



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

DISEÑO DE UNA CASETA AISLADA PARA CONTENER BATERÍAS Y EQUIPOS FOTOVOLTAICOS EN PAÍSES TROPICALES

Autor: Lorenzo Torrado Billard

Director: Carlos Sanz Jimeno


Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título

*Diseño de una caseta aislada para contener baterías y equipos
fotovoltaicos en países tropicales*

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2023-2024 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada
de otros documentos está debidamente referenciada.


Fdo.: Lorenzo Torrado Billard


Fecha: 26/08/2024

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Carlos Sanz Jimeno

Fecha: 26/08/2024



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

DISEÑO DE UNA CASETA AISLADA PARA CONTENER BATERÍAS Y EQUIPOS FOTOVOLTAICOS EN PAÍSES TROPICALES

Autor: Lorenzo Torrado Billard

Director: Carlos Sanz Jimeno

Madrid

Agradecimientos

A la Escuela, la Fundación de Ingenieros del ICAI, Manos Unidas y a las personas de estas entidades que tanto me han ayudado. También a mi director, por guiarme y enseñarme tanto durante estos meses. Y a todos los que en el día a día o desde la distancia me habéis apoyado para completar estos estudios y proyecto.

DISEÑO DE UNA CASETA AISLADA PARA CONTENER BATERÍAS Y EQUIPOS FOTOVOLTAICOS EN PAÍSES TROPICALES

Autor: Torrado Billard, Lorenzo.

Director: Sanz Jimeno, Carlos.

Entidad Colaboradora: Manos Unidas, Fundación de Ingenieros del ICAI y la Universidad Pontifica de Comillas – ETSI, ICAI.

RESUMEN DEL PROYECTO

Se propone el diseño que maximiza el ahorro en gasto de refrigeración de una caseta no-doméstica que alberga las baterías y equipos eléctricos de un parque solar; en clima tropical y sin usarse materiales complejos o accionamientos electrónicos. Controlando parámetros como su orientación y factor de forma se ha conseguido un ahorro final del 16,95%.

Palabras clave: Diseño, Refrigeración pasiva, Ventilación natural, Simulación, DesignBuilder.

1. Introducción

Este Trabajo de Fin de Grado es resultado de una colaboración entre la ONG Manos Unidas (MMUU), la Fundación de Ingenieros de ICAI (FII) y el propio ICAI. El proyecto se alinea con la misión de la FII “Ingeniería con propósito” de aplicar conocimientos técnicos y humanos en beneficio de la sociedad, especialmente de los más necesitados. Al mismo tiempo, MMUU, ONG católica con más de 6,500 voluntarios, colabora en países en desarrollo en áreas como alimentación, educación y salud.

El proyecto aborda el diseño de una caseta para albergar baterías y equipos fotovoltaicos en climas tropicales, donde las altas temperaturas afectan su rendimiento y vida útil. Se busca una solución de refrigeración eficiente que mantenga la temperatura interna por debajo de 30 °C y asegure un suministro constante de energía. Además, el diseño debe ser duradero, de bajo mantenimiento y adaptable a un entorno con recursos limitados y sin mano de obra especializada.

El proyecto se centra en Bagou, Benín, donde las condiciones climáticas y el entorno local han influido en las soluciones propuestas. Se utilizarán técnicas de refrigeración pasiva, y se evaluarán diferentes soluciones para seleccionar la más adecuada, considerando su implementación y sostenibilidad a largo plazo.

2. Definición del Proyecto

El principal objetivo de este proyecto es proponer soluciones a MMUU al reto con el que se encuentran, evaluándolas por su complejidad de implementación y su potencial beneficio. Esto se hará con un profundo estudio de la bibliografía disponible, para primero lograr entender la naturaleza del clima del sitio y después las tecnologías de refrigeración que existen y cómo se relacionan con el ambiente tropical. Una vez realizado esto, se identifican los elementos básicos de la caseta, sus propiedades y cómo podrían influir en el desarrollo del proyecto. En último lugar, se estudian los diferentes software de simulación disponibles para el alumno, analizándolos de nuevo por complejidad y viabilidad, para posteriormente aprender su funcionamiento.

El siguiente objetivo es seleccionar, de las posibles soluciones encontradas en la bibliografía, las óptimas, dar su diseño y ordenarlas. Para identificar el mejor diseño se procede a simular cada uno de los parámetros identificados, estudiando el impacto que tiene en el ahorro de consumo eléctrico de refrigeración su variabilidad. Esto se hace por separado y secuencialmente para intentar mantener la independencia de variables. Una vez se identifican los mejores casos de cada parámetro, se simularán todos juntos para estudiar las posibles sinergias que existan y el aporte real de cada parte al ahorro final.

En último lugar, se realiza un análisis de sensibilidad para estudiar cuánta mejora aporta cada unidad de cambio en cada una de ellas. Con estos dos resultados, se consigue el resultado final de la solución que mejor balance tiene entre eficiencia y aplicabilidad.

3. Descripción del modelo desarrollado

Para simular el impacto de la variabilidad de los distintos parámetros de la caseta, se utiliza el software de simulación de eficiencia energética Design Builder. Este programa utiliza como motor de simulación Energy Plus. En la Ilustración 1 se puede ver el modelo desarrollado.

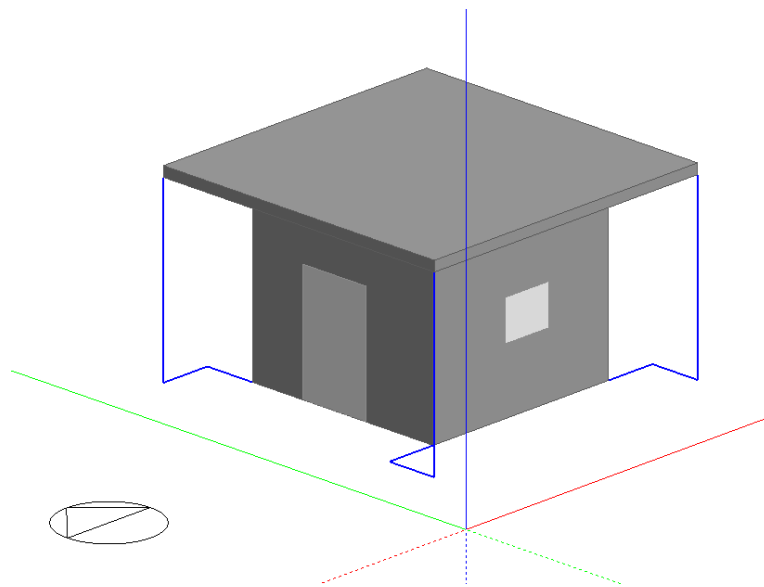


Ilustración 1 - Visualización de un posible diseño de la caseta usando Design Builder

Para poder llevar a cabo las simulaciones se han tenido que especificar parámetros como los datos climáticos del sitio, la ocupación de la caseta, el gasto en iluminación, las consignas de refrigeración o los materiales y sus espesores. Esto para lograr los resultados que se muestran a continuación.

4. Resultados

- **Forma de la caseta:** Una forma más achatada, con mayor relación entre la superficie de la cubierta y el suelo respecto a los muros, reduce la irradiación y mejora la eficiencia energética, logrando un ahorro del 4,03%. Las casetas ligeramente rectangulares son más eficientes que las cuadradas, pero si son demasiado alargadas, el consumo en refrigeración aumenta. Una orientación adecuada puede generar un ahorro del 5%.

- **Techo inclinado:** La inclinación del techo tiene un efecto insignificante en la refrigeración, por lo que si se utiliza sería principalmente para otras tareas, como facilitar la evacuación de aguas.
- **Aberturas:** Las ventanas de cristal no son recomendables ya que por ejemplo, con el 20% de la superficie acristalada, aumentan el consumo energético en un 18% . Las rejillas de ventilación, aunque empeoran la refrigeración, mejoran aun en mayor medida la calidad del aire, tienen un impacto del 2,4%. Se ha determinado que es más eficiente colocar las rejillas en paredes opuestas y en las partes bajas.
- **Espesores:** Incrementar el espesor de las paredes y la cubierta en un 25% reduce el consumo energético en un 3,4%.
- **Elementos externos:** Un techo externo con salientes de un metro reduce el consumo en un 6%. El uso de louvres en los lados sur, este y oeste añade un 4% de ahorro adicional, es decir, 10% en total.
- **Disposiciones adicionales:** El uso de aislantes PCM podría reducir el consumo en un 15%. Se sugiere considerar techos de chamizo y pintura blanca para mejorar la eficiencia, además de optar por baterías de ion-litio debido a su menor calentamiento.

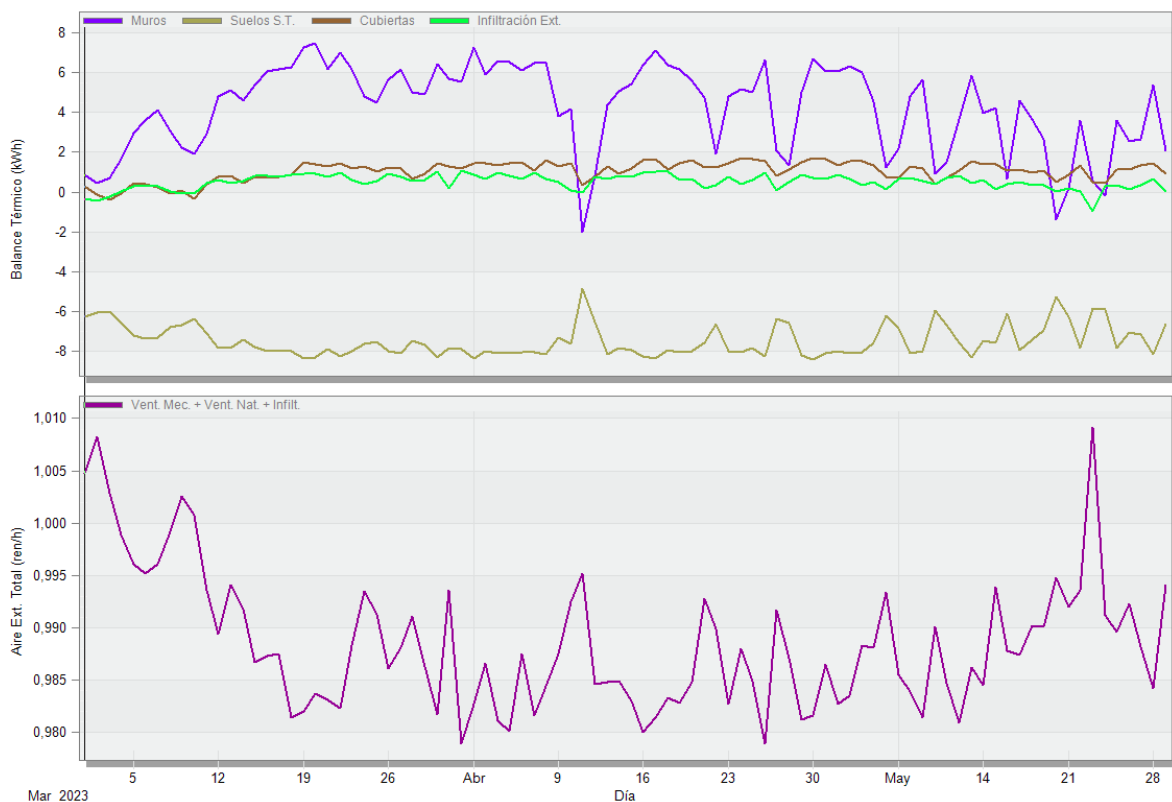


Ilustración 2 – Balance energético de la caseta.

Esto se ha conseguido a gracias a resultados como los de la Ilustración 2. El resultado final, después de estudiar las sinergias de estos parámetros y juntando los mejores casos, es de un ahorro del 16,95%.

5. Conclusiones

El clima tropical, con su alta temperatura y humedad, limita la efectividad de la ventilación cruzada y las técnicas evaporativas [1], ya que la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de la caseta es mínima y el ambiente está saturado de humedad [2]. Sin embargo, se han explorado alternativas para mejorar la eficiencia de la caseta, como la optimización de la orientación, la relación entre superficies cubiertas y muros, y la adición de elementos externos como techos y louvres [3], que juntos en el caso de esta aplicación han logrado un ahorro energético del 16,95%.

Aunque no se logró completamente el objetivo de una refrigeración pasiva debido a las condiciones extremas del clima, se han propuesto soluciones alternativas que, aunque modestos a escala local, tienen un impacto significativo a nivel global, especialmente en regiones tropicales donde vive el 60% de la población mundial. Se sugiere investigar el uso de vegetación para paisajismo y superficies de la caseta, así como chimeneas solares de cristal para futuros proyectos.

6. Referencias

[1] Bhamare, D. K., Rathod, M. K., & Banerjee, J. (2019). Passive cooling techniques for building and their applicability in different climatic zones—The state of art. *Energy and Buildings*, 198, 467-490. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.06.023>

[2] Carrilho Da Graça, G., & Linden, P. (2016). Ten questions about natural ventilation of non-domestic buildings. *Building and Environment*, 107, 263-273. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.08.007>

[3] Engelmann, P., Kalz, D., & Salvalai, G. (2014). Cooling concepts for non-residential buildings: A comparison of cooling concepts in different climate zones. *Energy and Buildings*, 82, 447-456. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.011>

DESIGN OF AN INSULATED SHED TO CONTAIN BATTERIES AND PHOTOVOLTAIC EQUIPMENT IN TROPICAL COUNTRIES

Author: Torrado Billard, Lorenzo.

Supervisor: Sanz Jimeno, Carlos.

Collaborating Entity: Manos Unidas, Fundación de Ingenieros del ICAI y la Universidad Pontifica de Comillas – ETSI, ICAI.

ABSTRACT

The proposed design aims to maximize cooling energy savings for a non-residential shelter housing batteries and electrical equipment in a solar park located in a tropical climate. This is achieved without using complex materials or electronic devices. By controlling parameters such as orientation and shape factor, a final energy savings of 16.95% was achieved.

Keywords: Design, Passive cooling, Natural ventilation, Simulation, DesignBuilder.

1. Introduction

This Bachelor's Thesis is the result of a collaboration between the NGO Manos Unidas (MMUU), the ICAI Engineers Foundation (FII), and ICAI itself. The project aligns with FII's mission of "Engineering with Purpose," applying technical and human knowledge for the benefit of society, especially the most in need. MMUU, a Catholic NGO with over 6,500 volunteers, collaborates in developing countries in areas like food, education, and health.

The project focuses on designing a shelter to house batteries and photovoltaic equipment in tropical climates, where high temperatures affect their performance and lifespan. The goal is to find an efficient cooling solution that keeps the internal temperature below 30 °C, ensuring a constant energy supply. The design must also be durable, low-maintenance, and adaptable to an environment with limited resources and without specialized labor.

The project is centered in Bagou, Benin, where local climate conditions and surroundings have influenced the proposed solutions. Passive cooling techniques will be used, and various solutions will be evaluated to select the most suitable, considering their implementation and long-term sustainability.

2. Project definition

The primary objective is to propose solutions to MMUU's challenge, evaluating them based on implementation complexity and potential benefits. This involves a thorough study of available literature to understand the site's climate and the existing cooling technologies, and how they relate to the tropical environment. Basic shelter elements, their properties, and their influence on project development will be identified. Various simulation software will be analyzed for complexity and feasibility, leading to the selection of the most appropriate tool.

The next goal is to select the optimal solutions from the literature, design them, and order them. Each identified parameter will be simulated to assess its impact on cooling energy savings. The parameters will be tested separately and sequentially to maintain variable

independence. Once the best cases for each parameter are identified, they will be simulated together to study possible synergies and each part's real contribution to overall savings.

Finally, a sensitivity analysis will be conducted to determine how much improvement each parameter's unit change contributes. This will lead to the final result, identifying the solution that best balances efficiency and applicability.

3. Developed model description

The energy efficiency simulation software Design Builder, which uses Energy Plus as its simulation engine, was used to model the impact of various shelter parameters. Illustration 3 shows the developed model.

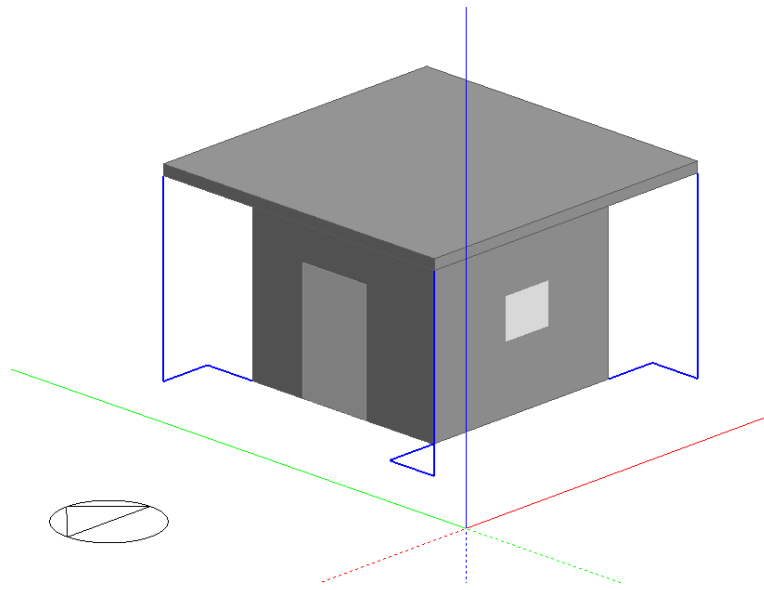


Illustration 3 – Visualization of a possible shed result using Desing Builder

To perform the simulations, parameters such as site climate data, shelter occupancy, lighting consumption, cooling setpoints, materials, and their thicknesses were specified to achieve the results shown below.

4. Results

- **Shelter Shape:** A flatter shape, with a higher ratio of roof and floor area to walls, reduces irradiation and improves energy efficiency, achieving a 4.03% savings. Slightly rectangular shelters are more efficient than square ones, but if too elongated, cooling consumption increases. Proper orientation can lead to a 5% savings.
- **Inclined Roof:** Roof inclination has a negligible effect on cooling; its use would primarily be for tasks like water drainage.
- **Openings:** Glass windows are not recommended, as they increase energy consumption by 18% when covering 20% of the surface. Ventilation grilles, while slightly worsening

cooling, significantly improve air quality with a 2.4% impact. It is more efficient to place grilles on opposite walls and at lower positions.

- **Thickness:** Increasing the thickness of walls and the roof by 25% reduces energy consumption by 3.4%.
- **External Elements:** An external roof with one-meter overhangs reduces consumption by 6%. Using louvres on the south, east, and west sides adds another 4% savings, totaling 10%.
- **Additional Features:** The use of PCM insulation could reduce consumption by 15%. It is suggested to consider thatch roofs and white paint to improve efficiency, as well as opting for lithium-ion batteries due to their lower heat generation.

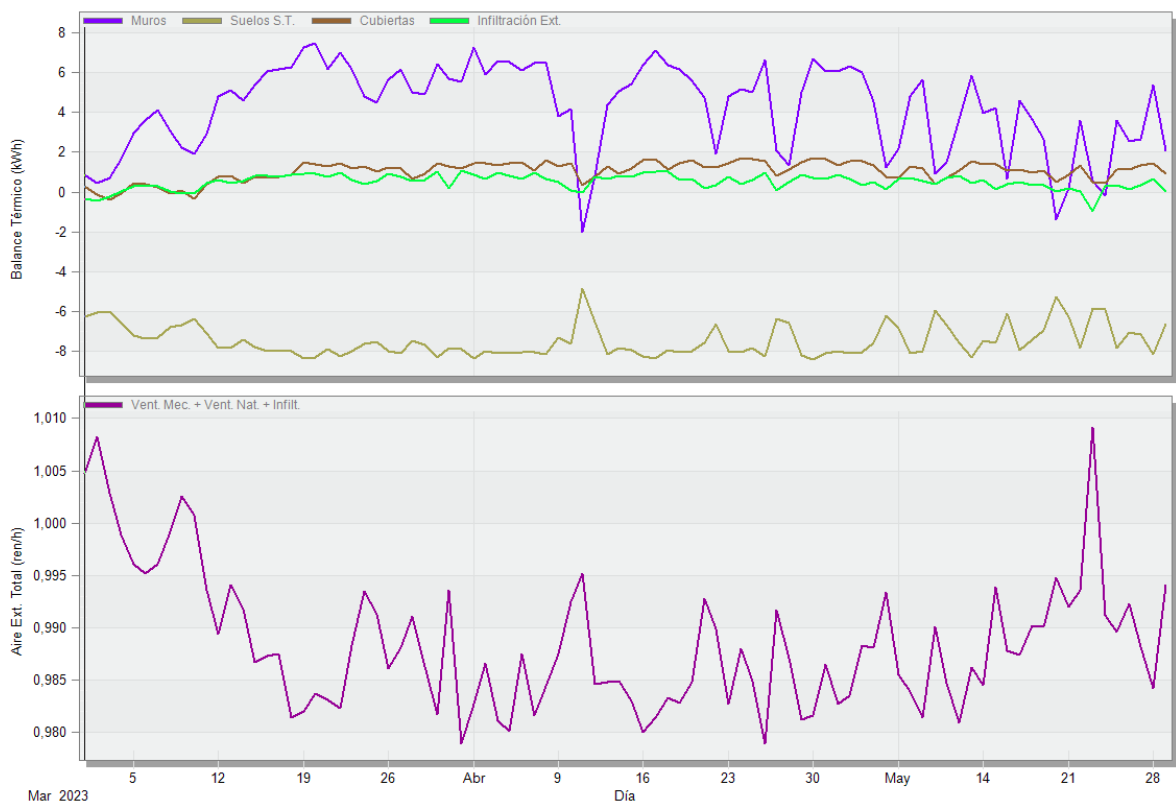


Illustration 4 – Energy balance inside the shed.

The final result, after studying the synergies of these parameters and combining the best cases, is an energy savings of 16.95%.

5. Conclusions

The tropical climate, with high temperature and humidity, limits the effectiveness of cross ventilation and evaporative techniques, as the temperature difference between the inside and outside of the shelter is minimal, and the environment is saturated with moisture. However, alternatives to improve the shelter's efficiency, such as optimizing orientation, the ratio between covered surfaces and walls, and adding external elements like roofs and louvres,

have been explored. In this application, these measures have achieved an energy savings of 16.95%.

Although the goal of passive cooling was not fully achieved due to the extreme climate conditions, alternative solutions were proposed that, while modest on a local scale, have a significant global impact, especially in tropical regions where 60% of the world's population lives. It is suggested to investigate the use of vegetation for landscaping and shelter surfaces, as well as glass solar chimneys for future projects.

6. Referencias

- [1] Bhamare, D. K., Rathod, M. K., & Banerjee, J. (2019). Passive cooling techniques for building and their applicability in different climatic zones—The state of art. *Energy and Buildings*, 198, 467-490. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.06.023>

- [2] Carrilho Da Graça, G., & Linden, P. (2016). Ten questions about natural ventilation of non-domestic buildings. *Building and Environment*, 107, 263-273. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.08.007>

- [3] Engelmann, P., Kalz, D., & Salvalai, G. (2014). Cooling concepts for non-residential buildings: A comparison of cooling concepts in different climate zones. *Energy and Buildings*, 82, 447-456. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.011>

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción.....	7
1.1 Motivación	9
1.2 Contexto	9
1.2.1 Clima	9
1.2.2 Entorno.....	12
1.2.3 Técnico	13
1.3 Objetivos	13
Capítulo 2. Descripción de las Tecnologías	15
2.1 Propias de la Refrigeración	15
2.2 De la Caseta	21
2.3 Del Software utilizado.....	24
Capítulo 3. Estado de la Cuestión	29
Capítulo 4. Definición del Trabajo.....	36
4.1 Justificación	36
4.2 Metodología del Desarrollo.....	37
4.3 Metodología de Simulación	38
4.4 Metodología de Resultados	38
4.5 Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)	38
Capítulo 5. Modelo Desarrollado	42
5.1 Configuración del Sitio	42
5.2 Configuración de la Caseta	44
5.3 Configuración del Sistema de Refrigeración	50
5.4 Configuración de la Simulación.....	51
5.5 Configuración de los Resultados.....	54
Capítulo 6. Simulación	56
6.1 Simulación de la Planta y el Alzado	56
6.2 Simulación del Techo.....	60
6.3 Simulación de las Paredes	61

6.4	Simulación de Aberturas	62
6.5	Simulación de Elementos externos	65
6.5.1	<i>Tejado Externo</i>	65
6.6	últimas Disposiciones.....	66
Capítulo 7. <i>Análisis de Resultados</i>		68
7.1	Técnicos	68
7.2	Análisis de Sensibilidad	71
Capítulo 8. <i>Conclusiones y Trabajos Futuros</i>		72
Capítulo 9. <i>Bibliografía</i>		74
ANEXO I: <i>GUÍA PARA MMUU</i>		78
Anexo III. <i>Código DB/E+</i>		80

Índice de figuras

Figura 1. Involucración de la ONG MMUU por continentes y áreas de impacto (MMUU, 2021).....	7
Figura 2. Países en los que la FII apoyó al desarrollo en 2023 (ICAI, 2023)	8
Figura 3. Localización de Benín, del sitio (Bagou) y de la estación meteorológica (Kandi).	10
Figura 4. Contraste entre las temperaturas medias nocturnas en Kandi y Madrid (Atlas, 2023)	11
Figura 5. Contraste entre el porcentaje de humedad relativa en Kandi y Bilbao (Atlas, 2023)	12
Figura 6. Esquema con las formas de refrigeración pasiva. (Al-Obaidi et al., 2014)	18
Figura 7. Esquemas con las principales formas de ventilación. (DOE, 2022)	20
Figura 8. Ejemplo de tejado externo, adicional al techo de la caseta. (Intertec, 2016)	23
Figura 9. Pico de capacidad de la batería a los 25°C (Lv et al., 2022)	24
Figura 10. Capacidades del software Design Builder (DesignBuilder, 2021).....	26
Figura 11. Captura de pantalla de la aplicación web “3D Sun Path” (Marsh, 2015)	27
Figura 12. Diferencia de temperatura entre una superficie blanca y otra negra bajo condiciones ambientales similares. (Al-Obaidi et al., 2014).....	33
Figura 13. Zonas climáticas del mundo bajo la clasificación Köppen. (britannica, 2024) .	34
Figura 14. Zonas del mundo bajo clima tropical. (meteoblue, 2024).....	35
Figura 15, Mapa de proyectos de Manos Unidas completados hasta la fecha en 2024 (MMUU, 2024).....	35
Figura 16. Los 3 círculos de influencia de los 17 ODS. (ONU, s. f.).....	39
Figura 17. Selección entre otras de la ubicación más cercana al sitio de trabajo.	42
Figura 18. Datos de la base de datos de Design Builder	42
Figura 19. Ajuste de los datos climáticos de Kandi, Benín.....	43
Figura 20. Actualización datos climáticos Kandi, Benín	43
Figura 21. Determinación preliminar del uso de la caseta.	44
Figura 22. Determinación preliminar de la configuración de la caseta.	44

Figura 23. Selección del método de medidas externas para el dimensionamiento de la caseta.	45
Figura 24. Ajuste de la pestaña actividad del software Design Builder	45
Figura 25. Pestaña cerramientos del programa Design Builder.	46
Figura 26. Capas, materiales y espesores de las paredes de la caseta.	46
Figura 27. Ejemplo de construcción de una caseta real de MMUU y su modelado en Design Builder.	47
Figura 28. Pestaña aberturas del programa Design Builder.	48
Figura 29. Horario de ocupación (e iluminación) utilizado en la caseta.	48
Figura 30. Ajuste de las horas de generación de electricidad de las placas solares.	49
Figura 31. Configuración del suelo de la caseta.	50
Figura 32. Ajuste de la consigna del equipo de refrigeración.	50
Figura 33. Configuración de la pestaña HVAC de Design Builder.....	51
Figura 34. Configuración inicial de los ajustes de simulación del modelo.	51
Figura 35. Ajustes de la herramienta de optimización de Design Builder.	52
Figura 36. Ejemplo de salida del programa de optimización.	52
Figura 37. Salida de ejemplo del programa de optimización.	53
Figura 38. Parámetros del techo externo de la caseta.	53
Figura 39. Ejemplo de resultados que se pueden escoger a la salida de Design Builder. ...	54
Figura 40. Ejemplo de salida de Design Builder.	54
Figura 41. Modelo de partida de la caseta.	56
Figura 42. Comparación entre la variación de calor del suelo y cubierta según varía el área de ambos.	57
Figura 43. Determinación del beneficio de usar una forma rectangular o no.	58
Figura 44. Irradiancia del Sol sobre la caseta según cambia la orientación de esta.	59
Figura 45. Consumo en refrigeración según cambia la orientación de la caseta rectangular.	59
Figura 46. Posible aspecto de la caseta, con una inclinación de 30°.	60
Figura 47. Variación del consume de la caseta con la inclinación de la cubierta.	61
Figura 48. Incremento del consume en refrigeración con el aumento en acristalamiento. .	63

Figura 49. Modelo de la caseta con tejado externo. 65

Figura 50. Caseta del sitio protegida de la irradiación solar por louveres. 66

Índice de tablas

Tabla 1. Zonas climáticas en el mundo según la ASHRAE (I. ASHRAE, 2021)	10
Tabla 2. Comparación entre las temperaturas medias mensuales de Kandi y Madrid (M. ASHRAE, 2021).....	11
Tabla 3. ODS escogidos y metas específicas en las que se busca tener el mayor impacto .	40
Tabla 4. Resultados de la simulación con forma de planta constante.	57
Tabla 5. Resultados de la planta para comparar el consumo a igual base pero distinta altura.	58
Tabla 6. Consumo para refrigeración según diferentes combinaciones de muros.	62
Tabla 7. Balance de energía (kWh) en la caseta con la incorporación de las rejillas.....	63
Tabla 8. Búsqueda configuración óptima de las rejillas.....	64
Tabla 9. Evolución del consumo según varía el saliente del techo externo.	65
Tabla 10. Posible mejora gracias al uso de aislantes como la serie Infinite RPCM X.....	67
Tabla 11. Parámetros de la caseta ordenados por efectividad y aplicabilidad.	71
Tabla 12. Tabla con el resultado final de ahorro.	71

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

Este Trabajo de Fin de Grado surge como la triple colaboración entre la ONG Manos Unidas (MMUU en adelante), la Fundación de Ingenieros de ICAI (FII en adelante) y el propio ICAI. Se enmarca en la misión de la FII : “Ingeniería con propósito”. Busca poner a servicio de la sociedad, en especial de los que más lo necesitan, los saberes técnicos y humanos trabajados durante los estudios.

A modo de recordatorio, MMUU es la ONG de desarrollo de la Iglesia Católica y de voluntarios. Comenzó su actividad en 1955 y actualmente cuenta con más de 6500 voluntarios. Colaboran principalmente con países en vías de desarrollo, en los continentes de América, África y Asia. En 2021 llevaron a cabo 474 proyectos en 51 países, con los que intentaron apoyar al desarrollo de los siguientes campos: Alimentación y medios de vida, Educación, Salud, Agua y saneamiento, Derecho de las mujeres y equidad, Derechos humanos y sociedad civil y Medio ambiente y cambio climático. Estos datos por áreas se recogen en la Figura 1.

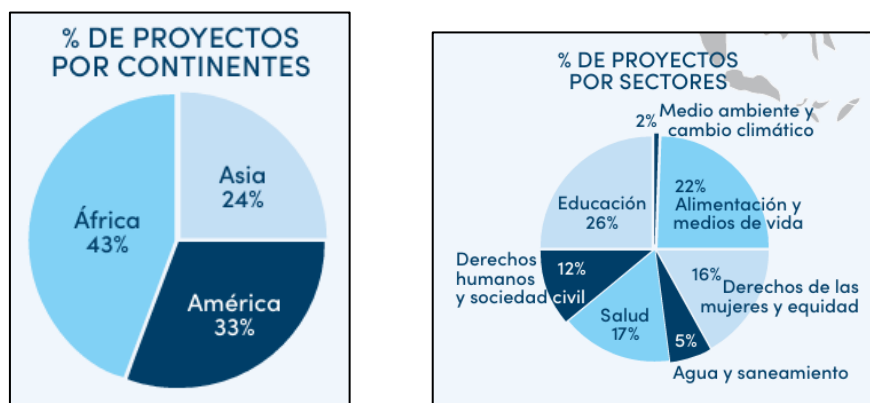


Figura 1. Involucración de la ONG MMUU por continentes y áreas de impacto (MMUU, 2021)

Por otro lado, la FII es la asociación sin ánimo de lucro de los ingenieros egresados de la Universidad Pontificia de Comillas - ICAI. En el Artículo 6 de sus estatutos puede leerse:

“La Fundación tiene por objetivo y fines, en beneficio del interés general, la cooperación al desarrollo de colectivos, poblaciones o zonas deprimidas mediante la aportación de medios materiales y técnicos, procurando siempre proporcionar elementos o contenidos con beneficios multiplicadores respecto a los proyectos que se desarrollen.”

Está adherida a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030. En su portal de transparencia de fin de año 2023 muestran que centran sus esfuerzos en 5 de estos 17 objetivos: 5º. Igualdad de género, 6º. Agua limpia y saneamiento, 7º. Energía asequible y no contaminante, 9º. Industria, innovación e infraestructura y 17º. Alianzas para lograr objetivos. La Figura 2 recoge los lugares dónde se apoyó a la consecución de estos objetivos en 2023.

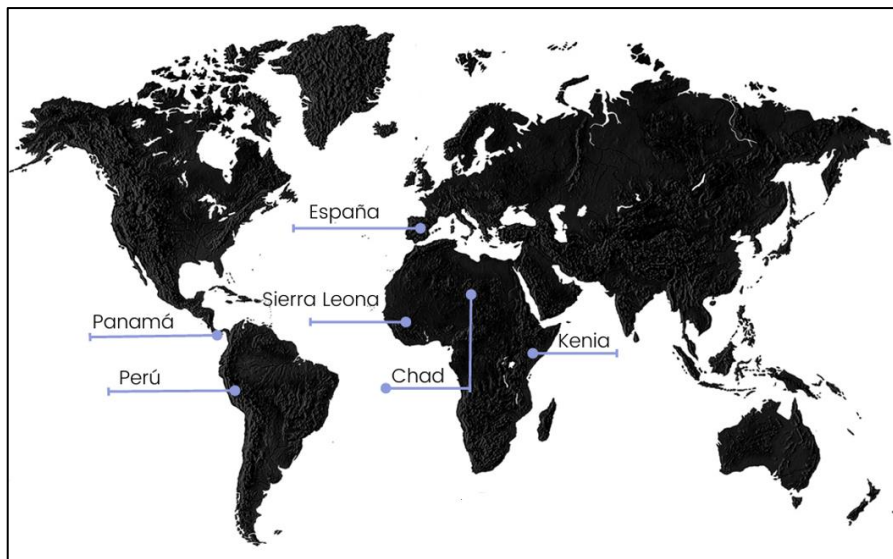


Figura 2. Países en los que la FII apoyó al desarrollo en 2023

Como puede verse, estas dos organizaciones tienen el objetivo común de ayudar a los que lo necesitan y así surge este proyecto, propuesto entre los alumnos de la escuela como un Trabajo de Fin de Grado. Se cuenta con D. Emilio Blanco y D. José Baena desde MMUU y Dña. Marta Reina como Gerente de la FII. Han recibido y concluido con entusiasmo este proyecto el Director, D. Carlos Sanz Jimeno y el alumno autor, Lorenzo Torrado Billard.

1.1 MOTIVACIÓN

MMUU colabora en el diseño e instalación de parques solares, de 14 kWp el más reciente, que se utilizan para suministrar energía a hogares, orfanatos, hospitales etc. A menudo estas plantas se instalan en zonas con temperaturas muy elevadas y se detectó que las baterías y los equipos fotovoltaicos de estos parques se sobrecalentaban con el uso, afectando a su rendimiento, capacidad y vida útil, llegando en picos de calor y demanda a imposibilitar el suministro de energía.

El reto consiste entonces en buscar una forma muy eficiente de refrigeración que permita mantener los equipos a temperaturas que no afecten ni a su vida útil ni rendimiento y al mismo tiempo puedan entregar el suministro suficiente de energía en las comunidades que lo necesitan cuando lo requieran.

1.2 CONTEXTO

Este proyecto se encargó para diseñar la caseta que alberga las baterías y el resto de equipos fotovoltaicos (inversor y regulador de carga) de manera que la refrigeración de estos sea lo más eficiente posible en países con climas tropicales. Este clima y el tipo de países en los que se quieren implementar las soluciones diseñadas en este proyecto han determinado crucialmente el camino y la conclusión del mismo.

1.2.1 CLIMA

En primer lugar, es importante destacar las particularidades del clima tropical. La Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado, ASHRAE por sus siglas en inglés, reúne a efectos de diseño y confort todos los climas del mundo en 17 distintos. Estos pueden verse en la Tabla 1. El clima tropical se clasifica como 1A. El 1 es por tener las temperaturas más altas y la A por ser muy húmedo.

Climate Zone	Temperature	Moisture	Köppen Classification Description
1A	Very Hot	Humid	Tropical Wet and Dry

1B	Very Hot	Dry	Arid Middle Latitude
2A	Hot	Humid	Humid Subtropical (Warm Summer)
2B	Hot	Dry	Arid Subtropical
3A	Warm	Humid	Humid Subtropical (Warm Summer)
3B.	Warm	Dry	Semiarid Middle Latitude/Arid Subtropical/Highlands

Tabla 1. Zonas climáticas en el mundo según la ASHRAE (I. ASHRAE, 2021)

La ASHRAE también recoge datos climáticos de estaciones meteorológicas de todo el mundo. Aun siendo las conclusiones de este trabajo válidas para todas las regiones con este clima, y algunas incluso también para el resto, este proyecto se va a centrar en un ejemplo de aplicación real en Bagou, Benín. Esta ciudad del departamento de Alibori, con casi 30.000 habitantes en 2013 (INSAE, 2013) se encuentra a unos 40 km de una de estas estaciones, en la capital del departamento, en Kandi. La Figura 3 muestra la ubicación del sitio del trabajo (Bagou) y de la estación meteorológica (en Kandi) cuyos datos se van a utilizar durante el resto del proyecto.

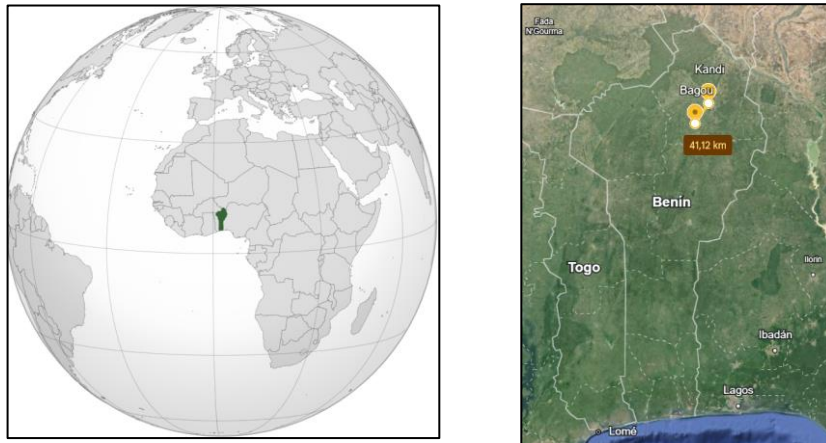


Figura 3. Localización de Benín, del sitio (Bagou) y de la estación meteorológica (Kandi).

(Google & Wikipedia, 2024)

La nombrada estación meteorológica recoge datos de temperatura, humedad, velocidad del viento etc. durante todo el año. La Tabla 2 recoge las temperaturas medias mensuales medidas en 2021. Se comparan con las de Madrid, España, para tener perspectiva.

	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dec
Kandi, Benín	28.3	25.3	28.7	32.1	32.7	30.6	28.5	27.0	26.3	26.8	28.2	27.7	25.7
Madrid, España	15.0	6.1	7.3	10.4	12.9	17.0	22.5	25.6	25.3	20.6	15.6	9.7	6.4

Tabla 2. Comparación entre las temperaturas medias mensuales de Kandi y Madrid (M. ASHRAE, 2021)

Estas temperaturas medias tan elevadas se deben no sólo a sus temperaturas pico durante si no que a por la noche no descienden tanto las temperaturas como en otros lugares menos húmedos o con más viento. La Figura 4 muestra la temperatura media por la noche en Kandi y Madrid para de nuevo comparar y tomar perspectiva.

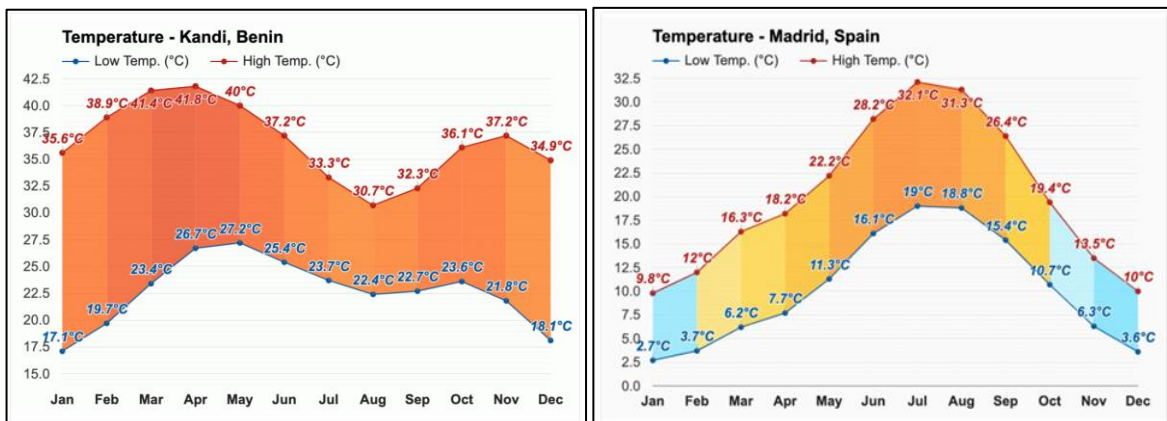


Figura 4. Contraste entre las temperaturas medias nocturnas en Kandi y Madrid (Atlas, 2023)

Nótese que en el mes más cálido las noches de Madrid tienen una temperatura media máxima de 19°C y en Kandi esto sólo ocurre en los meses de invierno más fríos, con temperaturas nocturnas medias en verano que sobrepasan los 27 °C.

En último lugar en cuanto a contexto de condiciones climáticas, también es importante destacar las condiciones de humedad en el sitio, porque esto afecta en enorme medida al tipo de soluciones de refrigeración que se pueden utilizar (principalmente utilizar métodos evaporativos o no). La Figura 5 recoge la comparación entre el porcentaje de humedad relativa que se da en Kandi (zona de interior) con la que puede darse en España por ejemplo en Bilbao (zona de costa).

Se puede ver que, debido al monzón, los valores de humedad relativa durante un tercio del año se acercan a los de un lugar de costa o incluso los supera, estando a 600 km del mar.

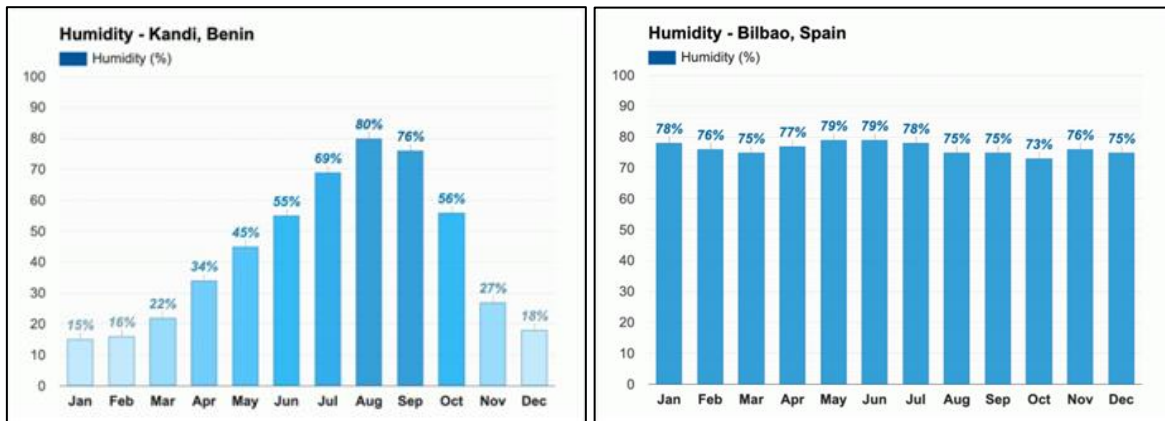


Figura 5. Contraste entre el porcentaje de humedad relativa en Kandi y Bilbao (Atlas, 2023)

En el [Estado de la Cuestión](#) se expone como estas condiciones de temperatura y humedad han influido en las propuestas para el diseño de la caseta.

1.2.2 ENTORNO

La naturaleza del sitio, Bagou, impone una serie de condiciones a las soluciones que se plantean al final de este documento.

- En la lista de materiales de la obra, evitar en la medida de lo posible elementos tecnológicos o complejos que no se puedan encontrar en el sitio de la instalación. Todo lo que no pueda encontrarse en Bagou deberá ser traído al principio de la obra en barco desde España u otra localización, con el impacto en coste y complejidad que esto conlleva.
- La solución que se encuentre ha de ser duradera en el tiempo, requiriendo bajo, muy bajo o nulo mantenimiento.
- Se debe evitar el uso de elementos electrónicos difíciles de reparar o sustituir, como elementos de control y accionamiento electrónicos.

- A su vez, la caseta debe poder refrigerarse de manera autónoma, con apenas intervención humana en el desarrollo de la actividad.
- Por último, no contar con mano de obra especializada ni en la construcción, ni en la operación, ni en el mantenimiento.

1.2.3 TÉCNICO

Para la consecución del proyecto, MMUU solicita los siguientes requerimientos técnicos:

- La idea para el volumen de la caseta es de aproximadamente 50 m^3 , con una planta entorno a los $4 \times 4 \text{ metros}^2$ y una altura de 3 m.
- A su vez, atendiendo al bienestar de los equipos mencionados, se desea que la temperatura en el interior de la caseta no supere los $30 \text{ }^\circ\text{C}$.

1.3 OBJETIVOS

Una vez se ha introducido el proyecto, el clima en el que se quiere implementar la solución y los requerimientos formales y técnicos que le rodean, se listan a continuación los objetivos que se han buscado alcanzar en este proyecto:

- Proponer a MMUU soluciones al reto con el que se encuentran, evaluándolas por su complejidad de implementación y su potencial beneficio.
- Selección de las soluciones óptimas y su completo diseño.
- Guiar en la implementación del proyecto y en el mantenimiento del sistema de manera sostenible en el tiempo en el contexto real en el que se encuentre.
- Conseguir un impacto social con el mayor alcance posible, ofreciendo flexibilidad para cubrir de manera óptima el mayor número de casos reales.

Como fin a este primer capítulo se quiere adelantar lo que se desarrollará en los demás. En [Descripción de las Tecnologías](#) se describirán los términos y funcionamientos propios de la refrigeración pasiva para facilitar la lectura del resto de la memoria. Igualmente los del software utilizados y sus características.

En [Estado de la Cuestión](#) se hace un repaso de la bibliografía existente para comprender las particularidades del clima del sitio, las soluciones ya existentes y cómo estas pueden encajar.

En [Modelo Desarrollado](#) se explica cómo se desarrollará la simulación que se ha realizado para conseguir los resultados finales. Su proceso de obtención se mostrará en [Simulación](#) y en [Análisis de Resultados](#) se discutirán críticamente, buscando la manera óptima de combinar las variables previamente elegidas.

En [Conclusiones y Futuros trabajos](#) se hará un resumen de la solución que se ha alcanzado y en [Bibliografía](#) se recogerán todas las fuentes que se han utilizado en esta memoria.

En último lugar, en los [Anexos](#) se dispondrán contenidos adicionales que no se consideraban necesarios en el cuerpo de la memoria pero sí que son útiles para la comprensión de este y de futuros trabajos.

Capítulo 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

En este capítulo se pretende aclarar el funcionamiento de las tecnologías que se van a trabajar durante el desarrollo de este proyecto para facilitar la lectura de esta memoria. En el apartado [Propias de la Refrigeración](#), las que corresponden a la naturaleza propia del caso en cuanto a refrigeración y refrigeración pasiva: en qué consisten, un repaso a su origen, y a sus formas y parámetros más habituales en la actualidad.

En (Descripción de las Tecnologías) [De la caseta](#), se repasan los parámetros y propiedades físicas más habituales que se trabajan en este tipo de construcción, con ideas o características que seguirán mencionándose en el resto del trabajo.

Y por último, en [Del Software utilizado](#), la introducción a las herramientas informáticas que se han utilizado para las simulaciones y sus principales características y propiedades a conocer.

2.1 PROPIAS DE LA REFRIGERACIÓN

En este apartado se van a resumir los conceptos de la refrigeración y la refrigeración pasiva que se van a trabajar en este proyecto.

Sobre la refrigeración tan solo dos ideas. En primer lugar, recordar su definición. Según la RAE: “*Acción y efecto de refrigerar*” (RAE, 2024b). Y refrigerar: “*Hacer más fría una habitación u otra cosa por medios artificiales*” (RAE, 2024a). Esto puede conseguirse con o sin gasto de energía. En cualquier caso, establecer que lo único que se hace es mover el calor de una localización a otra.

Si esto se hace con gasto de energía, utilizando un equipo como un aire acondicionado, con el aporte de electricidad que requiere, su compresor, condensador y ventilador, se consigue mucho “frío” en la sala e igual calor en el exterior. Es lo que se denomina refrigeración activa.

Más adelante se describirá propiamente la refrigeración pasiva, pero se quiere adelantar básicamente lo que se busca es conseguir el mismo efecto: trasladar el calor. Aunque de manera natural y en menor medida.

La segunda y última idea que se quiere transmitir sobre la refrigeración, antes de pasar a la pasiva como tal, es que es precisamente el gasto en electricidad de los equipos activos es lo que les permite esos grandes escalones de diferencia de temperatura con el exterior. Es decir, toda la refrigeración pasiva, que no aporta energía al sistema (o muy poca), se basa en diferencias de temperaturas con el exterior y en evaporación natural de líquidos como el agua que absorben la energía considerada extra en el proceso de cambio fase. Si la temperatura del entorno (aire y suelo) es demasiado elevada o el aire ya se encuentra saturado de humedad, la aplicación de sistemas pasivos se ve enormemente limitada, o incluso inhabilitada. Existen maneras sin embargo de trabajar con esta limitación y es lo que se propone en este proyecto.

Entrando entonces ya en la refrigeración pasiva como tal, habiéndose hecho el aviso anterior, lo primero que se quiere introducir es su historia. Los primeros papers académicos que se encuentran trabajando esta cuestión y con este nombre datan de la década de 1970, en Estados Unidos. (Al-Shamkhee et al., 2022). Definieron la refrigeración pasiva como una expresión utilizada para envolver una variedad de técnicas de diseño que buscan enfriar una sala o edificación para el bienestar de sus ocupantes y equipos sin el uso de sistemas mecánicos alimentados con electricidad (lo que anteriormente se definió como ventilación activa).

El mismo paper continua explicando: *“Some of these systems functions include the use of a fan or a pump with low energy consumption when its application might increase the system’s effectiveness. Other passive systems need occupant interaction, like opening and closing windows”*. (Al-Shamkhee et al., 2022). Lo que aclara la mención que se hacía antes de que se usa ninguna o “muy poca” energía externa, ya sea en equipos eléctricos de poca potencia o en la manipulación de los sistemas por la mano de operarios. Se recuerda que en

este proyecto se busca una solución que funcione autónomamente y con poco o muy poco mantenimiento.

Otro artículo añade: *“Passive cooling techniques use ambient cooling sinks like building material, air, water, night sky, etc. to mitigate the rise in temperature of the building due to heat sources such as ambient air, direct solar heat gain, building an internal heat gain. Passive cooling techniques can help in maintaining the required comfort conditions of the building with minimum energy consumption.”*. (Bhamare et al., 2019). Insiste en la idea del uso de poca energía, pero sobre todo se incluye en esta memoria porque aporta un nuevo concepto: las fuentes de calor. Se adelanta ya que si la caseta se calienta es por uno o más motivos de estos 3: temperatura ambiente, incidencia directa de la radiación Solar y generación interna de calor. Las medidas que se proponen en este proyecto buscan mitigar en la mayor medida de lo posible el efecto de todas ellas.

Una vez se han establecido las bases de la refrigeración en general y de la refrigeración pasiva en particular, se puede derivar entonces directamente cuál debería ser la forma de proceder: *“The plan for cooling a building should be conceived on three levels: protection from solar irradiance and heat, modification of heat gains, and rejection of internal heat from the building”* (Bhamare et al., 2019). Es decir, protegerse de la radiación externa, de la temperatura ambiente, y evacuar (se añade evitar) el calor interno.

Todas las formas de refrigeración pasiva se desarrollan bajo este paraguas. Otra fuente elabora y comparte el esquema de la Figura 6, que representa gráficamente esta información. Se pueden ver las formas de refrigeración pasiva que existían en 2014, y todavía hoy en día en 2024, y cómo estas se clasifican en 3 ramas: protegerse de la radiación solar, el aislamiento de la temperatura ambiente exterior, y la disipación del calor interno.

Como muchas de estas formas de refrigeración que se enseñan en la Figura 6 aparecerán de nuevo en esta memoria más adelante, se procede a introducirlas. Como muchas son evidentes y sólo algunas se espera que puedan resultar nuevas o desconocidas, se describirán de la manera más breve posible.

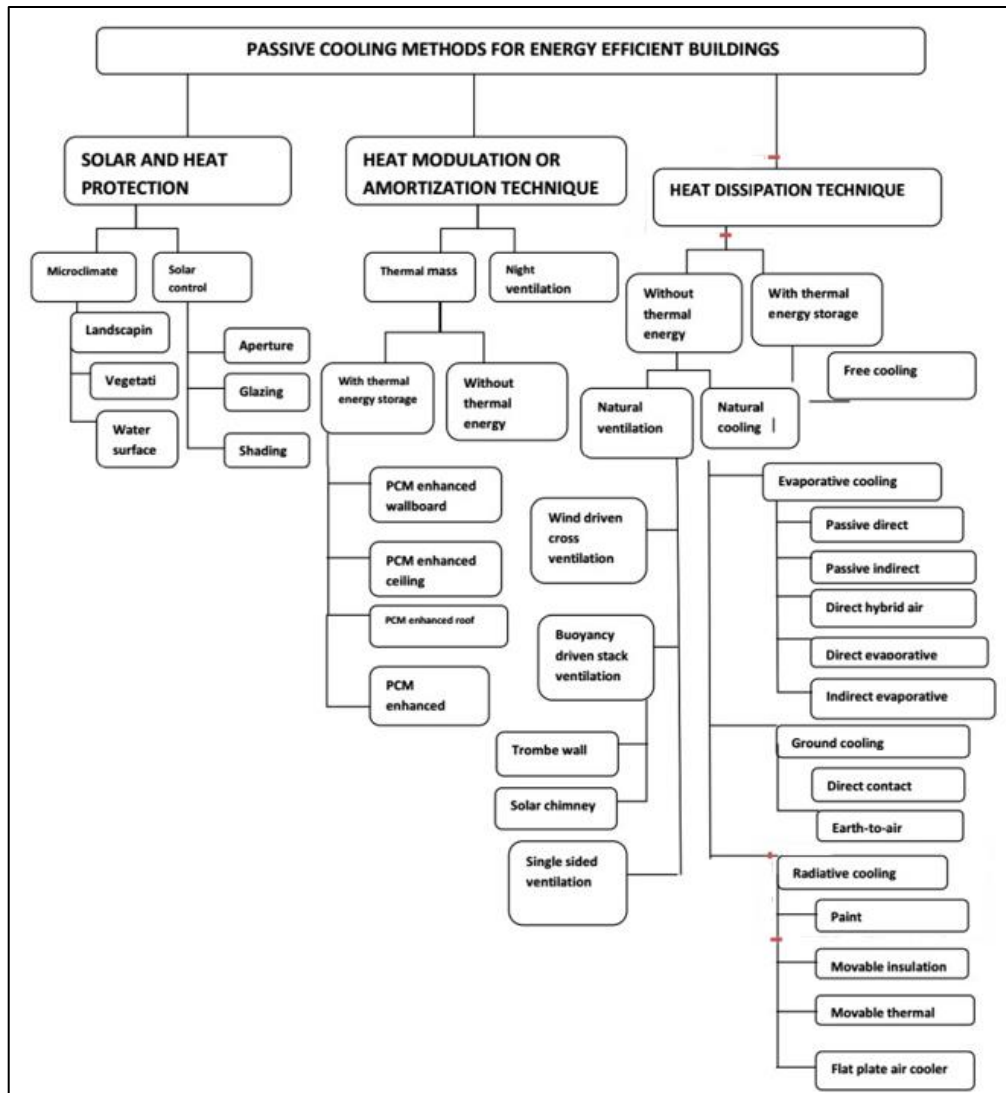


Figura 6. Esquema con las formas de refrigeración pasiva. (Al-Obaidi et al., 2014)

Sobre las medidas basadas en la protección solar. Se puede utilizar el entorno (landscaping) o la propia construcción. Ya sea con la plantación de árboles en la cercanía que den sombra al edificio, o manipulando las aberturas de la caseta. Glazing hace referencia al control de los parámetros que terminan dando una transmisión de radiación y entonces de calor a través de un medio transparente como las ventanas y con shading la fuente se refiere al uso de elementos como tejados externos o louvres. Estos aspectos de la caseta se describen más en su apartado propio, [De la Caseta](#).

La modulación del calor externo puede conseguirse manipulando la masa térmica del edificio, con o sin intercambio drástico de energía. Esto se refiere a que además de los materiales inertes estándar que conocemos, como cemento, hormigón o adobe, se están introduciendo cada vez más los PCM, en inglés: “Phase Changing Materials”. Aclaraciones sobre su significado y el de otros términos como “masa térmica” también se encuentran en el apartado de [De la Caseta](#).

Y sobre la disipación de calor, esta fuente y otras coinciden en el uso principalmente de: ventilación natural, ya sea por corriente directa de aire o por efecto de flotación, o con elementos de construcción como el muro trombe, la chimenea solar o el pozo canadiense. También recoge las técnicas de refrigeración evaporativas (basadas en el proceso de absorción de calor durante el cambio de fase anteriormente mencionado) o las irradiativas, que también podrían colocarse en protección solar.

Antes de pasar a las propiedades de la caseta, aclarar ya aquí los dos mecanismos pasivos de circulación de aire que se han mencionado: por influencia directa del viento o por flotación. La siguiente fuente explica: “*In general, natural ventilation inside buildings can be categorised into air pressure ventilation, known as wind force, and stack effect ventilation or thermal force. As explained by Szokolay, air pressure ventilation will occur when a flow of wind is blocked by a building’s surfaces. The wind’s velocity creates higher pressures on the windward side of the building, while on the leeward side, the pressure is much lower. This differential can stimulate air flow into the indoor environment and hence lower the air temperature in the building. (...) However, stack ventilation or thermal force can occur through vertical air movement, where cool air has been warmed up in a building by human activity or the operation of machinery. The warm air rises vertically and is discharged out from the building by architectural elements.*” (Aflaki et al., 2015).

Se considera importante de este texto para este proyecto dos conclusiones: que si la temperatura del viento exterior es adecuada, es importante facilitar elementos en la caseta que permitan su circulación. Y en segundo lugar, que aun con la caseta cerrada, puede conseguirse circulación de aire en el interior siempre que haya una toma de aire frío, y con

la generación interna de calor este subirá hacia la salida habiendo reducido la temperatura de la sala en el proceso. Se recoge en la Figura 7 la representación de la ventilación cruzada (encima) y la circulación de aire por gravedad (debajo).

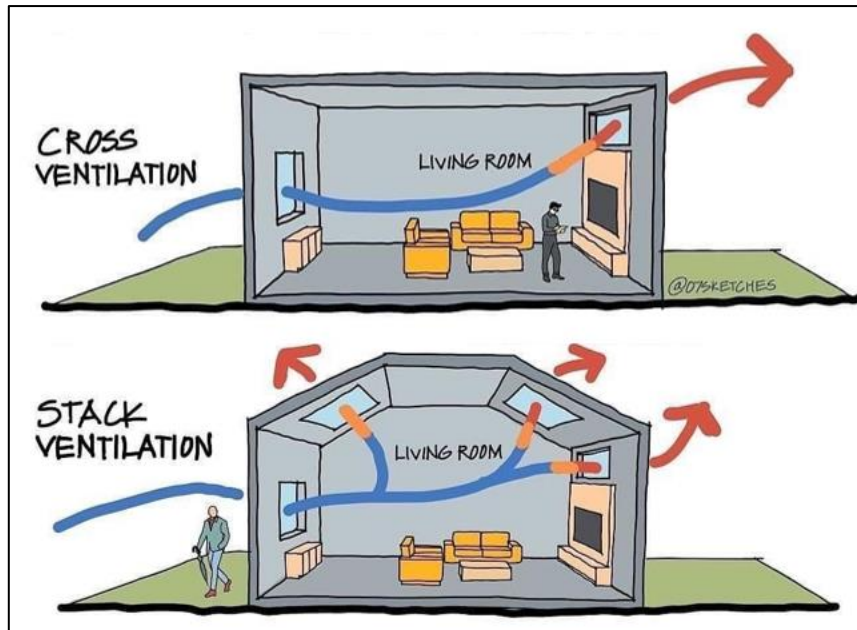


Figura 7. Esquemas con las principales formas de ventilación.
(DOE, 2022)

La misma fuente que exponía los tipos de ventilación, en las conclusiones declara: “(...) *temperature differences between indoor and outdoor environments and differences in height between indoor and outdoor apertures are both significant factors in the application of proper stack ventilation in buildings*”. (Aflaki et al., 2015). Este tipo de cuestiones se desarrollarán más en el [Estado de la Cuestión](#).

Después de haber explicado los conceptos necesarios para el trabajo de refrigeración, se pasa a realizar lo mismo con los elementos de la caseta.

2.2 DE LA CASETA

En este apartado se describen las tecnologías de la caseta que se quiere diseñar. En primer lugar se van a identificar las variables de diseño de la misma y a continuación se desarrollarán las particularidades de cada una de ellas.

Se consideran como variables para el diseño de la construcción: su planta (forma y tamaño), el alzado (altura), el techo (inclinación y orientación), los muros (espesor y material), aberturas (ventanas, su diseño, y otros elementos como rejillas o tipos de celosillas) y el tejado externo (tamaño, efectividad y alternativas). También se describe en este apartado lo referente a la tecnología de las pilas de almacenamiento de energía de la planta.

La planta y el alzado se trabajarán directamente en el apartado de [Simulación](#), se estudiará cómo varias formas y tamaños favorecen en mayor o menos medida la eficiencia del sistema.

Sobre el techo se quiere adelantar que este en este trabajo se le considera plano o inclinado. En caso de estar inclinado, se puede modificar hacia a qué dirección. Por simplicidad, sólo se consideran tejados a un solo agua. Por el mismo criterio se han descartado techos abovedados. Los materiales de construcción se mencionan a continuación en los muros. La importancia del techo es crucial porque es el que recibe la mayor parte de la radiación del Sol. Más detalles se aclararán en el apartado de [Simulación](#).

Sobre los muros es importante aclarar que las principales variables de diseño que se consideran son el espesor y el material. Manos Unidas a suministrado materiales que se suelen usar en este tipo de construcciones y localizaciones, ladrillos de adobe principalmente con capas de pintura para favorecer la estanqueidad. En la documentación facilitada se ve el mismo tipo de elementos para los tejados, usando varillas corrugadas de acero para aportar rigidez.

En las fuentes se encuentra a menudo el concepto de “masa térmica”. Una posible definición es: *“En diseño de la construcción, la masa térmica es una propiedad de la masa de un edificio que permite almacenar calor, proporcionando “inercia” contra fluctuaciones de temperatura. Se conoce a veces como el efecto del volante térmico.”* (theyellowhouse.com, 2005). Esto quiere decir que si durante el día surge un pico de temperatura ambiente, con la suficiente masa térmica se puede conseguir que la temperatura en el interior no siga esa tendencia. Esto por supuesto tiene el perjuicio de dificultar el enfriamiento por la noche.

Por último lugar en cuanto a respecto de los muros, se utilizará más adelante el llamado “Factor-U”, “U-Factor” en inglés. Es la medida que recoge cuantitativamente el efecto previamente mencionado. En concreto, la cantidad de calor perdida por metro cuadrado de superficie por cada grado de diferencia entre el interior y el exterior, W/m^2K . Materiales que controlan muy bien esta variable son los PCM, Phase Changing Materials. Estos están hechos con materiales viscosos en el interior que según reciben el calor lo absorben para cambiar de fase, evitando transmitirlo al interior. Cuando las temperaturas descienden debajo de un umbral, el material recupera la solidez inicial liberando el calor almacenado en el proceso, colocando las capas de tal manera que esto sólo ocurra hacia el exterior. Cuestiones de este estilo se discuten y prueban en el [Estado de la Cuestión](#) y en la [Simulación](#).

Sobre las aberturas se quiere introducir el concepto de glazing, que afecta a las ventanas. Implica el tipo de cristal que se utiliza, el número de capas, y si se aplica algún tipo de tratamiento, tintado o no. Como parámetro físico se tiene el Factor-U de igual manera. E introducir también los elementos llamados en las fuentes “louvres”. Láminas, generalmente de madera o material similar, orientables o fijas con una orientación determinada, que protegen a una construcción de la radiación directa del Sol, sin bloquear la incidencia del viento ni generando oscuridad total.

Sobre el tejado externo tan solo aclarar que este consistiría en un tejado adicional al propio techo de la caseta que se sujetaría mediante una estructura sobre la construcción

original a fin de bloquear la incidencia del Sol. El estudio sobre su efectividad y dimensionamiento se encuentra en [Simulación](#). La Figura 8 recoge uno de estos tejados.

En último lugar antes de pasar al siguiente apartado, una mención al último elemento de la caseta, las pilas. Las pilas energéticas son las protagonistas de este trabajo porque lo que se busca es refrigerarlas principalmente a ellas. El exceso de energía que genera el parque solar se almacena en baterías que están formadas por conexiones serie/paralelo de estas pilas. Antes del desarrollo de tecnologías más nuevas se utilizaban modelos basados en plomo que se calentaban enormemente durante su utilización.



Figura 8. Ejemplo de tejado externo, adicional al techo de la caseta.
(Intertec, 2016)

Hoy en día está mucho más extendido el uso de pilas basadas en tecnología de ión-litio, que además de tener mayor capacidad por kilogramo de pila (densidad energética) apenas se calientan durante su utilización, MMUU ya cuenta con su uso. La cuestión de la temperatura exterior (exterior a ellas, en el interior de la sala) es clave porque determina la utilidad real que pueden terminar teniendo.

Aunque la capacidad de muchas de estas pilas aumenta con la temperatura, la mayoría de ellas alcanzan el pico a los 30°C, como puede verse en la Figura 9. La cuestión realmente

crucial es la disminución de la vida útil con el aumento de la temperatura, con datos como el siguiente: “La vida útil de la batería se reduce a temperaturas más altas: por cada 8,33 °C adicionales por encima de los 25 grados, la vida útil de la batería se reduce a la mitad.” (Intercell, 2024).

Del conjunto de estos dos datos se entiende que deriva la estimación de MMUU de solicitar que se consiga en la sala una temperatura igual o inferior a los 30°C.

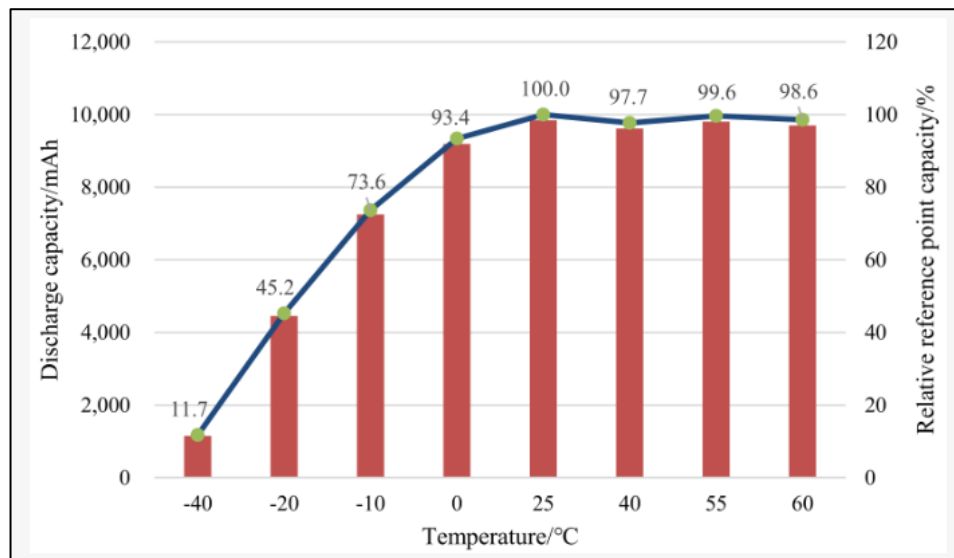


Figura 9. Pico de capacidad de la batería a los 25°C (Lv et al., 2022)

Ya se han descrito las tecnologías propias de la refrigeración y de la caseta y a continuación se realiza lo propio con el software utilizado.

2.3 DEL SOFTWARE UTILIZADO

Este apartado consiste en enunciar las herramientas utilizadas en el desarrollo de este trabajo y describir partes de su funcionamiento.

En primer lugar, exponer el motor de simulación Energy Plus. De su propia página web: “EnergyPlus™ is a whole building energy simulation program that engineers,

architects, and researchers use to model both energy consumption—for heating, cooling, ventilation, lighting and plug and process loads—and water use in buildings.” (EnergyPlus, 2024).

Este programa fue desarrollado por Departamento de Energía (DDE) de los Estados Unidos. Surge como la combinación de dos programas anteriores, BLAST y DOE-2. BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) fue desarrollado por el ejército de los Estados Unidos en la década de los 70’ para la simulación de cargas térmicas y el comportamiento de sistemas HVAC (Heating, Ventillation and Air Conditioning). Por otro lado, en la misma década, DOE-2 fue el fruto de una colaboración entre el DEE y el Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley, que calculaba el consumo de energía de los edificios en base a datos meteorológicos y otros parámetros. En 1997 el DEE decidió fusionar las capacidades de los dos programas y eso es lo que es en la actualidad Energy Plus.

Una característica principal es que es de código abierto, lo que facilita su acceso y justifica su extensión en parte por toda la comunidad científica. Aun más importante, es que es un programa basado en entrada y salida de texto. La operación se hace escribiendo directamente las instrucciones en código, en Python por ejemplo, y el programa devuelve lo mismo.

Aquí es donde entra el segundo software de este proyecto: Design Builder. Teniendo en cuenta que Energy Plus funciona con código, Design Builder aporta una interfaz de usuario más amable que permite hacer todo el modelado y configuraciones necesarias de forma mucho más intuitiva. Internamente traduce todo a código y lo envía igualmente a Energy Plus, y con el código que este devuelve, Design Builder genera todo tipo de gráficas, tablas de resúmenes y representaciones 3D.

Más allá de ser una simple interfaz, añade utilidades como la optimización multivariable buscando maximizar o minimizar objetivos que el usuario defina o el análisis de sensibilidad. También equipa un paquete de simulación CFD (Computer Fluid Dynamics). Y una base de datos considerable con tipos de materiales, propiedades, y

condiciones climatológicas en cualquier lugar del mundo. Es muy atractiva la capacidad que tiene de ofrecer de partida una gran cantidad de datos y además la facilidad para poder modificarlos o añadir nuevos según se requiera.

Un último elemento muy importante es el paquete de Radiance. Todas las simulaciones usan un modelado realista de la trayectoria del Sol y su incidencia. Además de datos meteorológicos de los últimos 20 años, en cada simulación calcula en directo la irradiación del Sol en las distintas superficies de la construcción, teniendo en cuenta otros edificios o elementos que puedan dar sombra, calculando las interacciones y reflejos que se puedan dar.

Aunque Energy Plus está asociado con otro programa de interfaz, Open Studio, que además es también de acceso libre, se eligió Design Builder por su facilidad de uso y por tener el modelado de la caseta, la especificación de parámetros y el trabajo con resultados incorporado en una sola herramienta. Ha permitido simular el dimensionamiento de todos los elementos y además hacer el ajuste para encontrar la combinación más eficaz. Estas y el resto de sus capacidades se reflejan en la Figura 10.

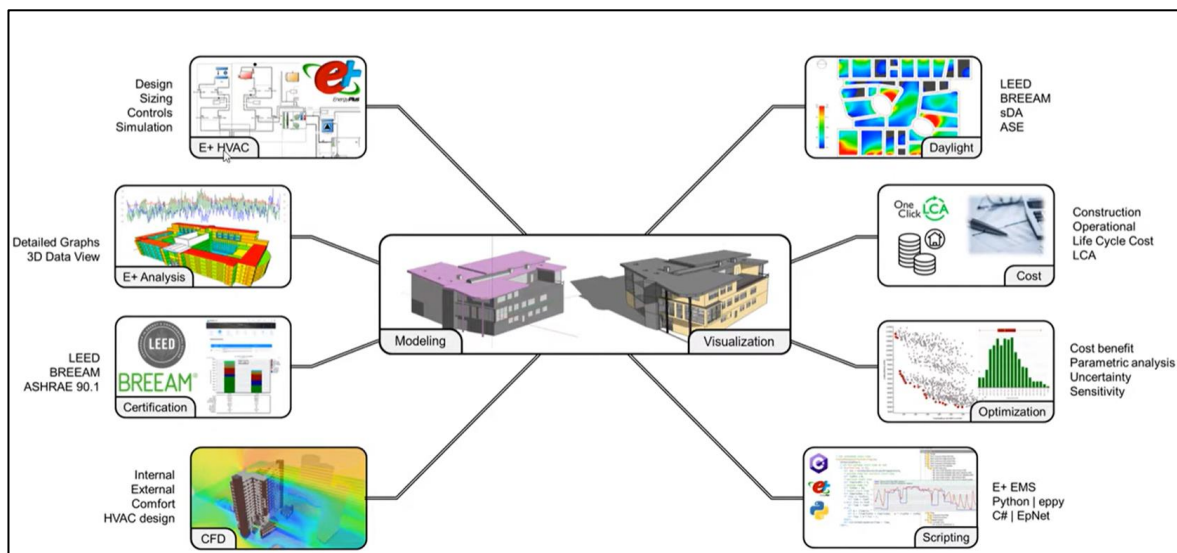


Figura 10. Capacidades del software Design Builder (DesignBuilder, 2021)

Por último en cuanto a softwares utilizados, se desea mencionar la aplicación web “3D Sun-Path” de “andrewmarsh.com”. Puede verse para qué sirve en la Figura 11.

Aunque Design Builder además de calcular con la trayectoria del Sol permite verla y manipularla, siendo este proyecto en colaboración con MMUU se le encontró a Sun Path 3D un uso excepcional: con sólo un modelo del edificio, que puede conseguirse ya fácilmente incluso con aplicaciones web gratuitas online (en este proyecto se ha utilizado el programa Solid Edge) se puede simular el paso real del Sol sobre el sitio de la construcción para todo el año y en cualquier lugar del mundo.

Esto permite comprobar muy rápidamente cuál podría ser la mejor orientación del edificio, recomendaciones generales o comprobar la interferencia con otros edificios.

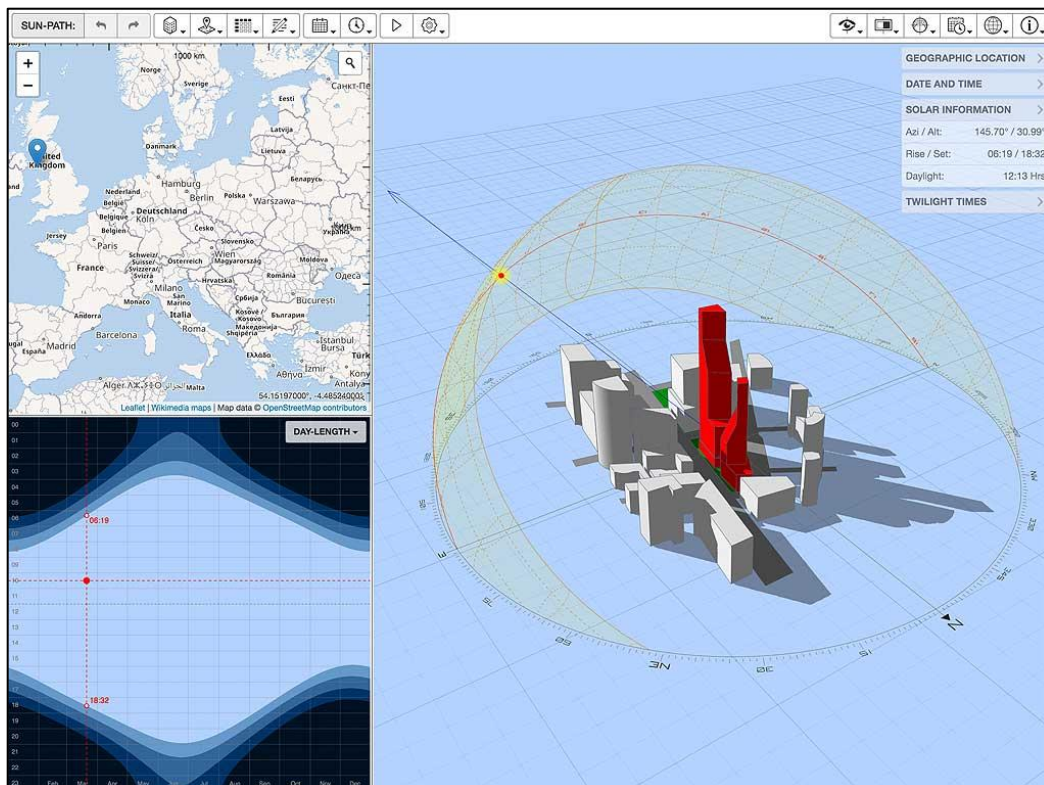


Figura 11. Captura de pantalla de la aplicación web “3D Sun Path” (Marsh, 2015)

También dimensionar rápidamente elementos como el techo externo o hacerse a la idea de si louvres de apoyo son necesarios o no.

Aunque todos estos resultados son cualitativos y solo sirven como una primera idea o aproximación, para acotar posibles valores, porque no están respaldados por simulación

específica (que a veces aporta resultados contraintuitivos), Sun Path 3D ha sido de gran ayuda para este proyecto y se estima que lo pueda ser en el futuro para Manos Unidas.

Una vez se han descrito las tecnologías involucradas en este proyecto, ya se puede continuar con la investigación y resumen del Estado de la Cuestión, donde se analiza cómo otros proyectos las han utilizado y qué se puede extraer de ellos para los objetivos presentes.

Capítulo 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Después del trabajo de búsqueda, resumen y contrastación de fuentes, este capítulo busca responder principalmente a las siguientes dos cuestiones: en primer lugar, terminar de concretar con apoyo científico el contexto e importancia del proyecto. Y en segundo, esclarecer si existen en la bibliografía soluciones parecidas a las que se quieren desarrollar aquí, extrayendo conclusiones útiles de los aprendizajes pasados de trabajos ya realizados. Esto con el objetivo de establecer el enfoque final para las simulaciones que se van a desempeñar y enmarcar la manera de tratar de conseguir los objetivos propuestos.

En primer lugar, se considera importante destacar la importancia de este proyecto con datos que se consideran de gran relevancia. Aproximadamente el 40% de toda la energía del mundo se dedica a edificios. Y de este 40%, el 70% es consumido por los sistemas de refrigeración y control de temperatura (Al-Shamkhee et al., 2022). Esto quiere decir que si gracias a medidas como las que busca este trabajo se pueden encontrar soluciones que hagan la refrigeración un 15% más eficiente, por ejemplo, se podría reducir el consumo total global de energía un 4%, o teniéndolo, dedicarlo a otros usos. Lo mismo ocurre con las emisiones de CO₂, con fuentes que recogen que la refrigeración en el mundo ocupa el 30% de las emisiones de este gas de efecto invernadero (Engelmann et al., 2014).

Al mismo tiempo concurren además varias circunstancias. Lejos de tener perspectivas de ir reduciendo el consumo, este inevitablemente va a ir más. *“On the contrary, the cooling demand is growing because of the increasing of the standard of life, increased internal loads by office appliances and increased glazed areas on modern commercial buildings as well as the affordability of the air condition systems. This trend has been amplified by recent warmer summers, in many areas, during which the solar gains play an important role, also in the mid-season months.”* (Engelmann et al., 2014). Esto resulta ser de crucial importancia porque el clima donde es más difícil la refrigeración y más va a aumentar la demanda es en los países con climas tropicales, y en ellos reside el 40% de la población mundial (Pathirana et al., 2019), dándose además que es donde se encuentran la mayoría de países considerados

del tercer mundo y en vías de desarrollo (Al-Shamkhee et al., 2022), con 27 de las 50 áreas urbanas más pobladas del mundo en zonas con este tipo de clima (Bhamare et al., 2019).

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) declaró que con un calentamiento global de 1.5 °C, el doble de megaciudades pasarán a estado de “heat-stressed”, pronosticando que 350 millones más de personas se verán expuestas a condiciones de temperatura y humedad enormemente perjudiciales para la salud en 2050. (Ahmed et al., 2021).

Queda entonces recogido, que además de la importancia local que pueda tener este proyecto en colaboración con la FII y MMUU, más proyectos de este tipo, de búsqueda de mejora de la eficiencia energética, son muy necesarios para el futuro de todos.

Una vez se ha captado esta primera idea, se decide pasar a la efectividad o no de la refrigeración pasiva y la aplicación de posibles soluciones-ejemplo.

La primera conclusión que se obtiene es que todas las formas de abordar la refrigeración pasiva que ya se abordaron en la [Descripción de las Tecnologías](#) dependen enormemente del medio en el que se apliquen. Es decir, si bien el dimensionamiento de una viga para soportar cierta carga funciona igual en cualquier parte del mundo, y las propiedades de un mismo acero no cambian según el continente en el que se esté, la aplicabilidad de por ejemplo una chimenea solar puede ser excelente en ciertos climas de Europa, pero completamente inútil en otros de Asia.

La siguiente fuente muestra la implicación de esta idea perfectamente: “*Selection of suitable passive cooling technique is dependent on many factors, including climatic conditions, building space constraints and performance of the passive technique. Thus, in order to adopt a suitable passive cooling technique for a given building, a thorough knowledge of different passive cooling techniques along with their applications and performance parameters is necessary.*” (Bhamare et al., 2019).

Por este motivo el resto de la investigación se centró en buscar la efectividad de las diferentes técnicas de la refrigeración pasiva pero para el clima concreto del proyecto, el tropical.

En primer lugar se quieren mostrar las que dan mayor importancia a las dificultades a superar. Por ejemplo: *“The results demonstrate a high potential for night ventilation strategies in cool climates with low ambient air temperatures. In temperate climates, water based low-energy cooling technologies based on radiant cooling make use of the cool ground in summer. Active cooling provides good thermal comfort in warm and hot climates with high and fluctuating cooling loads. (...). In warm and hot climates the cooling capacity exclusively provided by activated slab might not be sufficient, especially if fixed temperature limits are used for comfort ratings, additional solutions are needed.(...) In warm/hot climates, high cooling loads ask for cooling concepts with high cooling capacities. As the temperature difference between ambient heat sinks and the comfort temperature are too low, active cooling is needed to provide thermal comfort.”* ((Engelmann et al., 2014).

Lamentablemente, la siguiente fuente expone una idea similar: *“Studies on radiation cooling by Givoni for example confirmed that this strategy does not work well in a hot and humid climate. The lack of temperature fluctuation between day and night, high humidity and cloud cover in the sky are all variables which reduce the rate of heat transfer and, also trap heat inside the building, causing uncomfortable thermal conditions. By the same token, high levels of humidity reduce the efficiency of the evaporation cooling technique. Wu and Yellott point out that evaporation cooling works effectively when the tangible heat in the air stream is exchanged for the latent heat of water droplets or wet surfaces. However, in tropical regions there is a need to remove moisture from the indoor environment, where it otherwise condenses in the air or even onto surfaces, and then to apply air velocity (drafts) from outdoor in order to achieve effective evaporation.”* (Aflaki et al., 2015).

Y en la misma fuente más adelante: *“However, windcatchers and solar chimneys displayed even better performance by producing relatively high ventilation rates. During*

heatwaves and future climatic scenarios, natural ventilation, by cross-ventilation, was not able to meet internal thermal comfort standards.” (Aflaki et al., 2015).

Con argumentación parecida se puede encontrar: *“The potential for utilizing NV (Natural Ventilation) strategies depends greatly on the local climate, which varies widely from region to region in the world. In this study, we estimated the NV potentials of 1854 locations around the world by calculating the NV hour. Energy saving potentials of the world's 60 largest cities were calculated with Building Energy Simulation (BES). (...) Countries in Southeast Asia, e.g., Singapore and Malaysia, are shown to have little to no NV potential as a result of hot and humid weather all year.”(Chen et al., 2017).*

Por último: *“Hence, the limitations in evaluation tools and insufficient information for both designers and building users are found to be the major reasons for not adopting of passive cooling strategies in tropical houses.” (Al-Obaidi et al., 2014).*

En la otra cara de la moneda, se encuentran las fuentes que sí que encuentran una salida a la refrigeración pasiva. La siguiente fuente comenta que se pueden conseguir resultados de la siguiente manera: *“Good solar control, to avoid excessive solar heat gains. This can be achieved by sensible choice of orientation, glazing ratio and shading (both fixed and adjustable). High thermal capacity - using the mass of the building to smooth out fluctuations in internal temperature.” (Carrilho Da Graça & Linden, 2016).*

Ideas similares aportan las siguientes fuentes: *“Design to minimise solar and internal heat gains.”(AirManagment, 2018). “Passive cooling strategies should prevent heat gains inside the building. The parameters that should be considered include the envelope's insulation, the solar shading of the facade, and surface properties, such as the colour of the external surfaces, Asimakopoulos (1996). Likewise, Kamal (2012) listed the most important techniques for passive cooling, which include solar shading, insulation. Moreover, Geetha and Velraj (2012) developed a very clear framework for the strategies of passive cooling, which generally fall into three categories: (i) heat prevention/reduction, (decreasing heat gains), (ii) thermal moderation (modifying heat gains), and (iii) heat dissipation.”(Al-Obaidi et al., 2014).*

Otras fuentes destacan la importancia del diseño de las ventanas: *“Focus on using appropriate glazing type like tinted glass which is affordable and contributes to reducing the excessive amount of sun radiation inside Ouagadougou office buildings”*(Zoure & Genovese, 2023).

Y también de las pinturas: *“Finally, the application of the reflective and radiative approaches is quite effective. According to a study by the Lawrence Berkeley National Laboratory, the savings brought by the use of radiant cooling energy in the US was around 30% in comparison with conventional techniques.”*(Al-Obaidi et al., 2014).

Y del techo y cómo prepararlo: *“This problem is exacerbated by the heat gain of the roof, which constitutes 70% of the total heat gain. (...) Given that most of the light that is derived from the sun is visible, the concept of the reflective roof works with surface properties as a reflector of invisible electromagnetic radiation (short-wave and long-wave) and as a very good emitter of heat (infrared radiation), unlike dark or hot roofs that absorb huge amounts of solar energy (Urban and Roth, 2010). Urban and Roth (2010) showed that during hot days, the temperature of normal dark roofs reaches 66 °C or higher. By contrast, a reflective roof under a similar environmental condition maintains its temperature at about 28 °C”* (Al-Obaidi et al., 2014). Aportando figuras como la Figura 12.

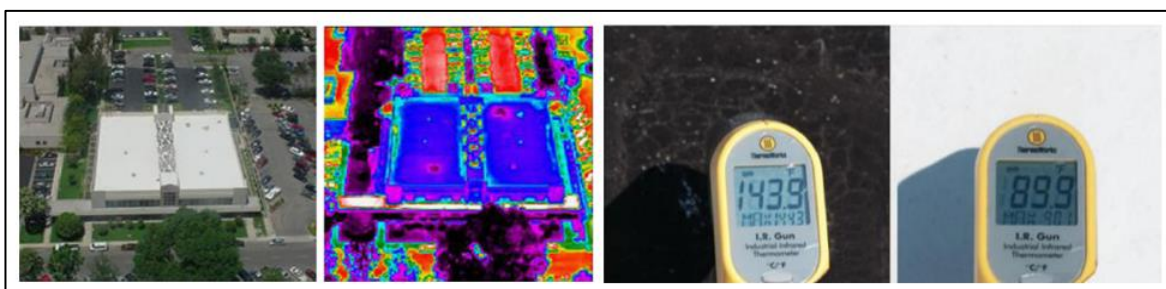


Figura 12. Diferencia de temperatura entre una superficie blanca y otra negra bajo condiciones ambientales similares. (Al-Obaidi et al., 2014)

Por último y muy importante: *“By comparison of results and outcomes of researches in tropical climate, it is proved that following elements are most effective elements and*

techniques on application of natural ventilation (N.V): louver angles, window to wall ratio, window to floor ratio and building position and orientation” (Aflaki et al., 2014).

Todo este tipo de soluciones con márgenes de mejora tan bajos como un 6% y tan altos como un 20%. (Bhamare et al., 2019).

Hasta ahora entonces se ha aprendido que los sistemas de ventilación natural dependen mucho de las condiciones del entorno de la ubicación en las que se instalan y que en general estas encuentran enormes dificultades para ser prácticas en el entorno caliente y húmedo de los países tropicales. En el apartado de [Conclusiones y Futuros trabajos](#) se enuncian las soluciones que se han recogido que sí podrían ser útiles en proyectos similares en el futuro. Y por otro lado, también se ha aprendido que la refrigeración pasiva sí que tiene lugar en la mejora de la eficiencia energética de la refrigeración de una construcción, apoyando a los sistemas activos disminuyendo el impacto de la radiación solar y amortiguando la transferencia térmica con el entorno.

Para terminar este capítulo, pensando en los posibles lugares de aplicación, se buscaron las diferentes zonas climáticas del mundo, obteniendo la Figura 13. Y en particular la tropical, Figura 14.

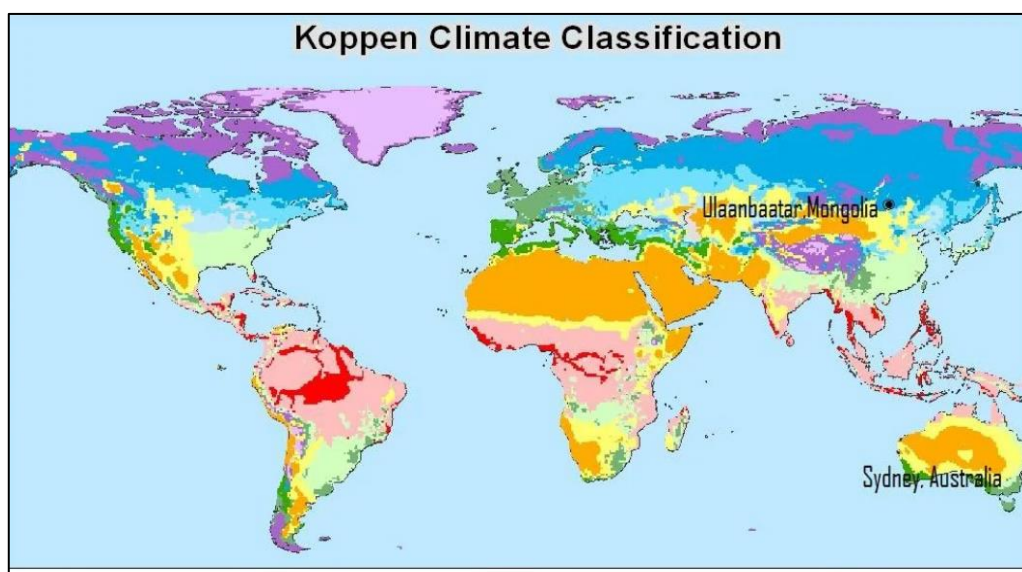


Figura 13. Zonas climáticas del mundo bajo la clasificación Köppen. (britannica, 2024)

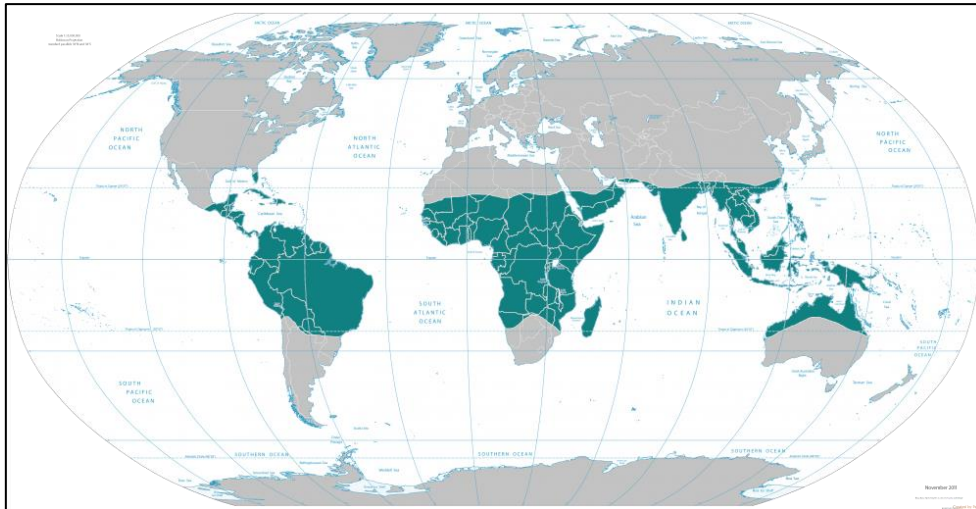


Figura 14. Zonas del mundo bajo clima tropical. (meteoblue, 2024)

Si se contrasta con el mapa de proyectos de Manos Unidas hasta 2024, Figura 15, la decisión sobre el enfoque para buscar alcanzar los objetivos de este proyecto está clara, y se exponen en la [Justificación](#) del siguiente capítulo.



Figura 15, Mapa de proyectos de Manos Unidas completados hasta la fecha en 2024 (MMUU, 2024)

Capítulo 4. DEFINICIÓN DEL TRABAJO

Después de los aprendizajes acumulados de los capítulos anteriores, este presente pretende explicar el enfoque para el proyecto que se deriva de todo lo anterior, buscando una forma razonada y basada en los trabajos existentes previos de alcanzar los objetivos propuestos.

4.1 JUSTIFICACIÓN

En el estudio del estado del arte se ha descubierto que, aun existiendo múltiples formas de abordar la refrigeración pasiva, muy pocas, como la chimenea solar, se han demostrado con resultados satisfactorios en clima tropical. Las que sí podrían llegar a funcionar, como el pozo canadiense también, conllevan una gran inversión en obra, con costosos y delicados materiales como grandes vidrieras, y principalmente sin resultados seguros, ya que todavía no hay suficientes simulaciones y apoyos en la comunidad científica. Además, tampoco se podría cubrir un gran abanico de ubicaciones porque funcionan en condiciones muy específicas (de temperatura, humedad, vientos, propiedades del suelo etc.).

Lo que se deriva de las fuentes que sí que se puede hacer entonces, es tratar de reducir al mínimo el consumo en refrigeración activa de la caseta (aire acondicionado) de dos maneras a la vez: protección contra la irradiación solar externa y aumentando la masa térmica de la construcción. Este enfoque puede ser muy satisfactorio porque puede lograr cumplir los objetivos planteados.

Es por esto que se ha decidido dividir el diseño de la caseta en todos sus componentes: planta, alzado, techo, aberturas, paredes y elementos externos y, se decide simular la efectividad de todos ellos, por separado y en conjunto, variando sus parámetros, buscando la combinación más eficiente y una guía de diseño para todos estos elementos que logre cumplir los objetivos.

En los siguientes apartados de este capítulo se expone cómo se ha buscado alcanzar esto. En Metodología del desarrollo el proceso para llegar hasta este punto. En Metodología de Simulación la lógica para desempeñar las soluciones y el detalle de los parámetros que se han controlado. Y en Metodología de Resultados, cómo estos se han analizado críticamente y cómo se propone la guía de diseño a MMUU.

4.2 METODOLOGÍA DEL DESARROLLO

En este apartado se pretende explicar el plan que se ha marcado como guía para intentar lograr el éxito en este proyecto.

1. La atención a Manos Unidas. Tanto en los requerimientos que se deben cumplir como de la información y feedback que aportan.
2. Organización semanal. Con las respectivas reuniones con el Director y las periódicas con MMUU, la FI e ICAI, para analizar los progresos y confirmar el cumplimiento del programa.
3. Estudio de viabilidad de la solución en el entorno, tanto del diseño teórico como de la instalación práctica.
4. Diseño optimizado que ayude a obtener el mayor alcance para MMUU (regla del 20/80), atendiendo al montaje, la operatividad, el mantenimiento y la sostenibilidad de la solución en el tiempo.
5. Cálculo de presupuesto y análisis de sostenibilidad.
6. Materiales de apoyo de cara a garantizar la sostenibilidad económica y operativa en el tiempo (descripción de elementos necesarios en lugares remotos, montaje, operatividad, manuales de seguridad y mantenimiento).

En el apartado [Análisis de los Resultados](#) se estudia también, además de los resultados prácticos de la simulación, cómo se han cumplido estos apartados.

4.3 METODOLOGÍA DE SIMULACIÓN

La simulación se va a llevar a cabo en dos partes. En primer lugar, se simulan por separado y secuencialmente los distintos parámetros de la caseta, a fin de entender su comportamiento y obtener el mejor resultado posible de cada uno de ellos.

Una vez se ha establecido el mejor caso de cada parámetro, se combinan para estudiar las posibles sinergias que se den y obtener como resultado final la solución más eficiente.

4.4 METODOLOGÍA DE RESULTADOS

Design Builder ofrece distintas plantillas de resultados. De ellos se utilizarán principalmente los balances de energía neta, los datos de dimensionamiento y la herramienta de optimización.

4.5 ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)

Este apartado pretende explicar cómo se puede alinear este proyecto con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), escogiendo uno de cada círculo de influencia y una meta concreta dentro de cada uno de ellos, describiendo brevemente todas las partes y cómo este proyecto puede incidir en ellos. En el apartado [Análisis de Resultados](#) se trata de cuantificar el impacto verdadero que podría terminar teniendo el proyecto a la vista de los resultados obtenidos.

En primer lugar, se desea traer de vuelta a la memoria los mencionadas círculos de influencia en los que se categorizan los ODS. Los 17 existentes se agrupan en 3 categorías: bioesfera, sociedad y economía. La Figura 16 recoge esta agrupación

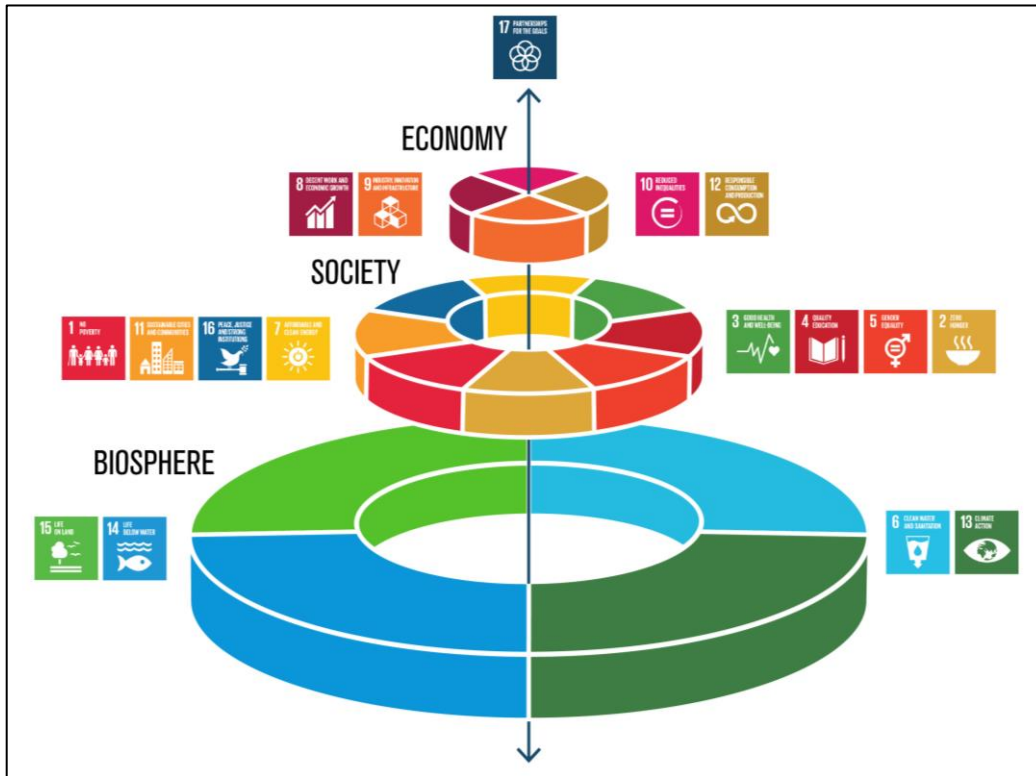


Figura 16. Los 3 círculos de influencia de los 17 ODS. (ONU, s. f.)

La Tabla 3 recoge los ODS en lo que se cree que más puede aportar este proyecto, escogiendo uno por área, y una meta en concreto en la que más se cree que se puede aportar. Teniendo en cuenta, como ya se ha mencionado antes, que se intentará cuantificar el efecto en [Análisis de Resultados](#).

	Objetivo	Meta
Bioesfera	13. Acción por el clima. El cambio climático, causado por actividades humanas, amenaza la vida en la Tierra y evoluciona más rápido de lo previsto, provocando fenómenos extremos y la subida del nivel del mar. Si no se controla, revertirá avances en desarrollo y causará migraciones masivas, inestabilidad y guerras. Para limitar el calentamiento global a 1,5 °C, las emisiones deberían estar disminuyendo y reducirse a la mitad para 2030, pero estamos lejos de lograrlo. Es urgente tomar medidas	13.1 Fortalecer la resiliencia, la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países.

	transformadoras para alcanzar cero emisiones netas y evitar consecuencias catastróficas.	
Sociedad	11. Ciudades y comunidades sostenibles. Se busca que las ciudades sean inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles. Con más de la mitad de la población mundial viviendo en áreas urbanas y un aumento previsto al 70% para 2050, muchas ciudades no están preparadas para esta rápida urbanización. Esto ha llevado al crecimiento de barrios marginales y problemas como la contaminación y la falta de espacios públicos. Aunque se han hecho progresos desde 2015, como la duplicación de estrategias para reducir riesgos de catástrofes, aún persisten desafíos, como el acceso limitado al transporte público. El desarrollo sostenible requiere una transformación significativa en la construcción y gestión de los espacios urbanos.	11.c Proporcionar apoyo a los países menos adelantados, incluso mediante asistencia financiera y técnica, para que puedan construir edificios sostenibles y resilientes utilizando materiales locales.
Economía	17. Alianzas para lograr los objetivos. Se busca revitalizar la alianza mundial para el desarrollo sostenible, requiriendo la colaboración entre países, gobiernos, sector privado y sociedad civil. La Agenda 2030 exige la participación de todos para que nadie quede atrás, pero los países de bajos y medianos ingresos enfrentan grandes deudas que dificultan su progreso. Tras la pandemia de COVID-19, estos países enfrentan una crisis de deuda externa, agravada por la inflación, tasas de interés y limitaciones fiscales, lo que demanda alivio de la deuda y asistencia financiera. Aunque la asistencia oficial al desarrollo ha alcanzado máximos históricos, se necesita movilizar más recursos, y los países desarrollados deben cumplir sus compromisos de apoyo financiero.	17.3 Movilizar recursos financieros adicionales de múltiples fuentes para los países en desarrollo.

Tabla 3. ODS escogidos y metas específicas en las que se busca tener el mayor impacto

La meta 13.1 se ha escogido porque, como se ha recogido en el Estado de la Cuestión, el gasto eléctrico en refrigeración es una parte significativa del gasto total mundial y teniendo en cuenta los riesgos climáticos que se avecinan, proyectos como este de mejora de eficiencia energética pueden ayudar a estar mejor preparados para ese futuro, pudiendo suministrar con

la cantidad de energía que ya se genera hoy a la mayor cantidad de edificios del futuro que se esperan.

La meta 11.c se ha escogido porque se considera que es precisamente en lo que consiste este proyecto, asistencia técnica que “los países menos adelantados”, según la ONU, puedan construir edificios sostenibles y resilientes utilizando materiales locales.

En último lugar, la meta 17.3 se ha escogido porque se considera que este proyecto es precisamente un ejemplo de alianza para la movilización de capital para los países en desarrollo. Los parques solares ya construidos y los que están en fase de diseño tienen un coste económico en transporte e instalación además del humano de todos los voluntarios implicados, tanto de MMUU como de la FII y de ICAI en este caso.

Capítulo 5. MODELO DESARROLLADO

5.1 CONFIGURACIÓN DEL SITIO

En primer lugar, se establece la localización del sitio, como se puede ver en la Figura 17.

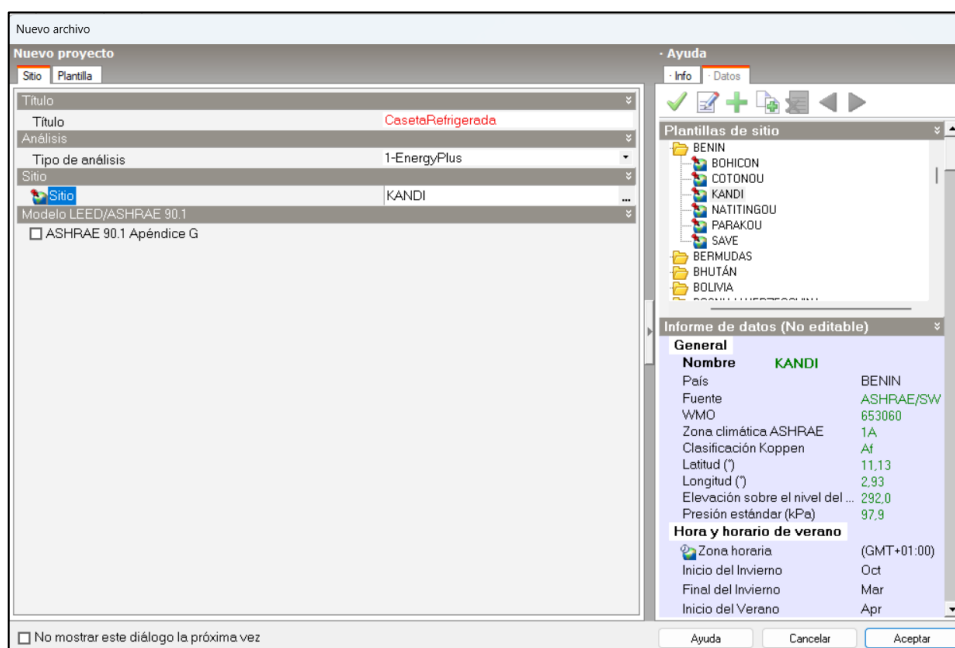


Figura 17. Selección entre otras de la ubicación más cercana al sitio de trabajo.

Esto sirve para acceder a los datos que el programa guarda sobre distintas localizaciones. Algunos de ellos se pueden ver en la Figura 18.

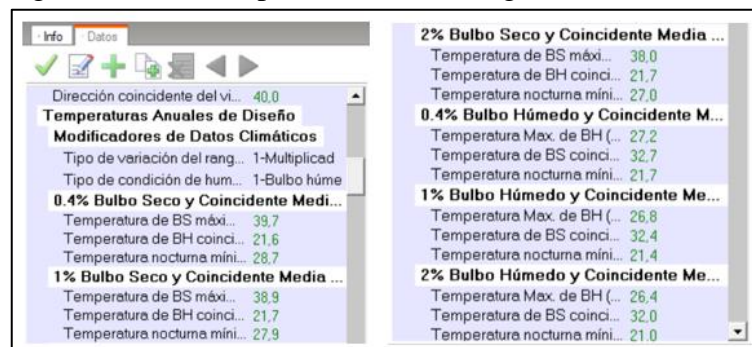


Figura 18. Datos de la base de datos de Design Builder

Y como no todos los datos climáticos estaban introducidos, se descargaron de Internet e introdujeron, tal y como se muestra en la Figura 19.

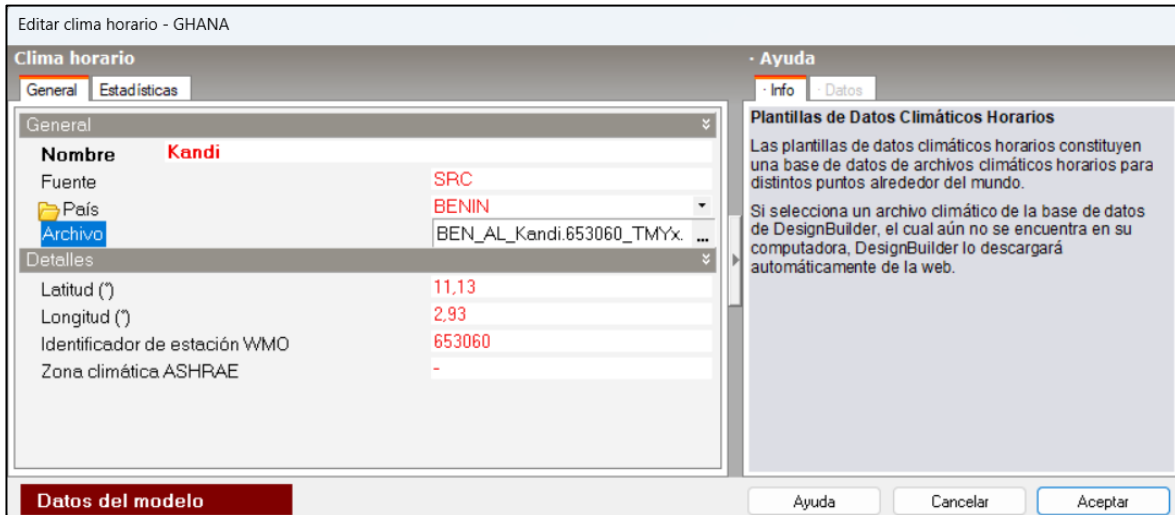


Figura 19. Ajuste de los datos climáticos de Kandi, Benín

Modificándose automáticamente para el resto de la simulación, como se puede ver en la Figura 20.



Figura 20. Actualización datos climáticos Kandi, Benín

Con estos datos se completa la configuración del sitio y se puede pasar a la de la caseta.

5.2 CONFIGURACIÓN DE LA CASETA

Establezco el uso como sala de almacenamiento, que es lo más parecido que se encuentra. Esto es sólo una plantilla de referencia y más adelante se pueden modificar los parámetros que se requieran. Esto puede verse en la Figura 21.

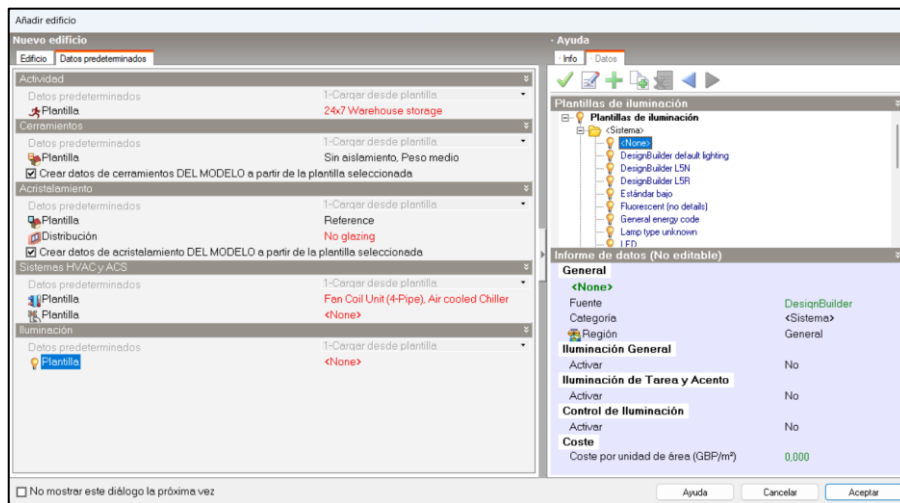


Figura 21. Determinación preliminar del uso de la caseta.

A continuación, se selecciona una plantilla estándar para la caseta, pudiendo modificar lo que se quiera más tarde (otras plantillas permiten especializarse en CFD en certificaciones de eficiencia energética, por ejemplo). Esto y los ajustes que implica se pueden ver en la Figura 22.

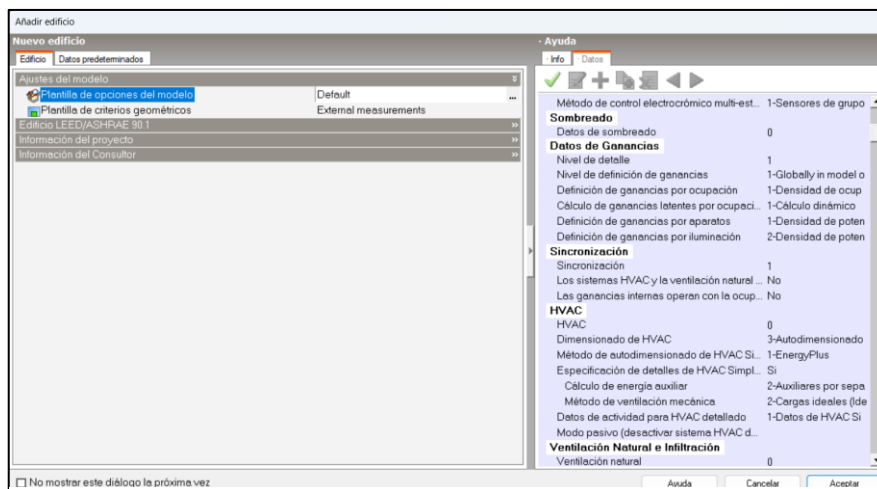


Figura 22. Determinación preliminar de la configuración de la caseta.

Y se escoge la forma de toma medidas externas porque resulta personalmente la más fácil de entender: las medidas que se aportan al programa son las exteriores y este para calcular el interior resta, por ejemplo, el espesor de los muros. Esto puede verse en la Figura 23.

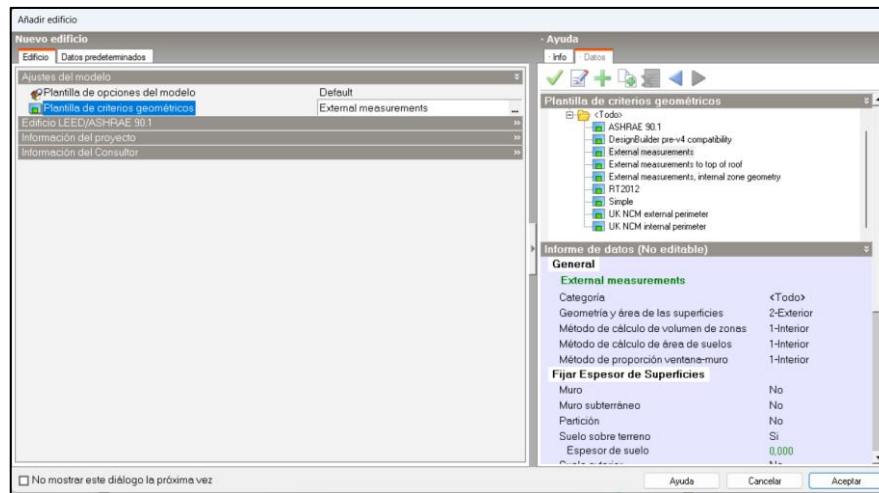


Figura 23. Selección del método de medidas externas para el dimensionamiento de la caseta.

Una vez están escogidas las plantillas, se empiezan a modificar. Se define el edificio como desocupado y sin equipos que generen calor o consuman electricidad. Esto sólo inicialmente, ya que el consumo de las pilas y equipos será muy importante. La caseta sí que contará con estos elementos, pero este cambio será más útil más adelante cuando se simulen elementos como los louvres. Esto se recoge en la Figura 24.

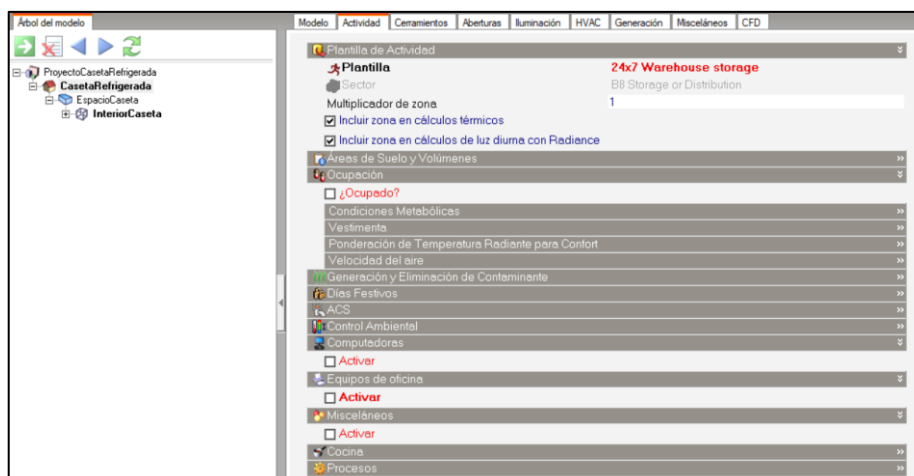


Figura 24. Ajuste de la pestaña actividad del software Design Builder

También se deben especificar las propiedades de las superficies de la caseta, lo que se ve en la Figura 25.



Figura 25. Pestaña cerramientos del programa Design Builder.

Se utilizan 3 capas para las paredes de la caseta. La interna y externa de gypsum plaster. Y la intermedia de ladrillos de adobe. Los grosores del caso base de las paredes pueden verse en la Figura 26.

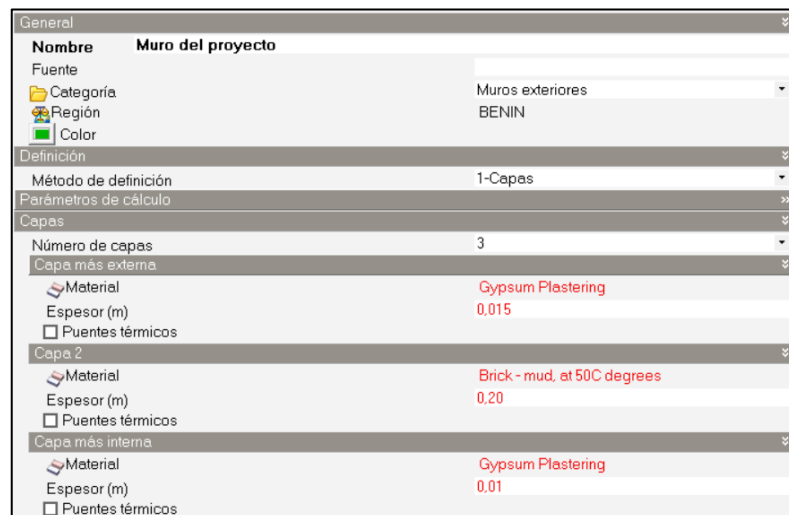


Figura 26. Capas, materiales y espesores de las paredes de la caseta.

Lo que se busca es imitar los ejemplos de aplicación aportados por MMUU. Por ejemplo, la Figura 27 muestra el proceso de construcción de una de las casetas. A la vista de la propia imagen, se decide usar ladrillos de cemento en el techo. No se ha conseguido modelar la estructura de acero que los sujeta. Se cuenta con que, dada su sección, aunque sean fundamentales en la construcción física de la construcción, estos no afecten tanto en la simulación térmica del edificio.



Figura 27. Ejemplo de construcción de una caseta real de MMUU y su modelado en Design Builder.

La misma configuración se ha utilizado para los techos inclinados.

También se ha de especificar el dimensionamiento de las ventanas. Para simular de manera independiente las variables que se quieren probar, la caseta no tendrá aberturas en la mayoría de los casos. Estas sólo se introducirán cuando se vayan a simular ellas mismas como tal. La figura 28 recoge la configuración de la pestaña de aberturas.

Asimismo, se debe establecer el horario de iluminación, contando con dos días semanales de revisión y mantenimiento en los meses de más calor y uno a la semana en el resto. Esto puede verse en la Figura 29.

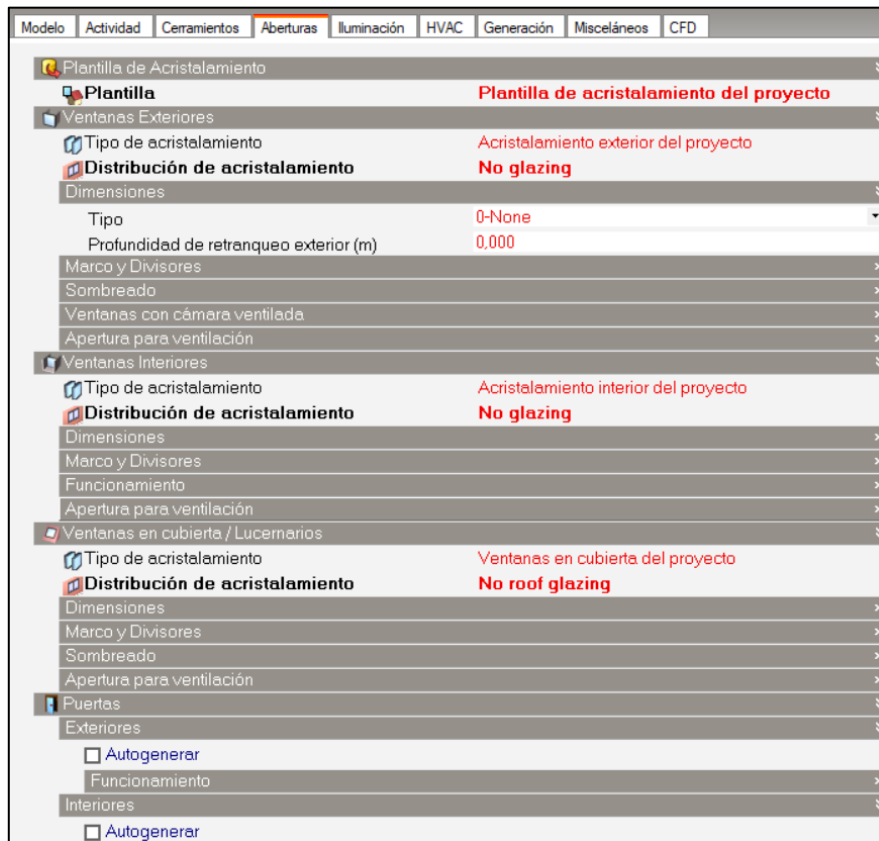


Figura 28. Pestaña aberturas del programa Design Builder.

General							
Nombre	8:30 - 10:30 Mon Win + Thu Sum						
Descripción							
Fuente	DesignBuilder						
Categoría	<General>						
Región	General						
Tipo de programación	1-Programación 7/12						
Días de diseño							
Método de definición del día de diseño	1-Uso final predeterminado						
Uso final predeterminado	1-General						
Perfiles							
Mes	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Ene	08:30 - 10:30	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Feb	08:30 - 10:30	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Mar	08:30 - 10:30	Off	Off	08:30 - 10:30	Off	Off	Off
Abr	08:30 - 10:30	Off	Off	08:30 - 10:30	Off	Off	Off
May	08:30 - 10:30	Off	Off	08:30 - 10:30	Off	Off	Off
Jun	08:30 - 10:30	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Jul	08:30 - 10:30	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Ago	08:30 - 10:30	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Sep	08:30 - 10:30	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Oct	08:30 - 10:30	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Nov	08:30 - 10:30	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Dic	08:30 - 10:30	Off	Off	Off	Off	Off	Off

Figura 29. Horario de ocupación (e iluminación) utilizado en la caseta.

También se modela el calentamiento de los equipos en el interior de la caseta en los días de más calor del año en los que se centra la simulación. Se toma el dato de MMUU de que se están instalando parques con capacidades de hasta 14 kWp. Y se realizan las siguientes asunciones:

- En estos meses de calor la operación normal es la de ese pico.
- Una eficiencia del inversor del 98%.
- Una eficiencia de la batería de pilas de ión-litio del 90%.

Los dos elementos generarían por lo tanto en verano en conjunto 1,68 kW. Este dato es el que se introduce en la caseta para cada planta. La Figura 30 muestra tanto la introducción de este dato como la programación bruta que se ha hecho para las horas de generación de calor.

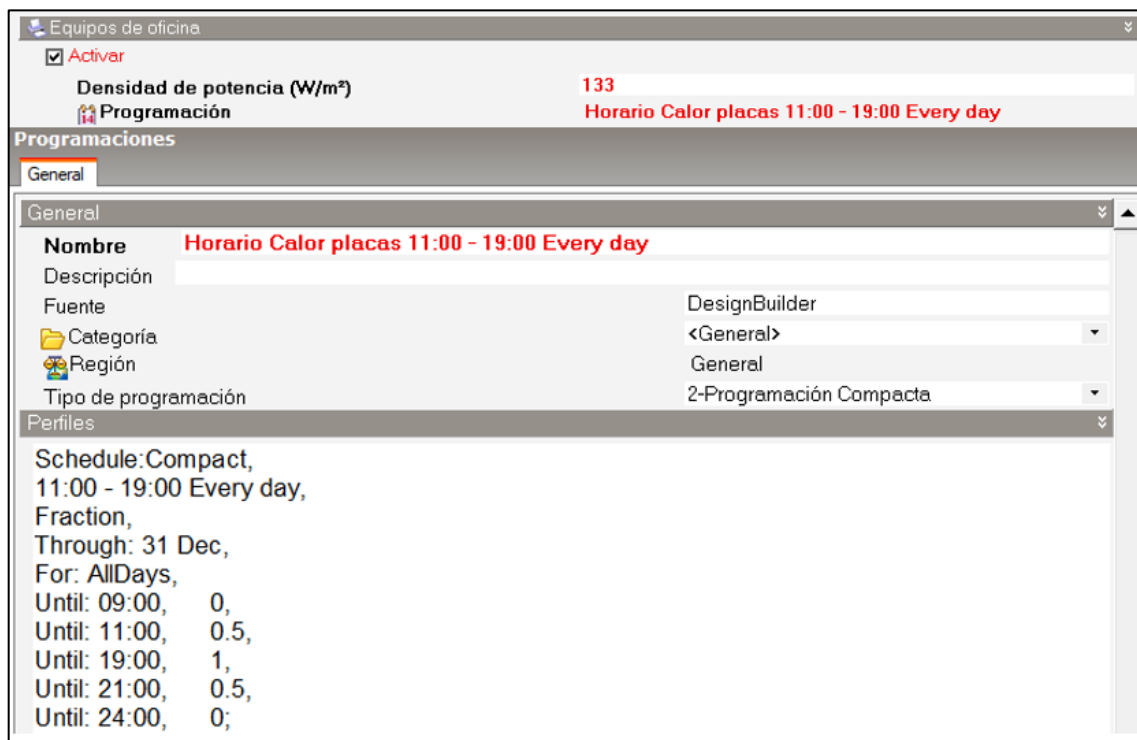


Figura 30. Ajuste de las horas de generación de electricidad de las placas solares.

Se hace un suelo muy espeso para modelar los cimientos porque simular los cimientos como tal es muy intensivo en computación. Modelarlo adecuadamente es muy importante porque cambia drásticamente la transmisión de calor por el suelo, que es un gran aliado para la refrigeración de la caseta.

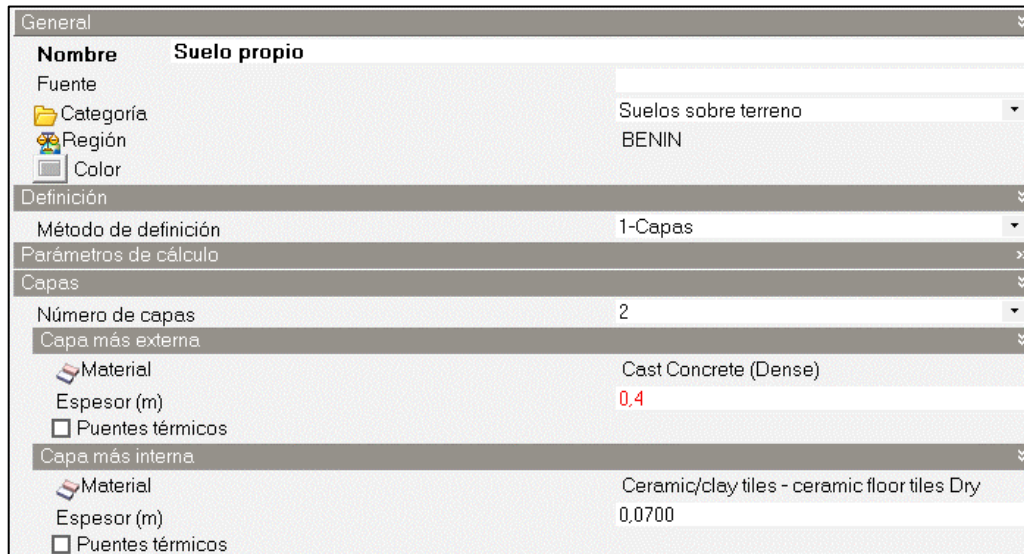


Figura 31. Configuración del suelo de la caseta.

5.3 CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

En primer lugar se especifica la temperatura a la que se desea que se accione el aire acondicionado, a los 30°C. La consigna secundaria no es tan relevante, sólo refleja la temperatura a la cuál se incrementarían los recursos en refrigeración para volver a la consigna principal. Los datos de calefacción vienen dados pero se ignoran porque no se encenderá el equipo para tal uso.

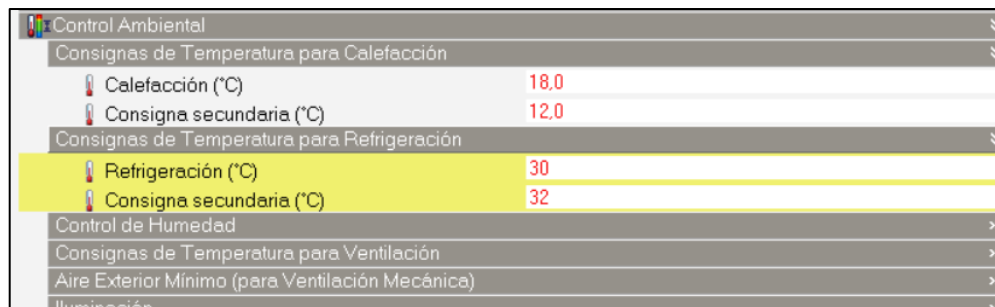


Figura 32. Ajuste de la consigna del equipo de refrigeración.

Y también se desconecta la ventilación, calefacción, el ACS (agua caliente sanitaria) manteniendo sólo la refrigeración en la consigna ya especificada.

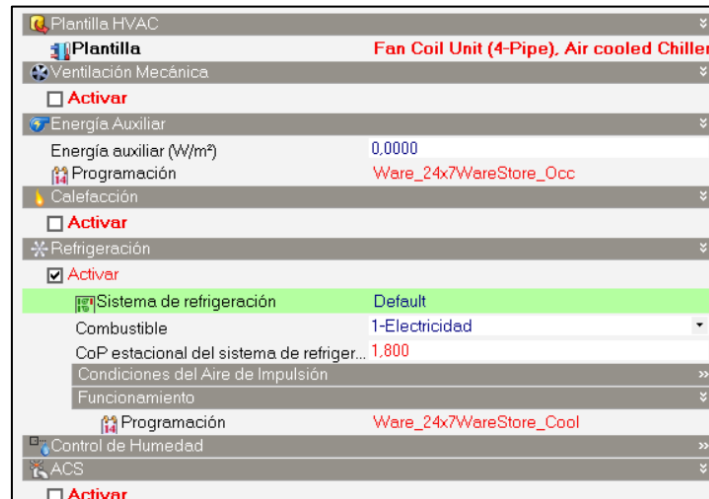


Figura 33. Configuración de la pestaña HVAC de Design Builder.

5.4 CONFIGURACIÓN DE LA SIMULACIÓN

Especifico como intervalo de simulación los meses más cálidos del año según la [Tabla 1](#). Además, se configura el cálculo completo de las incidencias y reflejos de los rayos del Sol. Esto puede verse en la Figura 34

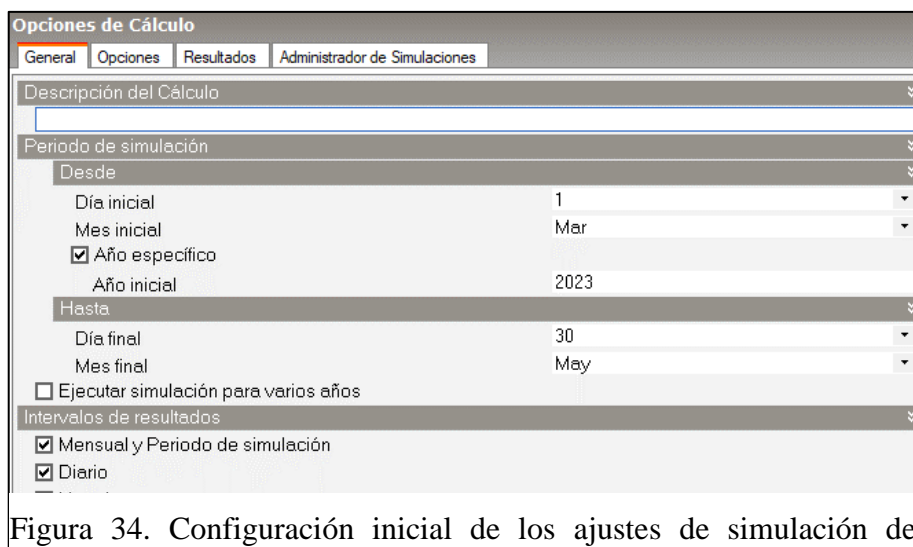


Figura 34. Configuración inicial de los ajustes de simulación del modelo.

Y también se especifican los ajustes de las optimizaciones. Como se puede ver en la Figura 35.

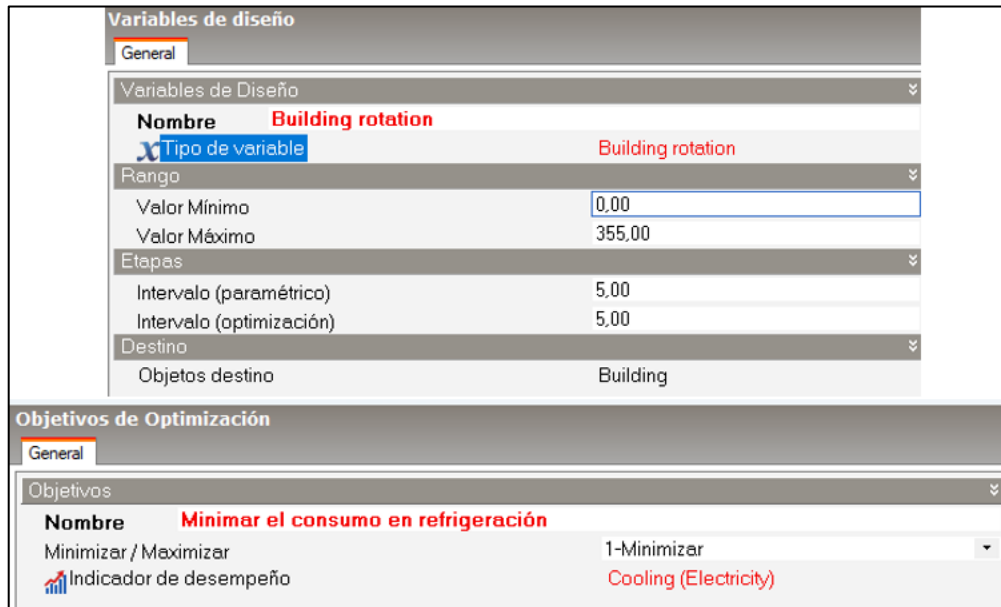


Figura 35. Ajustes de la herramienta de optimización de Design Builder.

Un ejemplo de resultado de estas optimizaciones puede verse en la Figura 36. El programa itera por todos los valores solicitados y termina dando un resultado como el siguiente:

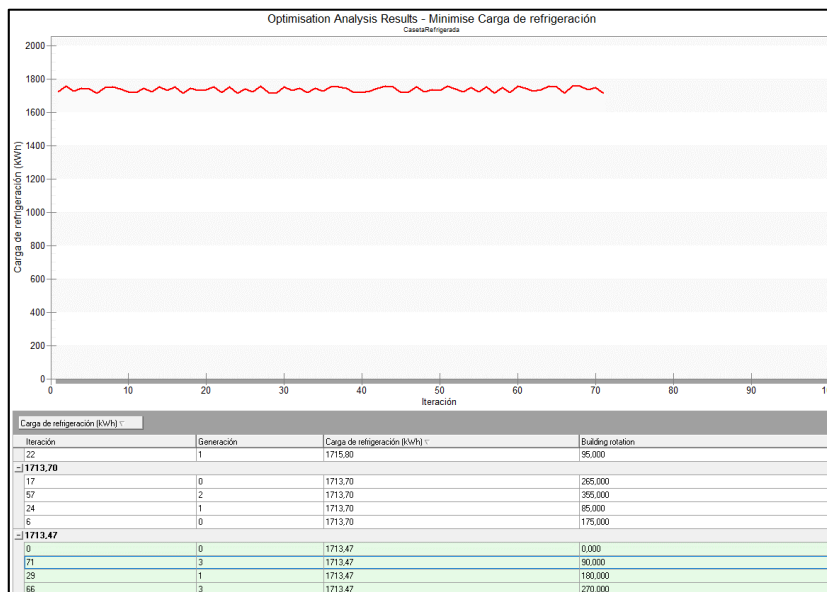


Figura 36. Ejemplo de salida del programa de optimización.

Que si se exporta y ordena se puede llegar a ver como en la Figura 37, que refleja, como ejemplo, la variación de consumo de la caseta según se cambia la orientación de esta en una de las configuraciones probadas.

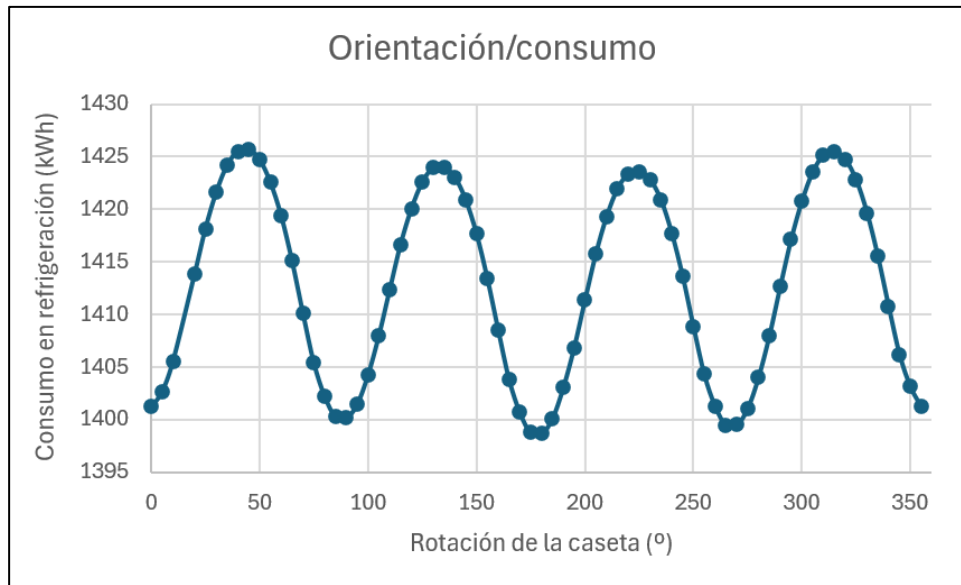


Figura 37. Salida de ejemplo del programa de optimización.

En último lugar, se muestra la configuración del tejado externo de las pruebas en la Figura 38.

General	
Nombre	Material de bloque de componente del proyecto
Descripción	
Fuente	
Categoría	Hormigones
Región	General
Espesor de la Capa de Material	
<input type="checkbox"/> Fijar espesor	
Propiedades Térmicas	
● Detalladas	
Propiedades termofísicas	
Conductividad (W/m-K)	0,3800
Calor específico (J/kg-K)	1000,00
Densidad (kg/m³)	1200,00
○ Valor R	
Resistencia al Vapor	>>
Transferencia de Humedad	>>

Figura 38. Parámetros del techo externo de la caseta.

5.5 CONFIGURACIÓN DE LOS RESULTADOS

Design Builder ofrece la posibilidad de editar los resultados que se desea que devuelva después de cada simulación. Ejemplo de ello se recoge en la Figura 39.

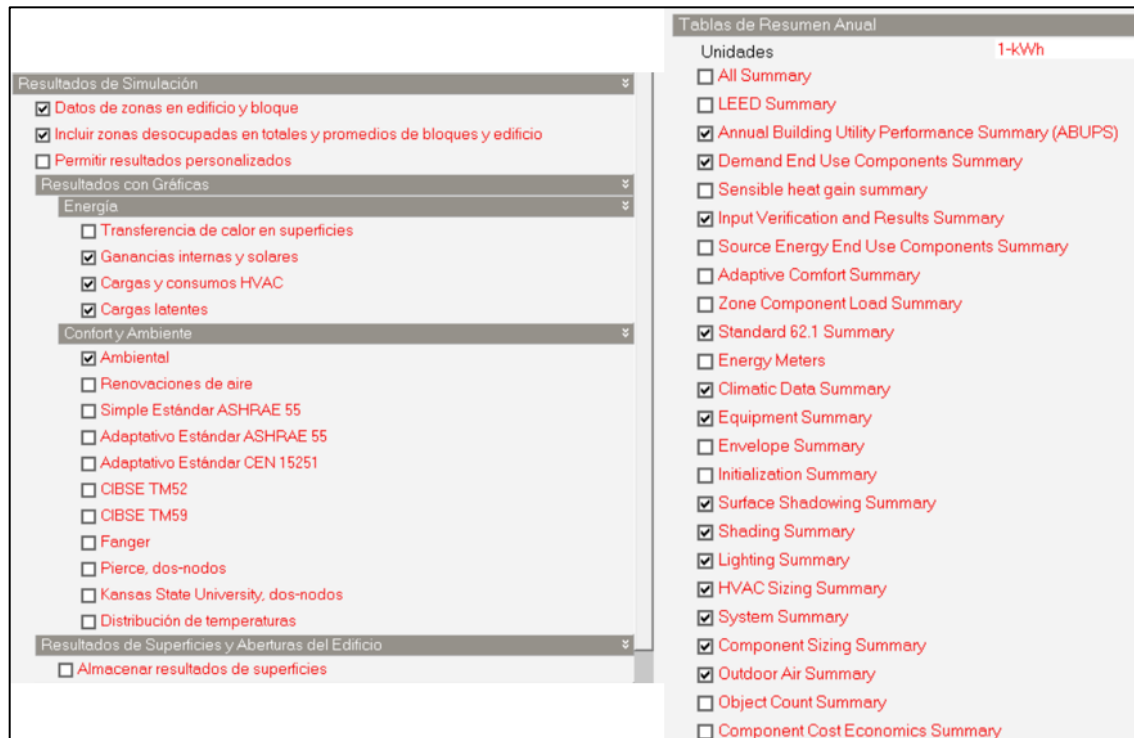


Figura 39. Ejemplo de resultados que se pueden escoger a la salida de Design Builder.

Obteniendo resultados como los de la Figura 40, utilizado para comprobar las condiciones externas y la variación de temperatura interna.

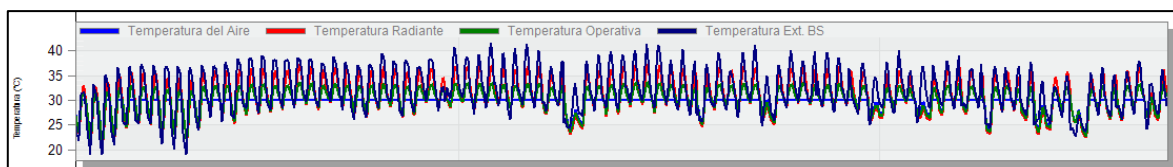


Figura 40. Ejemplo de salida de Design Builder.

Capítulo 6. SIMULACIÓN

El modelo de partida se muestra en la Figura 41. A pesar de un aspecto sencillo, todos los datos de refrigeración, materiales, espesores, iluminación, consumos etc. están introducidos en él.

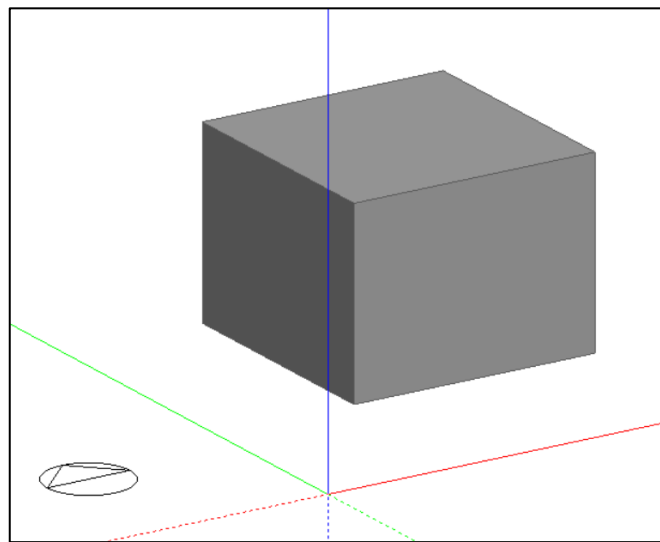


Figura 41. Modelo de partida de la caseta.

El techo es plano y no se ven ni ventanas ni puerta porque se pretende simular cada una de las variables independiente al resto. Si se dejan ventanas puestas en la prueba de planta, por ejemplo, se teme que estas pudiesen afectar a los resultados, alejándose del análisis que realmente se quiere probar. Por lo tanto, estos elementos, que todavía no se ven, se introducirán en cuando se quiera simular a ellos mismos como tal o decididamente en combinación con el resto de factores.

6.1 SIMULACIÓN DE LA PLANTA Y EL ALZADO

Este apartado busca esclarecer el efecto de la forma de la planta y cómo este se combina con la altura de la caseta. El primer resultado se obtiene de lo que se deriva de los datos mostrados en la Tabla 4.

Fuentes de calor	Unidades	4x4x3	3x3x3	5x5x3
Muros	kWh	409,07	213,42	624,04
Suelos S.T.	kWh	-686,00	-377,15	-1076,13
Cubiertas	kWh	93,15	37,73	176,19
Infiltración Ext.	kWh	45,49	22,28	78,68
Iluminación General	kWh	3,28	1,69	5,38
Computadoras y Equipos	kWh	1528,80	1528,80	1528,80
Ocupación	kWh	4,25	4,16	4,36
Refrig. Sens. de Zona	kWh	-1399,14	-1431,46	-1342,94

Tabla 4. Resultados de la simulación con forma de planta constante.

Se observa que el intercambio de potencia a través del suelo es mayor que el del techo, al menos con los espesores presentes, así que se deriva que interesa tener la mayor superficie de suelo (y aún así de techo) posible. Esta diferencia de ganancia según varía el mismo área puede verse en la Figura 42.

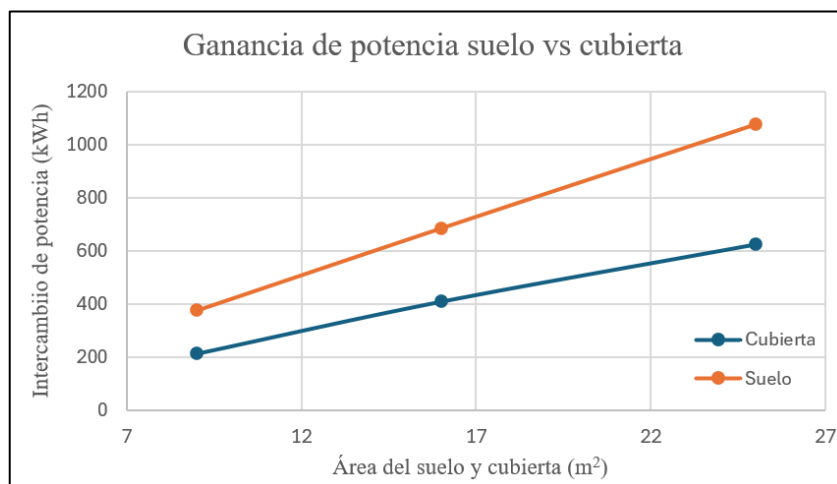


Figura 42. Comparación entre la variación de calor del suelo y cubierta según varía el área de ambos.

Sin embargo, de la Tabla 5 se aprende que, dada una superficie, cuanto menor sean las ganancias en las paredes laterales, menor consumo de la caseta; es decir, cuanto más baja sea mejor.

De estas dos ideas se extrae que cuanto más chata sea la caseta mejor y cuanto más baja también. En [Análisis de los Resultados](#) más datos.

Fuentes de calor	Unidades	Dimensiones de la caseta (m)		
		4x4x3	4x4x4	4x4x2
Muros	kWh	409,07	535,05	268,80
Suelos S.T.	kWh	-686,00	-693,47	-667,28
Cubiertas	kWh	93,15	84,73	108,61
Infiltración Ext.	kWh	45,49	63,53	27,60
Iluminación General	kWh	3,28	3,28	3,28
Computadoras y Equipos	kWh	1528,80	1528,80	1528,80
Ocupación	kWh	4,25	4,21	4,36
Refrig. Sens. de Zona	kWh	-1399,14	-1527,35	-1275,02

Tabla 5. Resultados de la planta para comparar el consumo a igual base pero distinta altura.

Después se probó si una forma rectangular sería mejor. Así que se mantiene el área y el volumen de la caseta en las distintas iteraciones y sólo se varía la relación de aspecto entre los lados. Los resultados se recogen en la Figura 43.

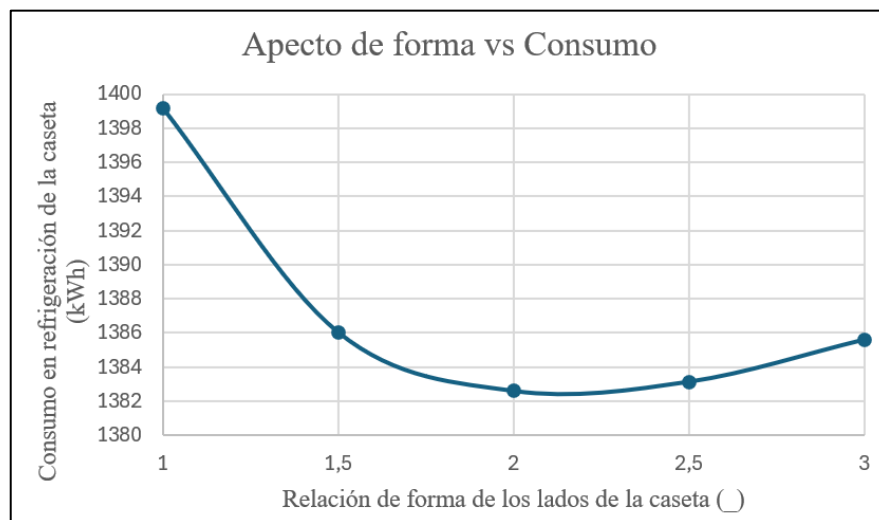


Figura 43. Determinación del beneficio de usar una forma rectangular o no.

En el mejor casi se mejora un 1,18% el consumo. Y la orientación de origen es la mejor posible, como puede verse en la Figura 45.

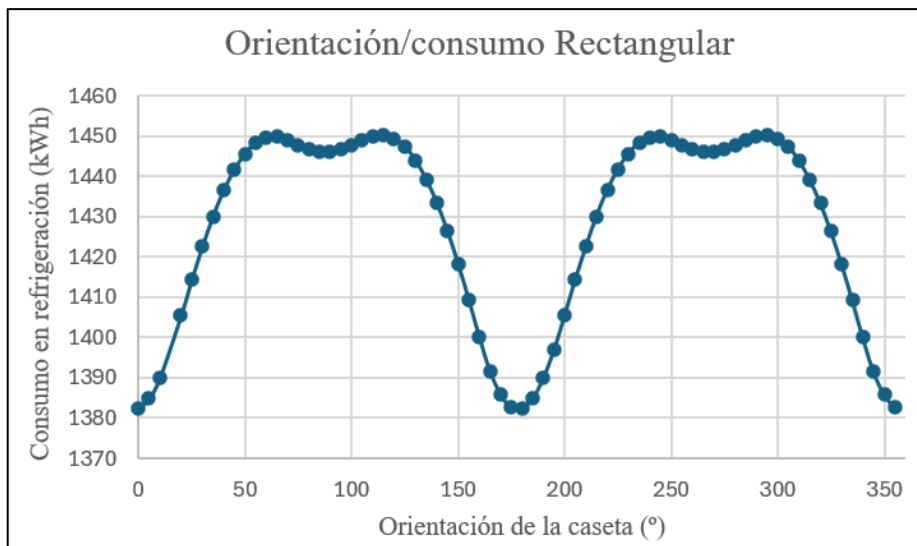


Figura 45. Consumo en refrigeración según cambia la orientación de la caseta rectangular.

Resulta muy interesante ver cómo este resultado se puede predecir con el uso del software de Andrew Marsh, Figura 44. Colocando la caseta a 0°, imagen izquierda, se

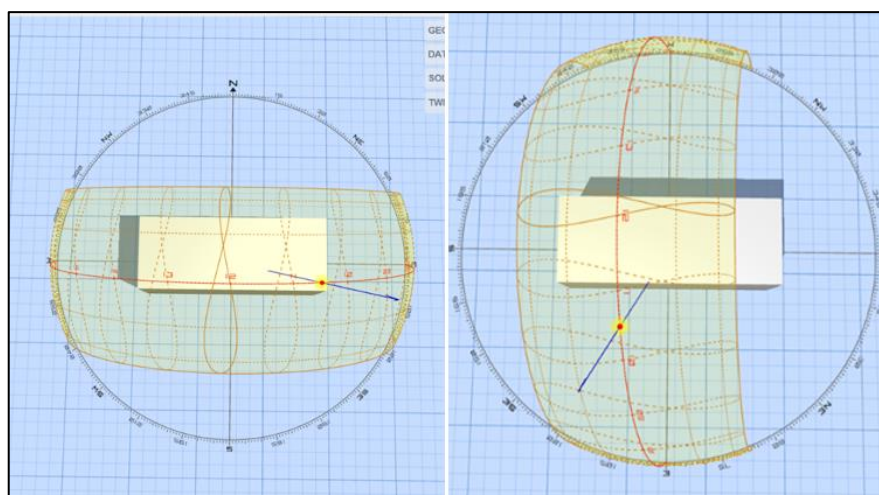


Figura 44. Irradiancia del Sol sobre la caseta según cambia la orientación de esta.

minimiza el área de paredes laterales expuestas al Sol y entonces el consumo. En el peor caso, imagen derecha, esta área se maximiza y por lo tanto con ello el consumo.

Se aprende entonces de este apartado las ideas que se reflejan en [Análisis de Resultados](#).

6.2 SIMULACIÓN DEL TECHO

En este apartado se muestra la optimización del ángulo de la cubierta, probando casetas inclinadas como la de la Figura 46.

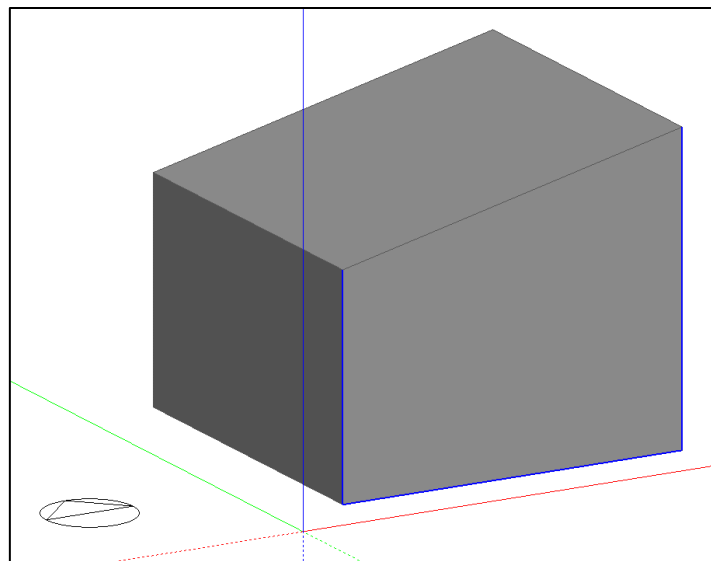


Figura 46. Posible aspecto de la caseta, con una inclinación de 30°.

Buscando el consumo mínimo variando el ángulo del techo, se obtiene mediante simulación la siguiente gráfica, mostrando un posible mínimo en los 2.5°.

Atendiendo al eje vertical de la gráfica, se establece entonces que la inclinación de la cubierta no influye.

6.3 SIMULACIÓN DE LAS PAREDES

En este tipo de clima y enfoque, que no contamos con el apoyo de la ventilación externa, el grosor aumenta la masa térmica del edificio y es un aliado. Esto se constata en los resultados recogidos en la Tabla 6. Donde los mínimos de consumo se encuentran en los máximos de espesor.

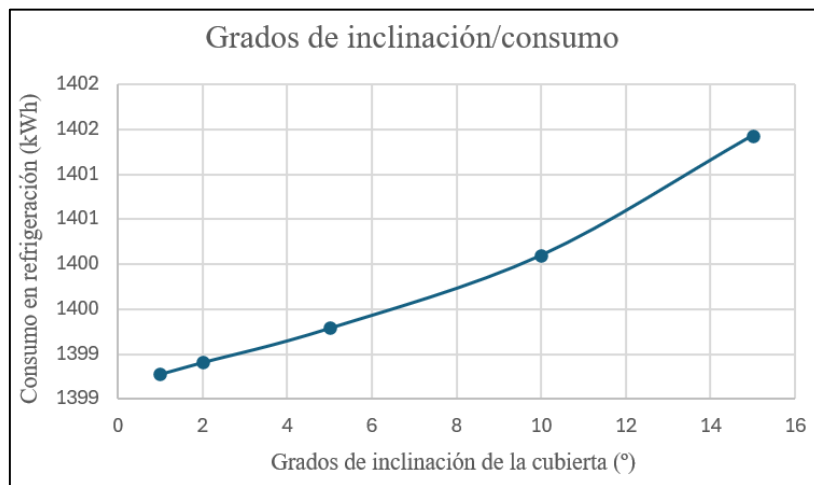


Figura 47. Variación del consume de la caseta con la inclinación de la cubierta.

		Espesor cubierta (cm)				
		10	15	20	25	30
Espesor muro (cm)	10	1630,87	1577,74	1542,93	1425,39	1503,33
	15	1525,25	1481,03	1452,03	1432,32	1417,69
	20	1462,75	1424,14	1399,14	1381,58	1368,66
	25	1519,90	1390,33	1367,69	1352,18	1340,57
	30	1402,98	1370,18	1349,30	1335,27	1324,89

Tabla 6. Consumo para refrigeración según diferentes combinaciones de muros.

En apoyo a la idea de apartados anteriores, se ve de nuevo de otra manera la importancia de los muros laterales, ya que manipulando estos es como más se consigue influir en el consumo de energía.

Son hasta ahora los resultados más llamativos. Si con respecto al caso base se incrementa al grosor del muro un 50%, se consigue un ahorro de energía del 16%.

6.4 SIMULACIÓN DE ABERTURAS

Se realiza un análisis de optimización para estudiar el efecto de aumentar la superficie acristalada de la caseta, y se obtiene la tendencia creciente que se esperaba. Estos resultados se recogen en la Figura 48.

También en este apartado se simula la ubicación óptima de la puerta, haciéndose una optimización por orientación, viendo que los mejores lados son el norte y el sur (debido a la latitud del sitio).

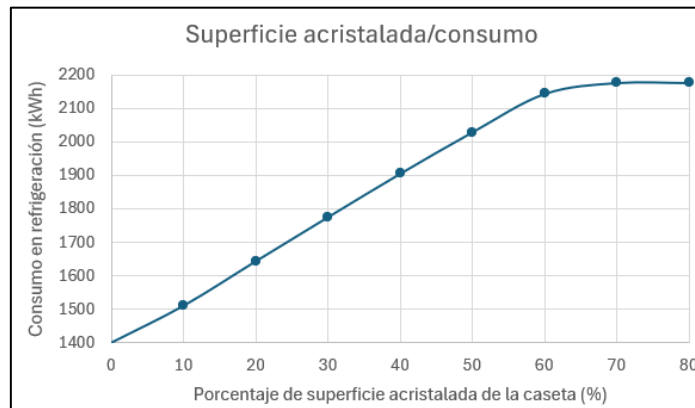


Figura 48. Incremento del consume en refrigeración con el aumento en acristalamiento.

Gracias a las rejillas, como se recogió en la bibliografía, se confirma que las condiciones externas no son favorables para la ventilación natural, lo que se recoge en la Tabla 7 con rejillas de distinto área:

Fuentes de calor	Unidades	Superficie ventanas (m ²)		
		0,00	0,24	0,51
Muros	kWh	405,75	404,62	402,94
Suelos S.T.	kWh	-687,34	-686,85	-686,41
Cubiertas	kWh	92,69	92,89	93,06
Aire exterior	kWh	5,95	3,96	3,38
Ventilación Ext.	kWh	0,00	11,60	17,43
Iluminación General	kWh	3,28	3,28	3,28
Computadoras y Equipos	kWh	1528,80	1528,80	1528,80
Ocupación	kWh	4,23	4,25	4,26
Refrig. Sens. de Zona	kWh	-1354,44	-1363,81	-1367,99
Renovación de aire	ren/h	0,13	0,29	0,35

Tabla 7. Balance de energía (kWh) en la caseta con la incorporación de las rejillas.

A pesar del aumento en consumo, la renovación del aire también mejora, así que deberá tomarse de una decisión de qué medida coger según la ocupación que se espere en la caseta.

También se compara el tener una sola rejilla de gran área con, primero, dos más pequeñas en la misma pared y, segundo, dos más pequeñas pero en paredes opuestas. Los resultados se recogen en la Tabla 8 y se discuten en el [Análisis de Resultados](#).

Fuentes de calor	Unidades	Una rejilla grande	Dos rejillas pequeñas (misma pared)	Dos rejillas pequeñas (pared opuesta)
Muros	kWh	401,77	401,90	401,57
Suelos S.T.	kWh	-686,02	-685,99	-685,53
Cubiertas	kWh	93,20	93,22	93,37
Aire exterior	kWh	10,43	10,69	11,09
Ventilación Ext.	kWh	13,65	17,52	29,41
Iluminación General	kWh	3,28	3,28	3,28
Computadoras y Equipos	kWh	1528,80	1528,80	1528,80
Ocupación	kWh	4,25	4,27	4,28
Refrig. Sens. de Zona	kWh	-1370,70	-1375,00	-1386,93
Renovación de aire	ren/h	0,40	0,45	0,75

Tabla 8. Búsqueda configuración óptima de las rejillas.

6.5 SIMULACIÓN DE ELEMENTOS EXTERNOS

6.5.1 TEJADO EXTERNO

En este apartado se simula la posible mejora en eficiencia gracias al tejado externo, con el modelo mostrado en la Figura 49.

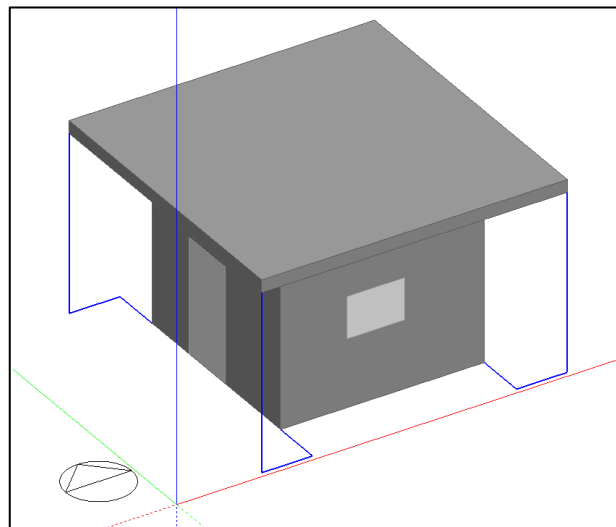


Figura 49. Modelo de la caseta con tejado externo.

En la Tabla 9 se recoge que cuanto más grande sea, mejor. Sin embargo, una vez se ha tapado el techo, cubrir las paredes es difícil aumentando la superficie.

Fuentes de calor	Unidades	Saliente del techo (m)		
		0,00	1	1,5
Muros	kWh	409,07	360,75	347,67
Suelos S.T.	kWh	-686,00	-662,66	-660,25
Cubiertas	kWh	93,15	33,03	34,46
Ventilación Ext.	kWh	45,49	47,09	47,27
Iluminación General	kWh	3,28	3,28	3,28
Computadoras y Equipos	kWh	1528,80	1528,80	1528,80
Ocupación	kWh	4,25	4,27	4,27
Refrig. Sens. de Zona	kWh	-1399,14	-1315,98	-1306,92

Tabla 9. Evolución del consumo según varía el saliente del techo externo.

Es por esto que si se instalan louveres de la manera que se muestra en la figura, en los lados más expuestos al Sol, se consigue un ahorro adicional del 4%, osea un 10% con respecto del caso base.

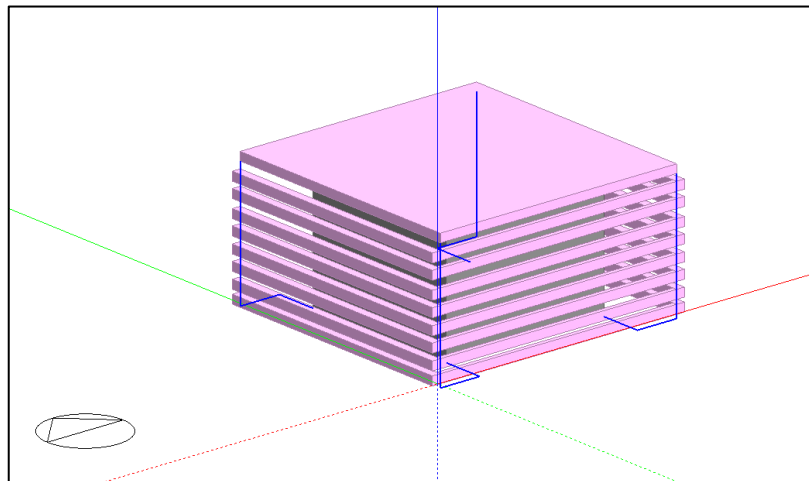


Figura 50. Caseta del sitio protegida de la irradiación solar por louveres.

Por último, no se ha podido simular el chamizo vegetal, por la dificultad de modelar sus propiedades térmicas. Pero se prevé que, puesto que bloquea igualmente el componente de irradiación (60% del calentamiento), puede ser una alternativa suficientemente adecuada.

6.6 ÚLTIMAS DISPOSICIONES

Ya se han introducido en esta memoria los PCM. Aunque a priori se han de utilizar materiales locales, se decide simular por su reciente incorporación.

Si se utilizan los diferentes disponibles en DB, se consiguen los resultados expuestos en la Tabla 10.

		Código de Aislante PCM utilizado					
	Unidades	Sin PCM	RPCM18	RPCM21	RPCM23	RPCM25	RPCM29
Consumo	kWh	1399,14	1380,29	1380,24	1304,44	1272,87	1183,30

Mejora	%	0,00	1,35	1,35	6,77	9,02	15,43
---------------	---	------	------	------	------	------	-------

Tabla 10. Posible mejora gracias al uso de aislantes como la serie Infinite RPCM X.

Una vez realizadas las simulaciones se procede a discutir las en el capítulo [Análisis de Resultados](#).

Capítulo 7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1 TÉCNICOS

Este apartado busca destacar los resultados más relevantes de la simulación, haciendo un análisis crítico de ellos.

En primer lugar, lo más importante es que se ha comprobado mediante la simulación que refrigerar la caseta consiste en contrarrestar el calor que entra por las superficies externas (muros y cubierta) y el de las pilas y equipos eléctricos en su funcionamiento normal. Esto con la ayuda de la evacuación de calor por el suelo. Con estos parámetros en justifican los resultados del proyecto.

a. Sobre la forma de la caseta:

Cuanto más achatada sea mejor. A mismo volumen, cuanto mayor sea la relación entre la superficie de la cubierta y el suelo con respecto a los muros, mejor, puesto que se reduce la irradiación e intercambio de calor por las paredes y el suelo, con el aumento de la superficie, absorbe más calor que el que la cubierta recibe. Se consigue un ahorro del 4,03% con respecto al caso base.

Hacerla ligeramente rectangular parece interesar más que que sea puramente cuadrada, pero muy rectangular conlleva al aumento de consumo en refrigeración. No se ha logrado encontrar por qué. Sólo se tiene el apoyo de la simulación ya que se encuentra bibliografía contradictoria con respecto a la cuestión. Se consigue un ahorro del 1,18% con respecto al caso base.

Siendo cuadrada las mejores orientaciones son las que quedan alineadas o perpendiculares al sol. Y siendo rectangular lo mejor es alinear al lado largo en la dirección de paso del sol, para minimizar la superficie que queda en los laterales. Se consigue un ahorro del 5% con respecto al peor caso posible (el base ya era, arbitrariamente, el mejor).

b. Sobre el techo inclinado:

La inclinación del techo tiene un efecto despreciable en la refrigeración de la caseta. Especialmente si el techo tiene propiedades térmicas similares a las paredes. Puede aplicarse, para por ejemplo facilitar la evacuación de aguas, sin que influya en el consumo.

c. Sobre las aberturas:

Las ventanas de cristal de cualquier tipo no son nada recomendables si se busca la mejora en eficiencia energética en este clima. Reducen la cantidad de aislante de la caseta y facilitan el calentamiento por irradiación y por conducción. Con sólo pasar de 0% de superficie acristalada a 20%, el consumo aumentaría un 18%. No recomendables para esta aplicación, el gasto en iluminación eléctrica en las horas de ocupación es despreciable.

Las rejillas de ventilación empeoran las condiciones de refrigeración (tal y como se recogió en las fuentes sobre la ventilación natural) pero favorecen la renovación de aire (con la consecuente mejora en su calidad para ser respirado). Según la ocupación que se prevea para la caseta se aconsejaría instalarlas o no. El paso de 0,60 renovaciones de aire por hora a 2,4 ren/h conlleva un aumento en el consumo del 2,4%.

Adicionalmente, se ha probado sobre las rejillas que es mejor colocarlas en las partes bajas de las paredes que en las altas. Si una misma rejilla se divide en dos en la misma pared, aumenta en igual proporción la renovación de aire y el consumo en refrigeración. La mejor combinación (mayor aporte de renovación aumentando menos el consumo en refrigeración) es colocar las rejillas en paredes opuestas de la caseta, con los mejores resultados en las menos expuestas al Sol; en el caso de la aplicación, por la cercanía al Ecuador, las paredes norte y sur.

d. Sobre el grosor:

En el sitio de la aplicación, se tiene que la mayor incidencia en la cubierta no supera al efecto de mayor superficie combinada de los muros. Esto hace que la misma variación de espesor en los muros y en la cubierta tenga más efecto en los primeros. Si incrementa el

grosor de las paredes y cubierta un 25% con respecto al caso base, se consigue un ahorro del 3,4% en consumo.

e. Sobre los elementos externos.

El techo externo es un elemento fantástico para reducir drásticamente el consumo por irradiación de la caseta. Con unos salientes de un metro se consigue un ahorro en el consumo de energía del 6%. Incrementar el voladizo reduce el consumo porque aporta sombra pero, una vez se ha cubierto la superficie de la cubierta, hay mejores formas de conseguir más sombra.

Así el uso de louveres. Cubriendo los lados sur, este y oeste se consigue un ahorro adicional del 4%, es decir, un 10% en total si se juntan techo y louveres con respecto al caso base.

f. Sobre las disposiciones adicionales

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, es llamativo el resultado arrojado por el uso de los aislantes PCM. A priori no se consideran para este proyecto pero el más caro de ellos ofrece, añadiendo 4 cm de este aislante a las paredes, un ahorro del 15% en el consumo.

No se ha conseguido simular un techo de chamizo en lugar de cemento por la dificultad para establecer sus parámetros físicos-térmicos, pero se confía en su utilidad en base a que podría bloquear gran cantidad de la irradiación si no incidente y esta supone un 60% del calentamiento por superficies.

Igualmente con la pintura blanca, pero hay suficiente apoyo en las fuentes que indica que su uso es mandatorio.

En último lugar, es muy llamativo que el calor que llega del exterior es equiparable en orden de magnitud al que generan los equipos eléctricos. Se insiste en el uso de baterías ión-litio gracias a su mejor eficiencia con respecto a las más antiguas basadas en ácido-plomo.

7.2 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Se recoge el efecto de variar los parámetros de diseño a efecto de ordenarlos por aplicabilidad y efectividad.

Si no se construye techo, los resultados son los recogidos en la Tabla 11.

	Parámetro	Aporte	Coste
1.	Orientación caseta	4-6%	0
2.	Control relación cubierta/muros	4,03%	0
3.	Louvres laterales	4%	Coste construcción (pequeño)
4.	Techo de louveres	3%	Coste construcción (pequeño)
5.	Espesor muros	3,50%	+25% del caso base
6.	Techo externo	6%	Coste construcción (grande)
7.	Control relación de aspecto	1,18%	0
8.	Aberturas: rendijas	Gran incremento ren/h	2,40%
9.	Inclinación del techo	Evacuación de aguas	0
10.	PCM	15%	Envío materiales península
11.	Aberturas: ventanas	-18%	20%

Tabla 11. Parámetros de la caseta ordenados por efectividad y aplicabilidad.

Y por lo tanto, escogiendo la opción que se va más viable y más eficiente, se consiguen los resultados finales de la Tabla 12.

Parámetro	Unidades	Acción tomada			
		Caso base	1. 3. y 4.	5.	2.
Consumo	kWh	-1400	-1300,81	-1268,98	-1162,76
Mejora acumulada	%	0	7,09	2,45	8,37
Mejora total	%	0	7,09	9,36	16,95

Tabla 12. Tabla con el resultado final de ahorro.

Capítulo 8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El clima tropical por su elevada temperatura ambiente y humedad relativa dificulta el uso de la ventilación cruzada y técnicas evaporativas por encima de lo que estas podrían llegar a aportar en estas condiciones (poca diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de la caseta y ambiente saturado de humedad).

No obstante, se han buscado alternativas para buscar hacer la caseta más eficiente. Controlando los parámetros de diseño tales como orientación, relación superficie cubiertas /muros o la adición de elementos externos como techos y louvres adicionales, que aportan ahorros del 6%, 4%, y 10% respectivamente por separado, y 16.95% en conjunto.

Se recuerda que los objetivos planteados habían sido los siguientes:

- 1- Proponer a MMUU soluciones al reto con el que se encuentran, evaluándolas por su complejidad de implementación y su potencial beneficio.
- 2- Selección de las soluciones óptimas y su completo diseño.
- 3- Guiar en la implementación del proyecto y en el mantenimiento del sistema de manera sostenible en el tiempo en el contexto real en el que se encuentre.
- 4- Conseguir un impacto social con el mayor alcance posible, ofreciendo flexibilidad para cubrir de manera óptima el mayor número de casos reales.

El objetivo primero no se ha completado por completo porque con los conocimientos actuales y dadas las situaciones extremas del clima del sitio, no es posible la refrigeración pasiva de la caseta. En otros climas, con temperaturas exteriores que permitan la disipación del calor generado en el interior y humedades relativas que permitan añadir el uso de técnicas evaporativas, esto podría llegar a ser posible. La refrigeración pasiva es una cuestión en auge y cuantiosas fuentes pueden consultarse al respecto.

En cualquier caso, asumiendo la necesidad de la instalación de un equipo de refrigeración activa, se ha tratado de cumplir el objetivo 2 con el uso de técnicas alternativas.

Además, pensando a escala local, el ahorro del 4-10% puede no ser muy llamativo, pero si se piensa en los ODS y en la aplicabilidad que tienen las soluciones propuestas en todas las regiones con clima tropical, con el 60% de la población mundial viviendo en ellas, y recordando del Estado de la Cuestión el gasto mundial en energía para refrigeración, se puede poner más en valor los resultados alcanzados.

El objetivo 3 busca cumplirse con el Anexo I y el 4 ha sido guía principal para este proyecto: dadas las condiciones, no dejar de buscar las soluciones óptimas, más aplicables y más útiles en la mayoría de entornos posibles.

Con respecto a trabajos futuros, y cuando la simulación lo permita, se propone la investigación del uso de vegetales tanto para el paisajismo del entorno (Bhamare et al., 2019) como en las superficies de la caseta, teniendo en cuenta la energía que podrían absorber las plantas (Theodosiou, 2003), y elementos como las chimeneas solares de cristal (Engelmann et al., 2014).

Capítulo 9. BIBLIOGRAFÍA

- Aflaki, A., Mahyuddin, N., Al-Cheikh Mahmoud, Z., & Baharum, M. R. (2015). A review on natural ventilation applications through building façade components and ventilation openings in tropical climates. *Energy and Buildings*, 101, 153-162. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.04.033>
- Aflaki, A., Mahyuddin, N., Mahmoud Awad, Z. A.-C., & Baharum, M. R. (2014). Relevant indoor ventilation by windows and apertures in tropical climate: A review study. *E3S Web of Conferences*, 3, 01025. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20140301025>
- Ahmed, T., Kumar, P., & Mottet, L. (2021). Natural ventilation in warm climates: The challenges of thermal comfort, heatwave resilience and indoor air quality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 138, 110669. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110669>
- AirManagment, R. (2018). *Guidance on Natural ventilation*.
- Al-Obaidi, K. M., Ismail, M., & Abdul Rahman, A. M. (2014). Passive cooling techniques through reflective and radiative roofs in tropical houses in Southeast Asia: A literature review. *Frontiers of Architectural Research*, 3(3), 283-297. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2014.06.002>
- Al-Shamkhee, D., Al-Aasam, A. B., Al-Waeli, A. H. A., Abusaibaa, G. Y., & Moria, H. (2022). Passive cooling techniques for ventilation: An updated review. *Renewable Energy and Environmental Sustainability*, 7, 23. <https://doi.org/10.1051/rees/2022011>

- ASHRAE, I. (2021). *ASHRAE CLIMATE ZONES*.
https://help.iesve.com/ve2021/ashrae_climate_zones.htm
- ASHRAE, M. (2021). *ASHRAE Climatic Design Conditions* [Map]. <https://ashrae-meteo.info/v2.0/>
- Atlas, W. (2023). *World Weather Data*. <https://www.weather-atlas.com/>
- Bhamare, D. K., Rathod, M. K., & Banerjee, J. (2019). Passive cooling techniques for building and their applicability in different climatic zones—The state of art. *Energy and Buildings*, 198, 467-490. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.06.023>
- Carrilho Da Graça, G., & Linden, P. (2016). Ten questions about natural ventilation of non-domestic buildings. *Building and Environment*, 107, 263-273. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.08.007>
- Chen, Y., Tong, Z., & Malkawi, A. (2017). Investigating natural ventilation potentials across the globe: Regional and climatic variations. *Building and Environment*, 122, 386-396. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.06.026>
- EnergyPlus. (2024). *Características de EnergyPlus*. <https://energyplus.net/>
- Engelmann, P., Kalz, D., & Salvalai, G. (2014). Cooling concepts for non-residential buildings: A comparison of cooling concepts in different climate zones. *Energy and Buildings*, 82, 447-456. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.011>
- Google, & Wikipedia. (2024). *Earth Map* [Map].
- ICAI, F. I. (2023). *Memoria de actividades 2023*. <https://fundacioningenierosicai.org/wp-content/uploads/2024/03/Memoria-2023-version-web.pdf>
- INSAE, R. (2013). *Resultats definitifs RGPH4.pdf*. <https://instad.bj/images/docs/insae-statistiques/demographiques/population/Resultats%20definitifs%20RGPH4.pdf>

- Intercel. (2024). *Temperature effects on batteries*. <https://www.intercel.eu/frequently-asked-questions/temperature-effects-on-batteries/#:~:text=Battery%20life%20reduces%20at%20higher%20temperatures&text=Battery%20life%20is%20reduced%20at,%2C%20AGM%2C%20industrial%20or%20whatever>.
- Lv, S., Wang, X., Lu, W., Zhang, J., & Ni, H. (2022). The Influence of Temperature on the Capacity of Lithium Ion Batteries with Different Anodes. *Energies*, 15(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/en15010060>
- MMUU, O. (2021). *Memoria Proyectos MMUU 2021*. https://www.manosunidas.org/sites/default/files/mapa_central_memoria_2021.pdf
- Pathirana, S., Rodrigo, A., & Halwatura, R. (2019). Effect of building shape, orientation, window to wall ratios and zones on energy efficiency and thermal comfort of naturally ventilated houses in tropical climate. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 10(1), 107-120. <https://doi.org/10.1007/s40095-018-0295-3>
- RAE. (2024a). *Definición de refrigerar*. <https://dle.rae.es/refrigerar#DVponNW>
- RAE. (2024b). *Definición refrigeración*. <https://dle.rae.es/refrigeraci%C3%B3n>
- Theodosiou, T. G. (2003). Summer period analysis of the performance of a planted roof as a passive cooling technique. *Energy and Buildings*, 35(9), 909-917. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(03\)00023-9](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(03)00023-9)
- theyellowhouse.com. (2005). *Definición de masa térmica*. <https://web.archive.org/web/20050404120726/http://www.theyellowhouse.org.uk/e-co-prin/princip.html>
-

Zoure, A. N., & Genovese, P. V. (2023). Implementing natural ventilation and daylighting strategies for thermal comfort and energy efficiency in office buildings in Burkina Faso. *Energy Reports*, 9, 3319-3342. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.02.017>

ANEXO I: GUÍA PARA MMUU

- a. **Sobre la forma de la planta de la caseta:** Cuanto más achatada sea mejor. Además, formas ligeramente rectangulares proporcionan más ahorro que las cuadradas o muy rectangulares.
- b. **Sobre la inclinación del techo:** La inclinación del techo tiene un efecto insignificante en la refrigeración de la caseta. Puede instalarse según plazca para por ejemplo controlar la evacuación de aguas.
- c. **Sobre las ventanas:** No se recomienda el uso de ventanas. Reducen la superficie aislante de la caseta y facilitan el calentamiento por irradiación y por conducción. El consumo en iluminación artificial compensa sobradamente esta medida.
- d. **Sobre las rejillas (I):** Pueden instalarse. Empeoran ligeramente las condiciones de refrigeración pero compensan con una mejora muchas veces mayor en renovación periódica del aire.
- e. **Sobre las rejillas (II):** Entre colocar una sola o dos de área total equivalente la mejor opción es la segunda, colocándolas en paredes opuestas y en la parte baja de la caseta.
- f. **Sobre el espesor:** Cuanto más espesor se utilice en muros y cubiertas mejor. Sin embargo, cuanto más fino sea el suelo de la caseta y los cimientos de esta mejor, porque la tierra debajo actúa como foco frío y ayuda a refrigerar la caseta.
- g. **Sobre los elementos externos.** El techo externo es un elemento fantástico para reducir drásticamente el consumo por irradiación de la caseta. Además de con el propio saliente de esta, tabloncillos de madera en el perímetro que ayuden a dar sombra son muy buen complemento.

- h. Disposiciones adicionales:** puede ser interesante considerar los PCM (materiales de cambio de fase para el aislamiento). Es muy importante el uso de pintura blanca y la limpieza periódica de las paredes para que estas no pierdan su efectividad.

Ordenados, de mayor a menor impacto y facilidad de implantación, los parámetros a controlar son los siguientes: orientación de la caseta, relación cubierta/muros, tablonera de madera, espesor de los muros, tejado externo y forma rectangular. Se aconseja el uso de rendijas sólo si la ocupación se prevee elevada y se desaconseja el uso de cualquier tipo de ventana.

31.06,	0,	,
29.75,	No,	WetBulb,
28.01,	No,	26,
26.39;	No,	,
Site:GroundReflectance	ASHRAEClearSky,	,
,	,	,
0.2,	,	97866,
0.2,	,	0,
0.2,	0.98;	0,
0.2,		No,
0.2,	SizingPeriod:DesignDay	No,
0.2,	, Summer Design Day in	No,
0.2,	Sitio Caseta	ASHRAEClearSky,
0.2,	Refrigerada (01-03:30-	,
0.2,	05) Jul,	,
0.2,	7,	,
0.2,	15,	,
0.2;	SummerDesignDay,	0.98;
	33.3,	
Site:GroundReflectance	8.4,	SizingPeriod:DesignDay
:SnowModifier,	,	, Summer Design Day in
2.0,	,	Sitio Caseta
2.0;	WetBulb,	Refrigerada (01-03:30-
	25.9,	05) Sep,
SimulationControl,	,	9,
Yes,	,	15,
Yes,	,	SummerDesignDay,
No,	,	33.5,
No,	97866,	9.1,
Yes;	0,	,
	0,	,
	No,	WetBulb,
SizingPeriod:DesignDay	No,	26.4,
, Summer Design Day in	No,	,
Sitio Caseta	ASHRAEClearSky,	,
Refrigerada (01-03:30-	,	,
05) Jun,	,	,
6,	,	97866,
15,	,	0,
SummerDesignDay,	0.98;	0,
37,		No,
9.7,	SizingPeriod:DesignDay	No,
,	, Summer Design Day in	No,
,	Sitio Caseta	ASHRAEClearSky,
WetBulb,	Refrigerada (01-03:30-	,
25.5,	05) Ago,	,
,	8,	,
,	15,	,
,	SummerDesignDay,	0.98;
,	32.6,	
97866,	8.1,	SizingPeriod:DesignDay
0,	,	, Winter Design Day in

```

Sitio Caseta
Refrigerada (01-03:30-
05),
1,
15,
WinterDesignDay,
16,
0,
,
,
WetBulb,
16,
,
,
,
97866,
0.5,
40,
No,
No,
No,
,
,
,
,
,
,
0;

Timestep, 2;

ConvergenceLimits,
1,
25;

RoofIrrigation,
Schedule,
Roof Irrigation
Schedule;

Schedule:Compact,
Roof Irrigation
Schedule,
Any Number,
Through: 12/31,
For: AllDays,
Until: 24:00, .00007;

Site:Precipitation,

```

```

ScheduleAndDesignLevel
,
0.75,
Site Precipitation
Schedule,
0.75;

Schedule:Compact,
Site Precipitation
Schedule,
Any Number,
Through: 12/31,
For: AllDays,
Until: 24:00, 1;

ScheduleTypeLimits,
Any Number;
! Not limited
ScheduleTypeLimits,
Fraction, 0.0,
1.0, CONTINUOUS;
ScheduleTypeLimits,
Temperature, -60,
200, CONTINUOUS;
ScheduleTypeLimits,
Control Type, 0,
4, DISCRETE;
ScheduleTypeLimits,
On/Off, 0,
1, DISCRETE;

Schedule:Compact,
On,
! Name
Any Number,
! Type
Through: 12/31,
! Type
For: AllDays,
! All days in year
Until: 24:00,
! All hours in day
1;

Schedule:Compact,
Off,
! Name
Any Number,
! Type

```

```

Through: 12/31,
! Type
For: AllDays,
! All days in year
Until: 24:00,
! All hours in day
0;

Schedule:Compact,
Work efficiency,
! Name
Any Number,
! Type
Through: 12/31,
! Type
For: AllDays,
! All days in year
Until: 24:00,
! All hours in day
0;

Schedule:Compact,
OpaqueShade,
! Name
Any Number,
! Type
Through: 12/31,
! Type
For: AllDays,
! All days in year
Until: 24:00,
! All hours in day
0;

Schedule:Compact,
Zone Comfort
Control Type Sched,
!- Name
Control Type,
!- Schedule Type
Limits Name
Through: 12/31,
!- Field 1
For: AllDays,
!- Field 2
Until: 24:00,
!- Field 3
4;
!- Field 4

Schedule:Compact,
Design Days Only,
!- Name

```

<pre> Any Number, !- Schedule Type Limits Name Through: 12/31, !- Field 1 For: SummerDesignDay WinterDesignDay, !- Field 2 Until: 24:00, !- Field 3 1, !- Field 4 For: AllOtherDays, !- Field 2 Until: 24:00, !- Field 3 0; ! off heating day Schedule:Day:Hourly, 0, Any Number, 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0, 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0, 0,0; ! off cooling day Schedule:Day:Hourly, 50, Any Number, 50,50,50,50,50,50,50,50,5 0,50,50,50,50,50,50,50,50 ,50,50,50,50,50,50,50,50, 50,50; ! used in seasonal schedules Schedule:Day:Hourly, Off, Fraction, 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0, 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0, 0,0; Schedule:Week:Daily, Off, Off,Off,Off,Off, Off,Off,Off,Off, Off,Off,Off,Off; ! ----- Control type schedules </pre>	<pre> (for heating & cooling) ----- ----- Schedule:Day:Hourly, Summer Control Type Day Sch, Control Type, 4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4, 4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4, 4,4; Schedule:Day:Hourly, Winter Control Type Day Sch, Control Type, 4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4, 4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4,4, 4,4; Schedule:Day:Hourly, Summer Control Type Day Sch - cool, Control Type, 2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2, 2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2, 2,2; Schedule:Day:Hourly, Winter Control Type Day Sch - heat, Control Type, 1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1, 1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1, 1,1; Schedule:Week:Daily, Summer Control Type Week Sch, Summer Control Type Day Sch,Summer Control Type Day Sch,Summer Control Type Day Sch, Summer Control Type Day Sch,Summer Control Type Day Sch,Summer Control Type Day Sch, Summer Control Type Day Sch,Summer Control Type Day Sch,Summer Control Type Day Sch, Control Type Day Sch, </pre>	<pre> Summer Control Type Day Sch,Summer Control Type Day Sch,Summer Control Type Day Sch; Schedule:Week:Daily, Winter Control Type Week Sch, Winter Control Type Day Sch,Winter Control Type Day Sch,Winter Control Type Day Sch, Winter Control Type Day Sch,Winter Control Type Day Sch,Winter Control Type Day Sch, Winter Control Type Day Sch,Winter Control Type Day Sch,Winter Control Type Day Sch, Winter Control Type Day Sch,Winter Control Type Day Sch,Winter Control Type Day Sch, Winter Control Type Day Sch,Winter Control Type Day Sch,Winter Control Type Day Sch; Schedule:Week:Daily, Summer Control Type Week Sch - cool, Summer Control Type Day Sch - cool,Summer Control Type Day Sch - cool,Summer Control Type Day Sch - cool, Summer Control Type Day Sch - cool,Summer Control Type Day Sch - cool,Summer Control Type Day Sch - cool, Summer Control Type Day Sch - cool,Summer Control Type Day Sch - cool,Summer Control Type Day Sch - cool, Summer Control Type Day Sch - cool,Summer Control Type Day Sch - cool,Summer Control Type Day Sch - cool, Summer Control Type Day Sch - cool,Summer Control Type Day Sch - cool,Summer Control Type Day Sch - cool; Schedule:Week:Daily, Winter Control Type Week Sch - heat, </pre>
---	---	--

```

Winter Control Type
Day Sch - heat,Winter
Control Type Day Sch -
heat,Winter Control
Type Day Sch - heat,
    Winter Control Type
Day Sch - heat,Winter
Control Type Day Sch -
heat,Winter Control
Type Day Sch - heat,
    Winter Control Type
Day Sch - heat,Winter
Control Type Day Sch -
heat,Winter Control
Type Day Sch - heat,
    Winter Control Type
Day Sch - heat,Winter
Control Type Day Sch -
heat,Winter Control
Type Day Sch - heat;

!Material:InfraredTrans
parent,
!IRMaterial; !- Name

!Construction,
!IRTSurface, !- Name
!IRMaterial; !-
Outside Layer

Material:NoMass,
LinearBridgingLayer,
! Material Name
Rough,
! Roughness
0.6267 ,
! Resistance {M**2K/W}
will give Total
Resistance 1
0.0000100 ,
! Thermal Absorptance
0.0000000 ,
! Solar Absorptance
0.0000000 ;
! Visible Absorptance

Construction,

```

```

LinearBridgingConstruc
tion, !-
Name
LinearBridgingLayer;
!- Layer

Schedule:Compact,
TypOperativeTempContro
lSch,
Temperature,
Through: 31 Dec,
For: SummerDesignDay
WinterDesignDay,
Until: 24:00, 0.0,
For: AllOtherDays,
Until: 24:00, 0.5;

Schedule:Compact,

OnWinterDesignDay,
! Name
    Any Number,
    Through: 12/31,
    For:
WinterDesignDay,
! All days in year
    Until: 24:00, 1,
    For:
AllOtherDays,
    Until: 24:00, 0;

Schedule:Compact,

OnSummerDesignDay,
! Name
    Any Number,
    Through: 12/31,
    For:
SummerDesignDay,
! All days in year
    Until: 24:00, 1,
    For:
AllOtherDays,
    Until: 24:00, 0;

Material:InfraredTrans
parent,
IRMaterial; !- Name

Construction,
IRTSurface, !- Name
IRMaterial; !-
Outside Layer

```

```

Schedule:Day:Interval,
11 , Any number, No,
24:00, 0;

Schedule:Day:Interval,
12 , Any number, No,
24:00, 1;

Schedule:Day:Interval,
10000 , Any number,
No,
8:30,0,
10:30,1,
24:00,0;
Schedule:Compact,
2,
Any Number,
Through: 12/31,
For: AllDays,
Until: 24:00, 1 ;

Schedule:Compact,
8060,
Any Number,
Through: 12/31,
For: AllDays,
Until: 24:00, 0.1370
;

Schedule:Week:Daily,
10000_Jan,
11,
10000,
11,
11,
11,
11,
11,
11,
11,
11,
11,
11,
11,
11;

Schedule:Week:Daily,
10000_Feb,
11,
10000,
11,
11,
11,
11,
11,
11,
11,
11,
11,
11,
11,
11;

```


10003, Fraction, Through: 31 Dec, For: AllDays, Until: 09:00, 0, Until: 11:00, 0.5, Until: 19:00, 1, Until: 21:00, 0.5, Until: 24:00, 0; Schedule:Year, 10000, Any number, 10000_Jan, 1, 1, 1, 31, 10000_Feb, 2, 1, 2, 28, 10000_Mar, 3, 1, 3, 31, 10000_Apr, 4, 1, 4, 30, 10000_May, 5, 1, 5, 31, 10000_Jun, 6, 1, 6, 30, 10000_Jul, 7, 1, 7, 31, 10000_Aug, 8, 1, 8, 31, 10000_Sep, 9, 1, 9, 30, 10000_Oct, 10, 1, 10, 31, 10000_Nov, 11, 1, 11, 30, 10000_Dec, 12, 1, 12, 31; Material, 1_1_66, Rough, .015, 0.4, 1000, 1000, 0.9, 0.5, 0.5; Material, 1_2_5130, Rough, .2, 0.75, 1730,	880, 0.9, 0.6, 0.6; Material, 1_3_66, Rough, .01, 0.4, 1000, 1000, 0.9, 0.5, 0.5; Material, 3_1_7, Rough, .4, 1.4, 2100, 840, 0.9, 0.6, 0.6; Material, 3_2_5169, Rough, .07, 0.8, 1700, 850, 0.9, 0.6, 0.6; Material, 5_2_12, Rough, .2, 0.19, 600, 1000, 0.9, 0.6, 0.6; Construction, 1, 1_1_66, 1_2_5130, 1_3_66; Construction, 2, 1_3_66,	1_2_5130, 1_1_66; Construction, 3, 3_1_7, 3_2_5169; Construction, 4, 3_2_5169, 3_1_7; Construction, 5, 1_1_66, 5_2_12, 1_3_66; Construction, 6, 1_3_66, 5_2_12, 1_1_66; HeatBalanceAlgorithm, ConductionTransferFunc tion, 2000, 0.00000001, 1000; ShadowCalculation, PolygonClipping, Periodic, 20, 15000, SutherlandHodgman, , SimpleSkyDiffuseModeli ng; SurfaceConvectionAlgor ithm:Inside,TARP; SurfaceConvectionAlgor ithm:Outside,DOE-2; ZoneCapacitanceMultipl ier:ResearchSpecial, All, , 1, 1.0, 1.0, 1.0; Building, Edificio 1, 0, Suburbs, .04, .4, FullInteriorAndExterio rWithReflections,
--	---	--

<p>25, 6; GlobalGeometryRules, LowerLeftCorner, CounterClockWise, Relative; Zone, 3564, 0, 0, 0, 0, 1 , 1, , 28.9256, 12.6025, TARP, , Yes; PEOPLE, People 3564, 3564, 10000, People, 2, , , .3, AutoCalculate, Activity Schedule 3564, .0000000382, No, ZoneAveraged, , Work efficiency, ClothingInsulationSchedule, , Clothing Schedule 3564, 8060; Schedule:Compact, Activity Schedule 3564, Any Number, Through: 12/31, For: AllDays, Until: 24:00, 162;</p>	<p>Schedule:Compact, Clothing Schedule 3564, Any Number, Through: 4/1, For: AllDays, Until: 24:00, 1, Through: 9/30, For: AllDays, Until: 24:00, .5, Through: 12/31, For: AllDays, Until: 24:00, 1; Lights, 3564 General lighting, 3564, 10000, Watts/Area, , 5, , 0, .42, .18, 1, ELECTRIC EQUIPMENT#3564#General Lights; OtherEquipment, 3564 Equipment gain, Electricity, 3564, 10003, EquipmentLevel, 1680, , , 0, .2, 0, 0, General; ZoneInfiltration:DesignFlowRate, 3564 Infiltration, 3564, 2, Flow/zone, .008035, ,</p>	<p>, , 1, 0, 0, 0; BuildingSurface:Detailed, 3564_Wall_0_0_0, Wall, 1, 3564, Outdoors, , SunExposed, WindExposed, AutoCalculate, 4, 1.05489121, .869921524, .47, 4.60489122, .869921524, .47, 4.60489122, .869921524, 3.18723459, 1.05489122, .869921524, 2.34322209; BuildingSurface:Detailed, 3564_Wall_1_0_0, Wall, 1, 3564, Outdoors, , SunExposed, WindExposed, AutoCalculate, 4, 4.6048912178, .86992152, .47, 4.6048912178, 4.41992152, .47, 4.6048912178, 4.41992152, 3.18723459, 4.6048912178, .86992152, 3.18723459; BuildingSurface:Detailed, 3564_GroundFloor_2_0_0, ,</p>
---	---	---

<p>Floor, 3, 3564, Ground, , NoSun, NoWind, AutoCalculate, 4, 4.60489122, .86992152, .47, 1.05489121, .86992152, .47, 1.05489122, 4.41992152, .47, 4.60489122, 4.41992152, .47;</p> <p>BuildingSurface:Detail ed, 3564_Wall_3_0_0, Wall, 1, 3564, Outdoors, , SunExposed, WindExposed, AutoCalculate, 4, 1.0548912149, 4.41992152, .4699999991, 1.0548912149, .86992152, .4699999991, 1.0548912165, .86992152, 2.3432220891, 1.0548912165, 4.41992152, 2.3432220891;</p> <p>BuildingSurface:Detail ed, 3564_Roof_4_0_0, Roof, 5, 3564, Outdoors, , SunExposed, WindExposed, AutoCalculate, 4, 1.0548912179, 4.41992152, 2.3432220888,</p>	<p>1.0548912179, .86992152, 2.3432220888, 4.6048912206, .86992152, 3.1872345894, 4.6048912206, 4.41992152, 3.1872345894;</p> <p>BuildingSurface:Detail ed, 3564_Wall_5_0_0, Wall, 1, 3564, Outdoors, , SunExposed, WindExposed, AutoCalculate, 4, 4.60489122, 4.41992152, .47, 1.05489122, 4.41992152, .47, 1.05489122, 4.41992152, 2.34322209, 4.60489122, 4.41992152, 3.18723459;</p> <p>Schedule:Year, Zone Control Type Sched, Control Type, Winter Control Type Week Sch, 1, 1, 3, 31, Summer Control Type Week Sch, 4, 1, 9, 30, Winter Control Type Week Sch, 10, 1, 12, 31;</p> <p>Schedule:Compact, 3564 Heating Setpoint Schedule, Any Number, Through: 12/31, For: AllDays, Until: 24:00, -50;</p>	<p>Schedule:Compact, 3564 Heating Availability Sch, Any Number, Through: 12/31, For: AllDays, Until: 24:00, 0;</p> <p>Schedule:Compact, 3564 Cooling SP Sch, Temperature, Through: 31 Dec, For: AllDays, Until: 24:00, 30;</p> <p>Schedule:Compact, 3564 Cooling Availability Sch, Temperature, Through: 31 Dec, For: AllDays, Until: 24:00, 1;</p> <p>Sizing:Zone, 3564, SupplyAirTemperature, 12, 0, SupplyAirTemperature, 35, 0, 0.0077, 0.0156, , 1.25, 1.15, DesignDay, , , , 0, DesignDay, ,</p>
---	---	--

<pre> , , , 3564; DesignSpecification:ZoneAirDistribution, 3564, 1, 1; ZoneControl:Thermostat , 3564 Thermostat, 3564, Zone Control Type Sched, ThermostatSetpoint:DualSetpoint, Dual Setpoint - Zone 3564; ThermostatSetpoint:DualSetpoint, Dual Setpoint - Zone 3564,3564 Heating Setpoint Schedule,3564 Cooling SP Sch; ZoneHVAC:EquipmentConnections, 3564, 3564 Equipment, 3564 Inlets, , Node 3564 Zone, Node 3564 Out; ZoneHVAC:EquipmentList , 3564 Equipment, SequentialLoad, ZoneHVAC:IdealLoadsAirSystem, 3564 Ideal Loads Air, 1, 1, 2 , 2; ZoneHVAC:IdealLoadsAirSystem, 3564 Ideal Loads Air, , Node 3564 In, , , 35, 12, 0.0156, 0.0077, </pre>	<pre> , 0, , LimitFlowRateAndCapacity, Autosize, Autosize, 3564 Heating Availability Sch, 3564 Cooling Availability Sch, None, , None, , , NoEconomizer, None, , ; NodeList, 3564 Inlets, Node 3564 In; Sizing:Parameters, 1.25, 1.15, 2; Output:Table:SummaryReports, AllSummary, AllMonthly, AnnualBuildingUtilityPerformanceSummary, DemandEndUseComponentsSummary, SensibleHeatGainSummary, InputVerificationandResultsSummary, AdaptiveComfortSummary , Standard62.1Summary, ClimaticDataSummary, EquipmentSummary, EnvelopeSummary, LightingSummary, HVACSizingSummary, SystemSummary, </pre>	<pre> ComponentSizingSummary , OutdoorAirSummary, ObjectCountSummary, EndUseEnergyConsumptionOtherFuelsMonthly, PeakEnergyEndUseOtherFuelsMonthly; OutputControl:Table:Style, TabAndHTML,JtoKWH; Output:EnvironmentalImpactFactors, Hourly; Output:EnvironmentalImpactFactors, Daily; Output:EnvironmentalImpactFactors, Monthly; Output:EnvironmentalImpactFactors, RunPeriod; Output:EnvironmentalImpactFactors, Timestep; EnvironmentalImpactFactors, 0.3, 3.0, 0.25, 80.7272, 6.2727, 0.2727; Output:Meter,Electricity:Facility,timestep; Output:Meter,NATURALGAS:Facility,timestep; Output:Meter,InteriorEquipment:Electricity,timestep; </pre>
--	--	--

Output: Meter, Interior Lights: Electricity, timestep;
Output: Meter, Electricity: Facility, hourly;
Output: Meter, NATURALGAS: Facility, hourly;
Output: Meter, Interior Equipment: Electricity, hourly;
Output: Meter, Interior Lights: Electricity, hourly;
Output: Meter, Electricity: Facility, daily;
Output: Meter, NATURALGAS: Facility, daily;
Output: Meter, Interior Equipment: Electricity, daily;
Output: Meter, Interior Lights: Electricity, daily;
Output: Meter, Electricity: Facility, monthly;
Output: Meter, NATURALGAS: Facility, monthly;
Output: Meter, Interior Equipment: Electricity, monthly;
Output: Meter, Interior Lights: Electricity, monthly;
Output: Meter, Electricity: Facility, runperiod;
Output: Meter, NATURALGAS: Facility, runperiod;
Output: Meter, Interior Equipment: Electricity, runperiod;
Output: Meter, Interior Lights: Electricity, runperiod;

OutputControl: IlluminanceMap: Style, Tab;

Output: Variable, *, Surface Inside Face Conduction Heat

Transfer Rate, timestep;
Output: Variable, *, Surface Inside Face Temperature, timestep;
Output: Variable, *, Surface Outside Face Temperature, timestep;
Output: Variable, *, Surface Inside Face Convection Heat Transfer Coefficient, timestep;
Output: Variable, *, Surface Outside Face Convection Heat Transfer Coefficient, timestep;
Output: Variable, *, Surface Outside Face Sunlit Fraction, timestep;
Output: Variable, *, Surface Outside Face Incident Solar Radiation Rate per Area, timestep;
Output: Variable, *, Surface Inside Face Conduction Heat Transfer Rate, hourly;
Output: Variable, *, Surface Inside Face Temperature, hourly;
Output: Variable, *, Surface Outside Face Temperature, hourly;
Output: Variable, *, Surface Inside Face Convection Heat Transfer Coefficient, hourly;
Output: Variable, *, Surface Outside Face Convection Heat Transfer Coefficient, hourly;
Output: Variable, *, Surface Outside Face Sunlit Fraction, hourly;
Output: Variable, *, Surface Outside Face

Incident Solar Radiation Rate per Area, hourly;
Output: Variable, *, Surface Inside Face Conduction Heat Transfer Rate, daily;
Output: Variable, *, Surface Inside Face Temperature, daily;
Output: Variable, *, Surface Outside Face Temperature, daily;
Output: Variable, *, Surface Inside Face Convection Heat Transfer Coefficient, daily;
Output: Variable, *, Surface Outside Face Convection Heat Transfer Coefficient, daily;
Output: Variable, *, Surface Outside Face Sunlit Fraction, daily;
Output: Variable, *, Surface Outside Face Incident Solar Radiation Rate per Area, daily;
Output: Variable, *, Surface Inside Face Conduction Heat Transfer Rate, monthly;
Output: Variable, *, Surface Inside Face Temperature, monthly;
Output: Variable, *, Surface Outside Face Temperature, monthly;
Output: Variable, *, Surface Inside Face Convection Heat Transfer Coefficient, monthly;
Output: Variable, *, Surface Outside Face Convection Heat Transfer Coefficient, monthly;

Output:Variable, *,
Surface Outside Face
Sunlit Fraction,
monthly;
Output:Variable, *,
Surface Outside Face
Incident Solar
Radiation Rate per
Area, monthly;
Output:Variable, *,
Surface Inside Face
Conduction Heat
Transfer Rate,
runperiod;
Output:Variable, *,
Surface Inside Face
Temperature,
runperiod;
Output:Variable, *,
Surface Outside Face
Temperature,
runperiod;
Output:Variable, *,
Surface Inside Face
Convection Heat
Transfer Coefficient,
runperiod;
Output:Variable, *,
Surface Outside Face
Convection Heat
Transfer Coefficient,
runperiod;
Output:Variable, *,
Surface Outside Face
Sunlit Fraction,
runperiod;
Output:Variable, *,
Surface Outside Face
Incident Solar
Radiation Rate per
Area, runperiod;
Output:Variable, *,
Zone Mean Air
Temperature, timestep,
On;
Output:Variable, *,
Zone Mean Radiant
Temperature, timestep,
On;
Output:Variable, *,
Zone Operative
Temperature, timestep,
On;

Output:Variable, *,
Zone Air Relative
Humidity, timestep,
On;
Output:Variable, *,
Zone Mean Air
Temperature, hourly,
On;
Output:Variable, *,
Zone Mean Radiant
Temperature, hourly,
On;
Output:Variable, *,
Zone Operative
Temperature, hourly,
On;
Output:Variable, *,
Zone Air Relative
Humidity, hourly, On;
Output:Variable, *,
Zone Mean Air
Temperature, daily,
On;
Output:Variable, *,
Zone Mean Radiant
Temperature, daily,
On;
Output:Variable, *,
Zone Operative
Temperature, daily,
On;
Output:Variable, *,
Zone Air Relative
Humidity, daily, On;
Output:Variable, *,
Zone Mean Air
Temperature, monthly,
On;
Output:Variable, *,
Zone Mean Radiant
Temperature, monthly,
On;
Output:Variable, *,
Zone Operative
Temperature, monthly,
On;
Output:Variable, *,
Zone Air Relative
Humidity, monthly, On;
Output:Variable, *,
Zone Mean Air
Temperature,
runperiod, On;

Output:Variable, *,
Zone Mean Radiant
Temperature,
runperiod, On;
Output:Variable, *,
Zone Operative
Temperature,
runperiod, On;
Output:Variable, *,
Zone Air Relative
Humidity, runperiod,
On;
Output:Variable, *,
Zone Infiltration Air
Change Rate, timestep;
Output:Variable, *,
Zone Mechanical
Ventilation Air
Changes per Hour,
timestep;
Output:Variable, *,
Zone Ventilation Air
Change Rate, timestep;
Output:Variable, *,
Zone Infiltration Air
Change Rate, hourly;
Output:Variable, *,
Zone Mechanical
Ventilation Air
Changes per Hour,
hourly;
Output:Variable, *,
Zone Ventilation Air
Change Rate, hourly;
Output:Variable, *,
Zone Infiltration Air
Change Rate, daily;
Output:Variable, *,
Zone Mechanical
Ventilation Air
Changes per Hour,
daily;
Output:Variable, *,
Zone Ventilation Air
Change Rate, daily;
Output:Variable, *,
Zone Infiltration Air
Change Rate, monthly;
Output:Variable, *,
Zone Mechanical
Ventilation Air
Changes per Hour,
monthly;

Output:Variable, *,
Zone Ventilation Air
Change Rate, monthly;
Output:Variable, *,
Zone Infiltration Air
Change Rate,
runperiod;
Output:Variable, *,
Zone Mechanical
Ventilation Air
Changes per Hour,
runperiod;
Output:Variable, *,
Zone Ventilation Air
Change Rate,
runperiod;
Output:Variable, *,
Zone Total Internal
Latent Gain Energy,
timestep;
Output:Variable, *,
Zone Total Internal
Latent Gain Energy,
hourly;
Output:Variable, *,
Zone Total Internal
Latent Gain Energy,
daily;
Output:Variable, *,
Zone Total Internal
Latent Gain Energy,
monthly;
Output:Variable, *,
Zone Total Internal
Latent Gain Energy,
runperiod;
Output:Variable, *,
Zone Ideal Loads
Supply Air Sensible
Cooling Rate,
timestep;
Output:Variable, *,
Zone Ideal Loads
Supply Air Total
Cooling Rate,
timestep;
Output:Variable, *,
Zone Ideal Loads
Supply Air Total
Heating Rate,
timestep;
Output:Variable, *,
Zone Ideal Loads Heat

Recovery Sensible
Heating Rate,
timestep;
Output:Variable, *,
Zone Ideal Loads Heat
Recovery Total Heating
Rate, timestep;
Output:Variable, *,
Zone Ideal Loads Heat
Recovery Sensible
Cooling Rate,
timestep;
Output:Variable, *,
Zone Ideal Loads Heat
Recovery Total Cooling
Rate, timestep;
Output:Variable, *,
Zone Ventilation Fan
Electricity Energy,
timestep;
Output:Variable, *,
Fan Electricity Rate,
timestep;
Output:Variable, *,
Water Use Equipment
Heating Rate,
timestep;
Output:Variable, *,
Facility Total
Produced Electricity
Energy, timestep;
Output:Variable, *,
Zone Air System
Sensible Heating Rate,
timestep;
Output:Variable, *,
Zone Air System
Sensible Cooling Rate,
timestep;
Output:Variable, *,
Zone Radiant HVAC
Heating Rate,
timestep;
Output:Variable, *,
Zone Ideal Loads
Supply Air Latent
Heating Rate,
timestep;
Output:Variable, *,
Zone Ideal Loads
Supply Air Sensible
Cooling Rate, hourly;

Output:Variable, *,
Zone Ideal Loads
Supply Air Total
Cooling Rate, hourly;
Output:Variable, *,
Zone Ideal Loads
Supply Air Total
Heating Rate, hourly;
Output:Variable, *,
Zone Ideal Loads Heat
Recovery Sensible
Heating Rate, hourly;
Output:Variable, *,
Zone Ideal Loads Heat
Recovery Total Heating
Rate, hourly;
Output:Variable, *,
Zone Ideal Loads Heat
Recovery Sensible
Cooling Rate, hourly;
Output:Variable, *,
Zone Ideal Loads Heat
Recovery Total Cooling
Rate, hourly;
Output:Variable, *,
Zone Ventilation Fan
Electricity Energy,
hourly;
Output:Variable, *,
Fan Electricity Rate,
hourly;
Output:Variable, *,
Water Use Equipment
Heating Rate, hourly;
Output:Variable, *,
Facility Total
Produced Electricity
Energy, hourly;
Output:Variable, *,
Zone Air System
Sensible Heating Rate,
hourly;
Output:Variable, *,
Zone Air System
Sensible Cooling Rate,
hourly;
Output:Variable, *,
Zone Radiant HVAC
Heating Rate, hourly;
Output:Variable, *,
Zone Ideal Loads
Supply Air Latent
Heating Rate, hourly;

Output:Variable, *,
Zone Ideal Loads
Supply Air Sensible
Cooling Rate, daily;
Output:Variable, *,
Zone Ideal Loads
Supply Air Total
Cooling Rate, daily;
Output:Variable, *,
Zone Ideal Loads
Supply Air Total
Heating Rate, daily;
Output:Variable, *,
Zone Ideal Loads Heat
Recovery Sensible
Heating Rate, daily;
Output:Variable, *,
Zone Ideal Loads Heat
Recovery Total Heating
Rate, daily;
Output:Variable, *,
Zone Ideal Loads Heat
Recovery Sensible
Cooling Rate, daily;
Output:Variable, *,
Zone Ventilation Fan
Electricity Energy,
daily;
Output:Variable, *,
Fan Electricity Rate,
daily;
Output:Variable, *,
Water Use Equipment
Heating Rate, daily;
Output:Variable, *,
Facility Total
Produced Electricity
Energy, daily;
Output:Variable, *,
Zone Air System
Sensible Heating Rate,
daily;
Output:Variable, *,
Zone Air System
Sensible Cooling Rate,
daily;
Output:Variable, *,
Zone Radiant HVAC
Heating Rate, daily;

Output:Variable, *,
Zone Ideal Loads
Supply Air Latent
Heating Rate, daily;
Output:Variable, *,
Zone Ideal Loads
Supply Air Sensible
Cooling Rate, monthly;
Output:Variable, *,
Zone Ideal Loads
Supply Air Total
Cooling Rate, monthly;
Output:Variable, *,
Zone Ideal Loads
Supply Air Total
Heating Rate, monthly;
Output:Variable, *,
Zone Ideal Loads Heat
Recovery Sensible
Heating Rate, monthly;
Output:Variable, *,
Zone Ideal Loads Heat
Recovery Total Heating
Rate, monthly;
Output:Variable, *,
Zone Ideal Loads Heat
Recovery Sensible
Cooling Rate, monthly;
Output:Variable, *,
Zone Ideal Loads Heat
Recovery Total Cooling
Rate, monthly;
Output:Variable, *,
Zone Ventilation Fan
Electricity Energy,
monthly;
Output:Variable, *,
Fan Electricity Rate,
monthly;
Output:Variable, *,
Water Use Equipment
Heating Rate, monthly;
Output:Variable, *,
Facility Total
Produced Electricity
Energy, monthly;
Output:Variable, *,
Zone Air System
Sensible Heating Rate,
monthly;
Output:Variable, *,
Zone Air System

Sensible Cooling Rate,
monthly;
Output:Variable, *,
Zone Radiant HVAC
Heating Rate, monthly;
Output:Variable, *,
Zone Ideal Loads
Supply Air Latent
Heating Rate, monthly;
Output:Variable, *,
Zone Ideal Loads
Supply Air Sensible
Cooling Rate,
runperiod;
Output:Variable, *,
Zone Ideal Loads
Supply Air Total
Cooling Rate,
runperiod;
Output:Variable, *,
Zone Ideal Loads
Supply Air Total
Heating Rate,
runperiod;
Output:Variable, *,
Zone Ideal Loads Heat
Recovery Sensible
Heating Rate,
runperiod;
Output:Variable, *,
Zone Ideal Loads Heat
Recovery Total Heating
Rate, runperiod;
Output:Variable, *,
Zone Ideal Loads Heat
Recovery Sensible
Cooling Rate,
runperiod;
Output:Variable, *,
Zone Ideal Loads Heat
Recovery Total Cooling
Rate, runperiod;
Output:Variable, *,
Zone Ventilation Fan
Electricity Energy,
runperiod;
Output:Variable, *,
Fan Electricity Rate,
runperiod;
Output:Variable, *,
Water Use Equipment
Heating Rate,
runperiod;

Output:Variable, *,
Facility Total
Produced Electricity
Energy, runperiod;
Output:Variable, *,
Zone Air System
Sensible Heating Rate,
runperiod;
Output:Variable, *,
Zone Air System
Sensible Cooling Rate,
runperiod;
Output:Variable, *,
Zone Radiant HVAC
Heating Rate,
runperiod;
Output:Variable, *,
Zone Ideal Loads
Supply Air Latent
Heating Rate,
runperiod;
Output:Variable, *,
Zone People Sensible
Heating Rate,
timestep;
Output:Variable, *,
Zone Windows Total
Transmitted Solar
Radiation Rate,
timestep;
Output:Variable, *,
Zone Interior Windows
Total Transmitted
Diffuse Solar
Radiation Rate,
timestep;
Output:Variable, *,
Zone Interior Windows
Total Transmitted Beam
Solar Radiation Rate,
timestep;
Output:Variable, *,
Zone Infiltration
Sensible Heat Loss
Energy, timestep;
Output:Variable, *,
Zone Infiltration
Sensible Heat Gain
Energy, timestep;
Output:Variable, *,
Zone Ventilation
Sensible Heat Loss
Energy, timestep;

Output:Variable, *,
Zone Ventilation
Sensible Heat Gain
Energy, timestep;
Output:Variable, *,
Zone Mixing Sensible
Heat Loss Energy,
timestep;
Output:Variable, *,
Zone Mixing Sensible
Heat Gain Energy,
timestep;
Output:Variable, *,
Zone Mixing Standard
Density Volume Flow
Rate, timestep;
Output:Variable, *,
Zone Ventilation
Standard Density
Volume Flow Rate,
timestep;
Output:Variable, *,
Zone Mechanical
Ventilation Standard
Density Volume Flow
Rate, timestep;
Output:Variable, *,
Other Equipment Total
Heating Rate,
timestep;
Output:Variable, *,
Other Equipment Lost
Heat Rate, timestep;
Output:Variable, *,
Other Equipment
Electricity Rate,
timestep;
Output:Variable, *,
Other Equipment
NaturalGas Rate,
timestep;
Output:Variable, *,
Zone Lights Electric
Power, timestep;
Output:Meter, ELECTRIC
EQUIPMENT#3564#07:In-
teriorEquipment*,
timestep;
Output:Meter, ELECTRIC
EQUIPMENT#3564#General
Lights*, timestep;
Output:Variable, *,
Site Outdoor Air

Drybulb Temperature,
timestep;
Output:Variable, *,
Site Outdoor Air
Dewpoint Temperature,
timestep;
Output:Variable, *,
Site Wind Speed,
timestep;
Output:Variable, *,
Site Wind Direction,
timestep;
Output:Variable, *,
Site Direct Solar
Radiation Rate per
Area, timestep;
Output:Variable, *,
Site Diffuse Solar
Radiation Rate per
Area, timestep;
Output:Variable, *,
Site Solar Azimuth
Angle, timestep;
Output:Variable, *,
Site Solar Altitude
Angle, timestep;
Output:Variable, *,
Site Outdoor Air
Barometric Pressure,
timestep;
Output:Variable, *,
Zone People Sensible
Heating Rate, hourly;
Output:Variable, *,
Zone Windows Total
Transmitted Solar
Radiation Rate,
hourly;
Output:Variable, *,
Zone Interior Windows
Total Transmitted
Diffuse Solar
Radiation Rate,
hourly;
Output:Variable, *,
Zone Interior Windows
Total Transmitted Beam
Solar Radiation Rate,
hourly;
Output:Variable, *,
Zone Infiltration
Sensible Heat Loss
Energy, hourly;

Output:Variable, *,
Zone Infiltration
Sensible Heat Gain
Energy, hourly;
Output:Variable, *,
Zone Ventilation
Sensible Heat Loss
Energy, hourly;
Output:Variable, *,
Zone Ventilation
Sensible Heat Gain
Energy, hourly;
Output:Variable, *,
Zone Mixing Sensible
Heat Loss Energy,
hourly;
Output:Variable, *,
Zone Mixing Sensible
Heat Gain Energy,
hourly;
Output:Variable, *,
Zone Mixing Standard
Density Volume Flow
Rate, hourly;
Output:Variable, *,
Zone Ventilation
Standard Density
Volume Flow Rate,
hourly;
Output:Variable, *,
Zone Mechanical
Ventilation Standard
Density Volume Flow
Rate, hourly;
Output:Variable, *,
Other Equipment Total
Heating Rate, hourly;
Output:Variable, *,
Other Equipment Lost
Heat Rate, hourly;
Output:Variable, *,
Other Equipment
Electricity Rate,
hourly;
Output:Variable, *,
Other Equipment
NaturalGas Rate,
hourly;
Output:Variable, *,
Zone Lights Electric
Power, hourly;
Output:Meter, ELECTRIC
EQUIPMENT#3564#07:Inte

riorEquipment*,
hourly;
Output:Meter, ELECTRIC
EQUIPMENT#3564#General
Lights*, hourly;
Output:Variable, *,
Site Outdoor Air
Drybulb Temperature,
hourly;
Output:Variable, *,
Site Outdoor Air
Dewpoint Temperature,
hourly;
Output:Variable, *,
Site Wind Speed,
hourly;
Output:Variable, *,
Site Wind Direction,
hourly;
Output:Variable, *,
Site Direct Solar
Radiation Rate per
Area, hourly;
Output:Variable, *,
Site Diffuse Solar
Radiation Rate per
Area, hourly;
Output:Variable, *,
Site Solar Azimuth
Angle, hourly;
Output:Variable, *,
Site Solar Altitude
Angle, hourly;
Output:Variable, *,
Site Outdoor Air
Barometric Pressure,
hourly;
Output:Variable, *,
Zone People Sensible
Heating Rate, daily;
Output:Variable, *,
Zone Windows Total
Transmitted Solar
Radiation Rate, daily;
Output:Variable, *,
Zone Interior Windows
Total Transmitted
Diffuse Solar
Radiation Rate, daily;
Output:Variable, *,
Zone Interior Windows
Total Transmitted Beam

Solar Radiation Rate,
daily;
Output:Variable, *,
Zone Infiltration
Sensible Heat Loss
Energy, daily;
Output:Variable, *,
Zone Infiltration
Sensible Heat Gain
Energy, daily;
Output:Variable, *,
Zone Ventilation
Sensible Heat Loss
Energy, daily;
Output:Variable, *,
Zone Ventilation
Sensible Heat Gain
Energy, daily;
Output:Variable, *,
Zone Mixing Sensible
Heat Loss Energy,
daily;
Output:Variable, *,
Zone Mixing Sensible
Heat Gain Energy,
daily;
Output:Variable, *,
Zone Mixing Standard
Density Volume Flow
Rate, daily;
Output:Variable, *,
Zone Ventilation
Standard Density
Volume Flow Rate,
daily;
Output:Variable, *,
Zone Mechanical
Ventilation Standard
Density Volume Flow
Rate, daily;
Output:Variable, *,
Other Equipment Total
Heating Rate, daily;
Output:Variable, *,
Other Equipment Lost
Heat Rate, daily;
Output:Variable, *,
Other Equipment
Electricity Rate,
daily;
Output:Variable, *,
Other Equipment

NaturalGas Rate, daily;
Output:Variable, *, Zone Lights Electric Power, daily;
Output:Meter, ELECTRIC EQUIPMENT#3564#07:InteriorEquipment*, daily;
Output:Meter, ELECTRIC EQUIPMENT#3564#General Lights*, daily;
Output:Variable, *, Site Outdoor Air Drybulb Temperature, daily;
Output:Variable, *, Site Outdoor Air Dewpoint Temperature, daily;
Output:Variable, *, Site Wind Speed, daily;
Output:Variable, *, Site Wind Direction, daily;
Output:Variable, *, Site Direct Solar Radiation Rate per Area, daily;
Output:Variable, *, Site Diffuse Solar Radiation Rate per Area, daily;
Output:Variable, *, Site Solar Azimuth Angle, daily;
Output:Variable, *, Site Solar Altitude Angle, daily;
Output:Variable, *, Site Outdoor Air Barometric Pressure, daily;
Output:Variable, *, Zone People Sensible Heating Rate, monthly;
Output:Variable, *, Zone Windows Total Transmitted Solar Radiation Rate, monthly;
Output:Variable, *, Zone Interior Windows

Total Transmitted Diffuse Solar Radiation Rate, monthly;
Output:Variable, *, Zone Interior Windows Total Transmitted Beam Solar Radiation Rate, monthly;
Output:Variable, *, Zone Infiltration Sensible Heat Loss Energy, monthly;
Output:Variable, *, Zone Infiltration Sensible Heat Gain Energy, monthly;
Output:Variable, *, Zone Ventilation Sensible Heat Loss Energy, monthly;
Output:Variable, *, Zone Ventilation Sensible Heat Gain Energy, monthly;
Output:Variable, *, Zone Mixing Sensible Heat Loss Energy, monthly;
Output:Variable, *, Zone Mixing Sensible Heat Gain Energy, monthly;
Output:Variable, *, Zone Mixing Standard Density Volume Flow Rate, monthly;
Output:Variable, *, Zone Ventilation Standard Density Volume Flow Rate, monthly;
Output:Variable, *, Zone Mechanical Ventilation Standard Density Volume Flow Rate, monthly;
Output:Variable, *, Other Equipment Total Heating Rate, monthly;
Output:Variable, *, Other Equipment Lost Heat Rate, monthly;

Output:Variable, *, Other Equipment Electricity Rate, monthly;
Output:Variable, *, Other Equipment NaturalGas Rate, monthly;
Output:Variable, *, Zone Lights Electric Power, monthly;
Output:Meter, ELECTRIC EQUIPMENT#3564#07:InteriorEquipment*, monthly;
Output:Meter, ELECTRIC EQUIPMENT#3564#General Lights*, monthly;
Output:Variable, *, Site Outdoor Air Drybulb Temperature, monthly;
Output:Variable, *, Site Outdoor Air Dewpoint Temperature, monthly;
Output:Variable, *, Site Wind Speed, monthly;
Output:Variable, *, Site Wind Direction, monthly;
Output:Variable, *, Site Direct Solar Radiation Rate per Area, monthly;
Output:Variable, *, Site Diffuse Solar Radiation Rate per Area, monthly;
Output:Variable, *, Site Solar Azimuth Angle, monthly;
Output:Variable, *, Site Solar Altitude Angle, monthly;
Output:Variable, *, Site Outdoor Air Barometric Pressure, monthly;
Output:Variable, *, Zone People Sensible

Heating Rate,
runperiod;
Output:Variable, *,
Zone Windows Total
Transmitted Solar
Radiation Rate,
runperiod;
Output:Variable, *,
Zone Interior Windows
Total Transmitted
Diffuse Solar
Radiation Rate,
runperiod;
Output:Variable, *,
Zone Interior Windows
Total Transmitted Beam
Solar Radiation Rate,
runperiod;
Output:Variable, *,
Zone Infiltration
Sensible Heat Loss
Energy, runperiod;
Output:Variable, *,
Zone Infiltration
Sensible Heat Gain
Energy, runperiod;
Output:Variable, *,
Zone Ventilation
Sensible Heat Loss
Energy, runperiod;
Output:Variable, *,
Zone Ventilation
Sensible Heat Gain
Energy, runperiod;
Output:Variable, *,
Zone Mixing Sensible
Heat Loss Energy,
runperiod;
Output:Variable, *,
Zone Mixing Sensible
Heat Gain Energy,
runperiod;
Output:Variable, *,
Zone Mixing Standard
Density Volume Flow
Rate, runperiod;
Output:Variable, *,
Zone Ventilation
Standard Density
Volume Flow Rate,
runperiod;
Output:Variable, *,
Zone Mechanical

Ventilation Standard
Density Volume Flow
Rate, runperiod;
Output:Variable, *,
Other Equipment Total
Heating Rate,
runperiod;
Output:Variable, *,
Other Equipment Lost
Heat Rate, runperiod;
Output:Variable, *,
Other Equipment
Electricity Rate,
runperiod;
Output:Variable, *,
Other Equipment
NaturalGas Rate,
runperiod;
Output:Variable, *,
Zone Lights Electric
Power, runperiod;
Output:Meter, ELECTRIC
EQUIPMENT#3564#07:Inter
iorEquipment*,
runperiod;
Output:Meter, ELECTRIC
EQUIPMENT#3564#General
Lights*, runperiod;
Output:Variable, *,
Site Outdoor Air
Drybulb Temperature,
runperiod;
Output:Variable, *,
Site Outdoor Air
Dewpoint Temperature,
runperiod;
Output:Variable, *,
Site Wind Speed,
runperiod;
Output:Variable, *,
Site Wind Direction,
runperiod;
Output:Variable, *,
Site Direct Solar
Radiation Rate per
Area, runperiod;
Output:Variable, *,
Site Diffuse Solar
Radiation Rate per
Area, runperiod;
Output:Variable, *,
Site Solar Azimuth
Angle, runperiod;

Output:Variable, *,
Site Solar Altitude
Angle, runperiod;
Output:Variable, *,
Site Outdoor Air
Barometric Pressure,
runperiod;

Output:Surfaces:Drawin
g, DXF,
Triangulate3DFace;
Output:Surfaces:List,
Details;
Output:Constructions,
Constructions;
OutputControl:Reportin
gTolerances,1.11,1.11;
Output:Diagnostics,
DisplayAdvancedReportV
ariables;