brattørkaia. (s.f.). [Fotografía]. Snøhetta. <https://snohetta.com/projects/456-powerhouse-brattorkaia-the-worlds-northernmost-energy-positive-building>.
- **FIGURA 13:** Elaborada por los autores (2022), adaptada de Skanska & Snøhetta, Estudio de Arquitectura (2020). Análisis de formas para garantizar la mayor ganancia energética.[Ilustración].
- **FIGURA 14:** Elaborada por los autores (2022), adaptada de Skanska & Snøhetta, Estudio de Arquitectura (2020). Gráfico de aprovechamiento solar. [Ilustración].
- **FIGURA 15:** Elaborada por los autores (2022), adaptada de Skanska & Snøhetta, Estudio de Arquitectura (2020). Gráfico de inclinación de la cubierta. [Ilustración].
- **FIGURA 16:** Powerhouse Telemark. (s.f.). [Fotografía]. Snøhetta.
- **FIGURA 17:** Skanska & Snøhetta, Estudio de Arquitectura (2020). Emplazamiento del proyecto Powerhouse Telemark. [Gráfico].
- **FIGURA 18:** Casa Vernácula Del sXXI. (s.f.). [Fotografía]. Edra Arquitectura Km0 (2014). <http://arquitectura.edraculturaynaturaleza.com/portfolio-item/casa-de-tapial/>
- **FIGURA 19:** Edra Arquitectura Km0 (2014). Sección del proyecto Casa Vernácula del s. XXI. [Gráfico].

CAPÍTULO 2.

- **FIGURA 20:** Elaborada por los autores (2022). Orientación-Vista Axonométrica. [Ilustración].
- **FIGURA 21:** Elaborada por los autores (2022). Soleamiento de la propuesta de vivienda. Vista Axonométrica. [Ilustración].
- **FIGURA 22:** Elaborada por los autores (2022). Gráfico de dirección de vientos predominantes. Vista Axonométrica. [Ilustración].
- **FIGURA 23:** Elaborada por los autores (2022). Gráfico explicativo de cómo funciona la ventilación natural. Perspectiva Axonométrica. [Ilustración].
- **FIGURA 24:** Elaborada por los autores (2022). Gráfico del comportamiento de los aleros a diferentes horas del día. Perspectiva Axonométrica. [Ilustración].
- **FIGURA 25:** Elaborada por los autores (2022), adaptada de Buele & Chazi (2019). Diagrama de conexión panel-red. [Gráfico].
- **FIGURA 26:** Elaborada por los autores (2022). Gráfico de paneles PV simplemente colocados. [Gráfico].
- **FIGURA 27:** Elaborada por los autores (2022). Gráfico de paneles PV Superpuestos en la edificación. [Gráfico].
- **FIGURA 28:** Elaborada por los autores (2022). Gráfico de paneles PV Integrados Arquitectónicamente. [Gráfico].
- **FIGURA 30:** Elaborada por los autores (2022). Planta arquitectónica. [Ilustración].
- **FIGURA 31:** Elaborada por los autores (2022). Planta de cubiertas. [Ilustración].
- **FIGURA 32:** Elaborada por los autores (2022). Elevación norte. [Ilustración].
- **FIGURA 33:** Elaborada por los autores (2022). Elevación sur. [Ilustración].
- **FIGURA 34:** Elaborada por los autores (2022). Elevación este. [Ilustración].
- **FIGURA 35:** Elaborada por los autores (2022). Elevación oeste. [Ilustración].
- **FIGURA 36:** Elaborada por los autores (2022). Sección A-A. [Ilustración].
- **FIGURA 37:** Elaborada por los autores (2022). Sección B-B. [Ilustración].
- **FIGURA 38:** Elaborada por los autores (2022). Detalle constructivo 1: Estructura de cubierta. [Ilustración].
- **FIGURA 39:** Elaborada por los autores (2022). Detalle constructivo 2: Unión solera-Estructura de cubierta. [Ilustración].
- **FIGURA 40:** Elaborada por los autores (2022). Detalle constructivo 3: Cierre de muro-Estructura de cubierta. [Ilustración].

CAPÍTULO 3.

- **FIGURA 29:** Elaborada por los autores (2022). Gráfico explicativo de distribución de los espacios de la vivienda propuesta. [Ilustración].
- **FIGURA 41:** Elaborada por los autores (2022). Detalle constructivo 4: Cierre de cubierta. [Ilustración].
- **FIGURA 42:** Elaborada por los autores (2022). Detalle constructivo 5: Cierre de cubierta. [Ilustración].

- **FIGURA 43:** Elaborada por los autores (2022). Detalle constructivo 6: Detalle de piso. [Ilustración].
 - **FIGURA 44:** Elaborada por los autores (2022). Detalle constructivo 7: Detalle de tapialera y construcción de muro. [Ilustración].
 - **FIGURA 45:** Elaborada por los autores (2022). Detalle constructivo 8: Detalle de unión muro-solera. [Ilustración].
 - **FIGURA 46:** Elaborada por los autores (2022). Detalle constructivo 9: Detalle de ensamble de columna. [Ilustración].
 - **FIGURA 47:** Elaborada por los autores (2022). Render interno 1-Living. [Ilustración].
 - **FIGURA 48:** Elaborada por los autores (2022). Render interno 2-Cocina,comedor. [Ilustración].
 - **FIGURA 49:** Elaborada por los autores (2022). Render interno 3-Area social. [Ilustración].
 - **FIGURA 50:** Elaborada por los autores (2022). Render interno 4-Pasillo de conexión entre el área social y el área privada. [Ilustración].
 - **FIGURA 51:** Elaborada por los autores (2022). Render interno 5-Living. [Ilustración].
 - **FIGURA 52:** Elaborada por los autores (2022). Render interno 6-Dormitorio master. [Ilustración].
 - **FIGURA 53:** Elaborada por los autores (2022). Render externo 1-Fachada frontal. [Ilustración].
 - **FIGURA 54:** Elaborada por los autores (2022). Render externo 2-Ingreso garage. [Ilustración].
 - **FIGURA 55:** Elaborada por los autores (2022). Render externo 3. [Ilustración].
 - **FIGURA 56:** Elaborada por los autores (2022). Render externo 4-Vista aérea de los paneles PV. [Ilustración].
 - **FIGURA 57:** Elaborada por los autores (2022). Render externo 5-Fachada posterior. [Ilustración].
 - **FIGURA 58:** Elaborada por los autores (2022). Render externo 6-Vista aérea de los paneles PV. [Ilustración].
 - **FIGURA 59:** Elaborada por los autores (2022), obtenido del análisis del proyecto realizado en EcoDesigner. Diagrama del balance energético del proyecto. [Gráfica].
 - **FIGURA 60:** Elaborada por los autores (2022), obtenido del análisis del proyecto realizado en EcoDesigner. Diagrama de valores clave del proyecto. [Gráfica].
 - **FIGURA 61:** Elaborada por los autores (2022), obtenido del análisis del proyecto realizado en EcoDesigner. Diagrama del balance energético del proyecto. [Gráfica].
 - **FIGURA 62:** Elaborada por los autores (2022), obtenido del análisis del proyecto realizado en EcoDesigner. Diagrama del Requerimientos de sistemas de climatización por ambiente del proyecto. [Gráfica].
 - **FIGURA 63:** Elaborada por los autores (2022), obtenido del análisis del proyecto realizado en EcoDesigner. Diagrama de consumo de energía por objetivos. [Gráfica].
- CAPÍTULO 4.**
- **FIGURA 64:** Elaborada por los autores (2022), Gráfica comparativa entre investigaciones. [Gráfica].

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 1.

- **TABLA 01:** Elaborada por los autores (2022), adaptada de Zalamea & Barragán (2021). Temperaturas promedio máxima y mínima promedio de ciudades próximas a la línea ecuatorial, entre los 2000 y 3000 m.s.n.m.. [Tabla].
- **TABLA 02:** Elaborada por los autores (2022), adaptada ARCCERNNR (2021). Energía eléctrica entregada a servicio público e importaciones. [Tabla].
- **TABLA 03:** Elaborada por los autores (2022), recopilado de Wassouf (2014), Zalamea & Barragán (2021), Bernhard (2018). Tabla de resumen de los estándares energéticos. [Tabla].

CAPÍTULO 2.

- **TABLA 04:** Elaborada por los autores (2022), recopilado de Muñoz (2019), Alvarado (2021), Vanegas (2018), Osorio (2010), González & Guerrero (2022), Alvarez & Ripoll (2018), Cepeda & Mardaras (2004), Urgilés (2017), León & Guillén (2019), Monterrosa & Gil (2020), Cal (2017), Rodríguez (2006), Quispe (2016), Solís (2010), Vanga et al. (2021). Energía contenida en materiales de construcción disponibles en la ciudad de Cuenca a partir de referentes. [Tabla].
- **TABLA 05:** Elaborada por los autores (2022), recopilado de INN (2008), ACI (2002), Holguino et al. (2018), Editorial Restauo Compás y Canto (2022), Cuitiño et al. (2020), Canavesi (2021), Barra (2016), Bustamante et al. (2009), Camacho, et al. (2016). Tabla de inercia de los materiales. [Tabla].

- **TABLA 06:** Elaborada por los autores (2022), adaptada de Zalamea & Barragán (2021). Tabla de resumen de los PV. [Tabla].

CAPÍTULO 3.

- **TABLA 07:** Elaborada por los autores (2022), obtenido de SunPowerCorporation (2011). Tabla de características de los paneles PV seleccionados. [Tabla].
- **TABLA 08:** Elaborada por los autores (2022), recopilado de Alvarado (2021), Osorio (2010), Muñoz (2019), Vanegas (2018), Gonzalez & Guerrero (2022), Gil & Monterrosa (2019). Tabla de cantidades de Energía Contenida en materiales de construcción de la vivienda propuesta. [Tabla].
- **TABLA 09:** Elaborada por los autores (2022), Muñoz et al. (2012). Tabla de cantidades de Energía Contenida en actividades de construcción de la vivienda propuesta. [Tabla].
- **TABLA 10:** Elaborada por los autores (2022), datos obtenidos del análisis del proyecto realizado en EcoDesigner. Tabla de Temperaturas. [Tabla].
- **TABLA 11:** Elaborada por los autores (2022), datos obtenidos del análisis del proyecto realizado en SAM. Tabla resultados de la producción energética. [Tabla].

CAPÍTULO 4.

- **TABLA 12:** Elaborada por los autores (2022). Tabla de análisis energético de la propuesta. [Tabla].

ANNE

XOS

ANEXO 1: Catálogo del panel PV usado para los análisis del proyecto.

SUNPOWER E20/435 SOLAR PANEL

20% EFFICIENCY
SunPower E20 panels are the highest efficiency panels on the market today, providing more power in the same amount of space

MAXIMUM SYSTEM OUTPUT
Comprehensive inverter compatibility ensures that customers can pair the highest efficiency panels with the highest-efficiency inverters, maximizing system output

REDUCED INSTALLATION COST
More power per panel means fewer panels per install. This saves both time and money.

RELIABLE AND ROBUST DESIGN
SunPower's unique Maxeon™ cell technology and advanced module design ensure industry-leading reliability



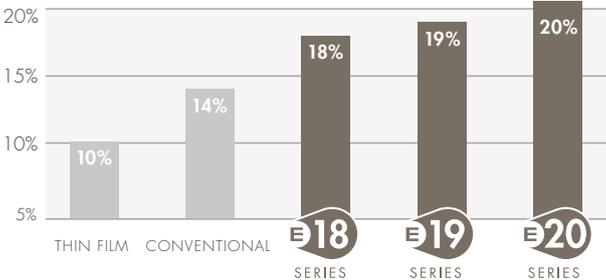


E20
SERIES

THE WORLD'S STANDARD FOR SOLAR™

SunPower™ E20 Solar Panels provide today's highest efficiency and performance. Powered by SunPower Maxeon™ cell technology, the E20 series provides panel conversion efficiencies of up to 20.1%. The E20's low voltage temperature coefficient, anti-reflective glass and exceptional low-light performance attributes provide outstanding energy delivery per peak power watt.

SUNPOWER'S HIGH EFFICIENCY ADVANTAGE

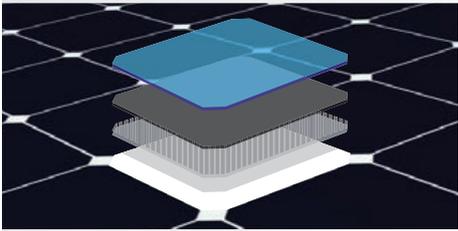


Technology	Efficiency (%)
THIN FILM	10%
CONVENTIONAL	14%
E18 SERIES	18%
E19 SERIES	19%
E20 SERIES	20%






sunpowercorp.com



MAXEON™ CELL TECHNOLOGY

Patented all-back-contact solar cell, providing the industry's highest efficiency and reliability.

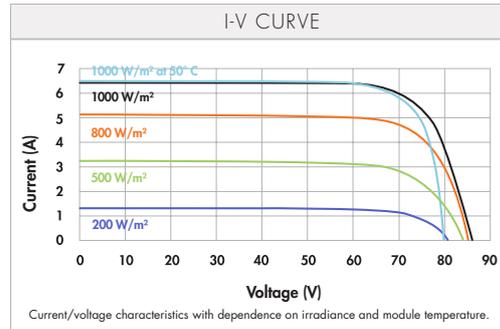
SUNPOWER

E20/435 SOLAR PANEL

MODEL: SPR-435NE-WHT-D

ELECTRICAL DATA		
Measured at Standard Test Conditions (STC): Irradiance 1000W/m ² , AM 1.5, and cell temperature 25° C		
Nominal Power (+/-5%)	P _{nom}	435 W
Cell Efficiency	η	22.4%
Panel Efficiency	η	20.1 %
Rated Voltage	V _{mpp}	72.9 V
Rated Current	I _{mpp}	5.97 A
Open-Circuit Voltage	V _{oc}	85.6 V
Short-Circuit Voltage	I _{sc}	6.43 A
Maximum System Voltage	IEC	1000 V
Temperature Coefficients	Power (P)	- 0.38%/K
	Voltage (V _{oc})	-235.5mV/K
	Current (I _{sc})	3.5mA /K
NOCT		45°C +/- 2°C
Series Fuse Rating		20 A
Limiting Reverse Current (3 strings)	I _r	16.1 A
Grounding		Positive grounding not required

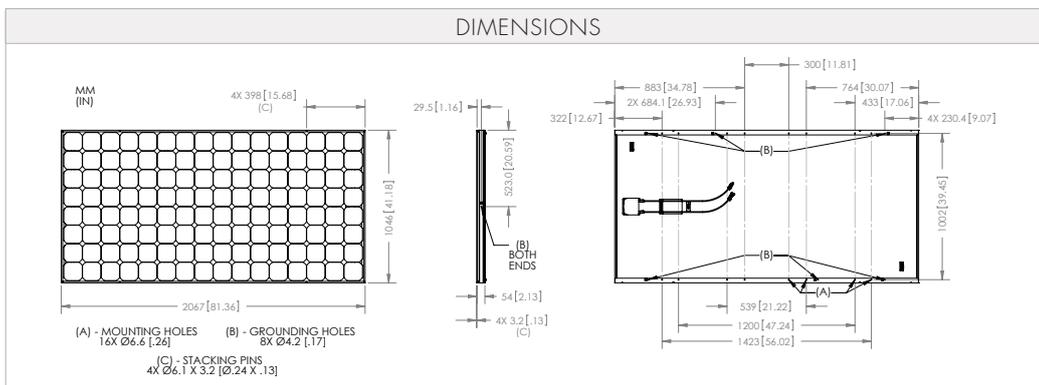
ELECTRICAL DATA		
Measured at Nominal Operating Cell Temperature (NOCT): Irradiance 800W/m ² , 20° C, wind 1 m/s		
Nominal Power	P _{nom}	323 W
Rated Voltage	V _{mpp}	67.2 V
Rated Current	I _{mpp}	4.81 A
Open-Circuit Voltage	V _{oc}	80.1 V
Short-Circuit Voltage	I _{sc}	5.20 A



TESTED OPERATING CONDITIONS	
Temperature	- 40° C to +85° C
Max load	550 kg/m ² [5400 Pa], front (e.g. snow) w/specified mounting configurations 245 kg/m ² [2400 Pa] front and back (e.g. wind)
Impact Resistance	Hail: 25 mm at 23 m/s

WARRANTIES AND CERTIFICATIONS	
Warranties	25-year limited power warranty 10-year limited product warranty
Certifications	IEC 61215 Ed. 2, IEC 61730 (SCII)

MECHANICAL DATA			
Cells	128 SunPower Maxeon™ cells	Output Cables	700 mm cables / Multi-Contact (MC4) connectors
Front Glass	High-transmission tempered glass with anti-reflective (AR) coating	Frame	Anodised aluminium alloy type 6063 (silver)
Junction Box	IP-65 rated with 3 bypass diodes 32 x 155 x 128 mm	Weight	28.6 kg



Please read safety and installation instructions before using this product, visit sunpowercorp.com for more details.

© 2011 SunPower Corporation. SUNPOWER, the SunPower Logo, and THE WORLD'S STANDARD FOR SOLAR, and MAXEON are trademarks or registered trademarks of SunPower Corporation in the US and other countries as well. All Rights Reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

ANEXO 2: Informe de evaluación del rendimiento energético del proyecto realizado con la herramienta EcoDesigner.

Valores Clave

Datos generales del proyecto

Nombre Proyecto:	Archivo energé...
Ubicación Ciudad:	
Latitud:	2° 53' 51" S
Longitud:	79° 0' 16" O
Altitud:	2530.00 m
Origen de Datos Climáticos:	Cuenca-hour.epw
Fecha de Evaluación:	03/08/2022 14:44

Datos de geometría del edificio

Área bruta de la planta:	228.39	m ²
Área de Suelo Tratado:	175.88	m ²
Área del Envoltente Exterior:	408.69	m ²
Volumen ventilado:	527.28	m ³
Ratio acristalamiento:	7	%

Datos de rendimiento de la estructura

Infiltración a 50Pa:	12.49	AAH
----------------------	--------------	-----

Coefficientes de transfer.

Valor U	[W/m ² K]
Promedio Edificio Entero:	1.66
Pavimentos:	2.00 - 2.00
Externo:	0.20 - 5.33
Subterráneo:	--
Aberturas:	2.11 - 5.74

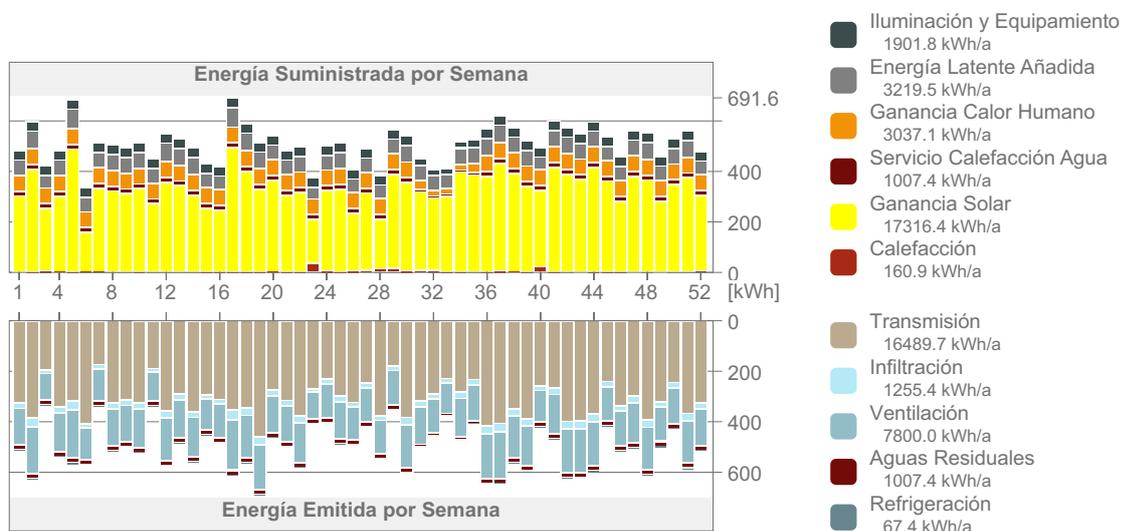
Valores Anuales Específicos

Energía calorífica Neta:	0.91	kWh/m ² a
Energía refrigerante Neta:	0.38	kWh/m ² a
Energía Neta Total:	1.30	kWh/m ² a
Consumo de Energía:	17.84	kWh/m ² a
Consumo de Combustible:	12.03	kWh/m ² a
Energía Primaria:	42.11	kWh/m ² a
Coste Combustible:	1.11	USD/m ² a
Emisión CO ₂ :	0.35	kg/m ² a

Días-Grado

Calefacción (HDD):	1148.65
Refrigeración (CDD):	2162.73

Balance Energético del Proyecto



Bloques Térmicos

Bloque Térmico	Zonas Asignado	Perfil de Operación	Área Bruta de la m ²	Volumen m ³
001 Living	1	Z1.1 Living	40.18	111.72
002 Cocina	1	Z1 Cocina	13.59	34.31
003 Oficina	1	Z2 Estudio	19.77	46.81
004 Dormitorio hijo 1	1	Z3 Dormitorio Hijos	19.75	46.78
005 Dormitorio hijo 2	1	Z3 Dormitorio Hijos	19.77	46.81
006 Dormitorio master	1	Z4 Dormitorio ma...	26.24	62.79
007 Vestidor	1	Z5.1 Vestidor	11.98	25.13

Bloque Térmico	Zonas Asignado	Perfil de Operación	Área Bruta de la m ²	Volumen m ³
008 Baño Padres	1	Z5 Baños privados	10.53	20.46
009 Baño Hijos	1	Z5 Baños privados	10.55	20.46
010 Lavandería	1	Z6 Lavandería	6.73	12.56
011 Baño Social	1	Z8 Baño social	3.97	6.33
012 Vestíbulo	1	Z7 Circulación	9.87	19.04
013 Circulación	1	Z7 Circulación	35.46	74.08
Total:	13		228.39	527.28

001 Living - Valores Clave

Datos de la Geometría			Coefficientes de transfer.	Valor U	[W/m ² K]
Área bruta de la planta:	40.18	m ²	Pavimentos:	-	
Área suelo tratado	33.20	m ²	Externo:	0.20 - 2.47	
Área de estruct. compleja:	79.55	m ²	Subterráneo:	-	
Volumen ventilado:	111.72	m ³	Aberturas:	5.50 - 5.74	
Ratio acristalamiento:	12	%			
Temperatura Interna			Provisiones Anuales		
Min. (06:00 Jul 16):	11.89	°C	Calefacción:	88.80	kWh
Media Anual:	19.70	°C	Refrigeración:	67.00	kWh
Max. (10:00 Dic 20):	32.65	°C	Picos de Carga		
Horas de carga no satisfechas			Calefacción (07:00 Jun 28):	1.29	kW
Calefacción:	38	hrs/a	Refrigeración (10:00 Ene 21):	1.50	kW
Refrigeración:	20	hrs/a			

002 Cocina - Valores Clave

Datos de la Geometría			Coefficientes de transfer.	Valor U	[W/m ² K]
Área bruta de la planta:	13.59	m ²	Pavimentos:	2.00 - 2.00	
Área suelo tratado	11.20	m ²	Externo:	0.20 - 2.47	
Área de estruct. compleja:	20.76	m ²	Subterráneo:	-	
Volumen ventilado:	34.31	m ³	Aberturas:	5.40 - 5.40	
Ratio acristalamiento:	9	%			
Temperatura Interna			Provisiones Anuales		
Min. (07:00 Ago 04):	14.10	°C	Calefacción:	0.93	kWh
Media Anual:	20.22	°C	Refrigeración:	0.43	kWh
Max. (10:00 Dic 20):	26.10	°C	Picos de Carga		
Horas de carga no satisfechas			Calefacción (07:00 Jul 16):	0.32	kW
Calefacción:	1	hrs/a	Refrigeración (14:00 Dic 20):	0.13	kW
Refrigeración:	0	hrs/a			

003 Oficina - Valores Clave

Datos de la Geometría			Coefficientes de transfer.		
Área bruta de la planta:	19.77	m ²	Pavimentos:	2.00 - 2.00	Valor U [W/m ² K]
Área suelo tratado	15.12	m ²	Externo:	0.20 - 1.89	
Área de estruct. compleja:	29.43	m ²	Subterráneo:	-	
Volumen ventilado:	46.81	m ³	Aberturas:	5.40 - 5.40	
Ratio acristalamiento:	6	%			
Temperatura Interna			Provisiones Anuales		
Min. (07:00 Ago 04):	15.12	°C	Calefacción:	4.06	kWh
Media Anual:	19.51	°C	Refrigeración:	0.00	kWh
Max. (18:00 Mar 31):	23.19	°C			
Horas de carga no satisfechas			Picos de Carga		
Calefacción:	0	hrs/a	Calefacción (19:00 Jun 08):	0.33	kW
Refrigeración:	0	hrs/a	Refrigeración (01:00 Ene 01):	0.00	kW

004 Dormitorio hijo 1 - Valores Clave

Datos de la Geometría			Coefficientes de transfer.		
Área bruta de la planta:	19.75	m ²	Pavimentos:	2.00 - 2.00	Valor U [W/m ² K]
Área suelo tratado	15.12	m ²	Externo:	0.20 - 1.89	
Área de estruct. compleja:	29.41	m ²	Subterráneo:	-	
Volumen ventilado:	46.78	m ³	Aberturas:	5.40 - 5.40	
Ratio acristalamiento:	6	%			
Temperatura Interna			Provisiones Anuales		
Min. (07:00 Ago 04):	15.24	°C	Calefacción:	4.19	kWh
Media Anual:	20.12	°C	Refrigeración:	0.00	kWh
Max. (17:00 Mar 20):	23.77	°C			
Horas de carga no satisfechas			Picos de Carga		
Calefacción:	0	hrs/a	Calefacción (06:00 Jun 09):	0.26	kW
Refrigeración:	0	hrs/a	Refrigeración (01:00 Ene 01):	0.00	kW

005 Dormitorio hijo 2 - Valores Clave

Datos de la Geometría			Coefficientes de transfer.		
Área bruta de la planta:	19.77	m ²	Pavimentos:	2.00 - 2.00	Valor U [W/m ² K]
Área suelo tratado	15.12	m ²	Externo:	0.20 - 1.89	
Área de estruct. compleja:	29.43	m ²	Subterráneo:	-	
Volumen ventilado:	46.81	m ³	Aberturas:	5.40 - 5.40	
Ratio acristalamiento:	6	%			
Temperatura Interna			Provisiones Anuales		
Min. (07:00 Ago 04):	15.29	°C	Calefacción:	4.38	kWh
Media Anual:	20.11	°C	Refrigeración:	0.00	kWh
Max. (17:00 Mar 20):	23.80	°C			
Horas de carga no satisfechas			Picos de Carga		
Calefacción:	0	hrs/a	Calefacción (06:00 Jun 09):	0.26	kW
Refrigeración:	0	hrs/a	Refrigeración (01:00 Ene 01):	0.00	kW

006 Dormitorio master - Valores Clave

Datos de la Geometría			Coefficientes de transfer.		
Área bruta de la planta:	26.24	m ²	Pavimentos:	Valor U	[W/m ² K]
Área suelo tratado	21.00	m ²	Externo:	2.00 - 2.00	
Área de estruct. compleja:	50.34	m ²	Subterráneo:	0.20 - 2.47	
Volumen ventilado:	62.79	m ³	Aberturas:	-	
Ratio acristalamiento:	7	%		5.40 - 5.50	
Temperatura Interna			Provisiones Anuales		
Min. (12:00 Ago 03):	15.64	°C	Calefacción:	58.56	kWh
Media Anual:	19.59	°C	Refrigeración:	0.00	kWh
Max. (11:00 Jun 21):	24.79	°C	Picos de Carga		
			Calefacción (06:00 Jul 16):	0.66	kW
			Refrigeración (01:00 Ene 01):	0.00	kW
Horas de carga no satisfechas					
Calefacción:	0	hrs/a			
Refrigeración:	0	hrs/a			

007 Vestidor - Valores Clave

Datos de la Geometría			Coefficientes de transfer.		
Área bruta de la planta:	11.98	m ²	Pavimentos:	Valor U	[W/m ² K]
Área suelo tratado	9.24	m ²	Externo:	2.00 - 2.00	
Área de estruct. compleja:	26.05	m ²	Subterráneo:	0.20 - 2.47	
Volumen ventilado:	25.13	m ³	Aberturas:	-	
Ratio acristalamiento:	1	%		4.94 - 4.94	
Temperatura Interna			Provisiones Anuales		
Min. (09:00 Jun 09):	14.09	°C	Calefacción:	0.00	kWh
Media Anual:	19.02	°C	Refrigeración:	0.00	kWh
Max. (21:00 Mar 31):	24.56	°C	Picos de Carga		
			Calefacción (01:00 Ene 01):	0.00	kW
			Refrigeración (01:00 Ene 01):	0.00	kW
Horas de carga no satisfechas					
Calefacción:	0	hrs/a			
Refrigeración:	0	hrs/a			

008 Baño Padres - Valores Clave

Datos de la Geometría			Coefficientes de transfer.		
Área bruta de la planta:	10.53	m ²	Pavimentos:	Valor U	[W/m ² K]
Área suelo tratado	7.32	m ²	Externo:	2.00 - 2.00	
Área de estruct. compleja:	19.77	m ²	Subterráneo:	0.20 - 3.81	
Volumen ventilado:	20.46	m ³	Aberturas:	-	
Ratio acristalamiento:	1	%		4.94 - 4.94	
Temperatura Interna			Provisiones Anuales		
Min. (09:00 Jun 09):	14.70	°C	Calefacción:	0.00	kWh
Media Anual:	19.42	°C	Refrigeración:	0.00	kWh
Max. (21:00 Mar 21):	24.38	°C	Picos de Carga		
			Calefacción (01:00 Ene 01):	0.00	kW
			Refrigeración (01:00 Ene 01):	0.00	kW
Horas de carga no satisfechas					
Calefacción:	0	hrs/a			
Refrigeración:	0	hrs/a			

009 Baño Hijos - Valores Clave

Datos de la Geometría			Coefficientes de transfer.			Valor U	[W/m ² K]
Área bruta de la planta:	10.55	m ²	Pavimentos:	2.00 - 2.00			
Área suelo tratado	7.32	m ²	Externo:	0.20 - 3.81			
Área de estruct. compleja:	19.77	m ²	Subterráneo:	-			
Volumen ventilado:	20.46	m ³	Aberturas:	4.94 - 4.94			
Ratio acristalamiento:	1	%					
Temperatura Interna			Provisiones Anuales				
Min. (09:00 Jun 09):	14.74	°C	Calefacción:	0.00		kWh	
Media Anual:	19.44	°C	Refrigeración:	0.00		kWh	
Max. (21:00 Mar 21):	24.35	°C					
Horas de carga no satisfechas			Picos de Carga				
Calefacción:	0	hrs/a	Calefacción (01:00 Ene 01):	0.00		kW	
Refrigeración:	0	hrs/a	Refrigeración (01:00 Ene 01):	0.00		kW	

010 Lavandería - Valores Clave

Datos de la Geometría			Coefficientes de transfer.			Valor U	[W/m ² K]
Área bruta de la planta:	6.73	m ²	Pavimentos:	2.00 - 2.00			
Área suelo tratado	4.48	m ²	Externo:	0.20 - 3.81			
Área de estruct. compleja:	13.79	m ²	Subterráneo:	-			
Volumen ventilado:	12.56	m ³	Aberturas:	4.94 - 4.94			
Ratio acristalamiento:	1	%					
Temperatura Interna			Provisiones Anuales				
Min. (08:00 Jun 09):	14.53	°C	Calefacción:	0.00		kWh	
Media Anual:	19.22	°C	Refrigeración:	0.00		kWh	
Max. (10:00 Abr 01):	23.97	°C					
Horas de carga no satisfechas			Picos de Carga				
Calefacción:	0	hrs/a	Calefacción (01:00 Ene 01):	0.00		kW	
Refrigeración:	0	hrs/a	Refrigeración (01:00 Ene 01):	0.00		kW	

011 Baño Social - Valores Clave

Datos de la Geometría			Coefficientes de transfer.			Valor U	[W/m ² K]
Área bruta de la planta:	3.97	m ²	Pavimentos:	2.00 - 2.00			
Área suelo tratado	2.24	m ²	Externo:	0.20 - 5.33			
Área de estruct. compleja:	12.71	m ²	Subterráneo:	-			
Volumen ventilado:	6.33	m ³	Aberturas:	4.94 - 4.94			
Ratio acristalamiento:	1	%					
Temperatura Interna			Provisiones Anuales				
Min. (09:00 Jul 16):	14.12	°C	Calefacción:	0.00		kWh	
Media Anual:	18.81	°C	Refrigeración:	0.00		kWh	
Max. (19:00 Dic 20):	23.22	°C					
Horas de carga no satisfechas			Picos de Carga				
Calefacción:	0	hrs/a	Calefacción (01:00 Ene 01):	0.00		kW	
Refrigeración:	0	hrs/a	Refrigeración (01:00 Ene 01):	0.00		kW	

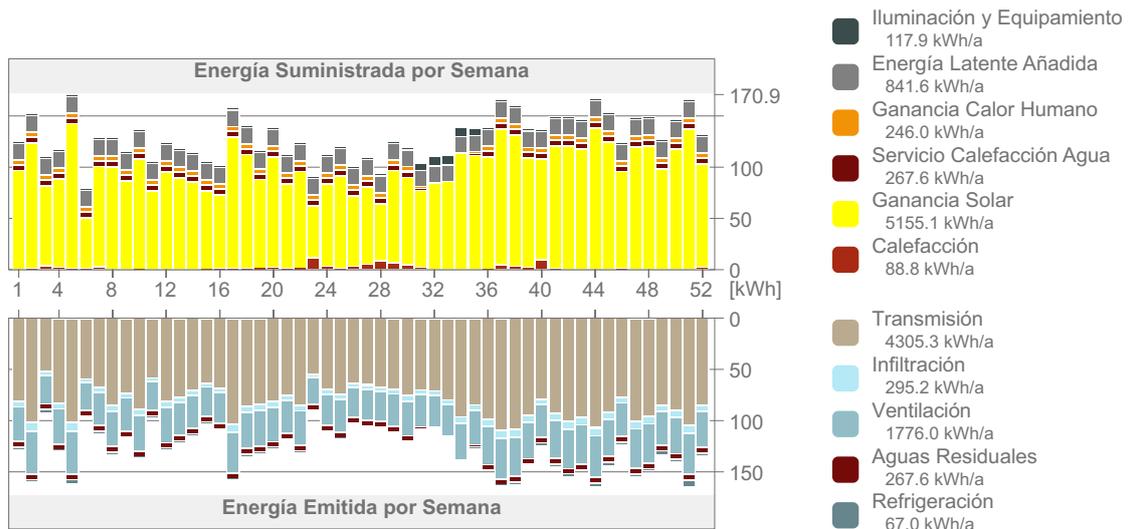
012 Vestíbulo - Valores Clave

Datos de la Geometría		Coefficientes de transfer.		Valor U	[W/m²K]
Área bruta de la planta:	9.87	m²	Pavimentos:	2.00 - 2.00	
Área suelo tratado	6.94	m²	Externo:	0.20 - 2.47	
Área de estruct. compleja:	28.11	m²	Subterráneo:	-	
Volumen ventilado:	19.04	m³	Aberturas:	2.11 - 2.11	
Ratio acristalamiento:	0	%	Provisiones Anuales		
Temperatura Interna		Provisiones Anuales		Calefacción:	0.00 kWh
Min. (08:00 Jul 16):	13.69	°C	Refrigeración:	0.00 kWh	
Media Anual:	18.51	°C	Picos de Carga		
Max. (24:00 Mar 31):	23.19	°C	Calefacción (01:00 Ene 01):	0.00 kWh	
Horas de carga no satisfechas		Horas de carga no satisfechas		Refrigeración (01:00 Ene 01):	0.00 kWh
Calefacción:	0	hrs/a	Calefacción:	0.00	kW
Refrigeración:	0	hrs/a	Refrigeración:	0.00	kW

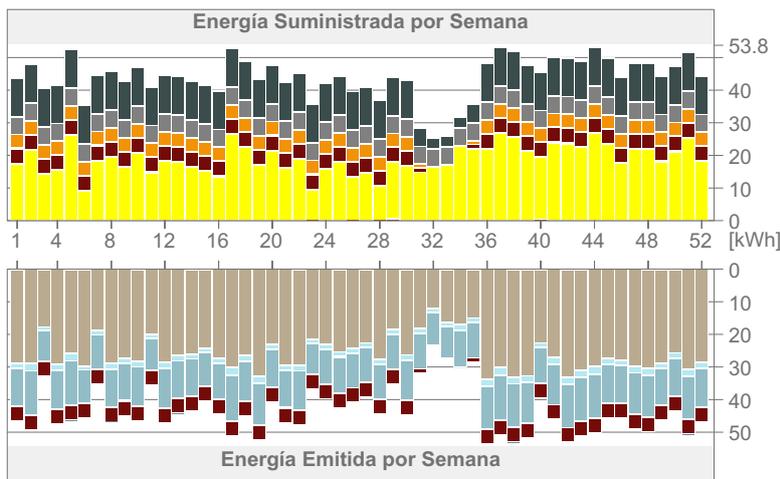
013 Circulación - Valores Clave

Datos de la Geometría		Coefficientes de transfer.		Valor U	[W/m²K]
Área bruta de la planta:	35.46	m²	Pavimentos:	2.00 - 2.00	
Área suelo tratado	27.58	m²	Externo:	0.20 - 2.92	
Área de estruct. compleja:	49.56	m²	Subterráneo:	-	
Volumen ventilado:	74.08	m³	Aberturas:	5.74 - 5.74	
Ratio acristalamiento:	17	%	Provisiones Anuales		
Temperatura Interna		Provisiones Anuales		Calefacción:	0.00 kWh
Min. (07:00 Jun 09):	14.35	°C	Refrigeración:	0.00 kWh	
Media Anual:	20.22	°C	Picos de Carga		
Max. (18:00 Mar 20):	31.30	°C	Calefacción (01:00 Ene 01):	0.00 kWh	
Horas de carga no satisfechas		Horas de carga no satisfechas		Refrigeración (01:00 Ene 01):	0.00 kWh
Calefacción:	0	hrs/a	Calefacción:	0.00	kW
Refrigeración:	0	hrs/a	Refrigeración:	0.00	kW

001 Living Nivel de Energía

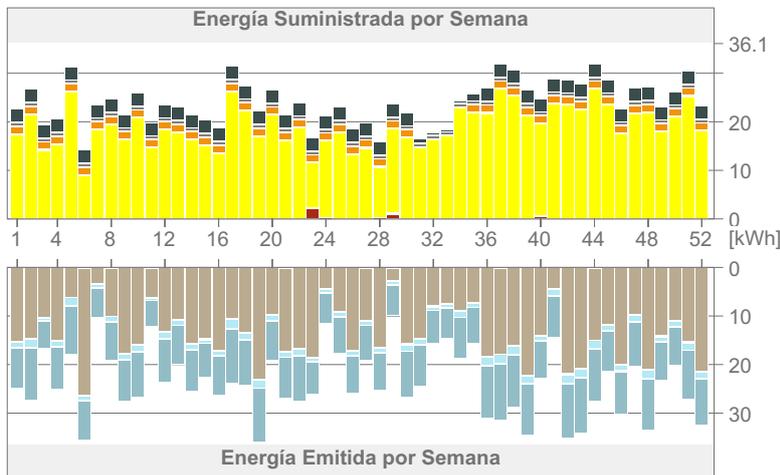


002 Cocina Nivel de Energía



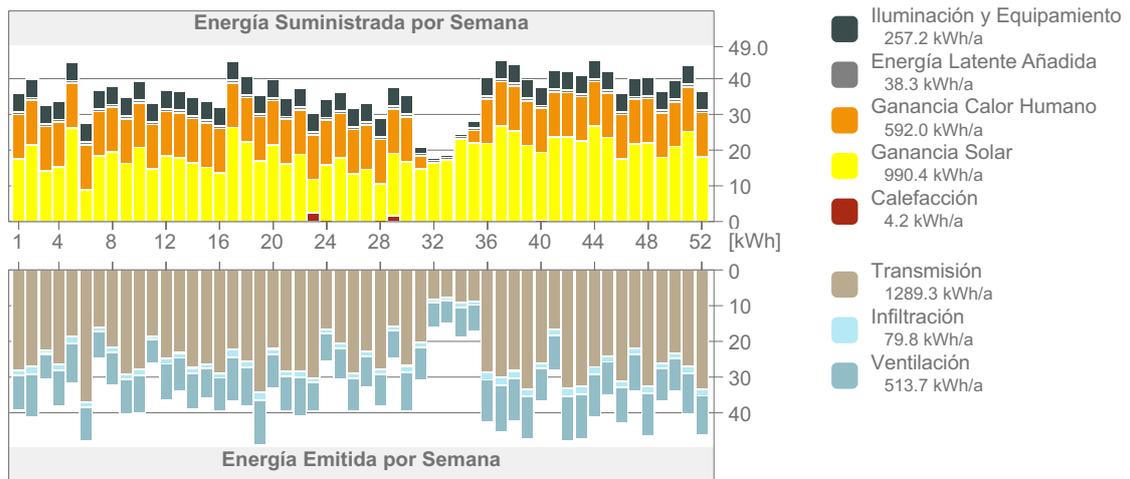
- Iluminación y Equipamiento
582.4 kWh/a
- Energía Latente Añadida
283.8 kWh/a
- Ganancia Calor Humano
204.0 kWh/a
- Servicio Calefacción Agua
221.9 kWh/a
- Ganancia Solar
992.1 kWh/a
- Calefacción
0.9 kWh/a
- Transmisión
1361.7 kWh/a
- Infiltración
88.8 kWh/a
- Ventilación
610.5 kWh/a
- Aguas Residuales
221.9 kWh/a
- Refrigeración
0.4 kWh/a

003 Oficina Nivel de Energía

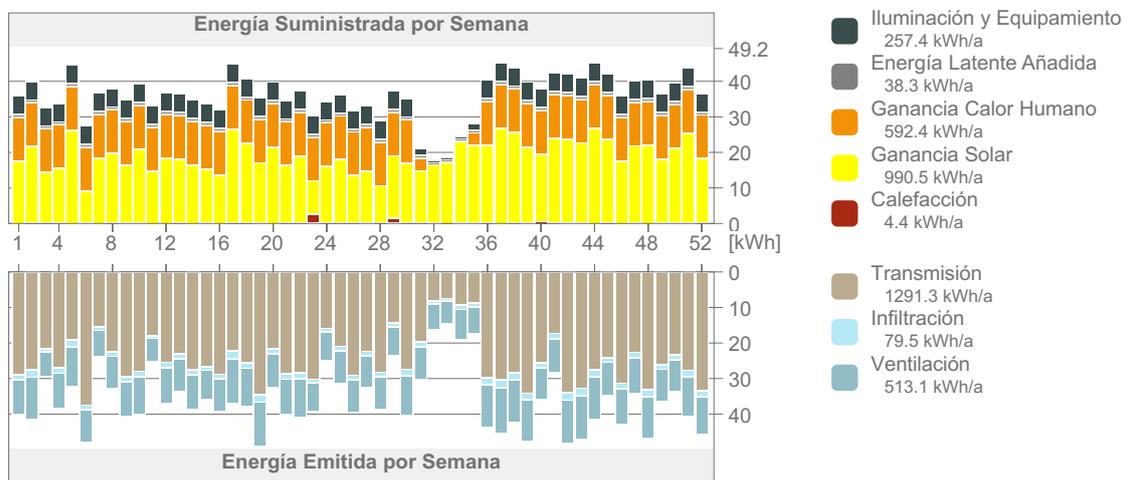


- Iluminación y Equipamiento
134.7 kWh/a
- Energía Latente Añadida
38.3 kWh/a
- Ganancia Calor Humano
79.5 kWh/a
- Ganancia Solar
990.1 kWh/a
- Calefacción
4.1 kWh/a
- Transmisión
725.0 kWh/a
- Infiltración
66.4 kWh/a
- Ventilación
454.5 kWh/a

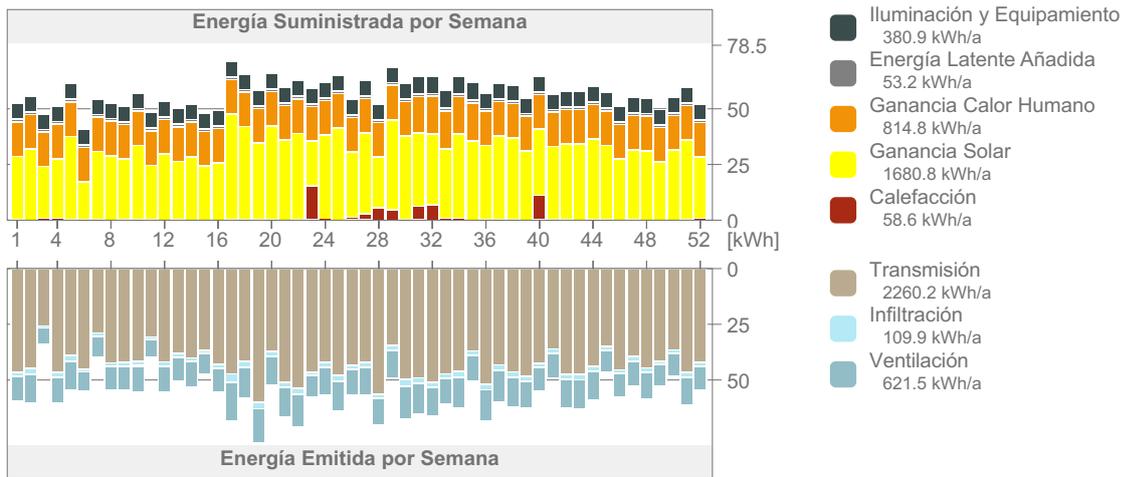
004 Dormitorio hijo 1 Nivel de Energía



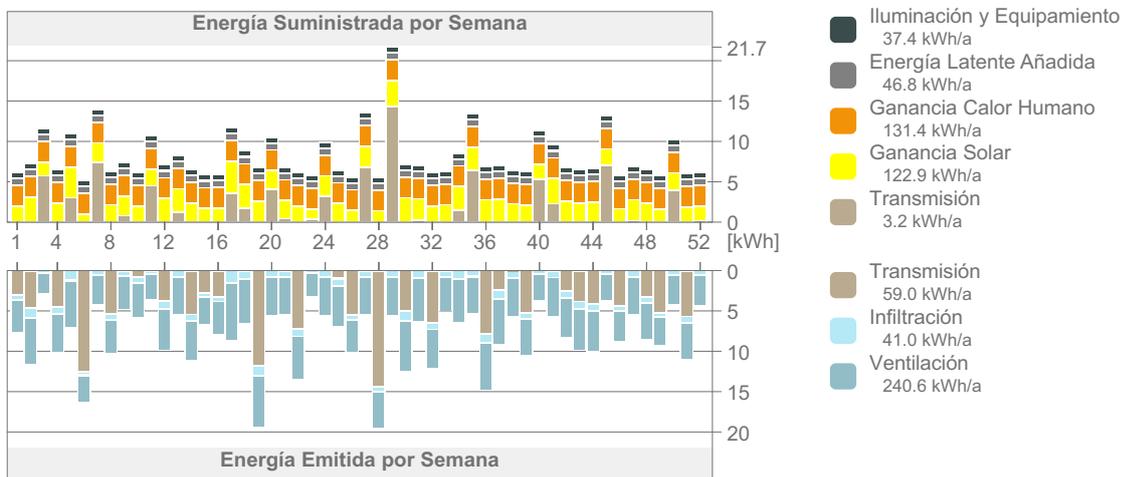
005 Dormitorio hijo 2 Nivel de Energía



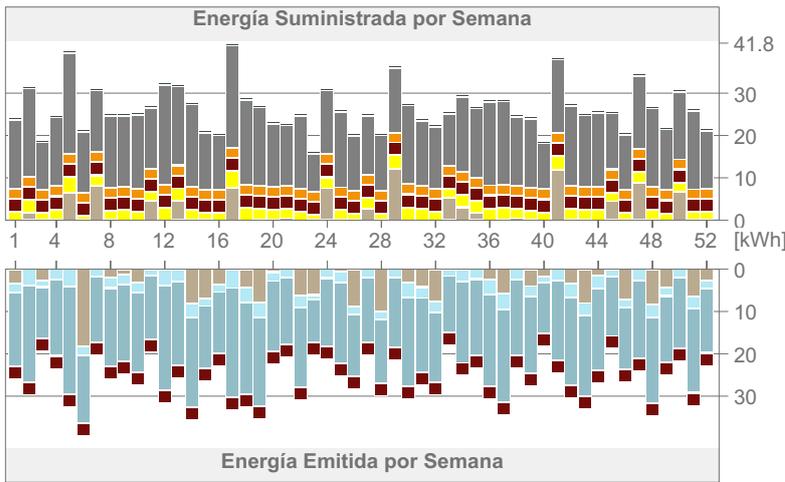
006 Dormitorio master Nivel de Energía



007 Vestidor Nivel de Energía

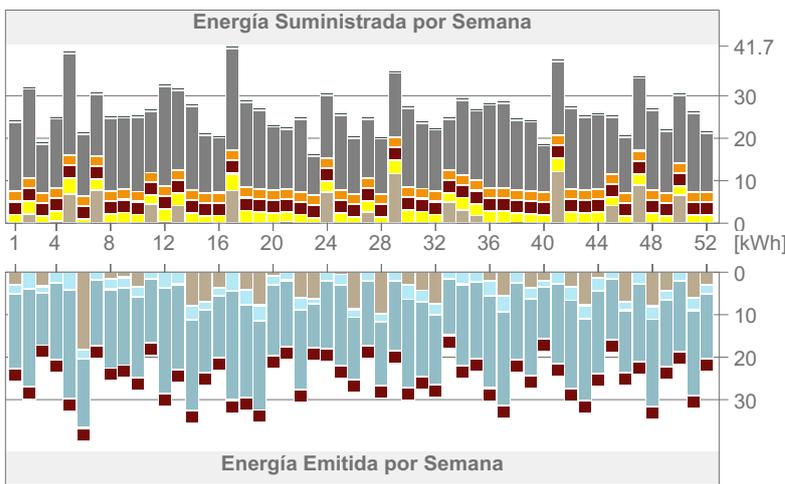


008 Baño Padres Nivel de Energía



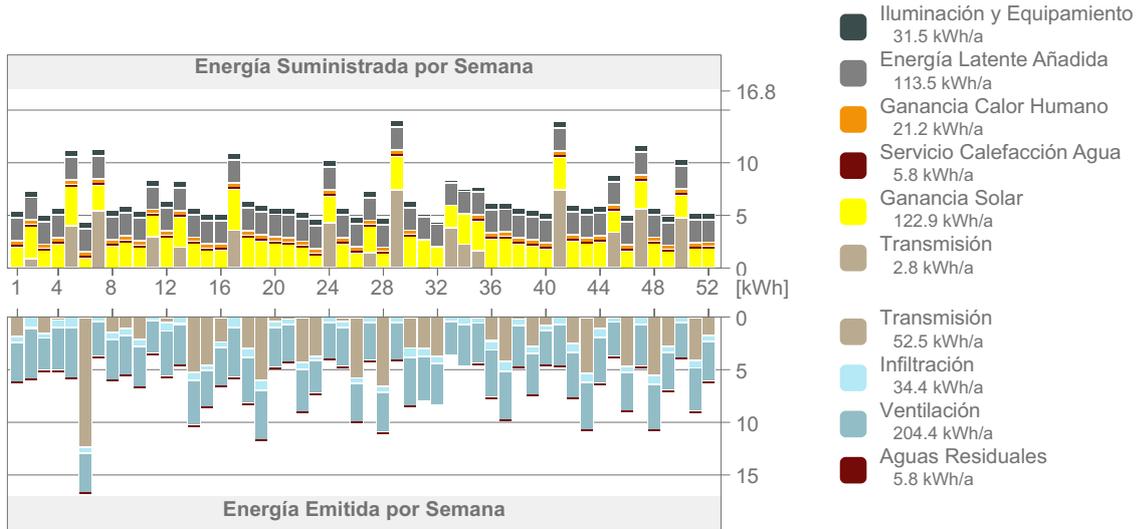
- Iluminación y Equipamiento 29.7 kWh/a
- Energía Latente Añadida 853.1 kWh/a
- Ganancia Calor Humano 123.6 kWh/a
- Servicio Calefacción Agua 161.2 kWh/a
- Ganancia Solar 122.9 kWh/a
- Transmisión 2.7 kWh/a
- Transmisión 68.6 kWh/a
- Infiltración 131.3 kWh/a
- Ventilación 931.9 kWh/a
- Aguas Residuales 161.2 kWh/a

009 Baño Hijos Nivel de Energía

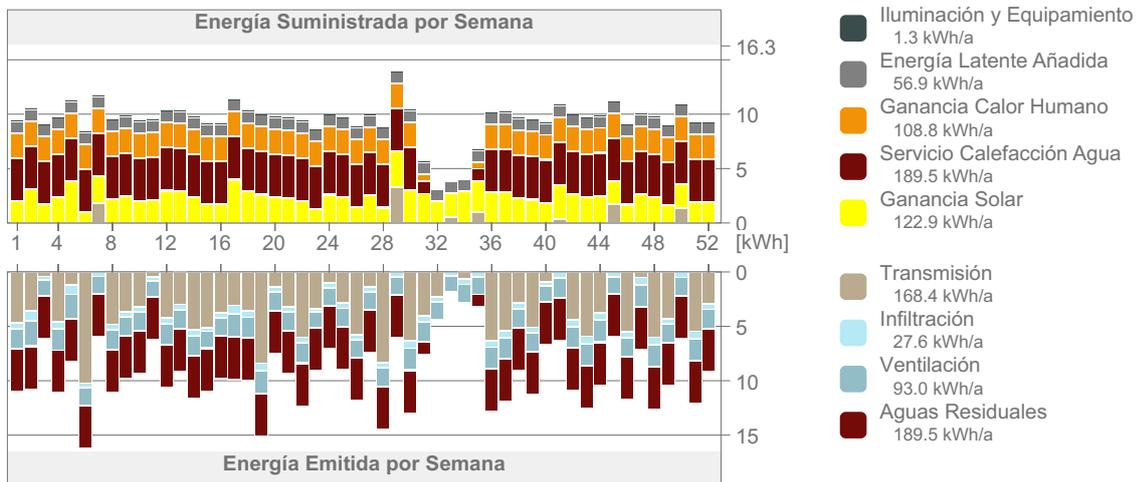


- Iluminación y Equipamiento 29.7 kWh/a
- Energía Latente Añadida 855.5 kWh/a
- Ganancia Calor Humano 123.6 kWh/a
- Servicio Calefacción Agua 161.3 kWh/a
- Ganancia Solar 122.9 kWh/a
- Transmisión 2.4 kWh/a
- Transmisión 67.2 kWh/a
- Infiltración 131.9 kWh/a
- Ventilación 934.8 kWh/a
- Aguas Residuales 161.3 kWh/a

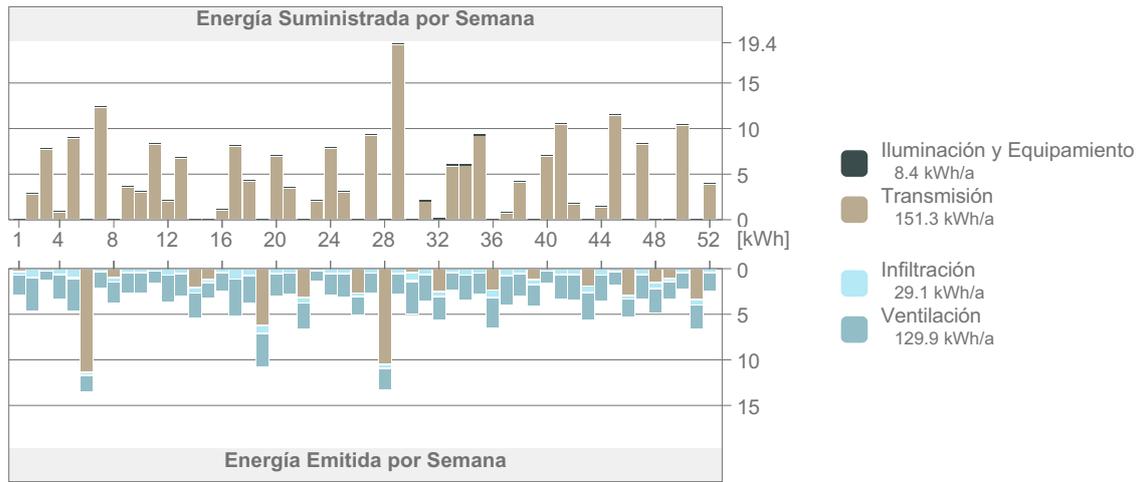
010 Lavandería Nivel de Energía



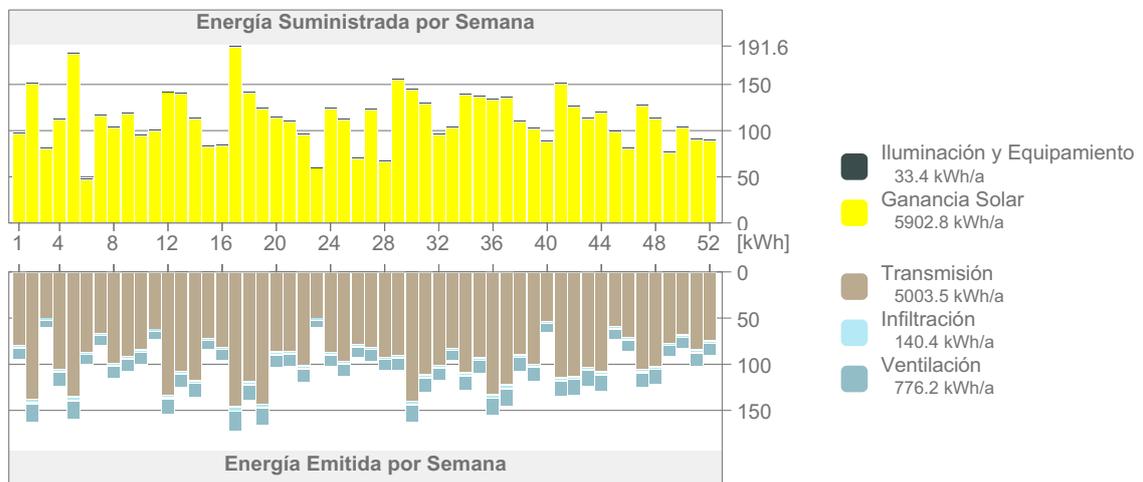
011 Baño Social Nivel de Energía



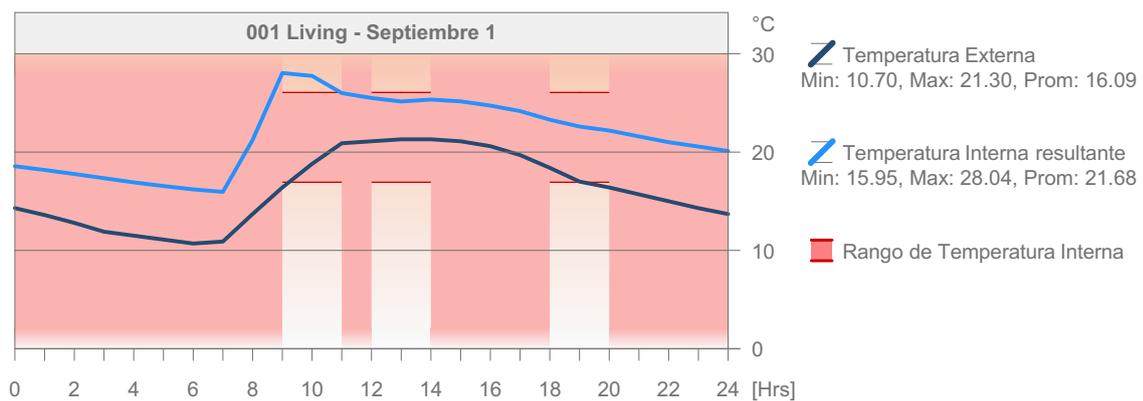
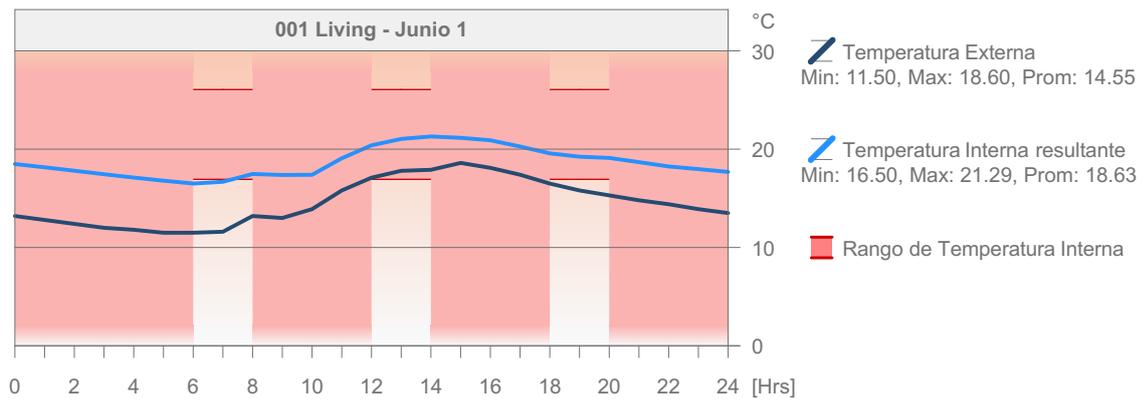
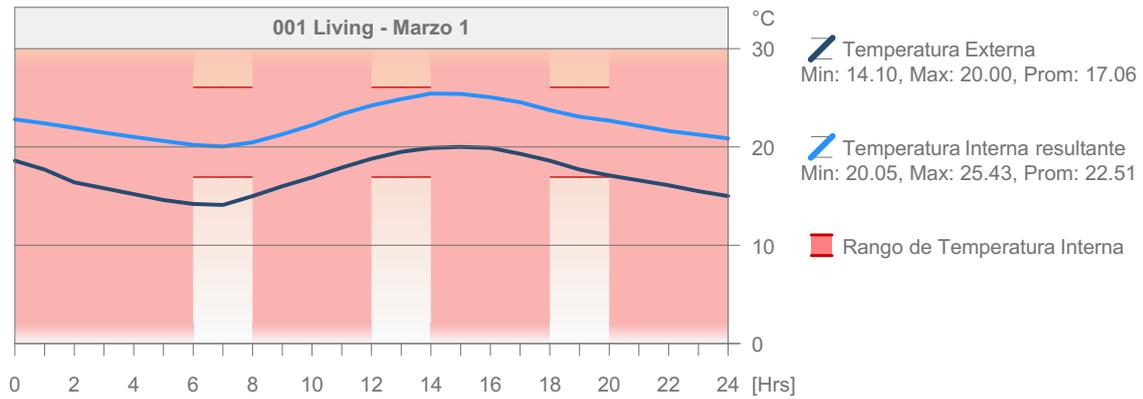
012 Vestíbulo Nivel de Energía

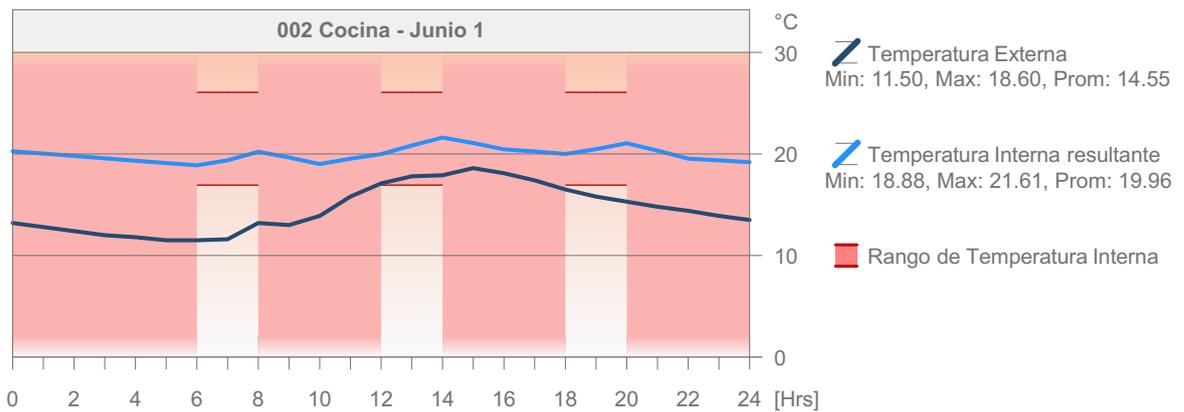
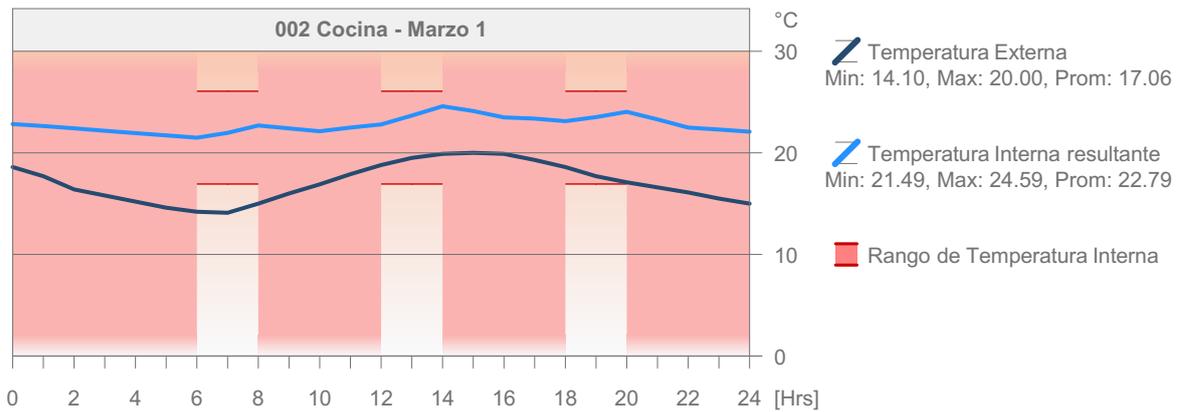
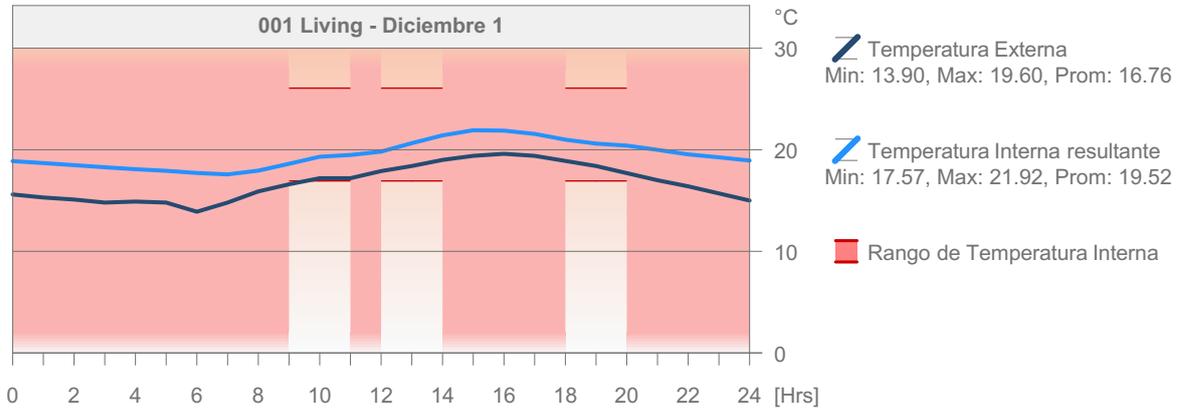


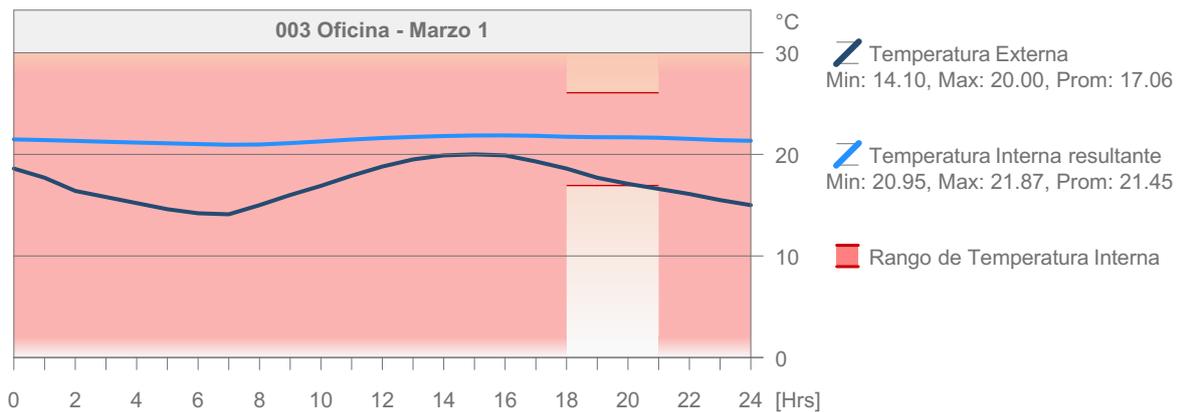
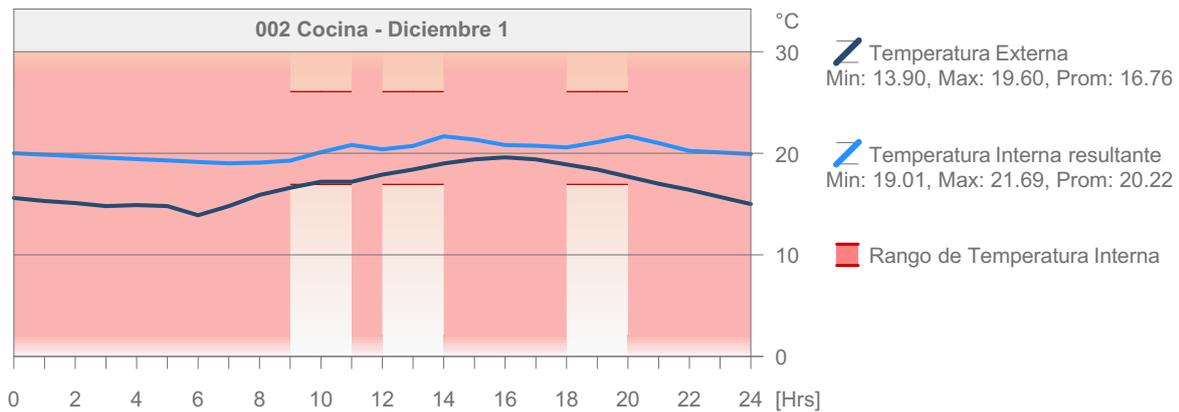
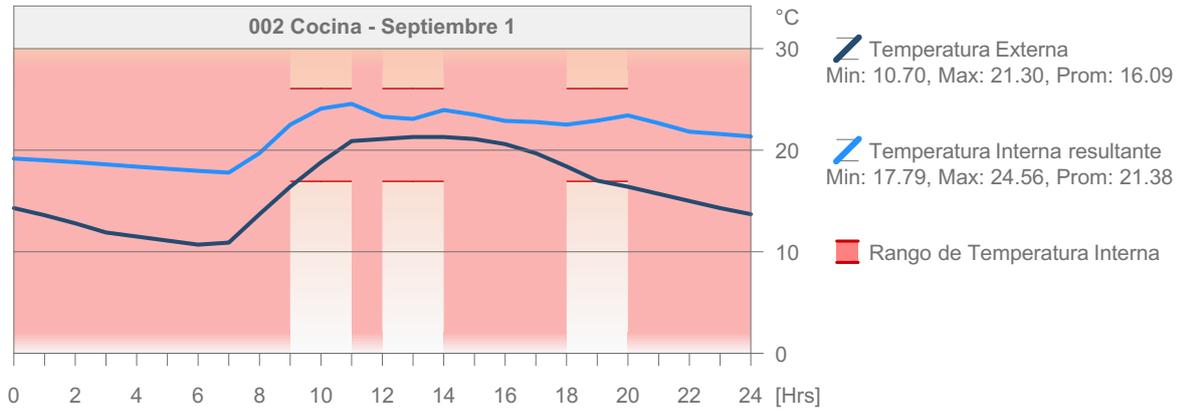
013 Circulación Nivel de Energía

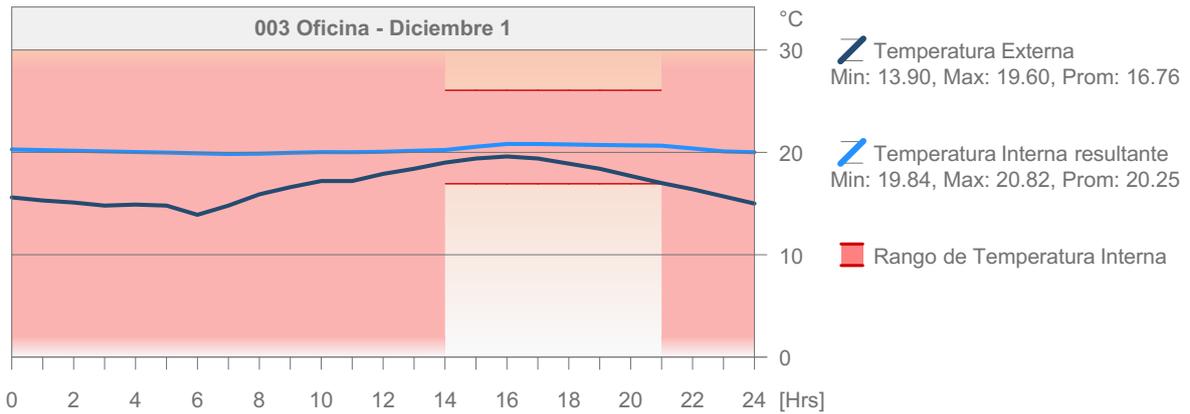
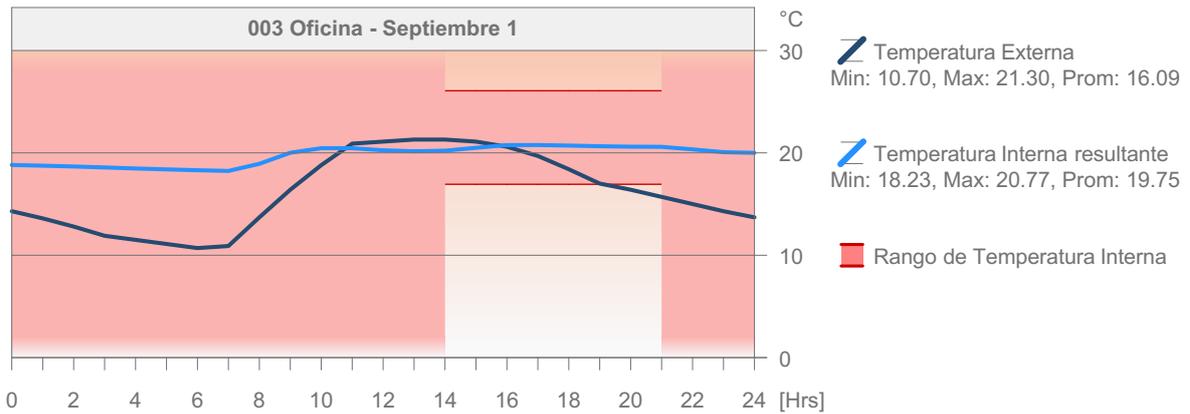
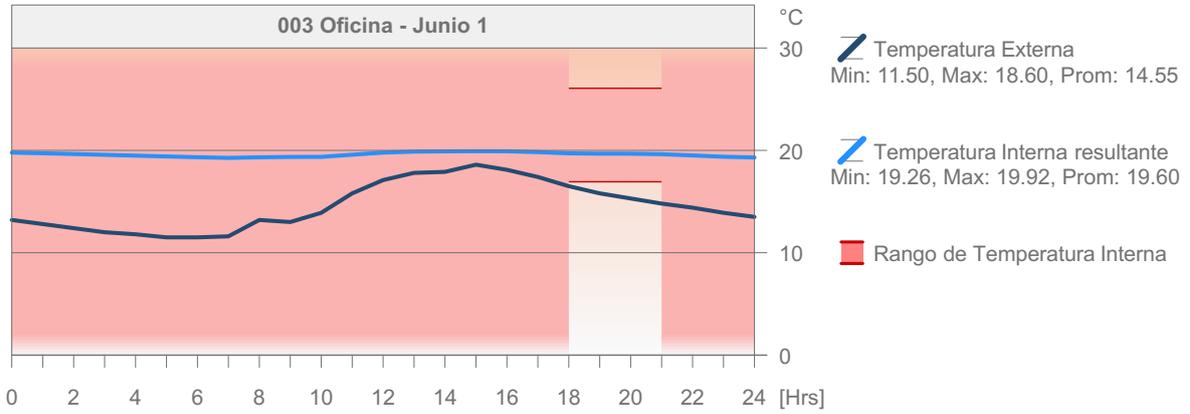


Perfil de Temperatura Diaria

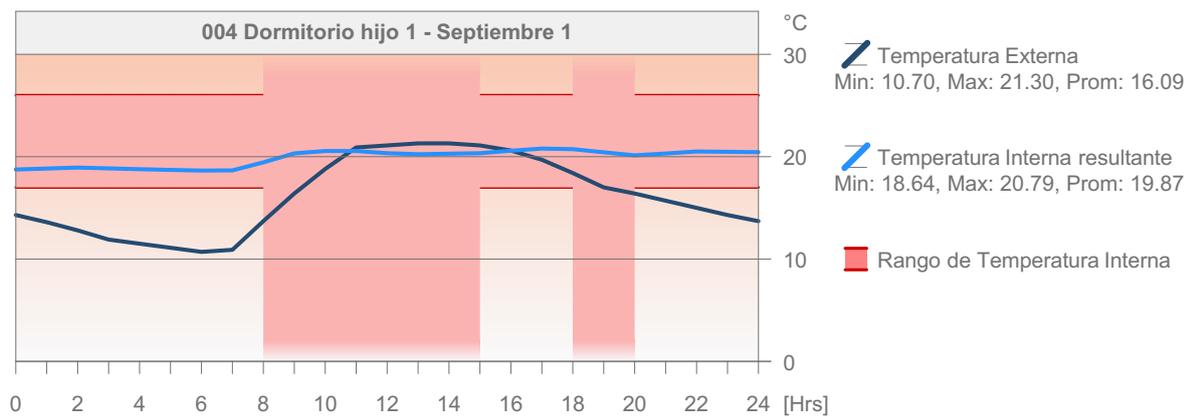
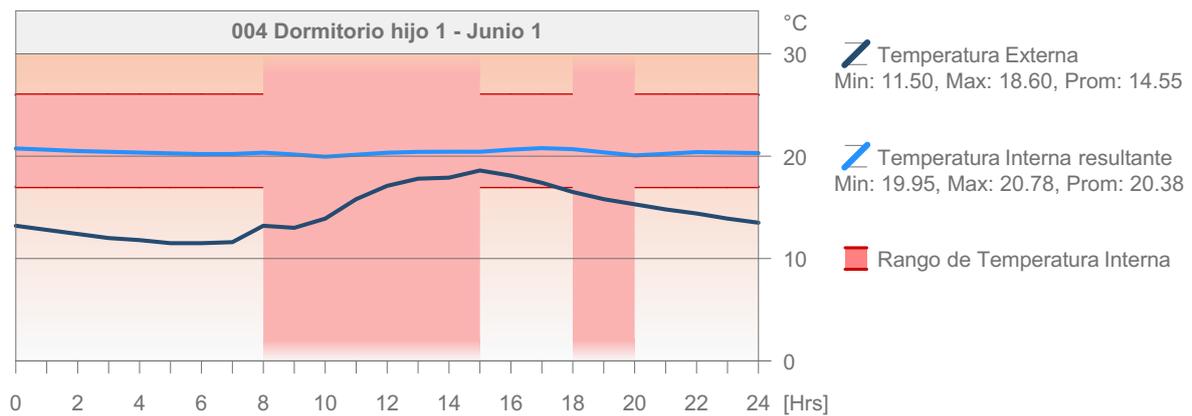
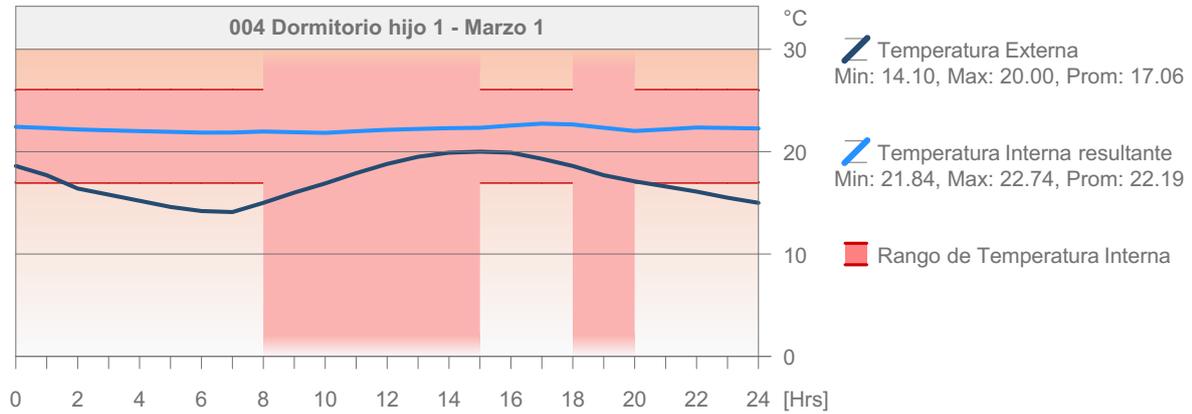


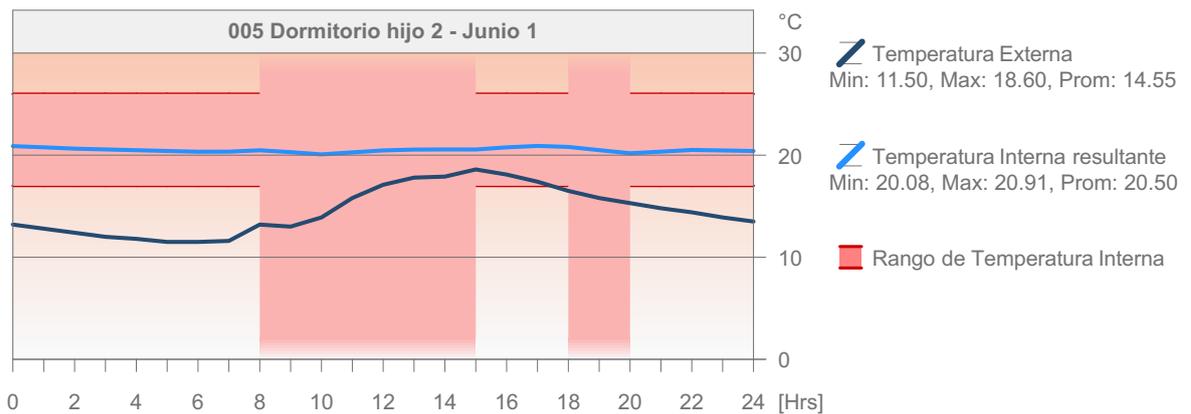
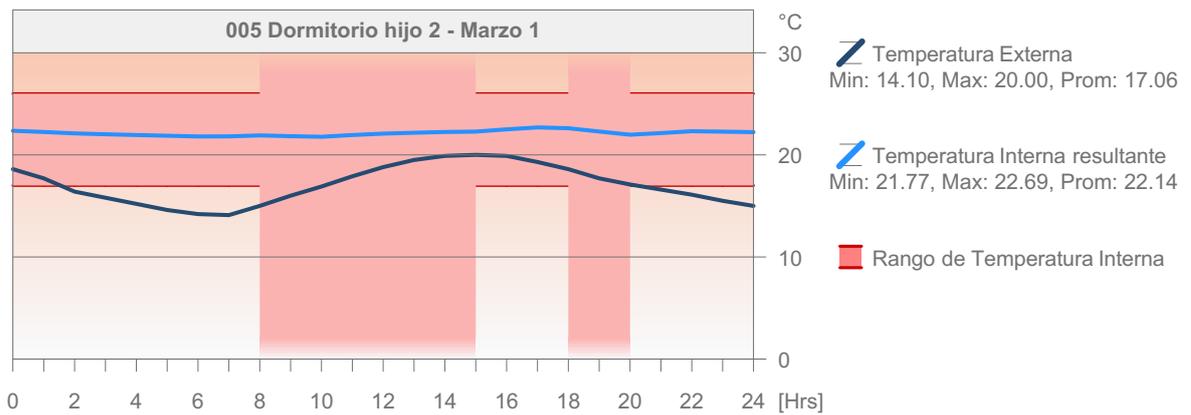
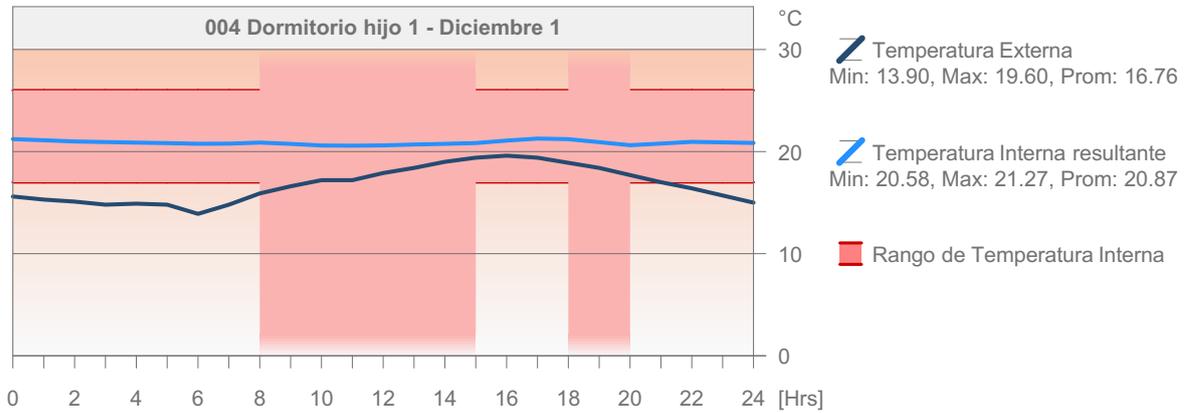


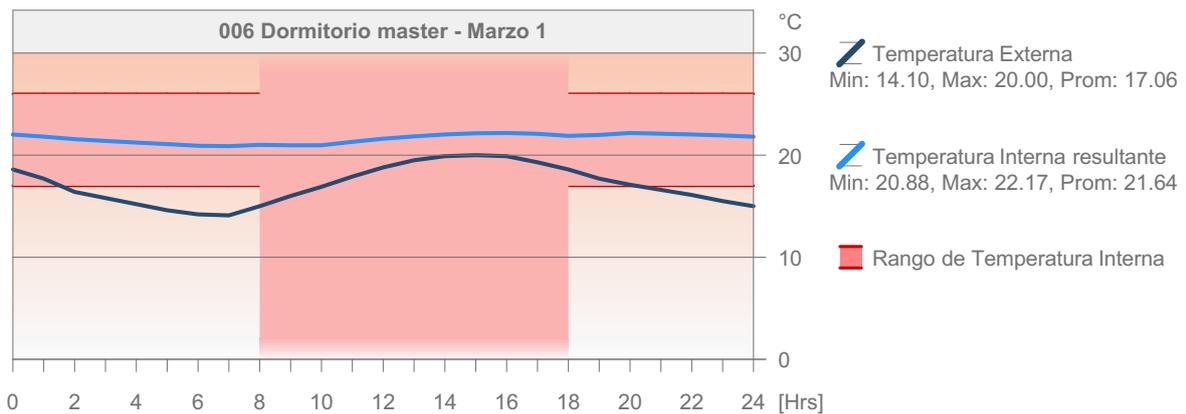
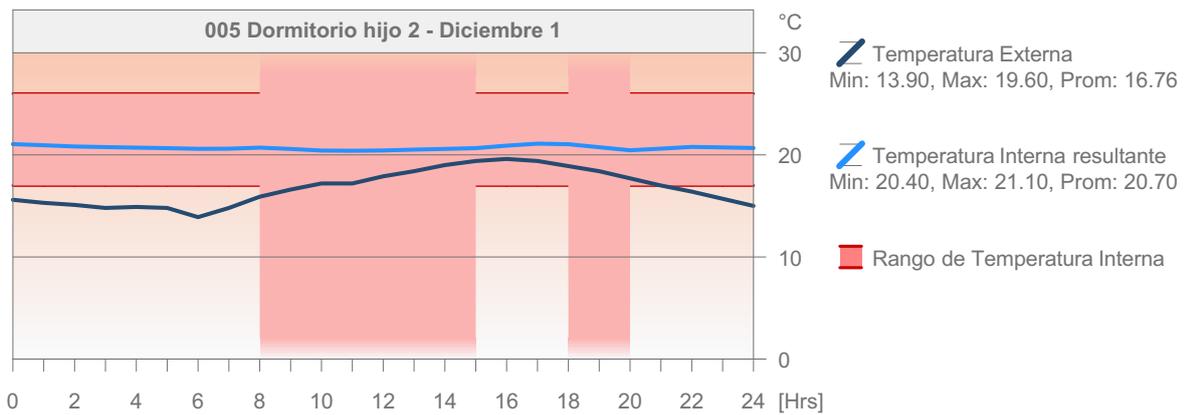
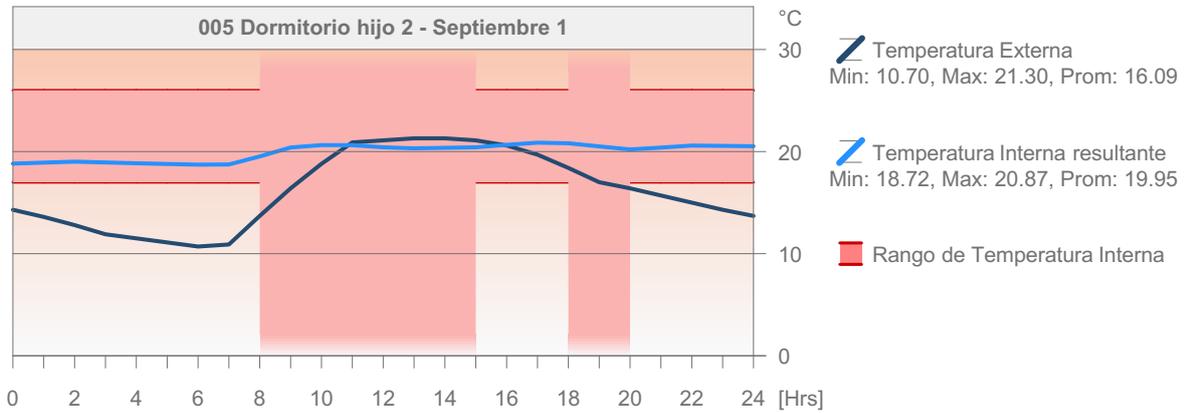


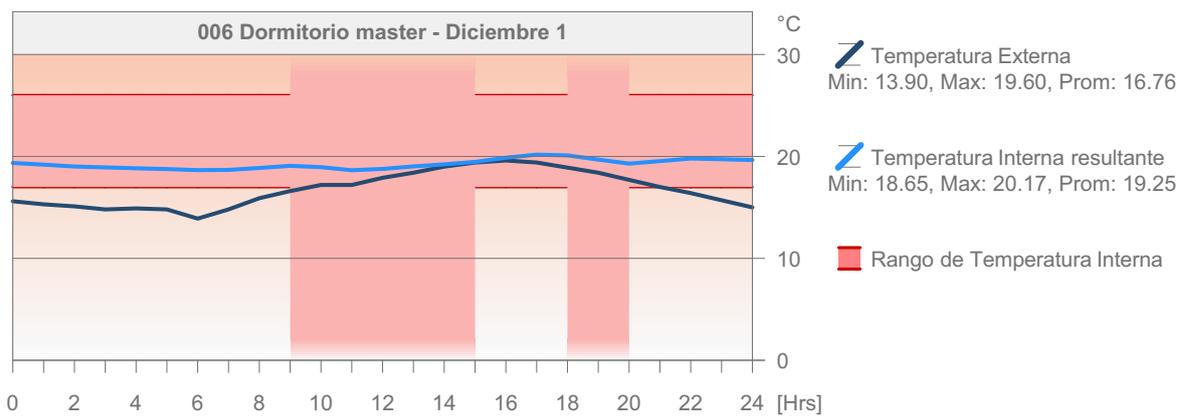
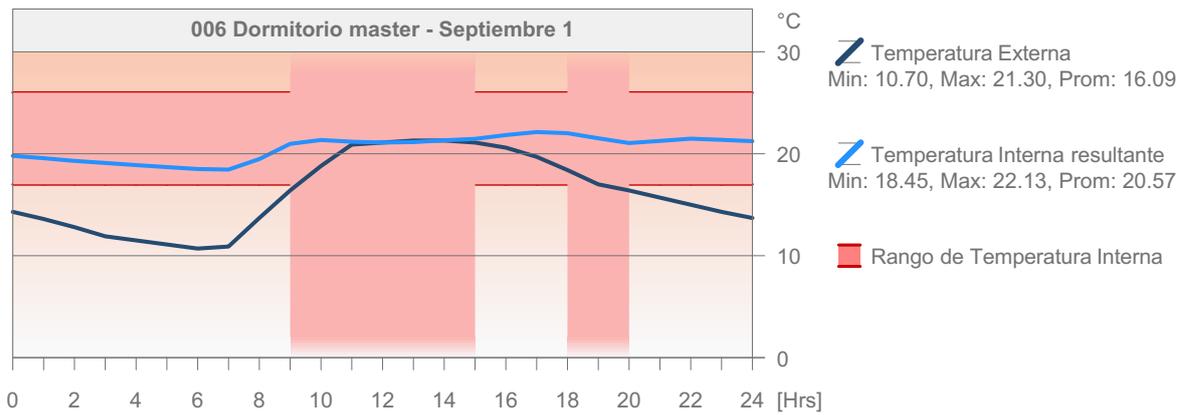
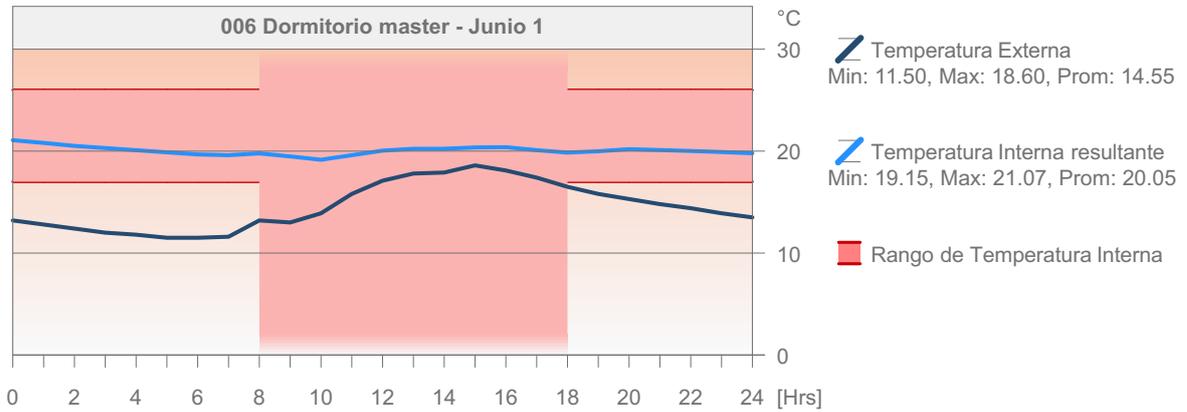


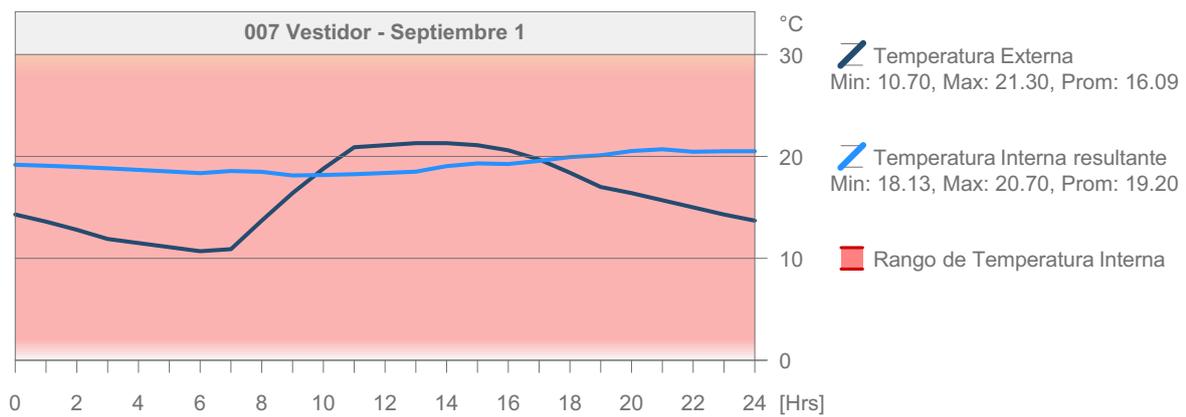
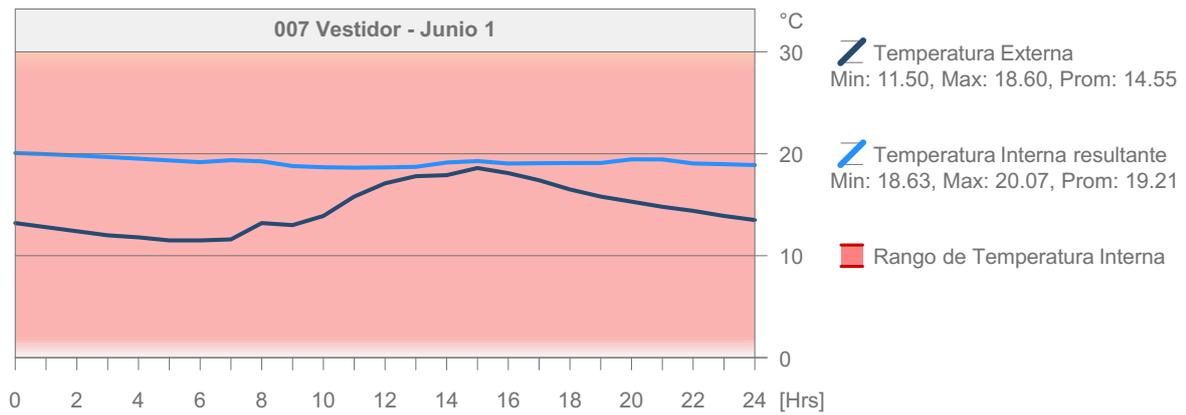
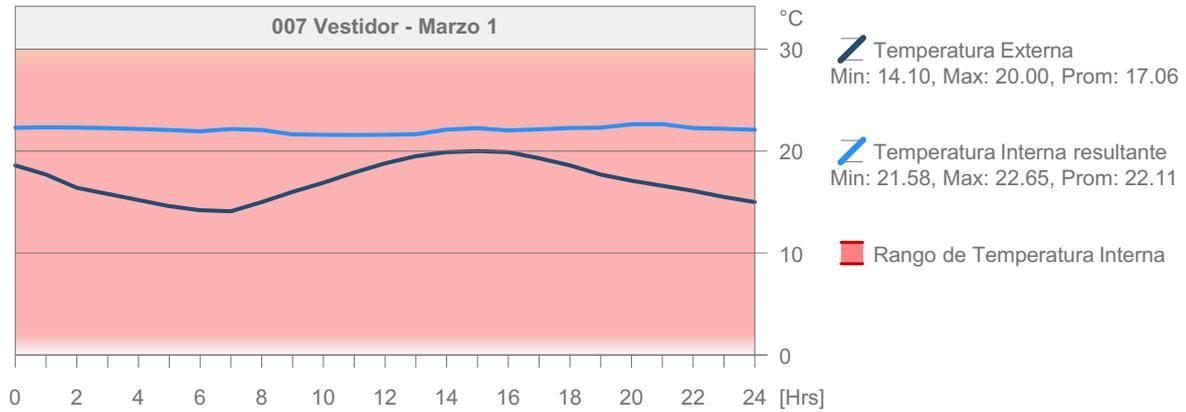
[Número de Proyecto] [Nombre Proyecto]

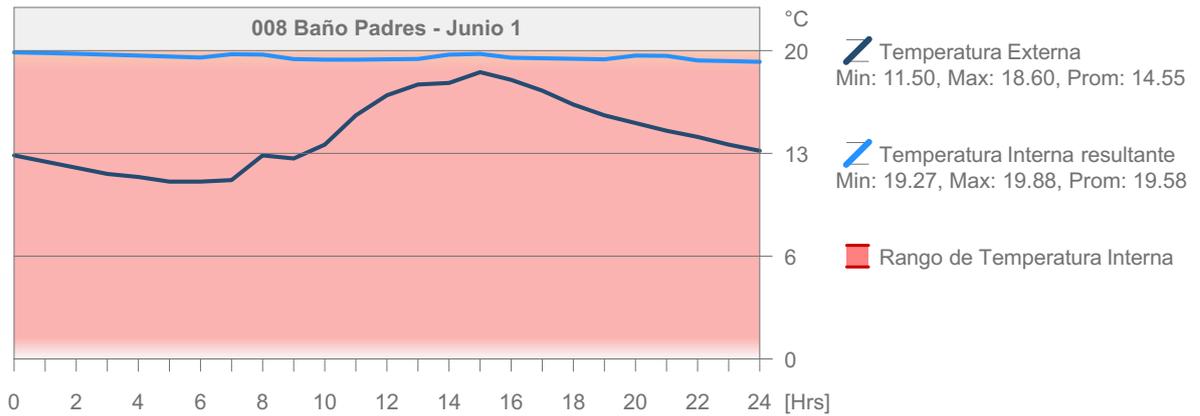
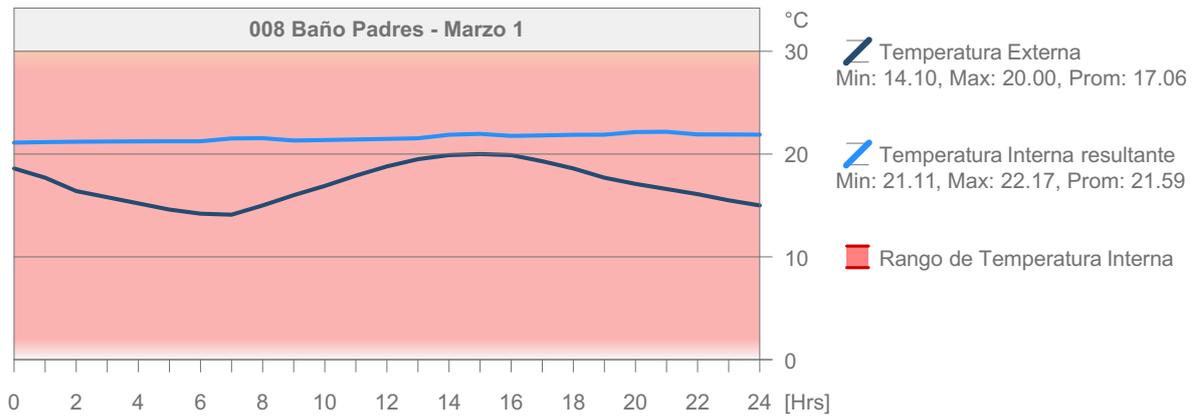
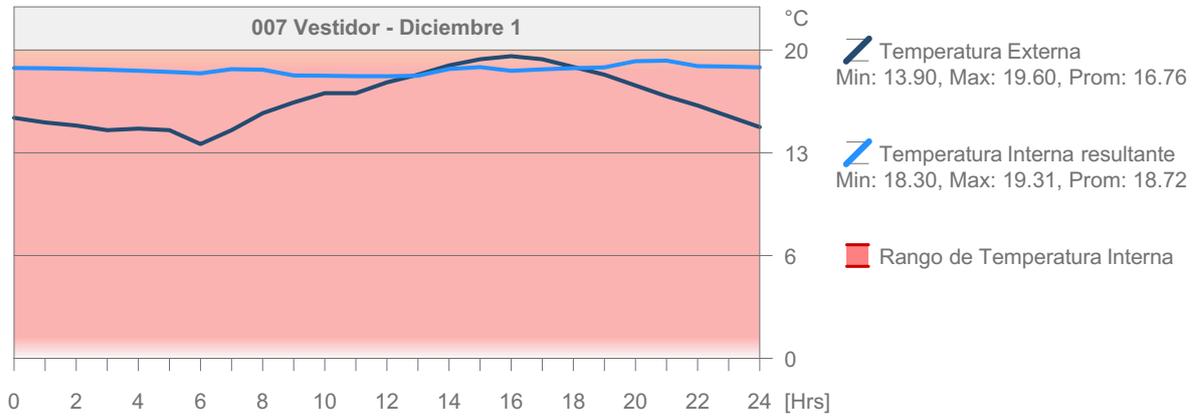


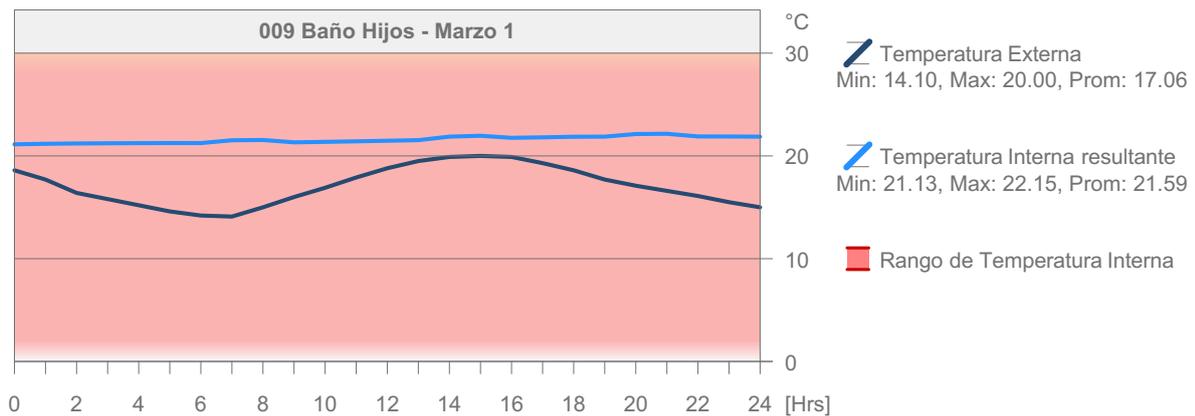
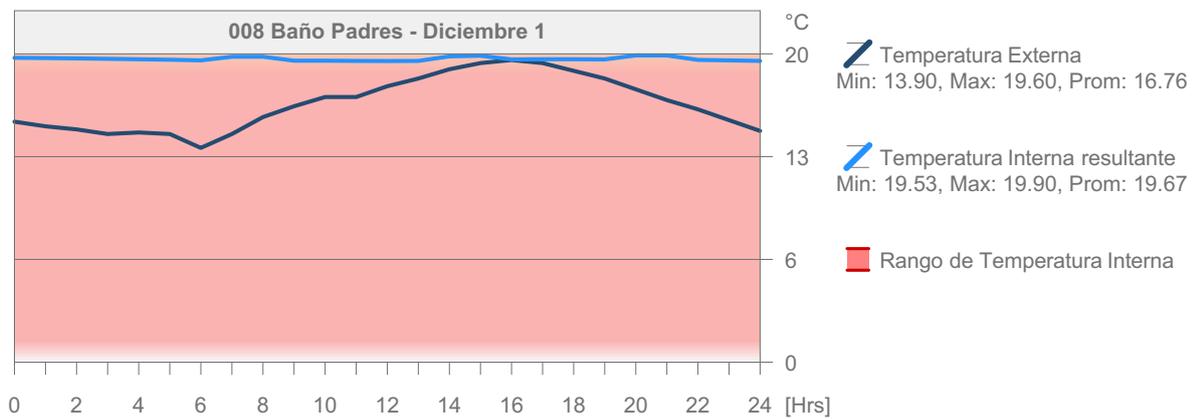
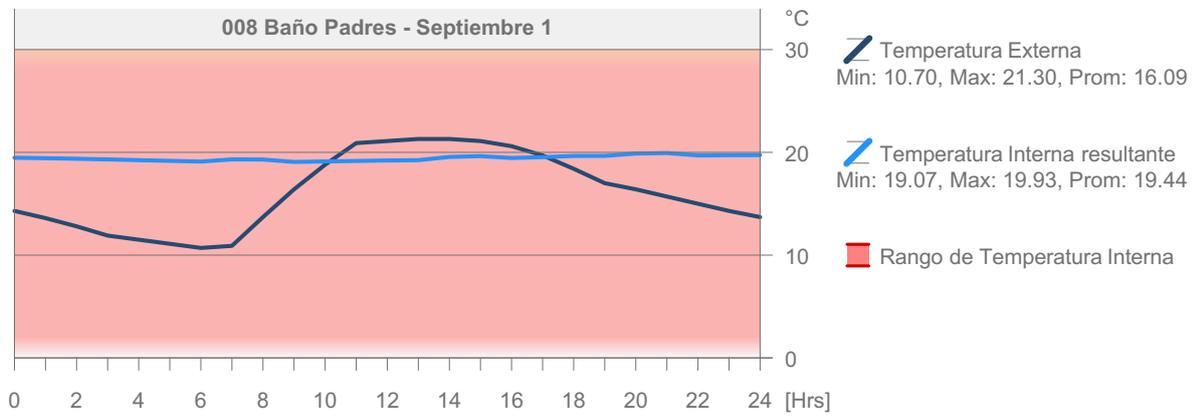


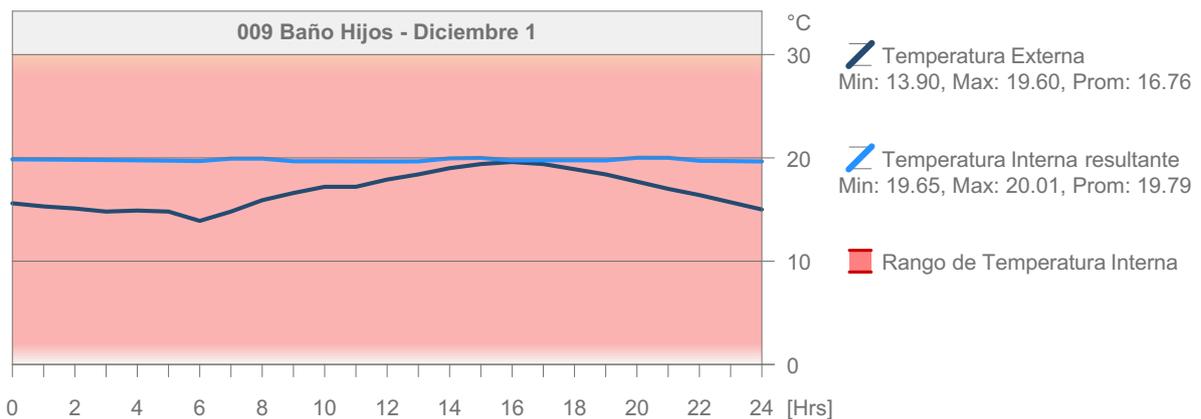
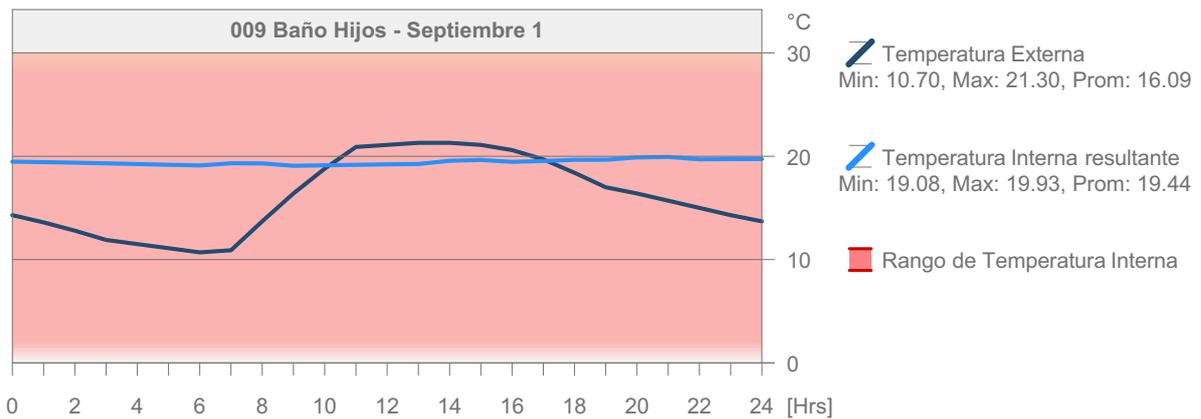
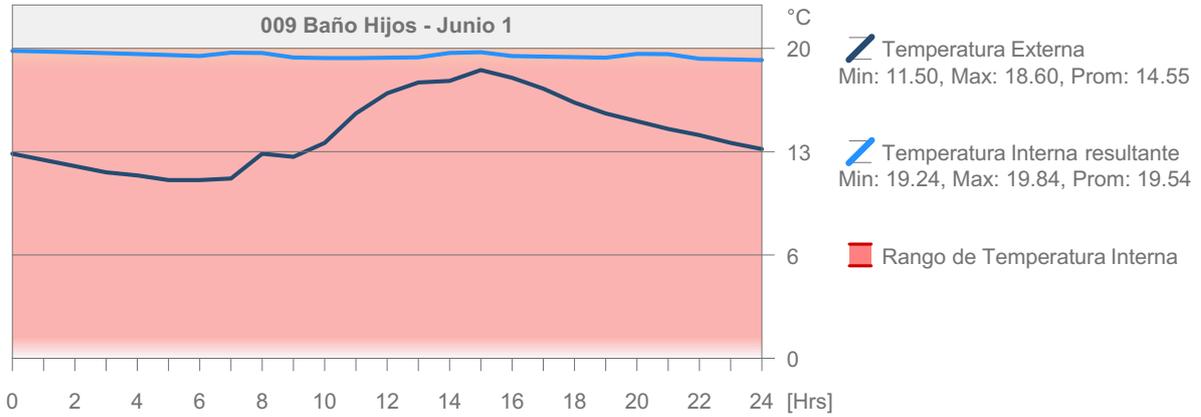


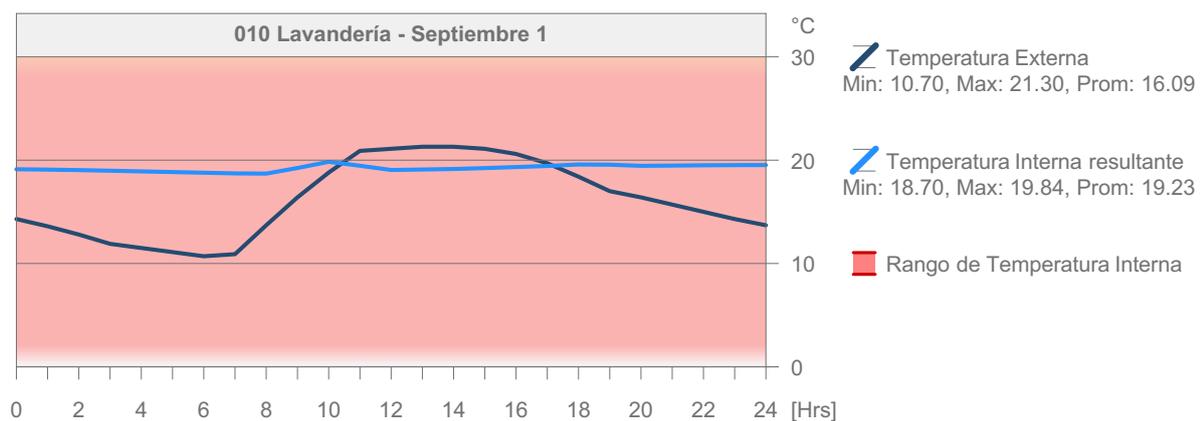
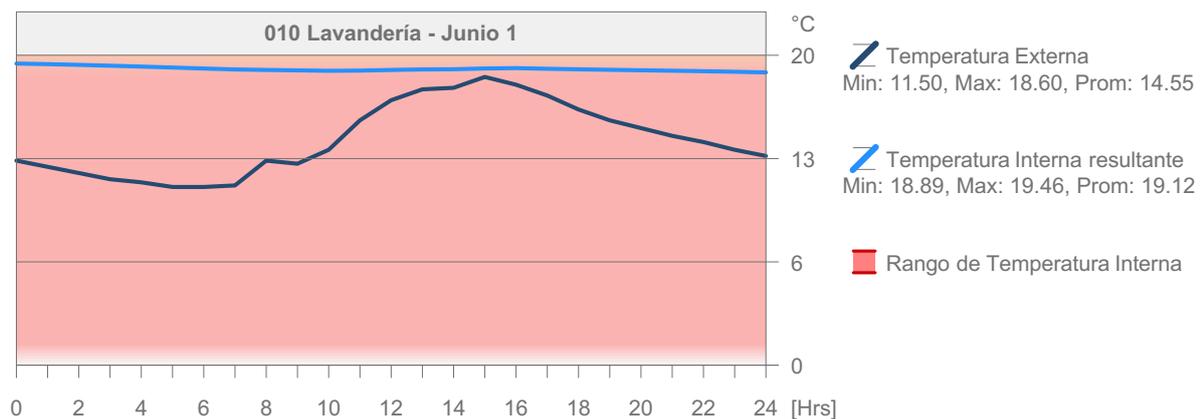
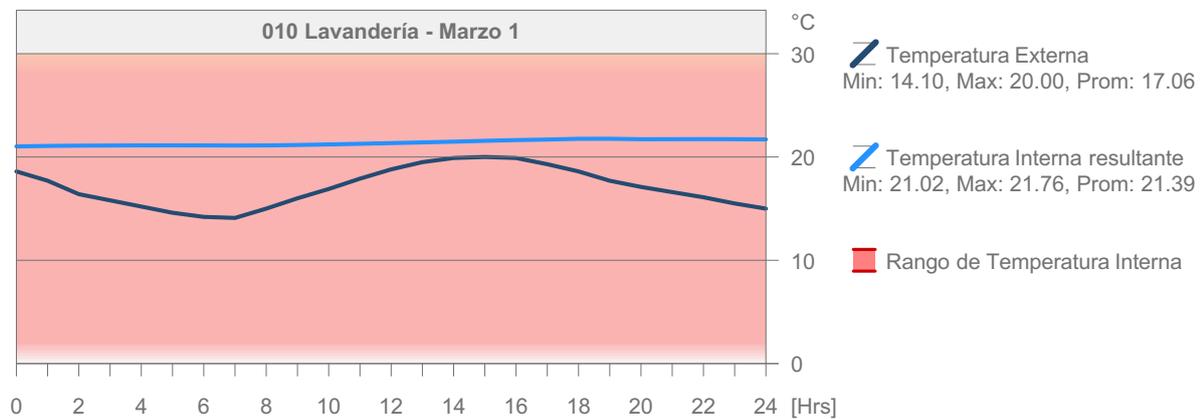


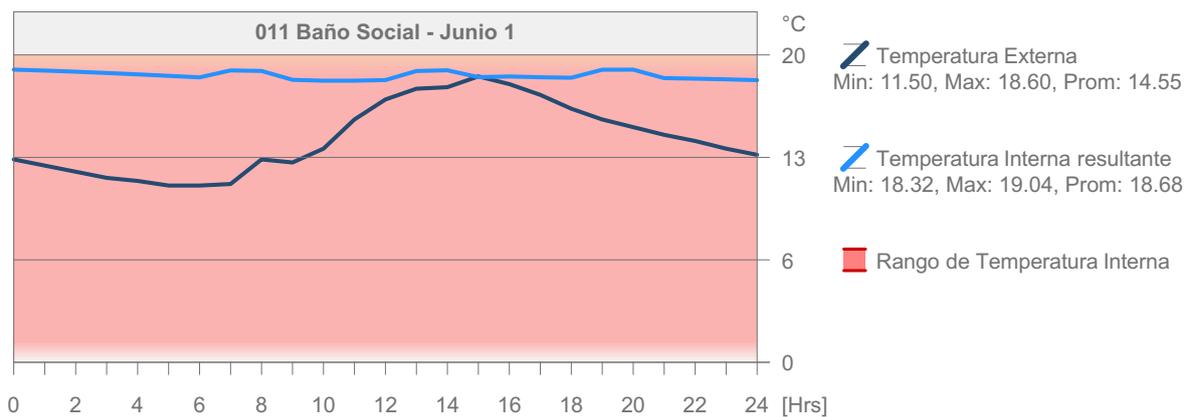
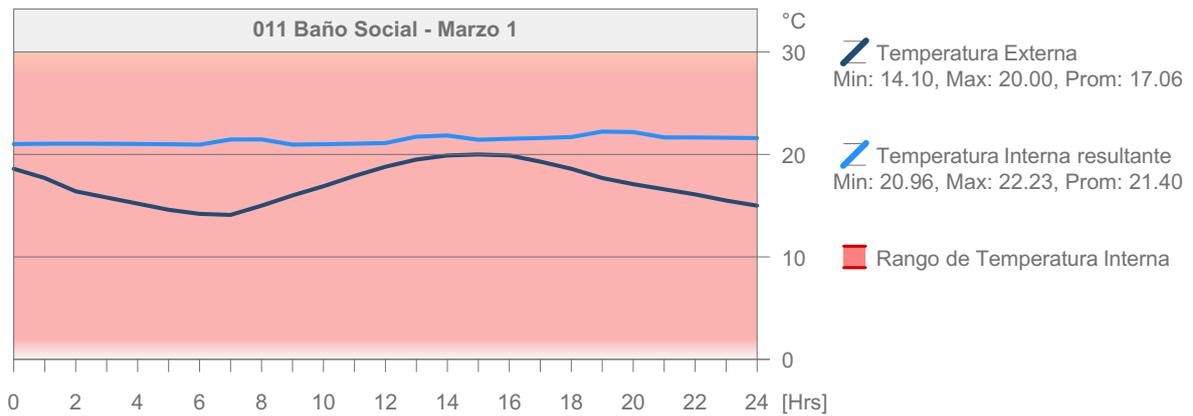
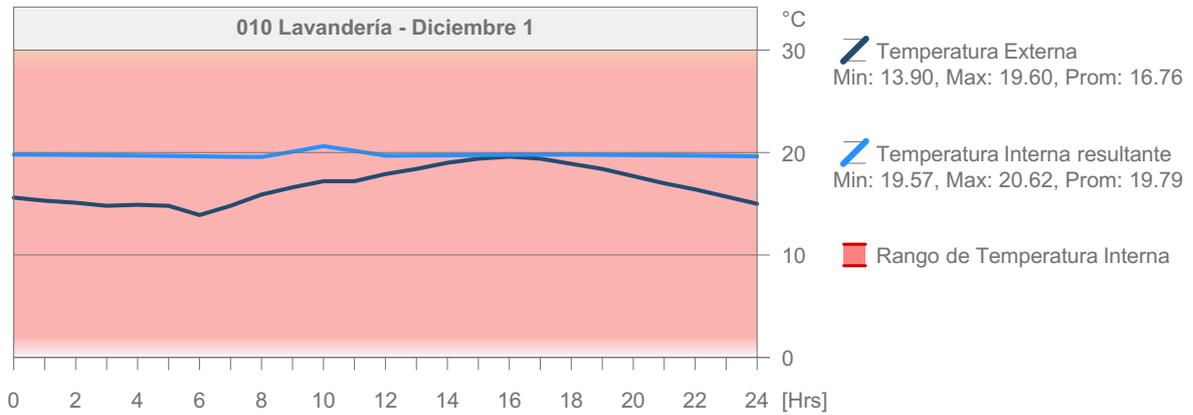


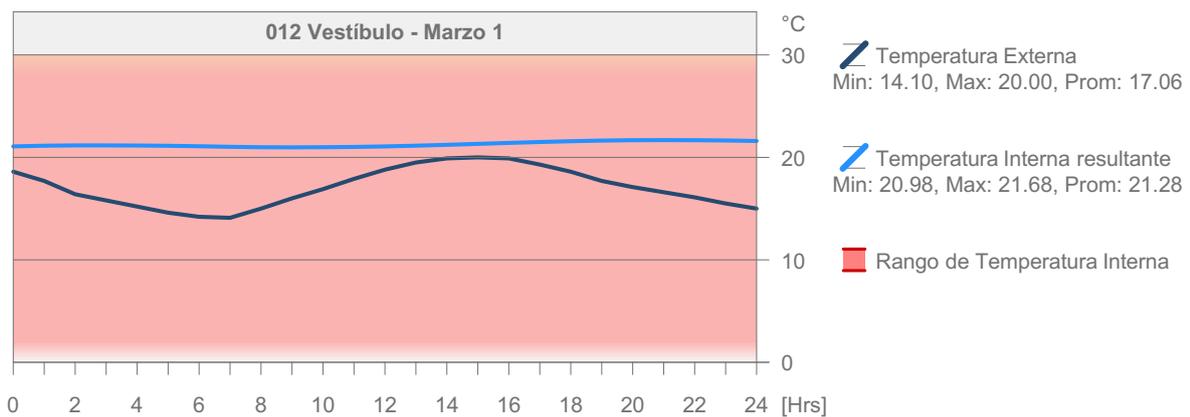
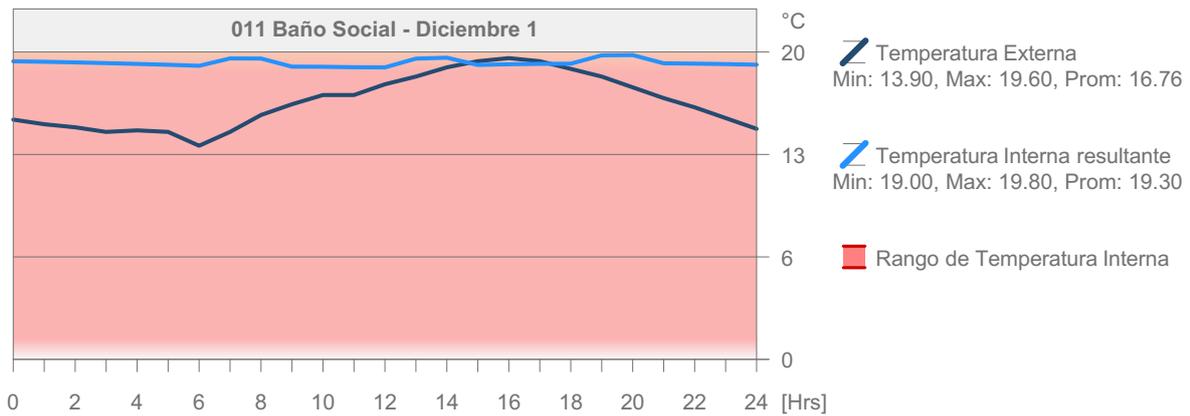
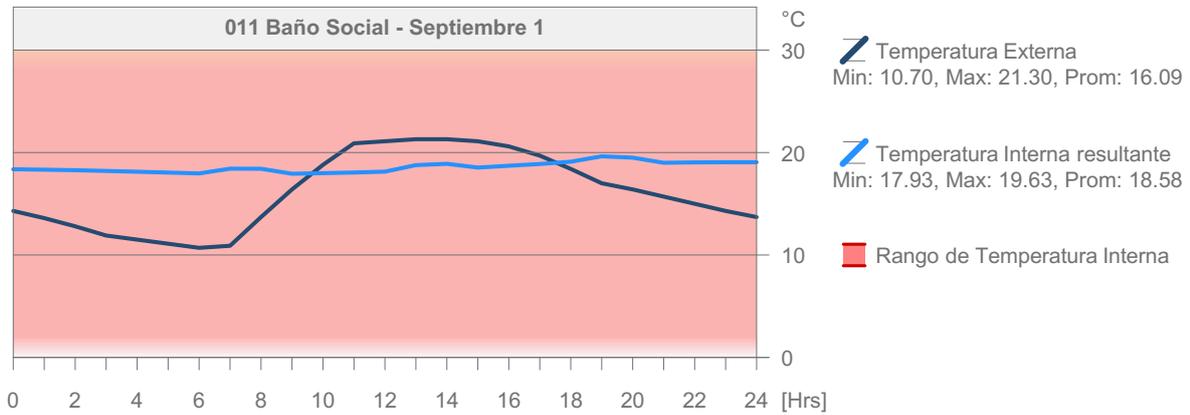


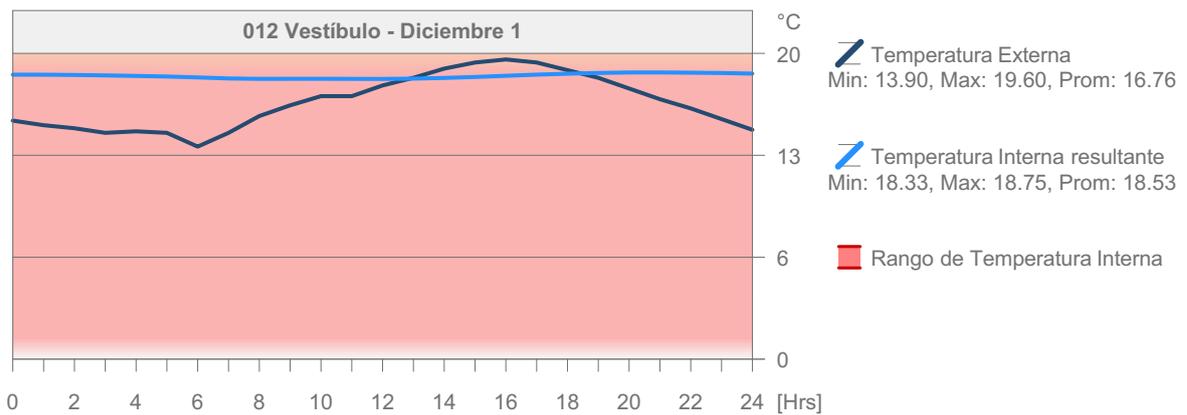
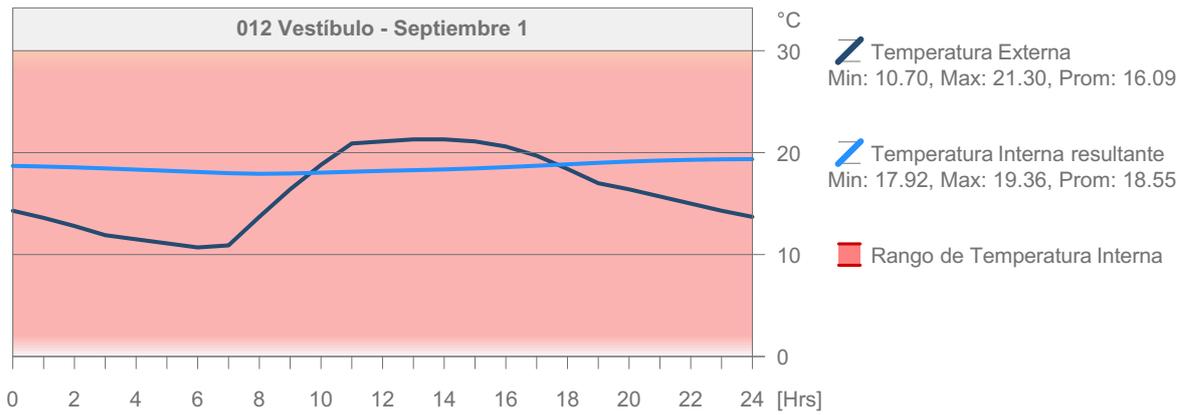
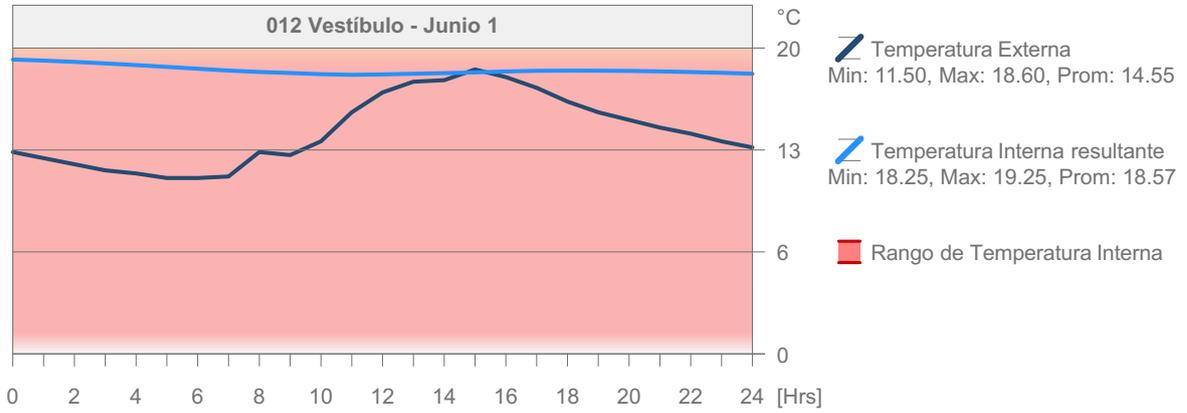


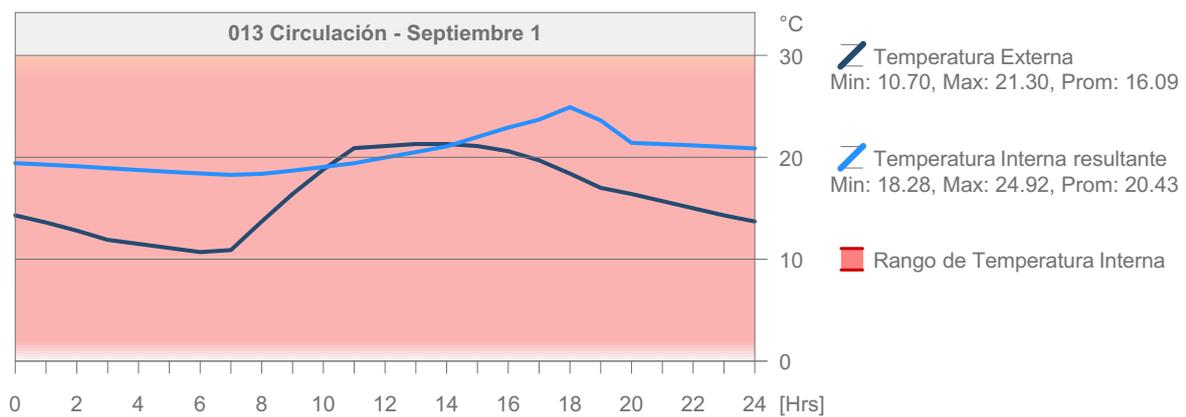
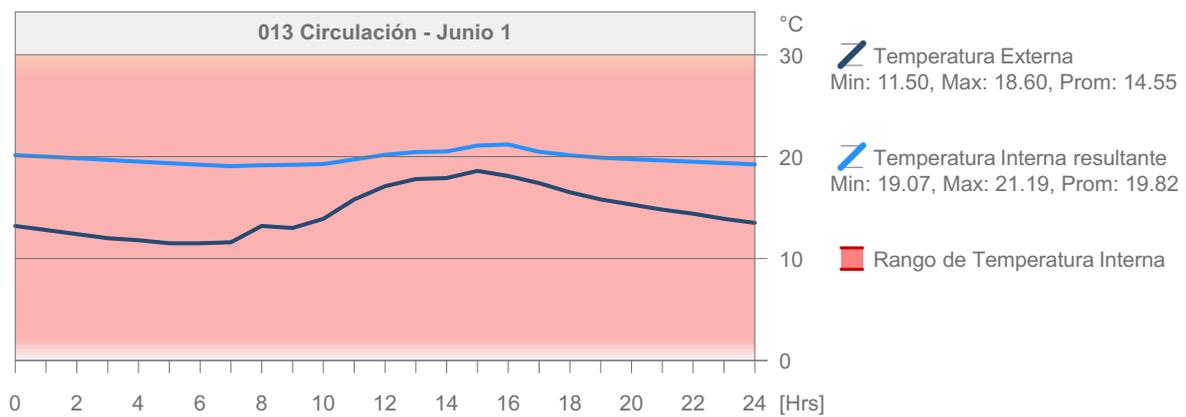
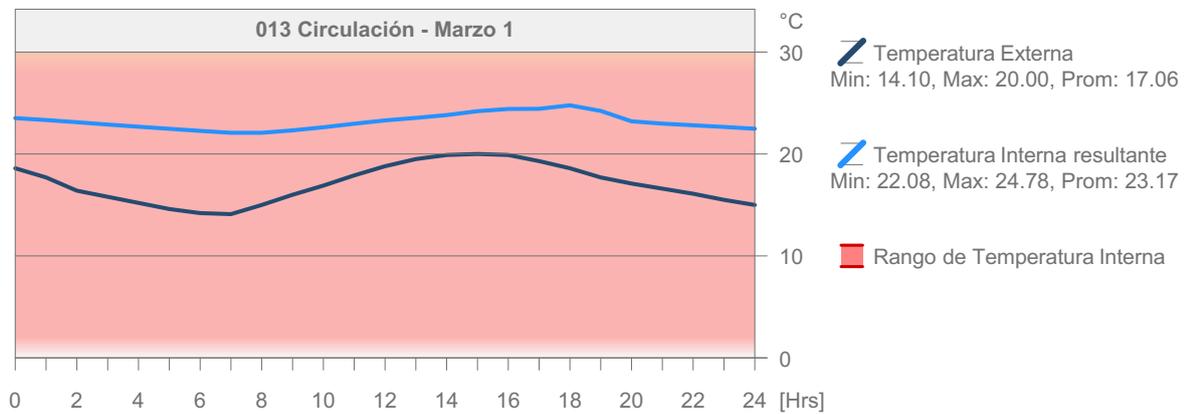


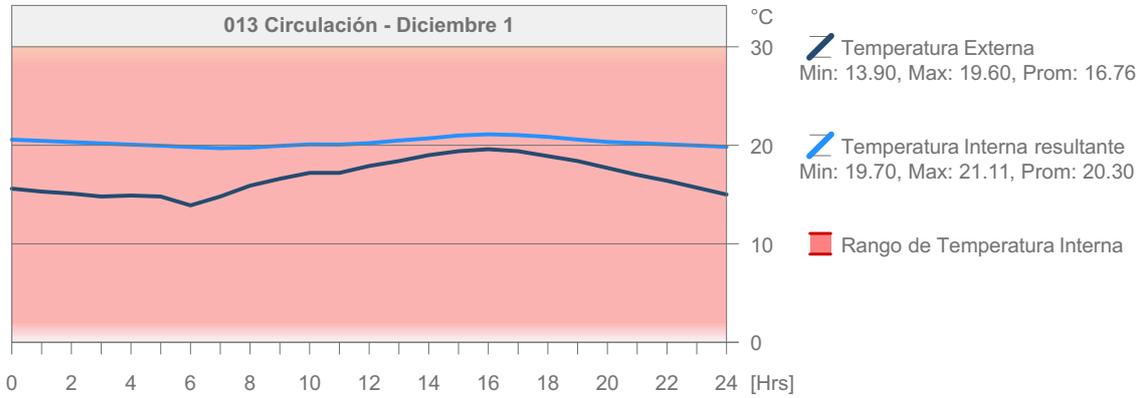












Datos de Diseño HVAC

Bloque Térmico	Demanda de		Demanda de		Interno Temperatura	
	Anualment [kWh]	Por Horas Pico [kW]	Anualment [kWh]	Por Horas Pico [kW]	Min. [°C]	Max. [°C]
001 Living	88	1.3 07:00 Jun 28	67	1.5 10:00 Ene 21	11.9 06:00 Jul 16	32.7 10:00 Dic 20
002 Cocina	0	0.3 07:00 Jul 16	0	0.1 14:00 Dic 20	14.1 07:00 Ago 04	26.1 10:00 Dic 20
003 Oficina	4	0.3 19:00 Jun 08	0	0.0 --	15.1 07:00 Ago 04	23.2 18:00 Mar 31
004 Dormitorio hijo 1	4	0.3 06:00 Jun 09	0	0.0 --	15.2 07:00 Ago 04	23.8 17:00 Mar 20
005 Dormitorio hijo 2	4	0.3 06:00 Jun 09	0	0.0 --	15.3 07:00 Ago 04	23.8 17:00 Mar 20
006 Dormitorio master	58	0.7 06:00 Jul 16	0	0.0 --	15.6 12:00 Ago 03	24.8 11:00 Jun 21
007 Vestidor	0	0.0 --	0	0.0 --	14.1 09:00 Jun 09	24.6 21:00 Mar 31
008 Baño Padres	0	0.0 --	0	0.0 --	14.7 09:00 Jun 09	24.4 21:00 Mar 31
009 Baño Hijos	0	0.0 --	0	0.0 --	14.7 09:00 Jun 09	24.4 21:00 Mar 31
010 Lavandería	0	0.0 --	0	0.0 --	14.5 08:00 Jun 09	24.0 10:00 Abr 01
011 Baño Social	0	0.0 --	0	0.0 --	14.1 09:00 Jul 16	23.2 19:00 Dic 20
012 Vestíbulo	0	0.0 --	0	0.0 --	13.7 08:00 Jul 16	23.2 24:00 Mar 31
013 Circulación	0	0.0 --	0	0.0 --	14.4 07:00 Jun 09	31.3 18:00 Mar 20
Todos los Bloques Térmicos:	160	2.4 07:00 Jul 16	67	1.5 10:00 Feb 25		

Número de Horas Usadas en el Año:

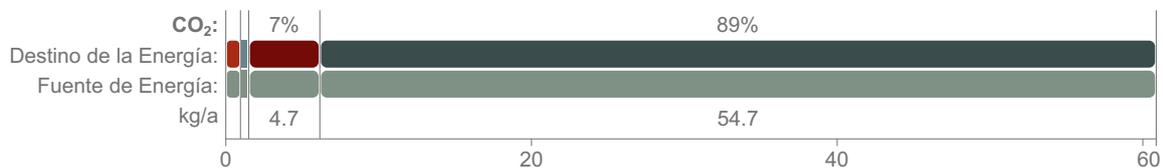
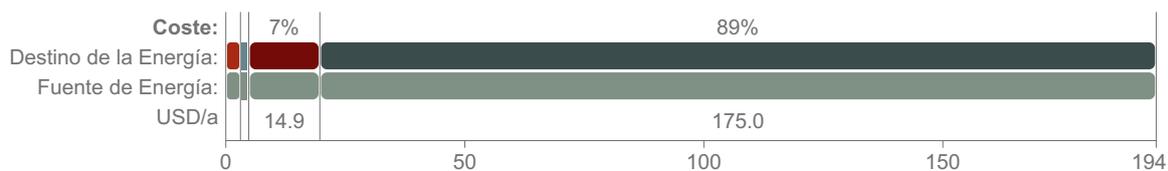
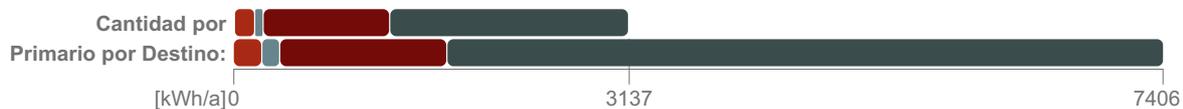
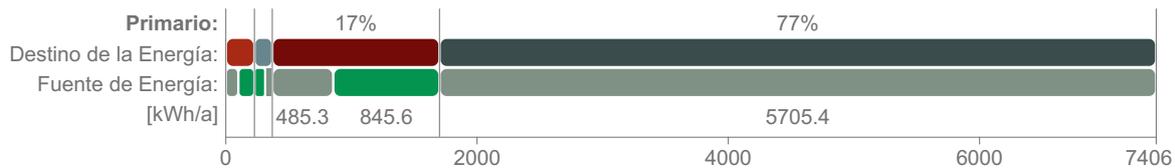
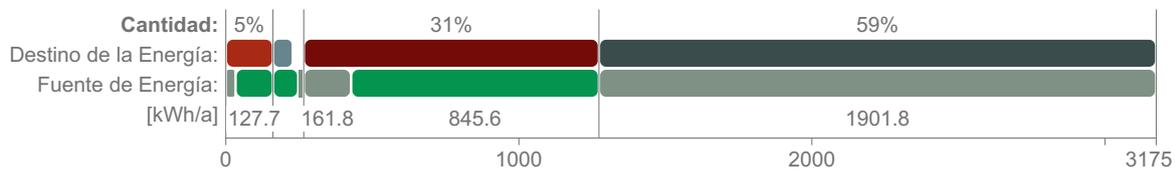
Calefacción: **350** hrs
Refrigeración: **114** hrs

Horas de carga no satisfechas en el año:

Calefacción: **38** hrs
Refrigeración: **20** hrs

Consumo de energía por Objetivos

Nombre Destino	Energía			CO ₂ Emisión kg/a
	Cantidad kWh/a	Primario kWh/a	Coste USD/a	
Calefacción	160	227	3	0
Refrigeración	67	142	1	0
Servicio de Agua Caliente	1007	1330	14	4
Ventiladores	0	0	0	0
Iluminación & aparatos	1901	5705	174	54
Total:	3137	7406	194	60



Fuentes de Energía

Renovable

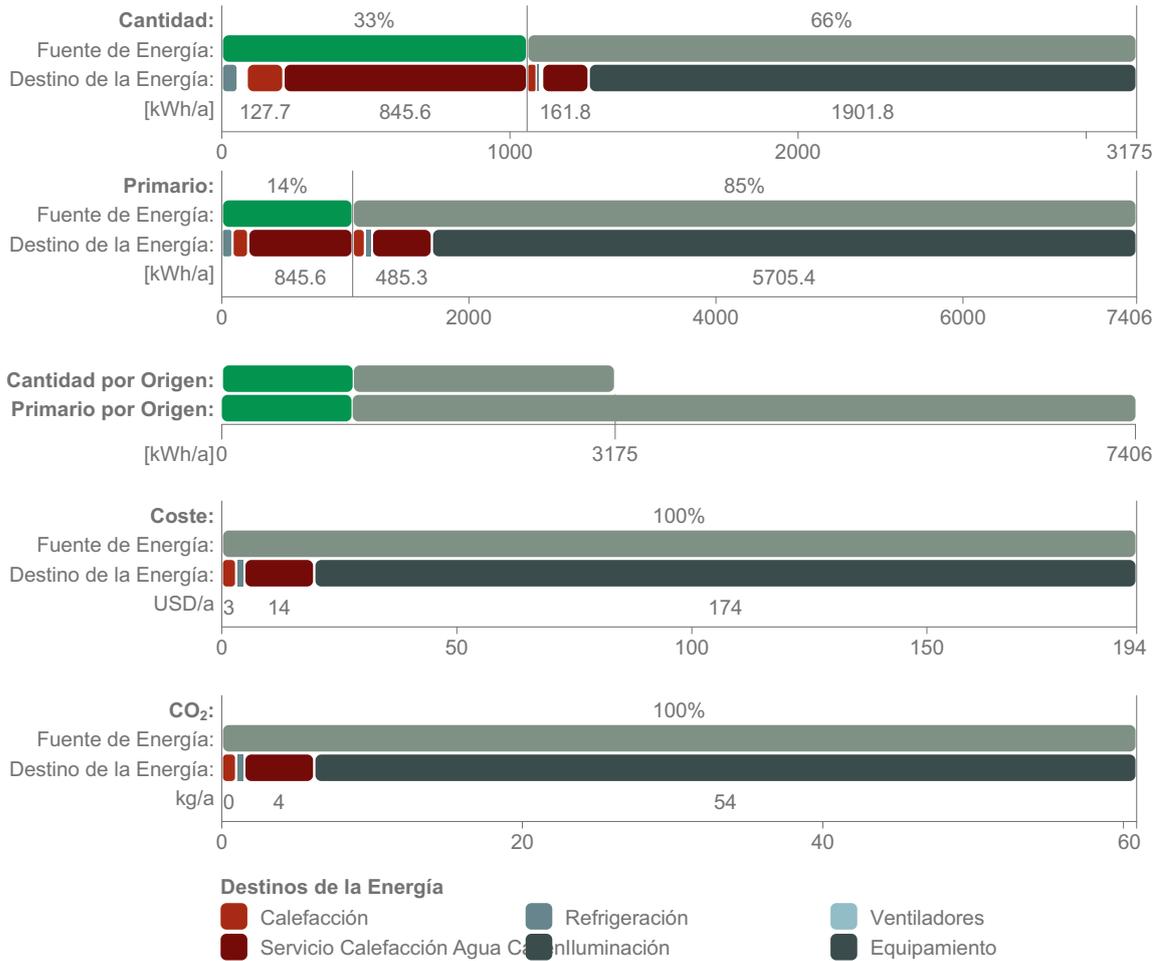
Aire externo

Secundario

Electricidad

Consumo de Energía por Fuentes

Tipo Fuente	Energía				Emisión CO ₂ kg/a
	Nombre de Origen	Cantidad kWh/a	Primario kWh/a	Coste USD/a	
Renovable	Aire externo	1059	1059	NA	0
Secundario	Electricidad	2115	6346	194	60
Total:		3175	7406	194	60



Impacto Medioambiental

Tipo Fuente	Nombre de Origen	Energía Primaria kWh/a	Emisión CO ₂ kg/a
Renovable	Aire externo	1059	0
Secundario	Electricidad	6346	60
Total:		7405	60

Resumen del Sistema Renovable de Edificación

Sistema de Construcción	Energía Anual Generada kWh	Coste de la Energía USD
Energía Renovable LEED Total:	0	0
 Calefacción Bomba de Calor (Aire externo)	973	35.9
Total:	973	36

Rendimiento de Base



Los Datos Están Incompletos
Se Requiere Definir un Edificio de Referencia

Costes de Energía Base



Los Datos Están Incompletos
Se Requiere Definir un Edificio de Referencia

Tabla de Clasificación del Rendimiento



Los Datos Están Incompletos
Se Requiere Definir un Edificio de Referencia

Consumos y Ahorros de Energía



Los Datos Están Incompletos
Se Requiere Definir un Edificio de Referencia

Mensajes de Aviso

Alertas	
Propuesta de Diseño	
1	Horas de carga no satisfechas, Calefacción:38, Refrigeración:20

