

Terminales verdes

Lineamientos para el diseño y construcción de terminales de transporte sostenibles y resilientes

Alexandra Alvear
Ana Milena Avendaño
Livia Minoja
Rafael Poveda
Martín Sosa
Marco Fuentes
Betty Villegas
Linda Parada
Jimena Sánchez
Eric Fischel
Gastón Michaud
Mariana Herrera
Diego Román

Banco Interamericano de Desarrollo
Sector de Infraestructura y Energía
División de Transporte

Setiembre 2025

Terminales verdes

Lineamientos para el diseño y construcción de terminales de transporte sostenibles y resilientes

Alexandra Alvear
Ana Milena Avendaño
Livia Minoja
Rafael Poveda
Martín Sosa
Marco Fuentes
Betty Villegas
Linda Parada
Jimena Sánchez
Eric Fischel
Gastón Michaud
Mariana Herrera
Diego Román

Banco Interamericano de Desarrollo
Sector de Infraestructura y Energía
División de Transporte

Setiembre 2025

Catalogación en la fuente proporcionada por la Biblioteca Felipe Herrera del Banco Interamericano de Desarrollo

Terminales verdes: lineamientos para el diseño y construcción de terminales de transporte sostenibles y resilientes / Alexandra Alvear, Ana Milena Avendaño, Livia Minoja, Rafael Poveda, Martín Sosa, Marco Fuentes, Betty Villegas, Linda Parada, Jimena Sánchez, Eric Fischel, Gastón Michaud, Mariana Herrera, Diego Román.

p. cm. — (Nota técnica del BID ; 3167)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Infrastructure (Economics)-Environmental aspects-Latin America. 2. Infrastructure (Economics)-Caribbean Area. 3. Airport terminals-Environmental aspects-Latin America. 4. Airport terminals-Environmental aspects-Caribbean Area. 5. Terminals (Transportation)-environmental aspects-Latin America. 6. Terminals (Transportation)-Caribbean Area. I. Alvear, Alexandra. II. Avendaño, Ana Milena. III. Minoja, Livia. IV. Poveda Flor, Rafael. V. Sosa, Martín. VI. Fuentes, Marco. VII. Villegas, Betty. VIII. Parada, Linda. IX. Sanchez, Jimena. X. Fishel, Eric. XI. Michaud, Gastón. XII. Herrera, Mariana. XIII. Román, Diego. XIV. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Transporte. XV. Serie. IDB-TN-3167

Códigos JEL: H54, L91, O18, Q54, R42

Palabras clave: Transporte Sostenible, Transporte Terrestre, Transporte Aéreo, Infraestructura Sostenible, Resiliencia, Infraestructura Aeroportuaria

<http://www.iadb.org>

Copyright © 2025 Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons CC BY 3.0 IGO (<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/igo/legalcode>). Se deberá cumplir los términos y condiciones señalados en el enlace URL y otorgar el respectivo reconocimiento al BID.

En alcance a la sección 8 de la licencia indicada, cualquier mediación relacionada con disputas que surjan bajo esta licencia será llevada a cabo de conformidad con el Reglamento de Mediación de la OMPI. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil (CNUDMI). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones que forman parte integral de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta obra son exclusivamente de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del BID, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



Terminales Verdes

**Lineamientos para el diseño
y construcción de terminales
de transporte sostenibles y
resilientes**

Alexandra Alvear, Ana Milena Avendaño,
Livia Minoja, Rafael Poveda, Martín Sosa, Marco Fuentes,
Betty Villegas, Linda Parada, Jimena Sánchez,
Eric Fischel, Gastón Michaud, Mariana Herrera,
Diego Román



Equipo Consultor:

Eric Fischel, Gastón Michaud, Mariana Herrera, Diego Román (Consultores externos, firma ENEX).

Equipo técnico BID:

Alexandra Alvear, Ana Milena Avendaño, Livia Minoja (Grupo de Infraestructura Social GIS), Rafael Poveda, Martín Sosa, Marco Fuentes, Betty Villegas (División de Transporte), Linda Parada, Jimena Sánchez (Representación Oficina BID Bolivia).

Diseño gráfico:

Ana Alessandra Rivas Medina.

Agradecimientos:

Queremos agradecer a las personas que hacen parte del Área de Resiliencia y Transporte Verde de la División de Transporte del BID (Mariano Ansaldi, Liseth Campos, Daniel Ramirez) y del Grupo de Infraestructura Social del BID (Wilhelm Dalaison y Maria Alejandra Escobar).

Esta investigación fue financiada por el Programa de Apoyo a la mejora de la Seguridad Operacional en el Sector Aéreo y preparación BO-L1209 del BID (BO-T1383).

El Banco Interamericano de Desarrollo apoya a los países de América Latina y el Caribe (ALC) a promover la edificación sustentable en la región. En este sentido, gracias a un esfuerzo colaborativo entre la División de Transporte (INE/TSP) y el Grupo de Infraestructura Social (GIS), la presente nota técnica destaca la importancia de la planificación de infraestructura de transporte aérea y terrestre verde en el proceso de descarbonización hacia edificios con emisiones netas cero y hacia el fortalecimiento de la resiliencia frente a los impactos del cambio climático en ALC.

	Resumen ejecutivo	1
	Introducción	2
1	El rol de la infraestructura de transporte para la acción climática	5
2	Terminales aéreas verdes: planificación y diseño	13
	2.1. Normativa y particularidades de terminales aéreas	13
	2.2. Estudio comparativo regional	16
	2.3. Estrategias de diseño por zona climática	19
	2.4. Análisis de costos y huella de carbono	30
3	Terminales terrestres verdes: planificación y diseño	32
	3.1. Normativa y particularidades de terminales terrestres	32
	3.2. Estudio comparativo regional	34
	3.3. Estrategias de diseño por zona climática	37
	3.4. Análisis de costos y huella de carbono	47
4	Conclusiones	55
	Bibliografía y/o referencias	56
	Apéndice I	61
	Estrategias de diseño verde	61
	Apéndice II	77
	Metodología de análisis	77
	Muestreo de terminales aéreas	77
	Muestreo de terminales terrestres	82
	Simulaciones EDGE	85



Resumen

Ejecutivo

El sector transporte es responsable de una parte significativa de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) a nivel mundial, siendo el transporte terrestre y aéreo los principales contribuyentes. Las terminales de transporte juegan un papel crucial en la reducción de emisiones y en la mejora de la eficiencia operativa y energética. Además, deben estar preparadas para asegurar la resiliencia y la continuidad operativa.

La planificación de terminales aéreas y terrestres debe considerar normativas internacionales y estrategias de diseño específicas para diferentes zonas climáticas. Se destacan medidas pasivas y activas para mejorar la eficiencia energética e hídrica y reducir la huella de carbono embebida en los materiales de construcción. También se incluyen recomendaciones para la fase de operación y mantenimiento de estas terminales.

La guía “Terminales Verdes” proporciona lineamientos para el diseño y construcción de terminales de transporte sostenibles y resilientes, enfocándose en la incorporación de tecnologías innovadoras y energías renovables para reducir el consumo energético y minimizar el impacto ambiental en América Latina y el Caribe (ALC). Esta investigación, apoyada por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), destaca la importancia de la infraestructura de transporte en la resiliencia y la promoción de edificaciones de cero emisiones netas.

Esta investigación propone una serie de acciones clave para la transformación de terminales de transporte terrestre (carretero) y aéreo hacia infraestructuras más verdes y resilientes que incluyen por ejemplo: auditoría energética; generación de una línea base de datos históricos; revisión y modernización de equipos mecánicos y plomería; actualización de ventanas para mejorar la eficiencia térmica; e implementación de sistemas de riego eficiente.

El documento presenta una serie de recomendaciones para la fase de operación y mantenimiento, organizadas en fichas de diseño según la zona climática. Estas fichas incluyen lineamientos para un diseño verde y resiliente.

Los edificios verdes en el sector transporte ofrecen múltiples beneficios, incluyendo la seguridad, comodidad, eficiencia energética y resiliencia frente a eventos climáticos. Estos edificios contribuyen a la reducción de costos operativos, la preservación de recursos naturales y la mejora de la calidad del aire al interior de las instalaciones, entre otros.

La guía concluye que la transformación del sector transporte es esencial para alcanzar los objetivos ambientales globales y regionales. La implementación de terminales verdes es una oportunidad para ALC de liderar en construcción resiliente y eficiente, mejorando la calidad de vida de sus habitantes y mitigando los impactos del ambiente.

 Se consideraron únicamente estaciones de transporte terrestre de autobuses o buses urbanos y estaciones bimodales, cuya principal infraestructura estudiada es del tipo buses.

Introducción

Según la Agencia Internacional de Energía (AIE), el sector del transporte es responsable de aproximadamente el 24% de las emisiones globales de dióxido de carbono (CO₂) relacionadas con la energía (AIE, 2020) principalmente debido al consumo de combustibles fósiles. Estas emisiones son un factor significativo en el calentamiento global y el cambio climático.

Particularmente, el transporte aéreo es responsable de aproximadamente el 2%-3% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI). Si bien este porcentaje puede parecer relativamente pequeño en comparación con otros sectores, el crecimiento constante del tráfico aéreo lo convierte en un área crítica para abordar las emisiones. Dentro de este contexto, los aeropuertos tienen un impacto positivo significativo, ya que pueden facilitar la eficiencia operativa y energética, promoviendo la adopción de tecnologías más limpias y el uso de energías renovables, y mejorando la gestión de residuos y la eficiencia en el consumo de agua.

En el mismo orden de ideas, el transporte terrestre supone el 11,9% de emisiones relacionadas con la actividad humana (EIA, 2016; OACI, 2020) y permite el desplazamiento

de importantes cantidades de personas a bajo costo, pero con impactos elevados en términos medioambientales. Aunque las terminales de transporte terrestre inciden en el consumo de recursos como agua y energía, el mayor impacto ambiental proviene de las unidades de transporte de combustión interna y de los esquemas operativos asociados, los cuales contribuyen significativamente a la emisión de contaminantes atmosféricos.

En este sentido, la infraestructura de transporte desempeña un papel importante en la resiliencia ante las transformaciones del medio ambiente, al prevenir y mitigar cortes del servicio, así como en servir como puntos de acceso y evacuación en situaciones de emergencia. Teniendo en cuenta lo anterior, las terminales de transporte, particularmente las terrestres y aéreas, deben estar preparadas para responder de manera rápida y efectiva a los eventos climáticos extremos, como tormentas y huracanes. Esto implica no solo la construcción y/o adaptación para contar con instalaciones robustas y seguras, sino también la implementación de planes de contingencia, protocolos de respuesta ante desastres y adopción de tecnologías innovadoras que permitan una rápida recuperación y continuidad operativa.

Existen acuerdos internacionales que subrayan la importancia de la infraestructura de transporte sostenible en la respuesta a los retos climáticos y la promoción del desarrollo sostenible, respaldada por varias investigaciones que demuestran cómo el diseño de la infraestructura de transporte urbano puede influir en las emisiones locales de GEI (Glaeser y Kahn, 2010). Estos estudios resaltan la importancia de promover modos de transporte sostenibles, como el transporte público eficiente, para reducir las emisiones y la congestión del tráfico.

La creciente demanda de tráfico aéreo y terrestre, tanto de pasajeros como de mercancías, impulsa la necesidad de construir nuevas terminales, así como de expandir, renovar y operar terminales existentes. Las terminales suelen ser el primer y último punto de llegada y salida de personas de un país o ciudad, por lo que ejercen una función esencial en el contexto de la sostenibilidad debido a su conexión directa con la movilidad urbana y la infraestructura de transporte. Según datos obtenidos en este estudio, se estima que cada terminal aérea doméstica de la región de América Latina y El Caribe (ALC) tiene en promedio 250.000 pasajeros por año, mientras que las terminales de transporte terrestre promedian más de 3,6 millones de pasajeros por año.

El diseño y funcionamiento de terminales de pasajeros tienen un impacto significativo en la sostenibilidad ambiental, económica y social de una comunidad y, además, pueden funcionar como promotores de educación pública sobre edificaciones verdes y resilientes al influir en la planificación urbana, en la reducción de emisiones y el consumo eficiente de los recursos. Las intervenciones incluyen acciones desde etapas tempranas de planificación, como, por ejemplo, el uso de tecnologías y modelos de información, diseños bioclimáticos, selección

de materiales bajos en carbono, procesos de construcción sostenible, o la integración de soluciones de energía renovable. Además, es posible proyectar actividades para la fase de operación, como, por ejemplo, el uso y mantenimiento de equipos de alta eficiencia energética, uso y mantenimiento de aparatos sanitarios que optimizan el consumo de agua, la gestión y optimización del uso de energía o el reciclaje y reutilización de residuos sólidos.

La Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA, por sus siglas en inglés), establece que la sostenibilidad ambiental debe ser parte integral de la planificación de aeropuertos, y se debe evaluar el impacto esperado de diferentes opciones de desarrollo, incluyendo la retención de infraestructura funcional y la mejora de procesos existentes. Las inversiones necesarias para convertirse en un “aeropuerto verde” pueden ser significativas, ya sea para adaptar las instalaciones existentes o construir nuevas infraestructuras de acuerdo con los estándares de carbono neto cero (IATA, 2022).

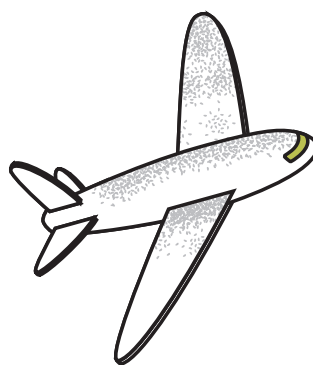
Para los efectos de este estudio, se definirá una “Terminal Verde” como una instalación diseñada, adaptada y operada con un enfoque en la sostenibilidad y la eficiencia energética, ya sea para transporte terrestre o aéreo. Con respecto a la eficiencia energética, una Terminal Verde buscará la utilización de tecnologías y buenas prácticas que reduzcan el consumo de energía, incluyendo iluminación LED, sistemas de calefacción y refrigeración eficientes, así como el uso de energías renovables. Dentro de esta categoría podrán involucrarse medidas de eficiencia a través de materiales que proporcionen un menor consumo de energía por concepto de refrigeración de áreas destinadas a pasajeros.

La gestión del agua de forma eficiente busca la implementación de sistemas de recolección y reutilización de agua de lluvia, o la incorporación de tecnologías de bajo consumo de agua en baños y áreas de mantenimiento. Por último, el uso de materiales que reduzcan el impacto ambiental, promoviendo la sostenibilidad desde la construcción y operación del edificio, es considerada para este documento también una adaptación que puede permitir a una Terminal Verde alcanzar los objetivos de ahorros energéticos.

En este estudio se analizaron diversas tipologías de terminales¹ de transporte aéreo y terrestre de ALC, con el fin de crear un estudio comparativo con regulaciones y normativas internacionales existentes. El resultado de esta investigación llevó a la creación de estrategias de diseño para terminales de transporte aéreo y terrestre, basadas en la simulación de medidas pasivas y activas de eficiencia energética e hídrica a través de la plataforma EDGE² para asegurar un ahorro mínimo necesario del 20% en las categorías de energía, agua y energía embebida en los materiales. Adicionalmente, se contemplaron criterios de diseño para aumentar la resiliencia a largo plazo de

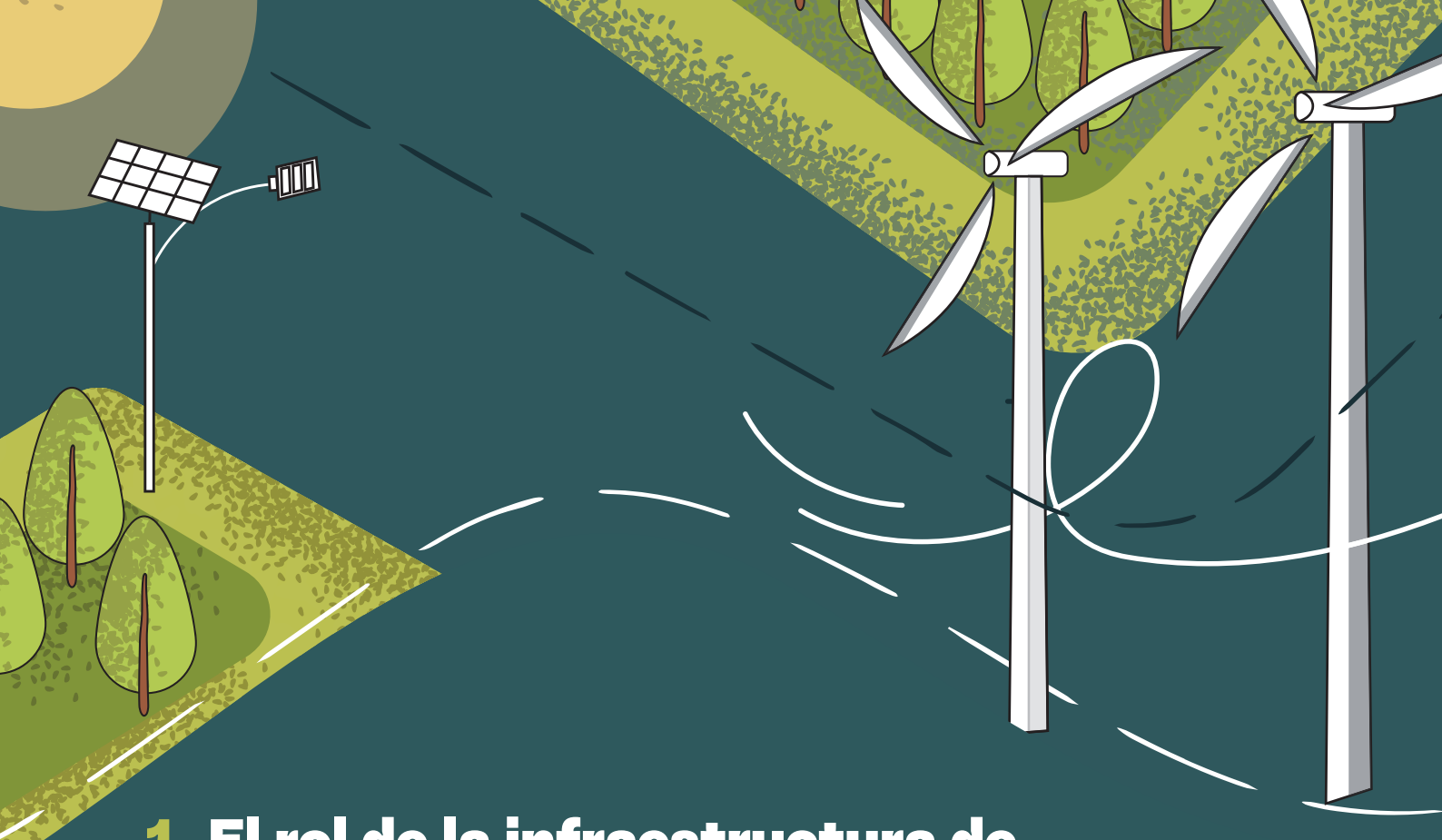
las terminales frente a eventos naturales agravados por el cambio climático.

Este documento se organiza en 4 capítulos. El primer capítulo señala el rol de la infraestructura de terminales de transporte en la agenda climática de ALC. El segundo capítulo, centrado en terminales aéreas, y el tercer capítulo, centrado en terminales terrestres, representan el foco principal del documento; estos abarcan el análisis y la creación de un estudio comparativo para la clasificación de las distintas tipologías de terminales, tanto aéreas como terrestres, con base en la normativa de organismos internacionales y nacionales, y definen estrategias de diseño para terminales de transporte bajas en carbono y resilientes para las diferentes condiciones climáticas presentes en ALC, incluyendo recomendaciones para la fase de operación y mantenimiento. El cuarto capítulo presenta una recapitulación de los principales resultados y aprendizajes recogidos. Y, finalmente, se incluye un apartado de apéndices que incorporan definiciones técnicas clave y la metodología de cálculo adoptada.



¹La selección de terminales de transporte terrestre y aéreo para este estudio se basó en la significativa contribución de estos sectores a las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI). La infraestructura de las terminales de transporte desempeña un papel crucial en la sostenibilidad ambiental y la resiliencia frente a eventos climáticos, facilitando la implementación de tecnologías limpias y prácticas sostenibles que pueden reducir significativamente las emisiones de GEI. Este enfoque integral apoya los objetivos de desarrollo sostenible y el Acuerdo de París, promoviendo un transporte más limpio y resiliente en la región.

²EDGE ("Excelencia en diseño para mayores eficiencias") es un software gratuito, un estándar de construcción sustentable y un sistema internacional de certificación de construcción sustentable. Es una innovación desarrollada por la Corporación Financiera Internacional (IFC) para responder a la necesidad de una solución medible y creíble para la construcción verde. Existen tres niveles de certificación EDGE: Nivel 1: Certificación EDGE; Nivel 2: EDGE Avanzado (Zero Carbon Ready); Nivel 3: Cero Carbono.



1. El rol de la infraestructura de transporte para la **acción climática**

No todos los países ni todas las infraestructuras de ALC están expuestas de la misma manera a las amenazas climáticas ni tienen el mismo nivel de sensibilidad ante éstas. Contar con un marco de referencia a nivel regional permite entender estas asimetrías y desarrollar acciones focalizadas en los activos de mayor exposición. Un estudio³ realizado por el Banco desarrolló un análisis regional de exposición al cambio climático, enfocado en las variables que impactarán de forma más directa a la infraestructura de transporte para los modos aéreo, marítimo y terrestre. Para los modos aéreo y marítimo, se analizaron los cambios proyectados en el nivel del mar, en relación con la ubicación y elevación actual de aeropuertos costeros y puertos marítimos de la región. En el modo terrestre, se estudió la exposición a cambios en temperaturas extremas y precipitaciones, que afectan el deterioro acelerado de pavimentos y la ocurrencia de derrumbes.

El estudio reveló que algunos aeropuertos de la región, como los de Cartagena de Indias en Colombia, Puerto Barrios en Guatemala, y Ciudad de Belice en el país homónimo, podrían experimentar incrementos significativos en el nivel del mar hacia 2100, lo que afectaría sus operaciones. Asimismo, el análisis indicó que las terminales de transporte terrestre deberán prepararse para enfrentar potenciales cambios climáticos extremos, como tormentas y huracanes, ya que su infraestructura y operatividad se verían seriamente comprometidas por estos eventos. De no tomar medidas decisivas para descarbonizar el transporte en ALC, las emisiones del sector en la región podrían incrementarse en torno al 17% para 2050 respecto a 2019, muy lejos de los niveles requeridos para lograr el objetivo del Acuerdo de París, que requiere reducir las emisiones del transporte en 47% para 2050 respecto a 2019.

³ Calatayud, Agustina, María Eugenia Rivas, Jessica Camacho, Carlos Beltrán, Mariano Ansaldo y Eduardo Café. 2019. *Transporte 2050: el camino hacia la descarbonización y la resiliencia climática en América Latina y el Caribe*. Washington D.C.: Banco Interamericano de Desarrollo.

La transformación del transporte para enfrentar eventos climáticos es una tarea que debe iniciarse de inmediato en ALC. Aunque la región tiene una participación en las emisiones globales mucho menor que otras regiones, hay razones importantes para hacer de la descarbonización y la resiliencia del transporte un objetivo clave de la política pública.

Además, las pérdidas y daños ocasionados por eventos climáticos extremos representan un desafío significativo para la región. Países como Haití, Guyana, Bahamas y Belice reportan daños anuales superiores al 2% de su PIB, mientras que en el Caribe y Centroamérica las pérdidas pueden alcanzar entre el 3% y el 5% del PIB anual. Estos impactos económicos evidencian la urgencia de fortalecer la resiliencia del sector transporte, no solo como una estrategia de mitigación, sino también como una medida clave de adaptación al cambio climático.

-  El transporte es el principal emisor de GEI en ALC, por lo que alcanzar los objetivos del Acuerdo de París en los países de la región requiere acciones en este sector.
-  El tiempo para revertir los efectos de las alteraciones en el clima se está agotando, lo que significa que los países de ALC, en el contexto de una transición justa, deben establecer para 2030 el marco habilitador y las inversiones necesarias para avanzar hacia un transporte neto cero en 2050 y cumplir con los objetivos de un marco regulatorio internacional cada vez más restrictivo en cuanto al uso de combustibles fósiles.
-  Las poblaciones vulnerables son particularmente más afectadas por estos eventos climáticos, ya que tienen patrones de asentamiento y viaje más precarios, lo que incrementa su exposición a las interrupciones en la infraestructura de transporte.
-  La transformación sistémica del sector ofrece oportunidades económicas para la región en términos de disponibilidad de producción de energía renovable para el transporte, posicionamiento estratégico en la reconfiguración de redes de transporte globales, generación de empleos verdes en el contexto de la reconversión industrial y atracción de inversiones y fondos internacionales para catalizar los cambios necesarios en el sector.

Un aspecto crucial que destacar es la necesidad de adoptar una visión sistémica de cambio, donde no solo se busque reemplazar los combustibles fósiles por fuentes de energía renovables, sino que el objetivo sea lograr un transporte más sostenible, eficiente, seguro e inclusivo, tal que brinde acceso a oportunidades para todos por igual. Para ello, es fundamental implementar acciones que transformen la manera en que se movilizan las personas y las mercancías, basadas en estrategias específicas para cada modo de transporte, la coordinación de acciones en

diferentes áreas gubernamentales y bajo el marco de un plan nacional que establezca la visión y los lineamientos generales para el sector.

Si bien los gobiernos tienen un rol importante en la materialización de esta visión, el éxito en la implementación dependerá de la creación de alianzas entre agencias públicas junto con el sector privado, la academia y la sociedad civil.

Desde una perspectiva de coordinación intersectorial con parámetros internacionales y alineados con el Acuerdo de París, la visión sistemática propone enfocarse en:



Transporte aéreo

- ✓ Incremento de eficiencia
- ✓ Descarbonización del transporte
- ✓ Sistema resiliente



Transporte terrestre

- ✓ Promoción de la inter y multimodalidad
- ✓ Reducción de viajes
- ✓ Incremento de eficiencia
- ✓ Descarbonización del transporte
- ✓ Sistema resiliente

Resiliencia del transporte

La infraestructura de transporte existente en la región ha sido diseñada bajo supuestos de clima constante. Si bien el proceso de diseño usualmente contempla la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos, tradicionalmente se asume que un evento extremo con determinada intensidad tiene una probabilidad de excedencia (o periodo de retorno) que no varía con el tiempo. Si la vida útil esperada de un determinado activo es de 100 años, el diseño probablemente se realizó contemplando únicamente las amenazas que para el año base tenían un periodo de retorno igual o inferior a 100 años. Sin embargo, debido a que los eventos climáticos extremos ocurren con mayor intensidad y frecuencia,

pueden quedar inválidos estos supuestos de diseño y hacer que la infraestructura falle antes de lo esperado. En este contexto, es necesario ajustar los estándares de diseño para contemplar las nuevas demandas asociadas al cambio climático y garantizar la resiliencia de los sistemas de transporte de la región. Es importante aclarar que esto se refiere específicamente a los efectos del diseño de infraestructura en relación con el cambio climático, sin considerar aspectos básicos como el mantenimiento preventivo y correctivo necesario para asegurar una infraestructura adecuada durante el periodo de vida útil de diseño.

Adaptar la infraestructura existente genera costos más altos que incorporar la adaptación desde la planificación. Los activos existentes de infraestructura más costosos de la región como puentes, túneles, puertos marítimos y aeropuertos en ocasiones requerirán inversiones significativas en barreras, elevaciones o cambios de ubicación para lograr soportar los efectos no previstos del cambio climático que ocurran durante su vida útil. Algunos activos, como carreteras, requerirán incrementar la frecuencia de mantenimiento para contrarrestar el efecto de temperaturas extremas y precipitaciones en el deterioro acelerado y las inundaciones. Para minimizar la necesidad de incurrir en estos costos, la infraestructura nueva deberá ser construida ajustando los periodos de retorno y magnitud de las amenazas para tener en cuenta el cambio climático, así como empleando nuevos materiales que sean más resistentes, y eligiendo ubicaciones que busquen minimizar la exposición a amenazas. Aunque diseñar para condiciones más extremas incrementará la inversión requerida durante la construcción, el valor presente neto de estos proyectos será menor, teniendo en cuenta que estos diseños representarán menores costos en el largo plazo, en comparación con los asociados a adaptar la infraestructura ya construida.

Visión estratégica

La hoja de ruta debe comenzar identificando la descarbonización y la resiliencia como prioridades de política pública para el transporte. Estas prioridades deben reflejarse tanto en el plan general de transporte como en los planes y estrategias existentes a nivel subsectorial. Es crucial que esta acción se realice a corto plazo, ya que dicha priorización facilitará la implementación de instrumentos de política necesarios para avanzar en la descarbonización y la resiliencia de las infraestructuras.

En el caso del transporte aéreo, las Agencias Nacionales de Aviación Civil de cada país

deberán promover la priorización de la descarbonización y la resiliencia dentro de la visión estratégica, preferentemente en colaboración con los ministerios de energía y medio ambiente respectivos, así como con las agencias relacionadas con el subsector aéreo. Las autoridades de aviación deben garantizar que los planes maestros a nivel de aeropuerto, generalmente elaborados por los operadores de las terminales, se realicen y/o reformulen de acuerdo con los lineamientos de esta priorización.

De manera similar, la hoja de ruta para el transporte terrestre debe identificar la descarbonización y la resiliencia climática como prioridades de política pública. Estas prioridades deben integrarse en el plan de transporte y en los planes y estrategias existentes a nivel subsectorial, como el transporte de pasajeros. Es fundamental que esta acción se lleve a cabo a corto plazo para facilitar la implementación de instrumentos de política necesarios para avanzar en la descarbonización y la resiliencia al cambio climático. A nivel institucional, esta priorización debe ser promovida por la autoridad competente en materia de planificación del transporte terrestre, con la participación de los ministerios de energía y medio ambiente, así como de las agencias relacionadas con el subsector terrestre-logístico.

La siguiente sección explora los beneficios de la incorporación de edificios verdes en el sector transporte bajo conceptos de seguridad, confort, eficiencia, gobernanza, cambio climático y el impacto que pueden generar estas infraestructuras al adoptarse tecnologías y buenas prácticas de eficiencia energética y reducción de consumo de agua. Para ello, se incluye una propuesta de 5 pasos simplificados para la planificación efectiva de edificios más verdes y resilientes con base a la zonificación climática y la guía *Edificios verdes: lineamientos para la incorporación y contabilización de medidas de mitigación y adaptación al cambio climático*, desarrollada por el BID.

Edificios verdes para el Grupo BID

Las infraestructuras o edificaciones verdes y resilientes se caracterizan por mitigar o eliminar los impactos negativos generados al ambiente durante su ciclo de vida, y por fortalecer su capacidad adaptativa frente a los impactos de desastres naturales y el cambio climático. Para el Grupo BID, un edificio es verde si cumple con los requerimientos de un sistema de certificación verde internacional o nacional reconocida.

Fuente: [Edificios verdes: lineamientos para la incorporación y contabilización de medidas de mitigación y adaptación al cambio climático.](#)

Beneficios de edificios verdes en el sector transporte

 Seguridad	 Confort	 Eficiencia
→ Infraestructura resistente frente a eventos climáticos o naturales → Continuidad del servicio de transporte	→ Mejora la calidad ambiental interior → Promueve el bienestar auditivo, lumínico y visual → Promueve el uso de materiales sostenibles y no contaminantes	→ Reduce la demanda de energía eléctrica → Mejora la gestión energética del edificio → Promueve el uso de tecnologías limpias
 Gobernanza	 Cambio Climático	 Impacto
→ Reduce costos operativos y de mantenimiento → Contribuye con metas nacionales → Promueve incentivos financieros → Genera fuentes de empleo	→ Preserva recursos naturales → Reduce la huella de carbono asociada → Reduce la generación de desechos → Impulsa la adopción de prácticas basadas en la naturaleza	→ Mejora la imagen institucional → Aumenta la atraktividad y ventas → Genera conciencia pública → Impulsa la conectividad con sistemas de transporte

Fuente: Elaboración propia.

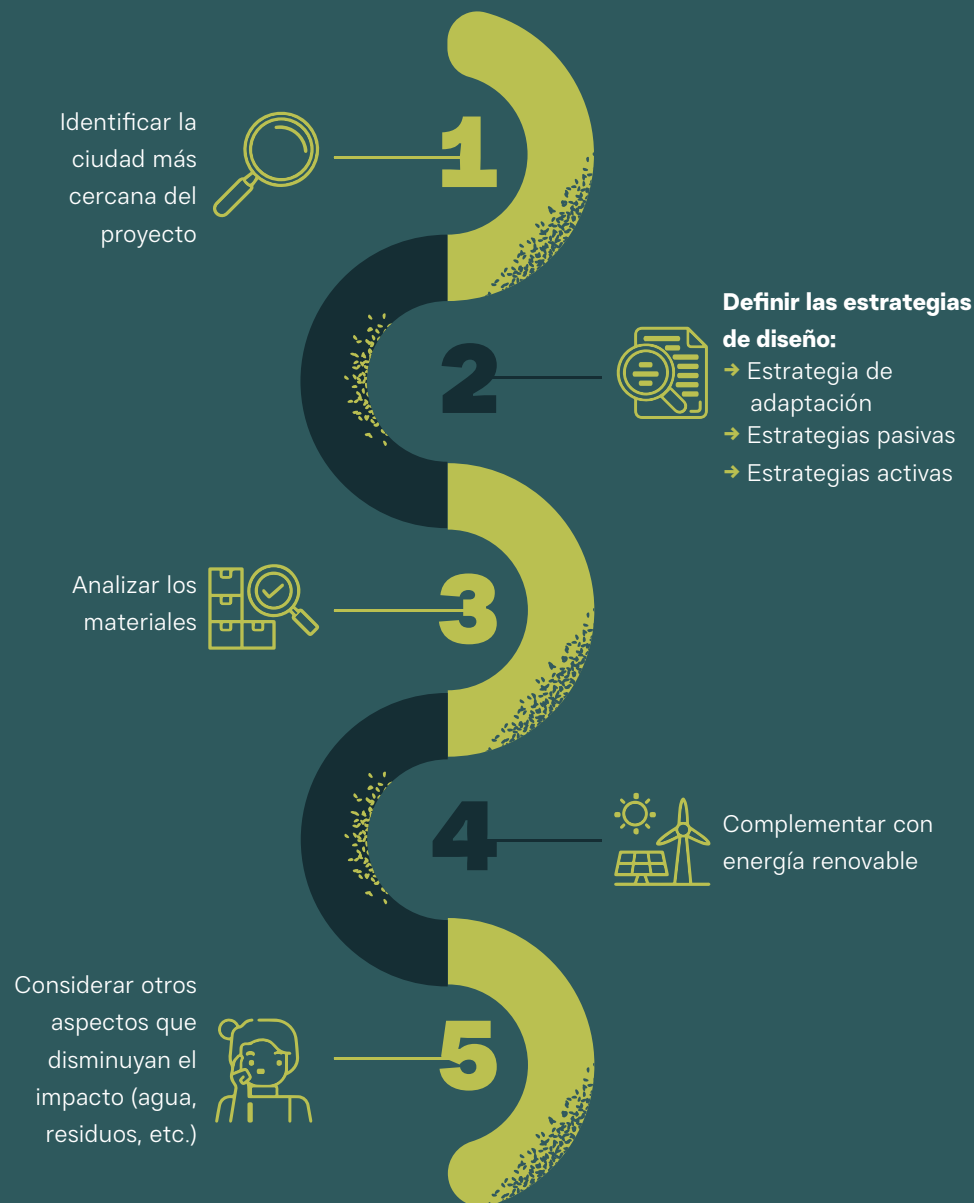
¿Cómo planificar edificios verdes y resilientes al **cambio climático**?

Planificar y diseñar edificios verdes requiere una visión holística que abarque desde el entendimiento de las condiciones climática del sitio de emplazamiento, hasta su operación diaria. Es importante considerar estrategias de diseño acordes a la zonificación climática, tomando en cuenta las condiciones climáticas locales (radiación solar, viento, humedad, lluvias, etc.) y el entorno (vegetación, infraestructura existente colindante, materiales disponibles, entre otros), con el objetivo de beneficiarse de los recursos disponibles en el entorno y protegerse de las inclemencias. Incorporar medidas de diseño bioclimático de un edificio puede disminuir su demanda del consumo energético de forma considerable. Adicionalmente, el empleo de equipamiento de alta eficiencia energética como iluminación con tecnología LED o sistemas centralizados de aire acondicionado, en complemento con la integración de tecnologías de energía renovable, como paneles solares o sistemas de geotermia, permiten alcanzar altos estándares de desempeño energético y planificar edificios con autonomía energética de bajo o casi nulo consumo de energía. Asimismo, seleccionar materiales sostenibles permite disminuir la huella de carbono generada por los edificios y proyectar su reutilización o reciclaje. Finalmente, otros aspectos como gestión de residuos o del consumo de agua, entre otros, ayudan a disminuir el impacto del edificio.

La figura a la derecha presenta 5 pasos simplificados que te permitirán guiar la planificación efectiva de edificios más verdes y resilientes.

En los capítulos 3 y 4 podrá encontrar una guía definida por zonificación climática para diseñar terminales aéreas y terrestres verdes y resilientes.

Fuente: [Edificios verdes: lineamientos para la incorporación y contabilización de medidas de mitigación y adaptación al cambio climático](#)



Fuente: Elaboración propia.

Zonas climáticas de ALC

Zonificación climática en América Latina y el Caribe:

De acuerdo con la clasificación de climas de ASHRAE⁴ en América Latina y El Caribe, este documento analiza los siguientes climas:

Climas

Extremadamente caliente

-  Zona 0A - Clima húmedo
-  Zona 0B - Clima seco

Muy caliente

-  Zona 1A - Clima húmedo
-  Zona 1B - Clima seco

Caliente

-  Zona 2A - Clima húmedo
-  Zona 2B - Clima seco

Cálido

-  Zona 3A - Clima húmedo
-  Zona 3B - Clima seco
-  Zona 3C - Clima marítimo

Mixto

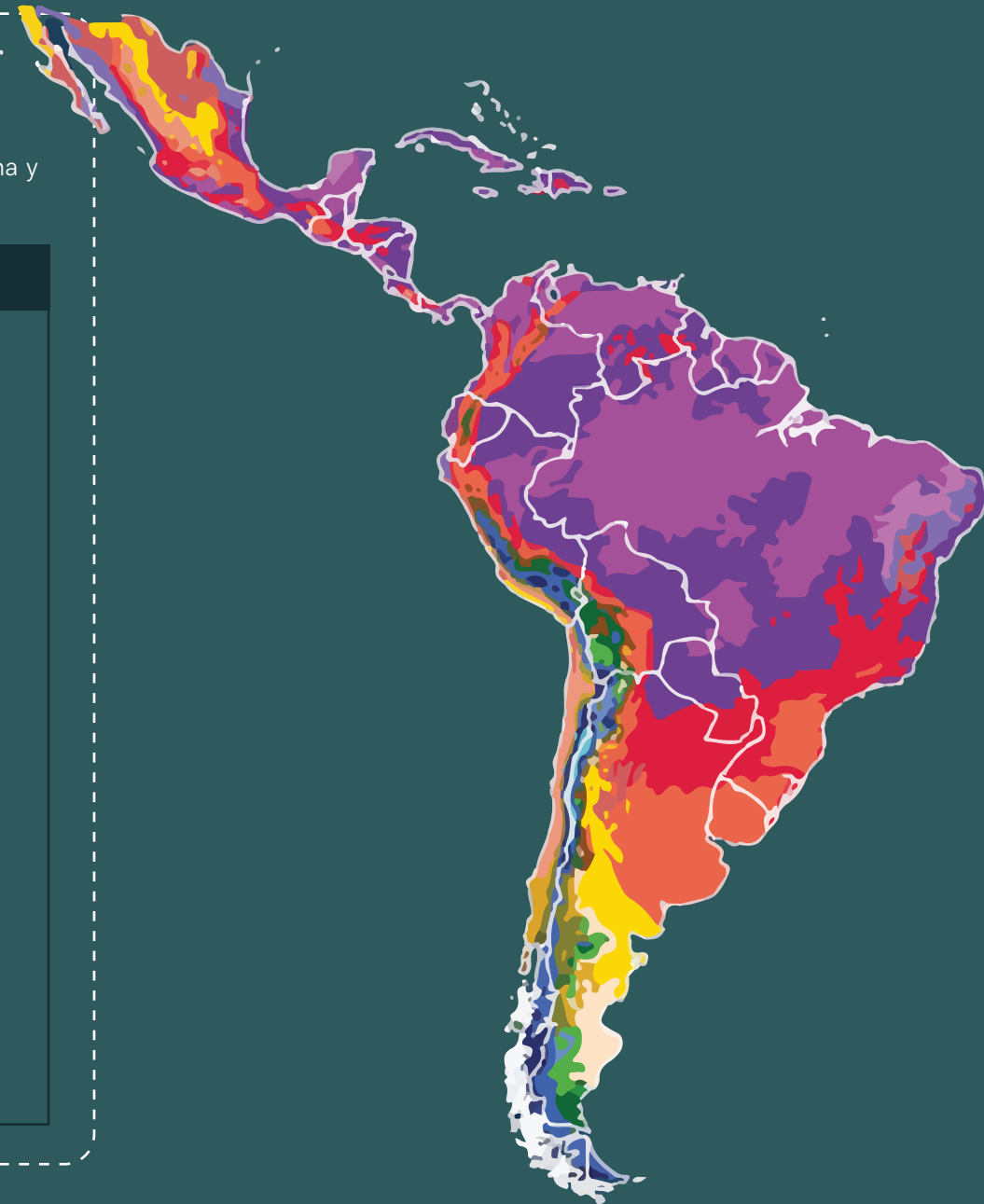
-  Zona 4A - Clima húmedo
-  Zona 4B - Clima seco
-  Zona 4C - Clima marítimo

Fresco

-  Zona 5A - Clima húmedo
-  Zona 5B - Clima seco
-  Zona 5C - Clima marítimo

Frío

-  Zona 6A - Clima húmedo
-  Zona 6B - Clima seco



⁴ Basado en el estándar ASHRAE 169-2021 *Climatic Data for Building Design Standards*. Este clasifica las zonas climáticas utilizando los criterios de bulbo seco, punto de rocío, temperaturas de bulbo húmedo, entalpía, relación de humedad, condiciones del viento, radiación solar, latitud, longitud y elevación de ubicaciones en todo el mundo. De esta manera determina 9 zonas climáticas definidas por las horas requeridas para enfriamiento o calefacción según el rango de temperaturas. Aparte de este criterio se cuenta con la clasificación por las letras A, B y C; las cuales se utilizan para denotar climas húmedos, secos o marítimos respectivamente.

País	Ciudad	Zona
Argentina	Azul	3A
	Bahía Blanca	3A
	Catamarca	2B
	Puerto Iguazú	2A
	Ceres	3A
	Chamical	2B
	Comodoro Rivadavia	4B
	Concordia	3A
	Córdoba	3A
	Corrientes	2A
	Dolores	3A
	Mendoza	3B
	Esquel	5C
	Ezeiza	3A
	Formosa	2A
	Gualeguaychú	3A
	Buenos Aires	3A
	San Salvador de Jujuy	3A
	Junín	3A
	La Rioja	2B
	Laboulaye	3A
	El Calafate	5C
	Malargüe	4B
	Mar del Plata	3A
	Marcos Juárez	3A
	Monte Caseros	2A
	Neuquén	3B
	Paraná	3A
	Paso de los Libres	2A
	Pilar	3A
	Posadas	2A
	Puerto San Julián	5B
	Reconquista	2A
	Resistencia	2A
	Río Cuarto	3A
	Río Gallegos	5B
	Río Grande	6A
	Presidencia Roque Sáenz Peña	2A
	Rosario	3A
	Salta	3A
	San Antonio Oeste	3B
	San Carlos de Bariloche	5C
	San Juan	3B
	San Luis	3B
	San Martín	3B
	San Miguel de Tucumán	2A
	San Rafael	3B
	Santa Rosa	3A
	Santiago del Estero	2B
	Sauce Viejo	3A
	Tandil	3A
	Tartagal	2A
	Trelew	3B
	Ushuaia	6A
	Viedma	3B
	Villa Dolores	3B
	Villa Reynolds	3A
Bahamas	Nassau	1A
	West End	1A
Belice	Belize City	0A
Bolivia	Cochabamba	3B

País	Ciudad	Zona
	La Paz	5A
	Santa Cruz de la Sierra	1A
Brasil	Curitiba	3A
	Anápolis	2A
	Aracaju	0A
	Bauru	2A
	Belém	0A
	Belo Horizonte	2A
	Boa Vista	0A
	Brasília	2A
	Campo Grande	1A
	Canoas	2A
	Caravelas	1A
	Confins	2A
	Cuiabá	0A
	Fernando de Noronha	0A
	Florianópolis	2A
	Fortaleza	0A
	Foz do Iguaçu	2A
	Goiânia	1A
	Ilhéus	1A
	João Pessoa	1A
	Ribeirão Preto	1A
	Londrina	2A
	Macaé	1A
	Macapá	0A
	Maceió	1A
	Manaos	0A
	Marabá	0A
	Natal	0A
	Palmas	0A
	Porto Alegre	2A
	Porto Velho	0A
	Presidente Prudente	1A
	Recife	0A
	Río Branco	0A
	Río de Janeiro	1A
	Salvador	0A
	Santa Cruz do Sul	1A
	Santa Maria	2A
	Santarém	0A
	São José dos Campos	2A
	São Luís	0A
	Congonhas	2A
	São Paulo	2A
	Teresina	0A
	Uberaba	2A
	Uberlândia	2A
	Campinas	2A
	Vitória	1A
Barbados	Seawell	0A
Chile	Balmaceda	6A
	Punta Arenas	6A
	Talcahuano	3C
	Antofagasta	3C
	Arica	3B
	Caldera	3C
	Iquique	3B
	Puerto Montt	4A
	Islas Diego Ramirez	6A
	Islotes Evangelistas	6A
	La Florida	3C
	Pudahuel	3C

País	Ciudad	Zona
	Santiago	4C
	Valparaíso	3C
Colombia	Cali	1A
	Bogotá	3A
	Barranquilla	0A
	San Andrés	0A
	Medellín	3A
	Cartagena	0A
Costa Rica	San José	2A
República Dominicana	Santiago de los Caballeros	1A
	Santo Domingo	1A
	Puerto Plata	1A
	Punta Cana	0A
Ecuador	Latacunga	3A
	Manta	1B
	Guayaquil	1A
	Quito	3A
Guatemala	Huehuetenango	3C
	Ciudad de Guatemala	2A
	Puerto Barrios	1A
	Puerto San Jose	0A
Guyana	Timehri	0A
Honduras	La Ceiba	1A
	San Pedro Sula	0A
	Tegucigalpa	2A
Haití	Puerto Príncipe	0B
Jamaica	Kingston	0A
	Montego Bay	0A
México	Acapulco	0A
	Veracruz	1A
	Cancún	1A
	Chetumal	0A
	Comitán	3C
	Culiacán	1B
	Durango	3B
	Guadalajara	3A
	Guanajuato	3B
	Hermosillo	1B
	Tuxtla Gutiérrez	1A
	Manzanillo	0A
	Mazatlán	1B
	Mérida	0A
	Mexicali	2B
	Ciudad de México	3A
	Monclova	1B
	Monterrey	2B
	Álvaro Obregón	3C
	Ramos Arizpe	3B
Puebla	Puebla	3A
	Puerto Vallarta	1A
	San Luis Potosí	3B
	Tampico	1A
	Tapachula	0A
	Tepic	2A
	Tijuana	3B

País	Ciudad	Zona
	Toluca	3A
	Torreón	2B
	Tulancingo	3C
	Tuxpan	1A
	Veracruz	1A
	Xalapa	3A
	Cozumel	0A
	Zacatecas	3C
Nicaragua	Managua	0A
Panamá	Balboa	0A
	Ciudad de Panamá	0A
Perú	Arequipa	3C
	Chiclayo	2B
	Cusco	4A
	Huanchaco	2B
	Iquitos	0A
	Lima	2B
	Pisco	2B
	Piura	1B
	Pucallpa	0A
	San Juan de Marcona	2B
Tacna	Tacna	3B
	Talara	1B
	Tumbes	1B
Paraguay	Asunción	2A
	Concepción	1A
	Ciudad del Este	2A
	Luque	2A
	Villarrica	2A
El Salvador	San Salvador	0A
Surinam	Zanderij	0A
Trinidad y Tobago	Crown Point	0A
	Piarco	0A
Uruguay	Artigas	3A
	Carrasco	3A
	Florida	3A
	Colonia del Sacramento	3A
	Melo	3A
	Montevideo	3A
	Paso de los Toros	3A
	Punta del Este	3A
	Rivera	3A
	Rocha	3A
Salto	Salto	3A
	Treinta y Tres	3A
Venezuela	Mérida	2A
	Barquisimeto	1B
	Barcelona	0B
	Guanare	0A
	San Antonio del Táchira	0A
	Porlamar	0B
	Caracas	0B
	Tacarigua de Mamporal	1A

Fuente: Adaptado de ASHRAE (2021).



2. Terminales aéreas verdes: planificación y diseño

2.1. Normativa y particularidades de terminales aéreas

El sector aéreo en ALC tuvo tasas de crecimiento destacadas en las primeras dos décadas del siglo XXI. El número de pasajeros en dicho periodo se ha más que triplicado, sobrepasando las dinámicas registradas de Europa, donde el volumen de viajeros se duplicó, y de Norte América, que tuvo un crecimiento cercano al 50% (Brichetti et al., 2021).

El flujo de pasajeros en vuelos domésticos en la región evidencia la relevancia de las terminales locales y regionales en el transporte aéreo en ALC. En Bolivia, por ejemplo, el 85,02% del total de pasajeros en 2021 correspondió a vuelos nacionales. Aunque en 2023 esta proporción se redujo ligeramente, los vuelos domésticos continuaron representando el 75% del flujo total, lo que confirma la persistente importancia del mercado interno.

Otro caso es México, en el cual, durante el periodo de 2022 a 2023, el flujo de pasajeros aéreos domésticos también superó al de pasajeros internacionales, siendo casi el doble. En el año 2022, se registraron 57,22 millones de pasajeros nacionales frente a 50,15 millones de pasajeros internacionales.

Argentina también es otro buen ejemplo de esta situación, ya que, según datos del 2022, aproximadamente el 63% de la población transportada por vía aérea fue en vuelos nacionales.

Según la IATA, un aeropuerto de clase mundial debe contar con ciertas edificaciones y espacios mínimos, tales como una pista de aterrizaje y despegue; dos calles de rodaje por cada pista; un espacio de estacionamiento para aeronaves lo suficientemente grande para

acomodar a las aeronaves de la hora pico de demanda considerada; y un control de tráfico aéreo con una torre de control dentro de las mismas instalaciones.

Parte esencial de un aeropuerto es la terminal de pasajeros, la cual debe ser diseñada para garantizar el flujo seguro y eficiente de sus usuarios, así como del sistema de manejo de equipaje. Además debe contar con elementos de soporte como terminales de carga, facilidades de mantenimiento de aeronaves, facilidades de abastecimiento de combustible, estaciones contra incendios, entre otras. De acuerdo con la IATA, las siguientes son algunas características fundamentales para el diseño de una terminal aérea de pasajeros:

-  Realiza un monitoreo constante y preciso del clima para poder operar de manera segura.
-  Es adaptable y cuenta con capacidad de expansión, debido a que este tipo de edificación suele estar bajo constantes modificaciones, como de ajustes de capacidad, reacomodo de zonas, cambios en la regulación, entre otros.
-  Es compatible y flexible respecto al tipo de aeronave que reciben, ya que los modelos de avión cambian constantemente. Se proyecta que las dimensiones de los aviones aumenten con el paso de los años.
-  Cuenta con diseños centralizados que permite que los elementos esenciales estén en un solo complejo y cerca uno de otro.
-  Tiene diseños económicamente efectivos mediante técnicas de diseño y construcción que reducen los costos del proyecto y, a su vez, garantizan su correcto funcionamiento.

Las propuestas para construir nuevas instalaciones para terminales de pasajeros, o ampliar las existentes, deben incluir un caso de negocio detallado y un análisis de costo-beneficio, demostrando beneficios claros como un aumento en la capacidad, una mejora en la experiencia del pasajero y la eficiencia operativa, junto con soluciones de diseño sostenible. Estos casos de negocio

deben considerar no solo el gasto de capital requerido (CAPEX), sino también el costo del ciclo de vida completo del proyecto, teniendo en cuenta los costos operativos y de reparaciones (OPEX/REPEX) y la tasa de descuento del proyecto, para equilibrar la inversión inicial con las necesidades de mantenimiento continuo.

Por su parte, la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI o ICAO, por sus siglas en inglés) recomienda prácticas para promover la sostenibilidad ambiental en la aviación. Algunas de estas recomendaciones incluyen:



Uso de energías renovables

Fomentar la adopción de fuentes de energía renovable, como la solar, eólica y biocombustibles⁵, para alimentar las instalaciones aeroportuarias y las operaciones en tierra.



Eficiencia energética

Implementar tecnologías y prácticas eficientes en el uso de la energía en las operaciones aeroportuarias, incluyendo el uso de iluminación LED, sistemas HVAC eficientes y diseños de edificios que reduzcan el consumo energético.



Gestión de residuos

Promover prácticas efectivas de gestión de residuos, como el reciclaje, el compostaje y la reducción de plásticos de un solo uso en las instalaciones aeroportuarias.



Conservación del agua

Implementar medidas de ahorro de agua, como accesorios de bajo flujo, sistemas de recolección de agua de lluvia y prácticas de riego eficientes.



Diseño sostenible de edificios

Incorporar principios de diseño sostenible en la construcción y renovación de terminales aeroportuarias, como el uso de materiales ecológicos, la maximización de la luz natural y la mejora del aislamiento.

Otros estándares y referencias internacionales relevantes incluyen: el Anexo 14 de la OACI⁶, que proporciona especificaciones sobre el diseño y operación de aeropuertos, incluyendo aspectos de seguridad y materiales de construcción; la Guía Técnica para la Elaboración del Manual de

Aeropuerto⁷ de España, que aborda aspectos de seguridad operacional y estructural incluye recomendaciones sobre materiales adecuados para techos y otras superficies; la Norma Internacional ISO 20887:2023⁸, que establece criterios para diseñar edificaciones adaptables para usos presentes y futuros,

⁵ Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). s.f. *A Focus on the production of renewable energy at the Airport site*. Eco Airport Toolkit e-collection.

⁶ Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). 2022. *Annex 14. Aerodromes. Volume 1. Aerodrome Design and Operations*.

⁷ Agencia Estatal de Seguridad Aérea de España (AESA). 2012. *Guía técnica para la elaboración del manual de aeropuerto*.

⁸ Asociación Española de Normalización (UNE). 2023. *UNE-ISO 20887:2023 Sostenibilidad en edificios y obras de ingeniería civil. UNE-ISO 20887:2023. Diseño para el desmontaje y la adaptabilidad. Principios, requisitos y directrices*.

promoviendo la construcción sostenible y por último, la PNE-PR EN 13036-89 la cual establece las características superficiales de carreteras y superficies aeroportuarias para España, encontrándose aún en tratamiento. Respecto a la clasificación de terminales de transporte aéreo, se puede emplear la clasificación de la Administración Federal de Aviación de los Estados Unidos (FAA, por sus siglas en inglés) según el volumen de vuelos programados a los aeropuertos o por el tipo de aeronaves que puede atender, así:

✔ **Aeropuertos generales, de servicio comercial no primario y primario:** Un aeropuerto se considera de servicio general si este tiene al menos 2.500 vuelos programados al año. Si el número de vuelos programados al año oscila entre 2.500 y 10.000, el aeropuerto se considera de servicio comercial no primario. Si, por el contrario, el número supera los 10.000 vuelos programados al año, este se considera un aeropuerto de servicio comercial primario. Aquellos aeropuertos que no cumplan con el número mínimo de vuelos programados por año se consideran como aeropuertos de aviación general.

✔ **Aeropuerto de clase Uno, Dos, Tres y Cuatro:** Un aeropuerto clase uno es aquel que pueda atender operaciones programadas y no programadas de aeronaves grandes. Un aeropuerto clase dos es aquel que puede atender operaciones programadas de aeronaves pequeñas, pero solo operaciones no programadas de aeronaves grandes. Un aeropuerto de clase tres es aquel que solo puede atender operaciones programadas de aeronaves pequeñas. Finalmente, la clase de aeropuerto tipo cuatro está reservada para aeropuertos que solamente puedan atender operaciones

no programadas de aeronaves grandes. Estos últimos aeropuertos son más utilizados en caso de requerir amortiguar la demanda en los principales aeropuertos del país. La FAA considera como aeronave grande cualquier aeronave con al menos 31 asientos designados para pasajeros, y una aeronave pequeña aquella que cuente con entre 9 y 30 asientos para pasajeros.

Esta clasificación de terminales fue relevante para el mapeo y análisis comparativo de los aeropuertos de la región, considerando criterios como la demanda anual, la superficie disponible y los requerimientos de cada tipología de aeropuertos por zona climática para la construcción de estrategias de diseño específicas.

2.2. Estudio comparativo regional

La presente publicación consideró el estudio de 73 aeropuertos ubicados en 18 países de ALC, con mayor concentración en Argentina (16) y México (12), debido la disponibilidad de información en estos países. El **Apéndice II** presenta una matriz que compila las terminales aéreas analizadas.

Este estudio brindó información sobre cantidad de pasajeros anuales, área total de las terminales de pasajeros, área de locales comerciales alquilados, el tipo de aeronaves que están previstos para estas terminales e, incluso, datos de dimensiones de sus pistas de aterrizaje y de sus plataformas de estacionamiento. Además, los datos acerca de la cantidad de pasajeros desde el año 2007 hasta el año 2020 permitió obtener índices del comportamiento histórico de estos aeropuertos y realizar una proyección de flujo futuro de pasajeros.

⁹Asociación Española de Normalización (UNE). PNE-prEN 13036-8. *Características superficiales de carreteras y superficies aeroportuarias. Métodos de ensayo. Parte 8: Determinación de los índices de regularidad superficial transversal*. (Proyecto de norma europea en tratamiento).

Figura 1. Ubicación de las terminales aéreas consideradas para el estudio.

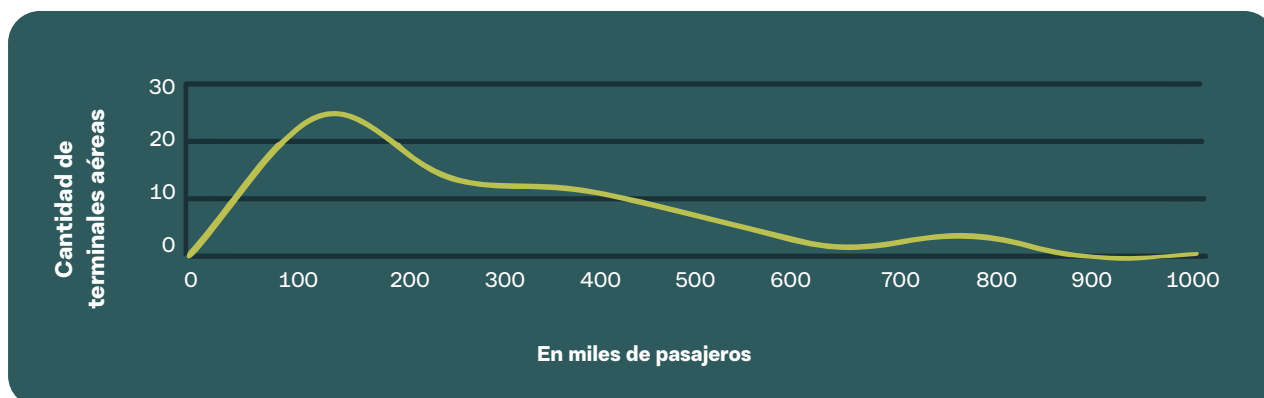


Fuente: Elaboración propia.

La media aritmética del flujo de pasajeros en las terminales consideradas es de aproximadamente 250.000 pasajeros por año. No obstante, como se observa en la figura a continuación, la mayoría de las terminales registran un flujo inferior, ya que el número de terminales alcanza un pico en los valores por debajo de 200.000 pasajeros por año. Esto indica que la distribución de los flujos de pasajeros no es simétrica y presenta un sesgo positivo, es decir, hay menos terminales en los rangos de mayor flujo, pero con una dispersión más amplia hacia valores altos. En esta línea, la IATA señala que se espera

un crecimiento tanto en el flujo de pasajeros en los aeropuertos como en las dimensiones de las aeronaves que aterrizan en ellos. Por lo tanto, es razonable considerar que, en el futuro, el pico mostrado en la figura se desplace hacia la derecha y que el valor de la mediana aumente. Para el análisis de diseño de terminales aéreas sostenibles presentado en este documento, se ha tomado como referencia el flujo promedio de 250.000 pasajeros por año, con el objetivo de garantizar que se satisfagan las necesidades de la mayoría de las terminales de la región a largo plazo.

Figura 2. Distribución de terminales aéreas según su flujo de pasajeros por año.

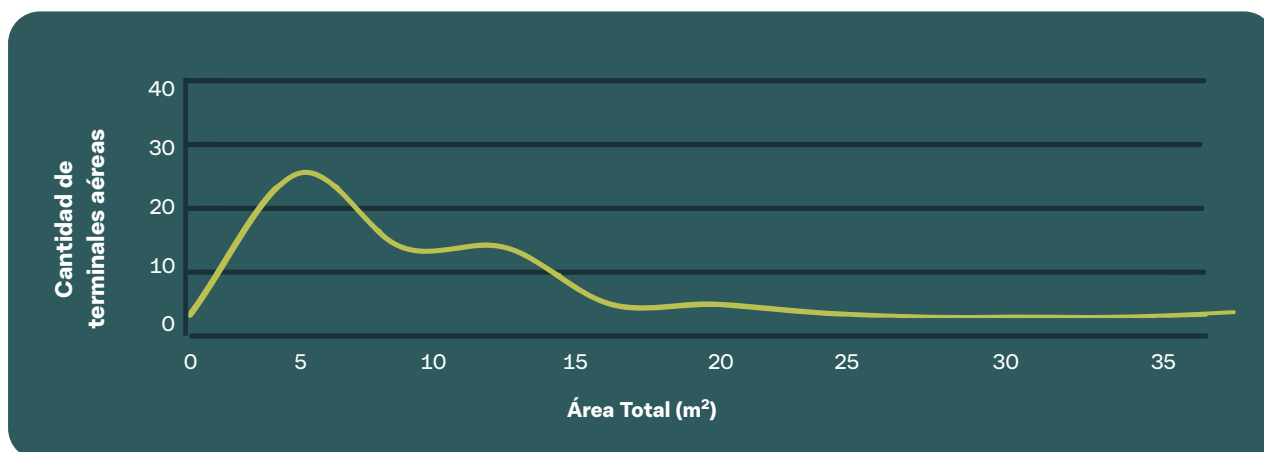


Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la proyección de área total, en la siguiente figura se observa un pico más pronunciado que el del caso anterior. Este se presenta alrededor de los 4.000 m². El valor obtenido de mediana para esta serie de datos fue de aproximadamente 4.300 m², que corresponde a un valor cercano al pico del histograma. La media aritmética, por su parte, fue de 6.300 m². Es importante notar que esta gráfica, al igual que la mostrada

en la figura anterior, muestra sesgo positivo, aunque en este caso es más pronunciado, debido a casos atípicos con áreas de emplazamiento sobre los 20.000 m². Para el análisis de diseño de terminales aéreas verdes presentado en este documento, en línea con el estudio de áreas de emplazamiento, se consideró el valor de la mediana de 4.300 m².

Figura 3. Cantidad de terminales aéreas según su área total.

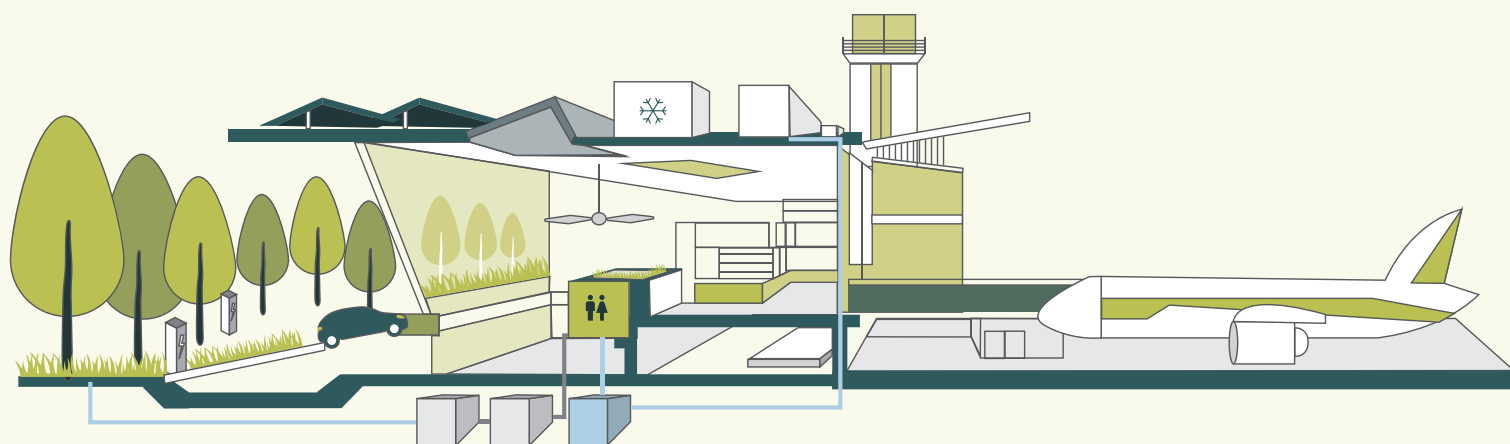


Fuente: Elaboración propia.

2.3. Estrategias de diseño por zona climática

A partir del estudio comparativo regional de terminales aéreas, se desarrolló un prototipo base que permitió identificar estrategias de diseño verde y resiliente, adaptadas a las distintas zonas climáticas de ALC. La siguiente figura presenta un esquema de este prototipo de terminal aérea que incorpora desde los servicios comerciales a ser considerados hasta una configuración arquitectónica y definición de áreas de construcción orientativas.

Figura 4. Prototipo de terminal aérea para selección de estrategias de diseño.



 Parada de taxi	 Sala de espera	 Locales comerciales	 4.300 m ² internos	 50 m x 135 m de dimensión
 Restaurantes	 Administración	 Boletería	 6.750 m ² de iluminación externa	 500 m ² de riego
 Servicios higiénicos	 Servicios sanitarios	 10.000 personas diarias	 2025 m ² de área de parqueo	

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan fichas de diseño por zona climática y cada una de ellas incluye recomendaciones y estrategias de diseño verde, criterios de diseño resiliente, así como consideraciones para la fase de operación y mantenimiento. Adicionalmente, se presentan los resultados del desempeño energético e hídrico obtenido a través de una serie de simulaciones en el software de Excelencia en diseño para mayores eficiencias EDGE (Excelencia en Diseño para Mayores Eficiencias), que permiten dejar constancia de la aplicación efectiva de las medidas seleccionadas.

Las medidas de diseño recomendadas y presentadas en estas fichas son aplicables a cualquier configuración arquitectónica. No obstante, los resultados de ahorro de recursos energéticos e hídricos, así como su huella de carbono, están condicionados a los diseños finales de cada proyecto y del uso de plataformas como la mencionada EDGE.

Algunas de estas estrategias de diseño por zona climática, fueron adoptadas en el *Programa de Infraestructura Aérea, Etapa II* que financia el Banco para el Gobierno de Bolivia y que busca mejorar la infraestructura aérea en las ciudades de Tarija y Uyuni. El programa contribuirá a través de la construcción de techos preparados para granizadas, equipos meteorológicos para la detección temprana y toma de decisiones de operaciones aéreas asociadas con tormentas eléctricas y otros, así como con la construcción de nuevos sistemas de drenaje, entre otras medidas de mitigación a los efectos de cambio climático. Con respecto a la adaptación de infraestructura, el programa prevé la

incorporación de arquitectura bioclimática en terminales para disminuir los impactos ambientales y los consumos de energía y agua final, la generación de energía fotovoltaica en el aeropuerto de Uyuni (en el Departamento de Potosí), la utilización de materiales de construcción reciclados en márgenes de pista, gestión de residuos sólidos y la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales en el aeropuerto. Se espera que con el programa y las intervenciones de mitigación y adaptación de la infraestructura aérea para reducir los efectos de cambio climático se consigan ahorros de al menos el 20% en el consumo de energía y agua en la operación, y reducción en la huella de carbono en la etapa de construcción.

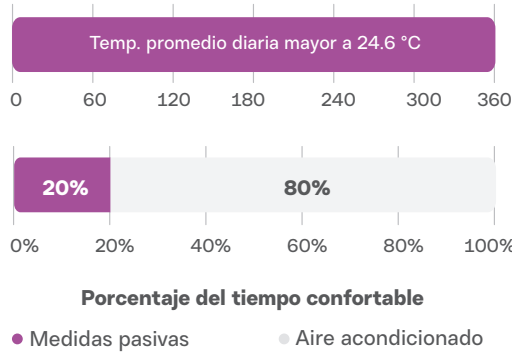


Ficha de diseño



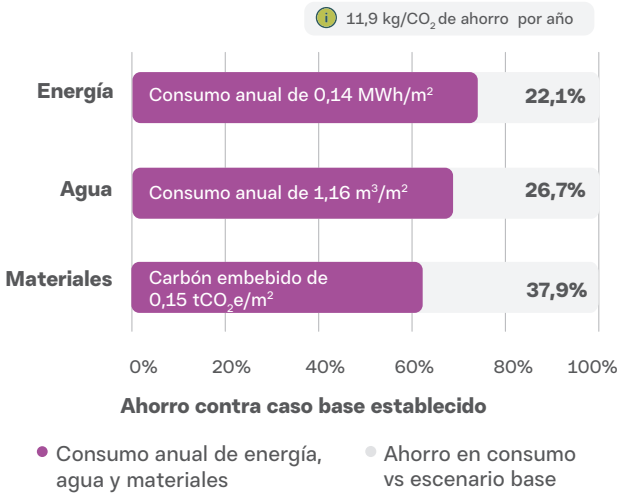
Clima extremadamente caliente (Zona O - A y B)

N° de días al año vs rango de temperatura



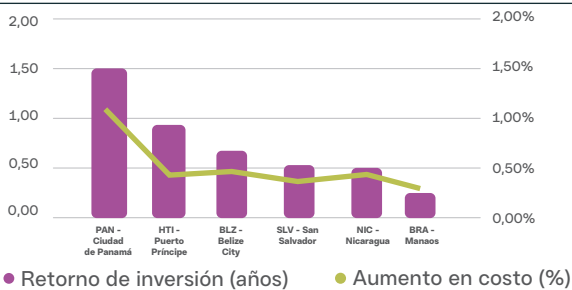
El "tiempo de confort" indica el porcentaje del tiempo en que las condiciones térmicas son agradables sin necesidad de aire acondicionado, gracias a estrategias pasivas como ventilación natural y sombreado.

Distribución del tiempo confortable según estrategias de climatización

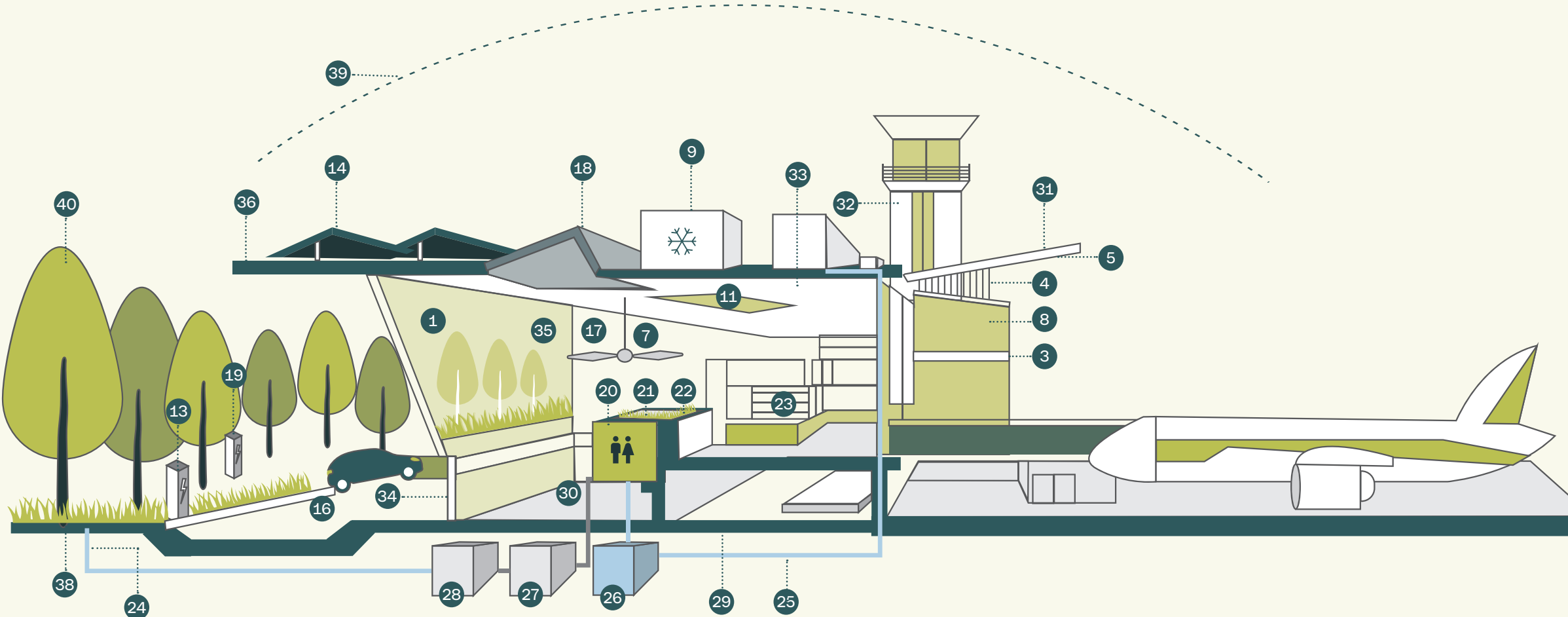


El "ahorro contra caso base establecido" se refiere a la reducción en el consumo de energía, agua y emisiones de carbono en comparación con un caso de referencia estándar, usado como punto de partida para evaluar mejoras en eficiencia y sostenibilidad.

Desempeño de energía, agua y materiales con ahorro frente al caso base



El "retorno de inversión (años)" indica el tiempo estimado en que los ahorros generados por una mejora compensan su costo inicial, reflejando la viabilidad económica de la inversión.



Estrategias de diseño

- 30% relación muro-ventana.
- Reflectividad solar para cubierta: No aplica para aeropuertos.
- Reflectividad solar para muros: SRI (Solar Reflectance Index) de 90.
- Utilizar parasoles y aletas para minimizar ganancia de calor por radiación.
- Cubierta con aislamiento: Valor U de 0,63 W/m²·K*.
- Aislamiento del suelo / losa de suelo elevado: Valor U de 0,49 W/m²·K*.
- Paredes con aislamiento: Valor U de 3,12 W/m²·K*.
- Eficiencia del vidrio: Valor U de 6,18 W/m²·K; SHGC de 0,4 y VT de 0,45*.
- Eficiencia del sistema de refrigeración: EER (Energy Efficiency Ratio) de 12 o 13 Btu/hW.
- Sistema de agua caliente sanitaria eléctrico con eficiencia superior a 90%.
- Iluminación eficiente para áreas internas: 100 L/W.
- Iluminación eficiente para áreas externas: 100 L/W.
- Medidores inteligentes de energía.
- Generación de energía renovable.
- Ventilación natural.
- Disminución del efecto de la isla de calor.
- Abanicos.
- Iluminación natural por medio de tragaluces.
- Cargadores eléctricos para vehículos.
- Grifos de bajo consumo de agua para todos los baños: 2 L/min.
- Inodoros/fluxómetros eficientes para todos los baños: 4,8 L la descarga.
- Orinales eficientes de agua: 0,5 L/descarga.
- Grifos de bajo consumo de agua para fregaderos de

- cocina: 6 L/min.
- Riego por goteo de agua tratada.
- Recolección de agua de lluvia.
- Almacenamiento de agua de lluvia para descarga de inodoros.
- Tratamiento de aguas grises (lavamanos y duchas) para riego o recarga de inodoros.
- Tratamiento de aguas grises (lavamanos).
- Losa de hormigón | Losa convencional reforzada in situ: 20 kg/m².
- Pisos con acabado cerámico.
- Techo metálico | Panel sándwich revestido de acero.
- Bloques de hormigón | Bloques huecos de peso medio para paredes externas: 150 mm.
- Bloques de hormigón | Bloques huecos de peso medio para paredes internas: 150 mm.
- Marcos de ventana de aluminio.
- Vidriado simple o insulated.
- Espuma de poliestireno en aerosol o aislamiento de tableros para la composición de cubierta: 54,9 mm.

Resiliencia

- Control contra erosión.
- Manejo de escorrentías y verificación de niveles contra inundación.
- Orientación del edificio para aprovechamiento y disminución de consumo de energía.
- Vegetación nativa.

Otras estrategias

- Revisar datos históricos de vientos, inundaciones e incendios y tomar las precauciones en el diseño.
- Incluir sistemas de retención de aguas pluviales para

- tormentas cada 100 años o más.
- Maximizar las superficies permeables en el sitio.
- Mantener equipos electromecánicos y áreas ocupadas al menos 3 m sobre nivel del río/lago/mar más cercano.
- Revisión de diseño y construcción para garantizar que cumple con el código local vigente sobre prevención y manejo de incendios.

Operación y mantenimiento

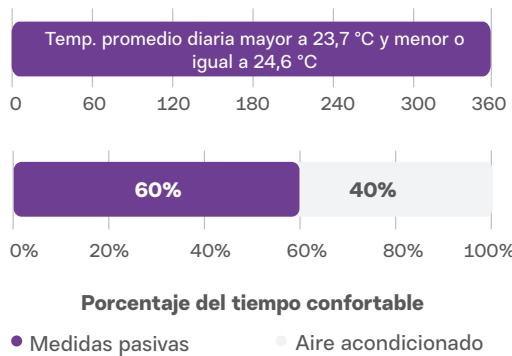
- Verificación y puesta en marcha de los sistemas electromecánicos para confirmar la operación según los parámetros de diseño.
- Manual de operaciones completo con requerimientos operativos actualizados.
- Control de consumo mensual de energía y agua para crear una línea base comparativa.
- Medición anual de los parámetros de calidad del aire interior: CO₂, TVOC (Total Volatile Organic Compounds), PM 2,5.
- Limpieza de filtros de aire fresco y aire acondicionado.
- Mantenimiento de áreas externas y revisión del sistema pluvial para evitar inundaciones.
- Limpieza semestral del sistema de energía fotovoltaica.
- Manejo y control de plagas.
- Pruebas anuales de agua potable.
- Control de fugas de refrigerante del sistema de aire acondicionado.
- Control de humedad y filtraciones.

*El valor U mide la transmitancia térmica, el SHGC indica la ganancia de calor solar, y VT representa la cantidad de luz visible transmitida.

Ficha de diseño

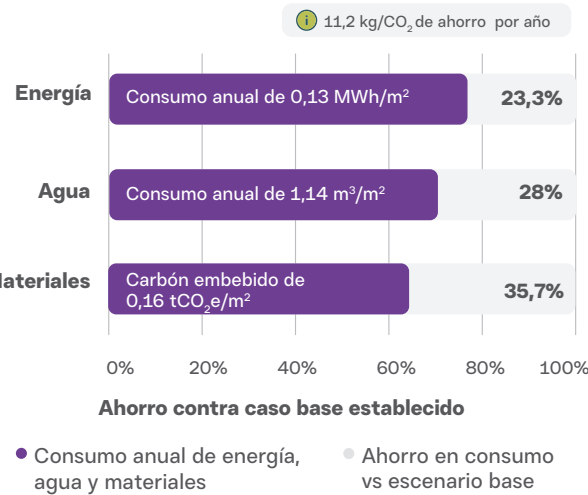
Clima
muy caliente
(Zona 1 - A y B)

N° de días al año vs rango de temperatura



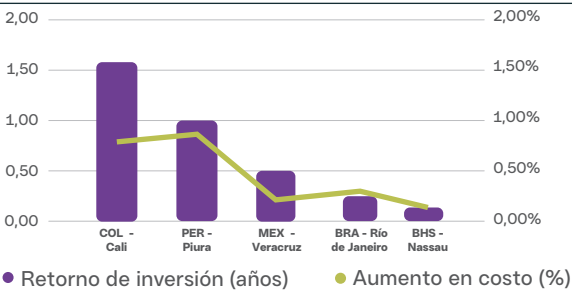
El "tiempo de confort" indica el porcentaje del tiempo en que las condiciones térmicas son agradables sin necesidad de aire acondicionado, gracias a estrategias pasivas como ventilación natural y sombreado.

Distribución del tiempo confortable según estrategias de climatización

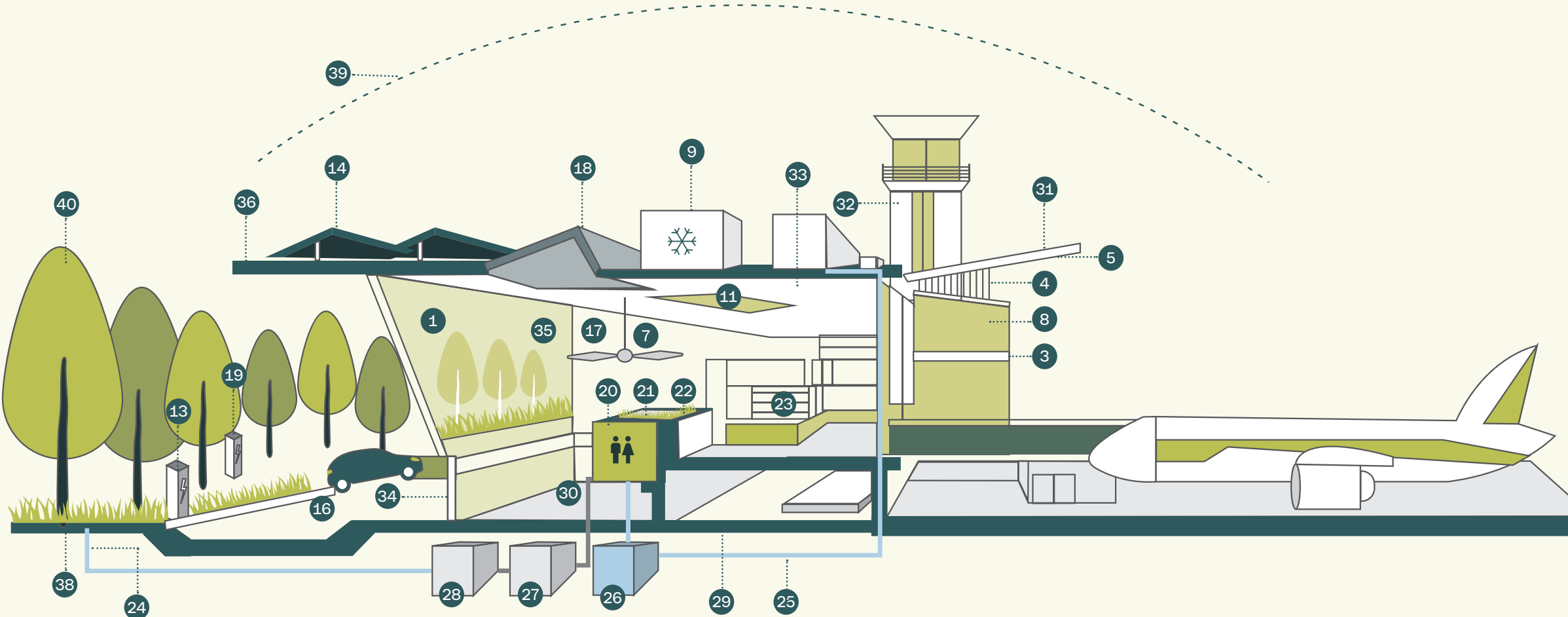


El "ahorro contra caso base establecido" se refiere a la reducción en el consumo de energía, agua y emisiones de carbono en comparación con un caso de referencia estándar, usado como punto de partida para evaluar mejoras en eficiencia y sostenibilidad.

Desempeño de energía, agua y materiales con ahorro frente al caso base



El "retorno de inversión (años)" indica el tiempo estimado en que los ahorros generados por una mejora compensan su costo inicial, reflejando la viabilidad económica de la inversión.



Estrategias de diseño

- 30% relación muro-ventana.
- Reflectividad solar para cubierta: No aplica para aeropuertos.
- Reflectividad solar para muros: SRI (Solar Reflectance Index) de 90.
- Utilizar parasoles y aletas para minimizar ganancia de calor por radiación.
- Cubierta con aislamiento: Valor U de 0,63 W/m²·K*.
- Aislamiento del suelo / losa de suelo elevado: Valor U de 0,49 W/m²·K*.
- Paredes con aislamiento: Valor U de 3,12 W/m²·K*.
- Eficiencia del vidrio: Valor U de 6,18 W/m²·K; SHGC de 0,4 y VT de 0,45*.
- Eficiencia del sistema de refrigeración: EER (Energy Efficiency Ratio) de 12 o 13 Btu/hW.
- Sistema de agua caliente sanitaria eléctrico con eficiencia superior a 90%.
- Iluminación eficiente para áreas internas: 100 L/W.
- Iluminación eficiente para áreas externas: 100 L/W.
- Medidores inteligentes de energía.
- Generación de energía renovable.
- Ventilación natural.
- Disminución del efecto de la isla de calor.
- Abanicos.
- Iluminación natural por medio de tragaluces.
- Cargadores eléctricos para vehículos.
- Grifos de bajo consumo de agua para todos los baños: 2 L/min.
- Inodoros/fluxómetros eficientes para todos los baños: 4,8 L la descarga.
- Orinales eficientes de agua: 0,5 L/descarga.
- Grifos de bajo consumo de agua para fregaderos de

- cocina: 6 L/min.
- Riego por goteo de agua tratada.
- Recolección de agua de lluvia.
- Almacenamiento de agua de lluvia para descarga de inodoros.
- Tratamiento de aguas grises (lavamanos y duchas) para riego o recarga de inodoros.
- Tratamiento de aguas grises (lavamanos).
- Losa de hormigón | Losa convencional reforzada in situ: 20 kg/m².
- Pisos con acabado cerámico.
- Techo metálico | Panel sandwich revestido de acero.
- Bloques de hormigón | Bloques huecos de peso medio para paredes externas: 150 mm.
- Bloques de hormigón | Bloques huecos de peso medio para paredes internas: 150 mm.
- Marcos de ventana de aluminio.
- Vidriado simple o insulated.
- Espuma de poliestireno en aerosol o aislamiento de tableros para la composición de cubierta: 54,9 mm.

Resiliencia

- Control contra erosión.
- Manejo de escorrentías y verificación de niveles contra inundación.
- Orientación del edificio para aprovechamiento y disminución de consumo de energía.
- Vegetación nativa.

Otras estrategias

- Revisar datos históricos de vientos, inundaciones e incendios y tomar las precauciones en el diseño.
- Incluir sistemas de retención de aguas pluviales para

- tormentas cada 100 años o más.
- Maximizar las superficies permeables en el sitio.
- Mantener equipos electromecánicos y áreas ocupadas al menos 3 m sobre nivel del río/lago/mar más cercano.
- Revisión de diseño y construcción para garantizar que cumple con el código local vigente sobre prevención y manejo de incendios.

Operación y mantenimiento

- Verificación y puesta en marcha de los sistemas.
- electromecánicos para confirmar la operación según los parámetros de diseño.
- Manual de operaciones completo con requerimientos operativos actualizados.
- Control de consumo mensual de energía y agua para crear una línea base comparativa.
- Medición anual de los parámetros de calidad del aire interior: CO₂, TVOC (Total Volatile Organic Compounds), PM 2,5.
- Limpieza de filtros de aire fresco y aire acondicionado.
- Mantenimiento de áreas externas y revisión del sistema pluvial para evitar inundaciones.
- Limpieza semestral del sistema de energía fotovoltaica.
- Manejo y control de plagas.
- Pruebas anuales de agua potable.
- Control de fugas de refrigerante del sistema de aire acondicionado.
- Control de humedad y filtraciones.

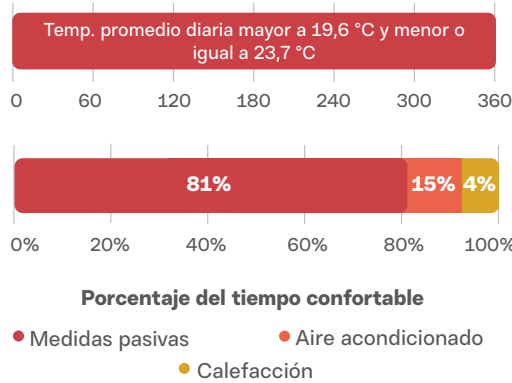
*El valor U mide la transmitancia térmica, el SHGC indica la ganancia de calor solar, y VT representa la cantidad de luz visible transmitida.

Ficha de diseño



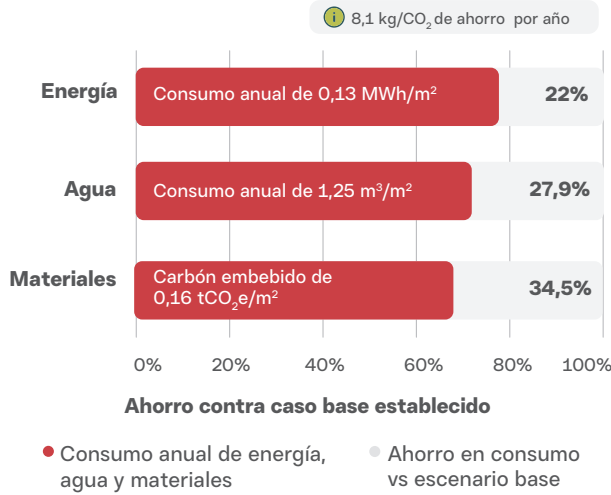
Clima
caliente
(Zona 2 - A y B)

N° de días al año vs rango de temperatura



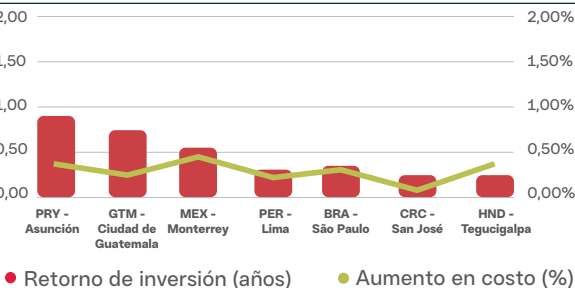
El "tiempo de confort" indica el porcentaje del tiempo en que las condiciones térmicas son agradables sin necesidad de aire acondicionado, gracias a estrategias pasivas como ventilación natural y sombreado.

Distribución del tiempo confortable según estrategias de climatización

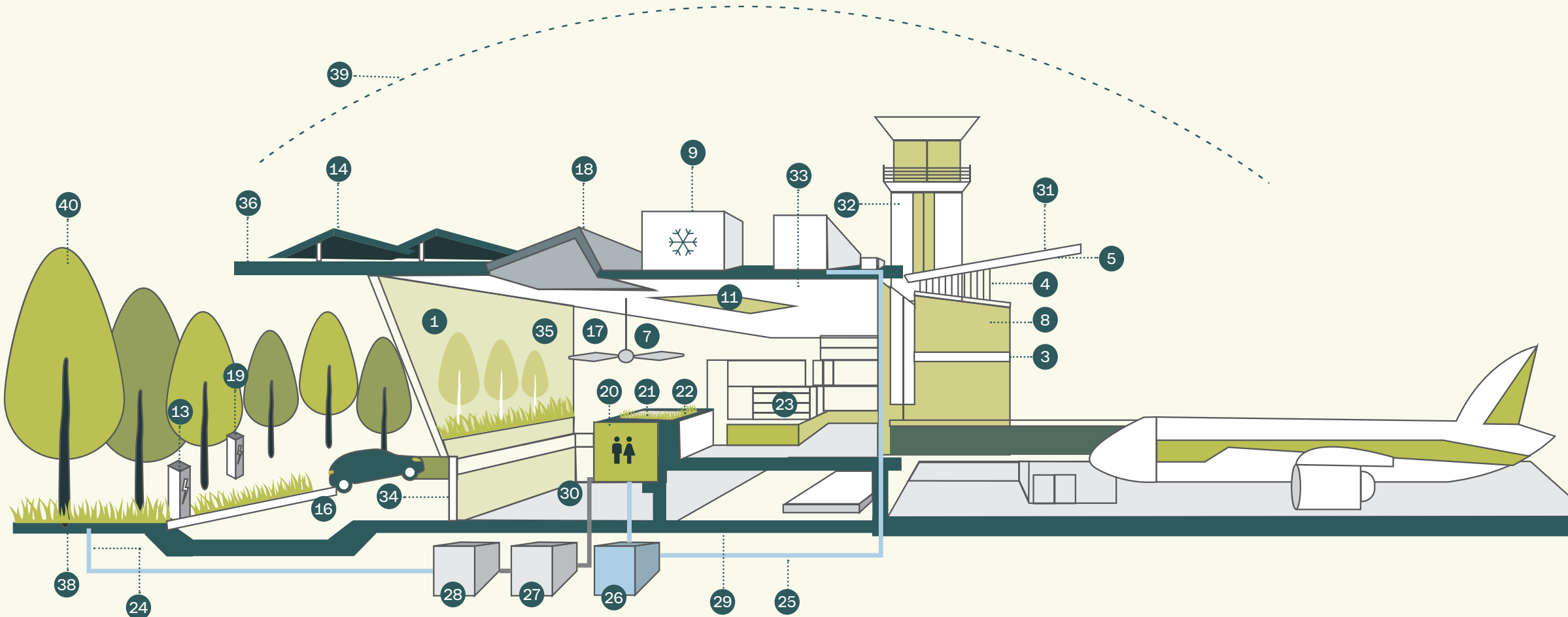


El "ahorro contra caso base establecido" se refiere a la reducción en el consumo de energía, agua y emisiones de carbono en comparación con un caso de referencia estándar, usado como punto de partida para evaluar mejoras en eficiencia y sostenibilidad.

Desempeño de energía, agua y materiales con ahorro frente al caso base



El "retorno de inversión (años)" indica el tiempo estimado en que los ahorros generados por una mejora compensan su costo inicial, reflejando la viabilidad económica de la inversión.



Estrategias de diseño

- 30% relación muro-ventana.
- Reflectividad solar para cubierta: No aplica para aeropuertos.
- Reflectividad solar para muros: SRI (Solar Reflectance Index) de 90.
- Utilizar parasoles y aletas para minimizar ganancia de calor por radiación.
- Cubierta con aislamiento: Valor U de 0,68 W/m²·K*.
- Aislamiento del suelo / losa de suelo elevado: Valor U de 0,49 W/m²·K*.
- Paredes con aislamiento: Valor U de 3,12 W/m²·K*.
- Eficiencia del vidrio: Valor U de 6,81 W/m²·K; SHGC de 0,3 y VT de 0,45*.
- Eficiencia del sistema de refrigeración: EER (Energy Efficiency Ratio) de 12 Btu/hW.
- Sistema de agua caliente sanitaria eléctrico con eficiencia superior a 90%.
- Iluminación eficiente para áreas internas: 100 L/W.
- Iluminación eficiente para áreas externas: 100 L/W.
- Medidores inteligentes de energía.
- Generación de energía renovable.
- Ventilación natural.
- Disminución del efecto de la isla de calor.
- Abanicos.
- Iluminación natural por medio de tragaluces.
- Cargadores eléctricos para vehículos.
- Grifos de bajo consumo de agua para todos los baños: 2 L/min
- Inodoros/fluxómetros eficientes para todos los baños: 4,8 L la descarga.
- Orinales eficientes de agua: 0,5 L/descarga.
- Grifos de bajo consumo de agua para fregaderos de

- cocina: 6 L/min.
- Riego por goteo de agua tratada.
 - Recolección de agua de lluvia.
 - Almacenamiento de agua de lluvia para descarga de inodoros.
 - Tratamiento de aguas grises (lavamanos y duchas) para riego o recarga de inodoros.
 - Tratamiento de aguas grises (lavamanos).
 - Losa de hormigón | Losa convencional reforzada in situ: 20 kg/m².
 - Pisos con acabado cerámico.
 - Techo metálico | Panel sándwich revestido de acero.
 - Bloques de hormigón | Bloques huecos de peso medio para paredes externas: 150 mm.
 - Bloques de hormigón | Bloques huecos de peso medio para paredes internas: 150 mm.
 - Marcos de Ventana de aluminio.
 - Vidriado simple o insulated.
 - Espuma de poliestireno en aerosol o aislamiento de tableros para la composición de cubierta: 54,9 mm.

Resiliencia

- Control contra erosión.
- Manejo de escorrentías y verificación de niveles contra inundación.
- Orientación del edificio para aprovechamiento y disminución de consumo de energía.
- Vegetación nativa.

Otras estrategias

- Revisar datos históricos de vientos, inundaciones e incendios y tomar las precauciones en el diseño.
- Incluir sistemas de retención de aguas pluviales para

- tormentas cada 100 años o más.
- Maximizar las superficies permeables en el sitio.
 - Mantener equipos electromecánicos y áreas ocupadas al menos 3 m sobre nivel del río/lago/mar más cercano.
 - Revisión de diseño y construcción para garantizar que cumple con el código local vigente sobre prevención y manejo de incendios.

Operación y mantenimiento

- Verificación y puesta en marcha de los sistemas electromecánicos para confirmar la operación según los parámetros de diseño.
- Manual de operaciones completo con requerimientos operativos actualizados.
- Control de consumo mensual de energía y agua para crear una línea base comparativa.
- Medición anual de los parámetros de calidad del aire interior: CO₂, TVOC (Total Volatile Organic Compounds), PM 2,5.
- Limpieza de filtros de aire fresco y aire acondicionado.
- Mantenimiento de áreas externas y revisión del sistema pluvial para evitar inundaciones.
- Limpieza semestral del sistema de energía fotovoltaica
- Manejo y control de plagas.
- Pruebas anuales de agua potable.
- Control de fugas de refrigerante del sistema de aire acondicionado.
- Control de humedad y filtraciones.

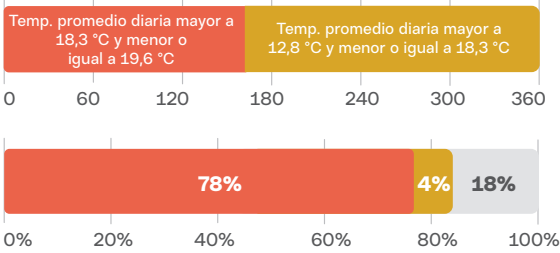
*El valor U mide la transmitancia térmica, el SHGC indica la ganancia de calor solar, y VT representa la cantidad de luz visible transmitida.

Ficha de diseño



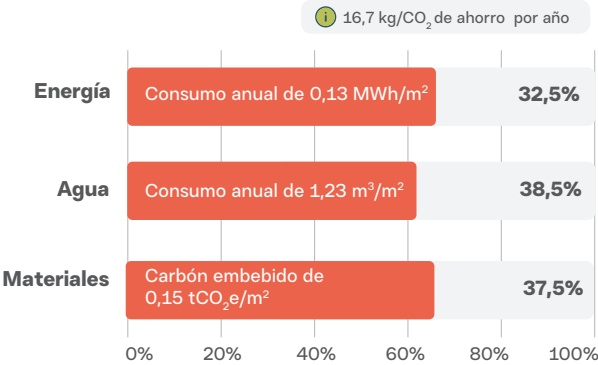
Clima cálido
(Zona 3 - A, B y C)

N° de días al año vs rango de temperatura



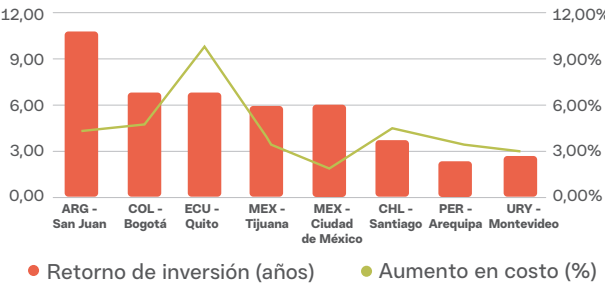
El "tiempo de confort" indica el porcentaje del tiempo en que las condiciones térmicas son agradables sin necesidad de aire acondicionado, gracias a estrategias pasivas como ventilación natural y sombreado.

Distribución del tiempo confortable según estrategias de climatización

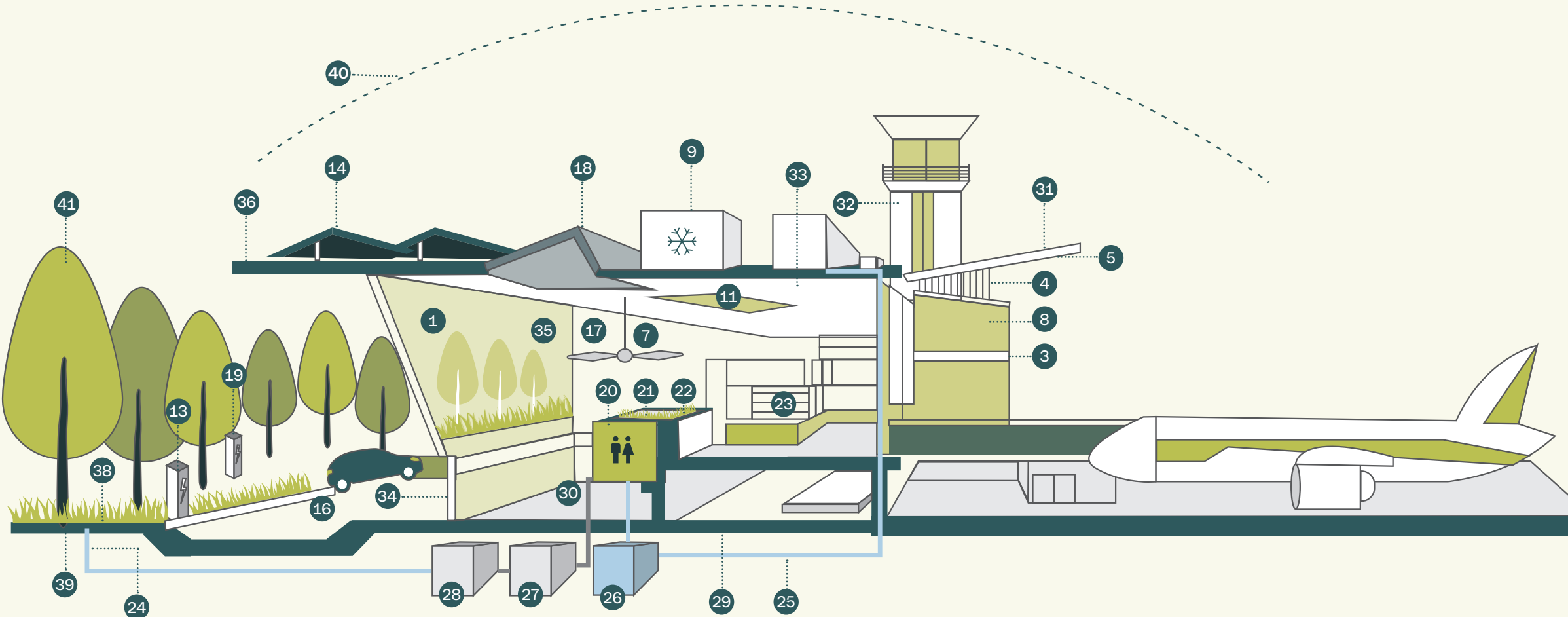


El "ahorro contra caso base establecido" se refiere a la reducción en el consumo de energía, agua y emisiones de carbono en comparación con un caso de referencia estándar, usado como punto de partida para evaluar mejoras en eficiencia y sostenibilidad.

Desempeño de energía, agua y materiales con ahorro frente al caso base



El "retorno de inversión (años)" indica el tiempo estimado en que los ahorros generados por una mejora compensan su costo inicial, reflejando la viabilidad económica de la inversión.



Estrategias de diseño

- 40% relación muro-ventana.
- Reflectividad solar para cubierta: No aplica para aeropuertos.
- Reflectividad solar para muros: SRI (Solar Reflectance Index) de 90.
- Utilizar parasoles y aletas para minimizar ganancia de calor por radiación.
- Cubierta con aislamiento: Valor U de 0,68 W/m²·K*.
- Aislamiento del suelo / losa de suelo elevado: Valor U de 0,49 W/m²·K*.
- Paredes con aislamiento: Valor U de 0,55 W/m²·K*.
- Eficiencia del vidrio: Valor U de 3,69 W/m²·K; SHGC de 0,5 y VT de 0,5*.
- Eficiencia del sistema de refrigeración: EER (Energy Efficiency Ratio) de 12 Btu/hW.
- Sistema de agua caliente sanitaria eléctrico con eficiencia superior a 90%.
- Iluminación eficiente para áreas internas: 100 L/W.
- Iluminación eficiente para áreas externas: 100 L/W.
- Medidores inteligentes de energía.
- Generación de energía renovable.
- Ventilación natural.
- Disminución del efecto de la isla de calor.
- Abanicos.
- Iluminación natural por medio de tragaluces.
- Cargadores eléctricos para vehículos.
- Grifos de bajo consumo de agua para todos los baños: 2 L/min.
- Inodoros/fluxómetros eficientes para todos los baños: 4,8 L la descarga.
- Orinales eficientes de agua: 0,5 L/descarga.
- Grifos de bajo consumo de agua para fregaderos de cocina: 6 L/min.

- Riego por goteo de agua tratada.
- Recolección de agua de lluvia.
- Almacenamiento de agua de lluvia para descarga de inodoros.
- Tratamiento de aguas grises (lavamanos y duchas) para riego o recarga de inodoros.
- Tratamiento de aguas grises (lavamanos).
- Losa de hormigón | Losa convencional reforzada in situ de 20 kg/m².
- Pisos con acabado cerámico.
- Techo metálico | Panel sándwich revestido de acero.
- Bloques de hormigón | Bloques huecos de peso medio para paredes externas: 150 mm.
- Bloques de hormigón | Bloques huecos de peso medio para paredes internas: 150 mm.
- Marcos de ventana de aluminio.
- Vidriado simple o insulado.
- Espuma de poliestireno en aerosol o aislamiento de tableros para la composición de cubierta: 54,9 mm.
- Espuma lana mineral para paredes: 50 mm.

Resiliencia

- Control contra erosión.
- Manejo de escorrentías y verificación de niveles contra inundación.
- Orientación del edificio para aprovechamiento y disminución de consumo de energía.
- Vegetación nativa.

Otras estrategias

- Revisar datos históricos de vientos, inundaciones e incendios y tomar las precauciones en el diseño.
- Incluir sistemas de retención de aguas pluviales para tormentas cada 100 años o más.

- Maximizar las superficies permeables en el sitio.
- Mantener equipos electromecánicos y áreas ocupadas al menos 3 m sobre nivel del río/lago/mar más cercano.
- Revisión de diseño y construcción para garantizar que cumple con el código local vigente sobre prevención y manejo de incendios.

Operación y mantenimiento

- Verificación y puesta en marcha de los sistemas electromecánicos para confirmar la operación según los parámetros de diseño.
- Manual de operaciones completo con requerimientos operativos actualizados.
- Control de consumo mensual de energía y agua para crear una línea base comparativa.
- Medición anual de los parámetros de calidad de aire interior: CO₂, TVOC (Total Volatile Organic Compounds), PM 2,5.
- Limpieza de filtros de aire fresco y aire acondicionado.
- Mantenimiento de áreas externas y revisión del sistema pluvial para evitar inundaciones.
- Limpieza semestral del sistema de energía fotovoltaica.
- Manejo y control de plagas.
- Pruebas anuales de agua potable.
- Control de fugas de refrigerante del sistema de aire acondicionado.
- Control de humedad y filtraciones.
- Realizar pruebas de hermeticidad de la envolvente para reducir pérdida de energía.

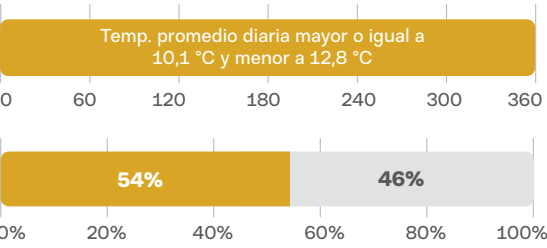
*El valor U mide la transmitancia térmica, el SHGC indica la ganancia de calor solar, y VT representa la cantidad de luz visible transmitida.

Ficha de diseño



Clima mixto
(Zona 4 - A, B y C)

N° de días al año vs rango de temperatura

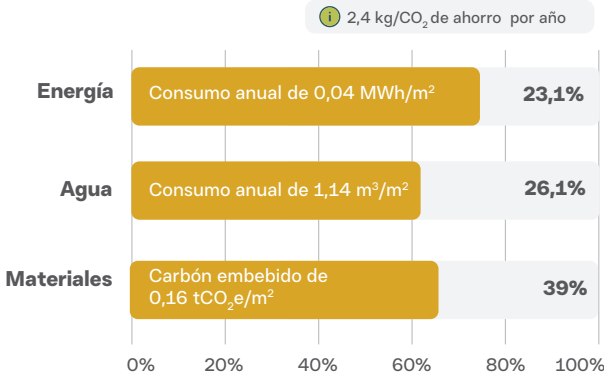


Porcentaje del tiempo confortable

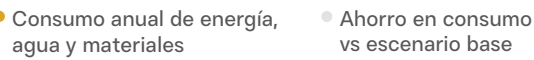


El "tiempo de confort" indica el porcentaje del tiempo en que las condiciones térmicas son agradables sin necesidad de aire acondicionado, gracias a estrategias pasivas como ventilación natural y sombreado.

Distribución del tiempo confortable según estrategias de climatización

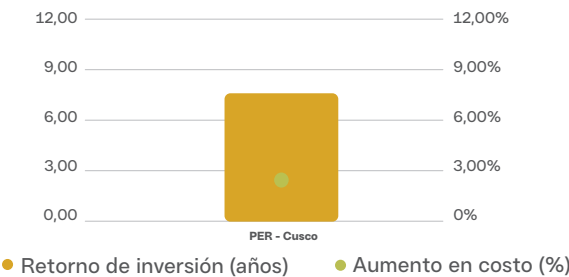


Ahorro contra caso base establecido

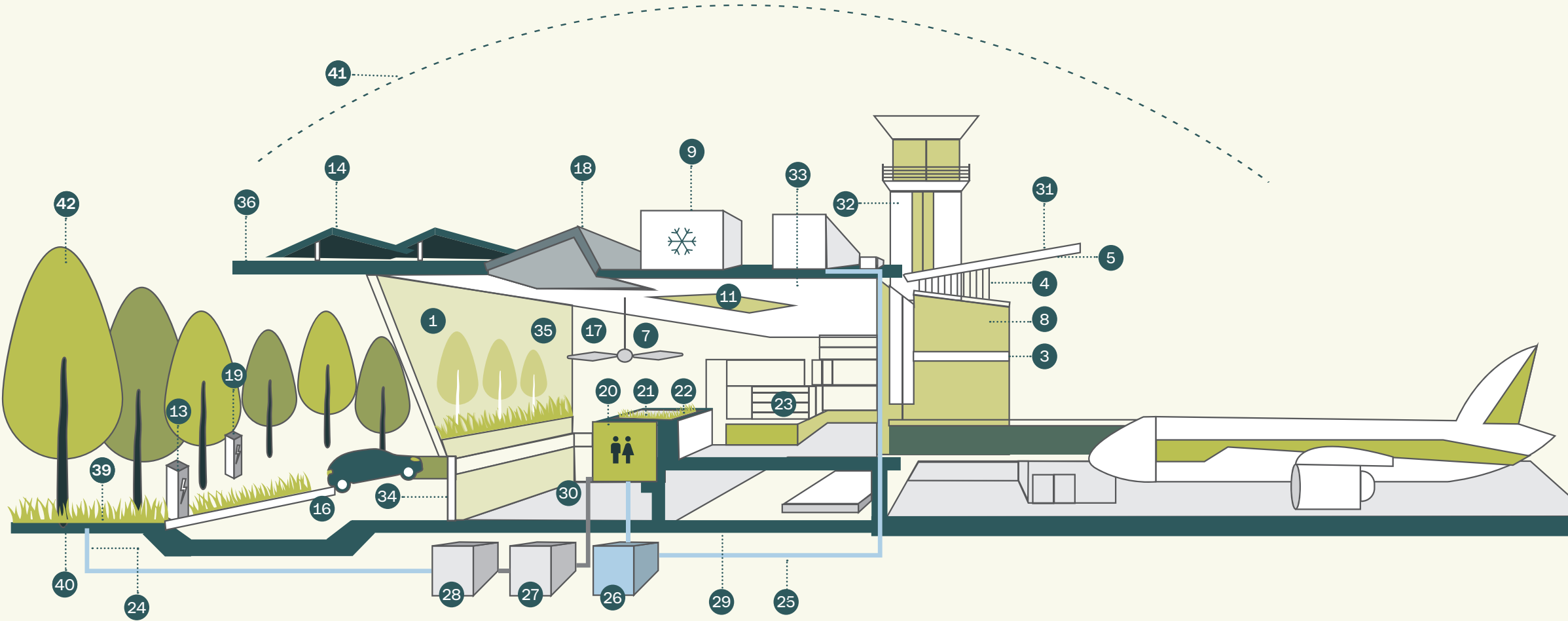


El "ahorro contra caso base establecido" se refiere a la reducción en el consumo de energía, agua y emisiones de carbono en comparación con un caso de referencia estándar, usado como punto de partida para evaluar mejoras en eficiencia y sostenibilidad.

Desempeño de energía, agua y materiales con ahorro frente al caso base



El "retorno de inversión (años)" indica el tiempo estimado en que los ahorros generados por una mejora compensan su costo inicial, reflejando la viabilidad económica de la inversión.



Estrategias de diseño

- 40% relación muro-ventana.
- Reflectividad solar para cubierta: No aplica para aeropuertos.
- Reflectividad solar para muros: SRI (Solar Reflectance Index) de 90.
- Uso de parasoles y aletas: No aplica para zona climática.
- Cubierta con aislamiento: Valor U de 0,33 W/m²·K*.
- Aislamiento del suelo / losa de suelo elevado: Valor U de 0,49 W/m²·K*.
- Paredes con aislamiento: Valor U de 0,55 W/m²·K*.
- Eficiencia del vidrio: Valor U de 3,69 W/m²·K; SHGC de 0,5 y VT de 0,5*.
- Eficiencia del sistema de refrigeración: EER (Energy Efficiency Ratio) de 12 Btu/hW.
- Sistema de agua caliente sanitaria eléctrico con eficiencia superior a 90%.
- Iluminación eficiente para áreas internas: 100 L/W.
- Iluminación eficiente para áreas externas: 100 L/W.
- Medidores inteligentes de energía.
- Generación de energía renovable.
- Ventilación natural.
- Disminución del efecto de la isla de calor.
- Abanicos.
- Iluminación natural por medio de tragaluces.
- Cargadores eléctricos para vehículos.
- Grifos de bajo consumo de agua para todos los baños: 2 L/min.
- Inodoros/fluxómetros eficientes para todos los baños: 4,8 L la descarga.
- Orinales eficientes de agua: 0,5 L/descarga.
- Grifos de bajo consumo de agua para fregaderos de cocina: 6 L/min.
- Riego por goteo de agua tratada.

- Recolección de agua de lluvia.
- Almacenamiento de agua de lluvia para descarga de inodoros.
- Tratamiento de aguas grises (lavamanos y duchas) para riego o recarga de inodoros.
- Tratamiento de aguas grises (lavamanos).
- Losa de hormigón | Losa convencional reforzada in situ: 20 kg/m².
- Pisos con acabado cerámico.
- Techo metálico | Panel sándwich revestido de acero 103,6 mm.
- Bloques de hormigón | Bloques huecos de peso medio para paredes externas: 150 mm.
- Bloques de hormigón | Bloques huecos de peso medio para paredes internas: 150 mm.
- Marcos de ventana de aluminio.
- Vidriado simple o insulado.
- Espuma de poliestireno en aerosol o aislamiento de tableros para la composición de cubierta: 54,9 mm.
- Espuma lana mineral para paredes: 50 mm.
- Preacondicionamiento de aire fresco.

Resiliencia

- Control contra erosión.
- Manejo de escorrentías y verificación de niveles contra inundación.
- Orientación del edificio para aprovechamiento y disminución de consumo de energía.
- Vegetación nativa.

Otras estrategias

- Revisar datos históricos de vientos, inundaciones e incendios y tomar las precauciones en el diseño.
- Incluir sistemas de retención de aguas pluviales para tormentas cada 100 años o más.

- Maximizar las superficies permeables en el sitio.
- Mantener equipos electromecánicos y áreas ocupadas al menos 3 m sobre nivel del río/lago/mar más cercano.
- Revisión de diseño y construcción para garantizar que cumple con el código local vigente sobre prevención y manejo de incendios.

Operación y mantenimiento

- Verificación y puesta en marcha de los sistemas electromecánicos para confirmar la operación según los parámetros de diseño.
- Manual de operaciones completo con requerimientos operativos actualizados.
- Control de consumo mensual de energía y agua para crear una línea base comparativa.
- Medición anual de los parámetros de calidad de aire interior: CO₂, TVOC (Total Volatile Organic Compounds), PM 2,5.
- Limpieza de filtros de aire fresco y aire acondicionado.
- Mantenimiento de áreas externas y revisión de sistema pluvial para evitar inundaciones.
- Limpieza semestral del sistema de energía fotovoltaica.
- Manejo y control de plagas.
- Pruebas anuales de calidad de agua potable.
- Control de fugas de refrigerante del sistema de aire acondicionado.
- Realizar pruebas de hermeticidad de la envolvente para reducir pérdida de energía.

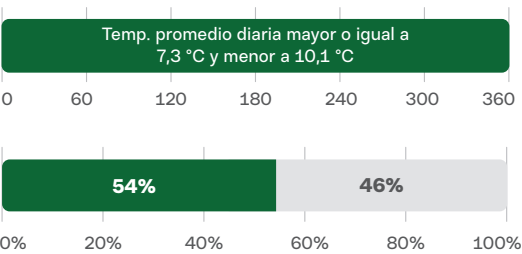
*El valor U mide la transmitancia térmica, el SHGC indica la ganancia de calor solar, y VT representa la cantidad de luz visible transmitida.

Ficha de diseño



Clima fresco
(Zona 5 - A, B y C)

N° de días al año vs rango de temperatura

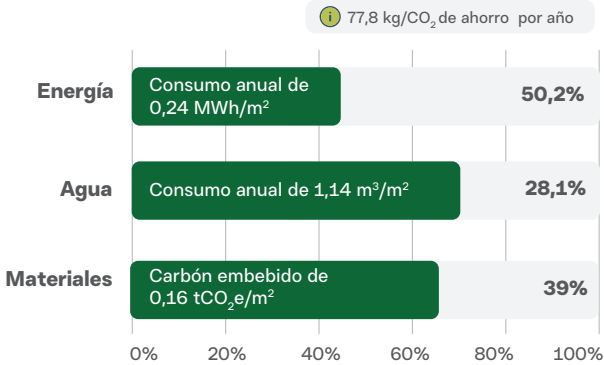


Porcentaje del tiempo confortable

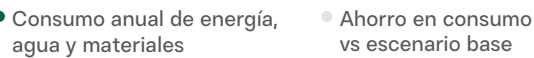


El "tiempo de confort" indica el porcentaje del tiempo en que las condiciones térmicas son agradables sin necesidad de aire acondicionado, gracias a estrategias pasivas como ventilación natural y sombreado.

Distribución del tiempo confortable según estrategias de climatización

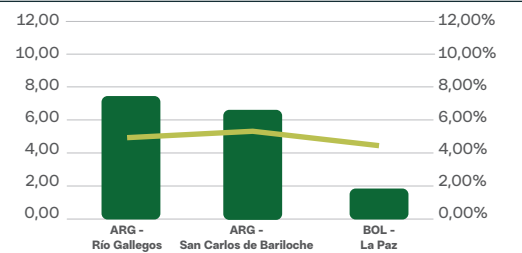


Ahorro contra caso base establecido

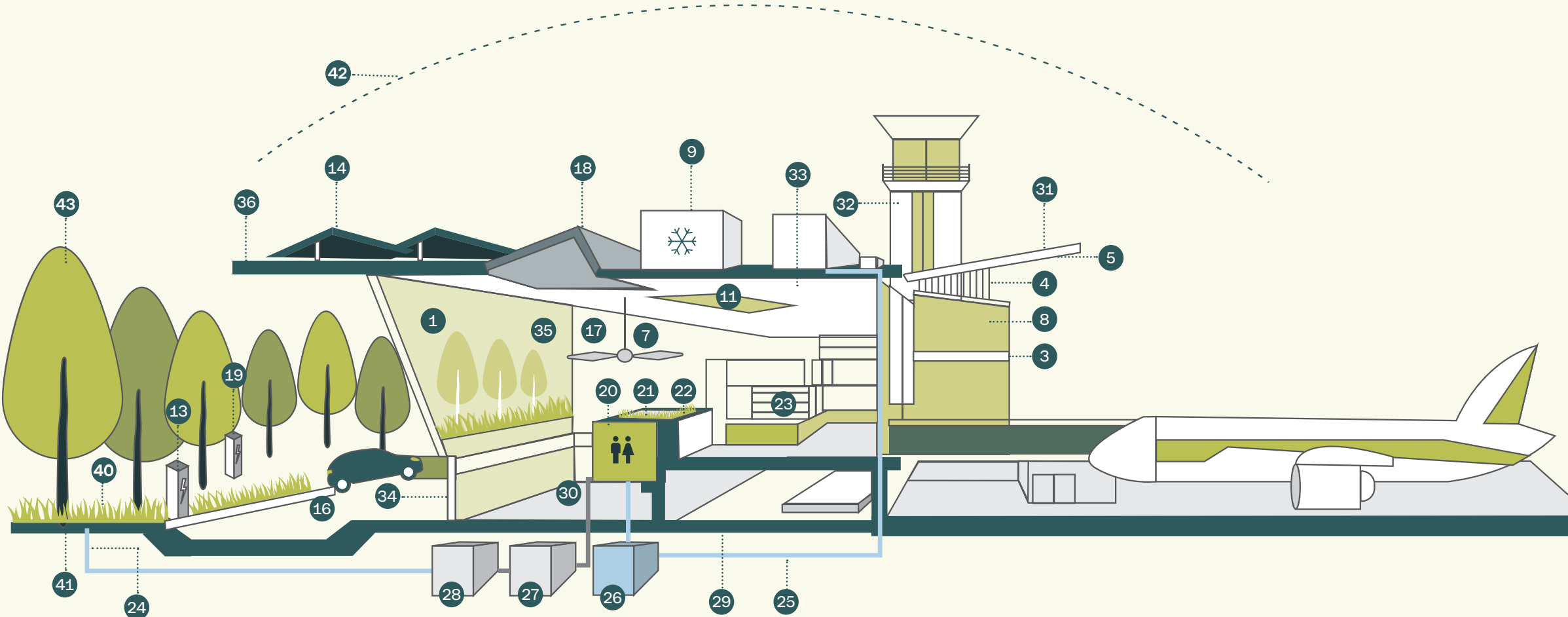


El "ahorro contra caso base establecido" se refiere a la reducción en el consumo de energía, agua y emisiones de carbono en comparación con un caso de referencia estándar, usado como punto de partida para evaluar mejoras en eficiencia y sostenibilidad.

Desempeño de energía, agua y materiales con ahorro frente al caso base



El "retorno de inversión (años)" indica el tiempo estimado en que los ahorros generados por una mejora compensan su costo inicial, reflejando la viabilidad económica de la inversión.



Estrategias de diseño

- 50% relación muro-ventana.
- Reflectividad solar para cubierta: No aplica para aeropuertos.
- Reflectividad solar para muros: SRI (Solar Reflectance Index) de 90.
- Uso de parasoles y aletas: No aplica para zona climática.
- Cubierta con aislamiento: Valor U de 0,33 W/m²·K*.
- Aislamiento del suelo / losa de suelo elevado: Valor U de 0,49 W/m²·K*.
- Paredes con aislamiento: Valor U de 0,55 W/m²·K*.
- Eficiencia del vidrio: Valor U de 3,69 W/m²·K; SHGC de 0,5 y VT de 0,5*.
- Eficiencia del sistema de refrigeración: EER (Energy Efficiency Ratio) de 12 Btu/hW.
- Sistema de agua caliente sanitaria eléctrico con eficiencia superior a 90%.
- Iluminación eficiente para áreas internas: 100 L/W.
- Iluminación eficiente para áreas externas: 100 L/W.
- Medidores inteligentes de energía.
- Generación de energía renovable.
- Ventilación natural.
- Disminución del efecto de la isla de calor.
- Abanicos.
- Iluminación natural por medio de tragaluces.
- Cargadores eléctricos para vehículos.
- Grifos de bajo consumo de agua para todos los baños: 2 L/min.
- Inodoros/fluxómetros eficientes para todos los baños: 4,8 L la descarga.
- Orinales eficientes de agua: 0,5 L/descarga.
- Grifos de bajo consumo de agua para fregaderos de cocina: 6 L/min.
- Riego por goteo de agua tratada.
- Recolección de agua de lluvia.

- Almacenamiento de agua de lluvia para descarga de inodoros.
- Tratamiento de aguas grises (lavamanos y duchas) para riego o recarga de inodoros.
- Tratamiento de aguas grises (lavamanos).
- Losa de hormigón | Losa convencional reforzada in situ: 20 kg/m².
- Pisos con acabado cerámico.
- Techo metálico | Panel sándwich revestido de acero: 103,6 mm.
- Bloques de hormigón | Bloques huecos de peso medio para paredes externas: 150 mm.
- Bloques de hormigón | Bloques huecos de peso medio para paredes internas: 150 mm.
- Marcos de ventana de aluminio.
- Vidriado simple o insulado.
- Espuma de poliestireno en aerosol o aislamiento de tableros para la composición de cubierta: 100 mm.
- Espuma lana mineral para paredes: 75 mm.
- Preacondicionamiento de aire fresco.
- Calefacción de espacios internos: COP 2,9.

Resiliencia

- Control contra erosión.
- Manejo de escorrentías y verificación de niveles contra inundación.
- Orientación del edificio para aprovechamiento y disminución de consumo de energía.
- Vegetación nativa.

Otras estrategias

- Revisar datos históricos de vientos, inundaciones e incendios y tomar las precauciones en el diseño.
- Incluir sistemas de retención de aguas pluviales para tormentas cada 100 años o más.
- Maximizar las superficies permeables en el sitio.

- Incluir sistemas de retención de aguas pluviales para tormentas cada 100 años o más.
- Maximizar las superficies permeables en el sitio.
- Mantener equipos electromecánicos y áreas ocupadas al menos 3 m sobre nivel del río/lago/mar más cercano.
- Revisión de diseño y construcción para garantizar que cumple con el código local vigente sobre prevención y manejo de incendios.

Operación y mantenimiento

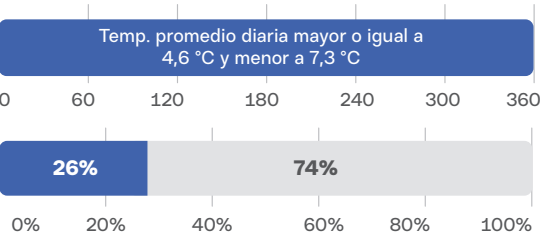
- Verificación y puesta en marcha de los sistemas electromecánicos para confirmar la operación según los parámetros de diseño.
- Manual de operaciones completo con requerimientos operativos actualizados.
- Control de consumo mensual de energía y agua para crear una línea base comparativa.
- Medición anual de los parámetros de calidad de aire interior: CO₂, TVOC (Total Volatile Organic Compounds), PM 2,5.
- Limpieza de filtros de aire fresco y aire acondicionado.
- Mantenimiento de áreas externas y revisión de sistema pluvial para evitar inundaciones.
- Limpieza semestral del sistema de energía solar fotovoltaica.
- Manejo y control de plagas.
- Pruebas anuales de calidad de agua potable.
- Control de fugas de refrigerante del sistema de aire acondicionado.
- Control de humedad y filtraciones.
- Realizar pruebas de hermeticidad de la envolvente para reducir pérdida de energía.

*El valor U mide la transmitancia térmica, el SHGC indica la ganancia de calor solar, y VT representa la cantidad de luz visible transmitida.

Ficha de diseño

Clima frío
(Zona 6 - A y B)

N° de días al año vs rango de temperatura

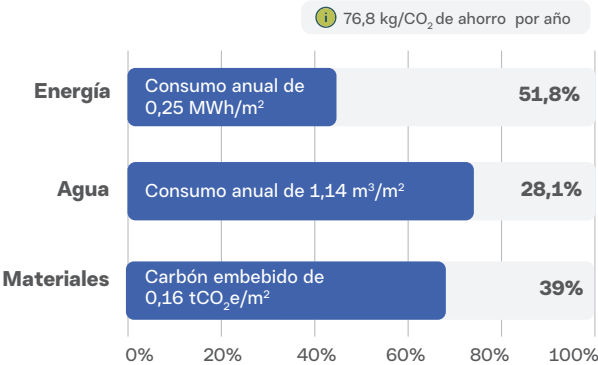


Porcentaje del tiempo confortable

- Medidas pasivas
- Aire acondicionado
- Calefacción

El "tiempo de confort" indica el porcentaje del tiempo en que las condiciones térmicas son agradables sin necesidad de aire acondicionado, gracias a estrategias pasivas como ventilación natural y sombreado.

Distribución del tiempo confortable según estrategias de climatización

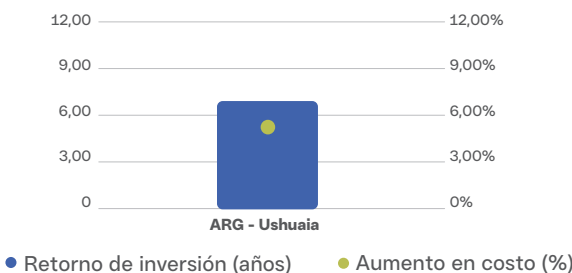


Ahorro contra caso base establecido

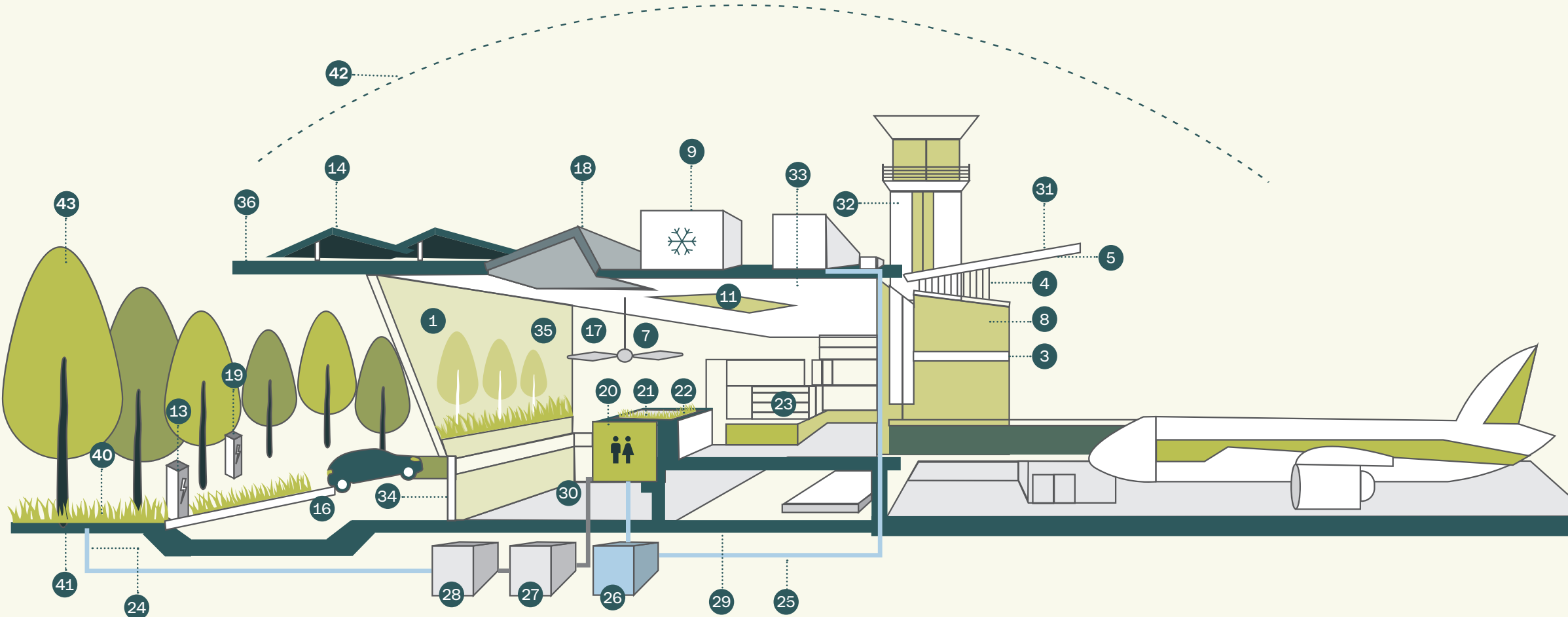
- Consumo anual de energía, agua y materiales
- Ahorro en consumo vs escenario base

El "ahorro contra caso base establecido" se refiere a la reducción en el consumo de energía, agua y emisiones de carbono en comparación con un caso de referencia estándar, usado como punto de partida para evaluar mejoras en eficiencia y sostenibilidad.

Desempeño de energía, agua y materiales con ahorro frente al caso base



El "retorno de inversión (años)" indica el tiempo estimado en que los ahorros generados por una mejora compensan su costo inicial, reflejando la viabilidad económica de la inversión.



Estrategias de diseño

- 50% relación muro-ventana.
- Reflectividad solar para cubierta: No aplica para aeropuertos.
- Reflectividad solar para muros: SRI (Solar Reflectance Index) de 90.
- Uso de parasoles y aletas: No aplica para zona climática.
- Cubierta con aislamiento. Valor U de 0,33 W/m²·K*.
- Aislamiento del suelo / losa de suelo elevado: Valor U de 0,49 W/m²·K*.
- Paredes con aislamiento: Valor U de 0,55 W/m²·K*.
- Eficiencia del vidrio: Valor U de 3,69 W/m²·K; SHGC de 0,5 y VT de 0,5*.
- Eficiencia del sistema de refrigeración: EER (Energy Efficiency Ratio) de 12 Btu/hW.
- Sistema de agua caliente sanitaria eléctrico con eficiencia superior a 90%.
- Iluminación eficiente para áreas internas: 100 L/W.
- Iluminación eficiente para áreas externas: 100 L/W.
- Medidores inteligentes de energía.
- Generación de energía renovable.
- Ventilación natural.
- Disminución del efecto de la isla de calor.
- Abanicos.
- Iluminación natural por medio de tragaluces.
- Cargadores eléctricos para vehículos.
- Grifos de bajo consumo de agua para todos los baños: 2 L/min.
- Inodoros/fluxómetros eficientes para todos los baños: 4,8 L la descarga.
- Orinales eficientes de agua: 0,5 L/descarga.
- Grifos de bajo consumo de agua para fregaderos de cocina: 6 L/min.
- Riego por goteo de agua tratada.

- Recolección de agua de lluvia.
- Almacenamiento de agua de lluvia para descarga de inodoros.
- Tratamiento de aguas grises (lavamanos y duchas) para riego o recarga de inodoros.
- Tratamiento de aguas grises (lavamanos).
- Losa de hormigón | Losa convencional reforzada in situ: 20 kg/m².
- Pisos con acabado cerámico.
- Techo metálico | Panel sándwich revestido de acero: 103,6 mm.
- Bloques de hormigón | Bloques huecos de peso medio para paredes externas: 150 mm.
- Bloques de hormigón | Bloques huecos de peso medio para paredes internas: 150 mm.
- Marcos de ventana de aluminio.
- Vidriado simple o insulated.
- Espuma de poliestireno en aerosol o aislamiento de tableros para la composición de cubierta: 100 mm.
- Espuma lana mineral para paredes: 75 mm.
- Preacondicionamiento de aire fresco.
- Calefacción de espacios internos: COP 2,9.

Resiliencia

- Control contra erosión.
- Manejo de escorrentías y verificación de niveles contra inundación.
- Orientación del edificio para aprovechamiento y disminución de consumo de energía.
- Vegetación nativa.

Otras estrategias

- Revisar datos históricos de vientos, inundaciones e incendios y tomar las precauciones en el diseño.
- Incluir sistemas de retención de aguas pluviales para

- tormentas cada 100 años o más.
- Maximizar las superficies permeables en el sitio
- Mantener equipos electromecánicos y áreas ocupadas al menos 3 m sobre nivel del río/lago/mar más cercano.
- Revisión de diseño y construcción para garantizar que cumple con el código local vigente sobre prevención y manejo de incendios.

Operación y mantenimiento

- Verificación y puesta en marcha de los sistemas electromecánicos para confirmar la operación según los parámetros de diseño.
- Manual de operaciones completo con requerimientos operativos actualizados.
- Control de consumo mensual de energía y agua para crear una línea base comparativa.
- Medición anual de los parámetros de calidad de aire interior: CO₂, TVOC (Total Volatile Organic Compounds), PM 2.5.
- Limpieza de filtros de aire fresco y aire acondicionado.
- Mantenimiento de áreas externas y revisión del sistema pluvial para evitar inundaciones.
- Limpieza semestral del sistema de energía solar fotovoltaica.
- Manejo y control de plagas.
- Pruebas anuales de agua potable.
- Control de fugas de refrigerante del sistema de aire acondicionado.
- Control de humedad y filtraciones.
- Realizar pruebas de hermeticidad de la envolvente para reducir pérdida de energía.

*El valor U mide la transmitancia térmica, el SHGC indica la ganancia de calor solar, y VT representa la cantidad de luz visible transmitida.

Experiencias en la **región**

 **Bolivia**

 **Estado:** obras en diseño

Adaptación de la terminal de Uyuni con criterios de etnoingeniería, sistemas de uso eficiente de energía y agua, planta de tratamiento de aguas residuales, sistemas de recolección de agua de lluvias, y sistema de generación fotovoltaica.



>20%

Ahorro de energía



>20%

Ahorro de agua



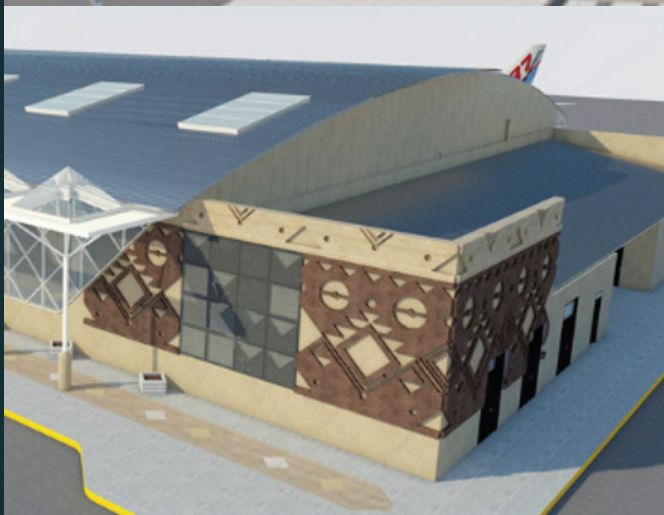
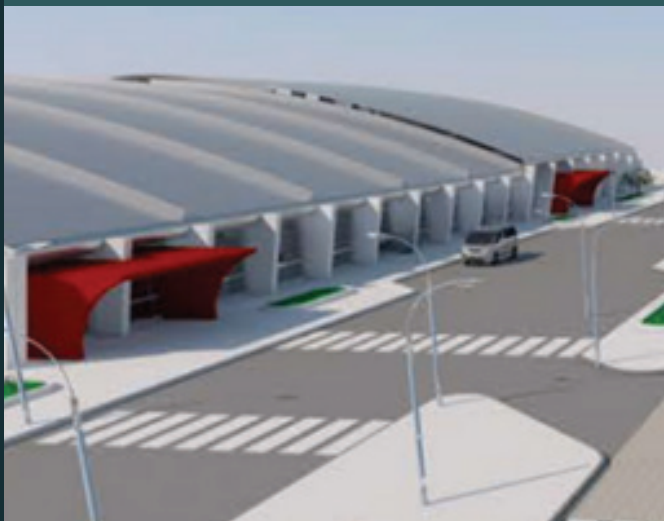
>20%

Menos energía incorporada en los materiales

Cumplen los requisitos mínimos de Nivel 1 de certificación EDGE de Edificio Verde.

Caso: Terminal de Uyuni “La Joya Andina”

Aeropuerto de Uyuni



En el contexto del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), la etnoingeniería ha sido promovida como un enfoque clave para garantizar que los proyectos de infraestructura en América Latina y el Caribe sean sostenibles, inclusivos y alineados con las necesidades y valores de las comunidades locales. Puedes acceder al documento del BID sobre etnoingeniería en el siguiente enlace: <http://dx.doi.org/10.18235/0004628>

Experiencias en la **región**

 **Bolivia**

Estado: obras en diseño

Construcción de una nueva terminal de pasajeros y bloque técnico que incorporen sistemas eficientes de energía y agua. Introducción de sistemas sanitarios que ahorren energía y agua, reduciendo así el consumo energético.



>20%

Ahorro de energía



>20%

Ahorro de agua



>20%

Menos energía incorporada
en los materiales

Cumplen los requisitos mínimos de Nivel 1 de certificación EDGE de Edificio Verde.

Caso: Terminal de Tarija “Capitán Oriel Lea Plaza”

Aeropuerto de Tarija



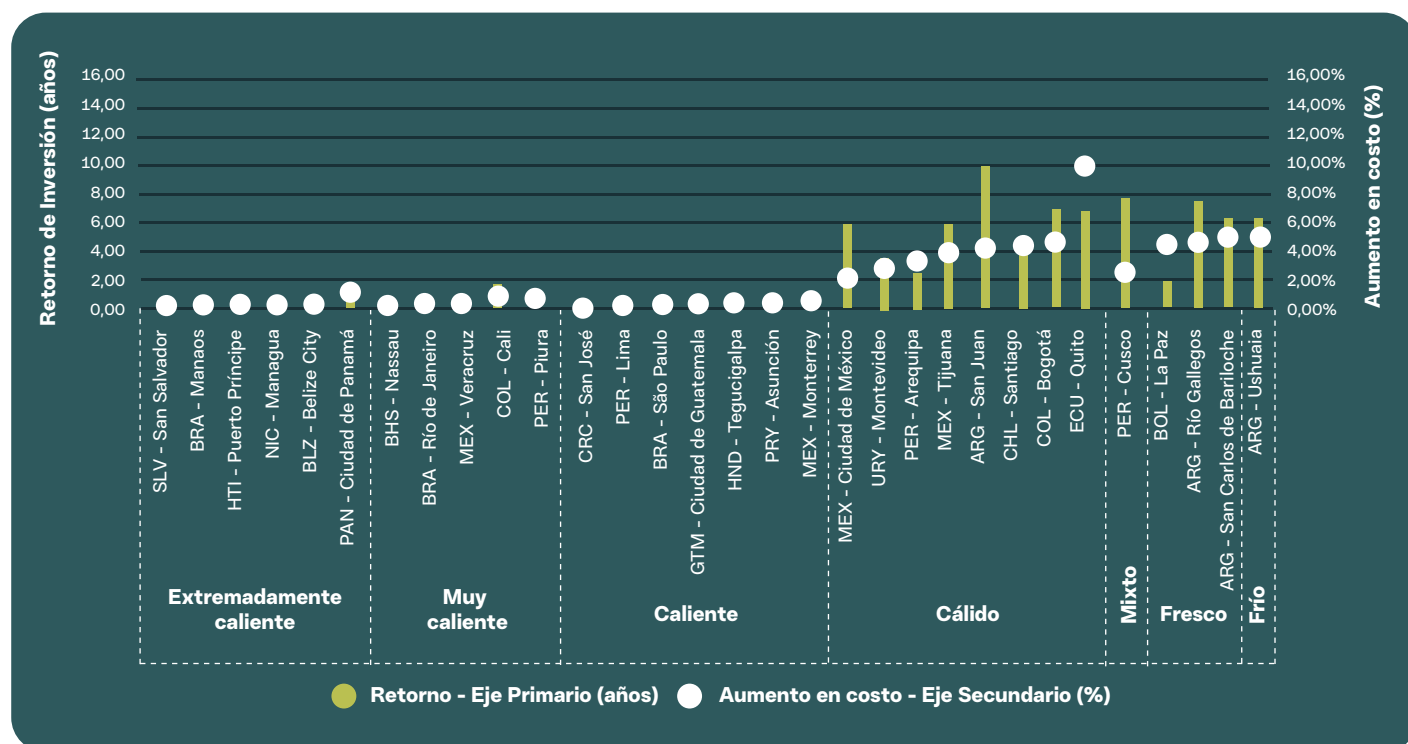
2.4. Análisis de costos y huella de carbono

Los análisis para la aplicación de estrategias de diseño verde y resiliente de terminales aéreas por zona climática presentadas en este capítulo permiten estimar que el incremento de la inversión inicial en ALC es, en promedio, de 2,06%, con un potencial retorno de inversión de 2,1 años en promedio. Estos resultados se basan en la metodología de costos de EDGE generada para fines referenciales en la fase inicial de diseño y no pretenden proporcionar estimaciones definitivas de los costos de construcción (EDGE, 2015).

La figura a continuación expone los resultados obtenidos del retorno de inversión y aumento en costo para terminales aéreas para las

diferentes ciudades de los países analizados, cuyos valores dependen de las estrategias de diseño adoptadas de acuerdo con la zona climática y el costo de construcción establecidos en EDGE. Las ciudades con incrementos de costos y retornos de inversión más bajos son San Salvador (El Salvador), Nassau (Bahamas) y San José (Costa Rica) en climas extremadamente caliente, muy caliente y caliente, respectivamente. Cuzco (Perú), Bogotá (Colombia), Quito (Ecuador) y todas la ciudades de Argentina presentan los costos y retornos más altos. Sin embargo, se resalta que estos valores son sensibles a las características adoptadas en las simulaciones del estudio, pudiendo variar de acuerdo con los diseños finales y costos locales reales.

Figura 5. Periodo de retorno de inversión y aumento en costo para terminales aéreas.



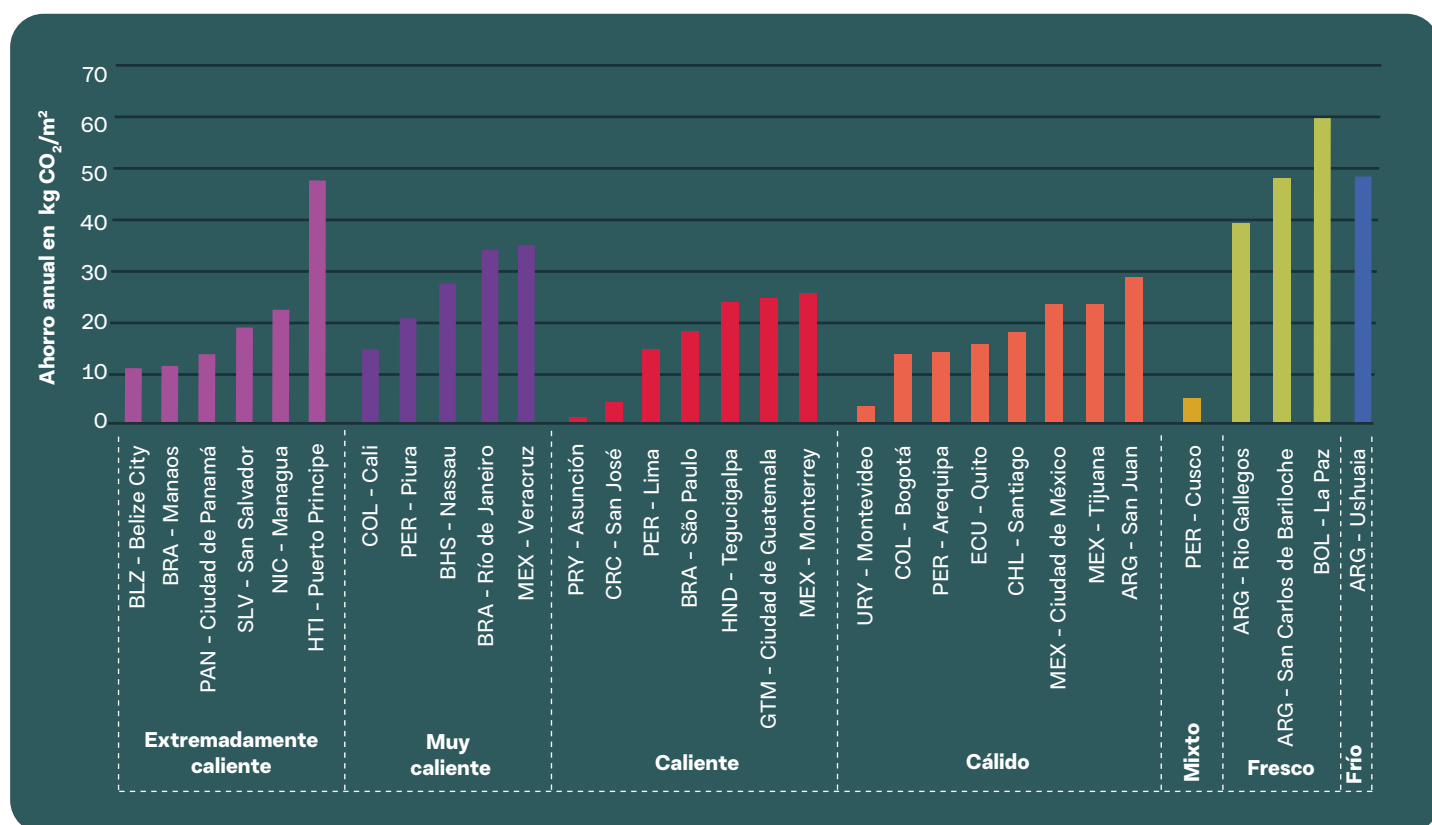
Fuente: Elaboración propia.



Por otro lado, las estrategias de diseño verde impulsan la mitigación de GEI. La figura siguiente presenta la cantidad de emisiones de GEI evitadas en kilogramos de CO₂ equivalente por metro cuadrado¹⁰. Estos resultados se basan en la metodología de EDGE para el Carbono incorporado:

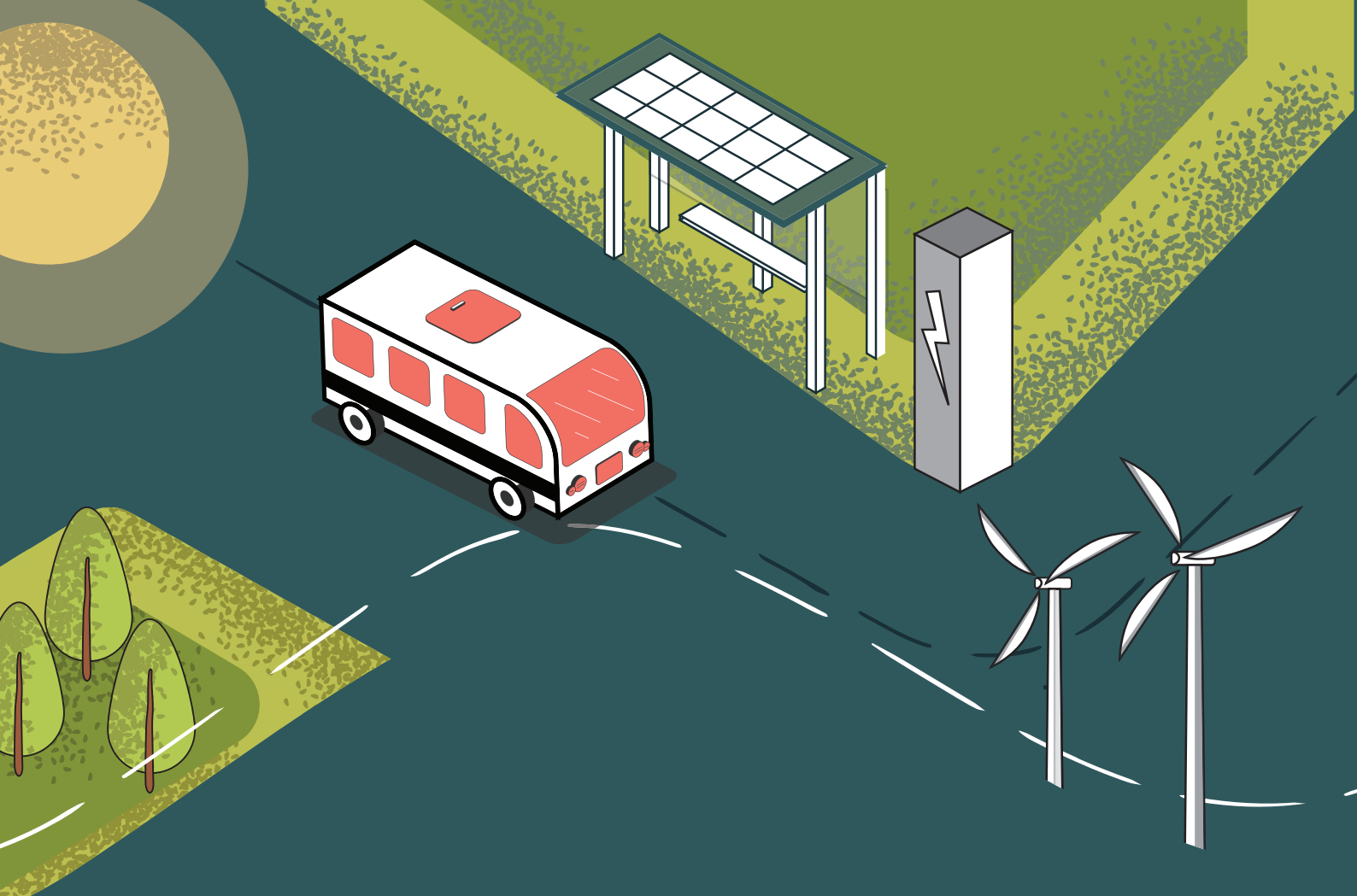
Evaluación de materiales (EDGE, 2023). El estudio resalta el impacto positivo de la construcción sostenible en países como Bolivia y Argentina, alcanzando niveles de ahorro de emisiones por año de hasta el 94% y el 77% de CO₂ equivalente por cada metro cuadrado por año, respectivamente.

Figura 6. Ahorro en kilogramos equivalentes de dióxido de carbono para terminales aéreas.



Fuente: Elaboración propia.

¹⁰ Todos los modelos utilizados en EDGE se han elaborado de acuerdo con las normas ISO 14040, ISO 14044, EN 15804+A2:2019, además de la guía de Datos Internacionales de Referencia sobre el Ciclo de Vida (ILCD). El análisis se realizó en 2023 con el software EDGE.



3. Terminales terrestres verdes: planificación y diseño

3.1. Normativa y particularidades de terminales terrestres

La regulación de las terminales terrestres en ALC no se encuentra tan desarrollada como lo está la de las terminales aéreas. Son pocas las entidades que se encargan de especificar parámetros necesarios para la clasificación de este tipo de terminales con estándar internacional. Sin embargo, el estudio encontró que en la región los ministerios de transporte de cada país son los encargados

de generar las regulaciones nacionales para la implementación de terminales terrestres. En los casos en específico de Chile¹¹ y Argentina¹², se destacaron avances importantes plasmados en manuales de pautas de diseño para terminales de media y larga distancia. Otras referencias relevantes que proporcionan directrices para la planificación, diseño y operación de terminales terrestres incluyen el Manual de infraestructura pública de

¹¹Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile. 2005. *Manual de terminales de servicios de locomoción colectiva*.

¹²Ministerio de Transporte de Argentina. 2021. Manual de pautas de Diseño para Terminales de Ómnibus de Media y Larga Distancia. (Parte 1, Parte 2)

transporte¹³ de Queensland, Australia; las Guías de Diseño de estaciones de Buses y el manual del diseño de estaciones de autobuses¹⁴ de Reino Unido; y el Manual de Planificación y acceso a estaciones terrestres de la Autoridad de Tránsito del Área Metropolitana (WMATA)¹⁵ de Washington, D.C.

Las tablas a continuación indican un sistema de categorización de terminales terrestres y las respectivas dotaciones mínimas de servicios con las que deberían contar, dependiendo de la cantidad de autobuses que utilice la terminal y del área total que esta cubra.

Tabla 1. Clasificación de terminales de autobuses.

Categoría	Superficie (m ²)
B1	Hasta 600
B2	Más de 600, hasta 1.000
B3	Más de 1.000, hasta 2.500
B4	Más de 2.500, hasta 5.000
B5	Más de 5.000, hasta 10.000
B6	Más de 10.000, hasta 20.000
B7	Más de 20.000

Fuente: Adaptado de Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile, 2005.

Tabla 2. Dotación mínima de servicios y superficie mínima destinada a servicios.

Cantidad de buses	Superficie (m ²)	Servicios mínimos
Hasta 10	25	Sala multiuso, oficina, servicios higiénicos
11 a 25	$17 + B \cdot 0,8$	
26 a 50	$24 + B \cdot 0,52$	
51 a 100	$30 + B \cdot 0,35$	Sala de alimentación, sala descanso, sala multiuso, oficinas, servicios higiénicos
101 a 200	$35 + B \cdot 0,35$	
201 a 400	$50 + B \cdot 0,2$	
Sobre 400	$80 + B \cdot 0,2$	

Nota: "B" denota el número de buses que operará en la terminal como factor de corrección de la superficie recomendada.

Fuente: Adaptado de Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile, 2005.

Los factores de tamaño, cantidad de buses y servicios con los que cuente la terminal va a depender del objetivo con el que deba cumplir la misma. Lo más importante en este tipo de terminales son los pasajeros, por lo que es necesario situarlo como un actor fundamental del proyecto. De esta manera, todas las decisiones de diseño de un proyecto de terminales deben ser para dar respuesta y satisfacción a todo aquello que sea indispensable para los pasajeros.

Para poder brindar una experiencia de viaje

cómoda al usuario, la distribución interna de las terminales terrestres es de particular importancia. Para ello, el diseño operativo y esquema de circulación interna de las terminales terrestres debe considerar desde la llegada a la terminal hasta que el usuario logra ingresar al autobús que lo va a trasladar a su destino final. Asimismo, se debe tener en cuenta cómo va a pasar el usuario desde el autobús que lo transporta a la terminal hasta la salida de ésta. En el intermedio de estos procesos, el usuario pasa por zonas de servicios, taquillas, vestíbulos, andenes,

¹³ Department of Transport and Main Roads. 2015. *Public Transport Infrastructure Manual (PTIM)*.

¹⁴ Transport for London (TfL). 2022. *Bus action Plan*

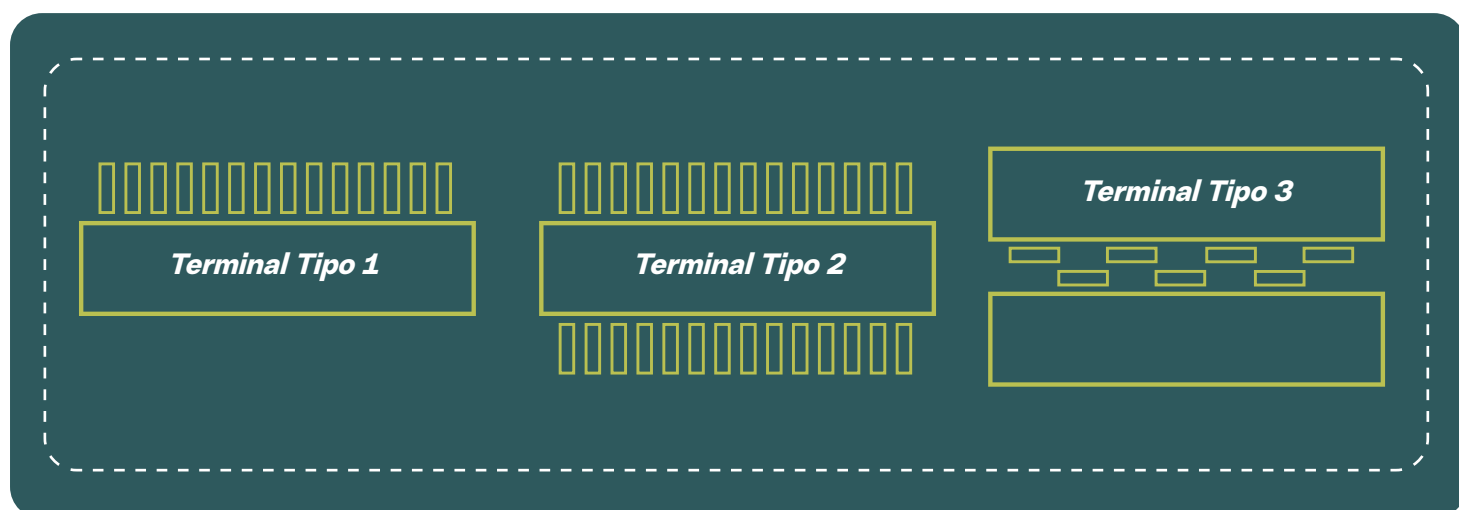
¹⁵ Washington Metropolitan Area Transit Authority (WMATA). 2008. *Station Site and Access Planning Manual*

entre otras. Además, también se requiere tener un espacio definido para las zonas administrativas y de operadores de la terminal. Es por esto que, en muchas ocasiones, al plantear este tipo de proyectos, se realizan diagramas generales para tener una idea de la distribución que tendrá la terminal una vez finalizada. Esta planificación operativa o esquema de planificación de la circulación interna de los usuarios con respecto a la terminal de transporte no es aplicable únicamente a servicios terrestres carreteros, sino también es útil para toda

infraestructura de transporte en general.

Configuración espacial. - Algunas terminales mantienen los andenes a un costado, como se muestra en la siguiente figura; esta configuración se establece como tipo 1. Otras terminales ubican los andenes de autobuses en los costados opuestos de la terminal, esta forma se considera tipo 2 y está también representada en la figura. Y la última configuración espacial, como se visualiza en la figura, es aquella en donde las terminales localizan los andenes para autobuses en el centro de la estructura.

Figura 7. Configuraciones de terminales.



Fuente: Elaboración propia.

Al igual que en el caso de terminales aéreas, la clasificación de terminales terrestres por criterios de tipo de terminal, configuración espacial y superficie fue relevante para el mapeo y análisis comparativo de las terminales terrestres de la región. Ello permitió la definición de los requerimientos de cada tipología de aeropuertos por zona climática para la construcción de estrategias de diseño específicas.

3.2. Estudio comparativo regional

El presente estudio analizó 26 terminales terrestres. De la información analizada, se destacan dos puntos importantes:

- ✓ No se logró determinar una relación lineal entre el flujo de pasajeros y el tamaño de las terminales debido a la cantidad limitada de datos de flujo de pasajeros.
- ✓ En el análisis se muestra un patrón de

comportamiento tanto para el flujo de pasajeros como para el área total de las terminales, por lo que es posible obtener resultados confiables a partir de una cantidad limitada de datos, aunque con un número de grado de libertad bajo. El Apéndice II presenta una matriz que compila las terminales terrestres analizadas.

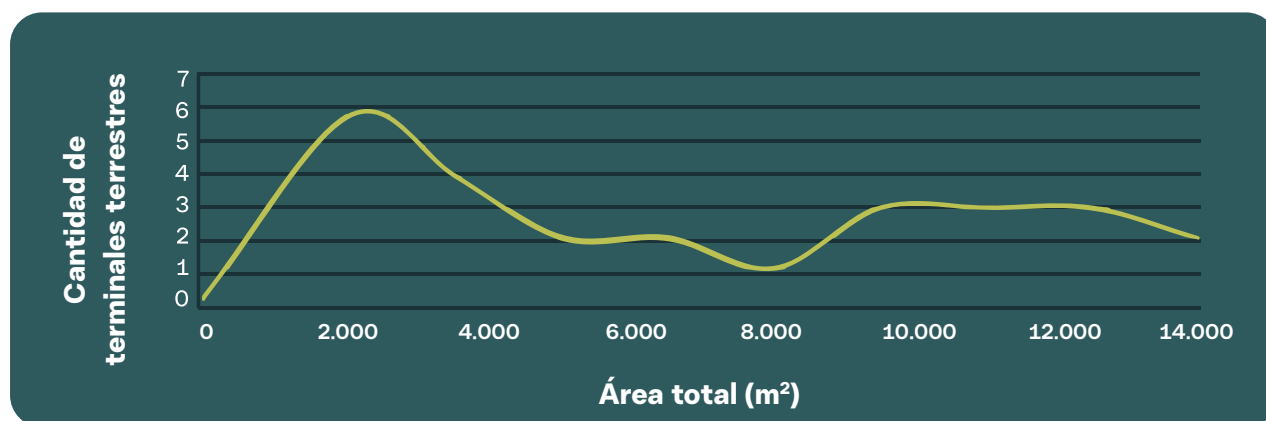
Figura 8. Ubicación de las terminales terrestres consideradas para el estudio.



Fuente: Elaboración propia.

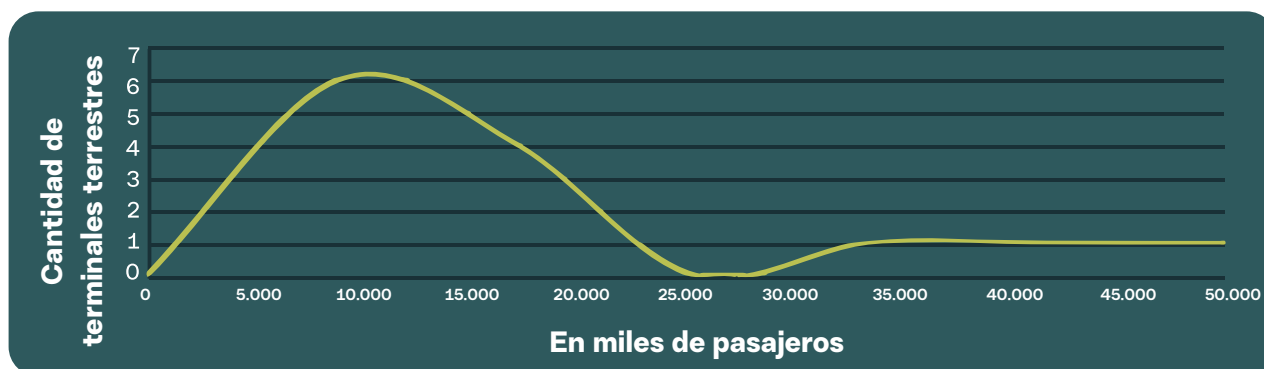
Similar al procedimiento desarrollado para el análisis de las terminales aéreas, también se realizaron histogramas tanto para el área total de las terminales terrestres consideradas en el estudio como para la cantidad total de pasajeros por año. Estos se pueden observar en las siguientes figuras, respectivamente.

Figura 9. Cantidad de terminales terrestres según su área total.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 10. Distribución de terminales terrestres según su flujo de pasajeros por año.



Fuente: Elaboración propia.

Del análisis se logra observar que, en el caso de las áreas totales, se presenta un pico pronunciado cercano a los 2.200 m² y, posteriormente, se observa una cantidad importante de terminales entre 10.000 m² y 14.000 m². Estos valores más elevados corresponden a las terminales que tienen más de un nivel, pues el tener dos o hasta tres plantas ocasiona que su área total de construcción sea considerablemente mayor a las de solo una planta.

Debido a que para este estudio solo se utilizó un prototipo base de terminal, se tomó un valor de área total ubicado entre los valores de media aritmética y mediana obtenidos de la muestra. Esto se debe a que no se puede descartar la representatividad de ninguno de los dos datos, ya que la distribución de la población obtenida en el análisis muestra comportamientos de una distribución bimodal, con los dos grupos de datos importantes. El promedio obtenido fue de aproximadamente 7.200 m² y la mediana fue cerca de 6.500 m². Con base en esto, se seleccionó un valor intermedio de 6.750 m² para el modelo. Este valor está más cerca del pico presentado a los 2.200 m² que al grupo importante de valores que sobrepasan los 10.000 m², lo cual es deseable ya que una mayor cantidad de datos

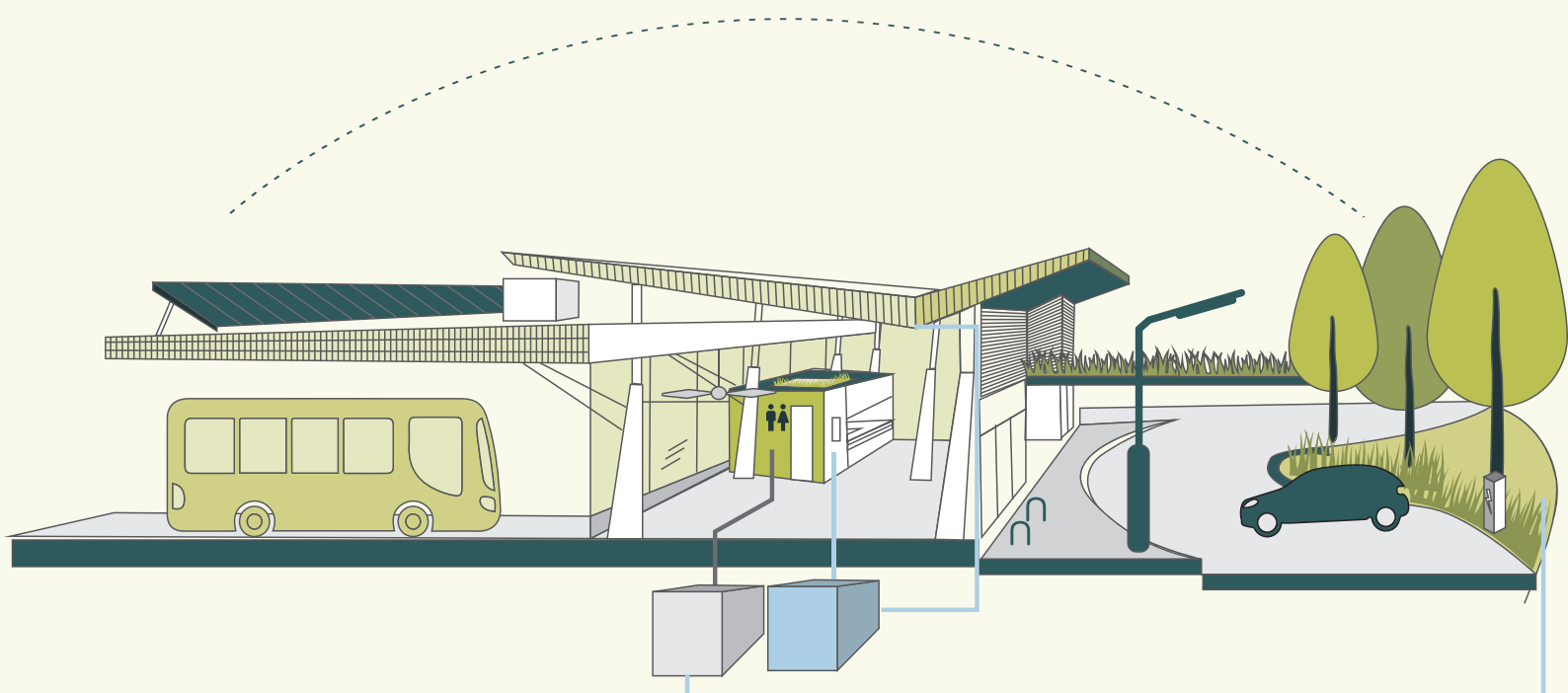
se encuentra cercano al primer grupo con un área de 2.200 m² que al grupo con un área de 10.000 m².

En los resultados de pasajeros por día obtenidos de este análisis, se logra observar claramente cómo la mayoría de las terminales atiende a un número cercano a las 10.000 personas por día, aunque hay casos de terminales que atienden hasta a 50.000 pasajeros diarios. Además, el comportamiento de estos datos es muy diferente al de los datos de área total, ya que esta serie de datos solo cuenta con un pico pronunciado, mientras que no hay otra agrupación de datos que sea muy importante. Al observar los datos, se determina que las terminales con flujos más altos, que son minoría entre los recolectados, provienen de ciudades cuya población es mayor, como lo son Bogotá (Colombia) o São Paulo (Brasil). Con este enfoque, se considera que la cantidad de usuarios depende más de la ciudad en la que se ubique la estación, que del tamaño de la propia terminal. Por tanto, para el análisis de diseño de terminales terrestres verdes presentado en este documento se decidió tomar el valor de la mediana obtenido, que es de 10.000 pasajeros diarios, el cual se usó en la realización del modelo por considerarse el más representativo.

3.3. Estrategias de diseño para terminales terrestres por zona climática

A partir de los datos obtenidos en el estudio comparativo regional de terminales terrestres, se estableció un prototipo modelo que permitió la identificación y adaptación de estrategias de diseño verde y resiliente aplicables a las distintas zonas climáticas de ALC. Este ejercicio facilita la identificación, a través de fichas, de diversas estrategias para lograr eficiencias en el consumo de agua y energía mediante la implementación de estrategias de diseño. La siguiente figura presenta un esquema que incorpora desde los servicios comerciales a considerar hasta una configuración arquitectónica y definición de áreas de construcción orientativas.

Figura 11. Prototipo de terminal terrestre para selección de estrategias de diseño.



 Parada de taxi	 Sala de espera	 Locales comerciales	 4.300 m ² internos	 50 m x 135 m de dimensión
 Restaurantes	 Administración	 Boletería	 6.750 m ² de iluminación externa	 500 m ² de riego
 Servicios higiénicos	 Servicios sanitarios	 10.000 personas diarias	 2025 m ² de área de parqueo	

Fuente: Elaboración propia.

Las consideraciones de diseño sostenible y resiliente aplicables a las terminales aéreas también son pertinentes para las terminales terrestres. Por ello, a continuación, se presentan fichas de diseño para cada zona climática, siguiendo los mismos criterios empleados previamente para terminales aéreas. Estas fichas incluyen: recomendaciones de diseño verde, criterios de diseño resiliente, y consideraciones clave para la fase de operación y mantenimiento.

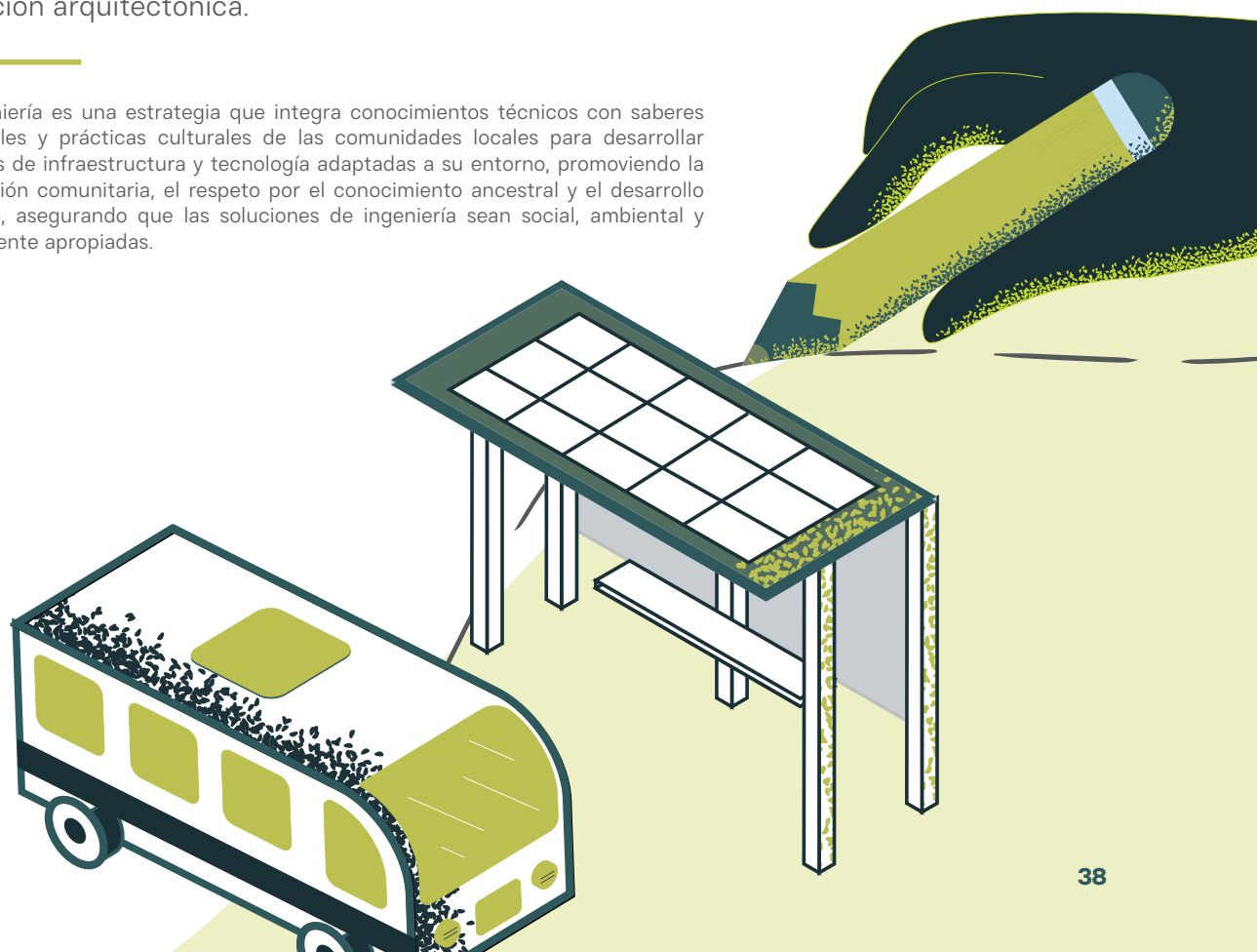
Asimismo, se presentan los resultados del desempeño energético e hídrico obtenidos a través de simulaciones con la herramienta EDGE, que permiten evidenciar la aplicación efectiva de las medidas seleccionadas.

La zona climática es un factor determinante en la definición de muchas estrategias de diseño. Si bien algunas medidas, como la eficiencia en el uso del agua, la eficiencia energética o la selección de materiales sostenibles pueden ser implementadas independientemente del clima, muchas otras requieren ser adaptadas a condiciones climáticas específicas para maximizar su efectividad. Además, estas estrategias son aplicables a cualquier configuración arquitectónica.

Cabe resaltar que los resultados en términos de ahorro de recursos energéticos e hídricos, así como la reducción de la huella de carbono, dependen del diseño final de cada proyecto y del uso adecuado de herramientas de modelado como EDGE.

Algunas de estas estrategias de diseño por zona climática, fueron adoptadas en el Programa de Ampliación de la Red de “Mi Teleférico” para una movilidad eléctrica sostenible e inclusiva para La Paz, Bolivia, que busca mejorar la accesibilidad del área de influencia de la Línea Café que forma parte de la Red de Integración Metropolitana, a través de la extensión de 1,2 kilómetros de cable aéreo. El programa incorporará medidas de etnoingeniería para la nueva estación en Pampahasi y la implementación de paneles fotovoltaicos en una superficie útil de 26.500 m² en techos y áreas de cerca de 30 estaciones en todo el sistema, generando ahorros en consumo de energía a la empresa operadora en más de US\$ 1 millón al año, y evitando casi 4.000 toneladas de CO₂ al año. El estudio de caso y estimación de ahorros se presenta a continuación de las fichas por zona climática.

i Etnoingeniería es una estrategia que integra conocimientos técnicos con saberes tradicionales y prácticas culturales de las comunidades locales para desarrollar soluciones de infraestructura y tecnología adaptadas a su entorno, promoviendo la participación comunitaria, el respeto por el conocimiento ancestral y el desarrollo sostenible, asegurando que las soluciones de ingeniería sean social, ambiental y culturalmente apropiadas.

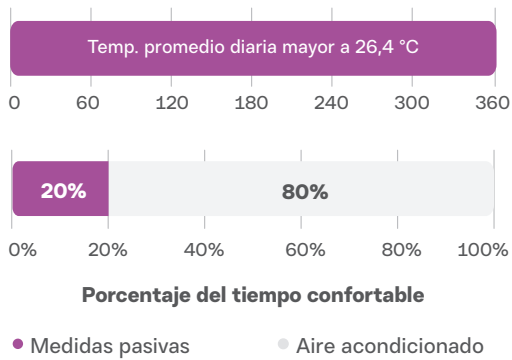


Ficha de diseño



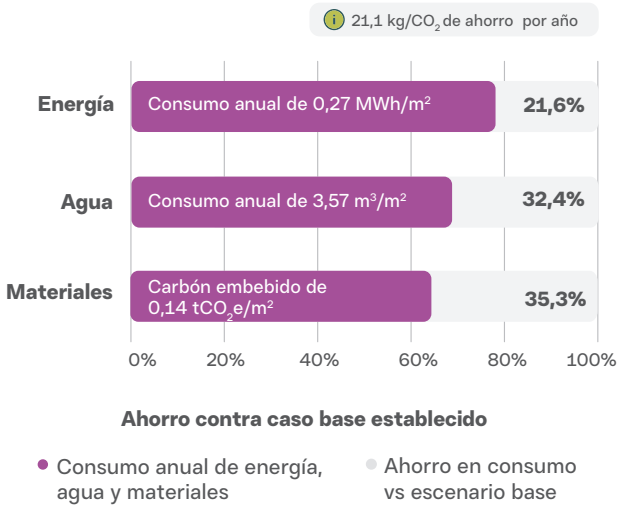
Clima extremadamente caliente (Zona 0 - A y B)

N° de días al año vs rango de temperatura



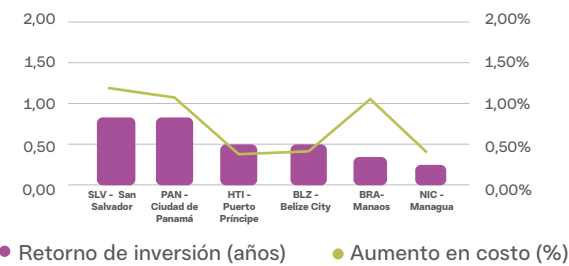
El "tiempo de confort" indica el porcentaje del tiempo en que las condiciones térmicas son agradables sin necesidad de aire acondicionado, gracias a estrategias pasivas como ventilación natural y sombreado.

Distribución del tiempo confortable según estrategias de Climatización

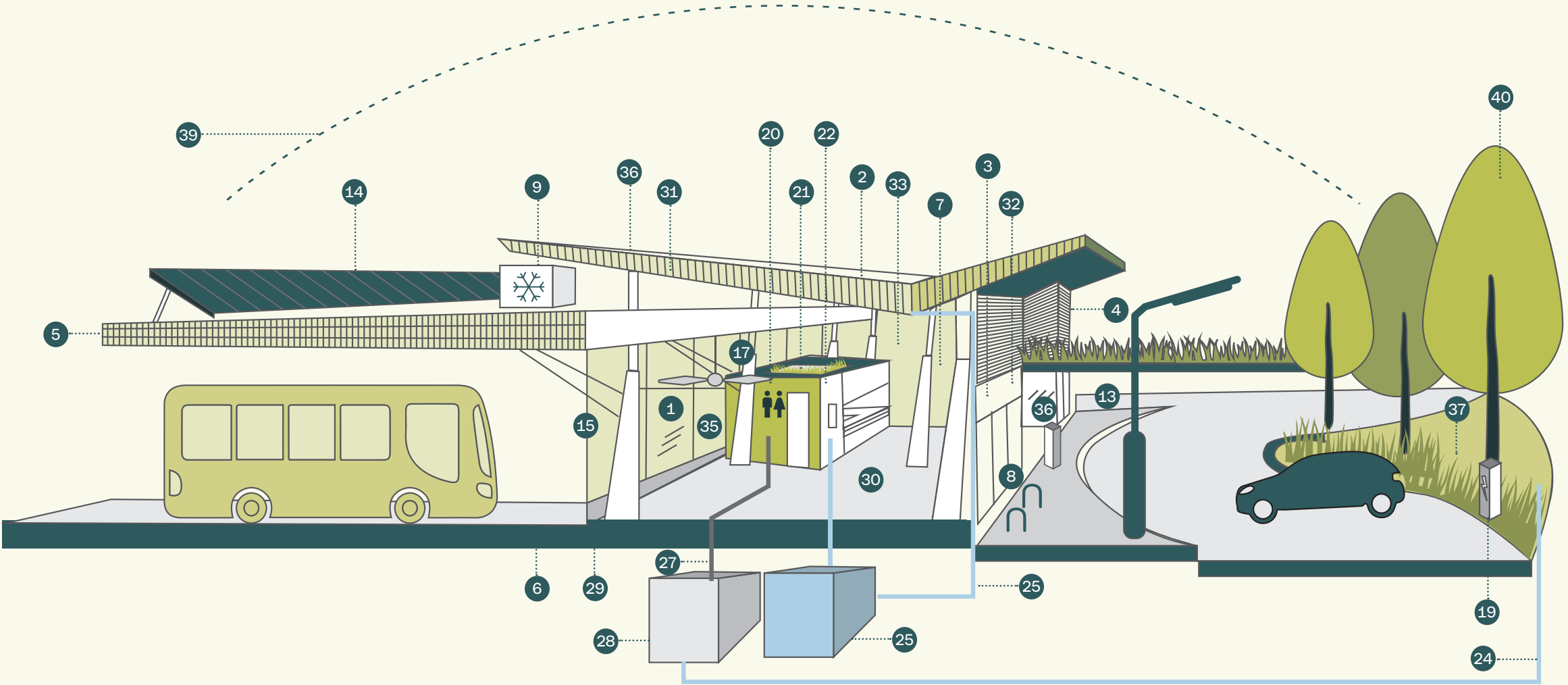


El "ahorro contra caso base establecido" se refiere a la reducción en el consumo de energía, agua y emisiones de carbono en comparación con un caso de referencia estándar, usado como punto de partida para evaluar mejoras en eficiencia y sostenibilidad.

Desempeño de energía, agua y materiales con ahorro frente al caso base



El "retorno de inversión (años)" indica el tiempo estimado en que los ahorros generados por una mejora compensan su costo inicial, reflejando la viabilidad económica de la inversión.



Estrategias de diseño

- 30% relación muro-ventana.
- Reflectividad solar para cubierta: SRI (Solar Reflectance Index) de 90.
- Reflectividad solar para muros: SRI de 90.
- Utilizar parasoles y aletas para minimizar ganancia de calor por radiación.
- Cubierta con aislamiento: Valor U de 0,63 W/m²·K*.
- Aislamiento del suelo / losa de suelo elevado: Valor U de 0,49 W/m²·K*.
- Paredes con aislamiento: Valor U de 3,12 W/m²·K*.
- Eficiencia del vidrio: Valor U de 6,18 W/m²·K; SHGC de 0,4 y VT de 0,45*.
- Eficiencia del sistema de refrigeración: EER (Energy Efficiency Ratio) de 12 Btu/hW.
- Sistema de agua caliente sanitaria eléctrico con eficiencia superior a 90%.
- Iluminación eficiente para áreas internas: 100 L/W.
- Iluminación eficiente para áreas externas: 100 L/W.
- Medidores inteligentes de energía.
- Generación de energía renovable.
- Ventilación natural.
- Disminución del efecto de la isla de calor.
- Abanicos.
- Iluminación natural por medio de tragaluces.
- Cargadores eléctricos para vehículos.
- Grifos de bajo consumo de agua para todos los baños: 2 L/min.
- Inodoros/fluxómetros eficientes para todos los baños: 4,8 L la descarga.
- Orinales eficientes de agua: 0,5 L/descarga.
- Grifos de bajo consumo de agua para fregaderos de

cocina: 6 L/min.

- Riego por goteo de agua tratada.
- Recolección de agua de lluvia.
- Almacenamiento de agua de lluvia para descarga de inodoros.
- Tratamiento de aguas grises (lavamanos y duchas) para riego o recarga de inodoros.
- Tratamiento de aguas grises (lavamanos).
- Losa de hormigón | Losa convencional reforzada in situ: 20 kg/m².
- Pisos con acabado cerámico.
- Techo metálico | Panel sándwich revestido de acero.
- Bloques de hormigón | Bloques huecos de peso medio para paredes externas: 150 mm.
- Bloques de hormigón | Bloques huecos de peso medio para paredes internas: 150 mm.
- Marcos de ventana de aluminio.
- Vidriado simple o insulated.
- Espuma de poliestireno en aerosol o aislamiento de tableros para la composición de cubierta: 54,9 mm.

Resiliencia

- Control contra erosión.
- Manejo de escorrentías y verificación de niveles contra inundación.
- Orientación del edificio para aprovechamiento y disminución de consumo de energía.
- Vegetación nativa.

Otras estrategias

- Revisar datos históricos de vientos, inundaciones e incendios y tomar las precauciones en el diseño.

- Incluir sistemas de retención de aguas pluviales para tormentas cada 100 años o más.
- Maximizar las superficies permeables en el sitio.
- Mantener equipos electromecánicos y áreas ocupadas al menos 3 m sobre nivel del río/lago/mar más cercano.
- Revisión de diseño y construcción para garantizar que cumple con el código local vigente sobre prevención y manejo de incendios.

Operación y mantenimiento

- Verificación y puesta en marcha de los sistemas electromecánicos para confirmar la operación según los parámetros de diseño.
- Manual de operaciones completo con requerimientos operativos actualizados.
- Control de consumo mensual de energía y agua para crear una línea base comparativa.
- Medición anual de los parámetros de calidad del aire interior: CO₂,TVOC (Total Volatile Organic Compounds), PM 2,5.
- Limpieza de filtros de aire fresco y aire acondicionado.
- Mantenimiento de áreas externas y revisión del sistema pluvial para evitar inundaciones.
- Limpieza semestral del sistema de energía fotovoltaica.
- Manejo y control de plagas.
- Pruebas anuales de agua potable.
- Control de fugas de refrigerante del sistema de aire acondicionado.
- Control de humedad y filtraciones.

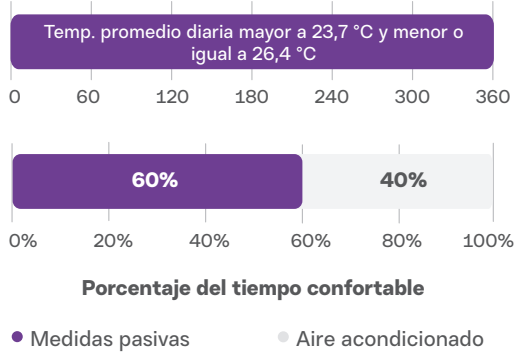
*El valor U mide la transmitancia térmica, el SHGC indica la ganancia de calor solar, y VT representa la cantidad de luz visible transmitida.

Ficha de diseño



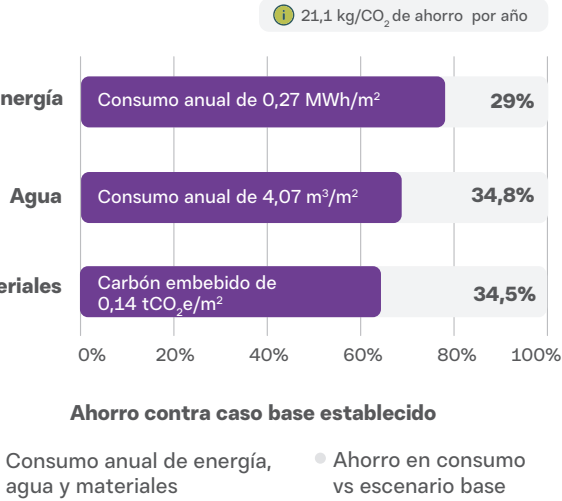
Clima
muy caliente
(Zona 1 - A y B)

N° de días al año vs rango de temperatura



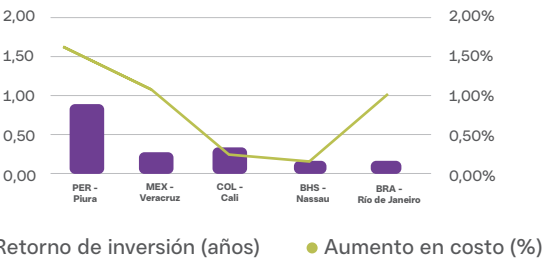
El "tiempo de confort" indica el porcentaje del tiempo en que las condiciones térmicas son agradables sin necesidad de aire acondicionado, gracias a estrategias pasivas como ventilación natural y sombreado.

Distribución del tiempo confortable según estrategias de Climatización

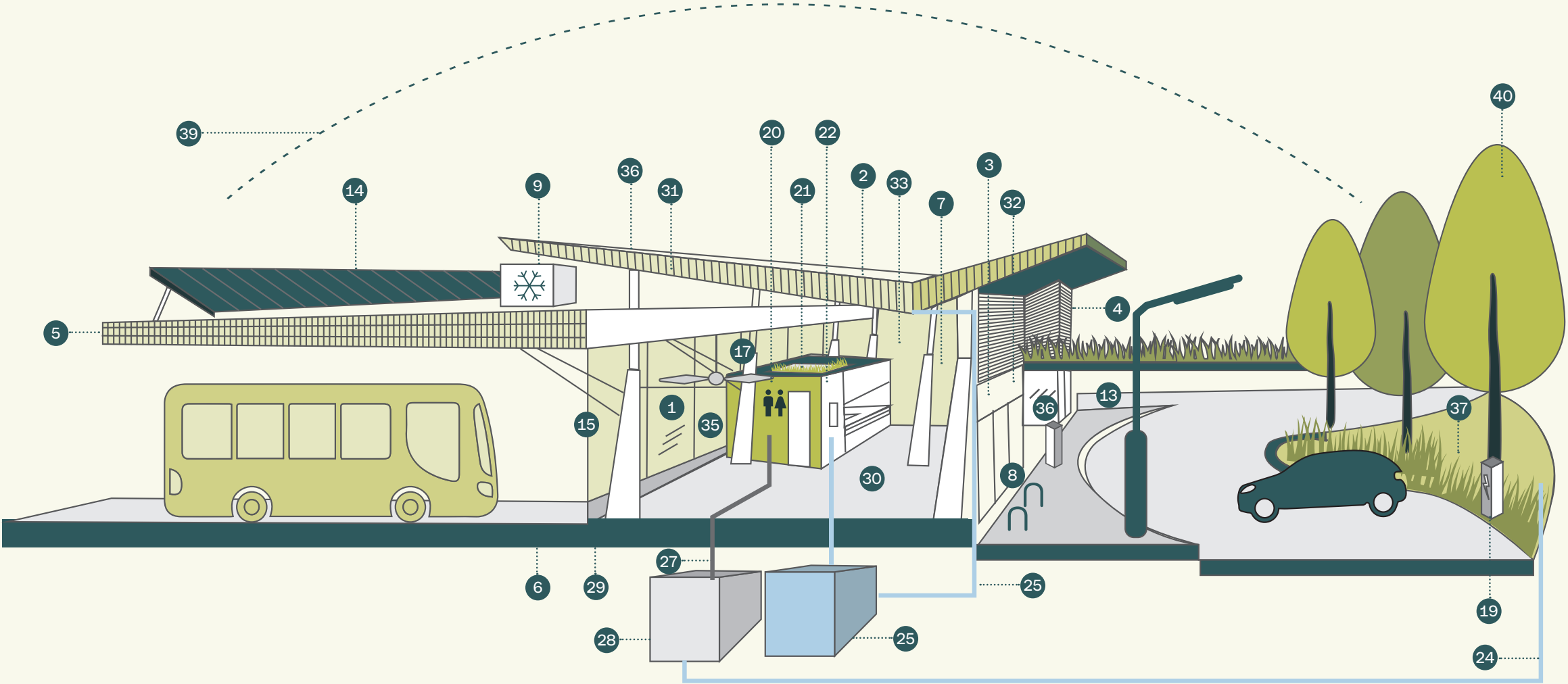


El "ahorro contra caso base establecido" se refiere a la reducción en el consumo de energía, agua y emisiones de carbono en comparación con un caso de referencia estándar, usado como punto de partida para evaluar mejoras en eficiencia y sostenibilidad.

Desempeño de energía, agua y materiales con ahorro frente al caso base



El "retorno de inversión (años)" indica el tiempo estimado en que los ahorros generados por una mejora compensan su costo inicial, reflejando la viabilidad económica de la inversión.



Estrategias de diseño

- 30% relación muro-ventana.
- Reflectividad solar para cubierta: SRI (Solar Reflectance Index) de 90.
- Reflectividad solar para muros: SRI de 90.
- Utilizar parasoles y aletas para minimizar ganancia de calor por radiación.
- Cubierta con aislamiento: Valor U de 0,63 W/m²·K*.
- Aislamiento del suelo / losa de suelo elevado: Valor U de 0,49 W/m²·K*.
- Paredes con aislamiento: Valor U de 3,12 W/m²·K*.
- Eficiencia del vidrio: Valor U de 6,18 W/m²·K; SHGC de 0,4 y VT de 0,45*.
- Eficiencia del sistema de refrigeración: EER (Energy Efficiency Ratio) de 12 Btu/hW.
- Sistema de agua caliente sanitaria eléctrico con eficiencia superior a 90%.
- Iluminación eficiente para áreas internas: 100 L/W.
- Iluminación eficiente para áreas externas: 100 L/W.
- Medidores inteligentes de energía.
- Generación de energía renovable.
- Ventilación natural.
- Disminución del efecto de la isla de calor.
- Abanicos.
- Iluminación natural por medio de tragaluces.
- Cargadores eléctricos para vehículos.
- Grifos de bajo consumo de agua para todos los baños: 2 L/min.
- Inodoros/fluxómetros eficientes para todos los baños: 4,8 L la descarga.
- Orinales eficientes de agua: 0,5 L/descarga.
- Grifos de bajo consumo de agua para fregaderos de cocina: 6 L/min.
- Riego por goteo de agua tratada.
- Recolección de agua de lluvia.
- Almacenamiento de agua de lluvia para descarga de inodoros.
- Tratamiento de aguas grises (lavamanos y duchas) para riego o recarga de inodoros.
- Tratamiento de aguas grises (lavamanos).
- Losa de hormigón | Losa convencional reforzada in situ: 20 kg/m².
- Pisos con acabado cerámico.
- Techo metálico | Panel sándwich revestido de acero.
- Bloques de hormigón | Bloques huecos de peso medio para paredes externas: 150 mm.
- Bloques de hormigón | Bloques huecos de peso medio para paredes internas: 150 mm.
- Marcos de ventana de aluminio.
- Vidriado simple o insulado.
- Espuma de poliestireno en aerosol o aislamiento de tableros para la composición de cubierta: 54,9 mm.
- Maximizar las superficies permeables en el sitio.
- Mantener equipos electromecánicos y áreas ocupadas al menos 3 m sobre nivel del río/lago/mar más cercano.
- Revisión de diseño y construcción para garantizar que cumple con el código local vigente sobre prevención y manejo de incendios.

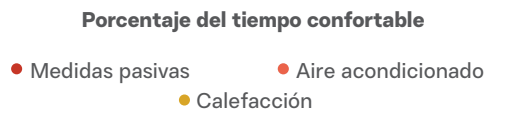
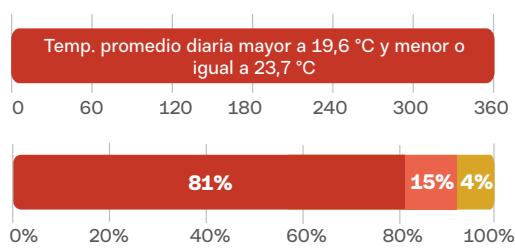
- Operación y mantenimiento**
- Verificación y puesta en marcha de los sistemas electromecánicos para confirmar la operación según los parámetros de diseño.
 - Manual de operaciones completo con requerimientos operativos actualizados.
 - Control de consumo mensual de energía y agua para crear una línea base comparativa.
 - Medición anual de los parámetros de calidad del aire interior: CO₂, TVOC (Total Volatile Organic Compounds), PM 2,5.
 - Limpieza de filtros de aire fresco y aire acondicionado.
 - Mantenimiento de áreas externas y revisión del sistema pluvial para evitar inundaciones.
 - Limpieza semestral del sistema de energía fotovoltaica.
 - Manejo y control de plagas.
 - Pruebas anuales de agua potable.
 - Control de fugas de refrigerante del sistema de aire acondicionado.
 - Control de humedad y filtraciones.

*El valor U mide la transmitancia térmica, el SHGC indica la ganancia de calor solar, y VT representa la cantidad de luz visible transmitida.

Ficha de diseño

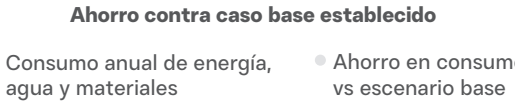
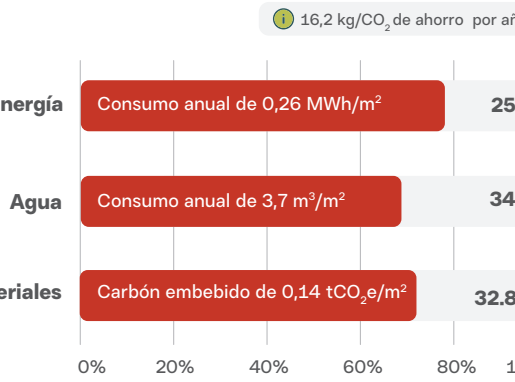
Clima caliente
(Zona 2 - A y B)

N° de días al año vs rango de temperatura



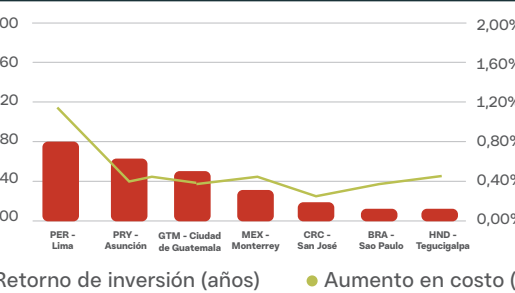
El "tiempo de confort" indica el porcentaje del tiempo en que las condiciones térmicas son agradables sin necesidad de aire acondicionado, gracias a estrategias pasivas como ventilación natural y sombreado.

Distribución del tiempo confortable según estrategias de Climatización

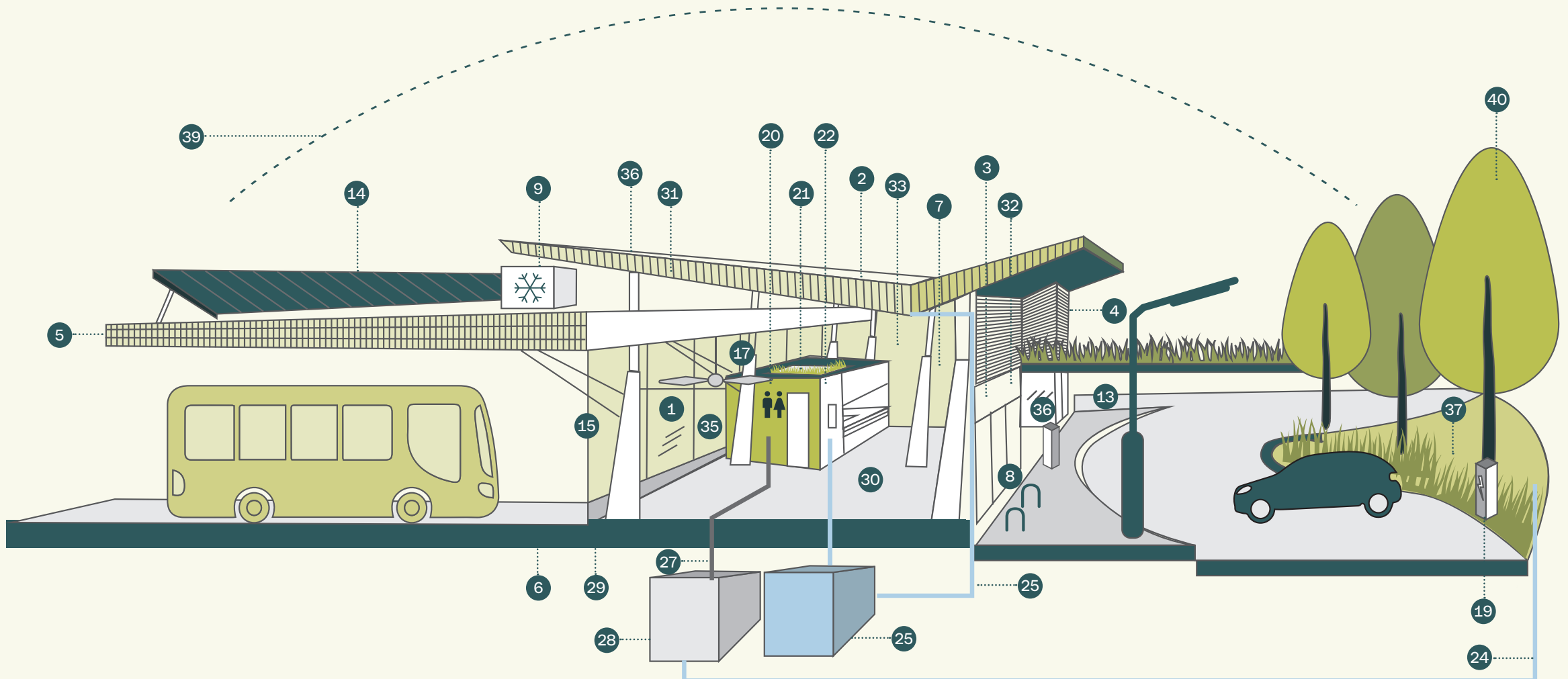


El "ahorro contra caso base establecido" se refiere a la reducción en el consumo de energía, agua y emisiones de carbono en comparación con un caso de referencia estándar, usado como punto de partida para evaluar mejoras en eficiencia y sostenibilidad.

Desempeño de energía, agua y materiales con ahorro frente al caso base



El "retorno de inversión (años)" indica el tiempo estimado en que los ahorros generados por una mejora compensan su costo inicial, reflejando la viabilidad económica de la inversión.



Estrategias de diseño

- 30% relación muro-ventana.
- Reflectividad solar para cubierta: SRI (Solar Reflectance Index) de 90.
- Reflectividad solar para muros: SRI de 90.
- Utilizar parasoles y aletas para minimizar ganancia de calor por radiación.
- Cubierta con aislamiento: Valor U de 0,68 W/m²·K*.
- Aislamiento del suelo / losa de suelo elevado: Valor U de 0,49 W/m²·K*.
- Paredes con aislamiento: Valor U de 3,12 W/m²·K*.
- Eficiencia del vidrio: Valor U de 6,81 W/m²·K; SHGC de 0,3 y VT de 0,45*.
- Eficiencia del sistema de refrigeración: EER (Energy Efficiency Ratio) de 12 Btu/hW.
- Sistema de agua caliente sanitaria eléctrico con eficiencia superior a 90%.
- Iluminación eficiente para áreas internas: 100 L/W.
- Iluminación eficiente para áreas externas: 100 L/W.
- Medidores inteligentes de energía.
- Generación de energía renovable.
- Ventilación natural.
- Disminución del efecto de la isla de calor.
- Abanicos.
- Iluminación natural por medio de tragaluces.
- Cargadores eléctricos para vehículos.
- Grifos de bajo consumo de agua para todos los baños: 2 L/min.
- Inodoros/fluxómetros eficientes para todos los baños: 4,8 L la descarga.
- Orinales eficientes de agua: 0,5 L/descarga.
- Grifos de bajo consumo de agua para fregaderos de cocina: 6 L/min.

- Riego por goteo de agua tratada.
- Recolección de agua de lluvia.
- Almacenamiento de agua de lluvia para descarga de inodoros.
- Tratamiento de aguas grises (lavamanos y duchas) para riego o recarga de inodoros.
- Tratamiento de aguas grises (lavamanos).
- Losa de hormigón | Losa convencional reforzada in situ: 20 kg/m²
- Pisos con acabado cerámico.
- Techo metálico | Panel sándwich revestido de acero.
- Bloques de hormigón | Bloques huecos de peso medio para paredes externas: 150 mm.
- Bloques de hormigón | Bloques huecos de peso medio para paredes internas: 150 mm.
- Marcos de ventana de aluminio.
- Vidriado simple o insulado.
- Espuma de poliestireno en aerosol o aislamiento de tableros para la composición de cubierta: 54,9 mm.

Resiliencia

- Control contra erosión.
- Manejo de escorrentías y verificación de niveles contra inundación.
- Orientación del edificio para aprovechamiento y disminución de consumo de energía.
- Vegetación nativa.

Otras estrategias

- Revisar datos históricos de vientos, inundaciones e incendios y tomar las precauciones en el diseño.
- Incluir sistemas de retención de aguas pluviales para tormentas cada 100 años o más.

- Maximizar las superficies permeables en el sitio.
- Mantener equipos electromecánicos y áreas ocupadas al menos 3 m sobre nivel del río/lago/mar más cercano.
- Revisión de diseño y construcción para garantizar que cumple con el código local vigente sobre prevención y manejo de incendios.

Operación y mantenimiento

- Verificación y puesta en marcha de los sistemas electromecánicos para confirmar la operación según los parámetros de diseño.
- Manual de operaciones completo con requerimientos operativos actualizados.
- Control de consumo mensual de energía y agua para crear una línea base comparativa.
- Medición anual de los parámetros de calidad del aire interior: CO₂, TVOC (Total Volatile Organic Compounds), PM 2,5.
- Limpieza de filtros de aire fresco y aire acondicionado.
- Mantenimiento de áreas externas y revisión del sistema pluvial para evitar inundaciones.
- Limpieza semestral del sistema de energía fotovoltaica.
- Manejo y control de plagas.
- Pruebas anuales de agua potable.
- Control de fugas de refrigerante del sistema de aire acondicionado.
- Control de humedad y filtraciones.

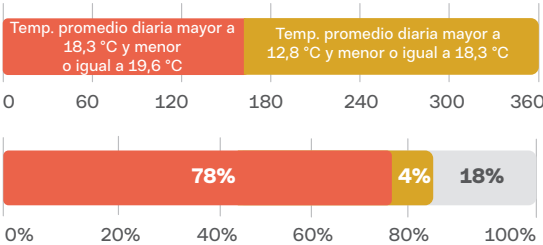
*El valor U mide la transmitancia térmica, el SHGC indica la ganancia de calor solar, y VT representa la cantidad de luz visible transmitida.

Ficha de diseño



Clima
cálido
(Zona 3 - A, B y C)

N° de días al año vs rango de temperatura

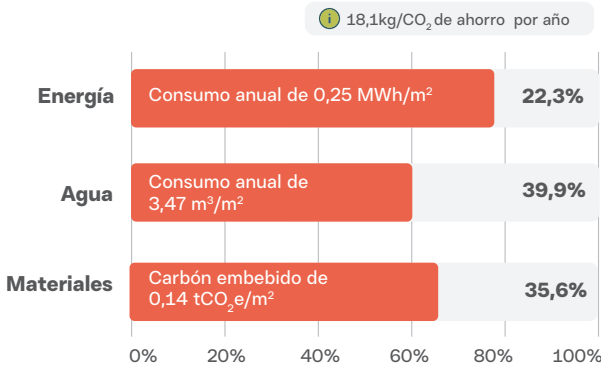


Porcentaje del tiempo confortable

- Medidas pasivas
- Aire acondicionado
- Calefacción

El "tiempo de confort" indica el porcentaje del tiempo en que las condiciones térmicas son agradables sin necesidad de aire acondicionado, gracias a estrategias pasivas como ventilación natural y sombreado.

Distribución del tiempo confortable según estrategias de Climatización

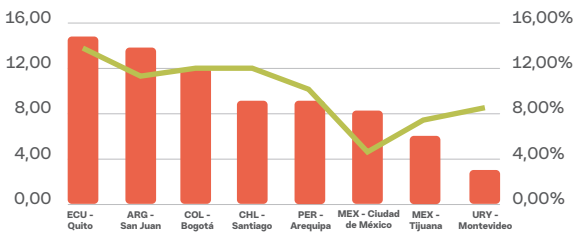


Ahorro contra caso base establecido

- Consumo anual de energía, agua y materiales
- Ahorro en consumo vs escenario base

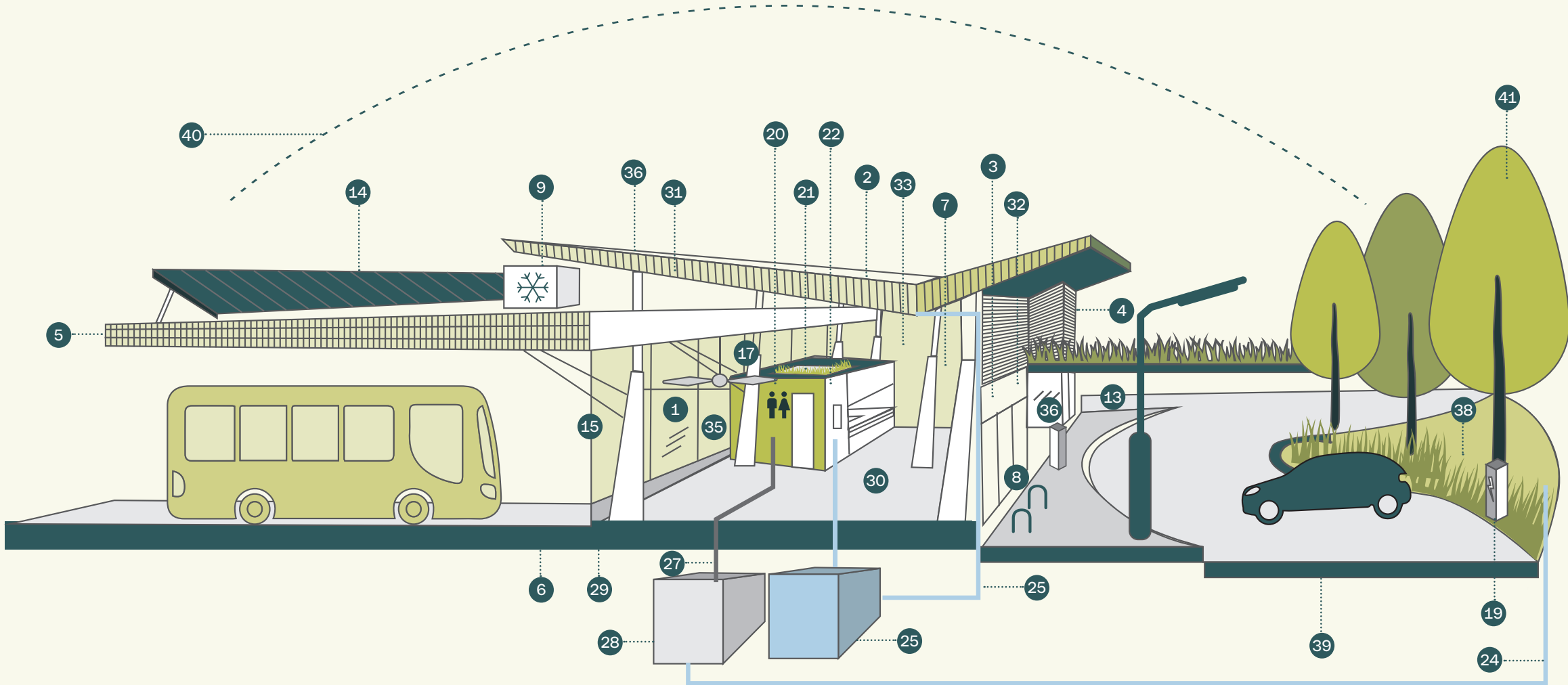
El "ahorro contra caso base establecido" se refiere a la reducción en el consumo de energía, agua y emisiones de carbono en comparación con un caso de referencia estándar, usado como punto de partida para evaluar mejoras en eficiencia y sostenibilidad.

Desempeño de energía, agua y materiales con ahorro frente al caso base



- Retorno de inversión (años)
- Aumento en costo (%)

El "retorno de inversión (años)" indica el tiempo estimado en que los ahorros generados por una mejora compensan su costo inicial, reflejando la viabilidad económica de la inversión.



Estrategias de diseño

- 40% relación muro-ventana.
- Reflectividad solar para cubierta: SRI (Solar Reflectance Index) de 90.
- Reflectividad solar para muros: SRI de 90.
- Utilizar parasoles y aletas para minimizar ganancia de calor por radiación.
- Cubierta con aislamiento: Valor U de 0,68 W/m²·K*.
- Aislamiento del suelo / losa de suelo elevado: Valor U de 0,49 W/m²·K*.
- Paredes con aislamiento: Valor U de 0,55 W/m²·K*.
- Eficiencia del vidrio: Valor U de 3,69 W/m²·K; SHGC de 0,5 y VT de 0,5*.
- Eficiencia del sistema de refrigeración: EER (Energy Efficiency Ratio) de 12 Btu/hW.
- Sistema de agua caliente sanitaria eléctrico con eficiencia superior a 90%.
- Iluminación eficiente para áreas internas: 100 L/W.
- Iluminación eficiente para áreas externas: 100 L/W.
- Medidores inteligentes de energía.
- Generación de energía renovable.
- Ventilación natural.
- Disminución del efecto de la isla de calor.
- Abanicos.
- Iluminación natural por medio de tragaluces.
- Cargadores eléctricos para vehículos.
- Grifos de bajo consumo de agua para todos los baños: 2 L/min.
- Inodoros/fluxómetros eficientes para todos los baños: 4,8 L la descarga.
- Orinales eficientes de agua: 0,5 L/descarga.
- Grifos de bajo consumo de agua para fregaderos de cocina: 6 L/min.

- Riego por goteo de agua tratada.
- Recolección de agua de lluvia.
- Almacenamiento de agua de lluvia para descarga de inodoros.
- Tratamiento de aguas grises (lavamanos y duchas) para riego o recarga de inodoros.
- Tratamiento de aguas grises (lavamanos).
- Losa de hormigón | Losa convencional reforzada in situ: 20 kg/m².
- Pisos con acabado cerámico.
- Techo metálico | Sándwich revestido de acero.
- Bloques de hormigón | Bloques huecos de peso medio para paredes externas: 150 mm.
- Bloques de hormigón | Bloques huecos de peso medio para paredes internas: 150 mm.
- Marcos de ventana de aluminio.
- Vidriado simple o insulated.
- Espuma de poliestireno en aerosol o aislamiento de tableros para la composición de cubierta: 100 mm.
- Espuma lana mineral para paredes: 50 mm.

Resiliencia

- Control contra erosión.
- Manejo de escorrentías y verificación de niveles contra inundación.
- Orientación del edificio para aprovechamiento y disminución de consumo de energía.
- Vegetación nativa.

Otras estrategias

- Revisar datos históricos de vientos, inundaciones e incendios y tomar las precauciones en el diseño.
- Incluir sistemas de retención de aguas pluviales para

tormentas cada 100 años o más.

- Maximizar las superficies permeables en el sitio.
- Mantener equipos electromecánicos y áreas ocupadas al menos 3 m sobre nivel del río/lago/mar más cercano.
- Revisión de diseño y construcción para garantizar que cumple con el código local vigente sobre prevención y manejo de incendios.

Operación y mantenimiento

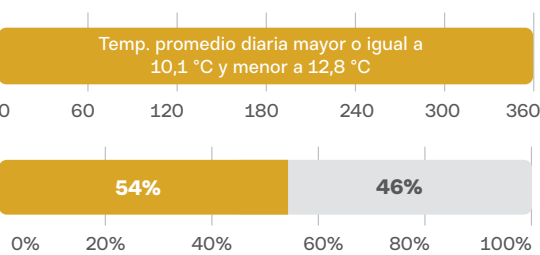
- Verificación y puesta en marcha de los sistemas electromecánicos para confirmar la operación según los parámetros de diseño.
- Manual de operaciones completo con requerimientos operativos actualizados.
- Control de consumo mensual de energía y agua para crear una línea base comparativa.
- Medición anual de los parámetros de calidad del aire interior: CO₂, TVOC (Total Volatile Organic Compounds), PM 2,5.
- Limpieza de filtros de aire fresco y aire acondicionado.
- Mantenimiento de áreas externas y revisión del sistema pluvial para evitar inundaciones.
- Limpieza semestral del sistema de energía fotovoltaica.
- Manejo y control de plagas.
- Pruebas anuales de agua potable.
- Control de fugas de refrigerante del sistema de aire acondicionado.
- Control de humedad y filtraciones.
- Realizar pruebas de hermeticidad de la envolvente para reducir pérdida de energía.

*El valor U mide la transmitancia térmica, el SHGC indica la ganancia de calor solar, y VT representa la cantidad de luz visible transmitida.

Ficha de
diseño

Clima mixto
(Zona 4 - A, B y C)

N° de días al año vs rango de temperatura

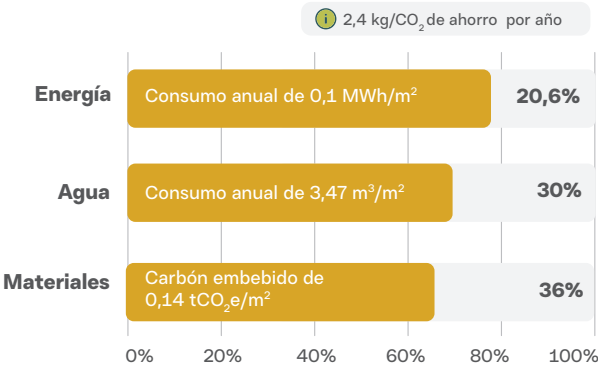


Porcentaje del tiempo confortable

Medidas pasivas Aire acondicionado
Calefacción

El "tiempo de confort" indica el porcentaje del tiempo en que las condiciones térmicas son agradables sin necesidad de aire acondicionado, gracias a estrategias pasivas como ventilación natural y sombreado.

Distribución del tiempo confortable según estrategias de Climatización

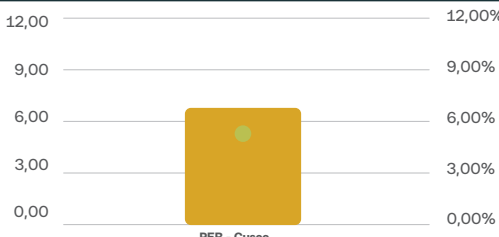


Ahorro contra caso base establecido

Consumo anual de energía, agua y materiales Ahorro en consumo vs escenario base

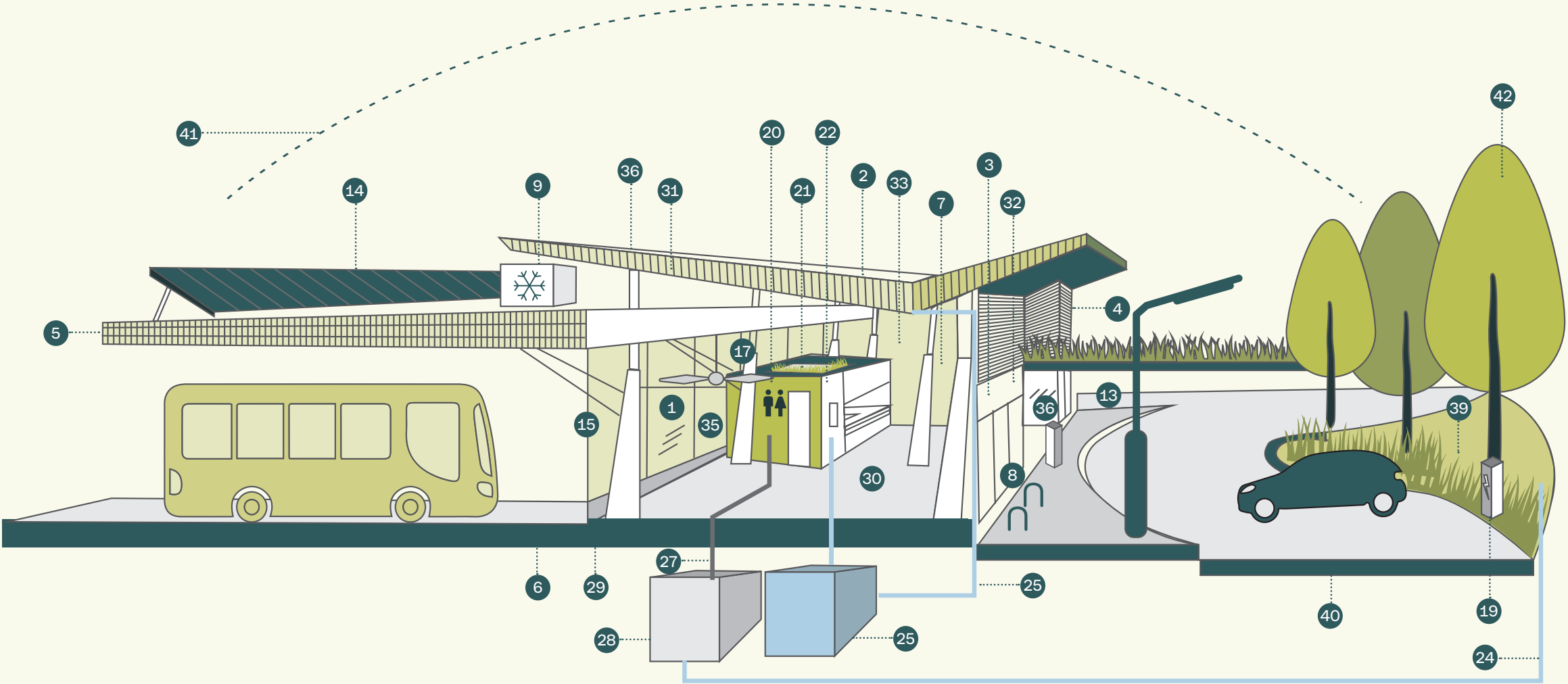
El "ahorro contra caso base establecido" se refiere a la reducción en el consumo de energía, agua y emisiones de carbono en comparación con un caso de referencia estándar, usado como punto de partida para evaluar mejoras en eficiencia y sostenibilidad.

Desempeño de energía, agua y materiales con ahorro frente al caso base



Retorno de inversión (años) Aumento en costo (%)

El "retorno de inversión (años)" indica el tiempo estimado en que los ahorros generados por una mejora compensan su costo inicial, reflejando la viabilidad económica de la inversión.



Estrategias de diseño

- 1. 40% relación muro-ventana.
- 2. Reflectividad solar para cubierta: SRI (Solar Reflectance Index) de 90.
- 3. Reflectividad solar para muros: SRI de 90.
- 4. Utilizar parasoles y aletas para minimizar ganancia de calor por radiación.
- 5. Cubierta con aislamiento: Valor U de 0,33 W/m²·K*.
- 6. Aislamiento del suelo / losa de suelo elevado: Valor U de 0,49 W/m²·K*.
- 7. Paredes con aislamiento: Valor U de 0,55 W/m²·K*.
- 8. Eficiencia del vidrio: Valor U de 3,69 W/m²·K; SHGC de 0,5 y VT de 0,5*.
- 9. Eficiencia del sistema de refrigeración: EER (Energy Efficiency Ratio).
- 10. Sistema de agua caliente sanitaria eléctrico con eficiencia superior a 90%.
- 11. Iluminación eficiente para áreas internas: 100 L/W.
- 12. Iluminación eficiente para áreas externas: 100 L/W.
- 13. Medidores inteligentes de energía.
- 14. Generación de energía renovable: 10%.
- 15. Ventilación natural.
- 16. Disminución del efecto de la isla de calor.
- 17. Abanicos.
- 18. Iluminación natural por medio de tragaluces.
- 19. Cargadores eléctricos para vehículos.
- 20. Grifos de bajo consumo de agua para todos los baños: 2 L/min.
- 21. Inodoros/fluxómetros eficientes para todos los baños: 4,8 L la descarga.
- 22. Orinales eficientes de agua: 0,5 L/descarga.
- 23. Grifos de bajo consumo de agua para fregaderos de cocina: 6 L/min.
- 24. Riego por goteo de agua tratada.

- 25. Recolección de agua de lluvia.
- 26. Almacenamiento de agua de lluvia para descarga de inodoros.
- 27. Tratamiento de aguas grises (lavamanos y duchas) para riego o recarga de inodoros.
- 28. Tratamiento de aguas grises (lavamanos).
- 29. Losa de hormigón | Losa convencional reforzada in situ: 20 kg/m².
- 30. Pisos con acabado cerámico.
- 31. Techo metálico | Sándwich revestido de acero: 103,6 mm.
- 32. Bloques de hormigón | Bloques huecos de peso medio para paredes externas: 150 mm.
- 33. Bloques de hormigón | Bloques huecos de peso medio para paredes internas: 150 mm.
- 34. Marcos de ventana de aluminio.
- 35. Vidriado simple o insulated.
- 36. Espuma de poliestireno en aerosol o aislamiento de tableros para la composición de cubierta: 100 mm.
- 37. Espuma lana mineral para paredes: 50 mm.
- 38. Preacondicionamiento de aire fresco.

Resiliencia

- 39. Control contra erosión.
- 40. Manejo de escorrentías y verificación de niveles contra inundación.
- 41. Orientación del edificio para aprovechamiento y disminución de consumo de energía.
- 42. Vegetación nativa.

Otras estrategias

- 43. Revisar datos históricos de vientos, inundaciones e incendios y tomar las precauciones en el diseño.
- 44. Incluir sistemas de retención de aguas pluviales para

tormentas cada 100 años o más.

- 45. Maximizar las superficies permeables en el sitio.
- 46. Mantener equipos electromecánicos y áreas ocupadas al menos 3 m sobre nivel del río/lago/mar más cercano.
- 47. Revisión de diseño y construcción para garantizar que cumple con el código local vigente sobre prevención y manejo de incendios.

Operación y mantenimiento

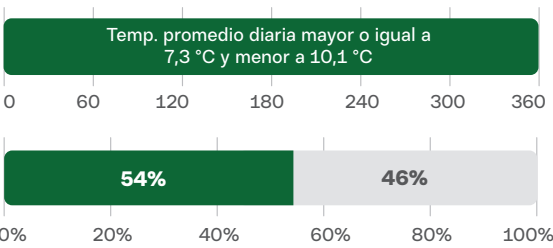
- 48. Verificación y puesta en marcha.
- 49. de los sistemas electromecánicos para confirmar la operación según los parámetros de diseño.
- 50. Manual de operaciones completo con requerimientos operativos actualizados.
- 51. Control de consumo mensual de energía y agua para crear una línea base comparativa.
- 52. Medición anual de los parámetros de calidad de aire interior: CO2, TVOC (Total Volatile Organic Compounds), PM 2,5.
- 53. Limpieza de filtros de aire fresco y aire acondicionado.
- 54. Mantenimiento de áreas externas y revisión del sistema pluvial para evitar inundaciones.
- 55. Limpieza semestral del sistema de energía fotovoltaica.
- 56. Manejo y control de plagas.
- 57. Pruebas anuales de agua potable.
- 58. Control de fugas de refrigerante del sistema de aire acondicionado.
- 59. Control de humedad y filtraciones.
- 60. Realizar pruebas de hermeticidad de la envolvente para reducir pérdida de energía.

*El valor U mide la transmitancia térmica, el SHGC indica la ganancia de calor solar, y VT representa la cantidad de luz visible transmitida.

Ficha de
diseño

Clima fresco
(Zona 5 - A, B y C)

N° de días al año vs rango de temperatura

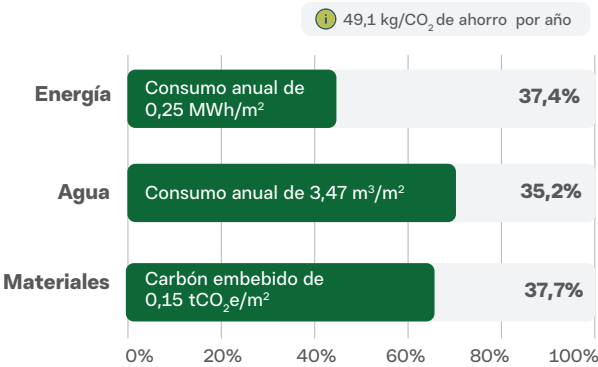


Porcentaje del tiempo confortable

- Medidas pasivas
- Aire acondicionado
- Calefacción

El "tiempo de confort" indica el porcentaje del tiempo en que las condiciones térmicas son agradables sin necesidad de aire acondicionado, gracias a estrategias pasivas como ventilación natural y sombreado.

Distribución del tiempo confortable según estrategias de Climatización

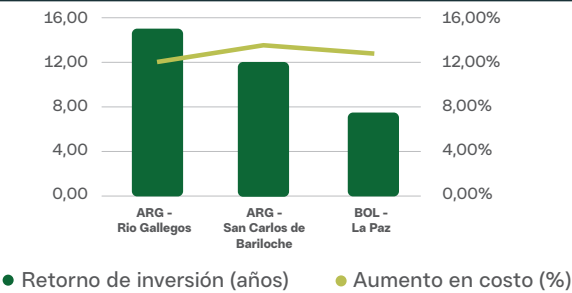


Ahorro contra caso base establecido

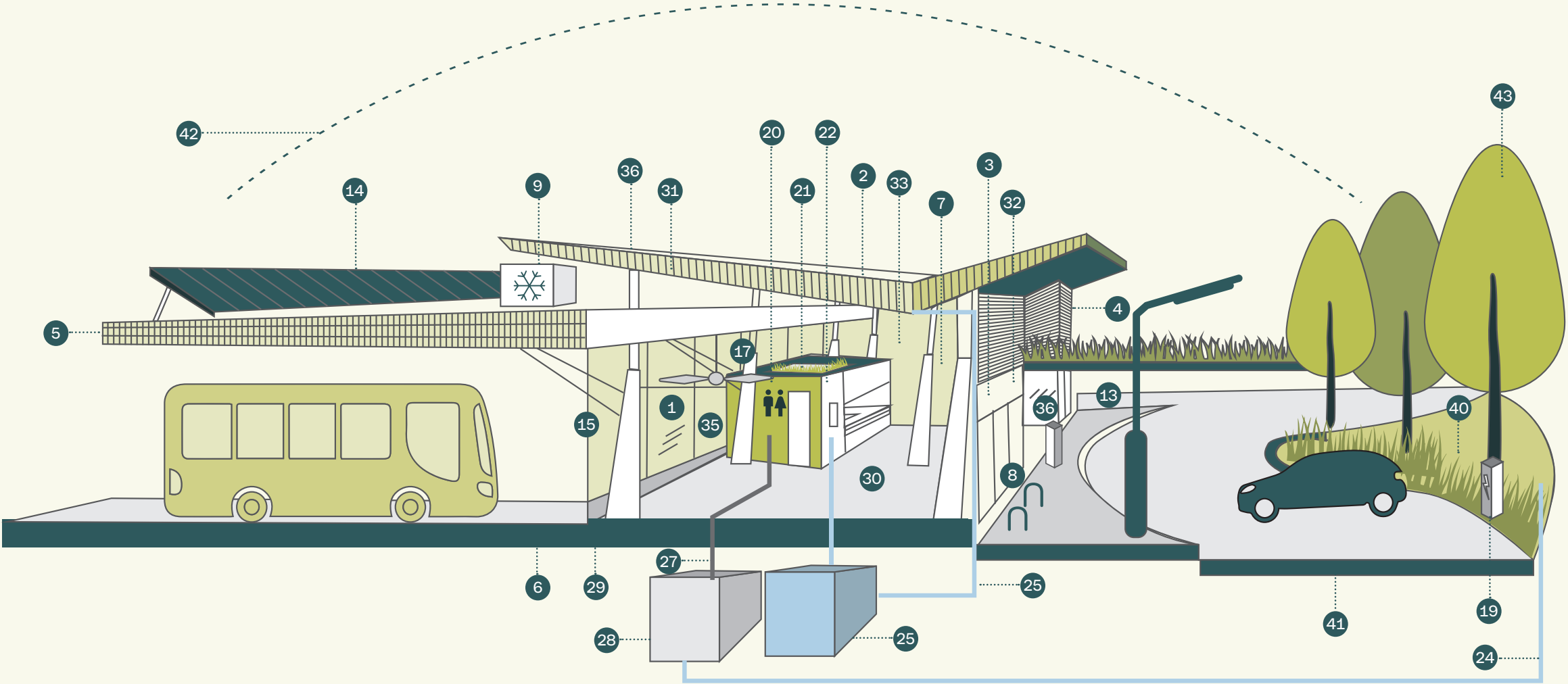
- Consumo anual de energía, agua y materiales
- Ahorro en consumo vs escenario base

El "ahorro contra caso base establecido" se refiere a la reducción en el consumo de energía, agua y emisiones de carbono en comparación con un caso de referencia estándar, usado como punto de partida para evaluar mejoras en eficiencia y sostenibilidad.

Desempeño de energía, agua y materiales con ahorro frente al caso base



El "retorno de inversión (años)" indica el tiempo estimado en que los ahorros generados por una mejora compensan su costo inicial, reflejando la viabilidad económica de la inversión.



Estrategias de diseño

- 50% relación muro-ventana.
 - Reflectividad solar para cubierta.
 - Reflectividad solar para muros: SRI (Solar Reflectance Index) de 90.
 - Uso de parasoles y aletas: No aplica para zona climática.
 - Cubierta con aislamiento: Valor U de 0,33 W/m²·K*.
 - Aislamiento del suelo / losa de suelo elevado: Valor U de 0,49 W/m²·K*.
 - Paredes con aislamiento: Valor U de 0,55 W/m²·K*.
 - Eficiencia del vidrio: Valor U de 3,69 W/m²·K; SHGC de 0,5 y VT de 0,5*.
 - Eficiencia del sistema de refrigeración: EER (Energy Efficiency Ratio) de 12 Btu/hW.
 - Sistema de agua caliente sanitaria eléctrico con eficiencia superior a 90%.
 - Iluminación eficiente para áreas internas: 100 L/W.
 - Iluminación eficiente para áreas externas: 100 L/W.
 - Medidores inteligentes de energía.
 - Generación de energía renovable.
 - Ventilación natural.
 - Disminución del efecto de la isla de calor.
 - Abanicos.
 - Iluminación natural por medio de tragaluces.
 - Cargadores eléctricos para vehículos.
 - Grifos de bajo consumo de agua para todos los baños: 2 L/min.
 - Inodoros/fluxómetros eficientes para todos los baños: 4,8 L la descarga.
 - Orinales eficientes de agua: 0,5 L/descarga.
 - Grifos de bajo consumo de agua para fregaderos de cocina: 6 L/min.
 - Riego por goteo de agua tratada.
 - Recolección de agua de lluvia.
 - Almacenamiento de agua de lluvia para descarga de inodoros.
 - Tratamiento de aguas grises (lavamanos y duchas) para riego o recarga de inodoros.
 - Tratamiento de aguas grises (lavamanos).
 - Losa de hormigón | Losa convencional reforzada in situ: 20 kg/m².
 - Pisos con acabado cerámico.
 - Techo metálico | Panel sándwich revestido de acero: 103,6 mm.
 - Bloques de hormigón | Bloques huecos de peso medio para paredes externas: 150 mm.
 - Bloques de hormigón | Bloques huecos de peso medio para paredes internas: 150 mm.
 - Marcos de ventana de aluminio.
 - Vidriado simple o insulado.
 - Espuma de poliestireno en aerosol o aislamiento de tableros para la composición de cubierta: 100 mm.
 - Espuma lana mineral para paredes: 75 mm.
 - Preacondicionamiento de aire fresco.
 - Calefacción de espacios internos: COP 2,9.
- Resiliencia
- Control contra erosión.
 - Manejo de escorrentías y verificación de niveles contra inundación.
 - Orientación del edificio para aprovechamiento y disminución de consumo de energía.
 - Vegetación nativa.
- Otras estrategias
- Revisar datos históricos de vientos, inundaciones e incendios y tomar las precauciones en el diseño.
 - Incluir sistemas de retención de aguas pluviales para

- tormentas cada 100 años o más.
- Maximizar las superficies permeables en el sitio.
 - Mantener equipos electromecánicos y áreas ocupadas al menos 3 m sobre nivel del río/lago/mar más cercano.
 - Revisión de diseño y construcción para garantizar que cumple con el código local vigente sobre prevención y manejo de incendios.

Operación y mantenimiento

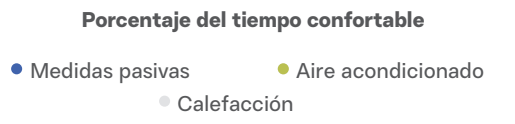
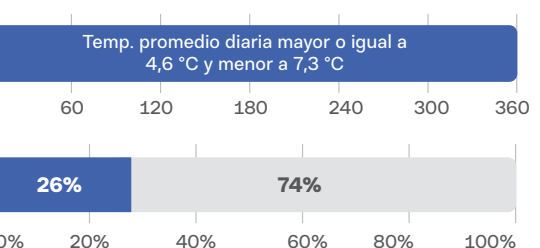
- Verificación y puesta en marcha de los sistemas electromecánicos para confirmar la operación según los parámetros de diseño.
- Manual de operaciones completo con requerimientos operativos actualizados.
- Control de consumo mensual de energía y agua para crear una línea base comparativa.
- Medición anual de los parámetros de calidad de aire interior: CO2, TVOC (Total Volatile Organic Compounds), PM 2,5.
- Limpieza de filtros de aire fresco y aire acondicionado.
- Mantenimiento de áreas externas y revisión del sistema pluvial para evitar inundaciones.
- Limpieza semestral del sistema de energía fotovoltaica.
- Manejo y control de plagas.
- Pruebas anuales de agua potable.
- Control de fugas de refrigerante del sistema de aire acondicionado.
- Control de humedad y filtraciones.
- Realizar pruebas de hermeticidad de la envolvente para reducir pérdida de energía.
- Revisión de tuberías sensibles a daños por frío extremo.

*El valor U mide la transmitancia térmica, el SHGC indica la ganancia de calor solar, y VT representa la cantidad de luz visible transmitida.

Ficha de diseño

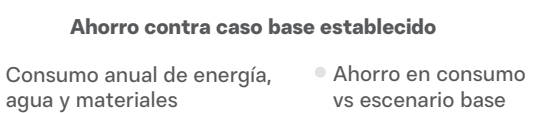
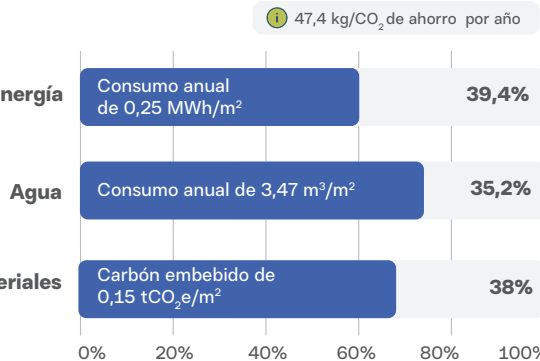
Clima frío
(Zona 6 - A y B)

N° de días al año vs rango de temperatura



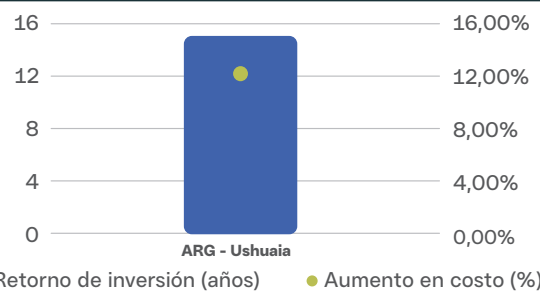
El "tiempo de confort" indica el porcentaje del tiempo en que las condiciones térmicas son agradables sin necesidad de aire acondicionado, gracias a estrategias pasivas como ventilación natural y sombreado.

Distribución del tiempo confortable según estrategias de Climatización

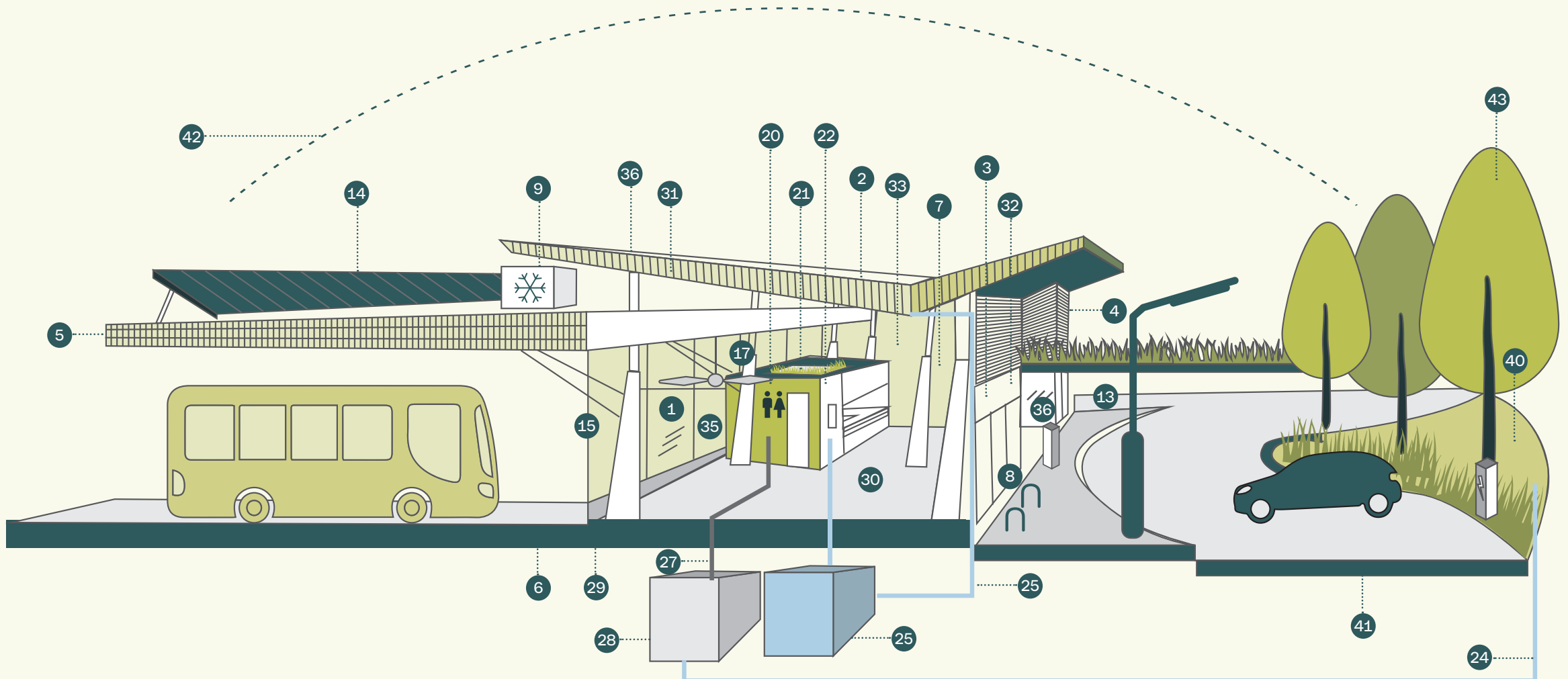


El "ahorro contra caso base establecido" se refiere a la reducción en el consumo de energía, agua y emisiones de carbono en comparación con un caso de referencia estándar, usado como punto de partida para evaluar mejoras en eficiencia y sostenibilidad.

Desempeño de energía, agua y materiales con ahorro frente al caso base



El "retorno de inversión (años)" indica el tiempo estimado en que los ahorros generados por una mejora compensan su costo inicial, reflejando la viabilidad económica de la inversión.



Estrategias de diseño

- 50% relación muro-ventana.
- Reflectividad solar para cubierta: SRI (Solar Reflectance Index) de 90.
- Reflectividad solar para muros: SRI de 90.
- Uso de parasoles y aletas: No aplica para zona climática.
- Cubierta con aislamiento: Valor U de 0,33 W/m²·K*.
- Aislamiento del suelo / losa de suelo elevado: Valor U de 0,49 W/m²·K*.
- Paredes con aislamiento: Valor U de 0,55 W/m²·K*.
- Eficiencia del vidrio: Valor U de 3,69 W/m²·K; SHGC de 0,5 y VT de 0,5*.
- Eficiencia del sistema de refrigeración: EER (Energy Efficiency Ratio) de 12 Btu/hW.
- Sistema de agua caliente sanitaria eléctrico con eficiencia superior a 90%.
- Iluminación eficiente para áreas internas: 100 L/W.
- Iluminación eficiente para áreas externas: 100 L/W.
- Medidores inteligentes de energía.
- Generación de energía renovable.
- Ventilación natural.
- Disminución del efecto de la isla de calor.
- Abanicos.
- Iluminación natural por medio de tragaluces.
- Cargadores eléctricos para vehículos.
- Grifos de bajo consumo de agua para todos los baños: 2 L/min.
- Inodoros/fluxómetros eficientes para todos los baños: 4,8 L la descarga.
- Orinales eficientes de agua: 0,5 L/descarga.
- Grifos de bajo consumo de agua para fregaderos de cocina: 6 L/min.
- Riego por goteo de agua tratada.
- Recolección de agua de lluvia.

- Almacenamiento de agua de lluvia para descarga de inodoros.
- Tratamiento de aguas grises (lavamanos y duchas) para riego o recarga de inodoros.
- Tratamiento de aguas grises (lavamanos).
- Losa de hormigón | Losa convencional reforzada in situ: 20 kg/m².
- Pisos con acabado cerámico.
- Techo metálico | Panel sándwich revestido de acero: 103,6 mm.
- Bloques de hormigón | Bloques huecos de peso medio para paredes externas: 150 mm.
- Bloques de hormigón | Bloques huecos de peso medio para paredes internas: 150 mm.
- Marcos de ventana de aluminio.
- Vidriado simple o insulated.
- Espuma de poliestireno en aerosol o aislamiento de tableros para la composición de cubierta: 100 mm.
- Espuma lana mineral para paredes: 75 mm.
- Preacondicionamiento de aire fresco.
- Calefacción de espacios internos: COP 2,9.

Resiliencia

- Control contra erosión.
- Manejo de escorrentías y verificación de niveles contra inundación.
- Orientación del edificio para aprovechamiento y disminución de consumo de energía.
- Vegetación nativa.

Otras estrategias

- Revisar datos históricos de vientos, inundaciones e incendios y tomar las precauciones en el diseño.
- Incluir sistemas de retención de aguas pluviales para tormentas cada 100 años o más.

- Maximizar las superficies permeables en el sitio.
- Mantener equipos electromecánicos y áreas ocupadas al menos 3 m sobre nivel del río/lago/mar más cercano.
- Revisión de diseño y construcción para garantizar que cumple con el código local vigente sobre prevención y manejo de incendios.

Operación y mantenimiento

- Verificación y puesta en marcha de los sistemas electromecánicos para confirmar la operación según los parámetros de diseño.
- Manual de operaciones completo con requerimientos operativos actualizados.
- Control de consumo mensual de energía y agua para crear una línea base comparativa.
- Medición anual de los parámetros de calidad del aire interior: CO₂, TVOC (Total Volatile Organic Compounds), PM 2,5.
- Limpieza de filtros de aire fresco y aire acondicionado.
- Mantenimiento de áreas externas y revisión del sistema pluvial para evitar inundaciones.
- Limpieza semestral del sistema de energía fotovoltaica.
- Manejo y control de plagas.
- Pruebas anuales de agua potable.
- Control de fugas de refrigerante del sistema de aire acondicionado.
- Control de humedad y filtraciones.
- Realizar pruebas de hermeticidad de la envolvente para reducir pérdida de energía.
- Revisión de tuberías sensibles a daños por frío extremo.

*El valor U mide la transmitancia térmica, el SHGC indica la ganancia de calor solar, y VT representa la cantidad de luz visible transmitida.

Experiencias en la **región**

 **Bolivia**

Estado: obras en diseño

Construcción de la estación “Pamphasi” de la Línea Café de Mi Teleférico con criterios de Etnoingeniería, sistemas de uso eficiente de energía y agua, y sistema de generación fotovoltaica para todas las estaciones del sistema.



>20%

Ahorro de energía



>20%

Ahorro de agua



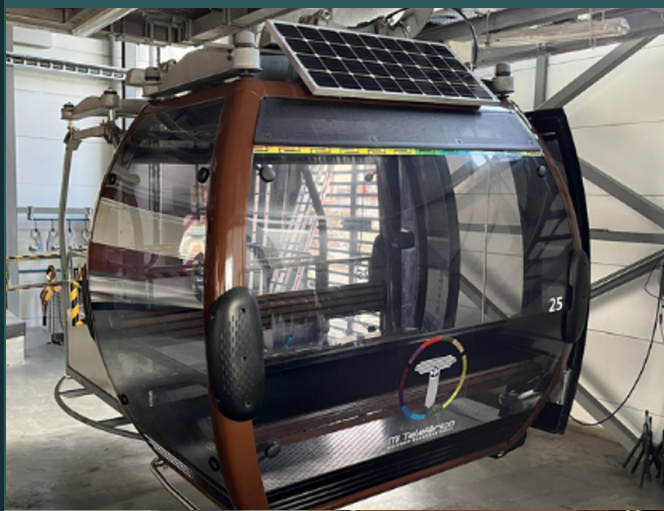
>20%

Menos energía incorporada en los materiales

Cumplen los requisitos mínimos de Nivel 1 de certificación EDGE de Edificio Verde.

Caso: Terminal terrestre

Estación Pamphasi - Extensión de la Línea Café de Mi Teleférico



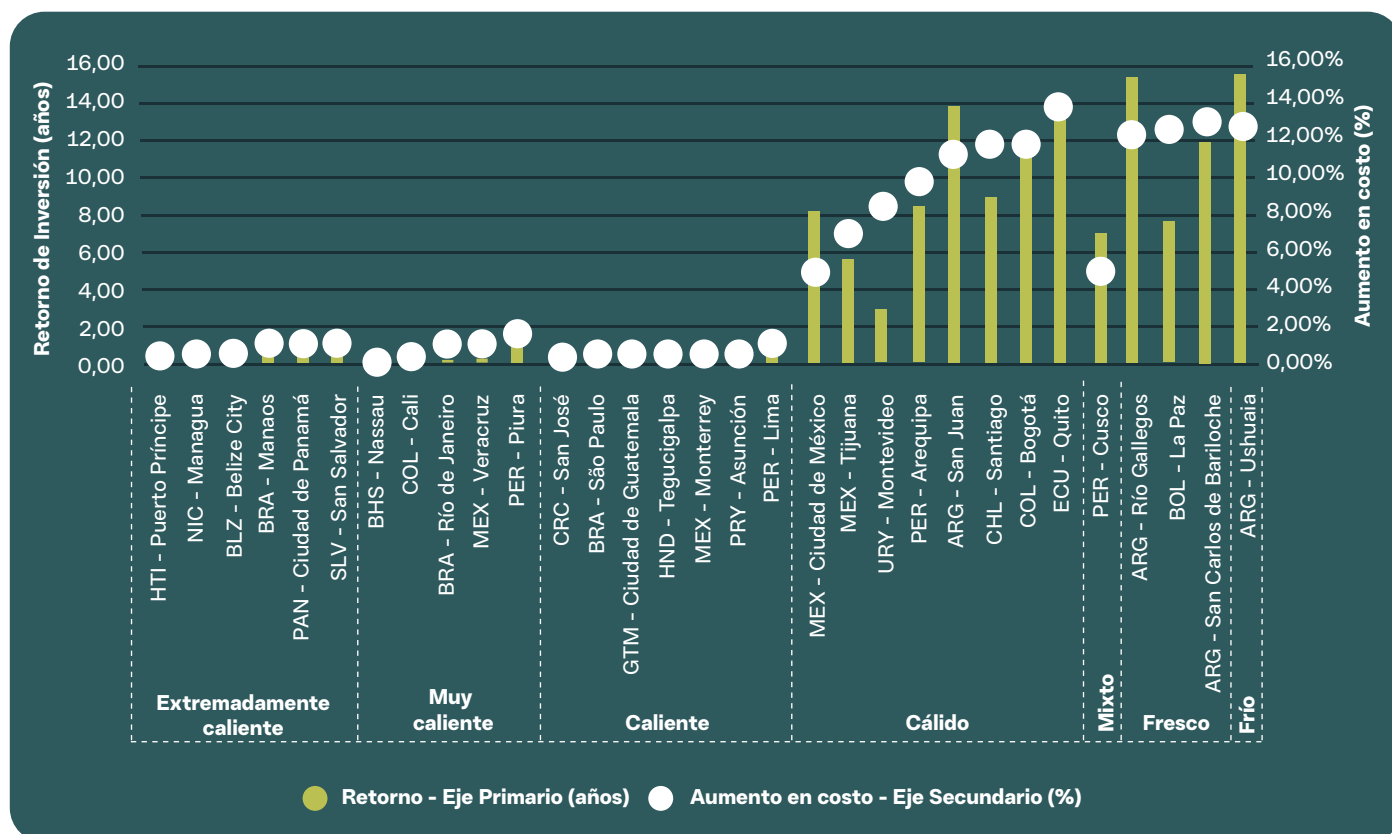
3.4. Análisis de costos y huella de carbono

El análisis de la construcción de terminales terrestres verdes presentadas en este capítulo por zona climática permiten proyectar un aumento promedio en la inversión inicial de 4,74% para ALC, con un posible retorno de inversión de 3,7 años en promedio. Estos resultados se basan en la metodología de costos de EDGE generada para fines ilustrativos en la fase inicial de diseño, y no pretenden proporcionar estimaciones definitivas de los costos de construcción (EDGE, 2015).

La figura siguiente expone los resultados obtenidos del análisis del retorno de inversión y aumento en costo para terminales terrestres para las diferentes ciudades de los países

analizados, cuyos valores dependen de las estrategias de diseño adoptadas de acuerdo con la zona climática y el costo de construcción establecidos en EDGE. Las ciudades con incrementos de costos y retornos de inversión más bajos son Puerto Príncipe (Haití), Nassau (Bahamas) y San José (Costa Rica) en climas extremadamente caliente, muy caliente y caliente, respectivamente. Quito (Ecuador), Bogotá (Colombia) y todas las ciudades de Argentina presentan los costos y retornos más altos. Sin embargo, se resalta que estos valores son sensibles a las características adoptadas en las simulaciones del estudio, pudiendo variar estocásticamente de acuerdo con los diseños finales y costos locales reales.

Figura 12. Retorno de inversión y aumento en costo para terminales terrestres.



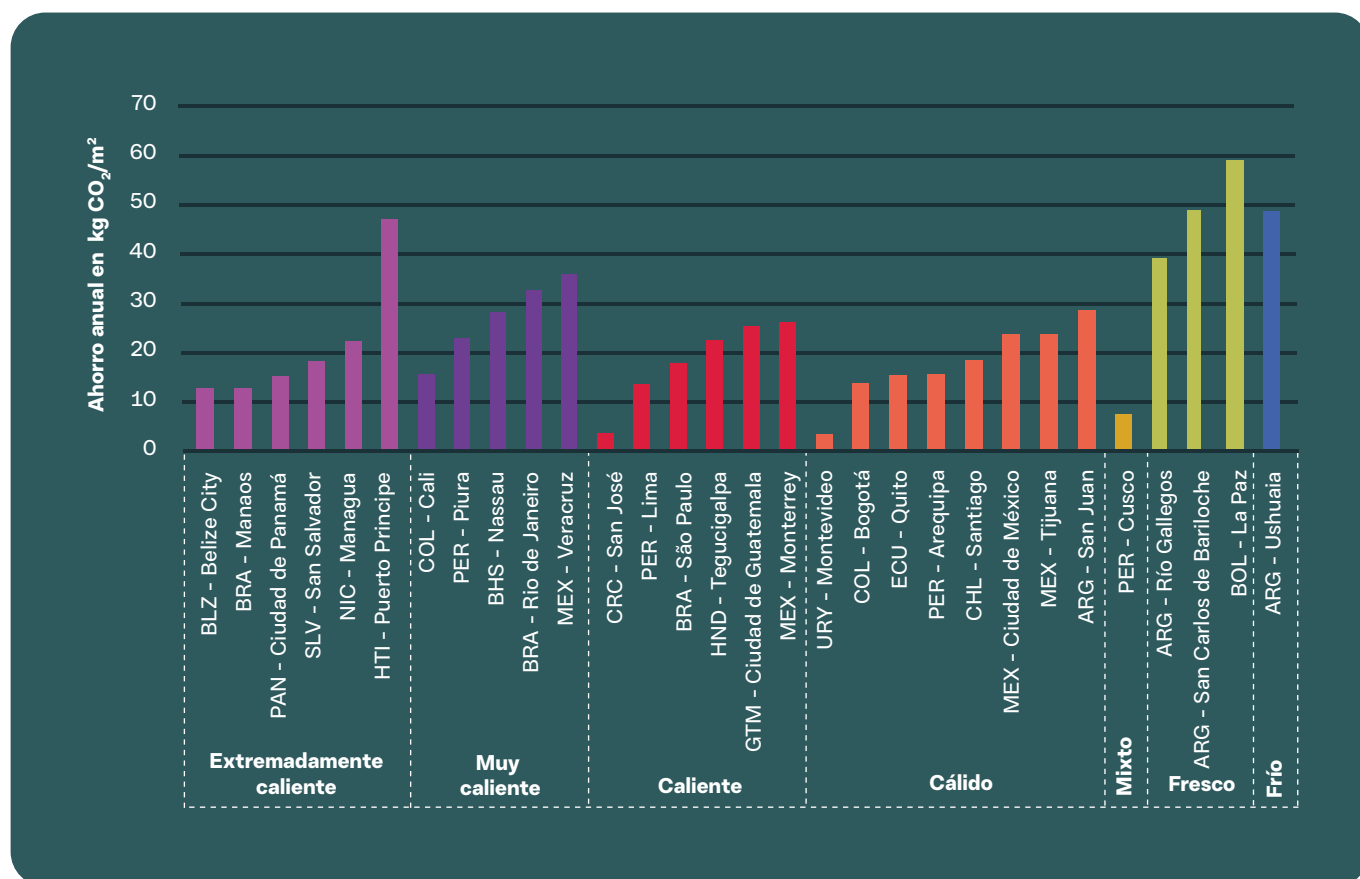
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados se podrían agrupar en dos: las zonas 0-2 y las zonas 3-6, ya que, como se muestra en la gráfica, los datos son similares. La principal diferencia entre estos dos grupos es la presencia de calefacción del aire interior, que podría influenciar la inversión inicial en el sistema propuesto en comparación con una terminal terrestre que no lo requiere. El análisis realizado en esta investigación recomienda un sistema de calefacción tipo bombas de calor, considerando la tendencia global necesaria y acordada en el Acuerdo de París, de transición hacia la electrificación (fuente), y además, por ser la opción que muestra ser más eficiente con respecto al uso de energía en la operación. No obstante, queda a discreción de los equipos de diseño

la selección de tecnologías disponibles y técnicamente factibles.

Por otro lado, en línea con los resultados por zona climática, las estrategias de diseño verde impulsan la mitigación de GEI. La figura de abajo presenta la estimación de la cantidad de emisiones de GEI evitadas en kilogramos de CO₂ equivalente¹⁶. Estos resultados se basan en la metodología de EDGE para el *Carbono incorporado: Evaluación de materiales* (EDGE, 2023). El estudio resalta el impacto positivo de la construcción sostenible en países como Bolivia, Argentina y Haití alcanzando niveles de ahorro de emisiones por año de hasta el 59% de CO₂ equivalente por cada metro cuadrado por año.

Figura 13. Ahorro en kilogramos equivalentes de dióxido de carbono para terminales terrestres.



Fuente: Elaboración propia.

¹⁶ Todos los modelos utilizados en EDGE se han elaborado de acuerdo con las normas ISO 14040, ISO 14044, EN 15804+A2:2019, además de la guía de Datos Internacionales de Referencia sobre el Ciclo de Vida (ILCD). El análisis se realizó en 2023 con el software EDGE.

Terminales de consumo energético casi nulo

Para proyectos de terminales, sean estas aéreas o terrestres, que desean aumentar su autonomía energética para satisfacer parte de su demanda anual de energía, se recomienda instalar sistemas de energía renovable in situ como, por ejemplo, sistemas fotovoltaicos adaptados al proyecto arquitectónico y bajo las regulaciones establecidas por las autoridades correspondientes por cada país. La capacidad del sistema de generación fotovoltaica para cada zona se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 3. Sistema fotovoltaico recomendado por zona.

 Zona Climática	 Tipo	 Capacidad recomendada kWp (kilovatios pico)	 Porcentaje del consumo que representa
0 - Extremadamente caliente húmedo (A) y seco (B)	Aérea	81,2	24%
	Terrestre	251,8	25%
1 - Muy caliente húmedo (A) y seco (B)	Aérea	82,3	25%
	Terrestre	252,0	25%
2 - Caliente húmedo (A) y seco (B)	Aérea	51,0	25%
	Terrestre	211,8	25%
3 - Cálido húmedo (A), seco (B) y marítimos (C)	Aérea	92,1	25%
	Terrestre	222,6	25%
4 - Mixto húmedo (A), seco (B) y marítimos (C)	Aérea	53,3	30%
	Terrestre	162,4	33%
5 - Fresco-Templado húmedo (A), seco (B) y marítimos (C)	Aérea	94,3	22%
	Terrestre	170,1	23%
6 - Frío húmedo (A) y seco (B)	Aérea	93,6	20%
	Terrestre	204,2	25%
Estos resultados fueron obtenidos a través de las simulaciones en la plataforma EDGE.			

Fuente: Elaboración propia.

Terminales existentes

Pasos generales para mejoramiento verde y resiliente de terminales existentes:

Realizar una auditoría energética:

Una auditoría energética puede ayudar a obtener una visión general del desempeño energético de la terminal. En esta se pueden identificar puntos en los que se esté bien y puntos de mejora como, por ejemplo, incorporación de aislamiento térmico en cubierta o remplazo del sistema de iluminación con tecnología LED.

Realizar una revisión de equipos mecánicos:

Los equipos mecánicos, como sistemas de acondicionamiento de aire y de calefacción, están en constante evolución y deben cumplir con estándares más altos cada vez. Una buena práctica para mejorar el consumo energético de una terminal es hacer una revisión de los equipos mecánicos con los que cuente, valorar si ya han sobrepasado su vida útil y reemplazarlos por unos más nuevos que cumplan estándares de eficiencia superiores.

Revisar instalaciones sanitarias:

Los equipos de plomería (como inodoros, lavamanos, orinales, grifos de cocina, entre otros) también pueden ser sometidos a un proceso de revisión. Estos pueden ser reemplazados por unos de menor consumo de agua.

1

2

3

4

5

6

Generar una línea de datos históricos:

Al tener datos del desempeño energético histórico de la terminal, se pueden realizar cambios para mejorar el consumo energético y posteriormente evaluar su impacto, midiendo el desempeño energético y comparándolo con los resultados históricos.

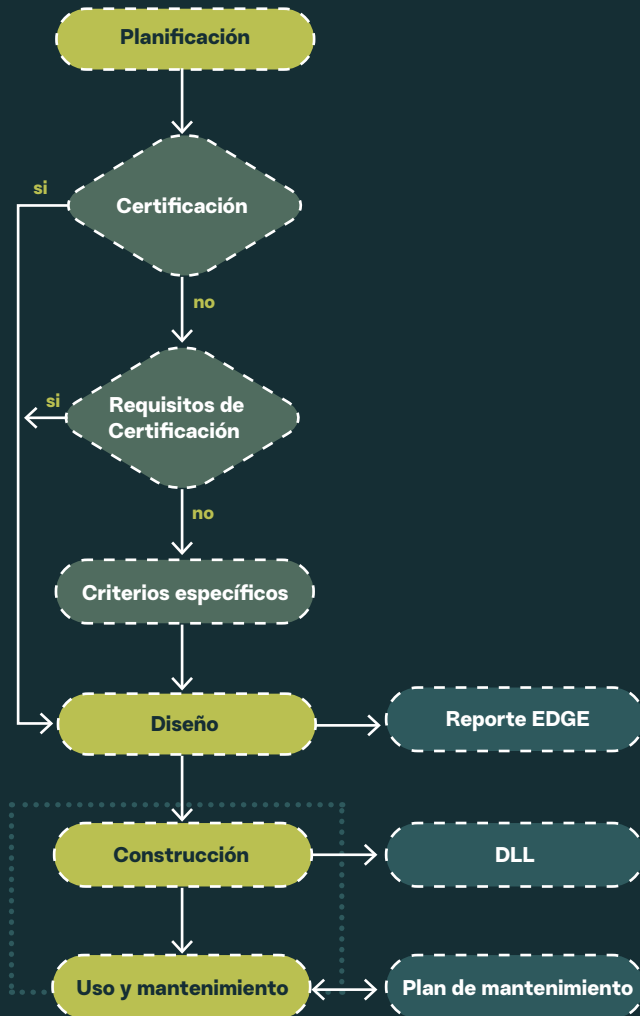
Revisar fichas técnicas de ventanas:

Las ventanas son un medio de transferencia de calor del entorno a la terminal o viceversa. Contar con una ventana adecuada, según las necesidades de la zona climática en la que se encuentre el proyecto, es una manera efectiva de mejorar el rendimiento energético de una terminal. De esta manera, se puede hacer una revisión de las especificaciones técnicas de las ventanas con las que cuenta el proyecto y, de ser necesario, cambiarlas de forma parcial o total para obtener mayores ahorros.

Implementar estrategias de riego eficiente:

El riego por goteo y los jardines de lluvia son estrategias que se pueden implementar para reducir el consumo de agua en un proyecto. Las terminales pueden implementar el riego por goteo para las áreas verdes y la vegetación con la que ya cuenten, y pueden valorar colocar jardines de lluvia, sobre todo si presentan problemas para drenar el agua de lluvia en las épocas más lluviosas del año.

Oportunidades para la **estación**



Fuente: Elaboración propia.

Caso: Terminal del teleférico

Estación de Pamphasi (La Paz, Bolivia)



Diseño bioclimático



Iluminación eficiente



Grifería y sanitarios economizadores de agua



Soluciones basadas en la naturaleza



Calefacción eficiente



Paneles solares



Equipamiento con alto desempeño energético



Techos con aislamiento térmico y selección de materiales

Innovación en proyectos de **movilidad sostenible**

La innovación para las terminales verdes de transporte representa un hito en la evolución de las infraestructuras de transporte a nivel mundial. Estos espacios se comienzan a transformar para abordar desafíos ambientales, sociales y económicos de la actualidad. La búsqueda de soluciones sostenibles en el diseño y operación de terminales de transporte se ha convertido en una prioridad, impulsando el desarrollo de nuevas tecnologías, enfoques creativos para mejorar la eficiencia energética, reducir las emisiones de carbono y promover la movilidad sostenible de los usuarios. En esta sección se presentan ejemplos de cómo la innovación está remodelando los proyectos enfocados en transporte para una movilidad más sostenible.



BIM

El Modelado de Información de Construcción, conocido como BIM (por sus siglas en inglés, *Building Information Modeling*), se fundamenta en la idea de mantener modelos de los edificios de manera digital a lo largo de todo el proceso de una instalación construida. Esto se refiere desde la etapa inicial de diseño, hasta la construcción, la operación y el mantenimiento. La metodología BIM tiene un impacto significativo en la fluidez de la información entre las partes involucradas en todas las etapas, lo que se traduce en una mejora sustancial de todos los procesos, ya que se anticipa a los problemas comunes en los flujos de trabajo interdisciplinarios. Debido a sus múltiples ventajas, BIM sería una estrategia de innovación para las terminales verdes en su fase de operación, ya que lograría almacenar la información de los equipos electromecánicos de las terminales verdes tal y como fueron instalados y sometidos a aprobación durante la construcción, por lo que conservaría información referente a proveedores, características técnicas y demás datos necesarios a la hora de realizar actividades de mantenimiento.



Modelaje energético

El modelaje o simulación energética es un proceso que utiliza herramientas de software que permiten predecir el consumo energético de un edificio, con el fin de entender el comportamiento de este a través de las diferentes épocas del año, así como la relación de los distintos sistemas con el consumo anual de energía. Para realizar una simulación energética, se consideran muchos factores, como la ubicación geográfica, las tarifas de electricidad y gas, las condiciones climáticas locales (hojas climáticas), la orientación, la configuración de las ventanas, la calidad del aislamiento, la eficiencia de los sistemas de iluminación, calefacción y refrigeración, entre otros. Con esta información, se utiliza una serie de algoritmos para simular el comportamiento del edificio en diferentes escenarios de consumo de energía, lo que permite al usuario identificar las áreas que consumen más y así evaluar el impacto de diferentes estrategias de ahorro. Además, se puede utilizar para predecir el consumo de energía de un edificio bajo diferentes condiciones de uso, lo que puede ser útil para planificar la operación y el mantenimiento.

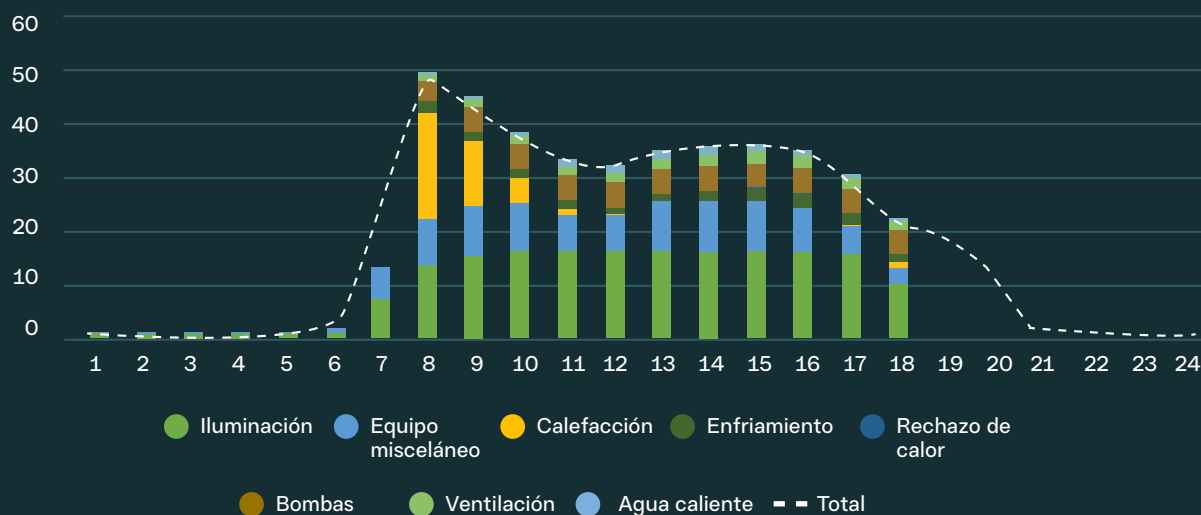


Medidores inteligentes

El uso de medidores inteligentes brinda mucha información valiosa y necesaria para entender realmente que es lo que sucede con el consumo de energía dentro del proyecto. El primer paso es contar con un medidor totalizador que permita visualizar a través de una plataforma en línea el consumo en tiempo real, así como registros promedio de la última hora o de los últimos meses, por ejemplo. Esta medición permite analizar tendencias en la operación y, además, identificar periodos en que se opera con bajo rendimiento al comparar con el histórico de datos. De igual forma, también permite que el usuario pueda comparar la cantidad de energía medida con el monto que muestra la factura del servicio.

Este primer paso tiene sus limitantes, ya que no se logra determinar exactamente en qué se está consumiendo la energía; para eso, se recomienda aplicar el segundo paso: la sub-medición. Generalmente, la forma más sencilla de aplicar la sub-medición es contemplándola desde el inicio, ya que así el ingeniero eléctrico puede diseñar el diagrama unifilar de manera que se agrupen los tableros por tipo de carga. El objetivo es lograr medir de forma independiente los usos finales del edificio, es decir, poder determinar el consumo de iluminación, tomas, enfriamiento, etc., por separado, y, en caso de que cada uso estuviera agrupado en un tablero o en un ramal, solo se necesitaría un medidor por uso final. La siguiente gráfica expone uno de los objetivos principales de hacer la sub-medición por usos finales.

Figura 14. Ejemplo de sub-medición en un edificio.



Fuente: Elaboración propia.

La línea punteada representa la carga total medida en kilovatios mientras que las columnas representan las cargas medidas de los usos, los cuales se encuentran discriminados por color. Una gráfica como estas permiten monitorear a qué hora se están dando los consumos. Por ejemplo, si la terminal de la gráfica inicia operaciones a las 10 am, se vuelve fundamental revisar qué sucede entre 7 am y 10 am, donde se muestran consumos altos

a pesar de no haber abierto las puertas al público aún. Así mismo, se deben cuestionar todos los usos de energía para determinar si operan en el horario establecido y si se puede optimizar. La sub-medición brinda las herramientas necesarias para que el operador del edificio pueda optimizar su consumo de energía. No obstante, al final, sigue siendo una herramienta que requiere seguimiento adecuado durante la operación, pues sus resultados positivos dependen de este.



Prediagnóstico del sitio

La realización de un prediagnóstico del sitio de construcción es esencial para cualquier proyecto, ya que sienta las bases para un desarrollo constructivo exitoso y sostenible. Se deben de considerar las mejoras de la movilidad requeridas y la proximidad a zonas comerciales a distancias caminables para los usuarios. Este análisis permite identificar las oportunidades de optimización de la infraestructura, así como consideraciones para la viabilidad y factibilidad de los proyectos.



IPD Entrega Integrada de Proyectos (*Integrated Project Delivery*)

La Entrega Integrada de Proyectos (IPD, por sus siglas en inglés, *Integrated Project Delivery*) es una metodología que mantiene un enfoque colaborativo que busca optimizar la forma en que se planifican, diseñan y ejecutan proyectos de construcción. Entre las principales ventajas de su aplicación se encuentran: la colaboración entre los involucrados; la reducción de los riesgos materializados en los proyectos; la mejora de la calidad para el alcance de los objetivos; una mayor eficiencia en el costo y el tiempo; y la integración de parámetros de sostenibilidad desde la fase de diseño de los proyectos.



Esta guía de planificación y diseño para terminales aéreas y terrestres más verdes y resilientes en cada zona climática de ALC ofrece un punto de partida para impulsar la transición verde en los sectores de la construcción y el transporte. A partir de modelos arquitectónicos tipo y la simulación de estrategias de diseño con la herramienta EDGE, se han identificado medidas que podrían reducir el consumo de agua y lograr ahorros energéticos de al menos un 20%, reconociendo que estos resultados dependerán de las condiciones y diseños definitivos de cada proyecto.



Las estrategias de diseño abordadas en cada ficha para cada zona climática, como la proporción de relación muro-ventana, la implementación de cubiertas con aislamiento, la incorporación de iluminación eficiente, medidas de ventilación natural, equipamiento de bajo consumo de agua y medidas constructivas, se complementan con recomendaciones de operación y mantenimiento y estrategias adicionales para lograr ahorros significativos con respecto al caso base. Para las terminales aéreas, los análisis para la aplicación de estrategias de diseño verde y resiliente por zona climática presentadas en este documento permiten estimar que el incremento de la inversión inicial es, en promedio del 2,06%, con un potencial retorno de inversión de 2,1 años en promedio. En el caso de terminales terrestres, se proyecta un incremento promedio de la inversión inicial de 4,74%, con un posible retorno de inversión de 3,7 años en promedio. En ambos casos, basados en la metodología de costos EDGE.



Los ahorros en consumo de agua y energía tienen un impacto relevante en los costos operativos de los sistemas de transporte y contribuyen a la sostenibilidad de estos. Por lo tanto, considerar medidas costo-efectivas que reduzcan estos consumos es crucial para la viabilidad económica y ambiental de los proyectos.



Lo reflejado en este documento da cuenta de la importancia del uso de estrategias verdes no solo para reducir los costos operativos, sino también para contribuir a la descarbonización, fomentando un desarrollo más sostenible y resiliente.

Bibliografía y/o referencias

Alvear, Alexandra, Maryam Esmaeili, Esperanza González-Mahecha, Claudia Hernández, y Livia Minoja. 2022. *Edificios verdes: lineamientos para la incorporación y contabilización de medidas de mitigación y adaptación al cambio climático*. Washington, D. C.: Banco Interamericano de Desarrollo. <http://dx.doi.org/10.18235/0004627>.

Brichetti, Juan Pablo, Francisca Z. Giráldez, Santiago G. Sánchez y Tomás Serebrisky. 2021. *La brecha de acceso a la infraestructura aeroportuaria en América Latina y el Caribe*. Washington, D.C.: Banco Interamericano de Desarrollo. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/La-brecha-de-acceso-a-la-infraestructura-aeroportuaria-en-America-Latina-y-el-Caribe.pdf>.

Corporación Financiera Internacional. 2015. *EDGE Cost Model Versión 1.0*. Marzo. <https://edgebuildings.com/wp-content/uploads/2022/04/150407-NNO-EDGE-Cost-Database-Public-facing-methodology-Rev-2-FINAL-1-1.pdf>.

Corporación Financiera Internacional. 2023. *Embodied Carbon Materials Assessment* EDGE Versión 3.0.0, Setiembre. Actualmente no disponible en línea.

Department of Transport and Main Roads – TransLink Division. 2020. *Public Transport Infrastructure Manual (PTIM)*. Originalmente publicado en 2015. Brisbane: State of Queensland (Department of Transport and Main Roads). https://www.publications.qld.gov.au/ckan-publications-attachments-prod/resources/57968dcd-ffff-45d2-beba-2e122523ec44/ptim_full-nov2020.pdf.

European Committee for Standardization. 2019. *EN 15804+A2:2019: Sustainability of Construction Works—Environmental Product Declarations—Core Rules for the Product Category of Construction Products*. Brussels: CEN.

European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability. 2010. *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook: General Guide for Life Cycle Assessment*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2788/38479>.

Federal Aviation Administration (FAA). 2023. *Classes of Airports – Part 139 Airport Certification*. https://www.faa.gov/airports/airport_safety/part139_cert/classes-of-airports.

Glaeser, Edward L., y Matthew E. Kahn. 2010. “The Greenness of Cities: Carbon Dioxide Emissions and Urban Development.” *Journal of Urban Economics* 67, n.º 3: 404–418. <https://doi.org/10.1016/j.jue.2009.11.006>.

- International Air Transport Association (IATA). 2019. *World Class Airport: Best Practices*. <https://www.iata.org/contentassets/d1d4d535bf1c4ba695f43e9beff8294f/world-class-airports---best-practice.pdf>.
- International Air Transport Association (IATA). 2022. *Airport Environmental Sustainability*. <https://www.iata.org/contentassets/d1d4d535bf1c4ba695f43e9beff8294f/airport-environmental-sustainability-policy.pdf>.
- International Finance Corporation. 2023. *EDGE: Excellence in Design for Greater Efficiencies [software]*. Washington, DC: IFC. <https://edgebuildings.com>.
- International Organization for Standardization. 2006. *ISO 14040:2006 Environmental Management—Life Cycle Assessment—Principles and Framework*. Geneva: ISO.
- International Organization for Standardization. 2006. *ISO 14044:2006 Environmental Management—Life Cycle Assessment—Requirements and Guidelines*. Geneva: ISO.
- International Organization for Standardization. 2020. *ISO 20887:2020. Sustainability In Buildings And Civil Engineering Works – Design for Disassembly and Adaptability - Principles, Requirements and Guidance*. Geneva: ISO.
- Ministerio de Transporte de Argentina. 2021. *Manual de pautas de Diseño para Terminales de Ómnibus de Media y Larga Distancia*. Parte 1. https://www.junin.gob.ar/sites/default/files/manual_de_pautas_de_diseno_para_to_2021_parte1.pdf; Parte 2. https://www.junin.gob.ar/sites/default/files/manual_de_pautas_de_diseno_para_to_2021_parte_2.pdf.
- Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile (MTT). 2005. *Manual de Terminales Urbanos*. Version 0.1. Chile. https://www.dtpm.cl/descargas/Manual%20de%20Terminales%20Urbanos_Final_26.04.05.pdf.
- Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). 2020. *Annual Report 2020*. Montreal: OACI. <https://www.icao.int/annual-report-2020>.
- Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). 2022. *Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation. Aerodromes. Volume 1. Aerodrome Design and Operations*. <https://store.icao.int/en/annex-14-aerodromes>.
- Transport for London (TfL). 2022. *Bus Action Plan*. London: Transport for London. <https://content.tfl.gov.uk/bus-action-plan.pdf>.
- U.S. Energy Information Administration (EIA). 2016. *International Energy Outlook 2016*. Washington, D. C.: U.S. Department of Energy. <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484%282016%29.pdf>.
- Washington Metropolitan Area Transit Authority (WMATA). 2008. *Station Site and Access Planning Manual*. Washington, D. C.: Washington Metropolitan Area Transit Authority. <https://www.wmata.com/initiatives/plans/upload/ssapm.pdf>.

Información bibliográfica complementaria

1. Cambio climático y emisiones

Agencia Internacional de Energía (AIE). 2020. *Global CO₂ Emissions in 2019*. Paris: AIE. <https://www.iea.org/articles/global-co2-emissions-in-2019>.

Environmental Protection Agency (EPA). 2022. *Las islas de calor*. <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/las-islas-de-calor>.

Ritchie, Hannah, y Max Roser. 2014. *Natural Disasters*. Our World in Data. <https://ourworldindata.org/natural-disasters>.

2. Transporte y aviación

Administración Nacional de Aviación Civil (ANAC). 2023. *Informe Mensual 2023: enero*. Argentina: ANAC. https://datos.anac.gob.ar/static/docs/Informe_Mensual_202301.pdf.

Agencia Federal de Aviación Civil (AFAC). 2023. *Estadística Operacional de Aeropuertos – noviembre 2023*. México: AFAC. Actualmente no disponible en línea.

Instituto Nacional de Estadística (INE). *Estadísticas de Flujo de Viajeros*. Bolivia: INE. Consultado en 2023. <https://www.ine.gob.bo/index.php/estadisticas-economicas/turismo/estadisticas-de-flujo-de-viajeros-introduccion/>.

International Air Transport Association (IATA). 2019. *Airport Development Reference Manual*. Edición 11.

Organismo Regulador del Sistema Nacional de Aeropuertos (ORSNA). 2022. *Sistema Nacional de Aeropuertos: Informe aerocomercial 2022*. (Presentación de PowerPoint). Argentina. Consultado en 2022. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2018/09/informe_aerocomercial_sna_2022.pdf.

Organismo Supervisor de la Inversión en Infraestructura de Transporte de Uso Público (OSITRAN). 2023. *Documento de trabajo. Concesiones del primer y segundo grupo de aeropuertos de provincia: desarrollo, problemas y perspectivas*. Lima: OSITRAN. <https://www.gob.pe/institucion/ositran/informes-publicaciones/4106177-concesiones-del-primer-y-segundo-grupo-de-aeropuertos-de-provincia-desarrollo-problemas-y-perspectivas-marzo-2023>.

Secretaría de Turismo (SECTUR). 2023. “Más de 107 millones de pasajeros se transportaron en vuelos nacionales e internacionales en 2022”. Gobierno de México. Consultado en 2023. <https://www.gob.mx/sectur/prensa/mas-de-107-millones-de-pasajeros-se-transportaron-en-vuelos-nacionales-e-internacionales-en-2022>.

World Economic Forum (WEF). 2022. "El sector de la aviación quiere llegar a cero en 2050: ¿Cómo lo logrará?". Consultado en 2023. <https://es.weforum.org/stories/2022/12/el-sector-de-la-aviacion-quiere-llegar-a-cero-en-2050-como-lo-lograra/>.

3. Energía y climatización

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). 2010. *ASHRAE Standard 62.1-2010. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). 2021. *ANSI/ASHRAE 169-2021. Climatic Data for Building Design Standards*. <https://webstore.ansi.org/standards/ashrae/ansiashrae1692021>.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). 2022. *ASHRAE Standard 90.1-2022: Energy Standard for Sites and Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*. <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-90-1>.

Cool Roof Rating Council. s. f. *Rated Roof Products*. https://coolroofs.org/directory/roof?product_color_id=&product_type_id=6.

Crail, Chauncey. 2023. "Heat pump water heaters: Complete guide, pros and cons, and more". *Forbes Home*. Consultado en 2023. <https://www.forbes.com/home-improvement/plumbing/heat-pump-water-heaters/>.

Ecosistemas del Sureste. 2015. "Clasificación de la bomba de calor con aire acondicionado". Consultado en 2023. <https://www.ecosistemasdelsureste.com/news/clasificacion-de-la-bomba-de-calor-o-aire-acondicionado/>.

Energy Spacewell. 2021. "Cómo medir la calidad del aire interior de tus edificios". *Blog de Dexma*. Consultado en 2023. <https://www.dexma.com/es/blog-es/como-medir-la-calidad-del-aire-interior-de-tus-edificios/>.

Kensa Heat Pumps. "Air Source vs. Ground Source Heat Pumps". *Kensa Heat Pumps*. Consultado en 2023. <https://www.kensaheatpumps.com/air-source-vs-ground-source-heat-pumps/>.

Rocky Mountain Institute. 2020. "Heat Pumps: A Practical Solution for Cold Climates". *Rocky Mountain Institute*. Consultado en 2023. <https://rmi.org/heat-pumps-a-practical-solution-for-cold-climates/>.

Sierra Club. 2022. "Bomba de calor (heat pump) 101: resumen del electrodoméstico para toda ocasión, frío o calor". *Sierra Club*. Consultado en 2023. <https://www.sierraclub.org/articles/2022/10/bomba-de-calor-heat-pump-101-resumen-del-electrodomestico-para-toda-ocasion-frio-o>.

U.S. Department of Energy (DOE). s. f. "Air-Source Heat Pumps". *U.S. Department of Energy*. Consultado en 2023. <https://www.energy.gov/energysaver/air-source-heat-pumps>.

4. Construcción sostenible

Borrmann, André, Markus König, Christian Koch y Jakob Beetz, eds. 2018. *Building Information Modeling: Technology Foundations and Industry Practice*. Cham: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-92862-3>.

Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). 2013. *Anexo Geral V – Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros. Anexo da Portaria INMETRO nº 50/2013*. Consultado en 2023. https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/AnexoVRAC_CatalogoPropriedadesTermicas%20v03SET2013.pdf.

Multi-Hazard Mitigation Council. 2019. *Natural Hazard Mitigation Saves: 2019 Report*. Washington, D. C.: National Institute of Building Sciences. <https://www.nibs.org/projects/natural-hazard-mitigation-saves-2019-report>.

Srivastava, Anuj. s. f. "Building Commissioning Process: Importance & Main Benefits". *Nearby Engineers Blog*. Consultado en 2023. <https://www.ny-engineers.com/blog/importance-of-building-commissioning>.

United Nations Environment Programme (UNEP). 2022. *2022 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector*. Nairobi: UNEP. <https://www.unep.org/resources/publication/2022-global-status-report-buildings-and-construction>.

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). 2025. *Componentes Construtivos*. Projeteeee – Plataforma de arquitetura bioclimática. <https://projeteeee.mme.gov.br/componentes-construtivos/>.

5. Agua y gestión sostenible

Iglesias Díaz, María Isabel. 2019. "Jardines de lluvia, una solución verde en la gestión de las aguas pluviales." *Foresta* 75: 56-57.

Swistock, Bryan. 2021. "Análisis de agua potable". *PennState Extension Blog*. Consultado en 2023. <https://extension.psu.edu/analisis-de-agua-potable>.

Tropea, Giuseppe. s.f. "¿Qué es el riego por goteo?" *NETAFIM Blog*. Consultado en 2023. <https://www.netafim.es/blog/que-es-el-riego-por-goteo/>.

6. Resiliencia y desastres asociados a fenómenos naturales.

First On Site. s.f. "Prepping Pipes for Freezing Temps" [Cómo preparar las tuberías para temperaturas bajo cero]. *First On Site*. Consultado en 2023. <https://firstonsite.com/resource/prepping-pipes-for-freezing-temps/>.

Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (GFDDR). 2022. *Think Hazard!* <https://thinkhazard.org/en/>.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). 2023. "Wildfire Climate Connection". *NOAA website*. Consultado en 2023. <https://www.noaa.gov/noaa-wildfire/wildfire-climate-connection>.

Envolvente

La envolvente de un edificio es un componente clave que no solo le brinda soporte estructural, sino que también es el encargado de separar el exterior del interior. La selección de sus componentes afecta directamente la ventilación, la climatización, la iluminación y el uso de energía para enfriar o calentar el ambiente interno.

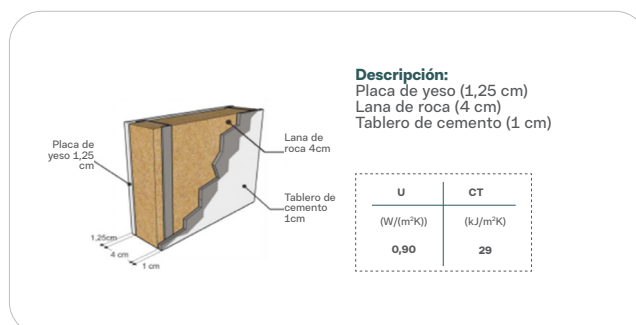
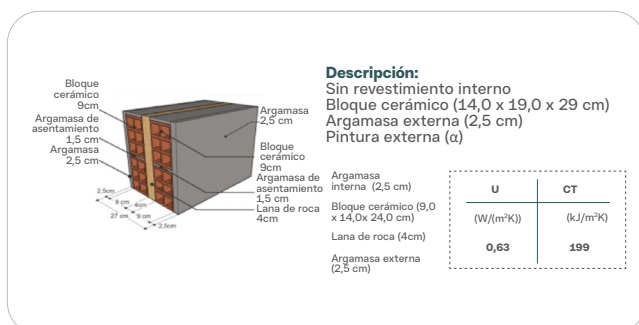
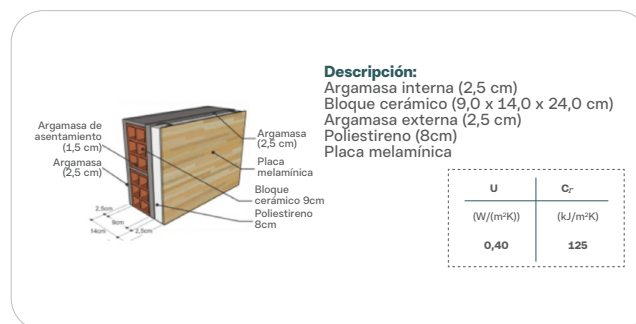
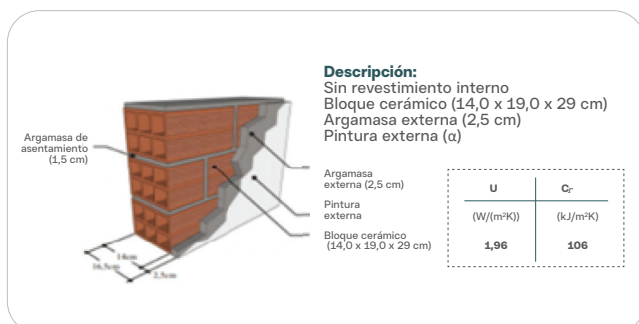
Aislamiento térmico

Se considera que un edificio cuenta con aislamiento térmico cuando, gracias a los ensambles que se colocan en la envolvente del edificio, se logra limitar la cantidad de calor que se traspasa entre este y su entorno. Debido a leyes de la termodinámica, es imposible que no se lleve a cabo esta transferencia de calor. Sin embargo, esta transferencia se hace a un ritmo mayor o menor, según los materiales por los que tenga que atravesar el calor. Para medir qué tan efectivo es el aislamiento térmico de un ensamble, se utiliza el coeficiente de transferencia de calor por conducción U.

Valor U

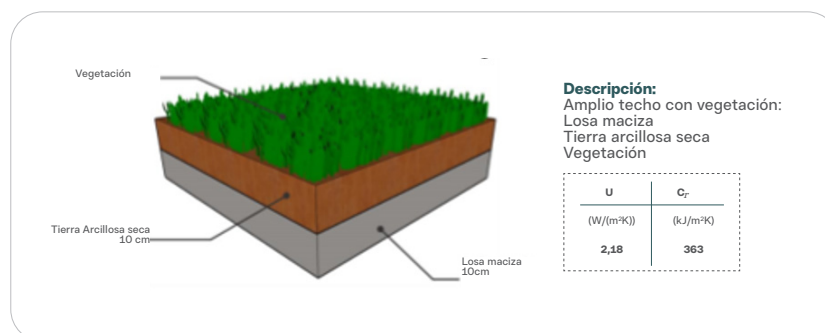
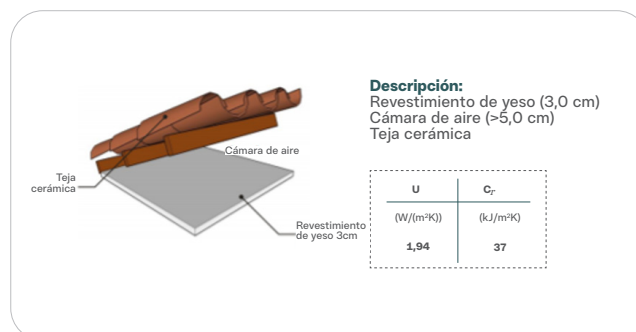
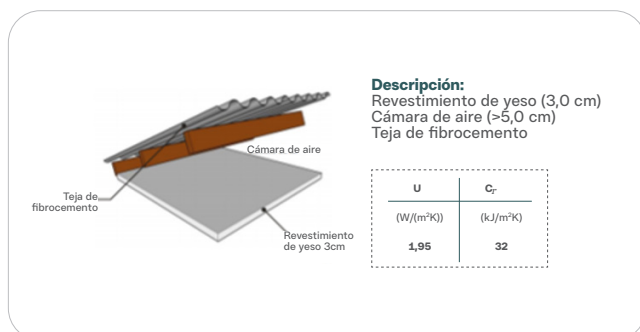
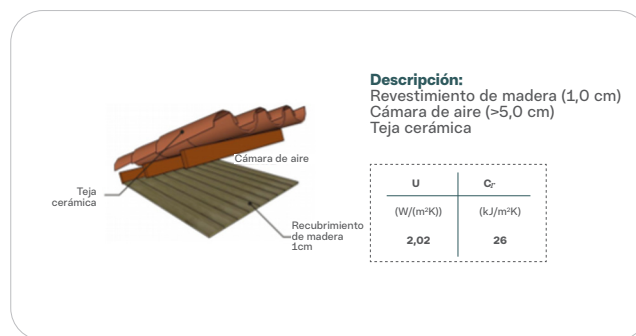
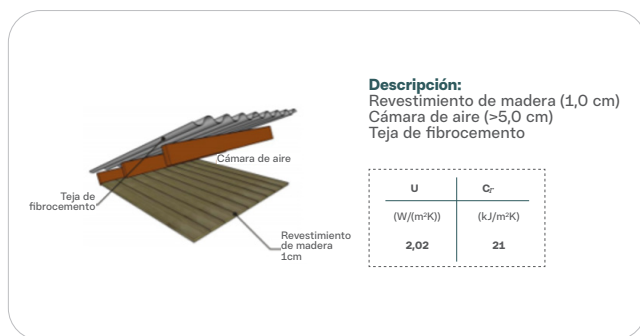
Se refiere a la medida de cuánto calor se transfiere a través de una superficie. Cuanto menor sea el valor U, mejores serán las propiedades de aislamiento de la envolvente, por lo que será mejor para mantener el calor interno o prevenir que el frío de afuera entre al edificio.

Ejemplos de Valor-U para distintos ensamblajes paredes exteriores e interiores¹⁷.



¹⁷ Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). 2013. *Anexo Geral V – Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros. Anexo da Portaria INMETRO nº 50/2013*. Consultado en 2023; Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). 2025. *Componentes Construtivos. Projeteee – Plataforma de arquitetura bioclimática*.

Ejemplos de Valor-U para distintos ensamblajes en cubierta.



Fuente: Adaptado de INMETRO (2013) y UFSC (2025).

Coeficiente de ganancia solar en vidrios

El coeficiente de ganancia solar en vidrios (SHGC, por sus siglas en inglés, *Solar Heat Gain Coefficient*) se refiere a una de las características de rendimiento energético de un acristalamiento. Específicamente, es la cantidad de la radiación solar que pasa a través de la ventana. Los valores que se encuentran en el mercado rondan entre el 0 y 1, por lo que se considera que, a menor valor, se propicia menos ganancia térmica.

En un clima frío, las ventanas que tienen un SHGC alto permiten el paso de una mayor cantidad de radiación solar, ofreciendo calefacción solar natural; mientras que, en un clima cálido, las ventanas que tienen un SHGC más bajo evitan que el calor ingrese al edificio y con esto se mejora el confort y se reduce el consumo energético debido al acondicionamiento del aire.

Ejemplos de Valor-U y coeficiente de ganancia de calor en vidrios.

Configuración de la Unidad de Vidrio Aislante

Panel Exterior

6 mm incoloro / Termoendurecido / Copa Stopray Vision 52T #2

Cámara interna

16 mm de aire

Panel Interior

6mm incoloro / Templado

Valores de rendimiento

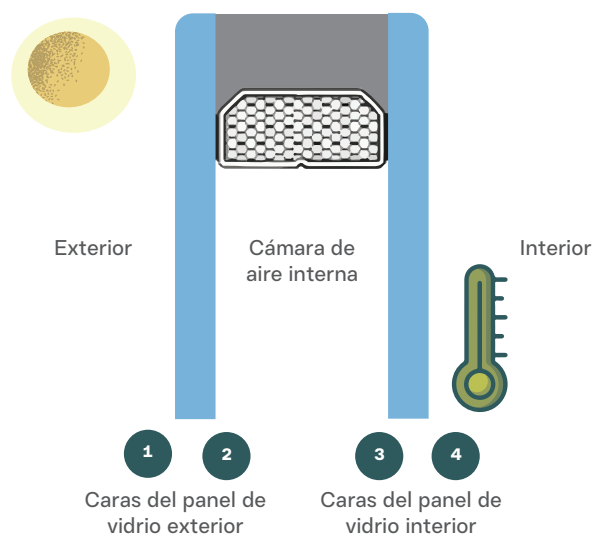
Cálculo según norma NRFC 2010

Inclinación del acristalamiento respecto posición horizontal: 90 °

Transmisión %			Reflexión %		Absorción Solar (α_s %)	Ug declarada (Btu/h ft ² °F)		Coeficiente de sombra (sc)	Solar heat gain (SHGC %)
Visible (T_v)	UVA (T_{uv})	Solar (T_s)	Visible Out (pue)	Solar Out (pee)		Invierno	Verano		
50	15	22	16	41	37	0,29	0,23	0,29	0,25

Propiedades mecánicas:	Clase de seguridad (ANSI z 97-1):	PND / Class A
Propiedades acústicas: (Valores estimados)	Sound Transmission Class (STC):	35

Unidad de Vidrio Aislante



Fuente: Elaboración propia.

Proporción muro-ventana

La proporción muro-ventana (WWR, por sus siglas en inglés, *Wall-to-Window Ratio*) se refiere a la proporción de vidrio con respecto a la pared, entendiendo el área total de la fachada como pared para poder realizar el cálculo estipulado por la herramienta en línea. Si se contemplan puertas de vidrio, estas serán tomadas en cuenta como parte de las ventanas o aperturas.

Estrategia	Extremadamente caliente 0 (A-B)	Muy caliente 1 (A-B)	Caliente 2 (A-B)	Cálido 3 (A-B-C)	Mixto 4 (A-B-C)	Fresco-Templado 5 (A-B-C)	Frío 6 (A-B)
Proporción de Vidrio Respecto de la pared (%)	30	30	30	40	40	50	50

Control solar

Se presentan las siguientes recomendaciones de ángulos de parasoles y aletas (izquierda – derecha) tanto para emplazamientos en el hemisferio norte como para el sur.

Hemisferio norte												
Zona	N			E			S			O		
	PI	A	PD	PI	A	PD	PI	A	PD	PI	A	PD
0	0,1	-	0,1	-	4,2	-	0,2	3,1	0,3	-	5,9	-
1	0,12	-	0,1	-	3,1	-	0,2	2,5	0,2	-	5,3	-
2	0,12	-	-	-	2,3	-	-	1,6	-	-	3,3	-
3	-	-	-	-	-	-	-	1,2	0,2	-	1,5	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Largo (m)

Hemisferio norte												
Zona	N			E			S			O		
	PI	A	PD	PI	A	PD	PI	A	PD	PI	A	PD
0	81	-	81	-	50	-	68	58	62	-	41	-
1	79	-	83	-	58	-	75	63	68	-	43	-
2	78	-	-	-	66	-	-	72	-	-	57	-
3	-	-	-	-	-	-	-	76	74	-	73	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Ángulo (°)

Hemisferio sur												
Zona	N			E			S			O		
	PI	A	PD	PI	A	PD	PI	A	PD	PI	A	PD
0	0,32	3,1	0,2	-	4,2	-	0,1	-	0,1	-	5,9	-
1	0,25	2,5	0,2	-	3,1	-	0,1	-	0,1	-	5,3	-
2	-	1,6	-	-	2,3	-	-	-	0,1	-	3,3	-
3	0,17	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-	1,5	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Largo (m)

Hemisferio sur												
Zona	N			E			S			O		
	PI	A	PD	PI	A	PD	PI	A	PD	PI	A	PD
0	62	58	68	-	50	-	81	81	81	-	41	-
1	68	63	75	-	58	-	83	79	79	-	43	-
2	-	72	-	-	66	-	-	78	-	-	57	-
3	74	76	-	-	-	-	-	-	-	-	73	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Ángulo (°)

PD: Parasol derecho
PI: Parasol izquierdo
A: Aleta

Índice de Reflectancia Solar (SRI)

El Índice de Reflectancia Solar (SRI, por sus siglas en inglés, *Solar Reflectance Index*) es la medida en que una superficie reflejará el calor solar, y se mide con un valor entre 0 y 100, siendo 0 la referencia de un techo color negro (atrapa calor) y 100 la referencia de un techo blanco (refleja el calor). El SRI se compone de reflectancia solar y emisión térmica, y constituye una medida del calentamiento relativo de los materiales teniendo en cuenta la radiación solar absorbida y el calor irradiado al cielo.

La estrategia de seleccionar un SRI alto, es decir un techo blanco, es lógica para las zonas climáticas cálidas adonde predomina la necesidad de utilizar aire acondicionado. Para zonas térmicas frescas y frías, como lo son las zonas 3, 4, 5 y 6, un alto SRI promueve ahorros en el consumo energético durante la época de verano; y durante el invierno se puede pensar en que, al tener una cubierta absorbente de calor, reduce costos de calefacción debido al ingreso de carga térmica; pero el efecto que tiene la radiación solar absorbida en un techo es menor en la ganancia de calor conforme se aumenta el nivel de aislamiento.

Ejemplos de valores de SRI.

Tabla 4. Valores de SRI de acabados para cubiertas según su color¹⁸.

 Color	 SRI	 Color	 SRI
Beige	 62	Blanco	 84
Negro	 24	Champaña metálico	 51
Bronce	 30	Negro carbón	 24
Azul oscuro	 34	Café desierto	 36
Carmesí	 54	Mocha	 35
Verde oscuro	 25	Rojo retro	 41
Celeste	 32	Gris cenizo	 27
Gris claro	 47	Plateado metálico	 58
Duna de arena	 47	Piedra	 62

Fuente: Adaptado de Cool Roof Rating Council (s.f.).

¹⁸ Según Cool Roof Rating Council. s.f. *Rated Roof Products*, en la que hay un catálogo de productos, de acuerdo a su color y tipo, que indica valores de reflectancia solar, emisividad térmica, además del SRI (inicial y a los 3 años de aplicación).

Control de viento

Con el fin de reducir la velocidad del viento, se puede implementar una técnica pasiva conocida como rompaviento o barrera de viento. Este es un obstáculo colocado para reducir los efectos adversos que pueda generar una velocidad alta del viento en un terreno o estructura. Algunas de estas barreras de viento tienen la capacidad de filtrar hasta un 50% del viento al reducir su velocidad y/o cambiar su dirección. En los climas fríos de las zonas 4, 5 y 6, las barreras de viento representan una oportunidad pasiva para mejorar el confort interno, pudiendo estas reducir la incidencia directa de ráfagas gélidas en la envolvente del edificio.

Iluminación eficiente interior

El diseño de iluminación se caracteriza por tener dos componentes principales: la parte arquitectónica y la parte eléctrica. Por el lado arquitectónico, se tiene todo lo que tiene que ver con color, acentos, armonía del espacio, confort y seguridad; mientras que por la parte eléctrica se puede resumir en tres aspectos principales: control, potencia y eficiencia.

Ejemplo de Densidad de potencia de iluminación (LPD, Lighting Power Density).

El estándar de ASHRAE 90.1-2010 define el LPD promedio para una terminal de transporte en $8,3 \text{ W/m}^2$, y se propone que el valor para una terminal verde debe ser al menos 25% por debajo de esa base, es decir, menos de $6,2 \text{ W/m}^2$.

Eficiencia

La eficiencia lumínica se representa como una relación entre lo que se entrega y lo que se necesita para poder entregarlo. En este caso, se puede medir lo que entrega en lúmenes (lm), que es una unidad del sistema métrico para representar cantidad total de luz visible de una lámpara. Lo que necesita para entregarlo se mide en watts (W), también una unidad del sistema métrico que se menciona en varias partes de este documento, y que representa energía transferida por unidad de tiempo. La recomendación consiste en que la eficiencia promedio de todas las luminarias seleccionadas para las terminales sea 100 lm/W , es decir, que en promedio se entreguen 100 lúmenes de luz visible por cada watt de potencia eléctrica demandada.

Control de iluminación

Un diseño de iluminación que tenga tecnología de iluminación eficiente bajo no garantiza que vaya a tener una operación eficiente; por esta razón es que el control de iluminación se vuelve fundamental. Por ejemplo, si se tiene una potencia de iluminación de 100 W que se usa por 5 horas encendido, representa el mismo consumo que una de 50 W que se use por 10 horas. Ahora, si el uso de esa potencia de 50 W se controla adecuadamente, y se logra usar las mismas 5 horas del otro caso, ahí sí representa un ahorro de 50%. Los siguientes puntos detallan criterios de diseño que se deberían seguir para lograr controlar adecuadamente.

- ✔ **Cafeterías y salones multiuso:** cada espacio debe poder controlarse de manera independiente, y debe incluir un encendido y apagado normal junto con un punto medio de ajuste entre 30%-70% de la potencia. Esto se puede lograr con atenuadores de luz o dejando dos circuitos en cada espacio de manera que, por ejemplo, uno controle las luminarias en el perímetro y otro las que están en el centro; o simplemente que uno controle la mitad y el otro la otra mitad. Adicional a esto, se debe buscar un control que garantice que estas luminarias queden apagadas cuando no están en uso. Una opción puede ser instalar sensores de vacancia que logren leer cuando el espacio esté desocupado y apaguen la luz, o con un control horario que apague todo al final del día.
- ✔ **Bodegas, baños, pasillos:** cada uno de los espacios debe poder ser controlado independientemente. Adicionalmente, se debe considerar ya sea sensores de movimiento que enciendan las luminarias cuando se detecta la presencia de un usuario o, como mínimo, diseñar el sistema para que se pueda apagar todo al final del día con un control horario.

Iluminación eficiente exterior

La iluminación exterior cumple varias funciones en los edificios de terminales de transporte, las cuales se pueden agrupar en iluminación arquitectónica, iluminación de paisajismo e iluminación de seguridad. Para todas las anteriores, es importante cumplir criterios de ahorro energético y de control con el fin de lograr un balance sin comprometer la estética y la seguridad.

Se recomienda que la eficiencia promedio de todas las luminarias exteriores seleccionadas sea 100 lm/W, es decir, que en promedio se entreguen 100 lúmenes de luz visible por cada watt de potencia eléctrica demandada; y una LPD general de al menos 25% por debajo del caso base. Para terminales, este último se ubica en 1,1 W/m², es decir, las terminales verdes deben tener menos de 0,825 W/m² de LPD.

Los siguientes puntos detallan criterios de control para la iluminación exterior:

- ✔ **Paisajismo:** si cuenta con un diseño de paisajismo iluminado, se debe controlar con un temporizador automático programable y se debe limitar el horario a unas pocas horas de la noche, o bien a eventos especiales que requieran iluminación en un periodo definido.
- ✔ **Fachadas:** se debe controlar con un temporizador automático y se debe limitar el horario a unas pocas horas de la noche.
- ✔ **Iluminación de Seguridad:** fotocelda para control automático con el fin de que las luminarias enciendan en condiciones nocturnas o de poca luz natural.

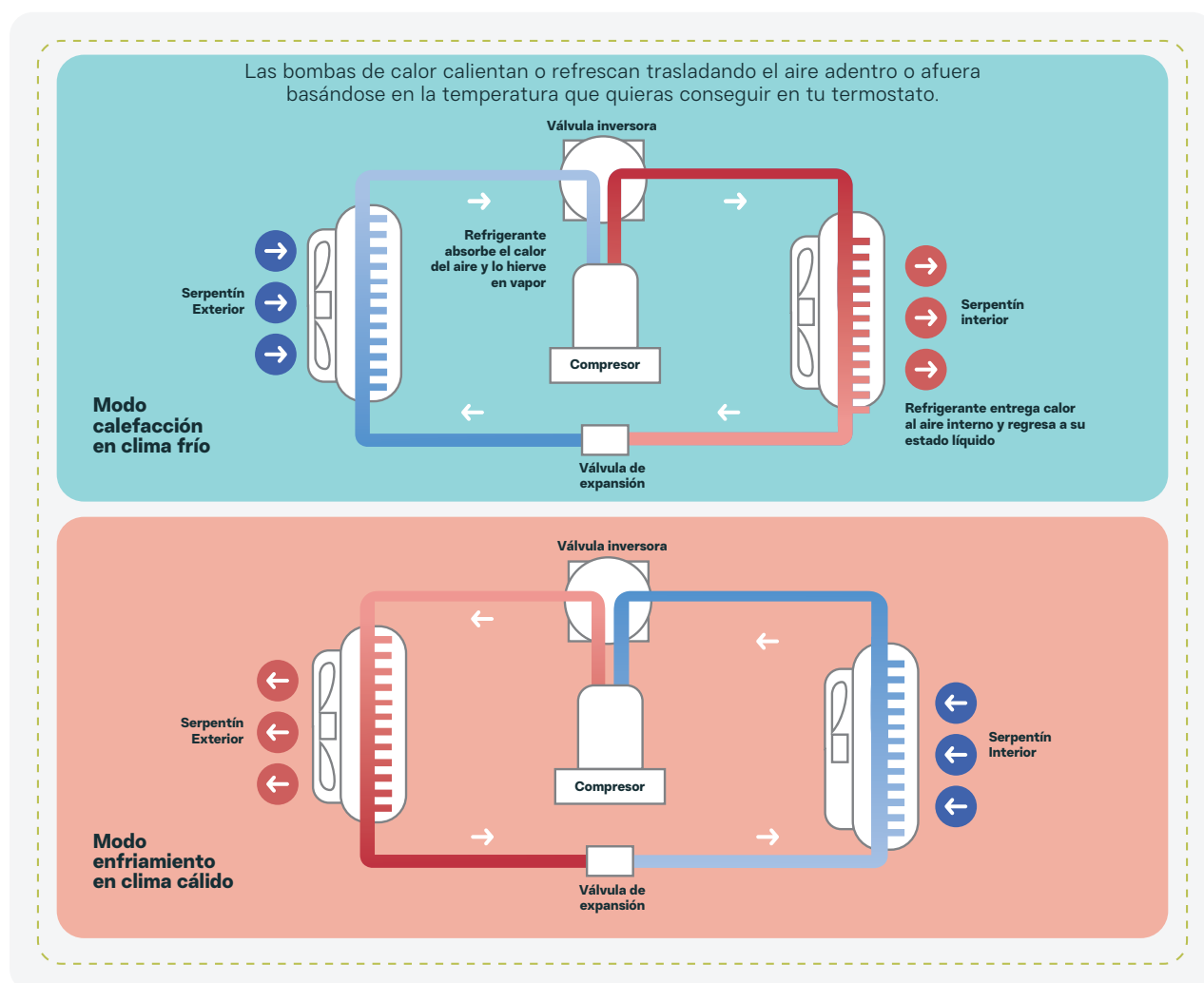
Sistemas de calefacción

Existen numerosos tipos de sistemas de calefacción que se pueden instalar en un proyecto. Para efectos prácticos, estos se pueden catalogar en dos tipos: equipos que facilitan la conversión a calor; y aquellos que mueven o bombean calor. Antes de ahondar en esta clasificación, es importante entender el concepto de coeficiente de rendimiento (COP, por sus siglas en inglés) y el de eficiencia térmica.

El término COP se utiliza para describir la eficiencia de sistemas que mueven o bombean calor, mientras que el término de eficiencia térmica se utiliza para describir sistemas que facilitan la conversión a calor. Normalmente se requiere menos trabajo para bombear calor, y por esta razón los COP siempre son mayores a 1 (típicamente 2-4) mientras que la eficiencia térmica, como está condicionado a la primera ley de la termodinámica, siempre va a ser menor a 1. Algunos ejemplos de equipos que facilitan la conversión a calor son: calefacción de gas de tiro balanceado, calderas, resistencias eléctricas, chimeneas, etc. Los equipos que mueven o bombean calor son las bombas de calor que pueden mover el calor a diferentes sumideros de calor como aire, tierra o agua.

Se podría pensar que siempre un equipo tipo bomba de calor va a ser la opción más atractiva desde un punto de vista de eficiencia, pero no siempre es el caso debido a diferentes factores como el costo inicial, costo de operación, disponibilidad de combustible, facilidad de mantenimiento, vida útil de los equipos, entre otros. Para efectos de este análisis, la recomendación es utilizar bombas de calor con un COP mínimo de 2,9, considerando la tendencia global necesaria y acordada en el Acuerdo de Paris de transición hacia la electrificación.

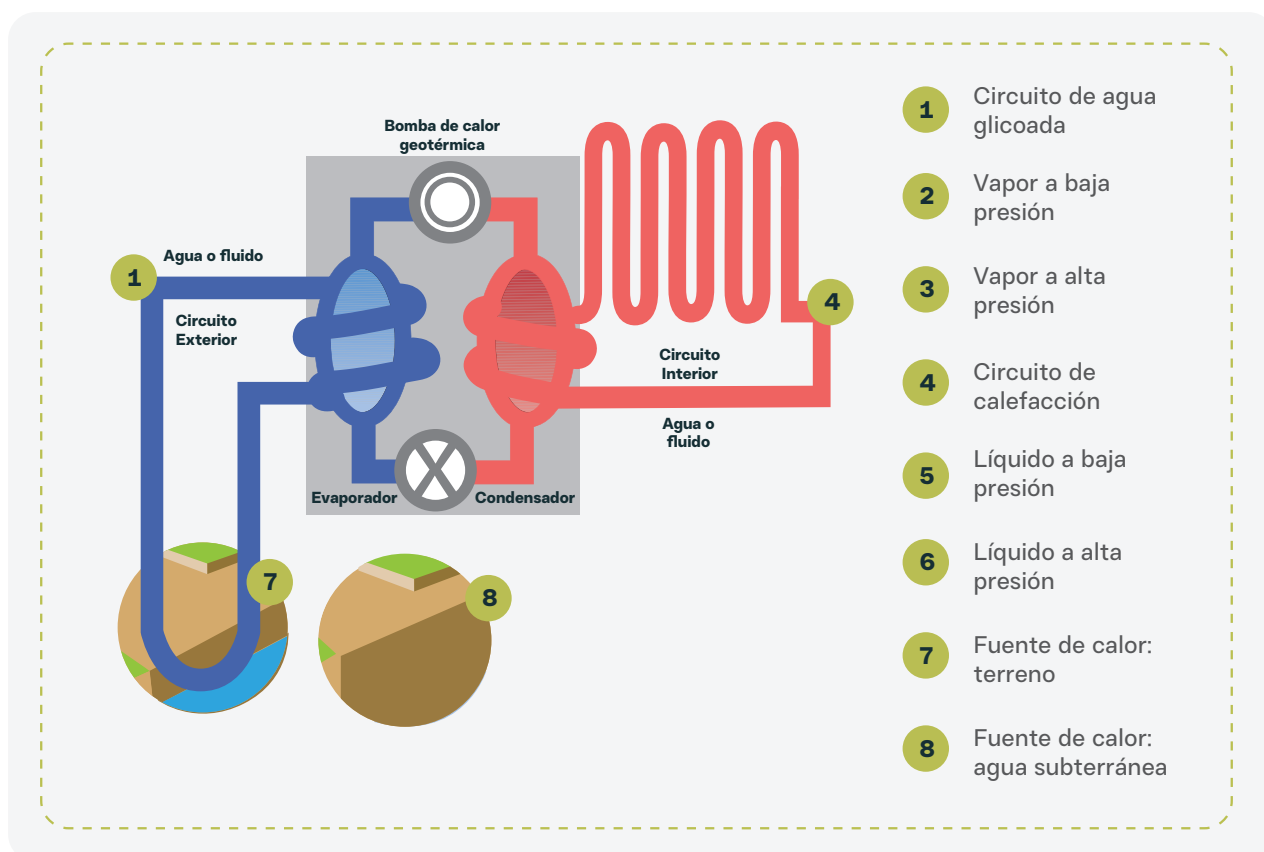
Figura 15. Diagrama de una bomba de calor con fuente de aire¹⁹.



Fuente: Adaptado de Sierra Club (2022) y del US Department of Energy (DOE, s.f.).

¹⁹ Sierra Club. 2022. "Bomba de calor (heat pump) 101: resumen del electrodoméstico para toda ocasión, frío o calor"; U.S. Department of Energy (DOE). s.f. "Air-Source Heat Pumps"

Figura 16. Diagrama de una bomba de calor con fuente de tierra²⁰.



Fuente: Adaptado de Ecosistemas del Sureste (2015).

Enfriamiento

El mundo de aire acondicionado es tan complejo como el de calefacción, donde se tienen muchos tipos de sistemas y muchas formas de representar eficiencia. Todos los sistemas de aire acondicionado usan de una u otra forma el ciclo de refrigeración, que al final es el mismo concepto de la bomba de calor descrita anteriormente, con la diferencia que: en lugar de bombear calor de afuera hacia adentro, en enfriamiento se bombea calor de adentro hacia afuera. En zonas climáticas donde se requiere tanto calefacción como aire acondicionado, una bomba de calor suele ser la mejor opción, porque resuelve el requerimiento con un solo equipo que tenga los dos modos de operación. La forma más común de representar eficiencia en aire acondicionado es en COP o en EER.

Ventilación mecánica

La ventilación mecánica se da cuando, por medio de equipos mecánicos como abanicos o inyectores, se suministra aire fresco exterior a espacios internos. La cantidad de aire que se debe inyectar depende de la cantidad de personas, el tipo de uso que tenga el espacio y el área de este. La siguiente tabla incluye los valores correspondientes para terminales de transporte.

²⁰ Ecosistemas del Sureste. 2015. "Clasificación de la bomba de calor con aire acondicionado"

Tabla 5. Tasas de ventilación para terminales de transporte²¹.

 Categoría	 Tasa de ventilación por persona (R_p) L/s por persona	 Tasa de ventilación por área (R_a) L/s por m ²
Área de espera para transporte	3,8 L/s por persona	0,3 L/s por m ²
Área de cafetería y comida rápida	3,8 L/s por persona	0,9 L/s por m ²
Áreas comunes (retail)	3,8 L/s por persona	0,3 L/s por m ²

Fuente: Adaptado de ASHRAE (2010).

Ventilación natural

La ventilación natural puede ser otra alternativa para brindar un ambiente sano a los usuarios, pero también tiene sus particularidades. Se debe manejar con cuidado cuando se tienen zonas muy calientes o frías, donde el ingreso adicional de aire exterior puede representar un consumo excesivo en los equipos de aire acondicionado o calefacción, respectivamente. Bajo ciertas condiciones exteriores, se puede aumentar la ventilación natural para lograr un efecto de enfriamiento por la velocidad del aire. Determinar la viabilidad requiere estudios más específicos, ya que se debe tomar en cuenta velocidades de viento exterior, el diseño de las aperturas de las fachadas, así como la orientación y geometría del edificio.

Agua caliente

Existen muchos sistemas y métodos para la calefacción de agua de un edificio, como lo son calderas de gas natural, bunker o LPG, calentadores con bombas de calor, etc. Para este estudio, dada la poca demanda que se especificó debido a que no se incluyen duchas para los empleados, se eligió un sistema de calentador de paso eléctrico estándar con una eficiencia del 90%.

Por ejemplo, un calentador de agua con bomba de calor usa electricidad para mover el calor existente de un lugar a otro en lugar de generar calor directamente. Muchos proyectos suelen utilizar bombas de calor para calentar y enfriar los espacios, pero también se pueden utilizar como un sistema de calentamiento de agua independiente o en un sistema combinado para agua caliente y acondicionamiento de espacios. Los sistemas de bombas de calor (Heat Pumps) también pueden resultar en un ahorro importante para la producción de agua caliente²².

²¹American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). 2010. *ASHRAE Standard 62.1-2010. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*.

²²Crail, Chauncey. 2023. *Heat pump water heaters: Complete guide, pros and cons, and more*. Forbes Home.

Equipamientos y accesorios sanitarios de bajo consumo de agua

Los equipamientos sanitarios son puntos estratégicos para optimizar el consumo de agua. Para estos, existen tecnologías que permiten controlar los caudales de salida. El caudal de los accesorios de plomería se mide en litros por minuto (L/m), el cual corresponde a la cantidad de agua que sale del mismo en un periodo de 60 segundos.

A continuación, se detallan lineamientos de consumo para diferentes equipos sanitarios aplicables a todos los tipos de clima.

Tabla 6. Caudales recomendados de accesorios para baños y cocina (litros por minuto/descarga).

Grifería de lavamanos	2 L/min con aireador 0,8 L/ciclo de tipo cierre automático
Servicios Sanitarios	4,8 L/descarga para tanque simple o fluxómetro 3 y 6 L/descarga para tanque doble
Bidet	2 L/min
Urinales	0,5 L/descarga o secos
Grifos de cocina	6 L/min
Duchas	6 L/min

Fuente: Elaboración propia.

Estrategias de riego eficiente

Riego por goteo

El riego por goteo es un método eficiente de suministrar agua y nutrientes a los cultivos. Esto se lleva a cabo a través de un sistema de líneas de goteo que es instalado en las zonas verdes del proyecto. Estas líneas tienen pequeños agujeros que se encargan de emitir un flujo controlado de gotas a los cultivos. El riego por goteo es una de las estrategias recomendadas para lograr la eficiencia y control en el consumo de agua potable para las zonas verdes de las terminales de transporte. Una opción que puede ayudar aún más a controlar el consumo de agua potable en el proyecto es si se consideran fuentes alternas de consumo de agua para el sistema de riego por goteo. Un ejemplo de esto puede ser utilizar agua tratada por una planta de tratamiento.

Jardines de lluvia

Los jardines de lluvia son una herramienta que ayuda a reducir problemas medioambientales generado por la escorrentía y la contaminación de las aguas. Estos son depresiones poco profundas de terreno que contienen mezclas de suelos que permiten absorber de manera más

rápida y efectiva el agua y fomentan el crecimiento de la vegetación. Los jardines de lluvia pueden variar de dimensiones, profundidad y vegetación según lo requiera el lugar adonde se va a colocar. Una ventaja que ofrecen estos espacios es que permiten el uso de vegetación nativa. Los jardines de lluvia son ideales para evitar que se acumule el agua en una zona, ya que la absorben rápido. Por lo general, se recomienda que un jardín de lluvia abarque un área del 10% al 20% del total de área que se quiera drenar.

Estrategias de operación y mantenimiento

✓ **Verificación y puesta en marcha de los sistemas electromecánicos para confirmar la operación según los parámetros de diseño**

El proceso de verificación y puesta en marcha de los sistemas electromecánicos es fundamental en un proyecto de construcción, ya que a través de este se verifica que la instalación y operación de los equipos sea el indicado en el diseño constructivo. En este proceso, uno o varios profesionales calificados se encargan, además, de verificar el funcionamiento de los equipos electromecánicos a distintas condiciones que se considera serán típicas en su operación y, también, simulando algunas emergencias que puedan ocurrir. Realizar este proceso puede prevenir inconvenientes en este tipo de equipos, ahorrando así tiempo y dinero.

✓ **Manual de operaciones completo con requerimientos operativos actualizados**

Las terminales de transporte verdes se consideran complejas y multifacéticas, ya que involucran una amplia gama de procesos, equipos y actividades, desde la adquisición del terreno, el diseño, la construcción y la gestión a largo plazo durante su operación y mantenimiento. Es por ello por lo que un Manual de Operaciones completo y actualizado se vuelve mandatorio y fundamental. Este documento actúa como una guía operativa de los equipos de las terminales que proporciona una estructurada para la ejecución exitosa del proyecto. Ofrece información relevante como los procesos de operación de los equipos, los proveedores, las fechas de mantenimiento o reparaciones, los estándares de calidad, entre otros. Este enfoque proactivo garantiza que la terminal de transporte logre responder de manera eficaz a los desafíos y controles operativos durante las distintas estaciones de acuerdo con la zona climática en donde sea desarrollada.

✓ **Control de consumo mensual de energía y agua para crear una línea base comparativa**

Una terminal verde no solo es verde por la manera en la que se construye, los equipos que tiene o los sistemas de energía renovable que incluye, sino también por la operación que se le da a diario. Una buena práctica para controlar el consumo de energía y agua, y así reducir la huella de carbono generada por el proyecto, es la de llevar un control mensual del consumo que este genera. De esta manera, se puede realizar una línea base histórica del consumo tanto de energía como de agua y buscar siempre estar por debajo de esta. Si esta línea base se está actualizando mes a mes, y mensualmente se hace el esfuerzo de reducir el consumo, probablemente se va a presentar una continua mejora en este sentido. Además, llevar un control histórico permite detectar con mayor facilidad problemas en la operación y/o en los equipos cuando el consumo presente un aumento.

✓ **Medición anual de los parámetros de calidad de aire interior (CO₂, TVOC, PM 2,5)**

Es importante contar con una calidad mínima del aire interior en todo edificio, y las terminales verdes de transporte no son la excepción. Existen varios parámetros con los que

se puede medir la calidad del aire interior. Uno de estos es el nivel de dióxido de carbono; el rango ideal de este es de 300 ppm a 800 ppm. En caso de superar estos valores, algunos de los efectos que pueden presentar los usuarios son somnolencia, dolores de cabeza y pérdida de atención.

Otro de los parámetros es el de PM 2,5, que se refiere a material particulado de un diámetro menor a 2,5 micrómetros que se encuentren flotando en el aire. El rango recomendado es que haya menos de 35 microgramos de estas por cada metro cúbico de aire, teniendo en cuenta que dichas partículas son perjudiciales para la salud, ya que atraviesan la barrera pulmonar y entran en el torrente sanguíneo.

Un tercer componente es el de los compuestos volátiles orgánicos totales (TVOC, por sus siglas en inglés). Limitar la presencia de estos compuestos es importante, ya que pueden generar efectos negativos para la salud humana, tales como inflamación en los ojos, dolor de cabeza e incluso asma a largo plazo. Para realizar la medición de estos parámetros, se recomienda la contratación de una empresa externa, para que realice una auditoría de calidad del aire interior en el proyecto. A partir de los resultados de esta auditoría, también pueden surgir puntos de mejora y recomendaciones por parte de los profesionales para mejorar la calidad del aire interno del proyecto.



Limpieza de filtros de aire fresco y aire acondicionado

La limpieza de los filtros en los sistemas de aire acondicionado y calefacción es fundamental para garantizar la calidad del aire que se les suministra a los espacios acondicionados de un proyecto. Este es un proceso sencillo ya que los filtros suelen ser de fácil acceso en las unidades, justamente para que su mantenimiento sea fácil de realizar. Cada unidad cuenta con sus necesidades particulares de mantenimiento, por lo que se debe seguir lo que indique el fabricante para garantizar un correcto funcionamiento del equipo. No obstante, para sistemas de potencia igual o inferior a 70 KW, como medida general, se le puede realizar una limpieza a sus filtros cada año si el equipo se utiliza solo para enfriar. Por su parte, si el equipo se utiliza para tanto enfriar como calentar, se pueden realizar dos limpiezas al año.



Mantenimiento de áreas externas y revisión de sistema pluvial para evitar inundaciones

El mantenimiento de áreas externas y la revisión del sistema pluvial son aspectos de vital importancia durante la operación y el mantenimiento de un edificio, ya que desempeñan un papel fundamental en la prevención de inundaciones. El adecuado y regular mantenimiento de áreas exteriores, así como los desagües pluviales, canales de drenaje y sistemas de evacuación de aguas pluviales, garantiza que el agua de lluvia se dirija de manera eficiente lejos del edificio, evitando así la acumulación de agua que podría causar daños estructurales y problemas en el interior del edificio. Además, la revisión periódica del sistema pluvial permite detectar posibles obstrucciones, fugas o defectos que, de no ser abordados a tiempo, podrían desencadenar inundaciones perjudiciales para las terminales de transporte verdes.



Limpieza semestral del sistema de energía solar fotovoltaica

Al igual que con los otros equipos mecánicos, es importante darle mantenimiento al sistema fotovoltaico instalado en las terminales verdes. Como parte de este mantenimiento preventivo que se requiere para que el sistema opere correctamente, se recomienda una limpieza del sistema cada seis meses. Al ser equipos que están expuestos a la intemperie,

estos están sometidos a muchos efectos de la naturaleza. Al ensuciarse, el sistema fotovoltaico presenta una disminución en la eficiencia de la generación de energía, lo que no es deseable. Es muy importante que esta limpieza no se haga con ningún material que pueda rayar las celdas del sistema, ya que naturalmente esto impactará negativamente en el desempeño del sistema. Se recomienda utilizar materiales como esponjas blandas, agua a baja presión y poco jabón para este proceso. Otra alternativa es contratar a una empresa especializada en mantenimiento y limpieza de paneles solares para que realice este proceso.

Manejo y control de plagas

Las plagas, como algunos insectos y roedores, pueden presentarse en terminales y traer consigo problemas de salud para los usuarios y hasta pueden representar daños materiales en caso de que se salgan de control. Hay varias estrategias que se pueden implementar para reducir el riesgo de que esto suceda. En primer lugar, es fundamental mantener la terminal aseada. Para esto, es fundamental contar con colaboradores de limpieza y contar con contenedores para depósito de desechos en puntos estratégicos de la terminal. Sobre todo, la limpieza en el área de cocina es fundamental, ya que las plagas se pueden ver atraídas por la comida, así que una constante limpieza en esta área y asegurarse de mantener la comida sellada es muy importante. Se recomienda, además, que haya varios contenedores con sus respectivas denominaciones de desechos, para así fomentar el reciclaje. En relación con esto, adicionalmente se recomienda que haya un manejo adecuado de los residuos. Se recomienda contar con un centro de reciclaje en el proyecto y también un espacio para recolección de materiales no convencionales como baterías y residuos electrónicos. En caso de que estas medidas no funcionen y haya presencia de plagas en la terminal, será necesario contactar con algún profesional especializado en el control de plagas. Resulta crítico atacar este problema, de presentarse, lo antes posible para no comprometer la salud de los usuarios de la terminal ni la operación de esta.

Pruebas anuales de calidad de agua potable

Hay dos tipos de pruebas para medir la calidad del agua potable. La primeras son pruebas de pH, en las que se verifica que los niveles de pH se encuentren entre 6,5 y 8,5. En caso de que el agua se salga de este rango, se puede generar corrosión en las tuberías y también un mal sabor en el agua. El segundo tipo de pruebas son de sólidos disueltos totales. En este se busca que la cantidad de sólidos en el agua sea inferior a 500 mg/L. Además, no se espera que los valores de cantidad de sólidos en el agua varíen considerablemente entre pruebas. Un aumento en la cantidad de sólidos disueltos en el agua de una prueba a otra puede indicar que se presentó alguna contaminación en el agua, lo que indicaría la necesidad de realizar pruebas más seguidas y un análisis para identificar la causa de la contaminación.

Control de fugas de refrigerante del sistema de aire acondicionado

Las fugas de refrigerante son indeseadas, ya que pueden generar considerables pérdidas de energía en los equipos de refrigeración y aire acondicionado y, en algunos casos, generar contaminación en el medio ambiente. Una manera de controlar las fugas de refrigerante en estos sistemas es realizando una prueba de detección de fugas cada cierto tiempo, sobre todo si se considera que el equipo ha visto su rendimiento disminuido. Existen varios tipos de pruebas de esta naturaleza, pero quizás la más práctica sea la que utiliza tinte fluorescente y luz ultravioleta. En esta, se inyecta cierta cantidad determinada de tinte

tinte y será visible a través de la luz ultravioleta. De esta manera, será más sencillo determinar la ubicación y el número de fugas y así se puede arreglar el problema.

Control de humedad y filtraciones

La humedad y las filtraciones pueden generar daños tanto para la estructura de las terminales como para los usuarios de estas. Por esto, es importante limitar los efectos de estos desde el mismo proceso constructivo. Una manera de llevar a cabo esto es manteniendo secos los cimientos de la construcción. Es importante durante el proceso constructivo asegurarse de llevar a cabo un correcto drenaje de la precipitación que caiga en el proyecto para evitar justamente que los cimientos se humedezcan de más. Otra medida muy importante a tomar durante el proceso constructivo es la de mantener secos los materiales de construcción sensibles a la humedad. Una buena práctica para llevar a cabo esto es colocar estos materiales en tarimas. De esta manera, estos se encuentran elevados con respecto del nivel de suelo y se mantienen alejados del agua. Es muy importante verificar la correcta instalación de todos los componentes de la envolvente de la terminal durante su construcción. Sobre todo, es importante tener cuidado en la instalación de ventanas ya que estas son las partes de la envolvente que suelen presentar más filtración de humedad. Además, importante diseñar el sistema de aire acondicionado para que este mantenga un nivel de humedad adecuado. Otra recomendación es estar pendiente de la presencia de moho en los techos y paredes de la terminal, ya que esta es una muestra inequívoca de presencia de humedad en el ambiente.

Realizar pruebas de hermeticidad de la envolvente para reducir pérdida de energía

En una prueba de hermeticidad de un edificio, se determina la permeabilidad con la que cuenta la envolvente al presurizar o despresurizar el edificio. Esta prueba utiliza un ventilador calibrado de velocidad variable, el cual se coloca en una de las aperturas del edificio, como una puerta principal, por ejemplo. El objetivo de esta prueba es determinar el flujo de aire que atraviesa la envolvente del edificio. Entre menor flujo atraviese la envolvente, mayor será su permeabilidad, lo que permitirá un mayor ahorro energético. Esta prueba permite también detectar fugas energéticas y así solucionar errores de diseño o construcción para mejorar el rendimiento energético del edificio.

Revisión de tuberías sensibles a daños por frío extremo

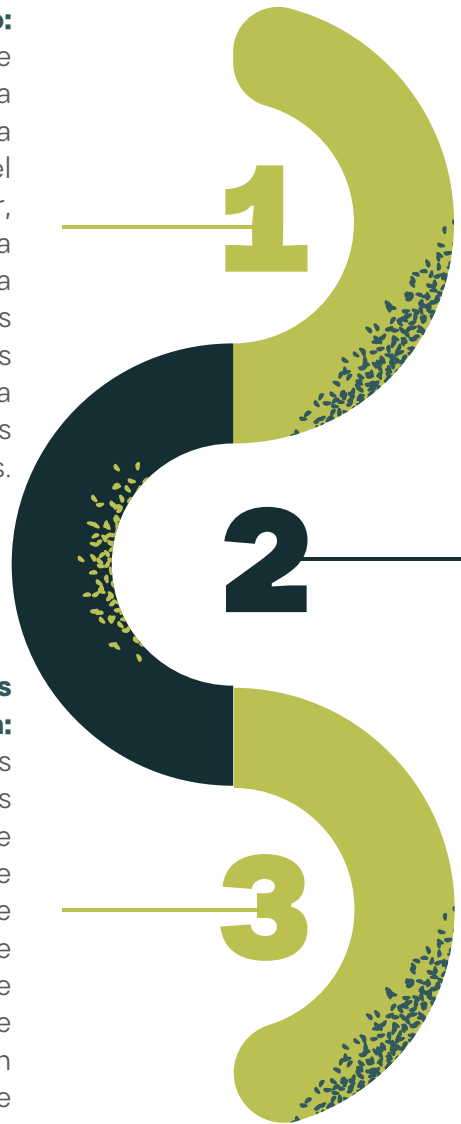
En las zonas climáticas más frías, como la 5 y la 6, se pueden presentar daños en las tuberías por frío extremo. Cuando las tuberías se encuentran expuestas a temperaturas iguales o inferiores a los -7°C , se considera que están en peligro de presentar daños. Esto sucede principalmente en tuberías que transportan agua, ya que a estas temperaturas el agua se puede congelar y expandir, lo que puede ocasionar esfuerzos mayores a los que la tubería está diseñada para soportar y, por ende, la tubería se termina rompiendo. Algunas medidas que se pueden tomar para reducir la posibilidad de que las tuberías presenten daños en el invierno son las siguientes:

Añadir aislamiento:

al añadir una capa de aislante térmico que cubra la tubería se reduce la transferencia de calor del interior de esta al exterior, disminuyendo así la posibilidad de que el agua se congele. Existen varios tipos de aislantes térmicos como, por ejemplo, la fibra de vidrio, el caucho y varios tipos de espumas.

Permitir que los grifos goteen:

una buena práctica es permitir que las salidas de agua goteen durante un rato antes de que se termine la operación de la terminal por ese día. De esta manera, se reduce la cantidad de agua que se encuentra atrapada en las tuberías y en caso de que se congele la presión que esta ejercería sobre las tuberías sería menor. De esta manera es menos probable que se presente un daño a la tubería.

**Sellamiento térmico de la terminal:**

asegurarse de que la envolvente del proyecto no se encuentre dañada es una manera de limitar la transferencia de calor desde el interior del edificio hacia el exterior. Así, la temperatura a la que van a estar sometidas las tuberías ubicadas en el interior del proyecto va a ser mayor y estas se van a encontrar más protegidas.

Fuente: Elaboración propia.

Las primeras dos estrategias es importante implementarlas antes del inicio del invierno, ya que así se evita que en los primeros días de este se sufran consecuencias. En caso de que se presente alguna avería en el sistema de tuberías, se recomienda contactar a un profesional calificado para que arregle el sistema.

Metodología de análisis

La metodología se basó en un estudio detallado de estrategias y prácticas comunes aplicadas en la planificación de terminales de transporte aéreo y terrestre con el objetivo de identificar las mejores prácticas de diseño y construcción sostenible y resiliente. Para ello se formuló el análisis estadístico²³ de una muestra exploratoria y no probabilística de terminales aéreas y terrestres en 18 países de ALC, entre ellos Bolivia, México, Argentina, y Perú. La muestra fue constituida mediante resoluciones institucionales y regulaciones internacionales aplicables a cada caso, así como publicaciones de la sociedad civil y herramientas de teledetección y procesamiento de imágenes. Una de las principales barreras presentadas en la construcción de la muestra recae sobre la brecha de acceso a información pública; apenas el 47% de casos estudiados presentan información de fuentes oficiales digitalizada y robusta.

De la muestra establecida de terminales, tanto aéreas como terrestres, se identificaron las principales características físicas constructivas que guiaron la recreación de modelos genéricos, uno para cada tipo de terminal analizada. Dichos modelos, realizados a través de herramientas de diseño²⁴, permitieron identificar lineamientos para la planificación de terminales verdes y criterios de resiliencia adaptados a diferentes condiciones ambientales y climáticas presentes en ALC.

Muestreo de terminales aéreas

Para el análisis estadístico de las terminales aéreas se desarrolló una matriz en la que se consideraron los siguientes datos: nombre del aeropuerto, país al que pertenece, número de pasajeros por año, área total de construcción, y presencia y tipología de servicios (locales comerciales, restaurantes, boletería y administración). Los datos de nombre y país al que pertenece la terminal se recolectaron para tener claridad de qué terminales exactamente se consideraron en el estudio y cómo difieren las estructuras de estas para distintos países. El número de pasajeros fue indispensable considerarlo para así tener un mejor entendimiento de la demanda que tienen estas terminales. El área total de construcción resulta de vital importancia también ya que, gracias a este dato, es posible dimensionar las obras constructivas que estos edificios representan. Incluso, los dos datos más importantes a considerar para el análisis estadístico realizado son, justamente, la cantidad de usuarios y el área total de construcción, ya que a partir de estos dos se puede dimensionar mejor el espacio que ocupa la edificación y el uso que tiene. Finalmente, la presencia y tipología de servicios fueron tomados en cuenta para comprender mejor qué tipo de actividades, además de transporte, se llevan a cabo en este tipo de edificaciones y cómo podría ser una configuración típica de estas.

²³ El análisis estadístico fue desarrollado mediante la herramienta Jamovi. Jamovi es un software de acceso y descarga gratuita que ofrece una interfaz para el lenguaje estadístico computacional R. Esta herramienta permite realizar análisis estadísticos avanzados como factor de análisis y modelos mixtos.

²⁴ La herramienta de diseño es aquella que permite simular las condiciones de diseño arquitectónico y determinar su grado de desempeño energético. Entre ellas encontramos programas simulación energética como Design Builder, Revit o sistemas de Certificación de Edificio Verde como la app de EDGE.

Metodología de investigación y estudio comparativo regional de terminales aéreas.



Fuente: Elaboración propia.

Se otorgó prioridad a países como Perú, Argentina, Bolivia y México, en donde se contó con acceso a más información. En Perú, por ejemplo, se obtuvo un estudio realizado por la OSITRAN, sobre la concesión del primer grupo de aeropuertos de provincia en este país.

En algunos de los casos, se evidenció la falta de datos como áreas de emplazamiento de las terminales aéreas, distribución interna de las mismas y flujo de pasajeros. Por tanto, fue necesario el uso de imágenes satelitales para su reconocimiento. De igual manera, para la identificación de tipos de servicios comerciales como restaurantes, boletería y administración, se analizaron imágenes disponibles del interior de los aeropuertos requeridos.

Tabla 7. Matriz de terminales aéreas.

Aeropuerto	Niveles	País	Pasajeros por año	Área (m²)	Área total (m²)	Servicios	Locales comerciales	Restaurantes	Boletería	Administración
Tucumán	2	Argentina	731.000	5.600	11.200	Si	Si	Si	Si	Si
Jujuy	2	Argentina	477.000	6.000	12.000	Si	Si	Si	Si	Si
Comod. Rivadavia	2	Argentina	466.000	4.000	8.000	Si	Si	Si	Si	Si
Trelew	1	Argentina	305.000	2.900	2.900	Si (car rental)	Si	Si	Si	Si
Rosario	1	Argentina	304.000	8.000	8.000	Si (varios)	Si (varios)	Si (varios)	Si	Si
Mar del Plata	2	Argentina	273.000	3.300	6.600	Si	Si	Si	Si	Si
Posadas	2	Argentina	320.000	2.145	4.290	Si (car rental)	Si	0	Si	Si
Resistencia	1	Argentina	234.000	4.000	4.000	Si (car rental)	0	0	Si	Si
Corrientes	2	Argentina	213.000	2.270	4.540	Si (car rental)	Si	Si	Si	Si
San Juan	1	Argentina	199.000	2.300	2.300	Si (car rental)	0	0	Si	Si
Río Gallegos	2	Argentina	200.000	4.535	9.070	Si (car rental)	0	Si (al menos uno)	Si	Si
Chapelco	1	Argentina	200.000	2.360	2.360	Si (car rental)	0	0	Si	Si
Bahía Blanca	2	Argentina	204.000	1.745	3.490	Si (car rental)	0	Si (al menos uno)	Si	Si
Santiago del Estero	1	Argentina	186.000	2.200	2.200	Si	Si	Si	Si	Si
Río Grande	1	Argentina	128.000	2.650	2.650	Si (car rental)	Si	0	Si	Si
Puerto Madryn	1	Argentina	119.000	1.400	1.400	Si (car rental)	0	Si	Si	Si
Pasto - Antonio Nariño	2	Colombia	624.053	1.850	3.700	Si	0	Si	Si	Si
El Eden	3	Colombia	574.456	2.900	8.700	Si (car rental)	Si	Si	Si	Si
Alfonso López Pumarejo	1	Colombia	456.359	3.800	3.800	Si (varios)	Si (varios)	Si (varios)	Si	Si
Quibdo - El Caraño	2	Colombia	336.809	3.815	7.630	Si (varios)	Si	Si (al menos un café)	Si	Si
Almirante Padilla	2	Colombia	404.928	2.500	5.000	0	Si	Si	Si	Si
Neiva - Benito Salas	1	Colombia	391.994	4.200	4.200	0	0	0	Si	Si
Leticia - Alfredo Vásquez C.	2	Colombia	337.235	11.500	23.000	Si (varios)	Si	Si	Si	Si
Cobija	2	Bolivia	139.742	4.200	8.400	0	Si	0	Si	Si
Guayaramerín	2	Bolivia	38.654	2.053	4.106	0	0	0	Si	Si
Oruro (Juan Mendoza)	2	Bolivia	52.966	3.952	7.904	Si	Si	0	Si	Si
Riberalta / Selin Zeitun	2	Bolivia	59.137	4.600	9.200	0	0	0	0	0
Sucre / Alcantarí	2	Bolivia	445.812	4.700	9.400	Si (car rental)	Si	Si	Si	Si
Trinidad	1	Bolivia	328.773	2.942	2.942	Si (taxis)	0	Si (varios)	Si	Si
Tarija	2	Bolivia	270.969	4.000	8.000	Si (varios)	Si	Si (al menos un café)	Si	Si
Puerto Escondido	1	México	55.843	2.459	2.459	Si	Si	Si	Si	Si
Huatulco	1	México	73.300	5.600	5.600	Si	Si	Si	Si	Si
Oaxaca	2	México	86.011	6.200	12.400	Si	Si	Si	Si	Si
Veracruz	2	México	85.712	9.000	18.000	Si	Si	Si	Si	Si

Aeropuerto	Niveles	País	Pasajeros por año	Área	Área total	Servicios	Locales comerciales	Restaurantes	Boletería	Administración
Villa Hermosa	1	México	79.201	9.000	9.000	Si	Si	Si	Si	Si
Hermosillo	2	México	112.284	9.000	18.000	Si	Si	Si	Si	Si
La Paz	1	México	73.614	6.900	6.900	Si	Si	Si	Si	Si
Mexicali	1	México	88.512	5.000	5.000	Si	Si	Si	Si	Si
Ciudad de Juárez	2	México	111.540	5.800	11.600	Si	Si	Si	Si	Si
Culiacán	2	México	156.836	5.700	11.400	Si	Si	Si	Si	Si
Chetumal	1	México	28.930	2.000	2.000	Si	Si	Si	Si	Si
Tuxtla Gutiérrez	2	México	101.774	8.500	17.000	Si	Si	Si	Si	Si
Cajamarca	2	Perú	472.257	1.214	2.428	0	Si	0	Si	Si
Chiclayo	1	Perú	676.379	1.674	1.674	0	Si	0	Si	Si
Pucallpa	1	Perú	735.473	2.524	2.524	0	Si	0	Si	Si
Talara	1	Perú	318.552	1.258	1.258	0	Si	0	Si	Si
Trujillo	1	Perú	654.245	3.356	3.356	0	Si	0	Si	Si
Tumbes	1	Perú	261.346	1.177	1.177	0	Si	0	Si	Si
Leonard M. Thompson	2	Bahamas	125.000	4.500	9.000	0	0	0	Si	Si
North Eleuthera	1	Bahamas		630	630	0	0	0	0	0
Exuma	1	Bahamas		600	600	Si (car rental)		0	Si	0
New Bight	1	Bahamas		186	186	0	0	0	0	0
Tobías Bolaños	2	Costa Rica	32.000	1.000	2.000	0	0	0	Si	Si
Los Altos / Quetzaltenango	1	Guatemala	4.464	770	770	0	0	0	0	Si
Mundo Maya	1	Guatemala	146.764	4.100	4.100	0	Si	0	Si	Si
Puerto Barrios	1	Guatemala	14.058	540	540	0	0	0	0	0
Sir Barry Bowen	1	Belize		740	740	Si (taxis)		0	0	0
Flores Airport	1	Brasil		3.600	3.600	0	0	0	Si	Si
São José dos Campos	1	Brasil	90.000	5.600	5.600	0	0	0	0	0
Jacarepaguá	2	Brasil	191.388	1.800	3.600	0	Si	Si	Si	0
Araucania	1	Chile	1.028.340	4.500	4.500	Si (taxis/transporte)		0	Si	0
Aeródromo Pichoy	2	Chile	343.654	2.200	4.400	0	0	0	0	Si
Cañal Bajo Carlos Hott S.	2	Chile	239.342	1.300	2.600	0	0	0	0	
Santa Rosa	2	Ecuador	22.004	5.300	10.600	0	0	0	0	0
Eloy Alfaro	1	Ecuador	83.333	6.000	6.000	0	0	0	0	0
Goloson	1	Honduras		3.100	3.100	Si (car rentals y salas reuniones)		0	Si	Si
Fanor Urroz	1	Nicaragua		2.200	2.200	0	0	0	0	Si
Albrook Gelabert	2	Panamá	271.382	5.000	10.000	0	0	0	0	0
Enrique Malek	2	Panamá	243.774	4.700	9.400	Si (car rentals)		0	Si	Si

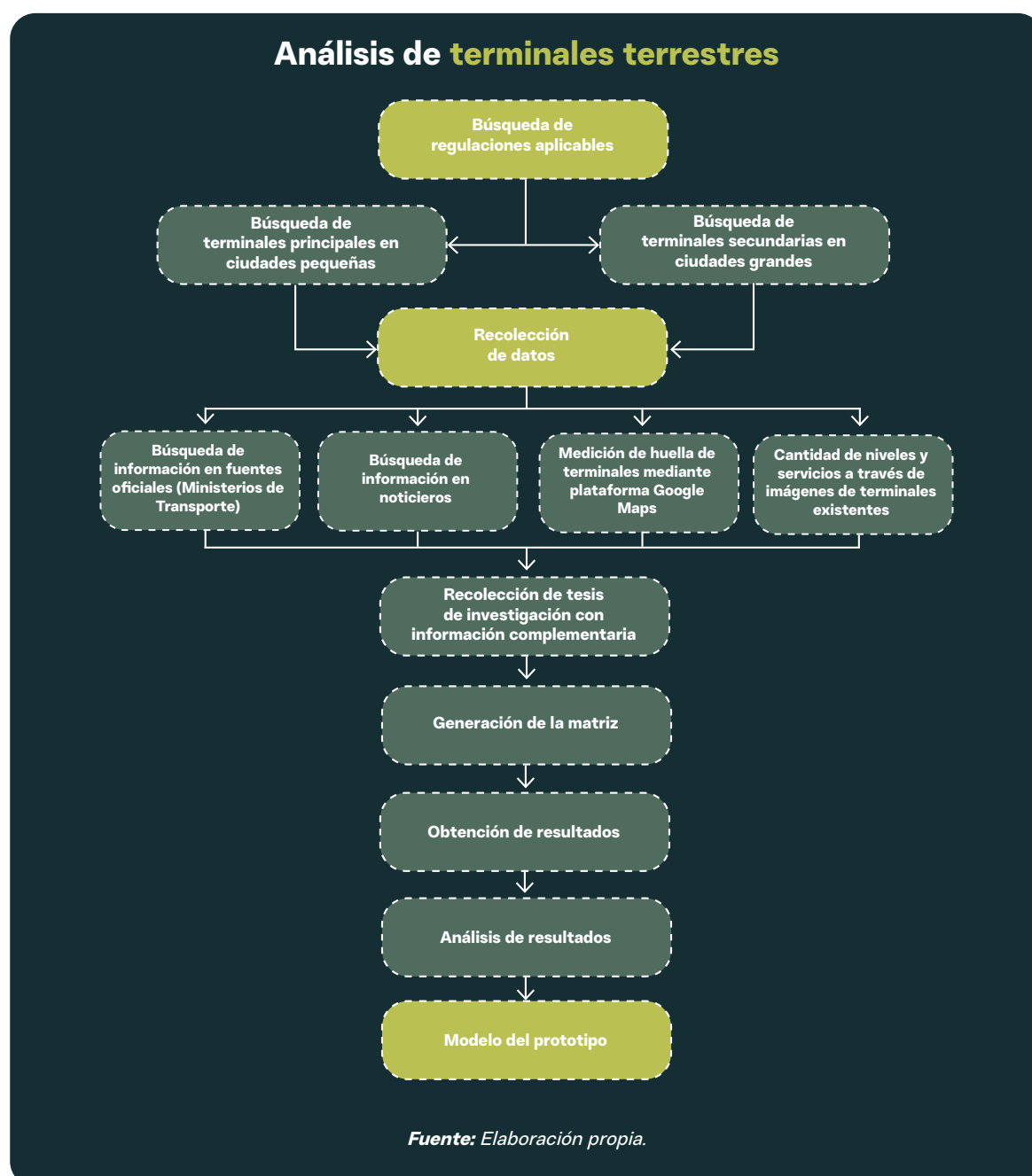
Aeropuerto	Niveles	País	Pasajeros por año	Área	Área total	Servicios	Locales comerciales	Restaurantes	Boletería	Administración
Itaipu	1	Paraguay		400	400	0	0	0	0	Si
Guaraní	2	Paraguay	40.923	7.000	14.000	Si (taxis)	0	0	Si	Si
Ilopango	1	El Salvador	17.833	2.000	2.000	0	0	0	0	Si
Punta del Este	3	Uruguay	156.800	13.000	39.000	Si (sala VIP)	Si (25)	Si (1)	Si	Si

Fuente: Elaboración propia.

Muestreo de terminales terrestres

Para el análisis estadístico de las terminales terrestres se realizó una matriz de información, misma que demostró ser un reto mayor debido a la falta de acceso a fuentes de información. Si bien fuentes gubernamentales y oficiales fueron consultadas²⁵, la información obtenida de estas fuentes fue limitada. La mayoría de los países no cuentan con información oficial sobre metraje y el flujo de pasajeros que manejan sus terminales terrestres. La excepción fue el caso de Colombia, país en el que fue posible obtener el flujo de pasajeros anual en algunas terminales. Debido a la falta de información disponible, se tomaron otras fuentes de referencia como medios de comunicación, trabajos de investigación en distintas universidades, estudios sobre transporte público, estudios preliminares de nuevas terminales, entre otras fuentes.

Metodología de investigación y estudio comparativo regional de terminales terrestres.



²⁵ Un ejemplo de este tipo de fuentes consultadas fue el Organismo Supervisor de la Inversión en Infraestructura de Transporte de Uso Público (OSITRAN).

Tabla 8. Matriz de terminales terrestres.

Terminal	Ciudad	Población	País	Área huella (m²)	Niveles (m²)	Área total (m²)	Pasajeros / día	Tipo de terminal	Servicios	Locales comerciales	Restaurantes	Boletería	Administración
Terminal de Ómnibus	San Juan	738.959	Argentina	4.400	1	4.400	7.776	1	Si (varios)	0	Si	Si	Si
Terminal de Ómnibus de Bariloche	San Carlos de Bariloche	108.250	Argentina	1800	2	3.600	800	1	0	0	0	Si	Si
Terminal de Ómnibus de Ushuaia	Ushuaia	80.000	Argentina	600	1	600		1	0	0	0	Si	Si
Terminal de Buses La Paz	La Paz	1.687.426	Bolivia	8.700	1,5	13.050	4.000	2	Si (varios)	0	Si	Si	Si
Terminal Novo Río	Rio de Janeiro	6.748.000	Brasil	15.700	1	15.700		3	Si (varios)	Si (varios)	Si (varios)	Si	Si
Terminal Inter-municipal do Jabaquara	São Paulo	12.330.000	Brasil	12.100	1	12.100	15.000	3	Si (varios)	Si (varios)	Si	Si	Si
Terminal Manaus	Manaos	2.020.000	Brasil	3.200	2	6.400		1	Si (varios)	Si	Si	Si	Si
Terminal Ana Rosa	São Paulo	12.330.000	Brasil	1.600	1	1.600		2	0	0	Si	0	0
Terminal Alameda / Terminal Sur	Santiago	5.614.000	Chile	9.500	1	9.500	50.000	2	Si (varios)	Si	Si	Si	Si
Terrapuerto Los Héroes	Santiago	5.614.000	Chile	6.500	1	6.500	16.700	1	0	0	Si (al menos uno)	Si	Si
Terminal del Sur	Bogotá	7.181.000	Colombia	4.900	2	22.000		1	Si (cajeros)	Si (varios)	Si (varios)	Si	Si
Terminal de Transporte Cali	Cali	2.228.000	Colombia	4.700	3	14.100	35.000	2	Si (varios)	Si (varios)	Si (varios)	Si	Si
Gran Terminal del Caribe	San José	340.000	Costa Rica	4.200	1	4.200	7.000	1	Si (farmacia y taxis)	Si (al menos uno)	Si (al menos uno)	Si	Si
Terminal 7-10	San José	340.000	Costa Rica	3.900	3	11.700	10.000	1	Si	Si (varios)	Si (al menos uno)	Si	Si

Terminal	Ciudad	Población	País	Área huella	Niveles	Área total	Pasajeros / día	Tipo de terminal	Servicios	Locales comerciales	Restaurantes	Boletería	Administración
Estación de Autobuses La Coca-Cola	San José	340.000	Costa Rica	1.900	1	1.900		1	Si	Si	Si	Si	Si
Terminal Terrestre Quitumbe	Quito	2.011.000	Ecuador	8.700	1	8.700	8.576	1	Si (varios)	Si (varios)	Si (al menos uno)	Si	Si
South Bus Terminal	San Salvador	238.244	El Salvador	1.200	1	1.200		1	0	0	Si	0	0
Terminal de Buses	Ciudad de Guatemala	2.645.002	Guatemala	2.100	1	2.100		1	0	0	0	0	0
Tica Bus Honduras	Tegucigalpa	1.158.000	Honduras	800	1	800		3	0	0	0	0	0
Terminal Central del Sur	México D.F.	9.209.944	México	10.000	1	10.000		1	Si (varios)	Si (varios)	Si (varios)	Si	Si
Central de Autobuses de Tijuana	Tijuana	2.157.853	México	7.000	2	14.000		1	Si (taxis)	Si (varios)	0	Si	Si
Terminal de Autobuses Mercado Roberto Huembes	Managua	1.052.000	México	2.700	1	2.700		2	Si	Si	0	Si	Si
Terminal de Ómnibus - Asunción	Asunción	525.252	Paraguay	7.000	2	14.000	12.000	1	Si (varios)	Si (varios)	Si (varios)	Si	Si
Gran Terminal Terrestre	Lima	8.574.974	Perú	8.200	1,5	12.300	30.000	1	Si (varios)	Si (varios)	Si (varios)	Si	Si
Terminal Terrestre de Arequipa	Arequipa	1.008.000	Perú	3.200	1	3.200	2.800	1	Si (varios)	Si (varios)	Si (varios)	Si	Si
Terminal Baltasar Brum	Montevideo	1.381.000	Uruguay	3.000	1	3.000		1	Si (varios)	Si	Si (varios)	Si	Si

Fuente: Elaboración propia.

Simulaciones EDGE

Se seleccionó la tipología Comercial para el desarrollo de las simulaciones en la plataforma EDGE (realizadas en agosto de 2023), en las cuales se implementaron medidas pasivas y activas según fue necesario para que los proyectos logran obtener el ahorro necesario del 20% en las categorías de Energía, Agua y Energía Embebida en los Materiales. Para cada ciudad seleccionada se realizó una simulación de terminal de transporte aéreo y terminal de transporte terrestre para un total de 62 simulaciones como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 9. Resumen de simulaciones.

Tipología	Muestra
Transporte aéreo	31
Transporte terrestre	31
Total	62

Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros de los edificios, así como los horarios de uso, días hábiles y feriados, fueron definidos según la tabla a continuación:

Tabla 10. Generalidades para simulaciones EDGE.

Rubro	Tipología		Nota
	Transporte aéreo	Transporte terrestre	
Área (m ²)	4.300 m ²	6.750 m ²	
Dimensiones	43 m x 100 m	50 m x 135 m	
Niveles	1	1	
Altura (piso-cielo) (m)	4,5 m - 6 m	4,5 m - 6 m	
Horas funcionamiento (hr/día)	18-20 h por día	18-20 h por día	
Días hábiles	7 por semana	7 por semana	
Feridos*	N/A	N/A	
Riego (m ²)	250 m ²	500 m ²	Predeterminado: 500 m ²
Iluminación exterior (m ²)	1.540 m ²	2.525 m ²	Predeterminado: 1.500 m ²
Personas totales por día (persona/día)	685	10.000	
Área de estacionamiento externo	1.290 m ²	2.025 m ²	Predeterminado: 300 m ²

Fuente: Elaboración propia.

*No aplica. En EDGE, para la tipología de Comercios no se contabilizan los días feriados como una entrada.

En cada una de las simulaciones EDGE fueron seleccionadas medidas pasivas de manera prioritaria para lograr así alcanzar el ahorro necesario en las tres categorías. Sin embargo, debido al confort higrotérmico de algunas zonas climáticas, no fue posible lograr la certificación EDGE con medidas pasivas únicamente y para tales casos, por lo que se recurrió a medidas activas para lograr demostrar el cumplimiento con la certificación.

