Iluminación Fotovoltaica en Paraderos para mejorar la Accesibilidad al Transporte Público

Documento Final (Documento en edición)

Mauricio Carrasco Ugarte

Especialista en Infraestructura para Transporte Público

Diciembre 2012

ILUMINACIÓN FOTOVOLTAICA EN PARADEROS PARA MEJORAR LA ACCESIBILIDAD AL TRANSPORTE PÚBLICO

EDICION:
Clean Air Institute
EE.UU., Washington D.C. ,
Diciembre 5, 2012

COMITÉ EDITORIAL:
Sergio Sanchez
Director Ejecutivo

Liz Vargas
Especialista en Transporte Sustentable

Joanne Green
Especialista en Calidad de Aire y Cambio Climático

Juliana Klakamp
Especialista técnico

Autor
Mauricio Carrasco

Reconocimientos

Esta edición incorpora las valiosas contribuciones de Carlos Mojica, Florencia Serrania, Gerhard Menckhoff y Natalia Muñoz como parte del comité de revisión del documento.

El Clean Air Institute agradece al Fondo del Medio Ambiente Mundial (GEF por sus siglas en inglés), al Fondo Español para América Latina y el Caribe y al Banco Mundial por su generoso apoyo financiero para la realización de este trabajo así como para las actividades relacionadas con su concepción y preparación.

El Clean Air Institute agradece también las contribuciones de todas aquellas organizaciones e individuos que participan en el Programa de Transporte Sustentable y Calidad del Aire. En particular, quisiéramos dar las gracias a todos aquellos que han aportado información relevante para este documento, tanto en eventos como la Conferencia de Transporte y Calidad del Aire llevada a cabo en Rosario, Argentina como en múltiples oportunidades formales e informales.

Los hallazgos, interpretaciones y conclusiones expresadas en este documento están basados en información recopilada por el Clean Air Institute (CAI) y sus consultores, socios y otros participantes a partir de las fuentes indicadas.

Disponible en línea a través de: http://www.cleanairinstitute.org/cops

Para mayor información:

Info@cleanairinstitute.org
The Clean Air Institute
1100 H Street N.W. Suite 800
Washington D.C. 20005, USA

Contenido

1 Introducción **5**

2 Orígenes, motivaciones y contexto del sistema de iluminación fotovoltaica en paraderos **8**

2.1 Desarrollo y evolución de los paraderos del sistema de transporte público de Santiago de Chile. 8

2.2 Implementación de refugios con sistema de iluminación tradicionales en paraderos y sus resultados. 13

2.3 Problemática de mantención de refugios e iluminación, responsabilidad Municipal y problemas de financiamiento. 16

2.4 Búsqueda de soluciones: generación de pilotos. 18

3 Desarrollo de experiencias piloto y generación de Especificaciones Técnicas del sistema **21**

3.1 Definiciones y evolución del sistema fotovoltaico en paraderos pilotos. 21

3.2 Evaluación y validación de experiencia piloto. 23

3.3 Desarrollo de especificaciones técnicas del sistema. 24

3.4 Validación del sistema para implementación masiva. 25

4 Implementación del sistema de iluminación fotovoltaica **28**

4.1 Identificación de universo de paraderos a intervenir. 28

4.2 Experiencia del proceso de licitaciones y costos del sistema de iluminación. 29

4.3 Ejecución y experiencia de la materialización del sistema a nivel masivo. 32

4.4 Dificultades del Sistema 34

5 Evaluación del sistema de iluminación fotovoltaica **35**

5.1 Cumplimiento de los objetivos iniciales y funcionamiento del sistema. 35

5.2 Respuesta al vandalismo y condiciones climáticas del sistema. 36

5.3 Percepción de usuarios del sistema. 37

6 Recomendaciones y Conclusiones **41**

6.1 Evaluación y conclusiones del proceso completo. 41

6.2 Impacto de la solución en la calidad de servicio a los usuarios del sistema de transporte público. 42

6.3 Recomendación de mejoras para el sistema y complementos. 43

6.4 Lecciones aprendidas. 45

6.5 Barreras a ser superadas. 46

6.6 Recomendaciones de aspectos fundamentales para implementar el sistema en otras localidades de América Latina. 47

7 ANEXO Especificaciones Técnicas del Sistema de Iluminación eficiente para refugios Transantiago **51**

1 Introducción

El Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés) ha aprobado una subvención para implementar el Programa Regional de Transporte Sustentable y Calidad de Aire para América Latina (Programa STAQ). El objetivo de alto nivel del Programa de STAQ es reducir el crecimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por el transporte urbano en América Latina mediante la promoción de modos de transporte de energía más eficientes y menos contaminantes. Este documento hace parte de una serie de publicaciones que realiza el Clean Air Institute como parte del programa STAQ. Dentro de las oportunidades de intervención sustentables que se están llevando a cabo en las 11 ciudades del programa, se encuentra el fortalecimiento del transporte público para reforzar y mantener su modo de acción y más específicamente en la medida que se incentiva su uso. Con éste se busca documentar la experiencia de la ciudad de Santiago de Chile en la instalación de iluminación fotovoltaica en paradas de transporte público, enmarcado dentro de una estrategia de ahorro energético, seguridad personal y mejora de la accesibilidad y calidad de servicio del sistema de transporte público.

La falta de iluminación de los paraderos en zonas de baja densidad habitacional y cuyo flujo de usuarios de transporte público es bajo durante las horas de la noche, mientras que el día son activas en diversos sectores de las ciudades en América Latina, causan inseguridad en los pasajeros especialmente en los usuarios más vulnerables; ocasionando una disminución importante en la calidad de servicio del sistema de transporte público.

La carencia de iluminación en los paraderos se encuentra asociada, en muchos casos, a la falta de recursos para el pago de electricidad, la ausencia de red eléctrica, la falta de un organismo responsable del mantenimiento y contratos; causando problemas de

vandalismo y aumento en el nivel de inseguridad de los usuarios de transporte público. En este sentido, la ciudad de Santiago de Chile, en el marco del desarrollo del sistema de transporte público, denominado Transantiago, está desarrollando una iniciativa de creación de refugios Iluminados con sistema fotovoltaico que tiene por objeto generar una mejora en las condiciones de espera de los usuarios del sistema de transporte público, en particular, realizando una mejora en la iluminación de los paraderos del sistema, principalmente en áreas periféricas de la ciudad. Estas áreas, en general, presentan altos índices de delincuencia y robos, siendo reconocidas por la comunidad en general y los usuarios, como focos de inseguridad.

Figura 1. Refugio Iluminado con Sistema Fotovoltaico en sector con vandalismo

En forma general el sistema instalado funciona con una serie de paneles solares flexibles adosados al techo del refugio, estos generan una cosecha de energía que se transmite a un set de baterías de ciclo profundo instaladas en las cenefas de los refugios las cuales acumulan la energía cosechada durante las horas del día. Esta energía es administrada por un controlador de carga que protege las baterías y que además posee un sensor para encender y apagar el sistema. La energía se transmite finalmente a una lámpara a prueba

de vandalismo con una cinta de iluminación eficiente de tipo LED que se enciende en las horas de ausencia de luz natural en un periodo de 10 horas en los meses de invierno.

Dada la característica del sistema, la alimentación de la iluminación de cada paradero se realiza en forma independiente de la red eléctrica, proporcionando un importante ahorro de energía y evitando costos asociados a la mantención por parte de los Municipios.

Con base en lo anterior, el presente documento expondrá la experiencia desarrollada partiendo desde los orígenes y motivaciones que llevaron a proyectar el sistema siguiendo con la implementación de la iniciativa, sus resultados y problemáticas finalizando con recomendaciones de aspectos fundamentales para su implementación en otras localidades de América Latina.

2 Orígenes, motivaciones y contexto del sistema de iluminación fotovoltaica en paraderos

2.1 Desarrollo y evolución de los paraderos del sistema de transporte público de Santiago de Chile.

Los paraderos de transporte público, en la ciudad de Santiago de Chile, han tenido una importante evolución durante los últimos 5 años a partir de la puesta en marcha de Transantiago, en Febrero del año 2007. En este último periodo se han formalizado todos los puntos de parada, clasificándolos según su operación, generando un registro que identifica y localiza cada paradero de la red, además ha aumentado considerablemente su número, estandarizando y materializando la señal de parada e información en cada uno de ellos e incrementando notablemente el número de refugios operativos en la ciudad asociados a los paraderos.

Antes de la implementación de Transantiago, el sistema de transporte público de Santiago se caracterizaba por ser muy poco regulado, con mucha competencia en las calles por el pasajero, sin una estructura empresarial adecuada y con muy poca infraestructura especializada para buses. En este contexto, la operación del sistema no requería de puntos formales de parada, dado que la competencia por el pasajero y los incentivos para los conductores estaban en maximizar la cantidad de pasajeros que subía a su propio bus, donde cada esquina o punto de la vía con circulación de transporte público era un potencial paradero.

Los pocos paraderos existentes en esas condiciones de operación, indicados por la presencia de un mobiliario urbano asociado o refugio, funcionaban sin ningún tipo de

regulación, ya que no existía una definición de los puntos de parada de la red con muy poca formalización dado el escaso número de señales de parada que indicaran el punto exacto de la detención del bus y espera de los pasajeros. En total existían cerca de 2.000 paraderos (para una red que requería al menos de 10.000) que contaban con algún tipo de formalidad como un refugio.

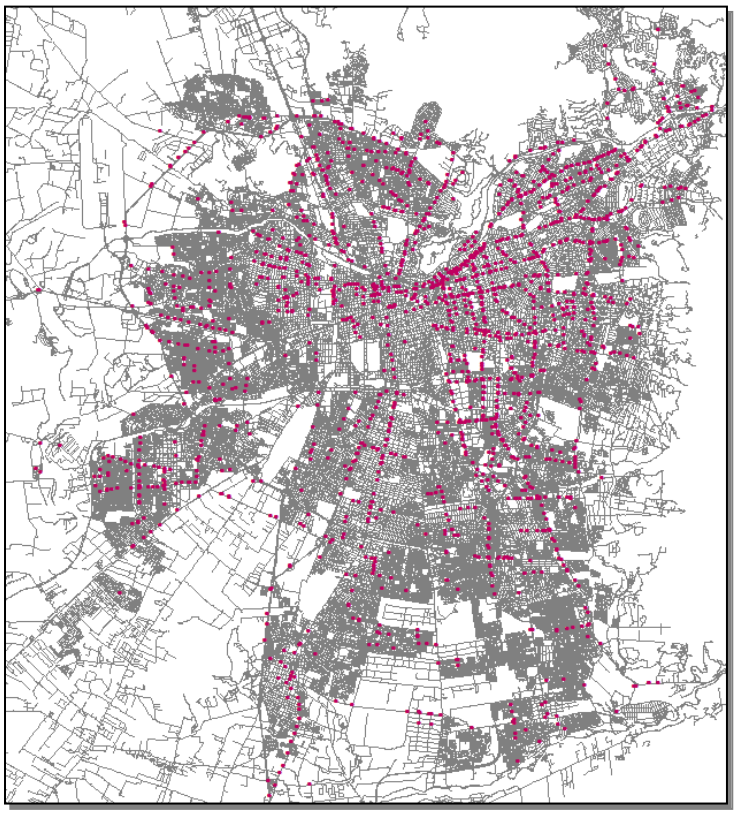


Figura 2. Paraderos antes de Transantiago, año 2005

La Normativa Chilena, en particular la Ley Orgánica Constitucional de Municipalidades (Ley 18.695, Art 5º, letra C), indica que los paraderos de transporte público y su mobiliario asociado, como los refugios, están definidos como un Bien Nacional de Uso Público

(BNUP). La administración de éstos corresponde a los municipios de cada comuna, que en el caso de Santiago de Chile, está conformada por 34 municipios en donde existe operación de servicios de transporte público urbano.

En este sentido, los paraderos que tenían refugios en operación desde antes del inicio de Transantiago estaban asociados principalmente a los pocos municipios de mayores recursos que podían generar contratos asociados a publicidad en la vía pública. En estos pocos casos la implementación y mantención de los refugios en paraderos era responsabilidad de una empresa privada que a cambio contaba con la facultad de explotar la publicidad asociada a paletas o dispositivos publicitarios.

La implementación de Transantiago generó un cambio importante en materia de paraderos, ya que el nuevo sistema requería que éstos fueran formalizados y localizados a una distancia razonable para facilitar las condiciones de operación.

La Coordinación General de Transporte de Santiago (CGTS) generó una serie de estudios para catastrar, registrar y proponer localizaciones de paraderos en toda la red de transporte público, que en la medida de lo posible, mantuviera los paraderos formales del sistema antiguo y los paraderos naturales donde la gente se agrupaba a esperar los buses.

La definición de cada punto de parada se realizó en conjunto con los Municipios, estableciéndose que para que el sistema funcionara, se necesitaban cerca de 10.000 paraderos oficiales. La definición básica que debía tener cada punto era una señal de parada, instalada en un lugar previamente indicado de acuerdo a lo definido durante la etapa de propuestas de localización.

Los nuevos recorridos y la nueva forma de operar del sistema, exigieron además un esfuerzo adicional en materia de paraderos, donde la señal de parada debía incluir

información para los usuarios del sistema, tales como, el nombre del paradero, líneas de buses, destinos y horarios de funcionamiento de dicho paradero.

La materialización de estas señales de parada significó un gran esfuerzo en su implementación, dado que fue necesario licitar la construcción e instalación de aproximadamente 10.000 señales de parada en los nuevos puntos definidos. Esto significó una complicación logística debido a que cada señal era única, con una información particular correspondiente a una localización preestablecida.

En materia de refugios se requirió un esfuerzo aún mayor, ya que se generó la necesidad de dotar a cada punto de parada, ya formalizado con señal, de un refugio en la medida que las características propias del emplazamiento del paradero lo permitiera. Esta tarea adquirió más relevancia, ya que con los problemas de la puesta en marcha de Transantiago, los tiempos de espera en paraderos aumentaron.

Esto generó la urgencia de implementar refugios que lograran mejorar las condiciones de espera, sobre todo con la llegada del periodo de lluvias, posterior a la puesta en marcha del nuevo sistema. Es así como se desarrolló un modelo de refugio denominado *"Refugio básico tipo Transantiago"* el cual tenía la particularidad de ser una estructura metálica estándar, modular, con elementos para disponer de información como panel y cenefa, además de ser una estructura liviana de fabricación e instalación no compleja.

Figura 3. Esquema de paradero con refugios básicos tipo Transantiago

Es así como se produce el primer proceso de fabricación e instalación masiva de refugios básicos, que en sus primeras etapas y, en tiempo muy acotado, logró materializar la instalación de 5.000 refugios en los puntos de parada del sistema, que se sumó a los 2.000 refugios municipales previamente operativos.

Posteriormente se ha continuado con el proceso de fabricación e instalación de señales y refugios, a la fecha existen aproximadamente 11.000 paraderos operativos del sistema con cerca de 9.500 refugios, de los cuales 7.500 corresponden a refugios tipo Transantiago.

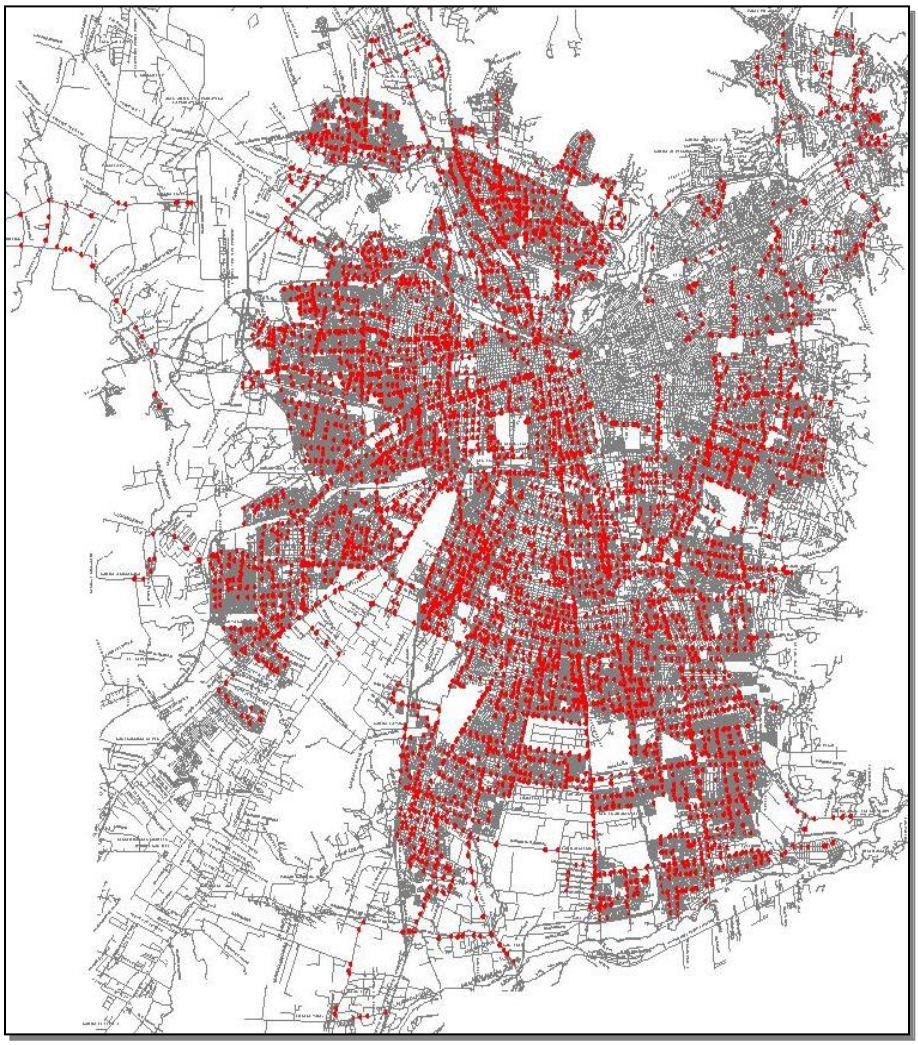


Figura 4. Refugios básicos tipo Transantiago operativos, año 2012

2.2 Implementación de refugios con sistema de iluminación tradicionales en paraderos y sus resultados.

El diseño original del refugio tipo Transantiago consideró una iluminación interna, siendo el panel informativo del refugio el elemento iluminado con un sistema de 3 tubos

fluorescentes de 36 watts cada uno. Una vez instalados fue posible comprobar que el sistema era muy vulnerable por encontrarse demasiado expuesto al robo y vandalismo, esto significó, que al poco tiempo de instalados, gran parte de los refugios había sufrido el robo o destrucción del sistema de iluminación quedando nuevamente el paradero a oscuras.

El panel iluminado no era la mejor opción para acceder a la información contenida en su interior, ya que por tratarse de un elemento iluminado, no permitía leer con claridad el contenido del mismo. Otra desventaja del panel iluminado era el hecho que el refugio necesitara de una conexión e instalación eléctrica, lo cual significaba complicaciones en la instalación, haciendo más lento y engorroso el proceso.

A la luz de los resultados se procedió a realizar modificaciones al diseño original del refugio, realizando cambios en la materialidad de algunas piezas que sufrían vandalismo y robo, y en el sistema de iluminación que era el más afectado. Se optó por sacar la iluminación del panel y del refugio mismo, y establecer un sistema independiente, definida como una luminaria peatonal con poste que se instalaría adyacente al refugio, donde el espacio lo permitiera, de acuerdo a la realidad de cada paradero.

Las luminarias peatonales estaban compuestas por un poste con dos lámparas de sodio de 70 watts cada una y tenían la ventaja de que se podían implementar como obras y contratos independientes a los refugios, por lo tanto su instalación era posterior a la del refugio y no complicaba el avance en las obras de instalación de éstos, que era la prioridad.

Estas luminarias se conectaban directamente a la red de alumbrado público a cargo de cada municipio, en una primera etapa y mientras duraba su instalación no se generaron mayores problemas en cuanto a su costo. Sin embargo, a poco andar los municipios no

estuvieron de acuerdo en pagar el sobrecosto que les significaba incorporar estas luminarias a su red y la compañía de electricidad procedió a desconectarlas quedando apagadas, mismo caso de los pocos paraderos que aún tenían el panel iluminado operativo.

Desde el punto de vista funcional y de calidad de servicio la evaluación de las luminarias peatonales tampoco fue buena, debido a que si bien iluminaban el entorno inmediato del paradero, el área principal de espera de los usuarios, bajo el refugio mismo, no era bien iluminada porque el techo generaba una especie de sombra, por lo tanto, si bien mejoraba la situación, no se cumplía el objetivo de tener una buena iluminación en el refugio mismo.

Posteriormente se realizaron otras modificaciones que pretendían volver con iluminación interior del refugio, generando algunas soluciones con iluminación sobre la cenefa con dos tubos fluorescentes de 36 watts cada uno, en los paraderos donde los municipios respectivos estuvieran dispuestos a autorizar su conexión a la red de alumbrado público. No obstante al ser una solución muy expuesta se vio afectada nuevamente por el robo y vandalismo.

Debido a todos estos problemas, finalmente se optó por continuar la instalación de refugios sin que la iluminación fuera una componente obligatoria, es decir, se instalaba iluminación donde expresamente los municipios lo autorizaran y se comprometieran al pago del consumo eléctrico.

2.3 Problemática de mantención de refugios e iluminación, responsabilidad Municipal y problemas de financiamiento.

La red de transporte público de Santiago abarca las 34 comunas que componen la Ciudad, cada una de estas comunas está regida por una Municipalidad que tiene independencia administrativa en su territorio.

Una de las dificultades principales para el desarrollo de la infraestructura para transporte público es que según la Normativa Chilena, ley 18.965, la administración de la infraestructura, una vez finalizada su ejecución, corresponde a los municipios. Esta responsabilidad se diluye debido a que en general los municipios cuentan con escasos recursos y no disponen de financiamiento para hacerse cargo de la mantención de los dispositivos para transporte público, incluyendo los paraderos, su iluminación y su mantención.

Los pocos municipios que disponen de más recursos o que tienen un potencial de explotación publicitaria (15% del total de municipios), han abordado la implementación y mantención de los paraderos sin destinar recursos municipales para este objetivo, ya que se financian mediante contratos de concesión de publicidad. Sin embargo, este tipo de contratos no genera los recursos suficientes para cubrir todos los paraderos que se requieren, abordando en promedio sólo un 30% de los paraderos requeridos para la comuna.

En este sentido, y con la implementación de Transantiago, el Ministerio de Transporte, a través de la CGTS, generó las inversiones necesarias para dotar de la infraestructura de paraderos que el sistema necesitaba. De esta forma fue como se formalizaron los

paraderos con la instalación de cerca de 11.000 señales de parada y se instaló además cerca de 7.500 nuevos refugios en los puntos de parada.

Una vez realizada la implementación de estas soluciones se definió que la mantención de estos dispositivos y sus costos asociados, serían por cuenta de los municipios. Esto no ocurrió y los paraderos quedaron sin mantención y sin iluminación debido a que los municipios, indicando falta de recursos, no estuvieron dispuestos a asumirlas, a pesar que el costo de iluminación adicional era mínimo comparado con la cantidad de luminarias de la red de cada comuna, estimando que, en promedio, el costo total de iluminación comunal no aumentaba en más de un 5%.

Gran parte de las Municipalidades indicaban que era un problema que se debía resolver desde el nivel central ya que como en la mayoría de las comunas no existía ningún ente o concesionario encargado de la mantención se podría intervenir sin grandes conflictos, pero aún cuando se intentaba buscar soluciones de mantención para todas las comunas en su conjunto, tampoco se dieron todas las facilidades por parte de algunos municipios para dar factibilidad a alguna solución que abarcara toda la ciudad de Santiago.

El resultado de esta problemática fue que, en un periodo de 5 años, y de acuerdo a la información recogida en el catastro de paraderos realizado por la CGTS, los refugios se comenzaron a deteriorar por la falta de mantención (90% de los refugios presenta algún grado de daño) y comenzaron a quedar sin ningún tipo de iluminación propia pese a que, en algunos casos, la luminaria estaba instalada, pero desconectada, registrando que sólo un 5% de los paraderos que tenían algún tipo de solución de iluminación la tenían operativa. Estos problemas afectaron directamente a los usuarios, aumentado la percepción de mala calidad de servicio y generando importantes condiciones de

inseguridad, ya que las malas condiciones de espera impacta negativamente en la calidad de servicio que se entrega a los usuarios de transporte público

2.4 Búsqueda de soluciones: generación de pilotos.

A partir de este escenario, con los municipios sin disposición a asumir los costos de la iluminación y sin contar con una política común para abordar esta problemática a nivel central, se comienzan a buscar soluciones alternativas de iluminación a un costo razonable.

La alternativa de iluminación solar aparece como un buen camino a desarrollar, sin embargo, existen aprehensiones respecto a los rendimientos reales de un sistema de estas características y de su respuesta al vandalismo y robo. Esta última aprehensión estaba motivada porque la información catastral que disponía la CGTS, registrada durante el año 2011, indicaba que un 90% de los refugios presenta algún grado de vandalismo, que va desde el rayado a la destrucción total o robo de las componentes del refugio. Como se mencionó anteriormente, se llega a esta solución porque no es posible conectar los paraderos a la red de iluminación convencional que es facultad y costo municipal.

Para materializar y concretar algún sistema que pudiera ser evaluado en condiciones reales, se generó una alianza pública-privada con algunas empresas que permitieron financiar e implementar prototipos que tuviesen la autonomía suficiente para iluminar las horas que la operación del sistema necesitaba a un costo razonable.

Se establecen una serie de condiciones o nivel de servicio con el cual el sistema de iluminación debe contar para que sea factible su implementación, estas condiciones son las siguientes:

Autonomía: El sistema debe operar de manera autónoma, sin generar costos de consumo de electricidad.

Calidad de Iluminación: El sistema debe proveer una buena intensidad de iluminación bajo el refugio, permitiendo leer información, definiendo un valor referencia de 100 lux a un metro del techo del refugio.

Tipo de iluminación: El tipo de iluminación debe ser tal que genere un contraste con la iluminación pública que es básicamente en base a lámparas de sodio, por tanto la luz del paradero debe ser luz blanca.

Horas de funcionamiento: El sistema debe iluminar el paradero al menos 10 horas en los periodos más críticos de invierno donde la radiación solar disminuye considerablemente en la ciudad de Santiago.

A prueba de vandalismo: El sistema debe tener un buen comportamiento al vandalismo y robo, debe minimizar la exposición de sus componentes y debe desincentivar o dificultar las acciones vandálicas.

Simple de instalar: El sistema debe tener una instalación relativamente sencilla, sin modificar mayormente la estructura del refugio y la zona de parada, no debe considerar la rotura y reposición de pavimentos del andén y su entorno.

Seguridad: El sistema debe tener todas las condiciones de seguridad necesaria que no implique un potencial riesgo para los usuarios del sistema que esperan bajo el refugio.

Operación: el sistema debe funcionar en las condiciones y localizaciones que tienen los paraderos ya instalados, por lo tanto no es posible modificar su posición u orientación con respecto al sol.

Con estos requerimientos se definió un sistema fotovoltaico que capta energía solar durante el día donde no hay consumo y la almacena para ser utilizada en el periodo

nocturno. El sistema definido consideró paneles solares, baterías de ciclo profundo, lámpara eficiente tipo LED, controlador de carga y el cableado respectivo.

Para dimensionar la solución se realizó una memoria de cálculo del sistema teniendo los datos de radiación solar presentes en los distintos meses del año para la ciudad de Santiago y en particular, para los meses más críticos en la época invernal.

Para la disposición de los elementos en el refugio se evaluaron distintas alternativas de ubicación, sin embargo, se definió como la mejor opción, ubicar los elementos en la estructura del refugio para minimizar pérdidas de energía y lo más ocultos o disimulados posibles para minimizar el vandalismo, descartando todas las soluciones que proponían instalar postes adyacentes para colocar paneles, baterías y lámparas fuera de la estructura del refugio en altura o en cámaras subterráneas bajo el refugio, entre otras.

Para evaluar el funcionamiento se decide realizar pilotos que se localizaron en un sector con un alto grado de vandalismo, para probar en condiciones reales el comportamiento del sistema propuesto. Ver figura 5. Imagen descriptiva del elemento instalado.

3 Desarrollo de experiencias piloto y generación de especificaciones técnicas del sistema

3.1 Definiciones y evolución del sistema fotovoltaico en paraderos pilotos.

En base a la experiencia de vandalismo permanente de los refugios, el sistema de iluminación debía tener la menor exposición y visibilidad posible, de preferencia estar oculto y compatible con la estructura.

En este sentido, las opciones estaban reducidas a las dimensiones de la estructura del refugio (3,6 metros de largo por 1,4 metros de ancho en su versión más angosta) y al funcionamiento de cada elemento, ya que los paneles debían estar expuestos para recibir la radiación solar y la lámpara debía estar expuesta para iluminar la zona bajo el refugio.

Las únicas piezas que podrían ocultarse completamente eran las baterías y el controlador de carga, las cuales debían disponerse dentro del espacio de la cenefa que era el único lugar con espacio interior dentro del refugio, afortunadamente la dimensión de la cenefa permitía alojar un set de baterías y un controlador de carga de dimensiones estándar o de mercado.

El panel solar debía estar instalado en el techo del refugio, en una primera versión se optó por los paneles más eficientes del tipo monocristalino, sin embargo, adherido al techo no se logró un buen rendimiento ya que iluminó menos horas de las requeridas. Para lograr un mejor desempeño, el panel se instaló con un grado de inclinación mayor al grado de inclinación del techo, lo que imposibilitó disimularlo con la estructura del refugio, esto al visualizarse como un elemento distinto que sobresalía en la cubierta del paradero. Como

resultado de esta medida, el panel fue fácilmente visible desde su entorno, lo que significó que fuera saqueado y sustraído a los pocos días de funcionamiento.

Posteriormente se optó por otro tipo de panel, el panel flexible amorfo autoadhesivo el cual satisfacía las necesidades de rendimiento requeridas, se adhirió al techo sin necesidad de una mayor inclinación, y registró un buen comportamiento al robo y vandalismo ya que como fue instalado solidario al techo, se integró como un elemento de la estructura y no como un elemento distinto que sobresale y llame la atención a diferencia del panel monocristalino.

La lámpara definida debía ser a prueba de vandalismo ya que se trataba del elemento más expuesto del sistema, se probó un diseño donde la cinta LED estaba envuelta en una estructura de acero que la protegía. La longitud de la lámpara está dada por la parte inferior del techo del refugio. El cableado se ocultó y protegió para no quedar expuesto.

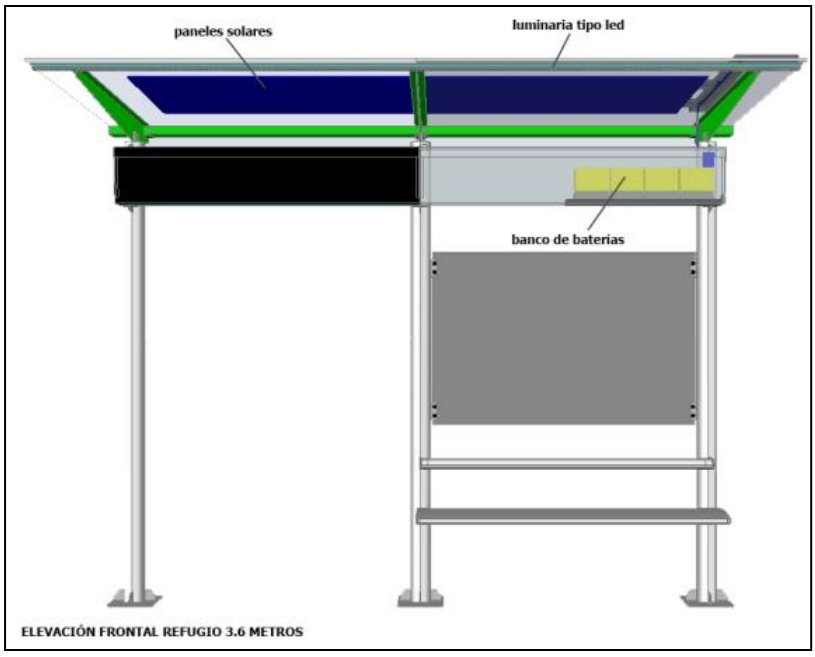


Figura 5. Esquema de refugio con Sistema Fotovoltaico

A continuación se presenta mayor información de la prueba piloto, antecedentes, duración y percepción de los usuarios.

3.2 Evaluación y validación de experiencia piloto.

El sistema se instala en dos refugios en zonas de complejidad social, en la periferia de la ciudad, donde los paraderos seleccionados presentan un alto grado de vandalismo. Los paraderos se reparan y se instala el sistema, el cual sufre varios ajustes hasta obtener la versión definitiva que genera los resultados esperados. El sistema comienza a operar en su versión definitiva en Junio del año 2010, en el mes más crítico desde el punto de vista de la radiación solar para la ciudad de Santiago.

El seguimiento al comportamiento del sistema se realizó por un periodo de 10 meses teniendo buenos resultados en cuanto a las 10 horas mínimas de funcionamiento diario y en cuanto a la resistencia al vandalismo y robo, ya que no presentó ningún daño durante el periodo de pruebas.

La vida útil estimada del sistema, de acuerdo a las garantías entregadas por los fabricantes de los equipos que forman el sistema es de 50.000 hrs., sin embargo, se estima una vida operativa de 20.000 hrs., periodo en el cual se proyecta el reemplazo de algunas piezas que pueden acortar su vida útil, principalmente el probable reemplazo de un porcentaje de las baterías del sistema.

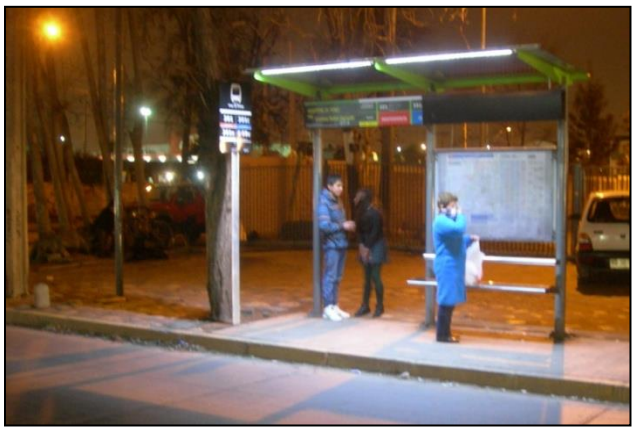


Figura 6. Piloto de iluminación fotovoltaica

3.3 Desarrollo de especificaciones técnicas del sistema.

Dado los resultados del piloto se generaron las especificaciones técnicas del sistema y se desarrollaron bases de licitación para llamar a propuesta pública con el objetivo de empezar a masificar la experiencia.

En una primera etapa se generó una especificación técnica que establecía el equipamiento del piloto como un mínimo a implementar, indicando que las condiciones de funcionalidad que se requerían, principalmente en cuanto a tipo y horas de iluminación (10 mínimo), y características anti vandálicas de la solución.

Posteriormente, producto de las primeras licitaciones, donde las empresas aportaron mejoras al sistema, se adecuaron las especificaciones técnicas las cuales se presentan en el Anexo No 1 del presente documento.

Figura 7. Vista superior de paradero con sistema de iluminación fotovoltaica

3.4 Validación del sistema para implementación masiva.

Durante todo el proceso de evaluación del piloto y el desarrollo de las especificaciones técnicas se informó a los municipios y otros organismos del Estado, como el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, con competencia en materia de equipamiento urbano y paraderos para que participaran en la evaluación del comportamiento y resultados del sistema. Esta evaluación se realizó observando y registrando, en distintos horarios, el cumplimiento de las condiciones de funcionamiento establecidas para el sistema, enunciadas en el punto 2.4 del presente documento.

Los municipios y organismos involucrados tuvieron una buena evaluación del piloto, apoyando la iniciativa. Se encontró que la solución entregaba una buena calidad e intensidad de iluminación, tenía una autonomía de funcionamiento adecuada, poseía una

buena respuesta al vandalismo y era una buena alternativa para solucionar el problema de paraderos a oscuras al no generar un costo de consumo de energía. Para recoger la opinión de los usuarios se realizó una consulta a un grupo de usuarios del paradero para validar si el sistema mejoraba la percepción del paradero mismo. Como resultado a esta consulta simplificada, el 90% de los usuarios opinó favorablemente a la experiencia.

La Coordinación General de Transporte de Santiago, CGTS, generó los primeros llamados a licitación, sin embargo, al iniciar los procesos se encontró con la oposición de la industria emergente nacional de iluminación solar, quienes descalificaron el sistema indicando que era poco eficiente en cuanto al panel especificado, recomendando otro tipo de soluciones estándar como la luminaria de poste solar o incorporando panel cristalino en postes en altura. Sin embargo, estas soluciones ya se habían descartado en las etapas previas por no ser aptas para iluminar adecuadamente el área del refugio para el caso del poste solar o por la poca resistencia al vandalismo para el caso de los paneles cristalinos.

Esta oposición obedecía principalmente a que la mayoría de las empresas de la industria nacional, en el rubro de la iluminación solar, son principalmente importadores de productos finales y no empresas generadoras o integradoras de sistemas.

Estas empresas fueron invitadas a participar de los procesos licitatorios tanto de la CGTS como de otros organismos ejecutores de infraestructura para transporte público, sin embargo, no se presentaron a la propuesta ya que la solución requerida necesitaba de una componente de integración y experiencia de las obras viales que no poseían al funcionar principalmente como importadoras de productos.

El rechazo al proyecto en esta etapa inicial significó que se restaran de esta iniciativa los otros organismos ejecutores de infraestructura para transporte público, siendo finalmente la CGTS el único organismo encargado de materializar esta iniciativa en cuyas primeras

licitaciones se presentaron diversas empresas ligadas mayormente al ámbito de la construcción de obras en la vialidad y mobiliario urbano.

4 Implementación del sistema de iluminación fotovoltaica

4.1 Identificación de universo de paraderos a intervenir.

Una definición primordial fue seleccionar los paraderos a intervenir con este sistema, estos paraderos debían disponer, como condición básica, de un refugio del tipo Transantiago instalado.

Como primer criterio se proyectó comenzar con la iluminación desde la periferia de la ciudad hacia el centro, considerando en las primeras etapas sólo las comunas periféricas, que además tienen menos recursos, sin contratos de mantención asociados y con pocas posibilidades de iluminar los paraderos. Con este primer criterio de corte, se seleccionaron los paraderos con mayor demanda de subida en zonas con problemas de seguridad. Ver figura 8. Mapa representativo de las zonas a intervenir.

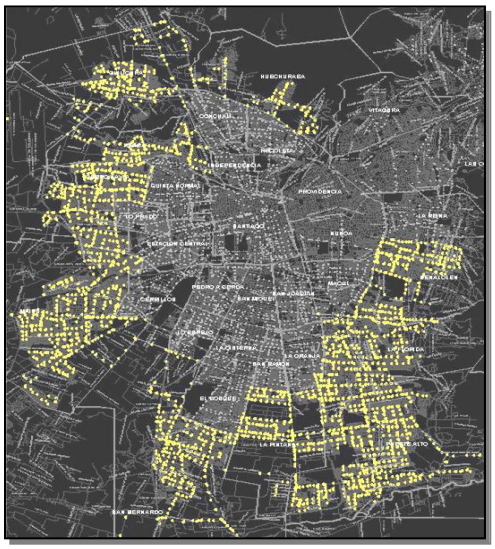


Figura 8. Mapa con zonas periféricas a intervenir

Se proyectó implementar el sistema de iluminación en 2.500 refugios tipo Transantiago para comienzos del 2013, lo que significa materializar este sistema en aproximadamente un 70% de los paraderos totales de las comunas periféricas de menos recursos y donde la participación del transporte público es muy alta por ser comunas de habitantes con ingresos medios y bajos.

4.2 Experiencia del proceso de licitaciones y costos del sistema de iluminación.

Una vez definidas las especificaciones técnicas y las respectivas bases de licitación, se llamó a concurso público considerando que las especificaciones técnicas eran requerimientos mínimos y se podían proponer mejoras, en la eventualidad que existiesen mejores sistemas alternativos a los definidos, siempre y cuando se cumpliera con los requerimientos básicos del sistema, referentes principalmente a horas de funcionamiento, respuesta al vandalismo, intervención del refugio y entorno, visibilidad del sistema, autonomía y luminosidad.

Se comenzó el proceso con licitaciones de pocas unidades, las primeras etapas sumaron aproximadamente 350 refugios, etapas que fueron financiadas con fondos públicos del Ministerio de Transportes (30%) y Fondos aportados por el Banco Mundial (70%).

Las licitaciones no establecían mayores restricciones para participar pero si se consideraba en la evaluación la oferta técnica de los proponentes. En todas las licitaciones se contó con un buen número de oferentes generando buenas ofertas y buena competencia.

Al cierre de este documento se han realizado licitaciones para un número mayor de paraderos. Entre ellas, una licitación para implementar el sistema de iluminación en 1.000 paraderos que se encuentra en la etapa de final del contrato, donde ya se ha finalizado la instalación del sistema y se encuentra en la etapa de revisión y recepción de la obras. Y otra, actualmente en etapa de licitación, para la implementación de 1.200 paraderos solares, en donde se ha incorporado la mantención del sistema por 5 años. Actualmente sólo está definida la etapa I con 2.550 paraderos, sin embargo, se está evaluando continuar a una segunda etapa con un número equivalente de refugios.

Al revisar el comportamiento de los procesos de licitación, se observa una baja en los precios desde las primeras licitaciones, en el año 2011 a la última a fines del 2012, donde el costo promedio por paradero en la primera licitación fue de $1.850.000 (pesos chilenos) equivalente a U.S. 3.854 y en las últimas licitaciones fue de $1.230.000 (pesos chilenos) equivalente a U.S. 2.563 concretando una reducción de un 34% en los costos , debido principalmente a la mayor escala en lo solicitado (1.000 unidades), a la baja en el valor del equipamiento por el desarrollo tecnológico y a la menor incertidumbre de las empresas al proponer un sistema probado.

Como se mencionó en el punto anterior, el costo promedio del sistema instalado en las últimas licitaciones fue de $1.230.000 (pesos chilenos) por paradero, equivalente a U.S. 2.563. Este costo total por refugio corresponde en un 70% al equipamiento necesario, compuesto principalmente por equipos importados, y en un 30% a la instalación y ajustes de algunas piezas del refugio para albergar el sistema.

A continuación se presenta un cuadro comparativo de costos entre el sistema tradicional de iluminación que se ha instalado en los refugios conectado a la red de electricidad y el nuevo sistema autónomo de iluminación fotovoltaica.

Tipo de Iluminación (1)	Costo sistema (U.S./ref)	Costo consumo energía (U.S./ref/año) (2)	Vida operativa (hr)	Costo mantención (U.S./año) (3)
Sistema tradicional	2.533	53	7.000	70
Sistema fotovoltaico	2.563	0	20.000	80

(1) Valores obtenidos de licitaciones CGTS y del Estudio de Prefactibilidad Técnica y Económica reducción de GEI, Iluminación Paraderos Transantiago con paneles fotovoltaicos, UNTEC 2011

(2) Cálculo en base a costo promedio de la energía en Santiago de Chile, equivalente a U.S. 0,21 Kwh (Valor Dólar = $480 pesos chilenos)

(3) Costo en base a un periodo de mantención de 5 años

Un punto interesante a considerar es que el costo de un sistema e iluminación tradicional instalado para paraderos, que considere protección anti vandálica, empalmes y su regularización a la red de energía tiene un costo equivalente al del sistema fotovoltaico indicado en el punto anterior.

Si se compara el sistema tradicional y el sistema fotovoltaico instalado, se puede estimar que el consumo mensual promedio de un paradero del sistema tradicional es de 22 kw/mes. Por otro lado el sistema fotovoltaico, de acuerdo a la radiación presente en la ciudad de Santiago de Chile, genera en promedio 21 kw/mes lo cual es muy interesante si uno proyecta esta generación a la totalidad de refugios del sistema.

Cabe destacar que, como el sistema está diseñado para los meses críticos de invierno, se logró constatar que se generaron excedentes importantes de energía en 9 meses del año, excedentes que en promedio corresponden a un 60% de la energía generada diariamente.

Otro punto importante es que al reemplazar esta tecnología por la tradicional se están generando ahorros en consumo de energía eléctrica lo que además se puede transformar en una fuente adicional de ingreso por venta de emisiones reducciones de CO2. Estos dos últimos puntos representan un importante potencial para considerar en futuros desarrollos y/o en la búsqueda de fuentes de financiamiento que permitan complementar la inversión en estos sistemas de iluminación.

4.3 Ejecución y experiencia de la materialización del sistema a nivel masivo.

Los contratos de ejecución establecían como primer hito, dentro de los primeros 20 días de ejecución, la materialización de un piloto, en un paradero de alto vandalismo y con una orientación normal, es decir, en una posición donde el techo tiene una orientación promedio para recibir la radiación solar, donde se probaría la solución y elementos propuestos por la empresa adjudicada.

Durante este periodo de pruebas, además se aprovechaba de difundir el piloto para que los distintos organismos, municipios, medios de comunicación y usuarios en general pudieran ayudar a la evaluación.

Aprobado el refugio piloto de cada contrato, se procedía a autorizar la importación de las componentes que lo requerían e iniciar la fabricación de las lámparas y adecuación de cenefas para instalar los racks para baterías y controlador de carga.

Los sistemas propuestos por las empresas en cada licitación, en general, mantenían el sistema desarrollado, pero variaban entre sí las marcas de las componentes, el tipo de lámpara, la posición interna del rack de baterías y controlador de carga al interior de la

cenefa, la protección del cableado y particularidades del método de instalación pero que a grandes rasgos era muy similar.

Una vez finalizado el proceso de importación de los elementos se procedía a adecuar cada componente para facilitar y reducir las tareas en terreno mismo, con el objetivo principal de minimizar la exposición, durante la instalación, de las componentes del sistema, sobretodo de las que estaban ocultas.

El montaje de la cenefa con el rack de baterías y controlador de carga en su interior se realizaba en los talleres, procediendo en terreno a reemplazar la cenefa existente del refugio por la nueva que ya contenía los dispositivos instalados en su interior, en paralelo se instalaban los paneles sobre los policarbonatos del techo, la lámpara en un borde, bajo el techo, y posteriormente se realizaban las conexiones y reforzamiento de cada pieza del sistema.

Finalmente el sistema se probaba en cuanto a su encendido, se verificaba el correcto aislamiento eléctrico de la solución y se registraba su instalación mediante fotografías.

Durante la ejecución del contrato, en general, se observó un buen comportamiento de las empresas que suministraron e instalaron el sistema, teniendo un buen ritmo de avance y generando un proceso bastante estándar y secuencial para llevar a cabo las tareas requeridas. El rendimiento observado de instalación fue de una hora por paradero, con un equipo compuesto por 4 operarios.

Dada la ausencia de mantención por parte de los municipios, la CGTS, incluyó las tareas propias de mantenimiento y conservación en los nuevos contratos de implementación del sistema por un periodo de 5 años.

4.4 Dificultades del Sistema

Una dificultad externa que presentaron los contratos de pocas unidades fue que las cantidades a importar eran muy pequeñas por lo que no se pudieron obtener mejores precios y facilidades o prioridad de producción, ya que el volumen era poco significativo para las fábricas, especialmente para las componentes importadas desde China.

Otro punto que generó dificultades fue que durante la ejecución del último contrato de 1.000 refugios, se generaron problemas con la importación de las baterías, debido a una modificación que sufrió la normativa internacional la cual las catalogó como carga peligrosa, lo que demoró y generó complicaciones administrativas para el proceso de importación y por consiguiente en la implementación de las soluciones.

En algunos paraderos, cuyo emplazamiento no es favorable respecto a la radiación solar y que además poseen sombras provocadas por árboles adyacentes al refugio, se tuvo que realizar podas parciales de estos árboles ya que en muchos casos cubrían e invadían el refugio sin permitir la instalación de los paneles en el techo del refugio. Otro obstáculo importante que atenta contra el funcionamiento del sistema es que se ha detectado que se acumula demasiada suciedad en los paneles, reduciendo su rendimiento y con ello las horas de iluminación en los meses críticos, por este motivo fue necesario realizar una limpieza periódica (cada 3 meses) a los paneles para permitir una cosecha solar adecuada y con ello asegurar las horas de funcionamiento requeridas. Este punto trajo como consecuencia que se considerar esta acción de mantención como tarea para las futuras licitaciones, lo que genera un costo adicional que no estaba considerado inicialmente pero que es menor.

El proceso de control, seguimiento y recepción de los trabajos, implicó un esfuerzo importante por parte de la CGTS, debido a que los paraderos en las comunas periféricas significaron una gran cantidad de horas en terreno del equipo encargado, debiendo controlar y recibir uno a uno los paraderos con el nuevo sistema funcionando, razón por la cual esta labor debe planificarse y proyectarse con el tiempo necesario para cumplir oportunamente. En la sección 6.4 y 6.5 se presenta con más detalle las lecciones aprendidas y barreras superadas de la implementación del sistema.

5 Evaluación del sistema de iluminación fotovoltaica

5.1 Cumplimiento de los objetivos iniciales y funcionamiento del sistema.

Al revisar los objetivos o condiciones iniciales que se exigía al sistema se puede indicar lo siguiente:

- Autonomía: El sistema opera de manera autónoma, sin generar costos de electricidad, cumpliendo el objetivo propuesto
- Calidad de Iluminación: El sistema provee una buena intensidad de iluminación bajo el refugio, con mediciones que superan el valor de referencia, llegando a valores de 140 lux a un metro del techo, cumpliendo el objetivo propuesto
- Tipo de iluminación: El tipo de iluminación genera un contraste importante con la iluminación pública, siendo un punto de luz visible y resalta a distancia, con luz blanca, entre los 5.500 y 6.000 grados Kelvin, cumpliendo el objetivo propuesto.

- Horas de funcionamiento: El sistema cumple con las horas de iluminación de al menos 10 horas en los periodos más críticos de invierno según las mediciones y seguimiento realizado, cumpliendo el objetivo propuesto.
- A prueba de vandalismo: El sistema ha demostrado tener un buen comportamiento al vandalismo y robo, cumpliendo el objetivo propuesto, ya que no se han presentado daños ni robos.
- Simple de instalar: El sistema ha demostrado tener una instalación relativamente sencilla y rápida, con tiempo promedio de instalación de una hora por paradero con una cuadrilla formada por 4 operarios, adaptando sus componentes a la estructura del refugio y con la instalación de piezas previamente adecuadas en taller, cumpliendo el objetivo propuesto.
- Seguridad. El sistema no ha presentado problemas seguridad en sus conexiones, cableados o exposición de sus componentes, cumpliendo el objetivo propuesto.
- Operación: El sistema opera en las condiciones y localizaciones que tienen los paraderos ya instalados, cumpliendo el objetivo propuesto. En resumen las condiciones iniciales y requerimientos se cumplieron y en algunos casos se superaron.

5.2 Respuesta al vandalismo y condiciones climáticas del sistema.

Actualmente se cuenta con 1.350 refugios con el sistema de iluminación fotovoltaica instalados, sin registrar mayores incidentes respecto a vandalismo o robo de piezas, validando la decisión de incorporar el sistema en la estructura del refugio, siendo lo menos visible posible.

Es importante precisar que, como medidas complementarias, se realizó el marcaje o gravado de todas las piezas para desincentivar su posterior comercialización, el refuerzo

de cada pieza con más pernos, remaches o soldaduras y la aplicación de pintura bituminosa en todo el borde de techo que no tenía panel solar. Esta pintura bituminosa, resultó esencial para disuadir la intervención de terceros, ya que por su naturaleza termoplástica, se adhiere en los utensilios o manos de quienes intenten retirar los paneles, además cumple el propósito de dificultar la visualización del cuerpo de paneles desde abajo del refugio, ya que como el techo es de policarbonato traslúcido, el cuerpo opaco de los paneles se visualizaba desde abajo, indicando la presencia de algún elemento en el techo que pueda llamar la atención de posibles delincuentes.

Los paraderos más antiguos con este sistema instalado tienen a la fecha más de un año de operación en la vía pública y han sido sometidos a las inclemencias propias de dos inviernos, no detectándose filtraciones o fugas que generen cortes del sistema eléctrico. Las lluvias esporádicas favorecen el funcionamiento del sistema, éstas ayudan a limpiar los paneles del polvo y la polución que acumulan, sobretodo en una ciudad con altos índices de contaminación en los meses de invierno como Santiago de Chile y en particular de los paraderos, que están expuesto a la contaminación del material rodante al estar ubicados adyacentes a las vías de circulación de buses y automóviles.

5.3 Percepción de usuarios del sistema.

Una vez implementados los pilotos de cada contrato e iniciada la instalación de las unidades se realizó una campaña de difusión y concientización en la prensa y medios de comunicación sobre estos sistemas recibiendo una muy buena respuesta por parte de la comunidad, usuarios y municipios, que han solicitado la incorporación de este sistema en los refugios de sus respectivas comunas, priorizando aquellos que tiene altos índices de delincuencia o sectores con alto grado de complejidad social.

Los lugares donde se instalaron los paraderos corresponden a usuarios cautivos del sistema de transporte público, los cuales por su condición socio-económica de bajos ingresos, no tienen posibilidad de optar por otro modo de transporte. Dada esta condición no es posible registrar el efecto del proyecto en la partición modal, en particular, si aumentó el uso de transporte público, lo cual podría ser evaluado en etapas futuras cuando la iluminación se implemente en paraderos ubicados en otros sectores de la ciudad.

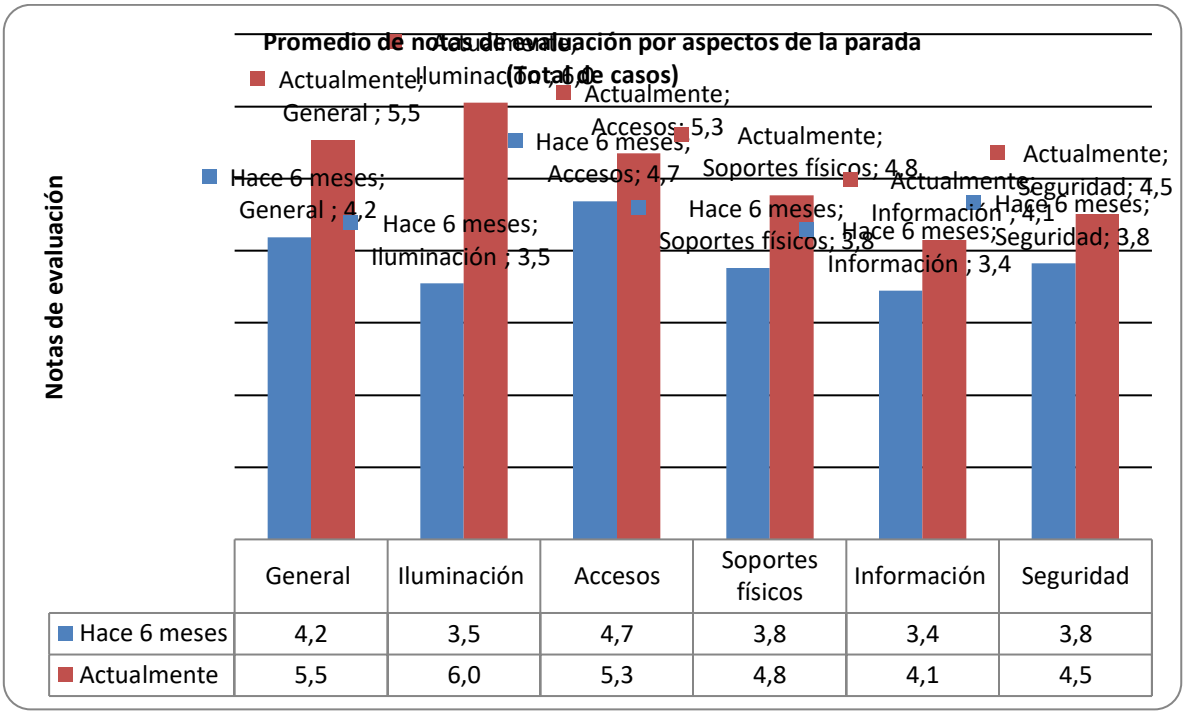
Para medir la percepción de los usuarios, respecto a la implementación del proyecto, se realizaron una serie de muestreos y encuestas a usuarios que estaban esperando algún servicio de transporte público en los paraderos iluminados con esta tecnología.

La medición de percepción más significativa y que se difundió públicamente a través de los medios de comunicación, la realizó la CGTS para evaluar la percepción de los usuarios en paraderos donde se había instalado el sistema de iluminación en el contrato financiado por el Banco Mundial.

Esta encuesta buscaba conocer la percepción de los usuarios, a través de una nota de evaluación, en torno a las condiciones de seguridad de las paradas, información, elementos físicos del refugio y accesos, previa a la implementación del piloto de iluminación y después de su implementación, donde la única variable que se modificaba era la implementación del sistema de iluminación fotovoltaica en un refugio que se encontraba a oscuras. La metodología indicó que se realizaron encuestas presenciales a usuarios en paradas intervenidas, durante 4 días laborales el mes de marzo del 2012 desde las 06:00 a las 07:30 AM. La muestra consideró 459 casos, distribuidos en 10 paraderos de las comunas de Maipú, Puente Alto, Lo Espejo, Pedro Aguirre Cerda y San Bernardo.

Como resultado general de la medición se observó que la mayoría de las personas (72,3%) considera que la calidad de las paradas en el sistema de transporte público es extremadamente importante. Se observa una mayor proporción de mujeres (74,8%) que de hombres (70,2%) que le atribuyen la mayor importancia a lo señalado.

En cuanto a la evaluación del paradero, los resultados resumidos en una escala de notas de 1 a 7 se pueden ver en la siguiente lámina.



	General	Iluminación	Accesos	Soportes físicos	Información	Seguridad
Hace 6 meses	4,2	3,5	4,7	3,8	3,4	3,8
Actualmente	5,5	6,0	5,3	4,8	4,1	4,5

Figura 9. Promedio de notas de evaluación por aspectos de la parada

En cuanto a la evaluación general de la parada intervenida, el promedio de la evaluación general de la parada se incrementó de 4,2 a 5,5.

En relación a los aspectos evaluados, se observa que la iluminación presenta el incremento en la nota promedio más alto de todos los aspectos medidos, subiendo de un valor promedio de 3,5 a 6,0.

Otros aspectos como la accesibilidad, seguridad e información mejoran su evaluación como consecuencia de la implementación del sistema de iluminación fotovoltaica. Asimismo, aunque es poco probable que se entregue una opinión negativa contra de la iluminación, la nota con que fue calificada es muy buena, lo que indica que la calidad de la iluminación generada fue muy bien valorada.

El comportamiento del sistema en cuanto a sus horas de funcionamiento, que permite tener iluminado el paradero en las horas de oscuridad y la buena respuesta al vandalismo que significa su permanencia en el tiempo, se unen a la percepción de los usuarios para validar la iniciativa y muestran como los resultados obtenidos en aspectos de accesibilidad, percepción de seguridad e información ayudan a mejorar la calidad de servicio del sistema de transporte público.

6 Recomendaciones y Conclusiones

6.1 Evaluación y conclusiones del proceso completo.

Sin lugar a dudas, la iluminación de los paraderos, es una parte importante de un proceso complejo como es la implementación del paradero mismo, donde la definición de localización, la implementación de la señalización propia, la elección y materialización del refugio, la mantención de esta infraestructura, entre otras, son los primeros desafíos a concretar para tener una base adecuada que permita generar un sistema de iluminación que mejore la calidad del paradero y con ello permita mejorar la calidad de servicio y accesibilidad del sistema de transporte público.

La experiencia desarrollada significó un gran desafío que tuvo que superar una serie de barreras y desconfianzas propias de toda iniciativa innovadora, sin embargo, el proyecto fue superando cada etapa hasta transformarse en una realidad, que a la luz de los resultados, ha contribuido a fortalecer el transporte público de la ciudad de Santiago de Chile al entregar una solución de iluminación en una parte vital del sistema como son los paraderos.

La materialización y masificación de la solución también es un gran desafío que requiere de un orden, registro de información, control y seguimiento de cada paradero que será seleccionado para contar con este sistema. Además se requiere de un buen marco regulatorio y contractual con las empresas que materializarán las soluciones, con un compromiso mutuo de concretar de buena manera la implementación y con los

conocimientos técnicos y experiencia suficiente para asegurar el correcto funcionamiento del sistema en los plazos comprometidos.

Desde el punto de vista público, se requiere un compromiso de las autoridades involucradas que den el apoyo necesario y de un equipo profesional comprometido y capacitado en estas materias de forma tal que sean capaces de liderar el proyecto y asegurar los resultados comprometidos pese a las constantes dificultades, sobretodo en la primeras etapas cuando una iniciativa de estas características es sólo una idea o proyecto que se asocia a iniciativas ecológicas más bien teóricas que prácticas.

Sin lugar a dudas el proceso completo ha sido exitoso, ya que se han cumplido los objetivos propuestos generando un sistema que opera de manera autónoma y que ilumina paraderos que antes estaban a oscuras, transformándose es un aporte real para mejorar el sistema de transporte público de Santiago de Chile.

6.2 Impacto de la solución en la calidad de servicio a los usuarios del sistema de transporte público.

La implementación del proyecto ha tenido una muy buena acogida en los usuarios, lo que se ve reflejado en las encuestas de percepción realizadas donde la calidad del paradero se realza como un elemento muy importante y donde la evaluación del sistema de iluminación es calificado con una muy buena nota por parte de los usuarios reales, presentes en el paradero.

En este sentido estos resultados reflejan el impacto que este tipo de soluciones y mejoras producen en la calidad de servicio, sobretodo la mejora en las condiciones de seguridad que implica el iluminar el refugio en zonas con altos índices de delincuencia y donde los tiempos de espera por transporte público en muchas ocasiones es considerable.

Una conclusión importante que nos permite estimar el impacto de la solución, es ver como la implementación del sistema de iluminación fotovoltaica genera un cambio positivo en la percepción de los usuarios, en este sentido, se puede observar como elementos del refugio que no fueron intervenidos (soportes físicos, información y accesos físicos) suben su puntuación sólo como consecuencia de la implementación del sistema de iluminación.

6.3 Recomendación de mejoras para el sistema y complementos.

Un aspecto importante a tener en cuenta es que el sistema, mediante el controlador de carga, permite realizar gestión energética, es decir, se puede programar el encendido y apagado en ciertos periodos a fin de optimizar el uso de la energía almacenada en los periodos críticos de baja cosecha solar.

Para el caso de los paraderos, en general, la operación nocturna se concentra mayormente en ciertos horarios, es así como en la gran mayoría de los paraderos de transporte público, la actividad decae o es casi nula entre las 2:00 hrs y las 5:00 hrs. donde el sistema podría dejar de funcionar, lo cual es compatible con el horario de operación más baja del sistema de transporte público, ya que en general, en ese horario la disponibilidad de transporte público es casi nula en gran parte de los paraderos de la red.

Como complemento a esta medida se podría incluir un detector de movimiento que regule la función de encendido en eso periodos, es decir, que si bien el sistema está en condición de apagado, una vez que un usuario ingresa al área del paradero es detectado por este dispositivo generando el encendido del sistema para que el usuario realice la

espera en mejores condiciones de seguridad con el paradero iluminado, no importando la hora en que lo utilice.

Otras mejoras que se pueden incorporar al sistema y que ayudan a reforzar los paraderos que tienen una localización desfavorable con algún tipo de sombra, que impide generar una buena cosecha solar, corresponden a mejoras en las características del equipamiento, por ejemplo, paneles solares de mayor potencia, baterías de mayor amperaje, lámparas con mayor grado de iluminación, etc.

Es importante cuidar que las condiciones de operación de los equipos que componen el sistema sean óptimas, ello permite asegurar y extender la vida útil del sistema de acuerdo a las recomendaciones entregadas por los fabricantes de los equipos. Como se indicó en puntos anteriores, la vida útil del sistema es de 50.000 hrs., sin embargo, se estima una vida operativa de 20.000 hrs., periodo en el cual se proyecta el reemplazo de algunas piezas que pueden acortar su vida útil, principalmente el probable reemplazo de un porcentaje de las baterías del sistema, donde el controlador de carga tiene un papel fundamental para resguardar y proteger la correcta operación de las baterías. En este sentido, también es importante tomar todas las medidas necesarias en el diseño e instalación del sistema para que las baterías puedan instalarse en un lugar seguro, protegido, pero con una buena ventilación.

La limpieza de los paneles solares es una tarea importante que no puede dejar de realizarse, debido a que la acumulación de polvo impide una buena cosecha solar. Para el caso de Santiago, se ha programado una limpieza cada tres meses por paradero, sin embargo, su frecuencia puede modificarse si escasea la presencia de lluvias que ayudan a limpiar los paneles.

Dado que la tecnología en estas materias está en constante desarrollo, sin duda permitirá en un futuro mejorar las características del sistema a un costo aún menor que el actual.

6.4 Lecciones aprendidas.

Una acertada decisión fue aprovechar la infraestructura disponible en materia de refugios para instalar el sistema. En este sentido, la solución desarrollada que permitió alojar las componentes del sistema en la estructura del refugio con una exposición mínima de piezas, más las medidas complementarias para minimizar el vandalismo, han tenido muy buenos resultados.

En un universo de puntos y localizaciones tan amplio como los paraderos de una ciudad, siempre existirán casos particulares muy desfavorables, los cuales deben ser abordados de manera especial con medidas de gestión energética u otras mejoras adicionales, sin embargo, este reducido número de casos no debe paralizar ni desalentar el desarrollo y utilidad del sistema que debe dimensionarse para los casos promedio y que de acuerdo a la experiencia corresponden a la gran mayoría de los puntos.

La selección, control, seguimiento y recepción de los trabajos, requiere de una buena base de datos de paraderos con buena información característica y con administración permanente, además el control y recepción de los trabajos requerirá de una serie de recursos de la autoridad pública que deber tener en consideración para un proceso de instalación masivo.

Finalmente es importante señalar que los contratos consideren algún tipo de mantención o se genere un contrato especial para estos fines, por ejemplo, la limpieza de los paneles es un tema clave que requiere una cierta periodicidad, ya que la suciedad de los paneles,

afecta directamente y de manera importante en el rendimiento del sistema, pudiendo perder credibilidad ante los usuarios, siendo este último punto un valor fundamental del proyecto.

6.5 Barreras a ser superadas.

Una barrera a superar es mostrar que el sistema de iluminación solar propuesto puede ser aplicado a casos reales y operar bajo condiciones desfavorables como vandalismo, robo, exposición ambiental, etc.

Según la experiencia adquirida en el desarrollo de este proyecto, es importante contar con el apoyo de las autoridades gubernamentales ya quela creencia natural es que este tipo de proyectos es más bien de naturaleza sólo ecológica y teórica, que no será operativo a costos normales y que no generará mayor impacto en los usuarios, ya que la primera impresión indica que este tipo de proyectos son sólo sueños que serán factibles en el futuro, en algunos casos han sido catalogados como iniciativas que van directo al fracaso. Sin embargo, la tendencia es seguir profundizando en este tipo de iniciativas mediante el apoyo de las autoridades competentes y la inclusión de campañas de concientización a la comunidad en general que permitan una aceptación positiva del proyecto.

Como se enunciaba en puntos anteriores, es posible que sea necesario, generar un cambio en parte de la industria nacional ligada a la energía solar para que pueda responder con proyectos de integración y generación de soluciones particulares más que a la importación de soluciones estándar, que en este caso no daban respuesta a los requerimientos solicitados. Las especificaciones pasan a ser una ayuda concreta que sirve como base para futuros desarrollos, al estar comprobada su compatibilidad, disponibilidad de los elementos en el mercado y funcionalidad. No obstante, se deben definir y solicitar a los

proveedores niveles de servicio da paso a la innovación, integración y desarrollo de productos mejorados.

Para el contexto chileno, se requiere un cambio normativo respecto a las políticas energéticas y entregar las condiciones técnicas para que los excedentes de energía puedan ser aprovechados y aportados a la red de energía.

Para explicar el punto anterior no debemos olvidar que el sistema se encuentra diseñado para los meses críticos del periodo de invierno y que el resto de los meses se generan excedentes de energía, en otras palabras, la cosecha solar es mucho mayor que lo que necesita el sistema para funcionar. Por otro lado, si se evalúa un proyecto de iluminación en la totalidad de los refugios del sistema o en un número importante de ellos, podemos disponer de una capacidad de generación de energía interesante, ya que estamos hablando de un número no menor de KW, que unido al ahorro de consumo de energía comparado con un sistema tradicional y las posibilidades por venta de reducciones de CO_2, podría traducirse en fuentes de financiamiento adicional para mejorar el transporte público además de contribuir con la generación de energía limpia.

6.6 Recomendaciones de aspectos fundamentales para implementar el sistema en otras localidades de América Latina.

Una recomendación importante es definir lo que se necesita de acuerdo a la realidad particular de cada localidad, definiendo los requerimientos mínimos que el sistema de iluminación necesita de acuerdo a las condiciones de operación propias de cada sistema de transporte público. Estos requerimientos deben orientarse a condiciones de funcionamiento, horas de encendido, respuesta al vandalismo, calidad de la iluminación,

infraestructura disponible en paraderos, etc. donde las especificaciones entregadas en este documento son una buena base concreta para futuros desarrollos.

Con esta definición se puede investigar, desarrollar y/o adaptar una solución que cumpla con los requerimientos definidos y que utilice elementos que estén presentes en el mercado, pero que sean integrados de manera particular si las soluciones estándar no los satisfacen o como en el caso reportado en este documento donde se generó una solución que fuera compatible con el tipo de refugios, ya que se contaba con una infraestructura de refugios ya instalada en los paraderos pero que carecían de iluminación.

Para evaluar la factibilidad de la solución, es importante generar una buena memoria de cálculo, que considere los aspectos particulares de radiación solar en la localización geográfica de la ciudad donde se va a implementar el sistema, con esta memoria se puede entregar un dimensionamiento inicial de la solución y con ello una estimación de costos que ayudará a la hora de evaluar el proyecto.

Un punto recomendable es la implementación de prototipo o pilotos en condiciones reales de funcionamiento, los cuales se transforman en laboratorios sobre los que se puede conocer de mejor manera el funcionamiento del sistema propuesto antes de comenzar su implementación, permitiendo además realizar un aprendizaje práctico y corregir los problemas de funcionamiento en terreno, esto permite estimar de mejor manera los costos reales y dificultades de implementación del sistema.

Durante la etapa del piloto se recomienda difundirlo para que diversos organismos interesados, empresa privada, especialistas y autoridades puedan entender mejor el sistema proyectado y puedan proponer mejoras, además de sentirse partícipes del desarrollo.

Al comenzar la implementación del sistema, se recomienda en el caso de que el proceso de adquisición sea a través de licitación hacer una adquisición inicial de baja escala, es decir con un número de paraderos que no supere las 100 unidades. Esta recomendación tiene como objeto probar el sistema en diversos paraderos en una escala mayor que el piloto, adquirir experiencia en el proceso de implementación y evaluar posibles modificaciones a las especificaciones técnicas, bases de licitación y presupuestos para llegar con una mejor preparación a las siguientes etapas que involucrarán un mayor número de refugios.

A la luz de los resultados obtenidos, sin lugar a dudas es recomendable que otras ciudades Latinoamericanas puedan repetir la experiencia de implementar un sistema de iluminación fotovoltaica en paraderos del sistema de transporte público, ya que además de todos los beneficios que implica iluminar con energía limpia y sustentable, las mejoras a los paraderos y su iluminación benefician directamente a los usuarios, lo que apunta en la dirección correcta para que las ciudades Latinoamericanas puedan fortalecer y mejorar la calidad de servicio de sus sistemas de transporte público.

Bibliografía

1. Ley Orgánica Constitucional de Municipalidades (Ley 18.695, Art 5º, letra C)
2. Catastro de Refugios Transantiago, Unidad de Construcción, CGTS, 2011
3. Evaluación de Percepción a Usuarios – Piloto de Iluminación Eficiente en Parada de Buses, Gerencia de Servicios, CGTS, 2011
4. Estudio de Prefactibilidad Técnica y Económica reducción de GEI, Iluminación Paraderos Transantiago con paneles fotovoltaicos, UNTEC, 2011

7 ANEXO Especificaciones Técnicas del Sistema de Iluminación eficiente para refugios Transantiago

Las especificaciones adjuntas pretenden entregar una herramienta concreta que sirva como base para futuros desarrollos, tal como ha sido solicitado desde diversas ciudades de Latinoamérica que se han interesado en impulsar un sistema similar al conocer la experiencia de Santiago. Estas especificaciones se complementan con los requerimientos funcionales que están presentes en este documento los cuales podrán ser incorporados en los futuros procesos de adquisición de acuerdo a la realidad de cada ciudad. Cabe anotar que estas especificaciones son producto de la experiencia exitosa en Santiago, pero estas no deben limitar la inclusión de tecnologías mejoradas.