

**UNIVERSIDAD MAYOR REAL Y PONTIFICIA DE SAN  
FRANCISCO XAVIER DE CHUQUISACA**

**VICERRECTORADO**

**CENTRO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
E INVESTIGACIÓN**



**VIVIENDA MODULAR LIGERA PREFABRICADA BASADA EN SOSTENIBILIDAD  
Y EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA USO TEMPORAL POST-DESASTRE EN LA  
CIUDAD DE LA PAZ**

TRABAJO EN OPCIÓN AL GRADO DE MAGISTER EN  
ENERGÍAS RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

**AUTOR: Ing. LUIS ALBERTO SILVA CONDORI**

**SUCRE, MAYO 2024**

**UNIVERSIDAD MAYOR REAL Y PONTIFICIA DE SAN  
FRANCISCO XAVIER DE CHUQUISACA**

**VICERRECTORADO**

**CENTRO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
E INVESTIGACIÓN**



**VIVIENDA MODULAR LIGERA PREFABRICADA BASADA EN SOSTENIBILIDAD  
Y EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA USO TEMPORAL POST-DESASTRE EN LA  
CIUDAD DE LA PAZ**

**TRABAJO EN OPCIÓN AL GRADO DE MAGISTER EN  
ENERGÍAS RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA**

**AUTOR: Ing. LUIS ALBERTO SILVA CONDORI**

**TUTORA: Ph.D. Arq. ALCIÓN DE LAS PLÉYADES ALONSO FRANK**

**SUCRE, 2024**

## **CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS**

Al presentar este trabajo como requisito previo para la obtención del Título de Magister en ENERGÍAS RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA de la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, autorizo al Centro de Estudios de Posgrado e Investigación o a la Biblioteca de la Universidad, para que se haga de este trabajo un documento disponible para su lectura, según normas de la Universidad.

También cedo a la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, los derechos de publicación de este trabajo o parte de él, manteniendo mis derechos de autor hasta un período de 30 meses posterior a su aprobación.

---

Ing. Luis Alberto Silva Condori

Sucre, 2024

## ÍNDICE GENERAL

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN.....                                               | 1  |
| 1.1 Antecedentes.....                                                      | 1  |
| 1.2 Situación Problemática.....                                            | 2  |
| 1.3 Planteamiento y formulación del problema.....                          | 3  |
| 1.4 Objeto de estudio .....                                                | 3  |
| 1.5 Campo de acción .....                                                  | 3  |
| 1.6 Justificación.....                                                     | 4  |
| 1.7 Idea a defender o Hipótesis .....                                      | 6  |
| 1.8 Objetivos.....                                                         | 6  |
| 1.8.1 Objetivo General.....                                                | 6  |
| 1.8.2 Objetivos Específicos. ....                                          | 6  |
| CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....                                             | 7  |
| 2.1 Desastres y alojamiento temporal.....                                  | 7  |
| 2.2 Diseño de edificios sostenibles.....                                   | 10 |
| 2.2.1 El sitio y el paisaje sostenibles .....                              | 11 |
| 2.2.2 Estrategias de Eficiencia Energética en la Edificación. ....         | 11 |
| 2.2.3 Ciclo hidrológico del entorno construido .....                       | 12 |
| 2.2.4 Cierre de bucles de materiales .....                                 | 13 |
| 2.2.5 Huella de carbono del entorno construido .....                       | 14 |
| 2.2.6 Calidad ambiental interior (Indoor Environmental Quality, IEQ) ..... | 15 |
| CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....                                              | 18 |
| 3.1 Investigación Aplicada .....                                           | 18 |
| CAPÍTULO IV DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN .....                           | 20 |

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1. Caso de estudio.....                                                          | 20 |
| 4.1.1. El municipio de La Paz.....                                                 | 20 |
| 4.1.2. Condiciones climáticas.....                                                 | 20 |
| 4.1.3. Antecedentes históricos de desastres naturales en la ciudad de La Paz ..... | 21 |
| 4.2. Viviendas temporales como respuesta a desastres naturales .....               | 23 |
| 4.2.1. El contenedor marítimo como respuesta arquitectónica.....                   | 23 |
| 4.2.2. Ejemplo de carácter internacional: El caso de Japón .....                   | 25 |
| 4.2.3. Ejemplo de carácter internacional: El caso de Turquía .....                 | 26 |
| 4.2.4. Ejemplo de carácter nacional: El caso de La Paz – Bolivia .....             | 27 |
| 4.3. Propuesta de estrategias de diseño basadas en lineamientos LEED.....          | 28 |
| 4.3.0. Proceso Integrativo (2 puntos).....                                         | 28 |
| 4.3.1. Localización y transporte (10 puntos) .....                                 | 28 |
| 4.3.2. Sitios sostenibles (5 puntos) .....                                         | 29 |
| 4.3.3. Eficiencia hídrica (15 puntos).....                                         | 30 |
| 4.3.4. Energía y atmósfera.....                                                    | 31 |
| 4.3.5. Materiales y recursos .....                                                 | 33 |
| 4.3.6. Calidad ambiental interior .....                                            | 33 |
| 4.3.7. Innovación .....                                                            | 34 |
| 4.3.8. Prioridad regional .....                                                    | 34 |
| 4.3.9 Resumen calificación LEED .....                                              | 34 |
| 4.4 Propuesta de diseño vivienda temporal .....                                    | 37 |
| 4.4.1 Diseño Arquitectónico.....                                                   | 37 |
| 4.5. Simulación Energética.....                                                    | 39 |
| 4.5.1. Programas empleados.....                                                    | 39 |

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| 4.5.2. Configuración de parámetros de simulación .....  | 40 |
| 4.5.3. Simulación vivienda temporal propuesta .....     | 40 |
| 4.5.4. Simulación vivienda temporal de referencia ..... | 45 |
| 4.5.5. Simulación de vivienda tradicional .....         | 49 |
| 4.6. Análisis confort Térmico .....                     | 51 |
| 4.7 Análisis de costos .....                            | 53 |
| 4.7.1 Presupuesto Vivienda Temporal Propuesta.....      | 54 |
| 4.7.2 Presupuesto Vivienda Temporal de referencia.....  | 54 |
| 4.7.3 Presupuesto Vivienda Tradicional.....             | 55 |
| 4.7.4 Resumen de costos .....                           | 56 |
| CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....         | 58 |
| BIBLIOGRAFÍA .....                                      | 60 |

# **VIVIENDA MODULAR LIGERA PREFABRICADA BASADA EN SOSTENIBILIDAD Y EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA USO TEMPORAL POST-DESASTRE EN LA CIUDAD DE LA PAZ**

## **RESUMEN:**

En las últimas dos décadas, América Latina ha enfrentado desastres naturales que han afectado a más de 190 millones de personas, siendo La Paz, Bolivia, especialmente vulnerable a inundaciones y deslizamientos de tierra. Esta situación es crítica debido a la topografía montañosa, lo que ha llevado a una creciente necesidad de soluciones habitacionales temporales que sean seguras y confortables para la atención de las víctimas post desastre.

La deficiencia en las soluciones habitacionales temporales requiere el desarrollo de un diseño de vivienda modular ligera que integre estrategias de sostenibilidad y eficiencia energética, considerando las particularidades climáticas y espaciales de La Paz.

Se llevaron a cabo simulaciones energéticas con el software EnergyPlus, que mostraron que el modelo propuesto alcanza un 59% de horas de confort térmico, superando a las soluciones temporales y tradicionales. La vivienda obtuvo la certificación LEED, confirmando su sostenibilidad a través de la reutilización de materiales y optimización del espacio. Aunque el costo inicial de la vivienda es de 82,475.46 Bs, el costo por hora de confort es notablemente menor en comparación con otras opciones, lo que la hace más rentable a largo plazo.

La investigación demuestra que el diseño de viviendas modulares ligeras y sostenibles mejora significativamente la calidad de vida de las personas afectadas por desastres. Este modelo es práctico y viable, ofreciendo una solución efectiva para mitigar la vulnerabilidad de La Paz ante futuros desastres.

Se recomienda integrar este modelo en políticas públicas y programas de emergencia, priorizando la sostenibilidad y el confort. Además, se sugiere un enfoque integral en la planificación urbana para abordar la vulnerabilidad a largo plazo, asegurando respuestas habitacionales efectivas y respetuosas con el medio ambiente.

## **PALABRAS CLAVE:**

Vivienda temporal, Eficiencia Energética, Estrategias de sostenibilidad, OpenStudio, Certificación LEED, Construcción modular, Simulación energética.

# CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

## 1.1 Antecedentes

En los últimos 20 años, los desastres han afectado a más de 190 millones de personas en América Latina y el Caribe, según Panorama de los Desastres en América Latina Y El Caribe 2000 - 2022 (2023). Entre los más concurrentes se encuentran las inundaciones (50%), seguidos de tormentas (9%), deslizamientos de tierra (8%) y temperaturas extremas (8%), afectando la educación, la salud, los resultados laborales y la riqueza de las personas, (*Caruso*, (2017)). Según *Nagy et al. (2018)* se reconoce que estos hechos seguirán en aumento producto de que las proyecciones climáticas futuras sugieren incrementos en la temperatura y cambios en la precipitación para América Central (CA) y América del Sur (SA) para el año 2100. En esta línea se destaca que en muchos países del Tercer Mundo la degradación ambiental, la pobreza y el rápido crecimiento de la población son los que convierten un peligro natural en un gran desastre, según *Wijkman & Timberlake (2021)*. Es por ello que el crecimiento generalizado de los asentamientos informales se ven perjudicados ante los desastres extensos y sus impactos en las ciudades en los últimos 20 años. Puesto que *Sandoval & Sarmiento (2020)* reconocen el vínculo existente entre los riesgos de desastres y los asentamientos informales y que en el caso de Bolivia existen 3.21 millones de personas en asentamientos informales, resulta prioritario el estudio de la vivienda temporal para dar soluciones habitacionales en esas situaciones. Al respecto, la Federación Internacional de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja IFRC utiliza los términos 'refugio de emergencia', 'refugios temporales', 'refugios de transición', 'refugios progresivos' y 'refugios básicos'. Las diferencias entre estas categorías son la duración de la estadía, la permanencia de la ubicación, la durabilidad y la vida útil esperada del refugio. Aunque la terminología utilizada es inconsistente en la literatura, es claro que las respuestas humanitarias se dividen en 'emergencia', 'temporal' y 'permanente', conforme *Albadra et al. (2018)*. Así, la vivienda temporal se define como un alojamiento temporal en el que las familias pueden retomar sus actividades y rutinas durante meses o incluso años, pero no pretende ser permanente (*Wagemann*, (2017)). El tipo de viviendas temporales, así como el de materiales utilizados, deben estar diseñados preferentemente para que sean reciclados o utilizados para la (re)construcción

de viviendas permanentes o para la restauración de las existentes, con el fin de causar el menor impacto posible (*Di Gregorio & Soares, (2017)*).

De acuerdo a *Atmaca (2017)*, para el diseño de la vivienda temporal se debe considerar el análisis del ciclo de vida comprendido por la fase de construcción (fabricación y el transporte de materiales de construcción), fase de operación (calefacción, refrigeración, iluminación, electrodomésticos, cocina, agua caliente) y fase de demolición (destrucción del edificio y el transporte de los residuos). Por su parte *Hong (2017)* indica que la arquitectura modular es un método de construcción en el que los materiales interiores, la maquinaria y la electricidad se construyen primero sobre la base de módulos de unidades cúbicas en la fábrica. Por su parte *Lawson (2019)* y *Lacey et al. (2018)* precisan que algunas ventajas de la construcción modular son los tiempos de construcción más cortos, calidad superior lograda por el proceso de construcción en fábrica, excelente aislamiento acústico, térmico y seguridad, costo de diseño reducido para el cliente y ligeros, ya que a veces se transportan largas distancias.

Aunque a nivel nacional, a la fecha, no es obligatorio mejorar la eficiencia energética y el confort interior en las viviendas, se destaca que las herramientas de simulación energética de edificios completos pueden mejorar la capacidad de los ingenieros y diseñadores para analizar el comportamiento térmico de los mismos, como lo indican *Saffari et al. (2017)*. En este sentido, *Mattoni et al. (2018)* señala que el protocolo LEED (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental por sus siglas en inglés) desarrollado por el US Green Building Council es uno de los programas más reconocidos globalmente para evaluar la sostenibilidad en las diferentes fases de la construcción, a nombrar, el diseño, la construcción propiamente dicha, el mantenimiento y la operación. Según *USGBC (2019)* el mismo posee como categorías de créditos a la localización y el transporte, sitios sostenibles, eficiencia del agua, energía y atmósfera, materiales y recursos, calidad ambiental interior, innovación y prioridad regional.

## **1.2 Situación Problemática**

El aumento de la frecuencia e intensidad de los desastres naturales, a causa del cambio climático, genera un desafío creciente para las ciudades en todo el mundo, incluyendo La Paz, Bolivia. Entre las graves consecuencias de estos eventos se encuentra la pérdida de viviendas, dejando a

miles de personas sin hogar y en condiciones precarias. Las soluciones habitacionales temporales actuales, en muchos casos, no cumplen con los requisitos mínimos de habitabilidad, confort y seguridad, generando problemas de salud de sus habitantes y degradación ambiental. Por lo tanto, es fundamental diseñar y construir viviendas modulares ligeras prefabricadas con estrategias de diseño sostenible que puedan ofrecer una solución habitacional temporal adecuada, confortable, segura y respetuosa con el medio ambiente para las personas afectadas por desastres en la ciudad de La Paz.

### **1.3 Planteamiento y formulación del problema**

#### **Planteamiento del problema:**

Las soluciones habitacionales temporales actuales, en muchos casos, no cumplen con los requisitos de confort. A menudo se basan en construcciones prefabricadas donde se prioriza el costo de la solución habitacional, lo cual es adecuado para soluciones a corto plazo, pero no para soluciones a mediano plazo.

#### **Formulación del problema:**

¿Cómo debe ser el diseño de las viviendas modulares ligeras prefabricadas basadas en estrategias de diseño sostenible para su uso como vivienda temporal post-desastre en la ciudad de La Paz, Bolivia, teniendo en cuenta las características climáticas, topográficas y espaciales del terreno?

### **1.4 Objeto de estudio**

Diseño de una vivienda modular ligera prefabricada eficiente energéticamente con estrategias de diseño sostenible para su uso temporal post-desastre en la ciudad de La Paz, Bolivia.

### **1.5 Campo de acción**

La tesis se sitúa en el ámbito de la eficiencia energética y la arquitectura, enfocándose especialmente en el diseño de viviendas temporales post-desastre con el propósito de mejorar significativamente el confort térmico y la calidad de vida de las personas afectadas.

## 1.6 Justificación

La ciudad de La Paz, Bolivia, ha sido testigo de una larga historia de desastres naturales, principalmente deslizamientos de tierra, inundaciones y derrumbes, que han afectado profundamente a su población. Esta situación es exacerbada por su topografía montañosa y sus suelos inestables, que hacen de la ciudad una de las más vulnerables a eventos adversos relacionados con el cambio climático. Según datos históricos recopilados en GAMLP (2012) y Secretaría Municipal de Educación y Desarrollo Social (2021), entre los numerosos eventos se destaca el deslizamiento de Hanko Hanko en 1548, el cual destruyó una comunidad entera y cobró la vida de 2000 personas. A su vez, los deslizamientos más recientes en 2021, reflejan una vulnerabilidad constante y extendida en el tiempo. Las familias afectadas por estos desastres han experimentado no sólo la pérdida de sus viviendas, sino también impactos emocionales, sociales y económicos, lo que agrava su situación de vulnerabilidad. Esto evidencia la necesidad urgente de desarrollar soluciones habitacionales temporales y sostenibles que proporcionen refugio, mejoren las condiciones de vida y reduzcan los riesgos asociados a futuras emergencias. En un contexto global, el incremento de la frecuencia de los desastres naturales como efecto del cambio climático, tiene consecuencias que varían de leves a devastadoras, siendo una de ellas la pérdida total de viviendas. Según *Nagy et al (2018)* las proyecciones climáticas para el futuro sugieren que esta tendencia continuará, con incrementos en la temperatura y cambios en los patrones de precipitación para América Central y América del Sur.

En este marco, las organizaciones humanitarias suelen proporcionar refugios de emergencia a las poblaciones afectadas en respuesta a los desastres, El artículo de *Félix et al. (2013)* realiza distinción de cuatro etapas son: (1) refugio de emergencia: un lugar donde los sobrevivientes permanecen por un corto período de tiempo durante el punto álgido de la emergencia, que puede ser en la casa de un amigo o en un refugio público; (2) refugio temporal y utilizado para una estadía corta, idealmente no más de unas pocas semanas después del desastre, puede ser una tienda de campaña, un refugio masivo público, etcétera; (3) vivienda temporal, el lugar donde los sobrevivientes pueden residir temporalmente, generalmente planificado por seis meses a tres años, volviendo a sus actividades diarias normales, y puede tomar la forma de una casa

prefabricada, una casa alquilada, entre otros; (4) vivienda permanente e regreso a la casa reconstruida o reasentamiento en una nueva para vivir permanentemente. Particularmente, en la fase 3, de acuerdo a *Di Gregorio & Soares (2017)* los materiales utilizados, deben estar diseñados preferentemente para que sean reciclados o utilizados para la (re)construcción de viviendas permanentes o para la restauración de las existentes, con el fin de causar el menor impacto posible.

La topografía accidentada y el poco espacio libre complica el uso de soluciones habitacionales temporales, por lo cual, la adopción de un diseño modular se presenta como una alternativa idónea debido a sus numerosas ventajas, que incluyen tiempos de construcción más cortos, una calidad superior lograda mediante procesos de fabricación en fábrica, excelente aislamiento acústico y térmico, seguridad, costos de diseño reducidos y ligereza Lawson (2019), Lacey et al. (2018).

Como indica el folleto informativo 21 rev.1 (*El derecho a una vivienda adecuada*, 2010), una vivienda adecuada debe brindar más que cuatro paredes y un techo. En este marco, la novedad de esta investigación reside en el enfoque integrado que combina el diseño modular prefabricado con estrategias de diseño sostenible y eficiencia energética, enfocado específicamente en la ciudad de La Paz. Este enfoque busca optimizar tanto la rapidez en la construcción como la sostenibilidad a largo plazo de las viviendas, algo poco explorado en estudios anteriores dentro de este contexto específico.

La pertinencia del estudio se justifica por la vulnerabilidad de La Paz a desastres naturales debido a su topografía accidentada y la limitación de espacio. La investigación responde a una necesidad urgente de vivienda adecuada post-desastre que sea tanto sostenible como eficiente energéticamente, proporcionando una solución viable que puede ser implementada rápidamente en respuesta a emergencias.

El aporte principal de la tesis es el desarrollo de un modelo de vivienda temporal que no sólo es eficiente en términos energéticos, sino que también es significativamente más confortable en términos de condiciones térmicas comparado con soluciones temporales convencionales. Esto se demuestra a través de simulaciones energéticas que validan el confort térmico superior y la eficiencia energética del modelo propuesto. Además, la tesis aporta a la literatura académica una evaluación detallada del impacto de las estrategias de diseño sostenible en viviendas

temporales modulares.

### **1.7 Idea a defender o Hipótesis**

El diseño de una vivienda modular ligera prefabricada, que integra estrategias de diseño sostenible mejora significativamente la calidad de vida en términos de confort térmico de las personas que requieran viviendas temporales post-desastre en la ciudad de La Paz, Bolivia.

### **1.8 Objetivos**

#### **1.8.1 Objetivo General.**

Diseñar una vivienda modular ligera prefabricada basada en la introducción de estrategias de diseño sostenible para su uso como vivienda temporal post-desastre en la ciudad de La Paz, Bolivia.

#### **1.8.2 Objetivos Específicos.**

- OE1: Identificar estrategias de diseño sostenible relevantes en el diseño de viviendas modulares ligeras prefabricadas para uso temporal post-desastre aplicables a la ciudad de La Paz a efectos de su determinación.
- OE2: Diseñar un modelo de vivienda modular ligera prefabricada que aplique las estrategias de diseño sostenible previamente identificadas.
- OE3: Validar el diseño propuesto en términos de confort térmico y eficiencia energética.

## CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

### 2.1 Desastres y alojamiento temporal

Según el artículo de *Hong (2017)*, la base de datos de eventos de emergencia (EM-DAT) proporcionada por el Centro de Investigación sobre la Epidemiología de los Desastres (CRED), clasifica los desastres en varios tipos conforme se precisa en la Tabla 2.1.a.

**Tabla 2.1.a**

*Clasificación general de EM-DAT.*

| Grupo de Desastres | Subgrupo de Desastres | Definición                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Tipo principal de desastre                            |
|--------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| <b>Natural</b>     | Geofísico             | Un peligro que se origina en tierra sólida. Este término es Terremoto, Movimiento en masa, usado indistintamente con el término "actividad volcánica geológica", peligro".                                                                                                                                                                                                       |                                                       |
|                    | Meteorológico         | Un peligro causado por Extremo de micro a mesoescala de corta duración, temperatura, niebla. El clima extremo y las condiciones atmosféricas que la tormenta duran de minutos a días.                                                                                                                                                                                            |                                                       |
|                    | Hidrológico           | Un peligro causado por la ocurrencia, el movimiento y la distribución de agua dulce superficial y subterránea por inundación, deslizamiento de tierra y acción de las olas. y agua salada                                                                                                                                                                                        |                                                       |
|                    | Climatológico         | Un peligro causado por una sequía de larga duración, de meso a macroescala, el estallido de un lago glacial, procesos atmosféricos que van desde incendios forestales intraestacionales a la variabilidad climática multidecenal.                                                                                                                                                |                                                       |
|                    | Biológico             | Un peligro causado por la exposición a organismos vivos y, sus sustancias tóxicas (p. ej., veneno y moho) o enfermedades transmitidas por vectores que puedan transmitir. Algunos ejemplos son la fauna y los insectos venenosos, las plantas venenosas y los mosquitos que transmiten agentes causantes de enfermedades, como parásitos, bacterias o virus (p. ej., paludismo). | Epidemia, Infestación de insectos<br>Accidente animal |
|                    | Extraterrestre        | Un peligro causado por asteroides, meteoroides e impactos, cometas meteorológicos espaciales cuando pasan cerca de la tierra, ingresan a la Tierra.<br>atmósfera, y/o golpear la Tierra, y por cambios en las                                                                                                                                                                    |                                                       |

| Grupo de Desastres | Subgrupo de Desastres   | Definición                                                                                           | Tipo principal de desastre                                                            |
|--------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|                    |                         | condiciones interplanetarias que afectan la magnetosfera, la ionosfera y la termosfera de la Tierra. |                                                                                       |
| Tecnológico        | Accidente industrial    |                                                                                                      | Derrame químico, Colapso, explosión. Incendio, Fuga de gas, Envenenamiento, Radiación |
|                    | Accidente de transporte |                                                                                                      | Aire, Carretera, Ferrocarril, Agua                                                    |
|                    | Misceláneas accidente   |                                                                                                      | Colapso, Explosión, Fuego                                                             |

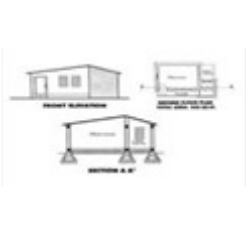
La mayoría de los desastres naturales provocan directamente problemas de derrumbe de viviendas por cuanto apremia proporcionar refugios temporales a las víctimas. Varios países emplean diferentes técnicas y materiales para la construcción de viviendas temporales. La adopción de éstos conducirá a resultados diferentes en términos de duración y comodidad de la construcción, así como en la satisfacción de las personas afectadas.

### **Tipos de viviendas temporales**

Los tipos de alojamiento temporal varían de un país a otro según varios factores, como el tipo de desastres naturales, las condiciones ambientales y los factores económicos. Hong y Lee (2009) clasifican los tipos de viviendas temporales según la Tabla 2.1.b.

**Tabla 2.1.b.** *Tipos de viviendas temporales para víctimas de desastres.*

| País  | Tipo desastre | Desastre                       | Magnitud | Año    | Imagen                                                                               | Tipo de casa temporal                                                                                                                                 |
|-------|---------------|--------------------------------|----------|--------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Japón | Terremoto     | Terremoto Iwate-Miyagi Nairiku | 7.2      | 2008.6 |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Casa Prefabricada</li> <li>• Área: 29.7 m<sup>2</sup>/household</li> <li>• Periodo de uso: 2 años</li> </ul> |
| China | Terremoto     | Terremoto Wenchuan             | 8.0      | 2008.5 |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Steel frame</li> <li>• Área: 18 m<sup>2</sup>/household</li> <li>• Periodo de uso: 6 meses</li> </ul>        |

| País        | Tipo desastre      | Desastre            | Magnitud            | Año     | Imagen                                                                               | Tipo de casa temporal                                                                                                                                              |
|-------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| South Korea | Storm              | Typhoon Ewiniar     | Categoría 4         | 2006.7  |    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Casa Container</li> <li>• Área: 20 m2/household</li> <li>• Periodo de uso: 3-5 años</li> </ul>                            |
| USA         | Huracan            | Huracan Katrina     | Categoría 5 Huracan | 2005.8  |    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Steel frame</li> <li>• Área: desconocido</li> <li>• Periodo de uso: desconocido</li> </ul>                                |
| South Asia  | Terremoto, Tsunami | India Ocean tsunami | 9.0                 | 2004.12 |    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hormigón Armado</li> <li>• Área: 18.87 m2/household</li> <li>• Casa Permanente</li> </ul>                                 |
| India       | Terremoto          | Terremoto Gujarat   | 7.9                 | 2001.1  |    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Casa Permanente</li> <li>• Paper house</li> <li>• Área: 15 m2/household</li> <li>• Periodo de uso: desconocido</li> </ul> |
| Taiwan      | Terremoto          | Terremoto Jiji      | 7.3                 | 1999.9  |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Steel frame</li> <li>• Área: unknown</li> <li>• Periodo de uso: desconocido</li> </ul>                                    |
| Turkey      | Terremoto          | Terremoto Izmit     | 7.4                 | 1999.8  |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tent</li> <li>• Área: unknown</li> <li>• Periodo de uso: desconocido</li> </ul>                                           |

Fuente. Yan Hong and Sang-Ho Lee, 2009.

En comparación con los marcos de acero y las casas prefabricadas, las casas de contenedores presentan numerosas ventajas, tales como la simplicidad del ensamblaje, un período de construcción comparativamente corto y bajos costos, en consonancia con Lee (2012).

La amplia aplicación de contenedores como edificios proporciona no sólo refugio temporal para víctimas y refugiados, sino que también permite el reciclaje de éstos. A su vez, su aplicación como edificios también se superpone con la demanda de industrialización de la construcción. Además de un período de construcción corto y otras ventajas técnicas, la Tabla 3 expone las características con respecto a la sostenibilidad que ofrecen las mismas (Contenedor de cogeneración).

**Tabla 2.3.** *Sostenibilidad: vivienda contenedor.*

| <b>Sustentabilidad</b>        | <b>Contenido</b>                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Reciclaje</b>              | <ul style="list-style-type: none"><li>• Mantener un bajo impacto ambiental</li><li>• Contribuir a la industrialización de materiales de reciclaje.</li><li>• Construir una economía circular</li></ul>                                              |
| <b>Materiales saludables</b>  | <ul style="list-style-type: none"><li>• Materiales sostenibles</li><li>• Cree el clima interior más saludable</li></ul>                                                                                                                             |
| <b>Responsabilidad Social</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>• La vivienda es un derecho humano. La construcción de casas contenedor creará soluciones que aseguren que incluso aquellos con los ingresos más bajos puedan permitirse un lugar digno para vivir.</li></ul> |

Los contenedores tienen muchas ventajas como bloques de construcción. Además de proporcionar un marco de vivienda sostenible, son fáciles de manejar y tienen una forma flexible, lo que hace que su construcción sea económica. Así mismo, se pueden combinar de innumerables formas creativas.

Por su parte, una encuesta realizada por la revista semana laboral en los Estados Unidos ha revelado a las casas contenedor como uno de los 20 principales inventos que cambiarán la forma de vida de los humanos en los próximos 10 años. Éstos se han utilizado para espacios de oficina, exposiciones culturales, fines comerciales y otras aplicaciones funcionales debido a que proporcionan un espacio flexible. Sin embargo, para fines residenciales, deben cumplir con los requisitos específicos de vivienda, incluida la conexión al gas de la ciudad, el suministro de agua y la instalación de equipos de drenaje. A su vez, tienen que cumplir con los requisitos ambientales interiores de conservación del calor.

## **2.2 Diseño de edificios sostenibles**

A continuación, se abordan las principales categorías de temas cubiertos por la mayoría de los sistemas de evaluación de edificios, incluido el Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental (LEED) y Green Globes, *Kibert (2022)*.

### **2.2.1 El sitio y el paisaje sostenibles**

El uso del suelo y el diseño del paisaje están estrechamente relacionados y ofrecen quizás la mayor oportunidad de innovación en la aplicación de los recursos necesarios para crear el entorno construido. Los edificios, si bien alteran el ecosistema local, pueden contribuir al mismo y funcionar en sinergia con la naturaleza. Se requiere un trabajo cuidadosamente diseñado y ejecutado por arquitectos, paisajistas, ingenieros civiles y gerentes de construcción, entre otros, para producir un edificio que:

- Optimice el uso del sitio
- Esté altamente integrado con el ecosistema local.
- Considere cuidadosamente la geología, la topografía, la insolación solar, la hidrología y los patrones de viento del sitio.
- Minimice los impactos durante la construcción y operación.
- Emplee el paisajismo como un complemento poderoso de sus sistemas técnicos.

### **2.2.2 Estrategias de Eficiencia Energética en la Edificación.**

Desde la aparición de los sistemas de evaluación de edificios hace unos 30 años, ha surgido un proceso para diseñar edificios de bajo consumo energético que puede producir edificios de energía primaria de 100 kWh/m<sup>2</sup>\*año. A continuación, se presentan los 10 pasos involucrados en el diseño de sistemas de energía con baja huella energética y baja emisión de carbono:

- Utilizar herramientas de simulación energética de edificios durante todo el proceso de diseño.
- Optimizar el diseño solar pasivo del edificio.
- Maximizar la eficiencia energética de la envolvente.
- Minimizar las cargas internas del edificio.
- Maximizar el aprovechamiento de la luz natural e integrarla con un sistema de iluminación de alta eficiencia.
- Diseñar un sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) eficiente que minimice el consumo de energía.
- Seleccionar electrodomésticos y motores de alta eficiencia.

- Maximizar el uso de sistemas de energía renovable.
- Recuperar y utilizar la energía residual.
- Incorporar estrategias innovadoras emergentes, como el acoplamiento al suelo y la refrigeración radiante.

El diseño de un edificio energéticamente eficiente es un proceso complejo y estos pasos no pueden realizarse simplemente en secuencia. Son, en efecto, parte de un proceso iterativo que comienza con el diseño pasivo. Inevitablemente se deben hacer compensaciones, a menudo debido a los requisitos y el presupuesto del cliente. Diseñado correctamente, un edificio con una huella energética y de carbono reducida debería proporcionar costos operativos considerablemente reducidos por un costo de capital mínimo o nulo. En algunos casos, una estrategia de diseño pasivo bien ejecutada puede reducir marcadamente los costos del equipo de HVAC producto de la reducción en las cargas de calefacción, refrigeración, ventilación e iluminación que pueden ocurrir.

### **2.2.3 Ciclo hidrológico del entorno construido**

Los diseñadores de edificios de alto rendimiento desarrollan nuevas estrategias hidrológicas para el entorno construido que están teniendo importantes efectos positivos en el consumo de agua. Estos enfoques se centran en tres aspectos: (1) minimizar el consumo de agua potable procedente de pozos o del sistema municipal de aguas residuales, (2) minimizar la generación de aguas residuales y (3) maximizar la infiltración del agua de lluvia en el suelo.

Estas estrategias, junto con la aparición de varias tecnologías clave, están dando lugar a edificios de alto rendimiento con enormes reducciones en sus perfiles de consumo de agua y generación de aguas residuales.

Los siguientes ocho pasos lógicos pueden utilizarse para desarrollar una estrategia hidrológica para edificios de alto rendimiento:

- Seleccione las fuentes de agua adecuadas para cada finalidad de consumo. Sólo debe utilizarse agua potable para aquellas aplicaciones que impliquen consumo humano o ingestión.
- Para cada uso, se deben emplear tecnologías que minimicen el consumo de agua. Esta estrategia puede incluir una combinación de accesorios de bajo caudal (inodoros,

urinarios, grifos y duchas), accesorios sin caudal (inodoros de compostaje, urinarios sin agua) y controles (sensores infrarrojos).

- Evaluar el potencial de un sistema dual de aguas residuales dado que un sistema de este tipo separa el agua ligeramente contaminada de fregaderos, fuentes, duchas, lavavajillas y lavadoras de las fuentes contaminadas por residuos humanos, como inodoros y urinarios. Este sistema de doble tubería separa las aguas grises de las negras, lo que permite reciclar el agua dentro del edificio.
- Analizar el potencial de las estrategias innovadoras de tratamiento de aguas residuales.
- Aplicar el cálculo del coste del ciclo de vida (CCV) para analizar los costes y beneficios de adaptar prácticas que reduzcan el flujo de agua a través del edificio y su paisaje más allá de los niveles exigidos por la Ley de Política Energética de 1992.
- Diseñar los espacios verdes (paisajismo) de modo que se consuma un mínimo de agua para su mantenimiento y conservación, y considerar la restauración de los sistemas ecológicos como una parte importante del diseño del edificio.
- Diseñar el aparcamiento, la pavimentación, las carreteras y los espacios verdes para maximizar la infiltración de las aguas pluviales.
- Incorporar tejados verdes en los edificios para almacenar y procesar de forma natural las aguas pluviales y contribuir a la regeneración de la ecología de la ubicación del edificio.

#### **2.2.4 Cierre de bucles de materiales**

Suponiendo que un edificio sea, de hecho, necesario para una función determinada, la minimización del impacto ambiental de los materiales de construcción sugiere la siguiente estrategia, en orden general de prioridad:

- ***Reutilizar las estructuras existentes.*** Al modificar un edificio existente y reutilizar la mayor parte posible de su estructura y sistemas, se puede minimizar: el uso de nuevos materiales, con los consiguientes impactos de extracción de recursos; el transporte; y el procesamiento de energía, residuos y otros efectos.

- ***Reducir el uso de materiales.*** Utilizar la mínima cantidad de materiales necesarios para un proyecto de construcción también reduce el impacto ambiental de introducir productos fabricados a partir de recursos vírgenes.
- ***Utilizar materiales creados a partir de recursos renovables.*** Los materiales creados a partir de recursos renovables ofrecen la oportunidad de cerrar los bucles de materiales mediante un proceso de reciclado orgánico.
- ***Reutilizar los componentes de los edificios.*** La reutilización de componentes intactos procedentes de edificios deconstruidos reduce el impacto medioambiental de los materiales de construcción, ya que estos componentes requieren recursos mínimos para su reprocesamiento.
- ***Utilizar materiales reciclables y de contenido reciclado.*** Para cerrar el bucle de los materiales en la construcción, todos los materiales deben tener capacidad de reciclaje.
- ***Utilizar materiales producidos localmente.*** El examen de los recursos y las emisiones asociados al transporte de materiales entre los distintos lugares de extracción, producción de materiales, fabricación de productos e instalación es uno de los pasos de una evaluación del ACV.

El proceso de selección de materiales puede resumirse en las tres erres: reducir, reutilizar y reciclar (ampliando el significado de reciclar para incluir productos y materiales con contenido reciclado o procedentes de recursos naturales renovables).

### **2.2.5 Huella de carbono del entorno construido**

A los efectos de certificar la neutralidad en carbono del proyecto, se diseñó un modelo de carbono a medida de acuerdo con la norma británica BSEN 15978: Sostenibilidad de las obras de construcción - Evaluación del desempeño ambiental de los edificios - Método de cálculo. El modelo resultante permitió al equipo del proyecto probar una amplia variedad de estrategias para lograr la neutralidad de carbono. La estrategia resultante tiene dos aspectos principales: (1) El uso de materiales que reducen la huella de carbono del edificio; y (2) el uso extensivo de múltiples sistemas de energía renovable. El cálculo demuestra que, durante el ciclo de vida de 25 años del edificio, la huella de carbono total o débito se compensa con créditos de carbono de energía renovable, parte de los cuales se exporta; más créditos de carbono por el carbono secuestrado en los materiales de madera; y, la reducción de la huella de carbono lograda al

cambiar materiales bajos en carbono por productos altos en carbono.

### 2.2.6 Calidad ambiental interior (Indoor Environmental Quality, IEQ)

Es evidente que la compleja gama de cuestiones relacionadas con la IEQ justifica un enfoque integrado del diseño de los edificios para maximizar la calidad de los espacios ocupados por el ser humano. La Whole Building Design Guide (s. f.) ofrece una buena visión general del diseño integrado de la IEQ y sugiere que se adopten estas medidas para conseguir una buena IEQ en los edificios:

- ***Facilitar la calidad de la IEQ mediante un buen diseño, construcción y funcionamiento:*** El equipo de diseño del proyecto puede contribuir en gran medida a la calidad de la IEQ del proyecto mediante la especificación de productos y materiales, así como el diseño de la iluminación, la iluminación natural, el aire acondicionado, la ventilación y otros sistemas que tienen una relación directa con la calidad ambiental del edificio. El diseño de un sistema integrado de iluminación/luz natural a menudo implica la simulación por computadora y la selección de los tipos apropiados de ventanas que pueden facilitar una buena iluminación natural y minimizar las ganancias de calor solar térmico en el edificio.
- ***Valorar las decisiones estéticas:*** Los diseñadores tienen la responsabilidad de garantizar un alto grado de calidad estética en los edificios, lo que no sólo contribuye al valor cultural de la instalación a largo plazo, sino que también favorece la IEQ.
- ***Proporcionar confort térmico:*** El confort térmico de los ocupantes de un edificio es uno de los principales objetivos de la mayoría de los proyectos de edificios de alto rendimiento y depende de la interacción de varios parámetros: velocidad del aire, temperatura, humedad y temperatura radiante. Los tres primeros parámetros -velocidad del aire, temperatura y humedad- los proporcionan los diseñadores del sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado del edificio, mientras que la temperatura radiante, que es el resultado de la radiación solar directa sobre la piel, se controla mediante la selección de ventanas, dispositivos de sombreado y otros enfoques que pueden afectar a la radiación solar a través de las ventanas. La norma 55-2017 de la American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy (Condiciones

ambientales térmicas para la ocupación humana), es la base del confort térmico en los edificios de alto rendimiento de Estados Unidos. La provisión de control sobre el confort térmico por parte de los ocupantes del edificio es también una consideración importante para los edificios de alto rendimiento, ya que la salud y la productividad de los ocupantes es, al menos en parte, una función de su capacidad para ajustar su entorno para que estén cómodos y, por lo tanto, sean más productivos.

- ***Suministrar niveles adecuados de ventilación y aire exterior:*** Los niveles de contaminación en el interior de los edificios se deterioran con el tiempo en función del número de ocupantes, las actividades en el edificio, los materiales y productos de construcción y, lo que es más importante, la ventilación del edificio. La norma ASHRAE 62.2-2019. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, proporciona el marco para diseñar sistemas de aislamiento eficaces para los edificios.
- ***Evitar la formación de moho:*** El moho se ha convertido en uno de los principales problemas del diseño de sistemas de IEQ. Es importante que la envolvente del edificio se diseñe de forma que impida la entrada de agua mediante un cuidadoso detallado y la incorporación de barreras contra la humedad en el sistema de los muros exteriores del edificio.
- ***Utilizar materiales de baja emisión:*** Los COV son sustancias químicas complejas, tanto sintéticas como naturales. Muchos, como el formaldehído, se incorporan a los materiales de construcción para mejorar sus propiedades (por ejemplo, para que la pintura sea más duradera y se seque más rápidamente). El tolueno, el xileno y el benceno son otros ejemplos de COV sintéticos tóxicos y perjudiciales para la salud humana y de los ecosistemas.
- ***Garantizar el confort acústico y la privacidad: Control de olores molestos mediante el aislamiento de contaminantes y la selección de productos.*** Algunos espacios del edificio, como las salas de fotocopias, los armarios de los conserjes, los almacenes y las zonas designadas para fumadores, deben estar presurizados negativamente y aislados del resto de espacios del edificio, y deben evacuarse directamente al exterior del edificio.
- ***Crear un entorno luminoso de alto rendimiento:*** La iluminación natural tiene enormes beneficios porque contribuye directamente a la salud humana y también puede

proporcionar un ahorro energético significativo cuando forma parte de un sistema de iluminación integrado y bien diseñado. Existe una amplia gama de sistemas de iluminación de alto rendimiento que pueden proporcionar luz de alta calidad y eficiencia.

- ***Proporcionar agua de calidad:*** El sistema de abastecimiento de agua del edificio debe diseñarse de modo que proporcione agua de calidad adecuada para todos los usos.

## **CAPÍTULO III METODOLOGÍA**

### **3.1 Investigación Aplicada**

Según *Deb et al. (2019)* la presente tesis se corresponde a una investigación aplicada, la cual tiene por objetivo principal determinar una solución para problemas apremiantes en la práctica real.

La misma se lleva a cabo siguiendo un enfoque de diseño cuantitativo y cualitativo, utilizando métodos mixtos para la recolección y análisis de datos. Como indica Creswell (2009), la combinación de enfoques cuantitativos y cualitativos en la investigación ha demostrado ser efectiva para abordar preguntas complejas y lograr una comprensión profunda y detallada del fenómeno que se aborda.

El estudio se desarrolla en distintas etapas que permiten proyectar de manera integral el diseño de viviendas modulares ligeras prefabricadas, considerando estrategias de diseño sostenible y aplicándolos al contexto específico de la ciudad de La Paz, para su uso como viviendas temporales post-desastre.

### **3.2 Estructura metodológica**

La metodología propuesta se estructura en las siguientes fases:

1. Revisión bibliográfica.
2. Identificación y selección de estrategias de diseño sostenibles.
3. Análisis de mejores prácticas de diseño de viviendas temporales post-desastre.
4. Diseño de modelo de vivienda modular ligera prefabricada con estrategias de diseño sostenible.
5. Evaluación de la eficiencia energética.
6. Validación del diseño propuesto mediante simulación por computadora.

#### **3.2.1 Revisión bibliográfica**

En esta fase, se revisan los siguientes temas:

- Estudios y conceptos sobre viviendas modulares ligeras prefabricadas.

- Estudios sobre riesgos y estrategias de sostenibilidad aplicados al diseño de viviendas temporales como respuesta ante los mismos.
- Contexto geográfico, social y medioambiental de la ciudad de La Paz.
- Riesgos ante fenómenos perturbadores de origen natural de la ciudad La Paz.
- Estudio de casos a nivel internacional de viviendas temporales.

### **3.2.2 Identificación y selección de estrategias de diseño sostenible**

Se identifican y seleccionan estrategias de diseño sostenible aplicables al diseño de la vivienda modular ligera prefabricada, considerando la eficiencia energética, el uso de materiales, la calidad del ambiente interior, la generación de residuos, la reutilización y el reciclaje, entre otros, basados en LEED.

### **3.2.3 Identificación de mejores prácticas de diseño de viviendas temporales post-desastre**

Se realiza la identificación de mejores prácticas en el diseño de modelos de vivienda temporal post-desastre en distintas partes del mundo y se profundiza en el caso de La Paz a efectos de establecer una línea base y utilizarla como referencia en la propuesta de diseño de la vivienda modular ligera prefabricada.

### **3.2.4 Diseño de modelo de vivienda modular ligera prefabricada con estrategias de diseño sostenible**

Con base en los requerimientos y estrategias de diseño sostenible seleccionados, se desarrolla el diseño conceptual de la vivienda modular ligera prefabricada, incluyendo planos, especificaciones técnicas y detalles constructivos.

### **3.2.5 Evaluación de la eficiencia energética**

Se evalúa la eficiencia energética del diseño propuesto, considerando aspectos como la orientación, aislamiento térmico y ventilación natural.

### **3.2.6 Validación del diseño propuesto mediante simulaciones por computadora**

Se validan los resultados del diseño propuesto mediante el uso de simulaciones dinámicas que incluyen el análisis térmico y energético, así como estudios de caso en situaciones reales de desastre, evaluando aspectos referidos a la funcionalidad, el confort y la resiliencia de la vivienda modular ligera prefabricada.

## CAPÍTULO IV DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

### 4.1. Caso de estudio

#### 4.1.1. El municipio de La Paz

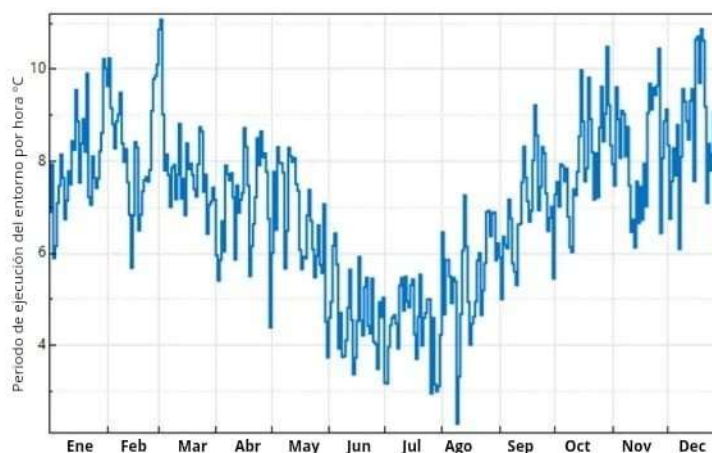
La ubicación geográfica de la sección capital de la Provincia Murillo del Departamento de La Paz, Bolivia, es de 16° 29' latitud sur y 68° 08' minutos longitud oeste, al extremo Norte de la Meseta Altiplánica en el valle que forma la cuenca del río Choqueyapu, a una altura promedio de 3640 metros sobre el nivel del mar.

#### 4.1.2. Condiciones climáticas

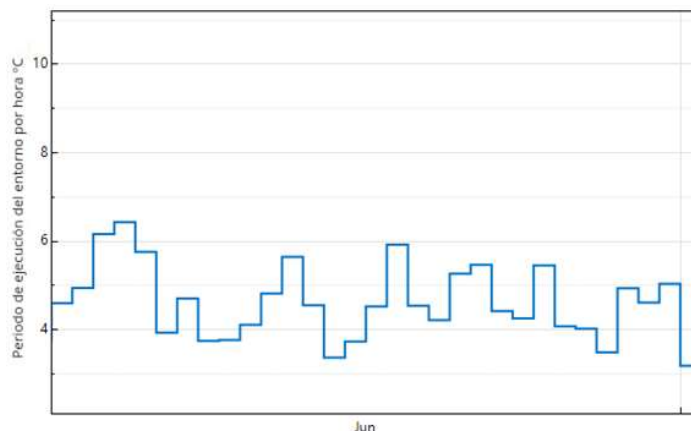
En lo relativo al clima, los contrastes entre el día y la noche son muy fuertes con una diferencia anual promedio diaria de 14° y con temperaturas de 0°C en la noche en la época fría del año. La temperatura promedio es de 10.4°C. La humedad promedio es de 64.7% en la época de lluvias y 48% en la época seca de invierno.

Las figuras 4.1.a y 4.1.b proporcionan una visión detallada del año meteorológico típico en La Paz, con una resolución horaria. Estos datos se han extraído de la base de datos de EnergyPlus, una fuente confiable de información climática para la simulación de energía en edificios.

**Figura 4.1.a** *Temperatura Ambiente Año típico Meteorológico, resolución horaria*



**Figura 4.1.b** *Temperatura Ambiente de Junio en un Año Típico Meteorológico, resolución horaria*



#### 4.1.3. Antecedentes históricos de desastres naturales en la ciudad de La Paz

La Paz cuenta con numerosos desastres naturales que se detallan en Tabla 4.1.a.

**Tabla 4.1.3.** *Gobierno Autónomo Municipal De La Paz: Número de familias y personas afectadas y/o damnificadas, en eventos adversos en El Municipio de La Paz, 1548 - 2021 (P)*

| Gestión     | Tipo de evento adverso o intervención                                                              | Familias | Personas |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|
| 2 abr. 1548 | Deslizamiento en Hanko Hanko (Llojeta, Kenko) destrucción total de la comunidad y 2000 víctimas    |          |          |
| 1837        | Deslizamiento Santa Bárbara destrucción de la iglesia y desecamiento de la laguna Laikakota        |          |          |
| 9 ago. 1873 | Deslizamiento en Tembladerani destrucción de la comunidad del mismo nombre y 32 víctimas           |          |          |
| 4 mar. 1947 | Torrente de barro en el km 4 de la carretera Pan- americana 20 víctimas                            |          |          |
| 7 ene. 1987 | inundación del río Seco varias viviendas afectadas                                                 |          |          |
| 1 jun. 1995 | derrumbe del cerro San Simón de Alto Villa Copacabana 19 viviendas dañadas y 40 familias afectadas |          |          |
| 9 abr. 1996 | Deslizamiento en Cotahuma un centenar de viviendas y 13 víctimas                                   |          |          |

| <b>Gestión</b> | <b>Tipo de evento adverso o intervención</b>                                                                                                                           | <b>Familias</b> | <b>Personas</b> |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|
| 20 abr. 1997   | Deslizamiento Cuarto Centenario, Germán Jordán<br>24 viviendas afectadas                                                                                               |                 |                 |
| 1999           | Deslizamiento en Kupini<br>varias viviendas dañadas                                                                                                                    |                 |                 |
| 19 feb. 2002   | Inundación en el centro y sur de la ciudad de La Paz<br>10 millones de dólares de daños directos y 68 personas<br>fallecidas                                           |                 |                 |
| 4 mar. 2003    | Deslizamiento en Alpacoma, Llojeta<br>200 viviendas dañadas                                                                                                            |                 |                 |
| 1 ago. 2003    | Deslizamiento en Las Lomas<br>8 viviendas afectadas                                                                                                                    |                 |                 |
| 5 abr. 2004    | Deslizamiento en final calle Bolívar<br>18 viviendas afectadas                                                                                                         |                 |                 |
| 10 oct. 2009   | Deslizamiento Callapa, Valle de las Flores<br>50 viviendas afectadas                                                                                                   |                 |                 |
| 20 ene. 2010   | Inundación del río Seke                                                                                                                                                | 159             |                 |
| 2 011          | Deslizamiento, Prevención de riesgos, Evacuación preventiva                                                                                                            | 2 238           | 8 710           |
| 26 feb. 2011   | Deslizamiento de Callapa                                                                                                                                               | 520             |                 |
| 2 012          | Derrumbe de talud, Derrumbe de vivienda, Prevención de<br>riesgos, Caída de muro                                                                                       | 210             | 714             |
| 2 013          | Deslizamiento, Evacuación preventiva, Desborde de río                                                                                                                  | 64              | 240             |
| 2 014          | Deslizamiento, Evacuación preventiva, Desborde del Río                                                                                                                 | 40              | 170             |
| 2 015          | Deslizamiento, Mazamorra, Evacuación preventiva                                                                                                                        | 53              | 196             |
| 2 016          | Deslizamiento, Deslizamiento de Talud, Cedimento de Talud,<br>Desprendimiento de Muro                                                                                  | 96              | 395             |
| 2 017          | Deslizamiento, Derrumbe antrópico, Caída de muro                                                                                                                       | 84              | 291             |
| 2 018          | Desborde del Río Irpavi, Hundimiento por Movimiento de<br>Tierra, Desprendimiento de muro, Riada                                                                       | 323             | 1 146           |
| 2 019          | Deslizamiento, riada, Arrastre de material                                                                                                                             | 748             | 2 596           |
| 2 020          | Deslizamiento                                                                                                                                                          | 93              | 312             |
| 2021 (p)       | Natural Remoción en Masa, Antrópico desborde de río,<br>Natural Desprendimiento de Talud, Natural Inundación,<br>Antrópico Movimiento de Tierra, Natural Deslizamiento | 305             | 1 104           |

Fuente. Elaboración propia en base a GAMLP (2012) y Secretaría Municipal de Educación y Desarrollo Social - Dirección Defensoría Municipal - Unidad de Protección a Víctimas de Violencia y Población en Riesgo Social (2021).

## **4.2. Viviendas temporales como respuesta a desastres naturales**

### **4.2.1. El contenedor marítimo como respuesta arquitectónica**

Según el artículo de Zhang et al. (2014) los factores que afectan la idoneidad del uso de contenedores de transporte para viviendas temporales después de un desastre son:

**Nivel de daño a las viviendas:** La decisión de utilizar viviendas temporales modulares, como contenedores de envío, dependerá de la necesidad de alojamiento temporal tras un desastre, según la magnitud de los daños en las viviendas y la necesidad de desplazamiento. Dado que en los últimos desastres naturales en La Paz la pérdida total de viviendas es recurrente, el contenedor se presenta como una buena alternativa.

**Cantidad de personas desplazadas y escala del área del desastre:** Las viviendas modulares, como los contenedores de envío, son útiles en áreas de impacto y desastres con gran cantidad de desplazados debido a su modularidad y flexibilidad en la disposición.

**Disponibilidad de propiedades de alquiler o alojamiento vacante en las áreas circundantes:** La principal oferta de propiedades de alquiler sería la ciudad de El Alto, pero por la distancia, muchas veces ya no es una alternativa usada. En tales casos, los diseños modulares como los que implican el uso de contenedores de transporte pueden ser una opción útil.

**Cronograma proyectado para la reparación de daños/reemplazo de viviendas:** Las viviendas de emergencia modulares y de contenedores de envío son intrínsecamente adecuadas para el mediano plazo, ya que la provisión no es tan rápida ni económica como el uso de tiendas de campaña. Por lo tanto, puede ser más adecuado para desastres con un marco de tiempo prolongado para la reconstrucción de viviendas permanentes, o incluso para la incorporación a viviendas permanentes. En el mega deslizamiento de febrero del 2011 algunos campamentos quedaron vigentes hasta diciembre del 2014.

#### ***4.2.1.1 Ventajas y desventajas de los contenedores como vivienda***

Según Live (s. f.), a la hora de construir una vivienda, los contenedores usados son versátiles, resistentes, modulares y, en general, mucho más baratos que las técnicas tradicionales de construcción. En consecuencia, resultan una de las mejores opciones, teniendo en cuenta el espacio limitado. Se precisan a continuación sus principales ventajas y desventajas:

**Ventajas:**

- Resistentes y duraderos: Pueden resistir terremotos y otros desastres gracias a su diseño modular soldado. Cumplen las normas ISO y pueden apilarse en varios niveles
- Modularidad: se puede combinar varios contenedores para hacer una casa más grande.
- Viviendas ecológicas: Está hecha con acero, y esto significa que se puede reciclar. Su huella de carbono será pequeña y los recursos que utilizará serán mínimos.
- Viviendas portátiles: Son móviles, lo que le da la oportunidad de trasladarlos.
- Fácil de personalizar: Puede ampliar o modificar la forma o agregar más partes a la casa.
- Construcción off-site
- Construcción más rápida: Se construyen en menos tiempo que las casas tradicionales

**Desventajas:**

- Aislamiento: El aislamiento, carente en primera instancia, debe elegirse en función del clima de su zona.
- Espacio limitado.
- Podría tener riesgos para la salud: Los insecticidas, la carga introducida en estos contenedores puede haber contenido sustancias tóxicas. Lo ideal sería limpiar el contenedor con chorro de arena para eliminar los peligros para la salud.
- Debilidades estructurales: Es factible realizar modificaciones para crear el tipo de vivienda deseado, pero se recomienda realizar una evaluación estructural cuando se realicen cambios importantes en el contenedor.

Desafíos en la obra: Debido a su tamaño, se requieren el uso de una grúa en la obra.

**4.2.1.2 Descripción del contenedor****Normativa**

- ISO 668 Contenedores de carga de la serie 1 - Clasificación, dimensiones y capacidades
- ISO 1496-1:2013 Contenedores de carga de la serie 1. Especificación y ensayo.
- Otras normas relevantes al uso del contenedor marítimo ISO 830, 6346, 1161, 2308 y 3874

**Dimensiones**

El contenedor que se utiliza para el diseño propuesto según la Norma ISO 668 es 1CC, cuyas

dimensiones se detallan en Tabla 4.2.a.

**Tabla 4.2.a**

*Dimensiones Container Modelo ICC*

| Modelo | Longitud   |        | Ancho |        | Altura |        |
|--------|------------|--------|-------|--------|--------|--------|
| ICC    | 19'10 1/2" | 6.058m | 8'    | 2.438m | 8'6"   | 2.591m |

### **Especificaciones estructurales**

La Norma ISO 1496 (*ISO 1496-1: Series 1 Freight Containers--Specification and Testing--Part 1, General Cargo Containers*, s. f.) describe las especificaciones básicas y los requisitos de ensayo para los contenedores de carga ISO serie 1 de los tipos de uso general totalmente cerrados y ciertos tipos de uso específico (cerrados, ventilados, ventilados o abiertos) que son adecuados para el intercambio internacional y para el transporte por carretera, ferrocarril y mar, incluido el intercambio entre estos medios de transporte.

#### **4.2.2. Ejemplo de carácter internacional: El caso de Japón**

El proyecto consiste en el desarrollo del diseño y la construcción de viviendas provisionales de varios pisos como parte de las labores de socorro tras el terremoto y el tsunami de Tohoku de 2011. Su objetivo es proporcionar rápidamente viviendas temporales rentables y confortables a las personas que sufrieron la enorme catástrofe. Para ello se disponen de dos prototipos, explicitados en Tabla 4.2.b.

**Tabla 4.2.b**

*Dimensiones para un refugio, según Hikone and Tokubuchi*

| 2DK (30m <sup>2</sup> )                                                                                                                                                                                                                    | 3DK (40m <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| La especificación estándar era un mínimo establecido para un refugio, con especialmente menos consideración por el aislamiento acústico y térmico debido a la suposición de que habrá una ocupación corta porque las casas son temporales. |                         |



Fuente. (Hikone & Tokubuchi, 2014a)

#### 4.2.3. Ejemplo de carácter internacional: El caso de Turquía

Se presentan en Tabla 4.2.c. dos viviendas temporales típicas posteriores a una catástrofe para representar la mayoría de las viviendas construidas tras una catástrofe en Turquía.

**Tabla 4.2.c**

*Dimensiones de vivienda temporal típica posterior a un desastre.*

| Container housing - CH10                                                                                                                                                     | Prefabricated housing - PH50                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Aislamiento de paredes exteriores e interiores Panel aislante de lana de vidrio inflamable (40 mm) de 40 mm de espesor entre paneles prefabricados de hormigón y cartón yeso | Aislamiento de paredes exteriores e interiores Paneles sándwich de cartón yeso de 35 mm de espesor con lana de vidrio (40 mm) |
|                                                                                                                                                                              |                                                                                                                               |

Fuente. A. Atmaca & Atmaca (2016)

#### 4.2.4. Ejemplo de carácter nacional: El caso de La Paz – Bolivia

A nivel nacional, se destacan dos aspectos:

- Baños y lavanderías de uso común diferenciados entre hombres y mujeres.
- Cocinas prohibidas dentro de los módulos, por cuanto se instalan fuera por cuestión de seguridad.

En esta línea, las Tablas 4.2.d. y 4.2.e. exponen el caso de las viviendas temporales utilizadas en el deslizamiento de Retamani y Huanu Huanuni del año 2010.

**Tabla 4.2.d** *Viviendas temporales utilizadas en el deslizamiento de Retamani y Huanu Huanuni*

| Albergues de emergencia, deslizamiento de Retamani y Huanu Huanuni                                                                                        |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Tamaño de solución/habitación/alojamiento: 54 m <sup>2</sup> /por modulo<br>Familias/personas servidas: 48 familias en 8 módulos<br>Material: Stell Frame |                                                                                     |
|                                                                         |  |

Fuente. 2010 Habitat for Humanity International (2013)

**Tabla 4.2.e**

| Viviendas prefabricadas (Albergue Zenobio López 1 y Zenobio López 2) Viviendas prefabricadas (Albergue Zenobio López 1 y Zenobio López 2) |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fuera del campamento existen espacios de almacenamiento<br>Modulo 3x6 capacidad 6 personas, Cierre de albergues diciembre 2014            |



### **4.3. Propuesta de estrategias de diseño basadas en lineamientos LEED**

En este proyecto, nos proponemos alcanzar un objetivo general, para lo cual a continuación desarrollamos los lineamientos y estrategias del sistema LEED. Utilizamos el sistema LEED v4.1 Residential: Single Family.

El sistema de calificación LEED está diseñado para evaluar una variedad de espacios, desde edificios individuales hasta ciudades enteras, siempre en el contexto de su entorno. Una parte significativa de los requisitos de LEED depende de la ubicación del proyecto, por lo que es crucial que los proyectos LEED se evalúen como estructuras permanentes.

Para este proyecto, asumimos que se ha encontrado una ubicación permanente. Esto nos permitirá desarrollar la certificación LEED.

#### **4.3.0. Proceso Integrativo (2 puntos)**

**Objetivo:** Promover proyectos rentables y de alto desempeño mediante un análisis preliminar de las interrelaciones entre los sistemas.

**Estrategia 1:** Los miembros del equipo incluyen 3 capacidades, arquitectura, ingeniería civil, construcción sustentable, se va a realizar simulación energética para optimizar el diseño.

**Estrategia 2:** Se capacitará al contratista en al menos 8 horas, sobre aspectos que pueden contribuir a lograr cada prerrequisito de LEED.

#### **4.3.1. Localización y transporte (10 puntos)**

**Objetivo:** Reducir el impacto ambiental de la huella del desarrollo.

#### ***4.3.1.0 Prerrequisitos***

**Estrategia:** El proyecto no se emplazará en un terreno dentro de un área de riesgo de inundación.

#### ***4.3.1.1 Selección del sitio***

**Objetivo:** Fomentar la construcción en lugares ambientalmente preferibles y evitar el desarrollo de tierras sensibles.

**Estrategia 1. Evitar tierras sensibles (3 puntos):** Al ser viviendas temporales y estar emplazado dentro de la ciudad, se evita el emplazamiento en lugares como: Tierras de cultivo de primera calidad, llanuras de inundación, hábitat de especies catalogadas como amenazadas o en peligro de extinción, cuerpos de agua y humedales.

**Estrategia 2. Desarrollo en áreas urbanas ya existentes (2 puntos):** El campamento temporal debe instalarse dentro de la ciudad.

**Estrategia 3. Infraestructura Existente (1 punto):** Al ser viviendas temporales y estar emplazadas dentro de la ciudad se utiliza la red existente de agua y alcantarillado.

**Estrategia 4. Aceras (1 punto)** Las calles tiene acera.

#### ***4.3.1.2 Desarrollo compacto (1 punto)***

**Objetivo:** Conservar la tierra y promover la habitabilidad, la eficiencia del transporte y la transitabilidad peatonal mediante la creación de comunidades compactas.

**Estrategia:** El diseño modular permite el apilamiento de las viviendas temporales, lo cual permite un desarrollo compacto de varias viviendas.

#### ***4.3.1.3 Acceso al tránsito (2 puntos)***

**Objetivo:** Reducir la contaminación y los efectos urbanísticos derivados del uso del automóvil.

**Estrategia:** La ubicación de las viviendas temporales serán dentro de la mancha urbana la cual ya cuenta con un sistema público de transporte.

### **4.3.2. Sitios sostenibles (5 puntos)**

#### ***4.3.2.0 Prerrequisitos Prevención de la contaminación de la actividad de construcción***

**Objetivo:** Reducir la contaminación de las actividades de construcción mediante el control de la erosión del suelo, la sedimentación de las vías fluviales y el polvo en el aire.

#### ***4.3.2.1 Diseño Paisajístico Básico (1 punto)***

**Objetivo:** Cumplir con todos los siguientes requisitos para todos los paisajes diseñados.

**Estrategia:**

- No utilizar césped en áreas densamente sombreadas.
- No utilizar césped en áreas con una pendiente del 25 % (es decir, pendiente de 4:1) o mayor.
- No introducir especies de plantas invasoras en el paisaje.
- Agregar mantillo o enmiendas al suelo según lo determinen las pruebas del suelo.
- Toda la tierra compactada (por ejemplo, procedente de vehículos de construcción) se debe labrar hasta al menos 6 pulgadas.

#### ***4.3.3. Eficiencia hídrica (15 puntos)***

**Objetivo:** Reducir la demanda de agua a través de accesorios de alta eficiencia y prácticas eficientes de paisajismo.

##### ***4.3.3.1 Prerrequisito: uso de agua***

**Estrategia:** Reducir el consumo total de agua en interiores y exteriores en al menos un 20 % con respecto a las prácticas estándar.

##### ***4.3.3.2 Prerrequisito: medición de agua***

**Estrategia:** Cada vivienda tiene instalado un medidor de agua.

##### ***4.3.3.3 Consumo Total de Agua (15 puntos)***

**Objetivo:** Reducir la demanda de agua mediante accesorios de alta eficiencia y prácticas de paisajismo eficientes.

**Estrategia:**

##### ***4.3.3.4 Reducción del Consumo de Agua en el Interior***

**Objetivo:** Minimizar la demanda interior de agua mediante grifería y accesorios de alta eficiencia.

**Estrategia:**

- Se utilizarán grifos con perlizadores con consumo de agua < 5.6 L/m
- Se instalarán duchas con consumo de agua < 6.6 L/m

#### 4.3.3.5 Reducción del Consumo de Agua en el Exterior

**Objetivo:** Reducir el consumo de agua exterior mediante prácticas paisajísticas eficientes.

**Estrategia:** El 50% del área tiene plantas nativas

| Crédito                                                 | Puntaje Max. | Estrategias                                                                                                    | Puntaje |
|---------------------------------------------------------|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Prerrequisito 1: Consumo de Agua                        |              | Reducir el consumo total de agua interior y exterior en al menos un 20 % con respecto a las prácticas estándar |         |
| Prerrequisito 2: Medición de Agua                       |              | Se instala un medidor de agua por vivienda                                                                     |         |
| Crédito 1: Consumo Total de Agua                        | 15           | Reducción el consumo en un 30 %                                                                                | 5       |
| Crédito 2: Reducción del Consumo de Agua en el Interior | 3            | Consumo de agua en grifos < 5.6 L/m                                                                            | 2       |
|                                                         | 3            | Consumo de agua en ducha < 6.6 L/m                                                                             | 2       |
|                                                         | 3            | Accesorios tienen etiqueta WaterSense.                                                                         | 0       |
|                                                         | 2            | Lavadoras con etiqueta ENERGY STAR                                                                             | 0       |
| Crédito 3: Reducción del Consumo de Agua en el Exterior | 4            | El 50% del área de las plantas son nativas                                                                     | 2       |
|                                                         | 15           |                                                                                                                | 5       |

#### 4.3.4. Energía y atmósfera

Mejorar el rendimiento energético global del edificio y reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero.

| Crédito                                                                            | Puntaje Max. | Estrategias                                                                                                                                 | Puntaje |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Prerrequisito 1: Eficiencia energética mínima                                      |              | Mejorar el rendimiento energético global y reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero.                                            |         |
| Prerrequisito 2: Medición de Energía                                               |              | Instalar medidores eléctricos y de gas en toda la vivienda, según proceda.                                                                  |         |
| Prerrequisito 3: Educación del Propietario, Inquilino o Administrador del Edificio |              | Mantener el rendimiento de la vivienda formando a sus ocupantes en el funcionamiento y mantenimiento de las características y equipos LEED. |         |
| Crédito 1: Uso anual de energía                                                    | 36           | Se redujo el consumo total de energía en al menos un 17 % con respecto a las prácticas estándar*                                            | 17      |
| Crédito 2: Sistema de distribución de agua caliente eficiente                      | 2            | Solo se instalará agua caliente en ducha                                                                                                    | 0       |
| Crédito 3: Acreditación de puesta en marcha de HVAC                                | 1            |                                                                                                                                             | 0       |
| Crédito 4: Gestión de refrigerantes                                                | 1            | No se usan refrigerantes                                                                                                                    | 1       |
|                                                                                    | 40           |                                                                                                                                             | 17      |

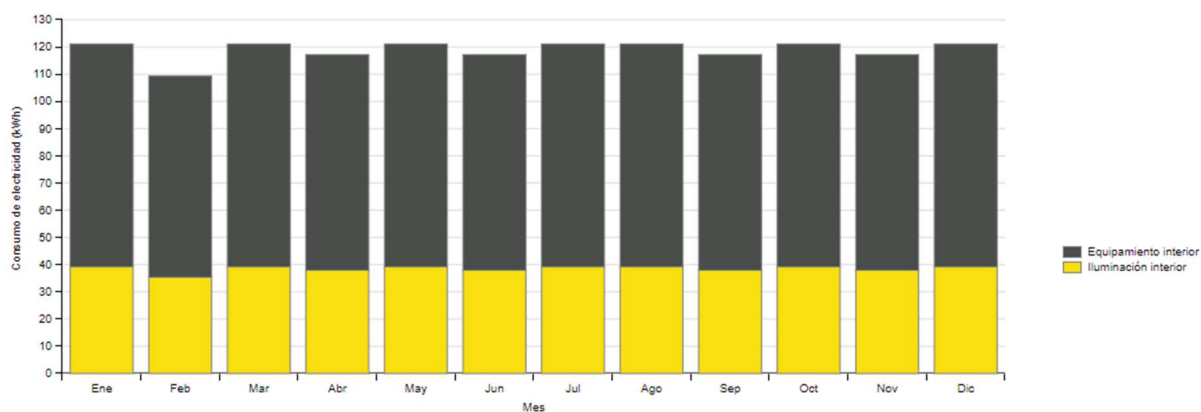
(\*) Según la publicación titulada Caracterización del consumo eléctrico en hogares y potencialidades en eficiencia energética del Ministerio de Hidrocarburos y Energías Viceministerio de Electricidad y Energías Alternativas Niras – IP Consult para el Programa de Energías Renovables (2022), el consumo promedio anual de un hogar de la ciudad de La Paz es de 1712 KWh. Dado que el consumo de energía eléctrica calculado con openstudio de la vivienda temporal propuesta es de 1425 KWh se concluye que se generaría un ahorro del 17%. En esta línea, según la tabla 2 del crédito Uso anual de Energía, un ahorro del 17% otorga 17 puntos.

En la siguiente tabla y figura se presenta el consumo de energía eléctrica calculado con opestudio.

**Tabla 4.3.4.a Consumo de Electricidad KW/h**

|                      | Ene    | Feb    | Mar    | Abr    | May    | Jun    | Jul    | Ago    | Sep    | Oct    | Nov    | Dic    | Total   |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Iluminación Interior | 39.19  | 35.4   | 39.19  | 37.92  | 39.19  | 37.92  | 39.19  | 39.19  | 37.92  | 39.19  | 37.92  | 39.19  | 461.41  |
| Equipo Interior      | 81.84  | 73.92  | 81.84  | 79.2   | 81.84  | 79.2   | 81.84  | 81.84  | 79.2   | 81.84  | 79.2   | 81.84  | 963.6   |
| Total                | 121.03 | 109.32 | 121.03 | 117.12 | 121.03 | 117.12 | 121.03 | 121.03 | 117.12 | 121.03 | 117.12 | 121.03 | 1425.01 |

**Figura 4.3.4.a Consumo de electricidad**



Fuente: Elaboración Propia

#### 4.3.5. Materiales y recursos

Fomentar la gestión forestal ambientalmente responsable.

| Crédito                                                 | Puntaje Max. | Estrategias                                                                                                 | Puntaje |
|---------------------------------------------------------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Prerrequisito 1: Madera tropical certificada            |              | Toda la madera del edificio no es tropical, está reutilizada o recuperada, o está certificada               |         |
| Prerrequisito 2: Gestión de la durabilidad              |              | Se instalan pisos resistentes al agua en la cocina, los baños                                               |         |
| Crédito 1: Verificación de la gestión de la durabilidad | 1            | Sistema de gestión del agua del constructor                                                                 | 0       |
|                                                         | 1            | Cada puerta exterior está protegida por un voladizo                                                         | 1       |
|                                                         | 1            | Control de condensación de plomería                                                                         | 0       |
| Crédito 2: Productos respetuosos con el medio ambiente  | 3            | Producción local, materiales extraídos, procesados y fabricados dentro de los 160 km del sitio del proyecto | 3       |
|                                                         | 2            | Productos ambientalmente preferibles                                                                        | 0       |
| Crédito 3: Gestión de residuos de la construcción       | 2            | Reducir los desechos                                                                                        | 1       |
| Crédito 4: Estructura eficiente en materiales           | 2            |                                                                                                             | 0       |
|                                                         | 12           |                                                                                                             | 5       |

#### 4.3.6. Calidad ambiental interior

Establecer aire interior de mejor calidad en el edificio después de la construcción y durante la ocupación.

| Crédito                                                     | Puntaje Max. | Estrategias                                                                                       | Puntaje |
|-------------------------------------------------------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Prerrequisito 1: Ventilación                                |              | Los sistemas de extracción local expulsan el aire directamente al exterior.                       |         |
| Prerrequisito 2: Ventilación de combustión                  |              | No se instalaron aparatos de combustión sin ventilación                                           |         |
| Prerrequisito 3: Protección contra contaminantes en garajes |              | El Proyecto no contempla garajes                                                                  |         |
| Prerrequisito 4: Construcción resistente al radón           |              | La casa está elevada por lo menos 60 cm con un espacio al aire libre entre el edificio y el suelo |         |
| Prerrequisito 5: Aislamiento de aire                        |              |                                                                                                   |         |
| Prerrequisito 6: Compartimentación                          |              | Las ventanas, puertas exteriores y con pasillos comunes tienen burletes.                          |         |
| Crédito 1: Ventilación mejorada                             | 1            | Control de extracción local de aire mejorada, Baños                                               | 0       |
|                                                             | 1            | Diseño de ventilación mejorada que cumple con ASHRAE 62.2-2016                                    | 1       |

|                                                                                      |    |                                                                                                                                     |   |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
|                                                                                      | 1  | Control de Humedad                                                                                                                  | 0 |
| Crédito 2: Control de contaminantes                                                  | 1  | Alfombra al ingreso                                                                                                                 | 1 |
|                                                                                      | 1  | Quitarse el calzado y guardarlo                                                                                                     | 0 |
|                                                                                      | 1  | Sin garaje adjunto                                                                                                                  | 1 |
|                                                                                      | 1  | El proyecto es una casa unifamiliar de menos de 800 pies cuadrados (74 m2).                                                         | 1 |
| Crédito 3: Equilibrio de los sistemas de distribución de calefacción y refrigeración | 1  | Prueba de flujo de aire de suministro                                                                                               | 0 |
|                                                                                      | 1  | Balanceo de Presión                                                                                                                 | 0 |
|                                                                                      | 1  | Control de carga de humedad                                                                                                         | 0 |
|                                                                                      | 1  | Termostato de acceso remoto                                                                                                         | 0 |
|                                                                                      | 1  | Sistemas silenciosos de calefacción y refrigeración                                                                                 | 0 |
|                                                                                      | 1  |                                                                                                                                     | 0 |
| Crédito 4: Productos de baja emisión                                                 | 4  | Las pinturas; adhesivos y selladores; pisos; aislamiento y recubrimientos cumplen con la evaluación de emisiones y contenido de VOC | 0 |
|                                                                                      | 16 |                                                                                                                                     | 5 |

#### 4.3.7. Innovación

Fomentar proyectos para lograr un rendimiento excepcional o innovador.

| Crédito                                     | Puntaje Max. | Estrategias                                 | Puntaje |
|---------------------------------------------|--------------|---------------------------------------------|---------|
| Prerrequisito 1: Calificación preliminar    |              |                                             |         |
| Crédito 1: Innovación                       | 1            | Innovación                                  | 0       |
|                                             | 1            | Piloto                                      | 0       |
|                                             | 3            | Estrategias adicionales de innovación       | 0       |
| Crédito 2: Acreditación Profesional LEED AP | 1            | Contar con acreditación profesional LEED AP | 0       |
|                                             | 6            |                                             | 0       |

#### 4.3.8. Prioridad regional

Incentivar la consecución de créditos que aborden prioridades ambientales, de equidad social y de salud pública geográficamente específicas.

#### 4.3.9 Resumen calificación LEED

En esta sección, se proporciona un resumen de la calificación obtenida en la certificación LEED. Este resumen es el resultado directo de las estrategias adoptadas en la sección 4.3.0 a 4.3.8 de este documento.

La siguiente tabla proporciona una visión detallada de cómo se desempeña el proyecto en cada uno de estos criterios. Cada criterio tiene un número máximo de puntos que se pueden obtener,

y la suma total de estos puntos determina el nivel de certificación LEED que se puede alcanzar, a nombrar, Certificado (40 a 49 puntos), Plata (50 a 59 puntos), Oro (60 a 79 puntos) o Platino (80 a 110 puntos).

En la tabla, se presentan las categorías de calificación de LEED, que incluyen: Ubicación y Transporte, Sitios Sostenibles, Eficiencia del Agua, Energía y Atmósfera, Materiales y Recursos, Calidad del Ambiente Interior, Innovación, y Prioridad Regional. Para cada categoría, se indicará el número de puntos obtenidos.

**Tabla 4.3.9.a Scorecard certificación LEED.**

LEED v4.1 Residential: Single Family

### Scorecard (ID: )

...

Nota: La información de esta pestaña es de SOLO LECTURA. Para editar esta información, consulte las pestañas Categoría de crédito.

|  |                                  |                                                                   |  |  |            |   |           |   |   |            |            |
|--|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------|--|--|------------|---|-----------|---|---|------------|------------|
|  | <b>Proceso Integrativo</b>       |                                                                   |  |  | Preliminar | Y | 2 of 2    | M | 0 | Verificado | 2          |
|  | IPc                              | Proceso Integrativo                                               |  |  |            |   | 2 of 2    |   | 0 |            | 2          |
|  | <b>Localización y transporte</b> |                                                                   |  |  | Preliminar | Y | 9 of 10   | M | 9 | Verificado | 9          |
|  | LTp                              | Floodplain Avoidance                                              |  |  |            |   | Requisito |   |   |            | Verificado |
|  | LTc                              | LEED para el desarrollo de vecindarios                            |  |  |            |   | 0 of 10   |   | 0 |            |            |
|  | LTc                              | Selección del sitio                                               |  |  |            |   | 6 of 6    |   | 6 |            | 6          |
|  | LTc                              | Desarrollo compacto                                               |  |  |            |   | 1 of 1    |   | 1 |            | 1          |
|  | LTc                              | Recursos de la Comunidad                                          |  |  |            |   | 0 of 1    |   | 0 |            |            |
|  | LTc                              | Acceso al tránsito                                                |  |  |            |   | 2 of 2    |   | 2 |            | 2          |
|  | <b>Sitios sostenibles</b>        |                                                                   |  |  | Preliminar | Y | 1 of 5    | M | 1 | Verificado | 1          |
|  | SSp                              | Prevención de la contaminación en las actividades de construcción |  |  |            |   | Requisito |   |   |            | Verificado |
|  | SSc                              | Reducción de la isla de calor                                     |  |  |            |   | 0 of 1    |   | 0 |            |            |
|  | SSc                              | Gestión del agua de lluvia                                        |  |  |            |   | 1 of 2    |   | 1 |            | 1          |
|  | SSc                              | Control de plagas sin tóxicos                                     |  |  |            |   | 0 of 2    |   | 0 |            |            |
|  | <b>Eficiencia hídrica</b>        |                                                                   |  |  | Preliminar | Y | 5 of 15   | M | 5 | Verificado | 5          |
|  | WEp                              | Uso del agua                                                      |  |  |            |   | Requisito |   |   |            | Verificado |
|  | WEp                              | Medición del agua                                                 |  |  |            |   | Requisito |   |   |            | Verificado |
|  | WEc                              | Consumo total de agua                                             |  |  |            |   | 5 of 15   |   | 5 |            | 5          |
|  | WEc                              | Uso interior del agua                                             |  |  |            |   | 4 of 11   |   | 4 |            | 4          |
|  | WEc                              | Uso de agua en exteriores                                         |  |  |            |   | 2 of 4    |   | 2 |            | 2          |



| Energía y atmósfera |                                                                   | Preliminar | Y | 17 of 40 | M | 17         | Verificado | 17 |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------|------------|---|----------|---|------------|------------|----|
| EAp                 | Rendimiento energético mínimo                                     | Requisito  |   |          |   | Verificado |            |    |
| EAp                 | Medición de la energía                                            | Requisito  |   |          |   | Verificado |            |    |
| EAp                 | Educación del propietario, inquilino o administrador del edificio | Requisito  |   |          |   | Verificado |            |    |
| EAc                 | Consumo anual de energía                                          | 17 of 36   |   | 17       |   | 17         |            |    |
| EAc                 | Sistema eficiente de distribución de agua caliente                | 0 of 2     |   | 0        |   |            |            |    |
| EAc                 | Acreditación para la puesta en marcha de HVAC                     | 0 of 1     |   | 0        |   |            |            |    |
| EAc                 | Gestión de refrigerantes                                          | 0 of 1     |   | 0        |   |            |            |    |



| Materiales y recursos |                                              | Preliminar | Y | 5 of 12 | M | 5          | Verificado | 5 |
|-----------------------|----------------------------------------------|------------|---|---------|---|------------|------------|---|
| MRp                   | Madera tropical certificada                  | Requisito  |   |         |   | Verificado |            |   |
| MRp                   | Gestión de la durabilidad                    | Requisito  |   |         |   | Verificado |            |   |
| MRc                   | Verificación de la gestión de la durabilidad | 1 of 3     |   | 1       |   | 1          |            |   |
| MRc                   | Productos respetuosos con el medio ambiente  | 3 of 5     |   | 3       |   | 3          |            |   |
| MRc                   | Gestión de residuos de la construcción       | 1 of 2     |   | 1       |   | 1          |            |   |
| MRc                   | Estructura eficiente en materiales           | 0 of 2     |   | 0       |   |            |            |   |



| Calidad ambiental interior |                                                                           | Preliminar | Y | 3 of 16 | M | 3          | Verificado | 2 |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------|---|---------|---|------------|------------|---|
| EQp                        | Ventilación                                                               | Requisito  |   |         |   | Verificado |            |   |
| EQp                        | Ventilación de combustión                                                 | Requisito  |   |         |   | Verificado |            |   |
| EQp                        | Protección contra contaminantes en garajes                                | Requisito  |   |         |   | Verificado |            |   |
| EQp                        | Construcción resistente al radón                                          | Requisito  |   |         |   | Verificado |            |   |
| EQp                        | Aislamiento de aire                                                       | Requisito  |   |         |   | Verificado |            |   |
| EQp                        | Compartimentación                                                         | Requisito  |   |         |   | Verificado |            |   |
| EQc                        | Ventilación mejorada                                                      | 0 of 3     |   | 0       |   |            |            |   |
| EQc                        | Control de contaminantes                                                  | 2 of 3     |   | 2       |   | 2          |            |   |
| EQc                        | Equilibrio de los sistemas de distribución de calefacción y refrigeración | 1 of 6     |   | 1       |   |            |            |   |
| EQc                        | Productos de baja emisión                                                 | 0 of 4     |   | 0       |   |            |            |   |



| Innovación |                                  | Preliminar | Y | 0 of 6 | M | 0              | Verificado | 0 |
|------------|----------------------------------|------------|---|--------|---|----------------|------------|---|
| INp        | Calificación preliminar          | Requisito  |   |        |   | Not Verificado |            |   |
| INc        | Innovación                       | 0 of 5     |   | 0      |   |                |            |   |
| INc        | Acreditación Profesional LEED AP | 0 of 1     |   | 0      |   |                |            |   |



| Prioridad regional |                    | Preliminar | Y | 0 of 4 | M | 0 | Verificado | 0 |
|--------------------|--------------------|------------|---|--------|---|---|------------|---|
| RPc                | Prioridad regional | 0 of 4     |   | 0      |   |   |            |   |

| Total |  | Preliminar | Y | 42 of 110 | M | 40 | Verificado | 41.0 |
|-------|--|------------|---|-----------|---|----|------------|------|
|-------|--|------------|---|-----------|---|----|------------|------|

Umbral de certificación      Certificado: 40-49, Plata: 50-59, Oro: 60-79, Platino: 80-110

Según el puntaje obtenido del scorecard, la vivienda puede ser certificada como LEED, lo cual representa un reconocimiento significativo en términos de sostenibilidad y eficiencia energética.

## 4.4 Propuesta de diseño vivienda temporal

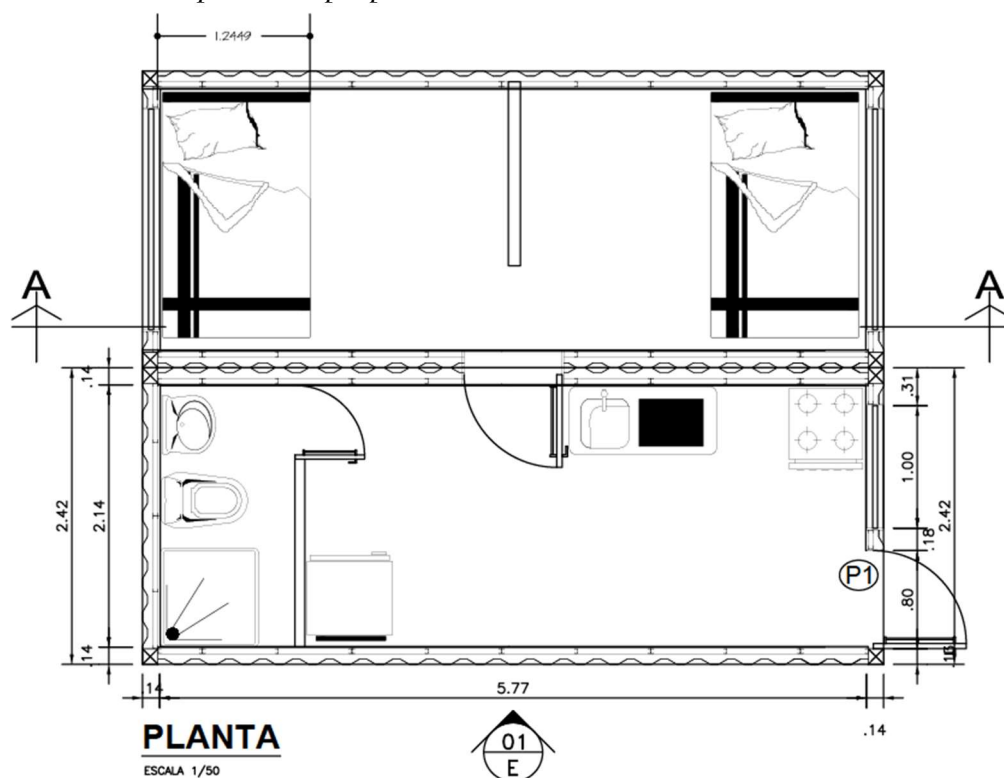
### 4.4.1 Diseño Arquitectónico

Según (Unidad de Análisis e Investigación Municipal, 2020) en la ciudad de La Paz, en promedio una vivienda tiene 2.6 habitaciones, el 22.5% 1 dormitorio, 29.7% 2 dormitorios, 27.1% 3 dormitorios, 12.8% 4 dormitorios y 7.9% 5 o más dormitorios.

En la gestión 2011, año del mega deslizamiento, 2238 familias conformadas por un total de 8710 personas, esto es, 3.9 personas por familia que fueron desplazadas.

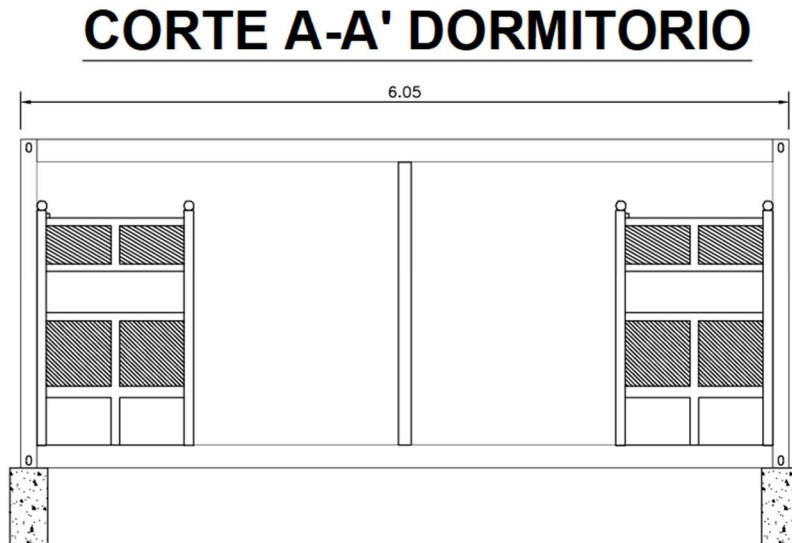
Por lo expuesto se propone que el prototipo contenga un baño, una cocina-comedor y dos dormitorios con una 1 litera cada uno.

**Figura 4.3.a** Vista en planta de propuesta de vivienda contenedor



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 4.3.b** *Vista de corte A-A' del dormitorio*

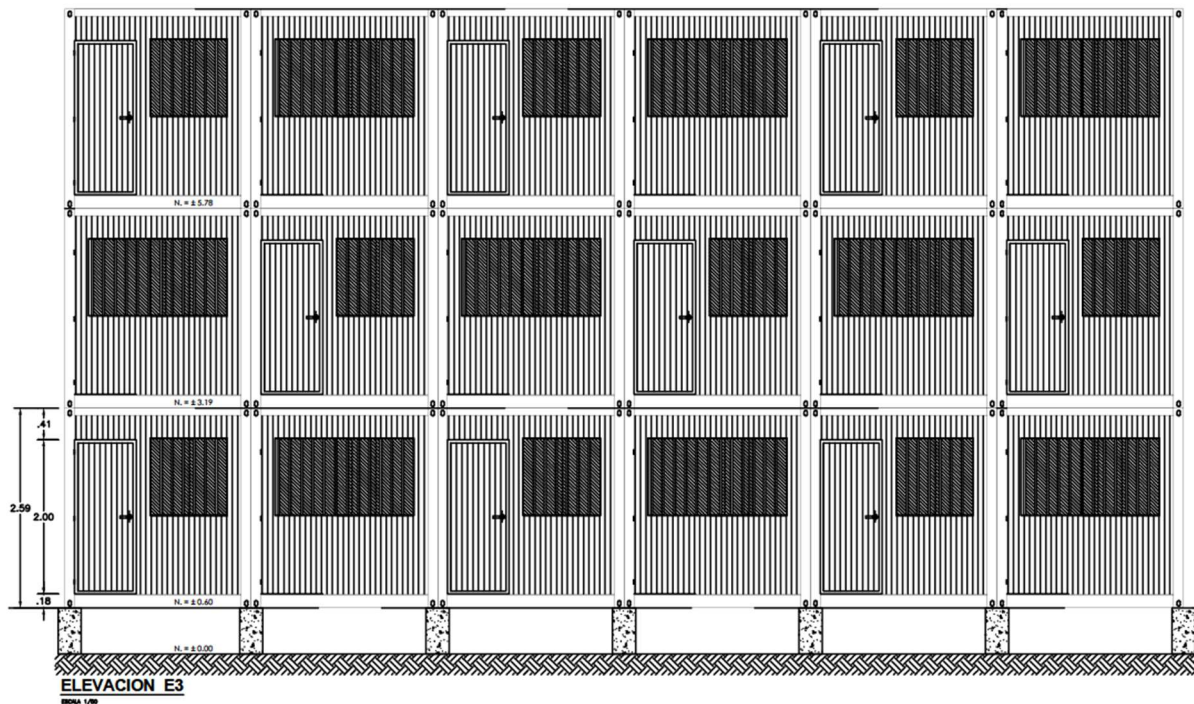


Fuente: Elaboración Propia

#### **4.4.1.1 Configuración en bloque**

Aunque los contenedores están diseñados para ser apilados y la normativa ISO 1496 respalda este proceso con sus especificaciones y ensayos, en el contexto de su uso como viviendas temporales, se han realizado estudios, como el de Hikone & Tokubuchi (2014b), que describen un apilamiento de hasta 3 pisos. Es importante destacar que se debe realizar una verificación estructural y, si es necesario, aplicar refuerzos adicionales según el tipo de contenedor utilizado en el proyecto. También se tiene que efectuar el estudio de suelo para verificar la capacidad portante del terreno. A continuación, se muestra una configuración de apilamiento de 3 pisos.

**Figura 4.3.b** *Vista en elevación de apilamiento de 3 niveles*



Fuente: Elaboración Propia

Nota: Se instalara escaleras y pasillo de acceso prefabricado por nivel

## 4.5. Simulación Energética

### 4.5.1. Programas empleados

Para realizar la simulación energética de la edificación, se utilizan las siguientes herramientas:

- **EnergyPlus**, el cual es un programa de análisis energético y simulación de cargas térmicas. A partir de la descripción que hace el usuario de la geometría, los materiales de construcción, el uso y los sistemas de un edificio, EnergyPlus calcula las cargas de calefacción y refrigeración necesarias para mantener los valores de consigna del control térmico, las condiciones de todo el sistema secundario de climatización, las cargas de las bobinas y el consumo energético de los equipos de la planta primaria, así como muchos otros detalles de simulación necesarios para verificar que la simulación funciona como lo haría el edificio real. EnergyPlus es una herramienta de línea de comandos que toma archivos de entrada y produce archivos de salida *EnergyPlus* (s. f.).

- **OpenStudio** es una colección multiplataforma (Windows, Mac y Linux) de herramientas de software para el modelado energético de edificios completos con EnergyPlus y el análisis avanzado de la luz natural con Radiance. OpenStudio es un proyecto de código abierto para facilitar el desarrollo comunitario, la ampliación y la adopción por parte del sector privado. Según el sitio oficial de *OpenStudio* (s. f.)
  - **Plugin OpenStudio de SketchUp**, esta aplicación permite crear geometría 3D en SketchUp, incluidos espacios, superficies, controles de iluminación, etc.
  - **OpenStudio Application**, es una interfaz gráfica completa para modelos de OpenStudio que incluye el diseño de la envolvente del edificio, cargas, horarios y sistemas HVAC.

#### 4.5.2. Configuración de parámetros de simulación

**Clima:** Dado que el tiempo varía de un año a otro, se ha desarrollado una metodología para combinar los datos meteorológicos medidos de varios años en lo que se denomina un *Año Meteorológico "Típico"* (TMY, por sus siglas en inglés). Esto hace que los datos del TMY sean más útiles para predecir el uso futuro de la energía que los datos del *Año Meteorológico Real* (AMY) para un año concreto. Los datos TMY de La Paz Bolivia se descargan en formato EnergyPlus Weather (EPW)<sup>1</sup>. Los archivos EPW son una entrada clave para cualquier modelo OpenStudio, ya que representan las condiciones ambientales a las que está expuesto un edificio.

**Asharae climate zone:** Según ASHRAE (2018) a la ciudad de La Paz le corresponde la zona climática 5A.

#### 4.5.3. Simulación vivienda temporal propuesta

##### 4.5.3.1 Características de la envolvente

Los materiales que se evalúan para determinar el aislante térmico óptimo en el diseño de la vivienda presentan sus características en la siguiente tabla:

**Tabla 4.5.3.a** *Características de los materiales aislantes seleccionados.*

---

<sup>1</sup> El archivo EPW se descarga desde <https://energyplus.net/weather> (s. f.)

| Material                                          | Resistencia al fuego | Conductividad térmica W/(m·k) | Calor específico J/(kg·k) | Densidad kg/m <sup>3</sup> |
|---------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| (RW) Lana de roca                                 | A                    | 0.04                          | 1220                      | 160                        |
| (XPS) Poliestireno extruido                       | B1                   | 0.03                          | 1380                      | 35                         |
| (PU) Poliuretano                                  | B1                   | 0.033                         | 1380                      | 30                         |
| Panel de aislamiento al vacío de alto rendimiento | A                    | 0.005                         | 876                       | 200                        |

Fuente: Parámetros de desempeño físico de diferentes materiales basados en “MOC, Thermal Design Code for Civil Building, 1993.”

La envolvente de los diferentes elementos, está definida por:

**Tabla 4.5.3.b** *Parámetros termofísicos de la envolvente no transparente*

| Elemento | Material                    | Espesor [mm] | Conductividad térmica W/(m·k) | Calor específico J/(kg·k) | Densidad kg/m <sup>3</sup> |
|----------|-----------------------------|--------------|-------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Muro     | Lamina de acero             | 1.2          | 58                            | 480                       | 7850                       |
|          | Poliuretano                 | 75           | 0.033                         | 1380                      | 30                         |
|          | Placa de yeso               | 9            | 0.33                          | 1050                      | 1050                       |
| Piso     | Lamina de acero             | 1.2          | 58                            | 480                       | 7850                       |
|          | Poliuretano                 |              | 0.033                         | 1380                      | 30                         |
|          | Tablero de madera compuesta |              | 0.17                          | 2510                      | 600                        |
| Techo    | Lamina de acero             | 1.2          | 58                            | 480                       | 7850                       |
|          | Poliuretano                 | 75           | 0.033                         | 1380                      | 30                         |
|          | Placa de yeso               | 9            | 0.33                          | 1050                      | 1050                       |

Fuente: Elaboración propia a partir del catálogo de elementos constructivos del cte 2008

**Tabla 4.5.3.c**

*Parámetros termofísicos de la envolvente transparente.*

| Elemento | Material               | Transferencia de calor<br>Coeficiente de Vidrio<br>W/(m <sup>2</sup> ·k) | Ganancia de calor solar<br>Coeficiente (SHGC) |
|----------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Ventana  | Vidrio 6mm             | 1.8                                                                      | 0.43                                          |
|          | Cámara de aire de 12mm |                                                                          |                                               |
|          | Vidrio 6mm             |                                                                          |                                               |

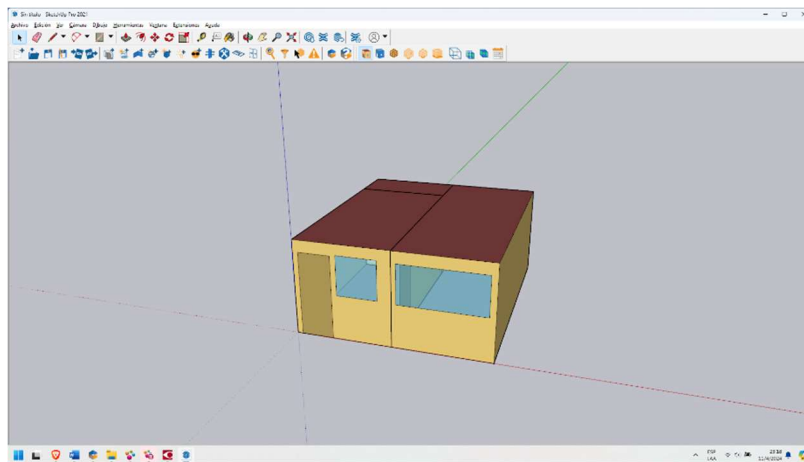
Fuente: Elaboración propia a partir del catálogo de elementos constructivos del cte 2008

#### 4.5.3.2 Diseño del modelo

El proceso de diseño del modelo simplificado de la vivienda comienza con el uso de SketchUp y su complemento OpenStudio. Primero, se traza la geometría básica del modelo, dibujando un

rectángulo que cumple con las dimensiones necesarias utilizando las herramientas de SketchUp. Posteriormente, mediante la extensión de OpenStudio, se asignan atributos específicos al modelo para permitir la simulación. Además, se añaden elementos como ventanas y puertas al diseño. La figura que se muestra a continuación representa el modelo simplificado de la vivienda temporal.

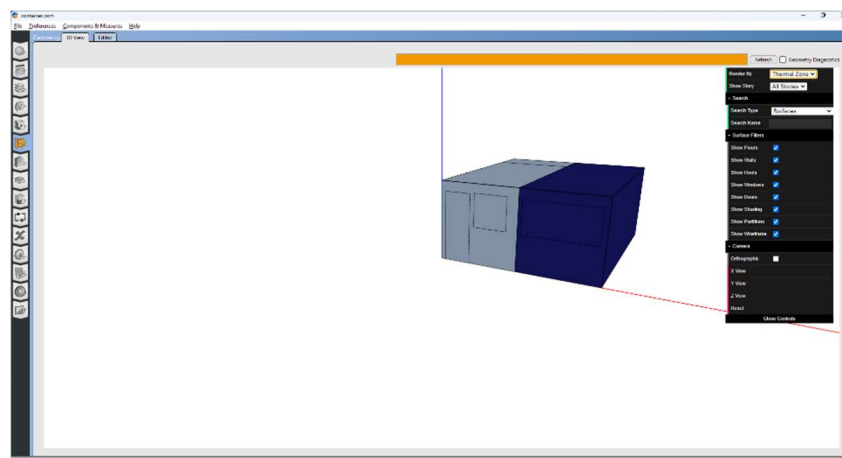
**Figura 4.5.3.d** *Modelo Simplificado en Sketchup*



Fuente: Elaboración propia en Sketchup

En OpenStudio Application, se revisa el modelo generado en SketchUp y las propiedades asignadas.

**Figura 4.5.3.e** *Modelos Simplificado, Zonas Térmicas en Openstudio*

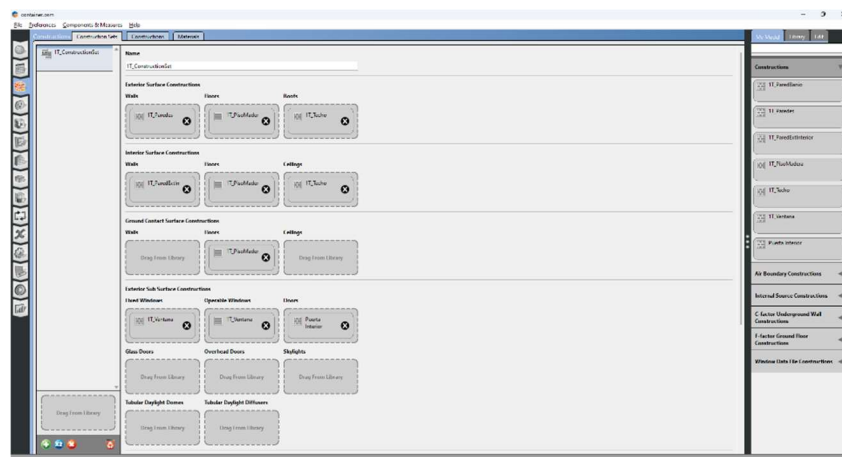


Fuente: Elaboración propia en Openstudio Application 1.7.0

Como indica Brackney *et al.* (2018) en OpenStudio Application, en las pestañas de la aplicación se configura lo siguiente:

- Site - Especificar las condiciones meteorológicas, los costes del ciclo de vida y las facturas de servicios públicos.
- Schedules - Definir horarios aplicados a las cargas del edificio.
- Constructions - Especificar materiales, conjuntos constructivos y conjuntos.
- Loads - Define las cargas individuales del edificio.
- Space Types - Crear perfiles para la ocupación de los espacios.
- Geometry - Defina las geometrías exteriores e interiores del edificio.
- Building - Asigne los valores por defecto a nivel de edificio y los elementos exteriores.
- Spaces - Asigne perfiles a espacios individuales.
- Thermal Zones - Agrupe los espacios en Zonas Térmicas y asigne Equipos de Zona.
- HVAC - Especifique los sistemas de calefacción, refrigeración y agua para el edificio.
- Variables - Especifique variables adicionales de simulación.
- Run Simulations - Realizar una única simulación energética.
- Reports - Revise los resultados de una simulación energética.

**Figura 4.5.3.f** Configuración de Materiales, Constructions y Construction Sets en OpenStudio



Fuente: Elaboración propia en Openstudio Application 1.7.0

#### 4.5.3.3 Resultados de la evaluación del rendimiento térmico

##### 4.5.3.3.1 Condiciones de Zona (Zone Conditions)

En esta sección se analiza la Tabla 4.5.3.a. en la cual se enumeran todas las zonas del modelo y se desglosan las horas de la simulación que se emplean en un rango de valores específico. La tabla clasifica las horas de simulación (8760 por que se ejecuta un año completo) por rangos de temperatura en contenedores. Además, se muestra el número de horas que no se cumplen los puntos de ajuste de calefacción y refrigeración, junto con la temperatura media de la zona.

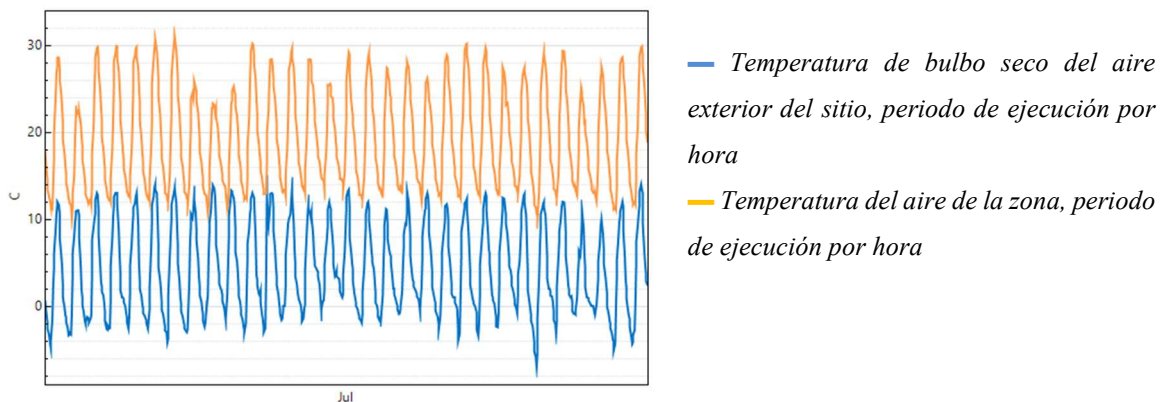
**Tabla 4.5.3.a** Distribución de horas en diferentes rangos de temperatura para una vivienda unifamiliar simulada con OpenStudio

| Zona Termica  | < 13 (C) | 13-16 (C) | 16-18 (C) | 18-20 (C) | 20-21 (C) | 21-22 (C) | 22-23 (C) | 23-24 (C) | 24-26 (C) | 26-28 (C) | 28-30 (C) | >= 30 (C) | Temp Prom (C) |
|---------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|
| Cocina - Baño | 558      | 1656      | 1125      | 586       | 131       | 225       | 359       | 466       | 1406      | 1408      | 468       | 372       | 21.2          |
| Dormitorio    | 310      | 1750      | 1792      | 1237      | 611       | 568       | 518       | 468       | 799       | 417       | 225       | 65        | 19.5          |

Fuente: Elaboración propia en Openstudio Application 1.7.0

##### 4.5.3.3.2 Temperatura ambiente exterior vs Temperatura interior

**Figura 4.5.3.b** Temperatura ambiente exterior vs Temperatura interior.



Fuente: Elaboración propia en Openstudio Application 1.7.0

Basándonos en la información generada por OpenStudio, se pueden realizar observaciones y análisis sobre el comportamiento térmico y la eficiencia energética de la vivienda. A pesar de las fluctuaciones exteriores de temperatura (de 2.29°C a 11.06°C), el interior mantiene una variación más estable (de 15.34°C a 22.47°C), evidencia de una aislación térmica adecuada. El diseño de la vivienda es eficaz en mantener un ambiente interior confortable, minimizando la pérdida de calor en condiciones frías y conservando una temperatura habitable adecuada. Esto indica que el diseño y los materiales de aislamiento utilizados son apropiados para lograr un espacio habitable energéticamente eficiente.

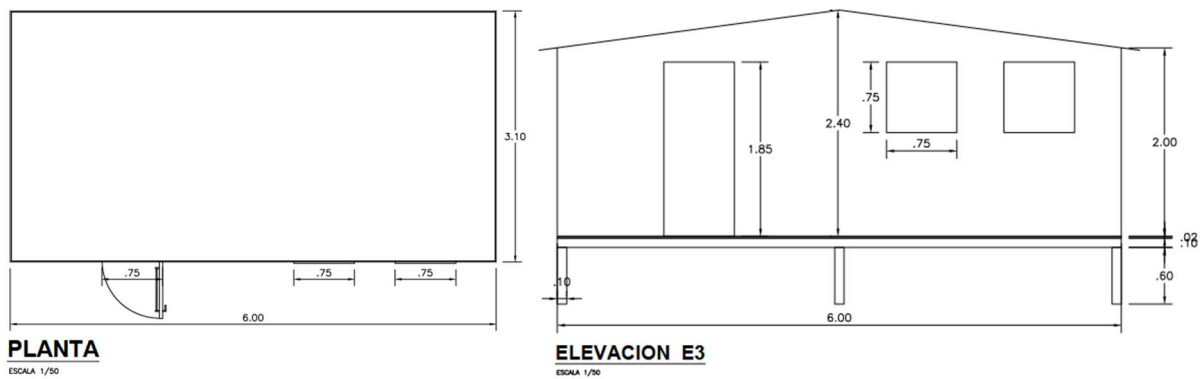
#### **4.5.4. Simulación vivienda temporal de referencia**

Para la simulación de la vivienda temporal de referencia, se seleccionan las mismas dimensiones que el modelo propuesto, siendo el material utilizado la madera. Ésta es escogida por ser la empleada en el último evento más importante sucedido en la ciudad de La Paz.

##### **4.5.4.1 Descripción de la vivienda temporal utilizada en el mega deslizamiento y características de la envolvente.**

La vivienda temporal de referencia es la utilizada en el albergue transitorio Zenobio López de la Av. Zavaleta, presenta una disposición simple pero eficiente desde el punto de vista económico. La misma, diseñada para proporcionar un refugio temporal en situaciones de crisis, posee dimensiones de 6 metros de largo por 3 metros de ancho y elevada 0.40 metros del terreno como se puede ver Figura 4.5.4.1.a. La estructura está optimizada para maximizar la ventilación y reducir la transferencia de calor desde el suelo (ver Figura 4.5.4.1.b).

**Figura 4.5.4.1.a** Vista en planta y elevación de la vivienda temporal



Fuente: Elaboración propia en base a la visita del albergue transitorio Zenobio López de la Av. Zavaleta, el 26 de abril 2024.

**Figura 4.5.4.1.b** Fotografía tomada el 26 de abril del 2024 que muestra la elevación de la vivienda temporal con respecto al suelo.



Fuente: Fotografía propia, 2024

El piso de la vivienda temporal está compuesto por paneles de aglomerado de 2.2cm de espesor, el cual ofrece resistencia y durabilidad adecuada para soportar el tránsito peatonal. Las paredes de la casa tienen un espesor de 1.5cm y están construidas con paneles de madera aglomerada, proporcionando una estructura sólida pero liviana (ver figura 4.5.4.1.a y 4.5.4.1c).

**Figura 4.5.4.1.c** Fotografía tomada el 26 de abril del 2024 que muestra una vista frontal de la vivienda temporal



Fuente: Fotografía propia, 2024

El techo está formado por láminas de calamina, un material metálico económico que no cuenta con aislamiento térmico adicional. Esto puede conllevar a pérdidas de energía significativas a través del techo, especialmente en condiciones climáticas extremas (ver figura 4.5.4.1.d).

**Figura 4.5.3.d** Fotografía tomada el 26 de abril del 2024 que muestra una vista interior del techo de calamina



Fuente: Fotografía propia, 2024

Tanto la ventana como la puerta están fabricadas con paneles de aglomerado de 1.5cm de espesor. Estos elementos proporcionan acceso al interior de la vivienda y permiten la entrada de luz natural y ventilación. Sin embargo, la unión entre las paredes y el techo de calamina ondulada presenta pérdidas por infiltración, lo que puede comprometer la eficiencia energética de la estructura (ver Figura 4.5.4.1.d).

### ***Características de la envolvente***

Basándonos en la descripción del edificio, se ha elaborado la siguiente tabla que resume las características de la envolvente.

**Tabla 4.5.4.a** *Materiales de la envolvente de la vivienda*

| Elemento | Material          | Espesor [mm] | Conductividad térmica W/(m·k) | Calor específico J/(kg·k) | Densidad kg/m <sup>3</sup> |
|----------|-------------------|--------------|-------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Pared    | Aglomerado        | 15           | 0.10                          | 1600                      | 600                        |
| Piso     | Aglomerado        | 22           | 0.10                          | 1600                      | 600                        |
| Techo    | Calamina ondulada | 0.35         | 58                            | 480                       | 7850                       |

Fuente: Elaboración propia a partir del catálogo de elementos constructivos del cte 2008

### ***4.5.4.2 Resultados de la evaluación del rendimiento térmico***

Después de completar el modelo geométrico en SketchUp y guardarlo en el formato OSM de OpenStudio, se abre OpenStudio Application. Una vez cargados los datos climáticos, definida la zona térmica y configurar la envolvente del modelo energético, se procede a ejecutar la simulación completa para un período de un año, conforme lo estipula la norma ASHRAE 90.2.

#### **4.5.4.2.1 Condiciones de zona**

En esta sección se analiza la Tabla 4.5.4, donde se enumeran todas las zonas del modelo y se desglosan las horas de la simulación que se emplean en un rango de valores específico. La tabla clasifica las horas de simulación (8760 por que se ejecuta un año completo) por rangos de temperatura en contenedores. Además, se muestra el número de horas que no se cumplen los puntos de ajuste de calefacción y refrigeración, junto con la temperatura media de la zona. Las horas no cumplidas y la temperatura media incluyen tanto las horas ocupadas como las no ocupadas.

**Tabla 4.5.4** *Distribución de horas en diferentes rangos de temperatura para una vivienda unifamiliar simulada con OpenStudio*

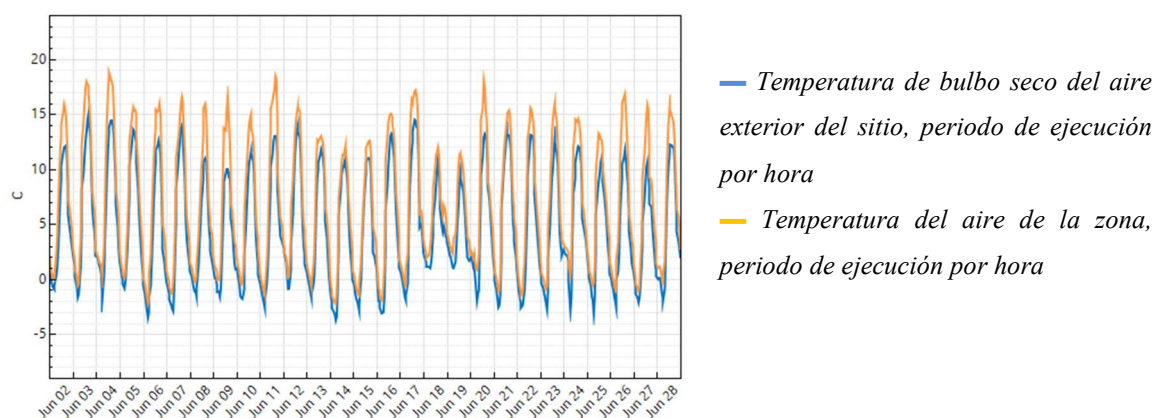
| Zona Térmica | < 13 (C) | 13-16 (C) | 16-18 (C) | 18-20 (C) | 20-21 (C) | 21-22 (C) | 22-23 (C) | 23-24 (C) | 24-26 (C) | 26-28 (C) | 28-30 (C) | >= 30 (C) | Temp Prom (C) |
|--------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|
|--------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|

|               |      |      |     |     |    |    |   |   |   |   |   |   |          |
|---------------|------|------|-----|-----|----|----|---|---|---|---|---|---|----------|
| Cocina - Baño | 6556 | 1262 | 645 | 248 | 28 | 18 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8.9 (C)  |
| Dormitorio    | 6200 | 1283 | 746 | 434 | 78 | 18 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10.0 (C) |

Fuente: Elaboración propia en Openstudio Application 1.7.0

#### 4.5.4.2.2 Temperatura ambiente exterior vs Temperatura interior

**Figura 4.5.4.e** *Temperatura ambiente exterior vs Temperatura interior.*



Fuente: Elaboración propia en Openstudio Application 1.7.0

En la tabla, se observa el efecto producido en la vivienda por no tener aislamiento térmico, donde la temperatura interior no es considerablemente superior a la temperatura exterior.

#### 4.5.5. Simulación de vivienda tradicional

A efectos de tener una cosmovisión del estado actual de construcciones tradicionales ejecutadas en la ciudad de La Paz, se procede a continuación a su evaluación.

##### 4.5.5.3 Resultados de la evaluación del rendimiento térmico

##### 4.5.5.3.1 Condiciones de Zona (Zone Conditions)

En esta sección se analiza la Tabla 4.5.5.a., donde se enumeran todas las zonas del modelo y se desglosan las horas de la simulación que se emplean en un rango de valores específico. La tabla clasifica las horas de simulación (8760 por que se ejecuta un año completo) por rangos de

temperatura en contenedores. Además, se muestra el número de horas que no se cumplen los puntos de ajuste de calefacción y refrigeración, junto con la temperatura media de la zona. Las horas no cumplidas y la temperatura media incluyen tanto las horas ocupadas como las no ocupadas.

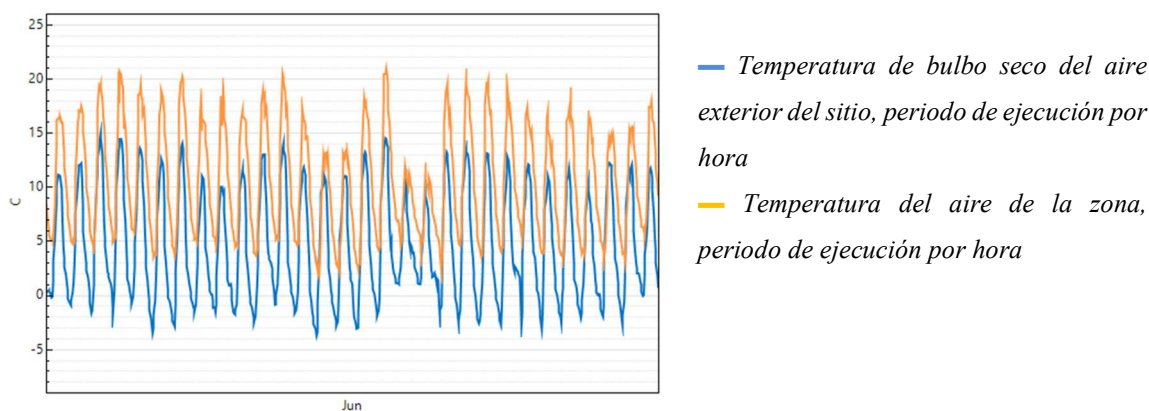
**Tabla 4.5.5.a** *Distribución de horas en diferentes rangos de temperatura para una vivienda unifamiliar simulada con OpenStudio*

| Zone             | < 13<br>(C) | 13-16<br>(C) | 16-18<br>(C) | 18-20<br>(C) | 20-21<br>(C) | 21-22<br>(C) | 22-23<br>(C) | 23-24<br>(C) | 24-26<br>(C) | 26-28<br>(C) | 28-30<br>(C) | >= 30<br>(C) | Mean<br>Temp<br>(C) |
|------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------------|
| Cocina -<br>Baño | 5147        | 1944         | 959          | 529          | 125          | 38           | 13           | 5            | 0            | 0            | 0            | 0            | 11.5(C)             |
| Dormitorio       | 5103        | 1663         | 1057         | 605          | 187          | 103          | 28           | 11           | 3            | 0            | 0            | 0            | 12.2 (C)            |

Fuente: Elaboración propia en Openstudio Application 1.7.0

#### 4.5.5.3.2 Temperatura ambiente exterior vs Temperatura interior

**Figura 4.5.5** *Temperatura ambiente exterior vs Temperatura interior.*



Fuente: Elaboración propia en Openstudio Application 1.7.0

El rango va desde aproximadamente 3.16°C hasta 10.85°C, indicando fluctuaciones significativas debido a factores climáticos. Por su parte, el rango de temperaturas interiores es más estrecho, oscilando entre aproximadamente 7.76°C y 16.65°C, lo que refleja una mayor estabilidad térmica interna.

Hay diferencias sustanciales entre las temperaturas exteriores e interiores, particularmente en

horas en las que las temperaturas exteriores son extremas (muy bajas o relativamente altas). El análisis de los datos de temperatura sugiere que la vivienda tiene una moderada capacidad de regulación térmica gracias a los materiales utilizados en su construcción. Sin embargo, la implementación de técnicas adicionales de aislamiento podría mejorar significativamente el confort térmico interior, proporcionando un ambiente más estable y eficiente en términos energéticos.

#### 4.6. Análisis confort Térmico

Según la norma ASHRAE 55-2017 (s. f.), el confort térmico se define como *"esa condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico y se valora mediante evaluación subjetiva"* de la población que ocupa un espacio durante 15 minutos o más. El confort térmico depende de una combinación de factores ambientales y personales, donde los factores ambientales considerados son la temperatura, la radiación térmica, la humedad y la velocidad del aire, mientras que los factores personales son los relacionados con la actividad y la vestimenta. Para el análisis del confort térmico se utiliza el Modelo Adaptativo Propuesto por De Dear y Brager (2002).

De acuerdo con *seiscubos - Modelos estadísticos de confort* (s. f.) este modelo fue desarrollado como parte del proyecto ASHRAE RP-884, cuyo objetivo era crear un modelo de confort térmico adaptativo que se ha convertido en parte del estándar de la organización. El proyecto implicó la recopilación y el análisis exhaustivo de grandes cantidades de datos de múltiples estudios de campo en todo el mundo. Tras procesar y analizar esta información, se creó una poderosa base de datos compuesta por más de 21.000 registros de confort térmico recopilados en 160 edificios de oficinas ubicados en ciudades de cuatro continentes, que cubren una variedad de condiciones climáticas.

El modelo final propuesto por de Deere y Brager (2002) y posteriormente incluido en la Norma 55 de ASHRAE se puede expresar mediante la siguiente ecuación:

$$T_{conf} = 17.8 + (T_{p,ext} * 0.31)$$

*Ecuación 1*

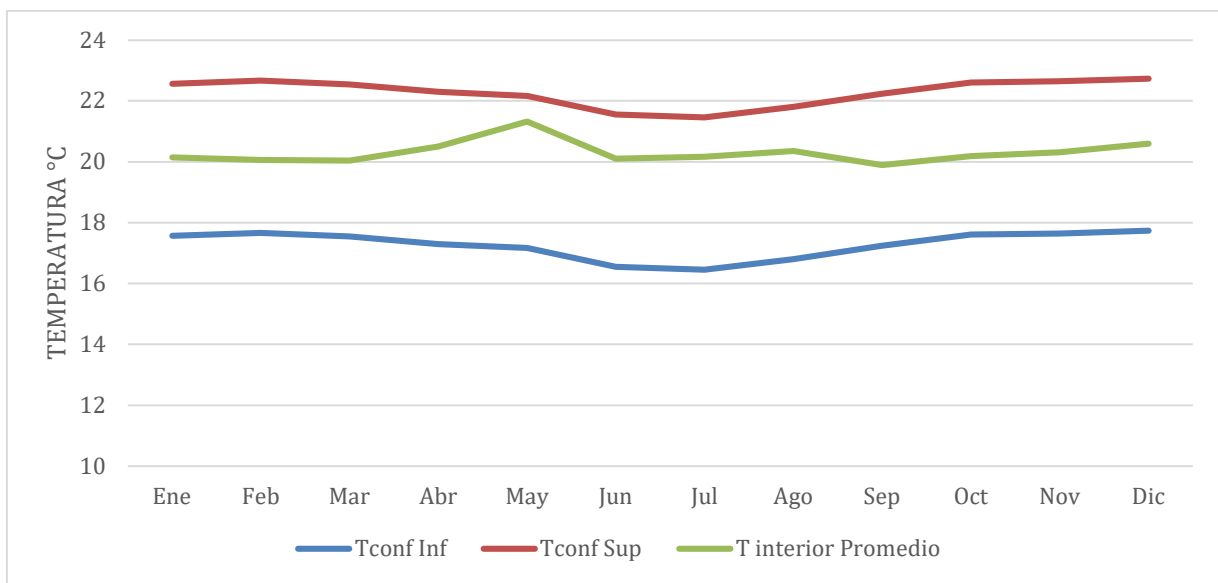
Donde:

$T_{conf}$ : Temperatura de confort

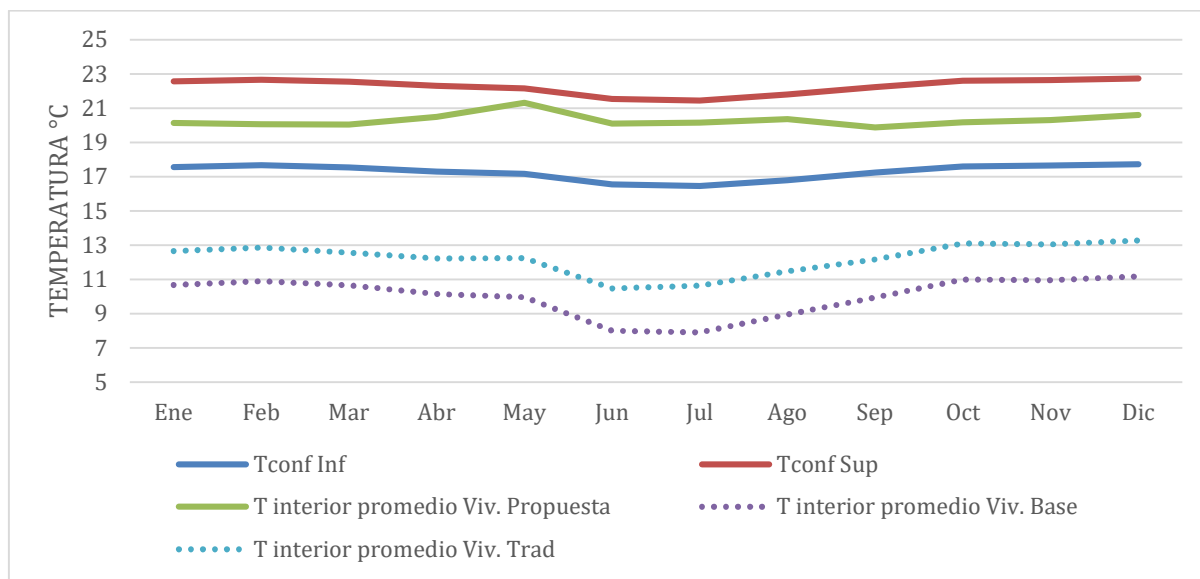
$T_{p,ext}$ : Temperatura promedio exterior de bulbo seco

Utilizando los datos obtenidos de la temperatura interior con resolución horaria a través de EnergyPlus, junto con la información de la temperatura exterior del sector, se elabora el siguiente gráfico, el cual permite visualizar el nivel óptimo de confort térmico que se alcanza en la habitación que se está evaluando. Los resultados exponen que se obtiene un ambiente interior agradable y equilibrado, lo que contribuye significativamente a la calidad de vida y productividad de los ocupantes (ver Figura 4.6).

**Figura 4.6.a** Rango de la temperatura de confort y la temperatura interior



**Figura 4.6.b** Rango de la temperatura de confort y la temperatura interior promedio de la vivienda base, vivienda tradicional y la vivienda



En la 4.6.b se observa que la temperatura interior promedio de la vivienda propuesta es superior a la vivienda base y tradicional debido a la falta de un material aislante en la envolvente del edificio.

**Vivienda Propuesta:** La temperatura promedio es consistentemente más alta (alrededor de 20°C), lo que sugiere que las estrategias de eficiencia térmica están funcionando adecuadamente, proporcionando mayor confort.

**Vivienda temporal de referencia:** Las temperaturas promedio son considerablemente más bajas (en torno a 8°C a 11°C), lo que indica un mal rendimiento térmico, con menores horas de confort térmico.

**Vivienda Tradicional:** Aunque mejor que la vivienda temporal de referencia, las temperaturas promedio están entre 10°C y 13°C, aún por debajo de los niveles de confort óptimo alcanzados por la vivienda propuesta.

## 4.7 Análisis de costos

En esta sección, se desarrolla un desglose detallado del presupuesto requerido para la construcción de cada una de las tres viviendas que se analizan precedentemente. El mismo incluye todos los costos expresados en moneda bolivianos asociados a la implementación del

proyecto, desde los materiales, mano de obra, equipos y costos indirectos, entre otros.

#### 4.7.1 Presupuesto Vivienda Temporal Propuesta

| Ítem                     | Descripción                                                                                      | Unidad | Cantidad | Precio[bs] | Total [bs]      |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------|------------|-----------------|
| 0                        | <b>Container</b>                                                                                 |        |          |            | <b>72185.08</b> |
| C1                       | Container                                                                                        | Pza    | 2        | 21000      | 42000           |
| C2                       | Cielo falso de (drywall) placas de yeso prefabricadas resistente a la humedad                    | m2     | 25.52    | 147.01     | 3751.7          |
| C3                       | Muro de (drywall) placa de yeso prefabricada e=0,12 m                                            | m2     | 53.06    | 206        | 10930.36        |
| C4                       | Ventana de metal (incluye vidrio)                                                                | m2     | 5.8      | 251.62     | 1459.4          |
| C5                       | Prov y colocación puerta contraplacada venesta cedro                                             | m2     | 4.8      | 1165.94    | 5596.51         |
| C6                       | Pintura en interiores látex o similares (dos manos)                                              | m2     | 78.58    | 45.5       | 3575.39         |
| C7                       | Provisión y colocado de piso flotante de alto trafico espesor min=8 mm (incluye manta aislante). | m2     | 23.74    | 121.99     | 2896.04         |
| C8                       | Pintura anticorrosiva en exteriores                                                              | m2     | 27.44    | 72         | 1975.68         |
| 0                        | <b>Instalaciones sanitarias</b>                                                                  |        |          |            | <b>9359.67</b>  |
| S1                       | Revestimiento de cerámica                                                                        | m2     | 13.03    | 293.94     | 3830.04         |
| S2                       | Piso de cerámica esmaltada antideslizante pei - iv s/ losa                                       | m2     | 2.61     | 224.83     | 586.81          |
| S3                       | Provisión y colocación de lavamanos sin pedestal con grifo automático                            | Pza    | 1        | 865.41     | 865.41          |
| S4                       | Provisión e instalación de inodoro ecológico tanque bajo                                         | Pza    | 1        | 1337.89    | 1337.89         |
| S5                       | Provisión y colocación De llave de globo de bronce p/ducha                                       | Pza    | 1        | 100.3      | 100.3           |
| S6                       | Colocación base de ducha fibra de vidrio 80 x 80                                                 | Pza    | 1        | 434.4      | 434.4           |
| S7                       | Provisión e instalación de regadera de ducha d= 12,7cm, con brazo de 40cm                        | Pza    | 1        | 501.74     | 501.74          |
| S8                       | Provisión y tendido de tubería pvc 4" e-40                                                       | m      | 2        | 111.27     | 222.54          |
| S9                       | Provisión y tendido de tubería pvc 2" c-9                                                        | m      | 6.5      | 27.47      | 178.56          |
| S10                      | Lavaplatos 1 deposito, 1 fregadero                                                               | Pza    | 1        | 1301.98    | 1301.98         |
| S11                      | Provisión y colocación de grifos lavaplatos                                                      | Pza    | 1        | 141.83     | 141.83          |
| S12                      | Provisión y tendido de tubería pvc 1/2" e-40                                                     | m      | 9.7      | 11.41      | 110.68          |
| 0                        | <b>Instalaciones eléctricas</b>                                                                  |        |          |            | <b>1330.71</b>  |
| E1                       | Provisión y colocación tomacorriente de piso doble                                               | Pza    | 2        | 230.76     | 461.52          |
| E2                       | Provisión e instalación luminaria circular led dwl 15w                                           | Pza    | 3        | 233.11     | 699.33          |
| E3                       | Provisión e instalación de cable 7 hilos cu monopolar n° 14 awg                                  | m      | 15       | 8.68       | 130.2           |
| E4                       | Provisión e instalación de cable de cu monopolar n° 12 awg tw                                    | m      | 6        | 6.61       | 39.66           |
| <b>Presupuesto total</b> |                                                                                                  |        |          |            | <b>82475.46</b> |

#### 4.7.2 Presupuesto Vivienda Temporal de referencia

| Ítem | Descripción                       | Unidad | Cantidad | Precio[bs] | Total [bs]      |
|------|-----------------------------------|--------|----------|------------|-----------------|
| 0    | <b>Base</b>                       |        |          |            | <b>24170.81</b> |
| B1   | Vivienda prefabricada             | m2     | 29.34    | 583.33     | 17114.9         |
| B2   | Ventana de metal (incluye vidrio) | m2     | 5.8      | 251.62     | 1459.4          |

| Ítem                     | Descripción                                                               | Unidad | Cantidad | Precio[bs] | Total [bs]      |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------|--------|----------|------------|-----------------|
| B3                       | Provisión y colocación puerta contraplacada venesta cedro                 | m2     | 4.8      | 1165.94    | 5596.51         |
| 0                        | <b>Instalaciones sanitarias</b>                                           |        |          |            | <b>9359.67</b>  |
| S1                       | Revestimiento de cerámica                                                 | m2     | 13.03    | 293.94     | 3830.04         |
| S2                       | Piso de cerámica esmaltada antideslizante pei - iv s/ losa                | m2     | 2.61     | 224.83     | 586.81          |
| S3                       | Provisión y colocación de lavamanos sin pedestal con grifo automático     | pza    | 1        | 865.41     | 865.41          |
| S4                       | Provisión e instalación de inodoro ecológico tanque bajo                  | Pza    | 1        | 1337.89    | 1337.89         |
| S5                       | Prov. y colocación de llave de globo de bronce p/ducha                    | Pza    | 1        | 100.3      | 100.3           |
| S6                       | Colocación base de ducha fibra de vidrio 80 x 80                          | Pza    | 1        | 434.4      | 434.4           |
| S7                       | Provisión e instalación de regadera de ducha d= 12,7cm, con brazo de 40cm | Pza    | 1        | 501.74     | 501.74          |
| S8                       | Provisión y tendido de tubería pvc 4" e-40                                | M      | 2        | 111.27     | 222.54          |
| S9                       | Provisión y tendido de tubería pvc 2" c-9                                 | M      | 6.5      | 27.47      | 178.56          |
| S10                      | Lavaplatos 1 deposito, 1 fregadero                                        | Pza    | 1        | 1301.98    | 1301.98         |
| S11                      | Provisión y colocación de grifos lavaplatos                               | Pza    | 1        | 141.83     | 141.83          |
| S12                      | Provisión y tendido de tubería pvc 1/2" e-40                              | M      | 9.7      | 11.41      | 110.68          |
| 0                        | <b>Instalaciones eléctricas</b>                                           |        |          |            | <b>1330.71</b>  |
| E1                       | Provisión y colocación tomacorriente de piso doble                        | Pza    | 2        | 230.76     | 461.52          |
| E2                       | Provisión e instalación luminaria circular led dwl 15w                    | Pza    | 3        | 233.11     | 699.33          |
| E3                       | Prov. e instalación de cable 7 hilos cu monopolar n° 14 awg               | M      | 15       | 8.68       | 130.2           |
| E4                       | Provisión e instalación de cable de cu monopolar n° 12 awg tw             | M      | 6        | 6.61       | 39.66           |
| <b>Presupuesto total</b> |                                                                           |        |          |            | <b>34861.19</b> |

#### 4.7.3 Presupuesto Vivienda Tradicional

| Ítem | Descripción                                                     | Unidad | Cantidad | Precio[bs] | Total [bs]      |
|------|-----------------------------------------------------------------|--------|----------|------------|-----------------|
| 0    | <b>Tradicional</b>                                              |        |          |            | <b>70110.64</b> |
| T1   | Excavación 0 - 1 m c/ agotamiento                               | m3     | 3.37     | 167.12     | 563.19          |
| T2   | Cimientos de h° c° 40% de piedra desplazadora dosif 1:3:4       | m3     | 2.24     | 851.68     | 1907.76         |
| T3   | Muro de ladrillo 6h e = 0.12 m dosif 1:5                        | m2     | 56.85    | 191.04     | 10860.62        |
| T4   | Dintel de ladrillo de 6h armado                                 | m      | 10.3     | 111.45     | 1147.94         |
| T5   | Cubierta de calamina n° 28 incluye maderamen                    | m2     | 32       | 452.43     | 14477.76        |
| T6   | Ventana de metal (incluye vidrio)                               | m2     | 5.8      | 251.62     | 1459.4          |
| T7   | Provisión y colocación puerta contraplacada venesta cedro       | m2     | 4.8      | 1165.94    | 5596.51         |
| T8   | Revoque exterior c/cal - cemento - arena sobre muro de ladrillo | m2     | 39.14    | 191.25     | 7485.53         |
| T9   | Revoque interior de estuco sobre muro de ladrillo               | m2     | 54.16    | 128.3      | 6948.73         |
| T10  | Cielo falso - incluye yeso maderamen y malla                    | m2     | 26.56    | 288.96     | 7674.78         |
| T11  | Carpeta de hormigón simple e=8 cm dosif. 1:2:3 c/empedrado      | m2     | 26.56    | 142.85     | 3794.1          |

| Ítem                     | Descripción                                                                                     | Unidad | Cantida<br>d | Precio[<br>bs] | Total [bs]      |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------------|----------------|-----------------|
| T12                      | Pintura en interiores látex o similares (dos manos)                                             | m2     | 80.72        | 45.5           | 3672.76         |
| T13                      | Provisión y colocado de piso flotante de alto tráfico espesor min=8mm (incluye manta aislante). | m2     | 23.74        | 121.99         | 2896.04         |
| T14                      | Pintura en exteriores látex o similar (dos manos)                                               | m2     | 26           | 62.52          | 1625.52         |
| <b>0</b>                 | <b>Instalaciones sanitarias</b>                                                                 |        |              |                | <b>9359.67</b>  |
| S1                       | Revestimiento de cerámica                                                                       | m2     | 13.03        | 293.94         | 3830.04         |
| S2                       | Piso de cerámica esmaltada antideslizante pei - iv s/ losa                                      | m2     | 2.61         | 224.83         | 586.81          |
| S3                       | Provisión y colocación de lavamanos sin pedestal con grifo automático                           | Pza    | 1            | 865.41         | 865.41          |
| S4                       | Provisión e instalación de inodoro ecológico tanque bajo                                        | Pza    | 1            | 1337.89        | 1337.89         |
| S5                       | Prov. y colocación De llave de globo de bronce p/ducha                                          | Pza    | 1            | 100.3          | 100.3           |
| S6                       | Colocación base de ducha fibra de vidrio 80 x 80                                                | Pza    | 1            | 434.4          | 434.4           |
| S7                       | Provisión e instalación de regadera de ducha d= 12,7cm, con brazo de 40cm                       | Pza    | 1            | 501.74         | 501.74          |
| S8                       | Provisión y tendido de tubería pvc 4" e-40                                                      | m      | 2            | 111.27         | 222.54          |
| S9                       | Provisión y tendido de tubería pvc 2" c-9                                                       | m      | 6.5          | 27.47          | 178.56          |
| S10                      | Lavaplatos 1 deposito, 1 fregadero                                                              | Pza    | 1            | 1301.98        | 1301.98         |
| S11                      | Provisión y colocación de grifos lavaplatos                                                     | Pza    | 1            | 141.83         | 141.83          |
| S12                      | Provisión y tendido de tubería pvc 1/2" e-40                                                    | m      | 9.7          | 11.41          | 110.68          |
| <b>0</b>                 | <b>Instalaciones eléctricas</b>                                                                 |        |              |                | <b>1330.71</b>  |
| E1                       | Provisión y colocación tomacorriente de piso doble                                              | Pza    | 2            | 230.76         | 461.52          |
| E2                       | Provisión e instalación luminaria circular led dwl 15w                                          | Pza    | 3            | 233.11         | 699.33          |
| E3                       | Provisión. e instalación de cable 7 hilos cu monopolar n° 14 awg                                | m      | 15           | 8.68           | 130.2           |
| E4                       | Provisión e instalación de cable de cu monopolar n° 12 awg tw                                   | m      | 6            | 6.61           | 39.66           |
| <b>Presupuesto total</b> |                                                                                                 |        |              |                | <b>80801.02</b> |

#### 4.7.4 Resumen de costos

La siguiente tabla proporciona un resumen de los costos de los diferentes tipos de viviendas analizadas en las secciones anteriores. Los costos están expresados en moneda bolivianos (Bs).

| Descripción                             | Precio Final [Bs] |
|-----------------------------------------|-------------------|
| Vivienda temporal Propuesta (Container) | 82875.46          |
| Vivienda temporal de referencia (Base)  | 34861.19          |
| Vivienda Tradicional                    | 80801.02          |

Si bien la vivienda modular ligera prefabricada propuesta para uso como vivienda temporal post-desastre resulta más elevada en términos de costos de fabricación que la vivienda base y la vivienda tradicional, la tabla 4.7.4 expone los resultados de la relación entre dichos costos y las

horas de confort obtenidas en la simulación para cada caso.

**Tabla 4.7.4** *Comparación de Costos y Confort Térmico entre Viviendas Temporal Propuesta, Vivienda temporal de referencia y la Vivienda Tradicional*

| Descripción                             | Precio Final [Bs] | No confort | Confort | Bs/hs de confort | %Horas de confort en el año |
|-----------------------------------------|-------------------|------------|---------|------------------|-----------------------------|
| Vivienda temporal Propuesta (Container) | 82875.46          | 3595.5     | 5164.5  | 16.05            | 59.0%                       |
| Vivienda temporal de referencia (Base)  | 34861.19          | 8346       | 414     | 84.21            | 4.7%                        |
| Vivienda Tradicional                    | 80801.02          | 7936.5     | 823.5   | 98.12            | 9.4%                        |

La vivienda temporal Propuesta (Container) ofrece el mayor número de horas de confort y el menor costo por hora de confort. La vivienda temporal de referencia, aunque es la más económica inicialmente, tiene el menor desempeño en términos de confort térmico. La vivienda tradicional, mientras que tiene un costo inicial cercano al de la vivienda propuesta, es menos confortable térmicamente. Por lo tanto, en términos de balance entre costo y confort, la vivienda temporal propuesta con contenedores es la opción más favorable.

## CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En un contexto de elevada vulnerabilidad social ante los acuciantes riesgos de desastres naturales como efecto del cambio climático, se concluye que apremia dar una respuesta habitacional que resulte sostenible. Después de examinar una variedad de estrategias de diseño para las viviendas, considerando las limitaciones de espacio de la ciudad de La Paz, se determina que la solución más viable se basa en el empleo de contenedores como componentes fundamentales. Estas estrategias incluyen, además de la optimización del espacio, la reutilización de materiales, el aislamiento térmico y la flexibilidad en la ubicación y futuro traslado ante posibles emergencias humanitarias, permitiendo que el mismo forme parte de una solución habitacional a mediano y largo plazo, que minimiza los residuos durante el proceso. En lo relativo al análisis del confort térmico basado en el modelo adaptativo, los resultados obtenidos de la simulación energética del modelo propuesto con EnergyPlus y la información de temperatura exterior del entorno, se demuestra que el nivel óptimo de confort térmico alcanzado en la vivienda temporal propuesta resulta superior en comparación con la vivienda temporal de referencia (base) y la vivienda tradicional. La misma alcanza un 59.0% de horas de confort térmico, en contraste con el 4.7% de horas de confort en la vivienda temporal de referencia y el 9.4% de horas en la vivienda tradicional. Ello permite aseverar lo postulado en la hipótesis de referencia respecto de que una vivienda modular ligera prefabricada que cuenta con estrategias de diseño sostenible, mejorará significativamente la calidad de vida en términos de confort térmico de las personas que la habiten.

A su vez, el diseño sostenible queda constatado al obtener 2 (de un máximo de 2 puntos) en la categoría Proceso Integrativo de la Certificación LEED, 10 (de un máximo de 10 puntos) en la categoría Localización y Transporte, 5 (de un máximo de 5 puntos) en la categoría Sitios Sostenibles, 15 (de un máximo de 15 puntos) en la categoría Eficiencia Hídrica, 17 (de un máximo de 40 puntos) en la categoría Energía y Atmósfera, 5 (de un máximo de 12 puntos) en la categoría Materiales y Recursos, 5 (de un máximo de 16 puntos) en la categoría Calidad Ambiental Interior, 0 (de un máximo de 6 puntos) en la categoría Innovación y, por último, 0 (de un máximo de 4 puntos) en la categoría Prioridad Regional. Ello da como resultado un total de 41 puntos, lo cual permite la obtención de una certificación LEED, representando un

reconocimiento significativo en términos de sostenibilidad y eficiencia energética. Esta certificación no sólo valida los esfuerzos de diseño sostenible, sino que también garantiza un impacto positivo en el medio ambiente y la calidad de vida de los habitantes.

Por último, en cuanto al análisis de costos, se determina el costo total para la construcción de la vivienda temporal propuesta, el cual es de 82,475.46 Bs<sup>2</sup>. En comparación, una vivienda temporal de referencia (base) tiene un costo de 34,861.19 Bs<sup>3</sup> y una de construcción tradicional, un costo de 70,110.64 Bs<sup>4</sup>. Si bien la vivienda temporal de referencia es más económica inicialmente, pueden requerir costos de mantenimiento adicionales y tener una vida útil más limitada. A su vez, la vivienda temporal propuesta presenta mayor cantidad de horas de confort al año, equivalente al 59%, resultando un costo por hora de 16.05 Bs. Por su parte, la vivienda temporal de referencia tiene el 4.7% de las horas de confort, obteniendo un costo por hora de 84.21 Bs y la vivienda tradicional, 9.4%, alcanzando un costo por hora de 98.12 Bs. En consecuencia, la vivienda temporal propuesta alcanza los mejores resultados, esto es, menor cantidad de pesos bolivianos por hora de confort al año.

## **Recomendaciones**

Se sugiere continuar con investigaciones y desarrollos en esta área para optimizar el diseño, los materiales y las tecnologías empleadas, buscando siempre mejorar la calidad de vida de las personas afectadas por desastres naturales. Adicionalmente, se recomienda implementar la adopción de viviendas modulares con contenedores a través de incentivos y programas gubernamentales; la capacitación a profesionales de la construcción y a las comunidades en el diseño, construcción y mantenimiento de estas viviendas; el establecimiento de normas y regulaciones que promuevan la construcción sostenible y la utilización de materiales reciclados; y, la promoción de la investigación, desarrollo e innovación tecnológica para mejorar la eficiencia energética y el confort térmico de las viviendas modulares.

---

<sup>2</sup> Este presupuesto incluye todos los aspectos necesarios para la construcción, desde el contenedor hasta las instalaciones sanitarias y eléctricas

<sup>3</sup> Esto abarca los materiales y la mano de obra necesarios para construir una vivienda similar a la utilizada en el mega deslizamiento, con algunas mejoras como la adición de los espacios de cocina y baño de manera independiente.

<sup>4</sup> Este presupuesto contempla los diferentes aspectos de la construcción tradicional.

En cuanto al análisis del confort térmico, la vivienda propuesta es superadora en términos de confort térmico.

La vivienda temporal de referencia presenta las temperaturas más bajas, lo que indica un deficiente aislamiento térmico y una pobre capacidad para mantener el calor, lo que puede impactar negativamente en el confort de los usuarios, especialmente en climas fríos o de alta montaña como La Paz.

En cuanto a la vivienda tradicional, aunque tiene mejores temperaturas promedio que la vivienda base, sigue siendo menos eficiente térmicamente en comparación con la vivienda propuesta. Esto sugiere que la misma puede ser potencialmente mejorada en términos de aislamiento y eficiencia energética, siendo este un estudio a realizar en próximas investigaciones.

## BIBLIOGRAFÍA

- Albadra, D., Coley, D., & Hart, J. (2018). Toward healthy housing for the displaced. *The Journal of Architecture*, 23(1), 115–136. <https://doi.org/10.1080/13602365.2018.1424227>
- ASHRAE. (2018). *ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.2-2018 Energy Efficiency Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*. <http://www.ashrae.org>
- Atmaca, A., & Atmaca, N. (2016). Comparative life cycle energy and cost analysis of post-disaster temporary housings. *Applied Energy*, 171, 429–443. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.03.058>
- Atmaca, N. (2017). Life-cycle assessment of post-disaster temporary housing. *Building Research & Information*, 45(5), 524–538. <https://doi.org/10.1080/09613218.2015.1127116>
- Brackney, L., Benne, K., Macumber, D., & Parker, A. (2018). *Building Energy Modeling with OpenStudio: A Practical Guide for Students and Professionals* (1st ed. 2018). Springer International Publishing : Imprint: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-77809-9>
- Caruso, G. D. (2017). The legacy of natural disasters: The intergenerational impact of 100 years of disasters in Latin America. *Journal of Development Economics*, 127, 209–233. <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2017.03.007>

- Creswell, J. W. (2009). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (3rd ed). Sage Publications.
- Deb, D., Dey, R., & Balas, V. E. (2019). *Engineering Research Methodology: A Practical Insight for Researchers* (Vol. 153). Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-2947-0>
- Di Gregorio, L. T., & Soares, C. A. P. (2017). Post-disaster housing recovery guidelines for development countries based on experiences in the American continent. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 24, 340–347. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.06.027>
- El derecho a una vivienda adecuada*. (2010, abril). 21, 56.
- EnergyPlus*. (s. f.). Recuperado 11 de abril de 2024, de <https://energyplus.net/quick-start>
- EnergyPlus—Weather Data by Location*. (s. f.). Recuperado 11 de abril de 2024, de [https://energyplus.net/weather-location/south\\_america\\_wmo\\_region\\_3/BOL/BOL\\_La.Paz.852010\\_IWEC](https://energyplus.net/weather-location/south_america_wmo_region_3/BOL/BOL_La.Paz.852010_IWEC)
- Félix, D., Branco, J. M., & Feio, A. (2013). Temporary housing after disasters: A state of the art survey. *Habitat International*, 40, 136–141. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2013.03.006>
- Habitat for Humanity International. (2013). *Experiencias en Respuesta a Desastres en América Latina y el Caribe*.
- Hikone, S., & Tokubuchi, M. (2014a). *Temporary Multi-storey Container House Temporary Multi-satofreyrCEonatratihnqeruHakouesaenafdeTr sEuanrtahmquiaDkeisaansdeTrsuonnamMi adriscas-11, 2011 ter on March 11, 201. 102.*
- Hikone, S., & Tokubuchi, M. (2014b). *Temporary Multi-storey Container House Temporary Multi-satofreyrCEonatratihnqeruHakouesaenafdeTr sEuanrtahmquiaDkeisaansdeTrsuonnamMi adriscas-11, 2011 ter on March 11, 201. 102.*
- Hong, Y. (2017). A study on the condition of temporary housing following disasters: Focus on container housing. *Frontiers of Architectural Research*, 6(3), 374–383. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2017.04.005>

*ISO 1496-1: Series 1 Freight Containers—Specification and Testing—Part 1, General Cargo Containers.* (s. f.).

Kibert, C. J. (2022). *Sustainable construction: Green building design and delivery* (Fifth edition). Wiley.

Lacey, A. W., Chen, W., Hao, H., & Bi, K. (2018). Structural response of modular buildings – An overview. *Journal of Building Engineering*, 16, 45–56.  
<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2017.12.008>

Lawson, M. (2019). *Design in Modular Construction*. 278.

Live, F. (s. f.). *Shipping Container Homes: Build an Eco-Friendly Home in 4 Weeks Starting at \$10,000. Avoid Mistakes, Get Plans & Designs and Boost Comfort + Bonus: Mr. Live's Formula for Spending the Bare Minimum*.

Mattoni, B., Guattari, C., Evangelisti, L., Bisegna, F., Gori, P., & Asdrubali, F. (2018). Critical review and methodological approach to evaluate the differences among international green building rating tools. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 950–960.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.105>

Ministerio de Hidrocarburos y Energías (MHE), Viceministerio de Electricidad y Energías Alternativas (VMEEA), & Niras – IP Consult para el Programa de Energías Renovables (PEERR II). (2022). *CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO EN HOGARES Y POTENCIALIDADES EN EFICIENCIA ENERGÉTICA*. Comunicación Programa de Energías Renovables (PEERR). <https://www.bivica.org/file/view/id/6365>

Nagy, G. J., Filho, W. L., Azeiteiro, U. M., Heimfarth, J., Verocai, J. E., & Li, C. (2018). An Assessment of the Relationships between Extreme Weather Events, Vulnerability, and the Impacts on Human Wellbeing in Latin America. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(9), Article 9.  
<https://doi.org/10.3390/ijerph15091802>

*OpenStudio*. (s. f.). Recuperado 11 de abril de 2024, de <https://openstudio.net/>

*Panorama de los Desastres en América Latina Y El Caribe 2000—2022*. (2023).

Rimmer, J., Schiavon, S., Schoen, L. J., Simmonds, P., Smith, A. R., Tillou, M., Turner, S. C., Williams, J. G., Emmerich, S. J., Brundage, D. M., Bidstrup, N., Corbat, M. D., Crawley, D. B., Ferguson, J. M., Gallagher, M. W., Grondzik, W. T., Kim, K. W., Gupta, V. P.,

- Kouma, L., & Hanson, S. S. (s. f.). *COMITÉ DE ESTÁNDARES DE ASHRAE 2017–2018*.
- Saffari, M., de Gracia, A., Ushak, S., & Cabeza, L. F. (2017). Passive cooling of buildings with phase change materials using whole-building energy simulation tools: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 1239–1255. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.139>
- Sandoval, V., & Sarmiento, J. P. (2020). A neglected issue: Informal settlements, urban development, and disaster risk reduction in Latin America and the Caribbean. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 29(5), 731–745. <https://doi.org/10.1108/DPM-04-2020-0115>
- seiscubos—Modelos estadísticos de confort. (s. f.). Recuperado 13 de mayo de 2024, de <https://www.seiscubos.com/conocimiento/modelos-estadisticos-confort>
- Unidad de Análisis e Investigación Municipal. (2020). *Vivienda adecuada y los Objetivos de Desarrollo Sostenible en el municipio de La Paz*.
- USGBC. (2019). *LEED v4 HOMES DESIGN AND CONSTRUCTION*.
- Wagemann, E. (2017). Need for adaptation: Transformation of temporary houses. *Disasters*, 41(4), 828–851. <https://doi.org/10.1111/disa.12228>
- WBDG | WBDG - Whole Building Design Guide. (s. f.). Recuperado 8 de mayo de 2024, de <https://www.wbdg.org/>
- Wijkman, A., & Timberlake, L. (2021). *Natural Disasters: Acts of God or Acts of Man?* Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429351969>
- Zhang, G., Setunge, S., & Van Elmpt, S. (2014). Using Shipping Containers to Provide Temporary Housing in Post-disaster Recovery: Social Case Studies. *Procedia Economics and Finance*, 18, 618–625. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(14\)00983-6](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(14)00983-6)