



Programa de
Energías Renovables
y Eficiencia Energética
en Chile



Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Por encargo de:



Ministerio Federal
de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza,
Obras Públicas y Seguridad Nuclear

de la República Federal de Alemania

GIZ Chile

Estudio de pre-factibilidad técnica y económica para la construcción y diseño de un carport fotovoltaico

Informe Final

Valparaíso, lunes 01 de diciembre de 2014

Proyecto Energía Solar para la Generación de Electricidad y Calor

Título: Estudio de pre-factibilidad técnica y económica para la construcción y diseño de un carport fotovoltaico

Informe: Final

Por encargo de: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

www.giz.de

En coordinación: Ministerio de Energía

www.minenergia.cl

Preparado por: Latinoamericana Energías Renovables Ltda.

Lautaro Rosas 366, Cerro Alegre

Valparaíso, Chile

+56 32 259 15 53

www.laer-renovables.com



ACLARACIÓN

Esta publicación ha sido preparada por encargo del proyecto “Energía Solar para la Generación de Electricidad y Calor para Autoconsumo” implementado por el Ministerio de Energía y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit(GIZ) GmbH, en el marco de la cooperación intergubernamental entre Chile y Alemania. El proyecto se financia a través de la Iniciativa Internacional para la Protección del Clima (IKI) del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (BMU). Sin perjuicio de ello, las conclusiones y opiniones de los autores no necesariamente reflejan la posición del Gobierno de Chile o de GIZ. Además, cualquier referencia a una empresa, producto, marca, fabricante u otro similar en ningún caso constituye una recomendación por parte del Gobierno de Chile o de GIZ.

Contenido del informe

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 4 |
| 2. OBJETIVOS..... | 5 |
| 2.1. OBJETIVO GENERAL | 5 |
| 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 5 |
| 3. ANÁLISIS DE LA DEMANDA ELÉCTRICA..... | 6 |
| 3.1. PERFILES DE CONSUMO DE ELECTRICIDAD..... | 6 |
| 3.1.1. Línea base y perfil de la demanda eléctrica de la flota de vehículos eléctricos | 6 |
| 3.1.2. Línea base de la demanda eléctrica | 11 |
| 3.1.3. Perfil de consumo diario | 11 |
| 3.1.4. Perfil de consumo mensual..... | 12 |
| 3.1.5. Perfil de consumo anual | 15 |
| 3.2. TARIFACIÓN ELÉCTRICA ANUAL | 16 |
| 3.2.1. Empalme eléctrico | 16 |
| 3.2.2. Tarifación..... | 16 |
| 4. ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y BASE TÉCNICA | 17 |
| 4.1. LEVANTAMIENTO DEL LUGAR Y DETERMINACIÓN DE LA UBICACIÓN ÓPTIMA | 17 |
| 4.2. DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE RADIACIÓN..... | 19 |
| 4.3. PUNTO DE CONEXIÓN A LA RED | 20 |
| 4.4. EMPLAZAMIENTO DE LOS EQUIPOS | 21 |
| 5. ANÁLISIS TÉCNICO PARA 2 ESCENARIOS DE AUTOCONSUMO | 22 |
| 5.1. ANÁLISIS FOTOVOLTAICO PRELIMINAR..... | 22 |
| 5.2. ESCENARIO 1: CARPORT 18 x 6 METROS | 23 |
| 5.2.1. Dimensionar potencia y ubicación óptimas | 23 |
| 5.2.2. Diseño básico del Carport fotovoltaico | 24 |
| 5.2.3. Calcular perfil de producción solar anual – base horaria..... | 25 |
| 5.3. ESCENARIO 2: AUTOCONSUMO SIN GENERACIÓN DE EXCEDENTES | 28 |
| 5.3.1. Dimensionar potencia y ubicación óptimas | 28 |
| 5.3.2. Calcular perfil de producción solar anual | 29 |
| 6. ANÁLISIS ECONÓMICO | 31 |
| 6.1. ESCENARIO 1: CARPORT 15,6 kWp | 31 |
| 6.1.1. Estimación de los costos de inversión y mantenimiento..... | 31 |
| 6.1.2. Resumen de costos | 33 |
| 6.1.3. Producción de Energía – Ahorros | 34 |
| 6.1.4. Indicadores económicos | 35 |
| 6.1.5. Análisis de sensibilidad..... | 36 |

| | |
|--|-----------|
| 7. CONCLUSIONES Y PRÓXIMOS PASOS..... | 39 |
| 7.1. RESUMEN FINAL..... | 39 |
| 7.2. LÍNEA DE TRABAJO A FUTURO | 40 |

1. Introducción

El Ministerio de Energía (MINENERGÍA) y la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (Sociedad Alemana de Cooperación Internacional – GIZ) se encuentran desarrollando el proyecto “Energía Solar para la Generación de Electricidad y Calor”. El objetivo principal del proyecto es la identificación de segmentos de mercado económicamente viables y el apoyo al desarrollo de un marco regulatorio favorable para la expansión de la energía solar de autoconsumo (eléctrico y térmico).

Este informe presenta el estudio de prefactibilidad de un carport fotovoltaico que generará la electricidad suficiente para cubrir la demanda de una flota de 12 vehículos eléctricos. Los vehículos se usan durante el día, y se cargan durante la noche. Este informe considera un sistema en que se pueden enchufar los autos directamente durante el día, si es que no están siendo usados. Los excedentes de energía generada entonces se pueden utilizar por el edificio. En la noche entonces los vehículos se cargarán usando electricidad de la red. Este informe mostrará que el carport generará suficiente electricidad para cubrir la demanda de la flota de vehículos, a pesar del hecho que la mayoría de la electricidad generada por los paneles se va a utilizar por el edificio – la idea aquí es que la energía generada por el carport fotovoltaico servirá como “offset” de la energía utilizada para cargar los vehículos. Otra opción sería el uso de baterías – el carport podría cargar un sistema de baterías, y los autos conectarían a las baterías para cargarse durante la noche. Sin embargo, incorporar baterías en el sistema levantaría el costo de inversión significantemente. Además, sería más difícil monitorear la energía generada por el sistema y usada por los vehículos. Por lo tanto, este informe presente solo la opción de inyectar los excedentes directamente al suministro del edificio.

Un contador de energía podría medir la energía generada por los paneles y a la vez otro equipo monitorizar la demanda de los vehículos. De tal forma, se podría instalar un *display* visualizando el balance energético y verificando que la demanda de los vehículos esté cubierta.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

El objetivo principal de esta consultoría es la elaboración de un estudio de pre-factibilidad técnica y económica para la construcción y el diseño de un carport fotovoltaico en la Dirección de Aseo, Ornato y Mantención (DAOM) de la municipalidad de Providencia. Este carport debe suministrar energía eléctrica a partir del sol, para cubrir la demanda eléctrica de la flota de vehículos eléctricos disponibles.

Este informe presenta la opción de inyectar los excedentes de energía generada por el carport fotovoltaico directamente al suministro del edificio, y a la vez, se pueden enchufar directamente los vehículos que no están siendo utilizados durante el día en labores operativas. Los vehículos mayormente se cargan durante la noche, por lo tanto se cargarán usando electricidad de la red. El carport generará la electricidad suficiente para un “offset” de la demanda de los vehículos, aunque no se utilizará directamente. Un sistema incorporando baterías no se considera en este informe, ya que el costo del sistema se levantaría significantemente.

2.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos de la consultoría son:

- Levantar un perfil de consumo de electricidad (diario, mensual y anual).
- Levantar la información relativa a la tarificación eléctrica.
- Determinar la ubicación óptima para el carport en las dependencias del DAOM.
- Determinar los niveles de radiación solar disponibles en DAOM.
- Determinar el punto de la conexión eléctrica para la solución propuesta.
- Determinar el emplazamiento de los distintos equipos.
- Proponer soluciones de autoconsumo, indicando para cada alternativa, su potencia, ubicación, diseño básico y perfil de generación de la planta.
- Realizar un análisis económico, indicando la cantidad de energía generada, los costos de la solución, ahorros futuros y cálculo de un *business case*.
- Entregar conclusiones y proponer próximos pasos.

3. Análisis de la demanda eléctrica

El análisis de la demanda eléctrica posee dos partes fundamentales, las cuales son muy importantes para todo el trabajo posterior, el perfil de consumo y la tarificación eléctrica.

Primero, nos enfocaremos en determinar los perfiles de consumo de la flota de autos y del edificio, los cuales podemos obtener una vez que hemos definido nuestra línea base de demanda eléctrica.

El perfil de consumo se debe analizar bajo diferentes escalas de tiempo, buscando patrones de consumo, temporadas de uso y en general, conocer de qué manera y en cuales horarios se consume la energía, ya que debemos buscar la mejor manera de incorporar un proyecto de generación solar fotovoltaica de autoconsumo. La demanda de energía, los perfiles de consumo y el espacio físico disponible para la instalación de los paneles, muchas veces son los factores que a determinan la capacidad máxima de un proyecto de autoconsumo.

Por otro lado, la tarificación eléctrica es fundamental para realizar un análisis económico y así, poder calcular la amortización correcta del proyecto, ya que una vez determinados los ahorros generados a través de la producción solar, éstos se deben monetizar mediante la valoración de cada kWh (kilowatt hora) ahorrado o inyectado a la red.

3.1. Perfiles de consumo de electricidad

Ha sido de gran utilidad para determinar los perfiles de consumo, la auditoría de eficiencia energética realizada en el edificio DAOM. El documento desarrollado por Deuman, con fecha de 30 de abril de 2014, llamado “Diagnóstico de Eficiencia Energética y de Agua a Cuatro Edificios de la Municipalidad de Providencia” (de ahora en adelante “Auditoría Deuman”), contiene información detallada de los consumo, tarificación y demanda de energía que han sido utilizados en esta consultoría.

Por otro lado, la administración y personal de mantenimiento de DAOM nos ha suministrado información técnica de los vehículos eléctricos y los registros de consumo y kilómetros recorridos en lo que va del año 2014.

3.1.1. Línea base y perfil de la demanda eléctrica de la flota de vehículos eléctricos

La DAOM de la Municipalidad de Providencia cuenta con una flota de 12 vehículos eléctricos para la realización de sus labores operativas. Como se dijo en los objetivos, la idea de este proyecto es cubrir totalmente (con o sin generación de excedentes) la demanda de energía de la flota vehicular eléctrica, por lo que es necesario determinar su demanda y perfil de consumo.

Características técnicas de los vehículos eléctricos:

- Vehículos marca: Piaggio
- Tipo: Furgón
- Modelo: Porter
- Baterías de tracción: 16 módulos plomo-gel de 6V, un total de 96V.
- Batería auxiliar: 12V 60Ah 350A
- Cargador de baterías:

- Voltaje: 220 VAC +/- 10%
- Tensión de salida: 96 V
- Potencia máxima absorbida: 3kW
- Tiempo de carga: 7-8 Horas
- Potencia Motor eléctrico: 10,5 kW

Los vehículos son utilizados durante el día, de forma eventual, por lo que no todos los días se utilizan todos los vehículos, ni tampoco se descargan totalmente. Así, el perfil de demanda es completamente variable y poco predecible, siempre acotado por ciertos rangos.

Cuando los vehículos no están sido utilizados durante el día y se encuentran en el estacionamiento, se pueden conectar directamente al inversor solar mediante enchufes. Sin embargo, mayormente los vehículos se cargan de noche mediante la utilización de un reloj horario, por lo que la carga de los vehículos directamente desde los paneles solares de noche no será viable. Una solución para esta problema sería utilizar baterías, pero esto levantaría el costo de operación del sistema significantemente – operar y mantener un sistema sin baterías significa una inversión de casi la mitad de un sistema con baterías. Además, un sistema con baterías tendría que cargar las baterías a través de un regulador de carga y luego tomando la carga de las baterías para cargar los autos, agregaría perdidas al sistema. Por lo tanto, un sistema con baterías no se ha considerado para este proyecto.

Se ha decidido conectar los paneles solares directamente en el tablero general del edificio – esto permitirá que la energía generada durante el día se puede utilizar por el edificio. Conectar el carport de esta forma significará que aunque la energía generada por los paneles no se utilizará directamente por los vehículos eléctricos (excepto en ocasiones en que se cargan durante el día), funcionará para dar un “offset” a la demanda de la flota. El balance energético podría ser monitorizado y visualizado para el público.

Para analizar que sucede con la demanda eléctrica de la flota de vehículos, vamos a analizar varios escenarios teóricos, para luego compararlos con la demanda real que posee la flota de vehículos. Este análisis nos va a ayudar a tomar una mejor decisión respecto el tamaño de un proyecto fotovoltaico mediante un carport.

Escenario 1: Perfil del Demanda Máxima:

La demanda máxima corresponde (utilizando los datos de placa de los vehículos) al consumo total de la flota considerando que todos los vehículos se descargan totalmente cada día, es decir, vamos a considerar que los 12 vehículos se descargan completamente los 365 días del año, por lo tanto, durante el proceso de carga de las baterías (mediante el cargador de baterías que tiene el furgón) van a consumir durante aproximadamente 8 horas una potencia de 3kW. El cálculo teórico sería:

Demandas máximas posibles de la flota:

- Por noche: 12 vehículos x 3 kW x 8 horas = 288 kWh
- Por mes: 8.640 kWh

Ver figura 1, donde se puede ver el perfil de demanda máximo teórico, comparándolo con otros escenarios, los cuales explicaremos a continuación.

Como podemos imaginarnos, un escenario donde cada día del año todos los vehículos se descarguen un 100%, es muy poco probable. Por lo general, existe un trabajo por turnos, pero la mayor parte del trabajo se realiza de lunes a viernes, además, la descarga de la batería nunca es completa, siempre queda un % disponible en cada furgón. Finalmente, según nos han comentado en DAOM, los vehículos no se utilizan todos los días.

Dado lo anterior, pasaremos a analizar un segundo caso, buscando aproximarnos a una demanda similar a la real o al menos aproximada.

Escenario 2: Perfil de Demanda Lunes a Viernes:

Como segundo escenario de demanda eléctrica de la flota de vehículos, a modo teórico, vamos a considerar que los vehículos trabajan sólo de lunes a viernes. En la figura 1, se puede ver un gráfico con los resultados.

Mirando los datos de consumo de real de los vehículos (ver tabla 1), aún nuestra aproximación es muy lejana a la realidad, además, según los antecedentes recopilados en terreno, los vehículos no se utilizan todos los días, ni se descargan al 100%. Por lo tanto, este segundo escenario aún es muy alejado de la realidad.

Escenario 3: Perfil de Demanda Lunes a Viernes – 33 % de Utilización:

Finalmente, hemos considerado que los vehículos se utilizan de sólo de lunes a viernes, además se ha aplicado un factor del 33% de utilización, así podemos asumir y cubrir gran cantidad de escenarios y combinaciones de ellos, obteniendo una demanda más parecida a la demanda real, pero dejando un margen para un aumento de la utilización de los vehículos al futuro.

En la siguiente figura (Nº1), podemos ver las proyecciones de demanda eléctrica para la flota de vehículos, donde hemos asumido 3 escenarios que acabamos de explicar. El perfil de demanda más similar a la realidad es el más conservador respecto la utilización y potencia requerida diariamente, podemos ver en color verde la curva de perfil que creemos puede ser una buena aproximación, considerando un crecimiento a futuro de la utilización de los vehículos, para realizar los diseños y comparativas a lo largo de esta consultoría.

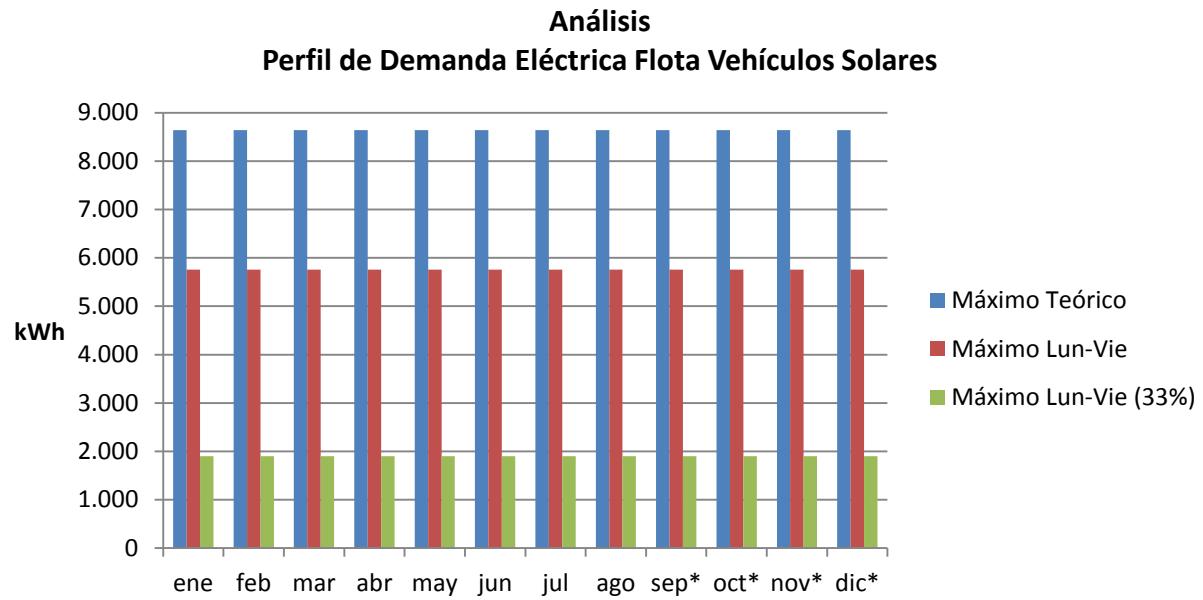


Figura 1. Perfiles de demanda teóricos de la flota de vehículos eléctricos.

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, el personal de operaciones del DAOM posee registro de los consumo eléctricos de los vehículos (conectado en los equipos de carga de las baterías), por lo que tenemos datos concretos del perfil de la demanda. La siguiente tabla muestra los consumos mensuales de la flota.

| MES | kWh |
|------|-------|
| ene | 1.062 |
| feb | 738 |
| mar | 1.481 |
| abr | 1.381 |
| may | 1.221 |
| jun | 741 |
| Jul | 836 |
| ago | 693 |
| sep* | 1.019 |
| oct* | 1.019 |
| nov* | 1.019 |
| dic* | 1.019 |

Tabla 1. Demanda real de la flota de vehículos eléctricos.

Fuente: Elaboración propia a partir de los Registros DAOM.

La figura 2, que se puede ver a continuación, muestra la gráfica de éstos datos recopilados.

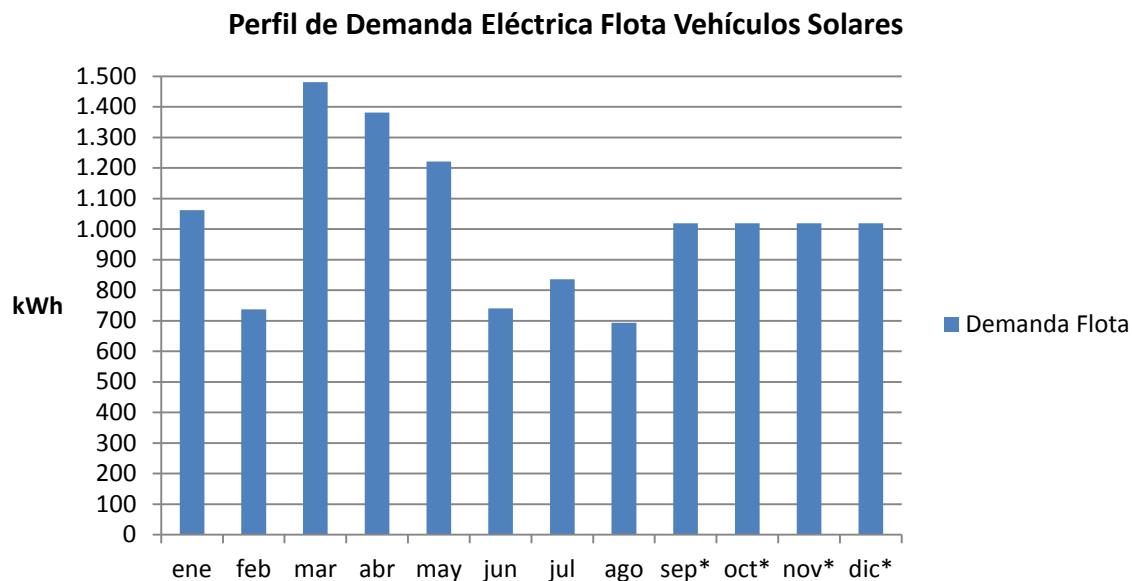


Figura 2. Perfil de demanda real de la flota de vehículos eléctricos.

Fuente: Elaboración propia a partir de los registros de DAOM.

*Se debe decir que para los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre no se cuenta con dichos datos, por lo que se han proyectado como el promedio de los meses anteriores.

Finalmente, para concluir nuestro análisis de la línea base de la demanda eléctrica de la flota de vehículos eléctricos, presentamos la siguiente figura (Nº 3), la cual muestra la curva de perfil real (registro parcial del 2014) comparándola con el perfil teórico que vamos a utilizar como línea base para esta consultoría. El perfil teórico que vamos a utilizar, es el escenario 3 (Perfil de Demanda Lunes a Viernes – 33 % de Utilización), ya que es más similar al perfil de demanda según los registrados de DAOM.

Las principales razones de utilizar una línea base mayor son:

- Nos entrega un margen de seguridad en caso de que el comportamiento de utilización de la flota durante los registros 2014 no sea representativo.
- Nos entrega un margen de crecimiento para el futuro en la utilización de la flota, así podremos diseñar un proyecto fotovoltaico que pueda suministrar la demanda futura.
- La demanda eléctrica podrá crecer hasta un 87%.

Comparación Teórico v/s Real Perfil de Demanda Eléctrica Flota Vehículos Solares

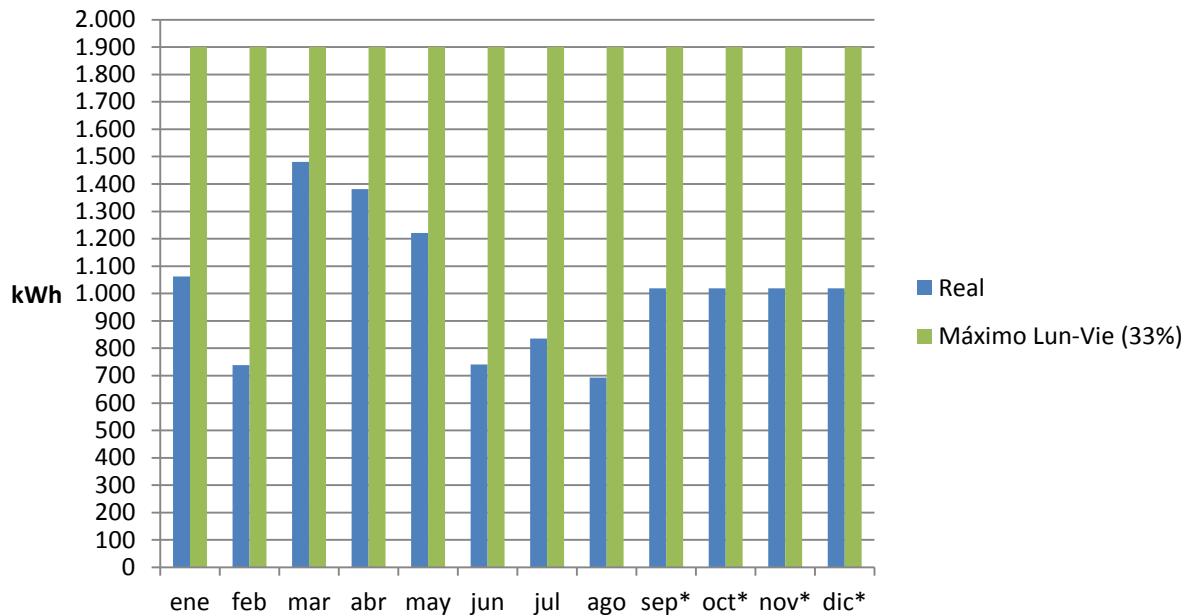


Figura 3. Perfil de demanda real v/s Línea base a utilizar para la flota de vehículos.

Fuente: Elaboración propia a partir de los registros de DAOM.

3.1.2. Línea base de la demanda eléctrica

Para completar nuestro análisis, así tener una visión global de lo que sucede en el DAOM y además contar con mayor información para diseñar una solución fotovoltaica a medida, vamos a calcular la línea base para todas las dependencias de la DAOM, es decir, considerando todos los consumos eléctricos del edificio, los cuales vamos a obtener a partir de la facturación eléctrica.

3.1.3. Perfil de consumo diario

La curva del perfil diario de demanda eléctrica ha sido extraída de la Auditoría Deuman. Las mediciones se han realizado por 24 horas consecutivas entre las 11:55am del día 11 de marzo de 2014, hasta las 11:55am del día 12 de marzo de 2014. Para realizar las mediciones se utilizó un equipo registrador de energía marca AEMC, modelo PowerPad 3945.

El perfil diario de demanda ha registrado cada fase de manera individual, además de la potencia total del edificio, las curvas son W1, W2, W3 y W total, para la fase 1, 2, 3 y el total, respectivamente. La figura 4 nos muestra el perfil de demanda diario de toda la edificación DAOM.

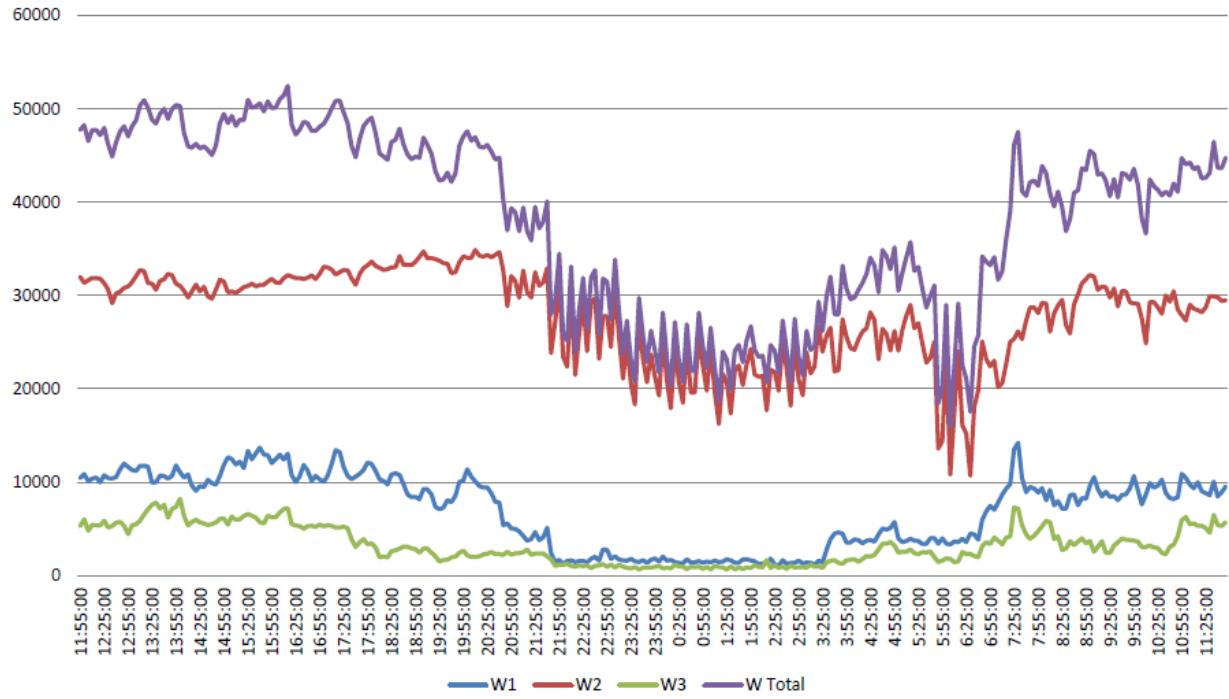


Figura 4. Perfil de consumo diario para todo el edificio.

Fuente: Auditoría Deuman.

De la curva perfil de demanda diaria, además de la información entregada por el personal a cargo del edificio DAOM, podemos realizar las siguientes observaciones:

- Lo primero que llama la atención de las curvas representadas en la figura 4, es el desbalance que existe entre las 3 fases. Donde las fases 1 y 3 poseen consumos similares, pero la fase 2 posee un consumo casi constante a lo largo del día. Esto se explica ya que de esta fase dependen los consumos del taller, el cual funciona las 24 horas.
- El edificio DAOM funciona las 24 horas del día, los 365 días del año. Por lo que un día cualquiera de marzo, puede representar perfectamente un día cualquiera del año. Es más, analizando posteriormente los consumos mensuales, se puede ver que marzo es un mes bajo, en comparación con el consumo promedio del edificio. Los mayores consumos del DAOM se dan entre las 7 am y las 21 horas, ya que es cuando coinciden las labores de taller y las oficinas de los trabajadores.

3.1.4. Perfil de consumo mensual

El perfil de consumo mensual se ha extraído de las facturas eléctricas de la compañía distribuidora Chilectra. En la Auditoría Deuman, específicamente en el Anexo 2, se puede encontrar una tabla resumen con el detalle de todas las facturas eléctricas mensuales, durante el período enero 2011, hasta diciembre 2013.

En la figura 5 se puede ver el consumo mensual para todo el año 2013. Podemos notar que los mayores consumos se producen durante el invierno, lo que es poco favorable para un proyecto

fotovoltaico, pero como punto positivo tenemos que existe un consumo base constante por sobre los 15.000 kWh mensual.

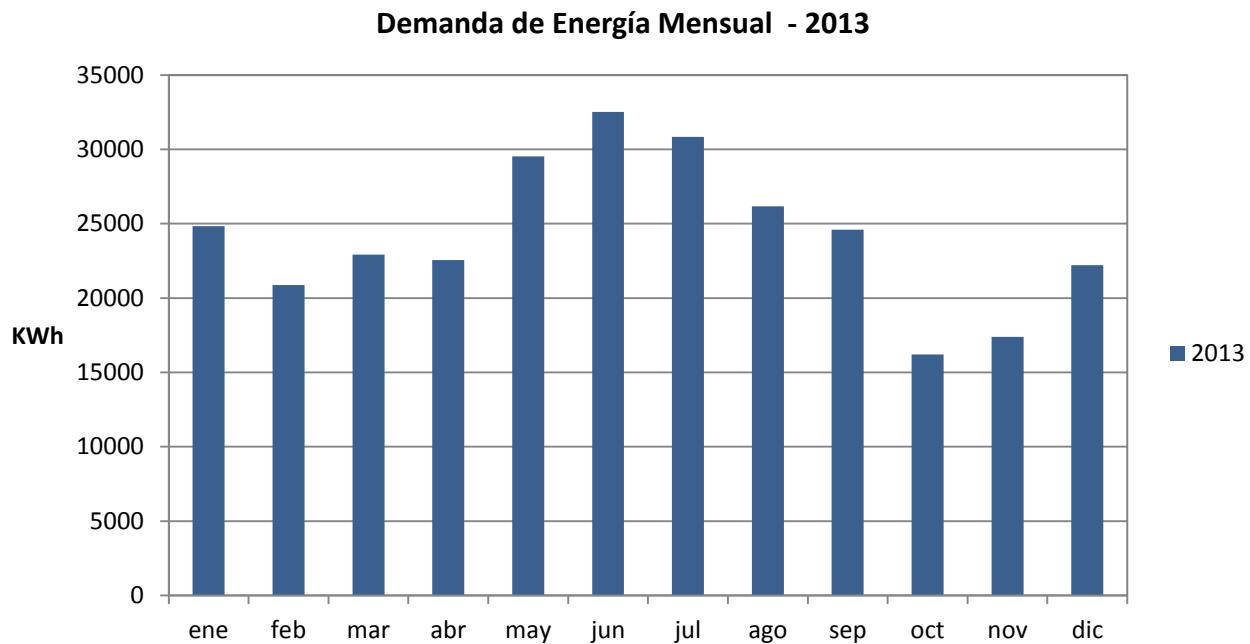


Figura 5. Perfil de demanda mensual, año 2013

Fuente: Elaboración propia a partir de datos extraídos de Auditoría Deuman.

En la figura 6 se puede apreciar las curvas de demanda mensuales para los años 2011, 2012 y 2013, de manera de poder comparar los consumos para cada mes. En la gran mayoría de los meses se puede ver como los consumos han ido aumentando año a año.

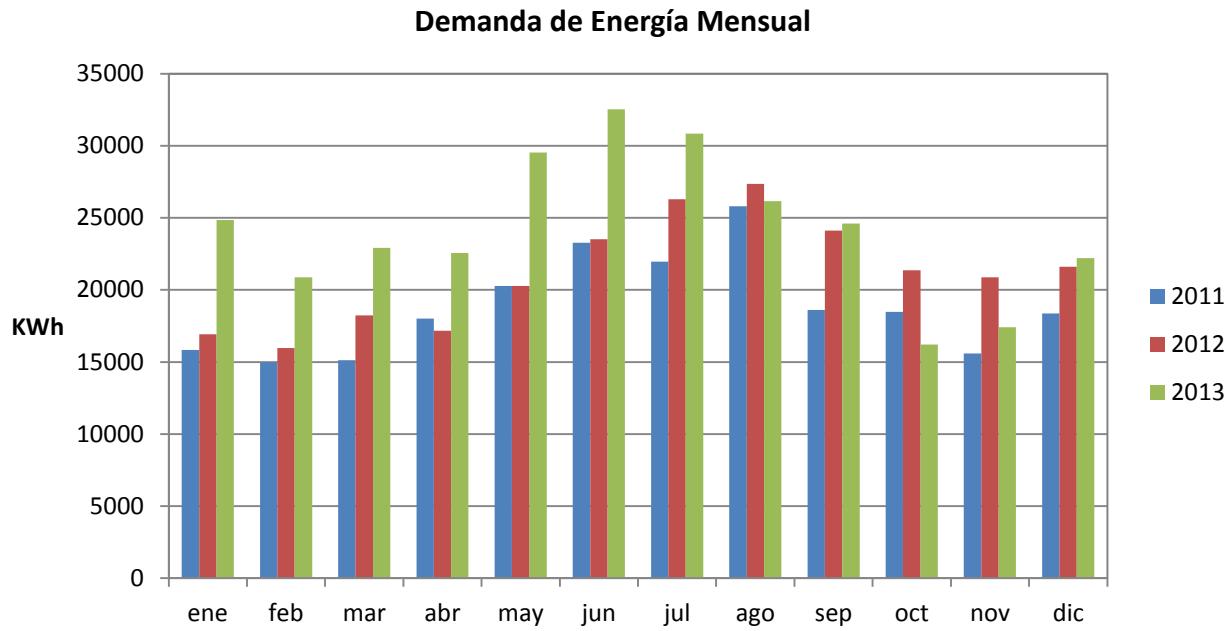


Figura 6. Perfil de demanda mensual, resumen 2011-2013

Fuente: Elaboración propia a partir de datos extraídos de Auditoría Deuman.

Finalmente en la figura 7 podemos ver los consumos promedio mensuales, calculado con los datos de los años 2011, 2012 y 2013. Pese a que los consumos han ido creciendo año a año, hemos decidido trabajar con los valores promedio, ya que se espera los consumos eléctricos dejen de subir y en el mejor de los casos, puedan bajar un poco. Esto lo esperamos, ya que es posible comiencen a implementar medidas de eficiencia energética al interior del DAOM.

Por lo tanto, para los diseños y trabajos de esta consultoría, se trabajará con las demandas mensuales de la figura 7, los valores promedios, una medida conservadora de diseño.

Demanda de energía mensual (promedio 2011-2013)

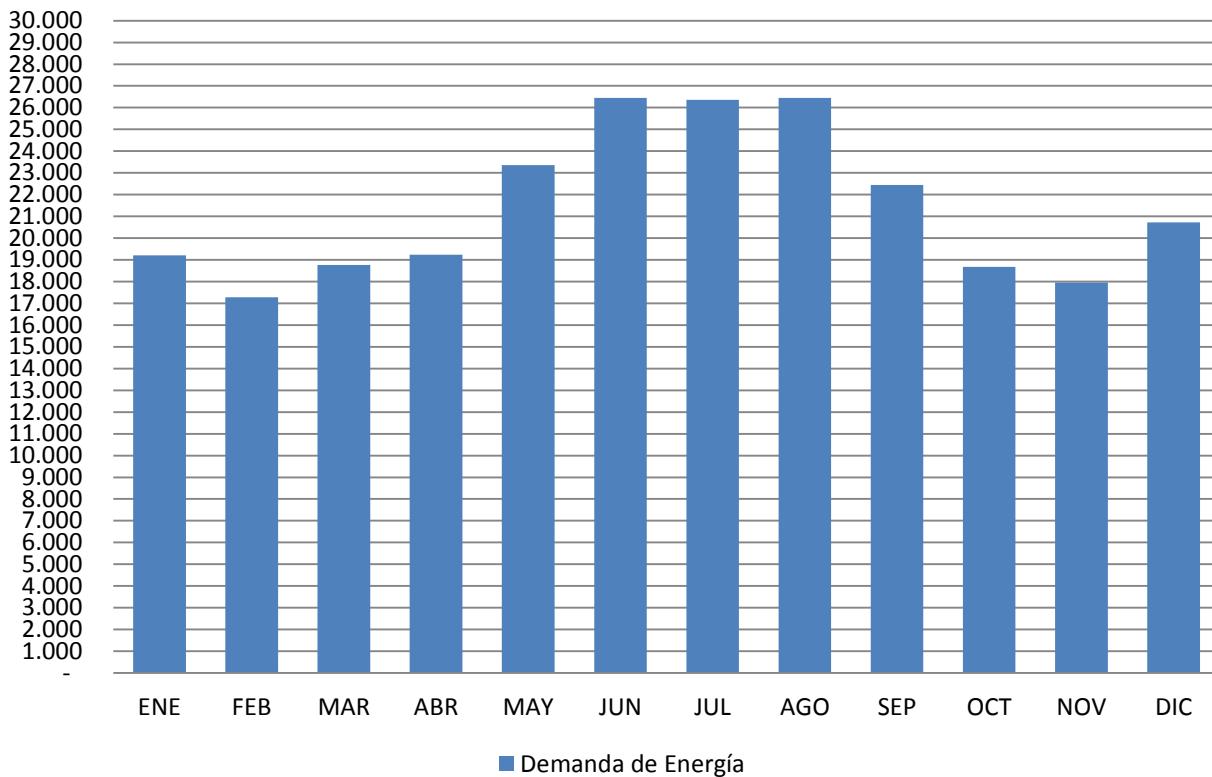


Figura 7. Perfil de demanda mensual, valores promedio

Fuente: Elaboración propia a partir de datos extraídos de Auditoría Deuman.

3.1.5. Perfil de consumo anual

Una vez calculados los consumos mensuales, resulta sencillo poder calcular las curvas de perfil anuales de demanda eléctrica, en la figura 8 se pueden ver los resultados. Para los años 2011, 2012 y 2013, los consumos eléctricos de energía han sido 226.320, 253.680 y 290.640 kWh, respectivamente.

En el perfil de consumo anual es mucho más evidente notar como la demanda de energía eléctrica se ha ido incrementando año a año, por lo que es de esperar se puedan implementar medidas de eficiencia energética que puedan frenar esta tendencia.

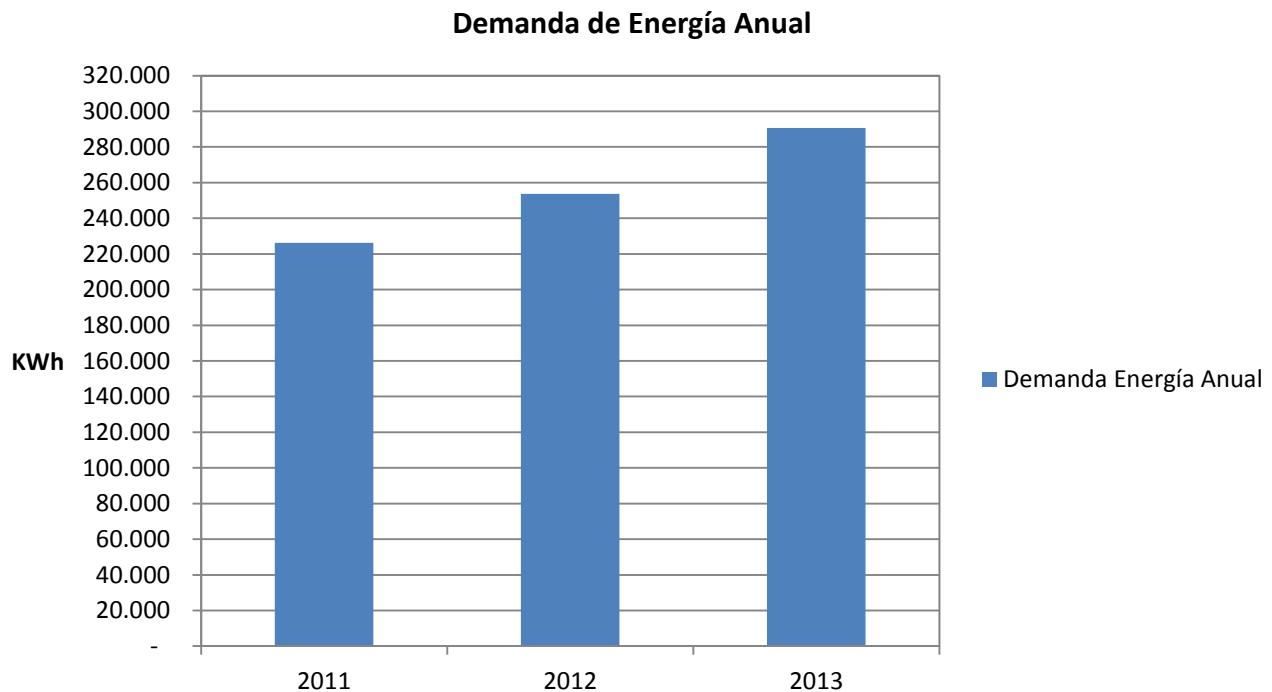


Figura 8. Perfil anual de demanda eléctrica

Fuente: Elaboración propia a partir de datos extraídos de Auditoría Deuman.

3.2. Tarifación eléctrica anual

3.2.1. Empalme eléctrico

Según información recopilada tanto en terreno, como desde la Auditoría Deuman, el edificio DAOM cuenta con un empalme trifásico de baja tensión (220 VAC), suministrado por la empresa Chilectra.

3.2.2. Tarifación

La tarifación corresponde a BT 4.3 con una potencia contratada de 287 kW. Actualmente, la tarifa figura con \$47,82 por kWh, según publicado por Chilectra (vea Anexo por favor).

4. Análisis estructural y base técnica

4.1. Levantamiento del lugar y determinación de la ubicación óptima

La Dirección de Medio Ambiente, Aseo, Ornato y Mantención de la Municipalidad de Providencia (DAOM) se encuentra ubicada en la calle Caupolicán número 1151, comuna de Providencia. En la figura 9 se puede apreciar la fachada principal del edificio, donde se puede identificar claramente el ingreso, luego al costado izquierdo de la imagen, los ventanales de la escalera y finalmente, más a la izquierda las oficinas.



Figura 9. Ingreso principal al edificio DAOM

Fuente: Fotografía tomada por LAER

En la figura 10 se puede ver una imagen satelital de la ubicación del edificio DAOM. El edificio se ubica en la calle Caupolicán y colinda hacia el oriente con la calle Santa Isabel.

Durante la reunión de inicio y posterior levantamiento en terreno realizado el día 28 de octubre de 2014, se ha recopilado información importante para proponer una ubicación tentativa para el carport.

Los principales requerimientos del lugar para la ubicación del carport son:

- Orientación hacia el norte, así maximizar la radiación solar recibida.
- Evitar proyección de sombras de edificios, árboles u otros.
- Facilidad de conexión eléctrica hacia el empalme.
- Exposición, desde el punto de vista del marketing del proyecto.
- No dificulte las operaciones o afecte la fachada del edificio.

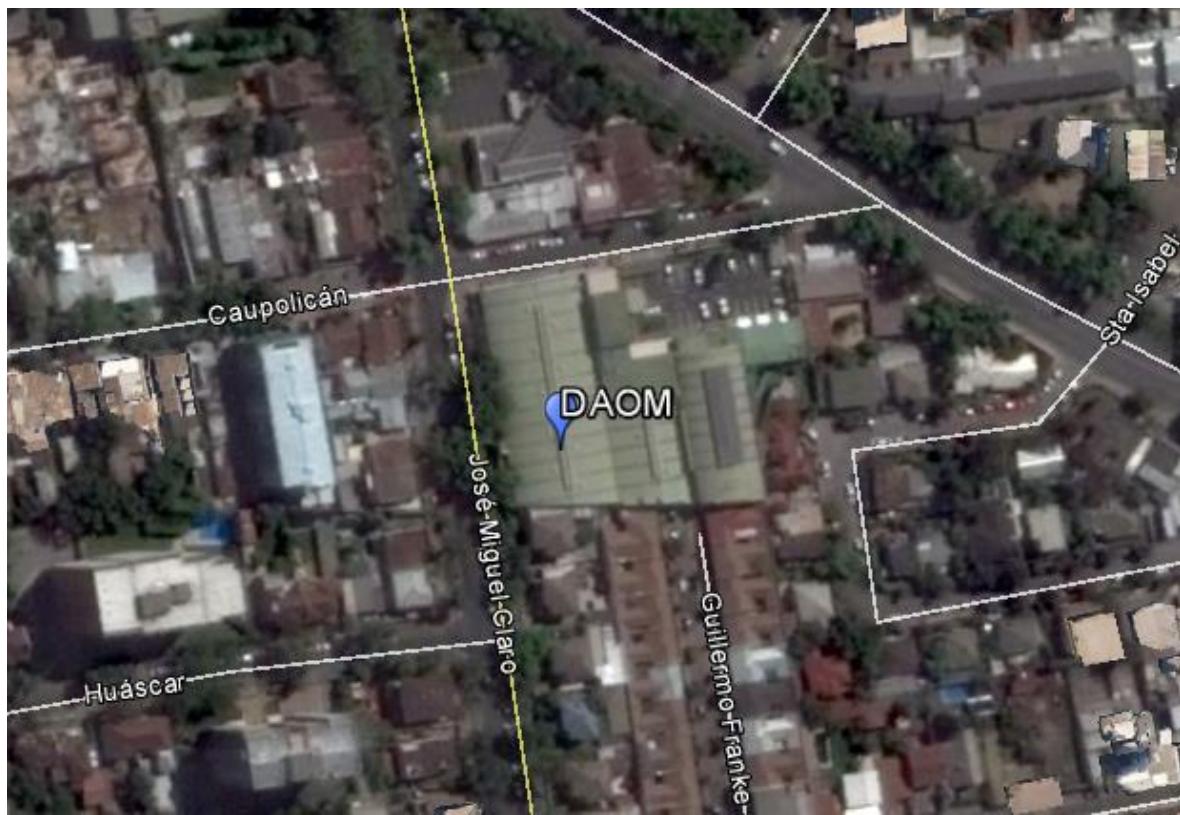


Figura 10. Vista satelital del edificio DAOM
Fuente: Google Earth.



Figura 11. Ubicación del Carport y Sala eléctrica
Fuente: Fotografía tomada por LAER

Tomando en cuenta los requerimientos que debe cumplir la ubicación para el carport y luego de realizar mediciones en terreno, tanto de superficie disponible, como de ángulo hacia el norte y proyección de sombras, se ha determinado una ubicación tentativa para el carport, la cual presenta las mejores condiciones disponibles en las instalaciones de la DAOM.

Se considera un área de 18 metros de largo por 6 metros de ancho, aproximadamente. Esta superficie corresponde a los estacionamientos ubicados en la esquina sur-oriente, frente a las oficinas ubicadas al costado de la escalera. La ubicación propuesta cumple en gran medida cada una de los requerimientos esperados para la ubicación de un carport, se encuentra orientado casi completamente hacia el norte (Azimut -18° aproximadamente), logra alejarse lo máximo posible de las sobras proyectadas por los árboles que se encuentran en las calles Caupolicán y Santa Isabel (ver figura 10), se encuentra a pocos metros de la sala eléctrica (la cual se puede ver en la foto 11, costado izquierdo), no dificulta las operaciones del DAOM, tampoco interfiere con la fachada del edificio (se considera no cubrir los ventanales de las escaleras) y finalmente, se ubica al ingreso del edificio, por lo que estará muy expuesto a todos los visitante del edificio, siendo visible incluso desde el exterior. La ubicación dentro el estacionamiento se muestra en el plano 1175_M001_ES_Primer diseño indicativo carport.pdf en el anexo de este informe.

4.2. Determinación del nivel de radiación

Debido a la gran cantidad de datos y simulaciones de radiación solar disponibles en la actualidad, además debido a que el proyecto se encuentra en una etapa temprano de diseño, no es necesario realizar mediciones puntuales o continuas del recurso solar en la zona de emplazamiento del proyecto, basta con utilizar bases de datos disponibles.

Para determinar el nivel de radiación solar disponible en el edificio DAOM de la Municipalidad de Providencia, se ha utilizado el Explorador Solar del Ministerio de Energía, desarrollado por el departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, sistema que nos entrega un completo informe denominado “Reporte Solar”, el cual se puede ver en los anexos. No obstante, también se han utilizado los datos que contiene la base de datos del software MeteoSyn, plataforma climática que utiliza el software de simulación PV-Sol Expert 5.5 de Valentin Software GmbH.

Para el diseño de las soluciones fotovoltaicas se ha utilizado PV-Sol, por lo que las estimaciones de producción provienen de las pérdidas y los rendimientos calculados por el software, además de las estimaciones de radiación solar de MeteoSyn. Por otro lado, se han utilizado los valores del informe Reporte Solar para proyectar la producción de energía solar a lo largo del año. Por lo tanto se han utilizado dos fuentes diferentes para la radiación solar, buscando así disminuir la dependencia a los errores o aproximaciones que pudiesen tener las fuentes.

La tabla 2, fue extraída del Reporte Solar que muestra los valores promedio mensuales de radiación solar global horizontal, expresada en KWh/m² día.

| Mes | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | Promedio |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| Enero | 9.02 | 8.81 | 9.03 | 8.88 | 8.64 | 8.90 | 8.81 | 8.84 | 8.86 | 8.87 | 8.87 |
| Febrero | 8.15 | 8.10 | 7.64 | 7.59 | 7.70 | 7.90 | 8.08 | 8.09 | 7.66 | 7.99 | 7.89 |
| Marzo | 6.81 | 6.27 | 5.98 | 6.83 | 6.29 | 6.52 | 6.70 | 6.63 | 6.31 | 6.83 | 6.52 |
| Abril | 4.68 | 4.17 | 4.83 | 4.82 | 4.51 | 4.68 | 5.00 | 4.67 | 4.73 | 4.59 | 4.67 |
| Mayo | 3.16 | 3.21 | 2.70 | 3.19 | 3.01 | 3.02 | 3.07 | 3.11 | 3.32 | 2.98 | 3.08 |
| Junio | 2.12 | 2.45 | 2.17 | 2.22 | 2.46 | 2.56 | 2.47 | 2.49 | 2.66 | 2.32 | 2.39 |
| Julio | 2.91 | 2.62 | 2.62 | 2.52 | 2.50 | 2.73 | 2.93 | 2.93 | 3.11 | 2.98 | 2.79 |
| Agosto | 3.53 | 3.60 | 2.96 | 3.45 | 3.69 | 3.51 | 3.32 | 3.53 | 3.54 | 3.27 | 3.44 |
| Septiembre | 4.61 | 4.90 | 4.75 | 4.54 | 5.28 | 4.71 | 4.43 | 4.99 | 5.00 | 4.95 | 4.82 |
| Octubre | 6.74 | 6.06 | 6.50 | 6.03 | 6.92 | 6.65 | 5.83 | 6.46 | 6.55 | 6.55 | 6.43 |
| Noviembre | 8.08 | 7.29 | 8.13 | 8.13 | 8.34 | 8.45 | 7.05 | 8.00 | 8.26 | 8.17 | 7.99 |
| Diciembre | 9.05 | 8.62 | 8.71 | 8.78 | 9.12 | 9.06 | 8.98 | 8.83 | 9.01 | 8.58 | 8.87 |

Tabla 2. Tabla de radiación solar global horizontal mensual

Fuente: Explorador Solar del Ministerio de Energía

4.3. Punto de conexión a la red

La conexión a la red se va a realizar al interior de la Sala eléctrica (ver costado izquierdo figura 11), la acometida de Chilectra y los medidores se encuentran al interior de la sala eléctrica, las que luego llegan al tablero general. La conexión en sí se va a realizar en la barra correspondiente aguas abajo del automático general, ver figura 13.

En el tablero general existe espacio para ubicar un automático termomagnético para el proyecto fotovoltaico, para luego inyectar la energía directamente en la barra respectiva, aguas abajo del automático general, tal como se acaba de indicar.

Dependiendo del tamaño del proyecto, se debe ver una estrategia de conexión del sistema fotovoltaico, ya que no se puede sobrecargar una única fase, pero en el caso particular de este proyecto, ese aspecto puede ser beneficioso, ya que la fase 2 se encuentra bastante sobrecargada, lo que produce un evidente desbalance de fases.



Figura 13. Automático general.

Fuente: Fotografía tomada por LAER.

4.4. Emplazamiento de los equipos

En la sala eléctrica existe espacio suficiente para ubicar un gabinete con los componentes del sistema fotovoltaico. Existe disponibilidad en dos paredes para ubicar el gabinete de inversor y elementos de protección, por lo que la ubicación definitiva se debe definir con los encargados de mantenimiento del edificio, el administrador y buscando optimizar los cableados, utilizando las canalizaciones disponibles en la sala.

5. Análisis técnico para 2 escenarios de autoconsumo

5.1. Análisis Fotovoltaico Preliminar

Para los escenarios de diseño que se propondrán a continuación, en los puntos 5.2 y 5.3, hemos tomado en cuenta variados análisis previos, tanto a la información disponible de las líneas base, como a diseños preliminares fotovoltaicos.

Respecto a la información de líneas base levantadas, tanto para el consumo de la flota de manera aislada, como para la edificación DAOM completa, podemos indicar varias observaciones que nos ayudan a acotar un diseño integral y a medida. Podemos mencionar:

- El perfil de la flota presenta una demanda muy baja en comparación con la demanda total del DAOM. Si miramos la demanda anual de energía (kWh) tenemos que la demanda de la flota representa solamente un 5% de la demanda total del DAOM. Pensar en un proyecto fotovoltaico sólo para la flota nos obliga en diseñar un proyecto muy pequeño, el cual va a generar un impacto casi nulo en el perfil de demanda total DAOM. Por lo tanto desde el punto de vista económico, no va a significar un ahorro significativo a futuro.
- El perfil de demanda de la flota es aleatorio y poco predecible. Esto nos obliga a ser muy conservadores en las estimaciones para un proyecto fotovoltaico, nuevamente impulsando a la baja el tamaño de la solución.
- El perfil de la demanda de DAOM posee un historial de varios años, por lo que podemos tomar decisiones y proponer diseños con una base sólida.
- Diseñar un proyecto pensando en el perfil completo del edificio DAOM nos permite proponer soluciones más importantes en tamaño, la cual podrá reflejar un impacto medible y visible en la facturación final eléctrica, así a futuro se reflejarán ahorros que van a incentivar la utilización de la tecnología fotovoltaica, y por qué no pensando en una futura expansión del proyecto.

Respecto algunos diseños fotovoltaicos preliminares podemos mencionar los siguientes análisis que se han estudiado:

- Un proyecto fotovoltaico que suministra la energía necesaria para la flota de vehículos solares, sin generación de excedentes, debe tener una capacidad de 5,5 kWp. Así, durante los meses de mayor generación de energía, ésta nunca va a superar la demanda de la flota.
- Por otro lado, el proyecto fotovoltaico que suministra toda la energía necesaria anualmente por la flota de vehículos, correspondiente a 12.500 kWh/año aproximadamente, debería poseer una capacidad de 8,5 kWp.
- Como se puede ver, ambas opciones representan proyectos fotovoltaicos de tamaños muy pequeños, ambos entregando una energía anual inferior al 5% del total consumido por DAOM. (Los valores mencionados arriba se calcularon basado en la radiación solar disponible en el sitio y usando el software PV-Sol).

En este informe se presentan alternativas de capacidad superior, definiendo dos escenarios:

- Escenario 1: Carport 18 x 6 metros

- Escenario 2: Autoconsumo sin generación de excedentes

Se ha decidido que la solución a proponer para un proyecto de autoconsumo va a conectarse directamente en el empalme o tablero general, así su impacto de producción solar va a beneficiar a toda la edificación, así de esta forma poder diseñar un proyecto de mayor tamaño.

5.2. Escenario 1: Carport 18 x 6 metros

El primer escenario de diseño para una solución fotovoltaica global para el DAOM considera la superficie disponible para el carport, sin tomar en cuenta la producción solar u otras restricciones. Se diseña una solución para una superficie aproximada disponible de 18 por 6 metros. De esta forma, el diseño solamente posee como restricción la superficie a utilizar.

Esta sección presenta el diseño de carport que maximizará la producción solar para el área definida y analiza su rendimiento de electricidad. Finalmente analiza qué porcentaje de la demanda total y de la flota quedará cubierta por la electricidad que se generará por el carport.

5.2.1. Dimensionar potencia y ubicación óptimas

Para dimensionar la potencia peak total, es decir el tamaño del proyecto fotovoltaico, se ha utilizado el software PV-Sol para determinar la cantidad de módulos solares que se pueden distribuir en una superficie de 18 por 6 metros. La figura 14, muestra el resultado propuesto. La potencia que se obtiene es de 15,6kWp, correspondiente a un arreglo de 104 módulos solares, en 4 columnas de 26 paneles.

Para motivos de diseño fotovoltaico, los demás parámetros de la estructura son:

- Ángulo del carport: 15°
- Azimut: -18°

Otros parámetros técnicos de diseño y equipos son:

- Módulo solar Solarwatt Orange 36M glass 150Wp
- Inversor Diehl AKO Platinum 4300 TL Monofásico 220VAC – 4,1 kW

La particularidad de los paneles solares utilizados es que son translúcidos, los que permiten el paso de la luz levemente hacia el interior del carport, de esta forma siendo menos invasivos para las oficinas del edificio, las cuales van a recibir menos luz solar durante el día. Por su parte, los inversores son monofásicos, de fabricación alemana. En los anexos se pueden encontrar las hojas técnicas de ambos componentes.

Para no extender el presente informe, se puede ver en anexo tabla Excel de producción solar y resumen de diseño de PV-Sol.

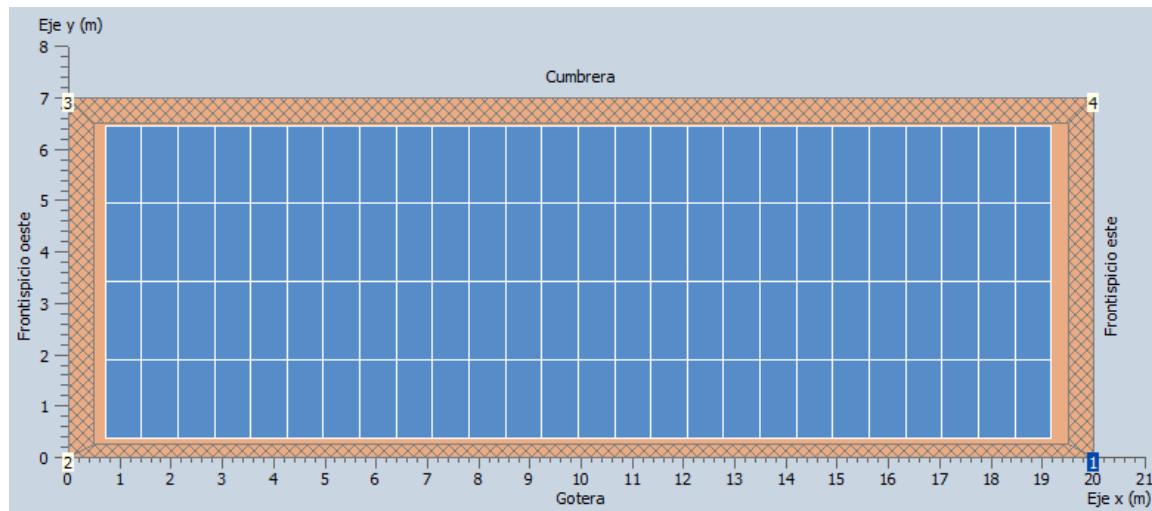


Figura 14. Layout de los módulos fotovoltaicos en el carport
 Fuente: PV-Sol

5.2.2. Diseño básico del Carport fotovoltaico

Del desarrollador y fabricante alemán Schletter fue solicitado una cotización para la estructura de un carport de 15kw. Schletter entregó un diseño general y una cotización de costo correspondiente (la que está discutido en la sección 6 de este informe).

La siguiente imagen (figura 15) muestra el diseño general de un carport de Schletter. El plano completo del diseño se puede encontrar en los anexos de este informe (“Diseño General del Carport.pdf”).

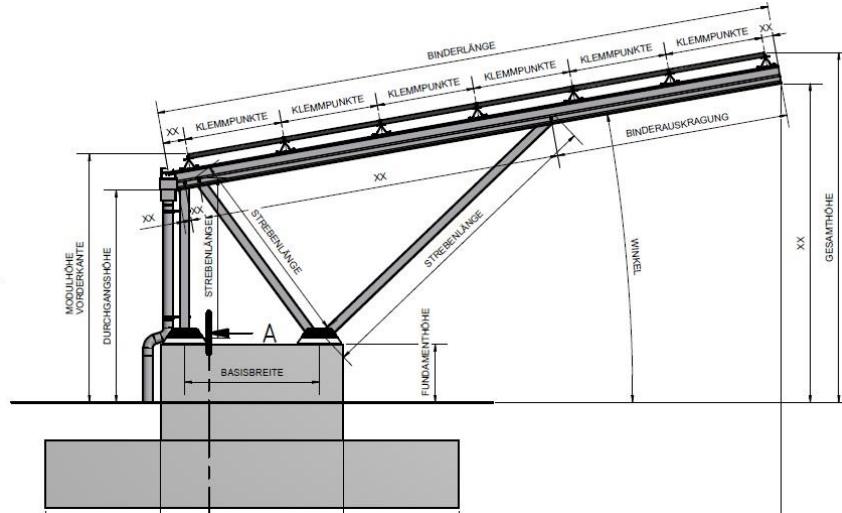


Figura 15: Diseño general de carport de Schletter
 Fuente: Schletter

La cotización de Schletter, la que se incluye en los anexos de este informe, se basa en apoyar 15,6kWp de paneles solares de Solarwatt, con dimensiones 1,520m x 0,710m. El carport tendrá

un ancho de 18,04m (26 paneles en una línea) y una profundidad de 6,08m (4 líneas de paneles). La entrada tendrá una altura de 2m. Un diseño para los fundamentos de la estructura está incluido en la cotización, mientras el material de construcción tendrá que conseguirse localmente en Chile.

Los costos de construcción del carport, incluyendo los paneles solares, la estructura, los fundamentos, el inversor y los accesorios necesarios, están detallados en la sección 6 de este informe. Además, se describe unas recomendaciones y opciones presentadas por Schletter, incluso los costos de estos.

El diseño del carport y planos se pueden encontrar en los anexos.

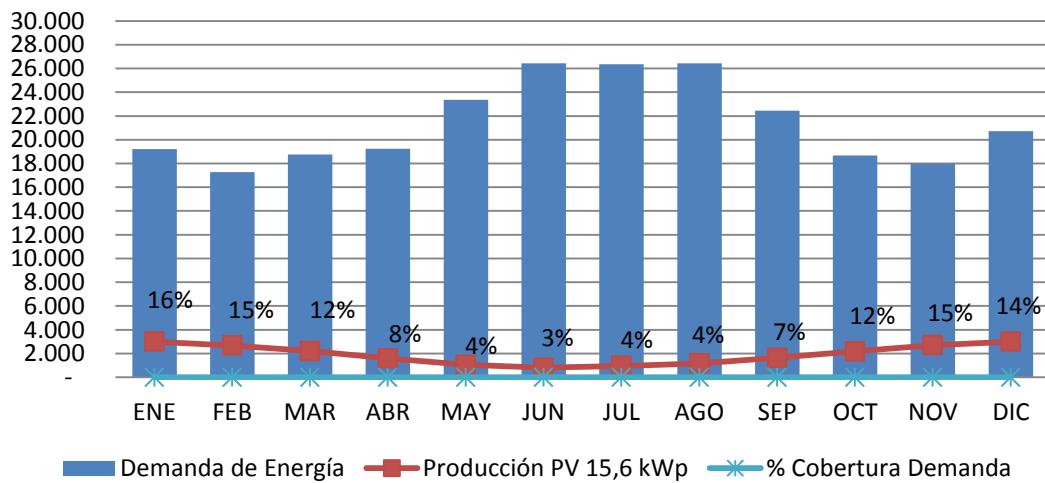
5.2.3. Calcular perfil de producción solar anual – base horaria

La solución de 15,6kWp logra producir un total anual de 22.977 kWh, con un factor de producción de 1.471 kWh/kWp. La producción solar anual corresponde a un 9% del total de la demanda eléctrica DAOM (256.880 kWh, correspondiente al promedio 2011-2013).

La figura 16 muestra la demanda eléctrica promedio del DAOM (barras azules), además de la producción solar del carport (línea roja) y el porcentaje de cobertura de la producción solar respecto la demanda.

Por ejemplo, para el mes de enero el carport de 15,6kWp logra producir cerca de 3.000 kWh, lo que corresponde a un 16% del total de la demanda de energía que ese mes, que hace a poco más de 19.000 kWh.

Demanda de energía mensual y producción solar del escenario 1



Como se puede ver en la figura 16, la producción solar de un proyecto de 15,6kWp logra cubrir un 9% de la demanda total del DAOM, por lo que en caso de mantenerse las condiciones, se producirán a futuro ahorros similares.

Por otra parte, de acuerdo a los términos de referencia de esta consultoría, los análisis deben apuntar al diseño de una solución fotovoltaica para la flota de vehículos. Por esta razón y pese a que la solución considera la línea base de todo el DAOM, a continuación se presentan de

manera referencial, la producción solar del proyecto del escenario 1, un carport de 15,6 kWp y son comparados con la demanda eléctrica de la flota de vehículos solares.

En la figura 17, se puede ver en barras azules la demanda teórica estimada en el punto 3.1.1, la cual es comparada con la producción solar del escenario 1, es decir un carport de 15,6kWp.

De la figura podemos concluir lo siguiente:

- La producción solar supera a la demanda durante 6 meses del año, generando excedentes de energía que son consumidos por el edificio DAOM, ya que la conexión se ha realizado directamente en el tablero general, cosa que no sucedería en caso de conectar directamente a la carga de vehículos, teniendo que vender estos excedentes a la red y recibiendo un valor entre 50 y 60% del valor que se paga por cada kWh.
- Por otro lado, durante otros 6 meses al año (abril-septiembre) el carport genera menos energía de la necesaria, por lo que se complementa con energía de la red.
- De manera anual, sumando las producciones solares de todos los meses, el carport logra abastecer un 100% de toda la energía necesaria (teóricamente) por la flota de vehículos (según mostrado en Figura 17).

Por otro lado, la figura 18 muestra la comparación de la producción de energía solar del diseño propuesto contra la demanda real de la flota, según los registros 2014 y el promedio de los datos para los últimos meses.

De la figura podemos observar los siguientes puntos:

- La producción solar genera más energía que la demandada por la flota durante todos los meses del año. Es decir, se genera energía que es consumida directamente en el DAOM, la cual puede ser valorada al mismo precio respecto el cual se compra a Chilectra. (A diferencia de aplicar net-billing, esta energía sería comprada a un valor inferior, aproximadamente un 50 o 60% del valor de compra.) De esta forma, al diseñar y utilizar la línea base de todo el DAOM, nos permite consumir la energía internamente y valorar cada kWh al precio de compra, sin realizar net-billing.
- Ahora, mirando las gráficas de manera anual, la producción solar del carport es un 88% superior a la demanda real de la flota. Con esto, tenemos que el carport propuesto va a abastecer el 100% de las necesidades de energía de la flota y además va a generar ahorros anuales aproximados de más de 10.000 kWh al DAOM, como se dijo valorados al mismo precio de compra.
- Finalmente, el tamaño del carport, superior un 88% a la demanda real, permite un crecimiento de la demanda de la flota para los próximos años, manteniendo el 100% de cobertura, hasta cuando la demanda supere la producción anual de 22.950 kWh/año.

Producción Solar 15,6 kWh v/s Demanda Teórica Flota

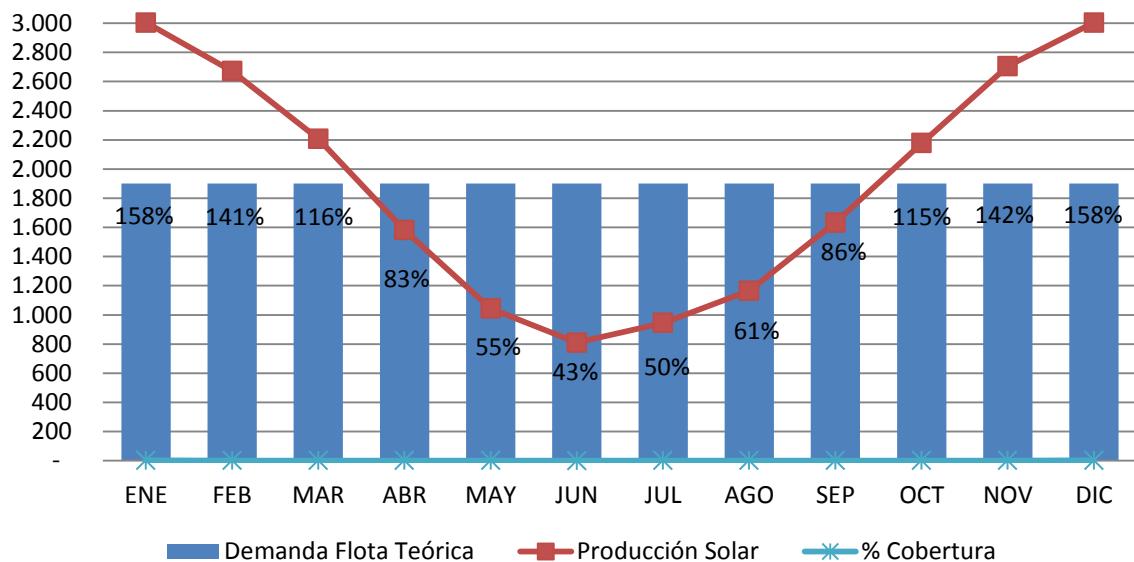


Figura 17. Producción mensual, demanda teórica de la flota y porcentaje de cobertura
Fuente: PV-Sol, Asesoría Deuman.

Producción Solar 15,6 kWh v/s Demanda Real Flota

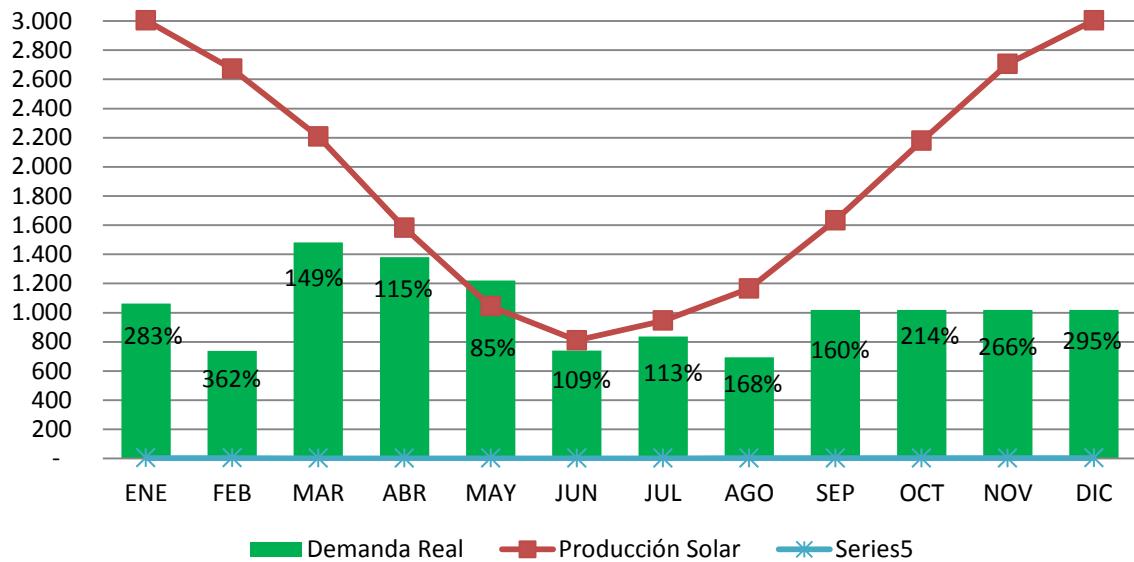


Figura 18. Producción mensual, demanda de energía real de la flota y porcentaje de cobertura
Fuente: PV-Sol, Asesoría Deuman.

5.3. Escenario 2: Autoconsumo sin generación de excedentes

Como segundo escenario de diseño se ha buscado realizar el proyecto de autoconsumo más grande posible, pero con la particularidad de no generar excedentes, esto quiere decir, toda la energía que se genere debe ser consumida, sin vender a la compañía eléctrica, por lo que no se utilizará el llamado procedimiento de Net-metering o net-billing. La razón es que dada la gran demanda del DAOM, se prefiere su consumo interno, que vender los excedentes a la red, logrando así una amortización más corta que vendiendo los excedentes (tarifa venta solamente 60% de tarifa compra).

Cabe destacar que este escenario queda fuera de los alcances de este estudio, pero como propuesta a futuro es una aproximación a un proyecto más importante. La principal problemática de esta alternativa es la ubicación de los paneles solares y estudios de análisis dinámicos de carga sobre el techo, ya que no existe lugar para ubicar dichos módulos solares, de lo contrario, se deberían ubicar frente a la fachada del edificio, sobre el techo u en otro lugar.

5.3.1. Dimensionar potencia y ubicación óptimas

Para determinar la potencia máxima a instalar debemos fijarnos en las curvas de generación de energía, diaria, mensual y anual, de manera de no generar excedentes de energía.

Es importante observar el perfil de demanda diario de energía, en cual se puede ver en la figura 4. Podemos notar que la fase 2, durante el día posee un consumo casi constante de 30 kWh.

Por otro lado, en la figura 19 se puede ver la producción solar diaria promedio para cada mes, en donde en los meses de máxima radiación, la producción solar no supera los 30kWh. Por lo tanto, un proyecto fotovoltaico de éstas características se ajusta a la demanda diaria de la figura 4.

El resultado de la figura 19 se obtiene de un proyecto de 35 kWp.

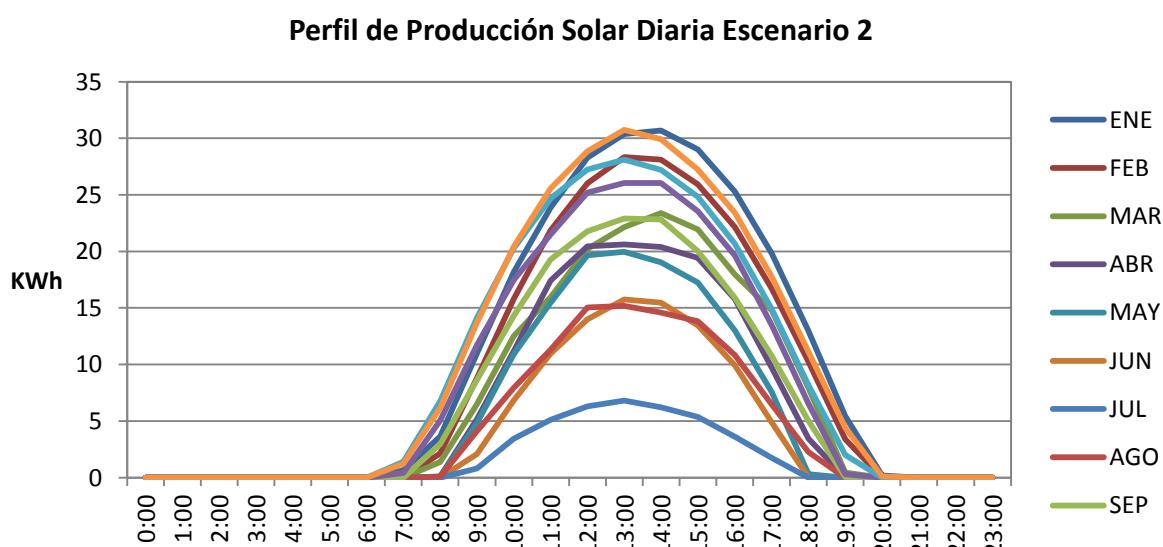


Figura 19. Producción diaria por mes de energía

Fuente: PV-Sol.

Como se dijo recientemente, la ubicación de los módulos solares para esta solución no está del todo definida, por un lado se cuenta con el diseño de un carport de 15,6 kWp, pero por otro lado se debe definir la ubicación para el resto de los módulos fotovoltaicos, correspondientes a 19,4 kWp.

5.3.2. Calcular perfil de producción solar anual

La siguiente figura, número 20, presenta la producción de energía para los meses a lo largo del año, comparándolo con la demanda de energía del DAOM y mostrando el porcentaje de cobertura respecto el mismo.

Demanda de energía mensual y producción solar del Escenario 2

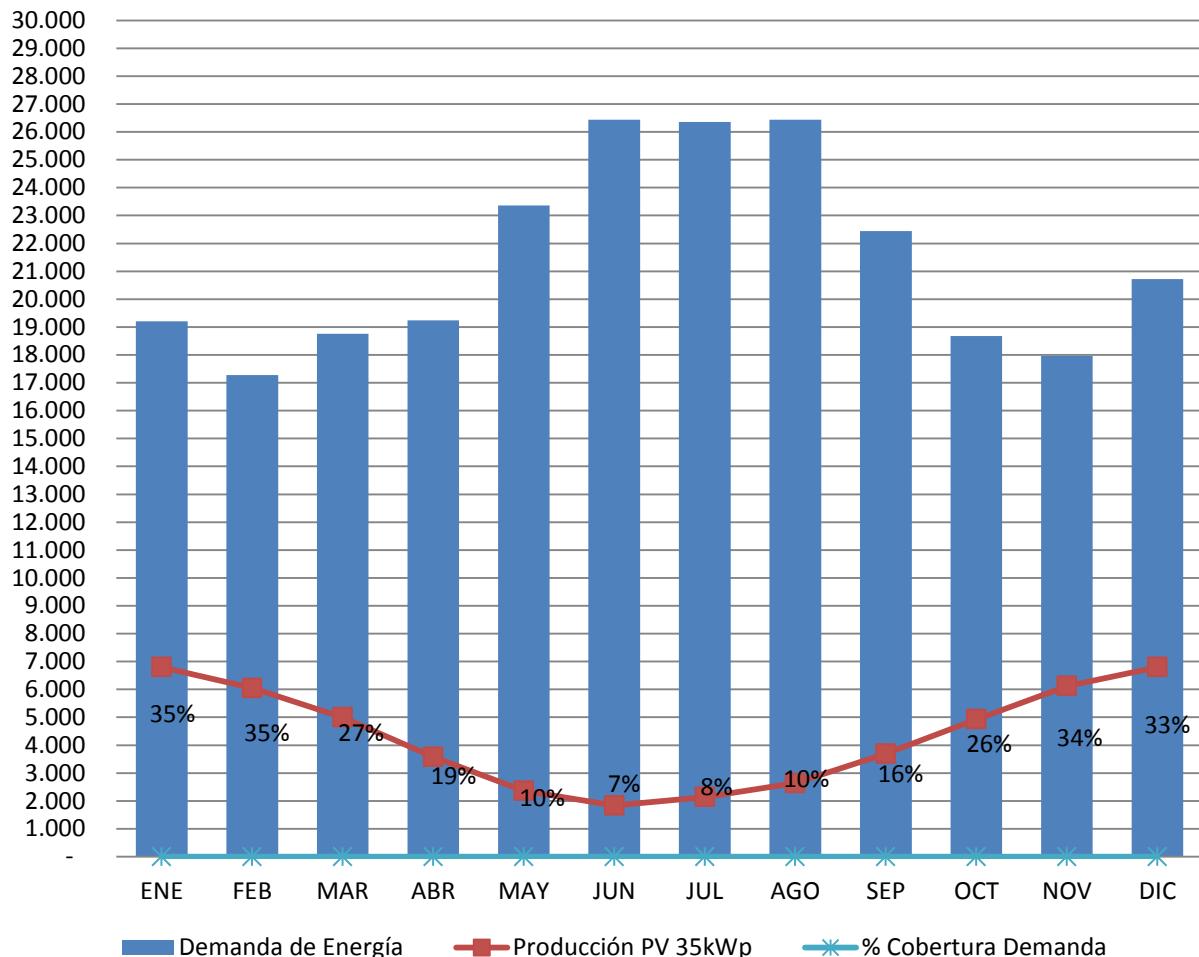


Figura 20. Producción mensual de energía para proyecto de 35kWp

Fuente: PV-Sol, Asesoría Deuman.

El proyecto propuesto de 35 kWp, no genera excedentes, por lo que la energía se va a consumir completamente al interior del DAOM. La energía generada anualmente corresponde aproximadamente a más de 51.000 kWh/año, por lo que logra abastecer un 20% de la demanda anual de energía del DAOM. Un proyecto como este, en un futuro va a generar ahorros equivalentes a un quinto del total de la demanda del DAOM, por lo que su impacto es totalmente interesante desde el punto de vista económico.

A continuación se presentan los análisis económicos para las dos alternativas propuestas.

6. Análisis económico

6.1. Escenario 1: Carport 15,6 kWp

El presente análisis económico se realiza bajo los siguientes supuestos, sin prejuicio de otros supuestos que se puedan presentar luego.

| | |
|---|-----------------------------|
| • Tamaño proyecto: | 15,6 kWp |
| • Factor de producción: | 1471 kWh/kWp |
| • Factor de Depreciación: | 0,95% |
| • Precio de la energía: | CLP 47,8 \$/kWh |
| • Aumento anual del precio de la energía: | 4% (por sobre la inflación) |
| • Costo llave en mano: | 2,35 USD/Wp |
| • Tasa de cambio: | \$593 |

El significado de cada uno de los supuestos es:

- **Tamaño[kWp]** : Capacidad total instalada en el proyecto, expresada en kWp (Kilo Watt Peak).
- **Factor de producción [kWh/kWp]**: La producción solar de la planta solar depende de variados parámetros, el resultado es este factor que nos indica cuanta energía se produce por unidad de potencia instalada.
- **Factor de Depreciación [%]**: Con el paso del tiempo la producción solar disminuye, debido al desgaste de los componentes. Este factor indica a cuanto decae la producción solar de un año a otro.
- **Precio de la Energía [CLP/kWp]**: Corresponde al precio de Chilectra por cada unidad de energía despacha al DAOM. Expresado en CLP por cada kWh.
- **Aumento Anual del Precio de la Energía [%]**: Hace referencia al aumento del precio de la energía, este se considera de un año respecto de otro.
- **Costo llave en mano [USD/Wp]**: Valor de la inversión expresado en USD por cada Wp instalado llave en mano.
- **Tasa de cambio**: valor del dólar en peso chileno.

6.1.1. Estimación de los costos de inversión y mantenimiento

Esta sección presenta los costos estimados de la compra, instalación y mantenimiento del carport.

El costo total de la instalación será aproximadamente de USD 36.637, incluyendo una contingencia de 10% (USD 3.331). El precio por Wp instalado llave en mano, considerando el carport corresponde a 2,35 USD/Wp.

El precio total se compone de los siguientes ítems:

1. *Paneles Solares*

Para estimar un costo para comprar los paneles solares, hemos usado la asunción de USD\$0,7 por Watt (CLP\$416/W). Para un sistema de 15,6kW, esto representa un costo aproximado de USD 10.920. En general, paneles solares vienen con una garantía de entre 25 y 30 años.

2. Estructura del carport

La estructura del carport incluye la estructura de metal que apoyará los paneles solares, más los montajes para fijar los paneles a la estructura. El precio de la estructura en la cotización de Schletter es de USD 7.020 (EUR5.630,56). Este precio no incluye las fundaciones, cables, o inversor. La cotización de Schletter para la estructura del carport viene con una garantía de 10 años.

Schletter es diseñador y fabricante de montajes de sistemas solares basada en Kirchdorf, Alemania. La cotización entregado por Schletter para su carport Park@Sol, más accesorios, es en Euros, y se convirtieron en USD para incluir en este informe.

3. Paneles Sofit

Los paneles Sofit son paneles que se instalan debajo de los paneles solares en un carport de Schletter. Son recomendados por Schletter para asegurar que la precipitación fluya hacia las canaletas. Sin los paneles Sofit, la precipitación simplemente caería a través de los espacios entre los paneles. El precio de los paneles Sofit en la cotización de Schletter es de USD 4.056 (EUR3.286,90). Estos vienen con una garantía de 10 años.

Se estima que será posible y económicamente más atractivo buscar una solución o material local para realizar esta solución.

4. Canaletas

Se recomienda incluir canaletas para desaguar la precipitación del carport. El precio de las canaletas en la cotización de Schletter es de USD 1.170 (EUR 936,60).

5. Inversor

El sistema requerirá un inversor monofásico, con una potencia nominal de 15kW, y una tensión nominal de 220V. Este inversor permitirá que las baterías de los vehículos se cargan con corriente alterna, y que el sistema del carport se conecte a la red por el caso en que los vehículos se carguen durante las horas de la noche. El diseño fotovoltaico ha utilizado 4 inversores Diehl AKO Platinum de 4,1kW modelo 4300 TL, con 15 años de garantía, su precio es de USD 4.680. El datasheet de este producto está incluido en los apéndices.

6. Cableado

El costo de cableado para el sistema se base en las asunción de >20m de cableado. Eso viene a un costo de aproximado de USD 936, que incluye conduit, protecciones, fijaciones, enchufes y otros materiales necesarios.

7. Fundaciones de hormigón

El costo de las fundaciones se base en usar en total 10m³ de hormigón armado a un precio de aproximado de USD 1.404 incluyendo fabricación en Chile. Este precio se base en fundaciones que se ubican sobre la superficie del estacionamiento existente. La cantidad de hormigón armado se base en el diseño entregado por Schletter (véase apéndices).

8. Mano de Obra

El costo de mano de obra se base en la asunción de usar un experto con un costo de 15UF/día por 4 días, y dos ayudantes a un costo de 5UF/día por 4 días. El costo total de mano de obra para la instalación del carport será aproximadamente USD 3.120.

9. Ítems Opcionales

Schletter ofrece un equipo que se llama P-Charge, que es un módulo que contiene hasta 4 enchufes, más una pantalla digital, a un costo de USD 4.700 por módulo. Se activa con una tarjeta RFID (Radio Frequency Identification, o Identificación de frecuencia de radio), que vale USD 0,26 por tarjeta. El montaje del P-Charge cuesta USD 170, y se recomienda instalar un sello de conexión (para evitar el ingreso de agua) a un costo de USD 44 por sello. El costo total de instalación no incluye estos ítems adicionales opcionales.

10. Seguro durante construcción

El seguro de la estructura está fuera del alcance de este informe.

11. Costos de operación y mantención

La operación del sistema del carport se puede hacer por una consultora en energías renovables que analizará los datos de generación de los paneles solares, y crear un informe en el funcionamiento del sistema comparado al funcionamiento estimado en el diseño. Esto se puede realizar a un costo de aproximado de USD 390 al año, basado en el análisis de los datos y la creación de dos informes cada año.

Los paneles deben ser limpiados por lo menos 3 veces al año. El costo de la limpieza de los paneles será de aproximado de USD 125 al año.

12. Seguro durante operación

El seguro de la estructura está fuera del alcance de este informe.

13. Costos de Compra e Instalación del Carport

En los casos en que no se indica la fuente del precio, los montos presentados en esta sección se basen en la experiencia de la Consultora.

14. Tasas de Cambio

Los precios presentados se calcularon usando las siguientes tasas de cambio y valores, validos en la fecha 25 de noviembre de 2014:

- EUR/CLP = 1/ 740,7078 (http://www.finanzen.net/waehrungsrechner/euro_chilenischer-peso)
- USD/CLP = 1/593,31 (<http://www.sii.cl/pagina/valores/dolar/dolar2014.htm>)

6.1.2. Resumen de costos

En la figura 21, muestra un cuadro resumen de todos los costos.

| COSTOS CARPORT 15,6 kWp | | | |
|-------------------------|-------|--------------|------------------|
| Item | Wp | Costo USD/Wp | Total USD |
| Módulos Solares | 15600 | 0,70 | \$ 10.920 |
| Estructura Carport | 15600 | 0,45 | \$ 7.020 |
| Paneles Sofit | 15600 | 0,26 | \$ 4.056 |
| Canaletas | 15600 | 0,08 | \$ 1.170 |
| Inversor Platinum | 15600 | 0,30 | \$ 4.680 |
| Cableado | 15600 | 0,06 | \$ 936 |
| Fundaciones de hormigón | 15600 | 0,09 | \$ 1.404 |
| Mano de obra | 15600 | 0,20 | \$ 3.120 |
| | | TOTAL | \$ 33.306 |
| Contingencias | | 10% | \$ 3.331 |
| | | TOTAL | \$ 36.637 |
| | | USD/Wp | 2,35 |

| MANTENIMIENTO ANUAL CARPORT 15,6 kWp | | | |
|--------------------------------------|-------|--------------|---------------|
| Item | Wp | Costo USD/Wp | Total USD |
| Limpieza | 15600 | 0,008 | \$ 125 |
| Análisis datos + Inspección Técnica | 15600 | 0,025 | \$ 390 |
| | | TOTAL | \$ 515 |

USD/Wp 0,03

| RENOVACIÓN AÑO 15 - INVERSORES | | | |
|--------------------------------|-------|--------------|-----------------|
| Item | Wp | Costo USD/Wp | Total USD |
| Inversor Platinum | 15600 | 0,30 | \$ 4.680 |
| Cableado | 15600 | 0,02 | \$ 312 |
| Mano de obra | 15600 | 0,10 | \$ 1.560 |
| | | TOTAL | \$ 6.552 |

USD/Wp \$ 0,42

Figura 21. Tablas resumen de costos del carport de 15,6 kWp.

Fuente: LAER.

Los costos de mantención de expresados como costo anual.

6.1.3. Producción de Energía – Ahorros

En la figura 22 se puede ver un cuadro resumen con la producción de energía, precio por kWh y ahorros producidos para los 25 años de análisis económico.

| AÑO | CLP/kWh | kWh | CLP/año |
|--------|---------|--------|--------------|
| Año 1 | 47,8 | 22.948 | \$ 1.096.895 |
| Año 2 | 49,7 | 22.730 | \$ 1.129.934 |
| Año 3 | 51,7 | 22.514 | \$ 1.163.967 |
| Año 4 | 53,8 | 22.300 | \$ 1.199.026 |
| Año 5 | 55,9 | 22.088 | \$ 1.235.141 |
| Año 6 | 58,2 | 21.878 | \$ 1.272.343 |
| Año 7 | 60,5 | 21.670 | \$ 1.310.666 |
| Año 8 | 62,9 | 21.464 | \$ 1.350.143 |
| Año 9 | 65,4 | 21.260 | \$ 1.390.810 |
| Año 10 | 68,0 | 21.059 | \$ 1.432.701 |
| Año 11 | 70,8 | 20.858 | \$ 1.475.854 |
| Año 12 | 73,6 | 20.660 | \$ 1.520.307 |
| Año 13 | 76,5 | 20.464 | \$ 1.566.098 |
| Año 14 | 79,6 | 20.270 | \$ 1.613.269 |
| Año 15 | 82,8 | 20.077 | \$ 1.661.861 |
| Año 16 | 86,1 | 19.886 | \$ 1.711.916 |
| Año 17 | 89,5 | 19.697 | \$ 1.763.479 |
| Año 18 | 93,1 | 19.510 | \$ 1.816.595 |
| Año 19 | 96,8 | 19.325 | \$ 1.871.311 |
| Año 20 | 100,7 | 19.141 | \$ 1.927.675 |
| Año 21 | 104,7 | 18.959 | \$ 1.985.736 |
| Año 22 | 108,9 | 18.779 | \$ 2.045.547 |
| Año 23 | 113,3 | 18.601 | \$ 2.107.158 |
| Año 24 | 117,8 | 18.424 | \$ 2.170.626 |
| Año 25 | 122,5 | 18.249 | \$ 2.236.005 |

Figura 22. Tablas resumen de producción y ahorros del carport de 15,6 kWp.

Fuente: LAER.

6.1.4. Indicadores económicos

Como resultado final del análisis económico de este proyecto, tenemos los siguientes indicadores económicos:

VAN: \$-10.975.075 CLP

TIR: 1,92 %

PRI: 21,3 años.

La tasa utilizada para el VAN es del 8%. Por otro lado, el proyecto genera ingresos por un total de \$28.537.817 CLP, lo que equivale a que el proyecto se paga 1,3 veces.

Cabe destacar que el proyecto se considera con una vida útil de 30 años, dado que se realiza un cambio de inversores al año 15.

6.1.5. Análisis de sensibilidad

A continuación y para finalizar el análisis económico, se presenta un análisis de sensibilidad respecto las tres variables más importantes para un proyecto fotovoltaico. Éstas son:

- **Precio de la energía:** Es decir, en cuanto valoramos cada kWh generado y corresponde al precio que se paga a Chilectra.
- **Factor de producción:** Depende de la radiación solar y la ingeniería del proyecto.
- **Costo del proyecto:** Depende del precio final pagado por el sistema llave en mano.

La siguiente tabla, de la figura 22, resume los resultados del análisis de sensibilidad, mirando lo que sucede con éstas tres variables, modificando levemente sus valores una a una. Luego, las figuras 23, 24 y 25 muestran las gráficas para cada una de éstas tablas. Los montos destacados de color verde en las tablas debajo marcan la presente situación.

| Sensibilidad al Precio de la Energía [CLP/kWh] | | | | | | | | |
|--|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| | 37,8 | 47,8 | 57,8 | 67,8 | 77,8 | 87,8 | 97,8 | 107,8 |
| VAN USD | -\$ 14.165.008 | -\$ 10.975.075 | -\$ 7.785.141 | -\$ 4.595.207 | -\$ 1.405.274 | \$ 1.784.660 | \$ 4.974.494 | \$ 8.164.527 |
| TIR % | -0,50% | 1,92% | 2,94% | 5,71% | 7,33% | 8,83% | 10,24% | 11,58% |
| PRI (años) | 25,9 | 21,3 | 18 | 14,3 | 12 | 10,7 | 9,6 | 8,8 |

| Sensibilidad al Factor de Producción [MWh/MWp] | | | | | |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| | 1350 | 1400 | 1471 | 1500 | 1600 |
| VAN USD | -\$ 12.229.319 | -\$ 11.711.036 | -\$ 10.975.075 | -\$ 10.674.470 | -\$ 9.637.905 |
| TIR % | 1,03% | 1,40% | 1,92% | 2,12% | 2,80% |
| PRI (años) | 22,8 | 22,2 | 21,3 | 20,8 | 19,8 |

| Sensibilidad al Costo [USD/Wp] | | | | | |
|--------------------------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
| | 2,00 | 2,20 | 2,35 | 2,50 | 2,70 |
| VAN USD | -\$ 7.737.295 | -\$ 9.587.455 | -\$ 10.975.075 | -\$ 12.362.695 | -\$ 14.212.855 |
| TIR % | 3,15% | 2,41% | 1,92% | 1,46% | 0,92% |
| PRI (años) | 19,4 | 20,5 | 21,3 | 22,1 | 23,1 |

Figura 22. Tablas resumen análisis de sensibilidad carport 15,6 kWp.

Fuente: LAER.

Sensibilidad al Precio de la Energía [CLP/KWh]

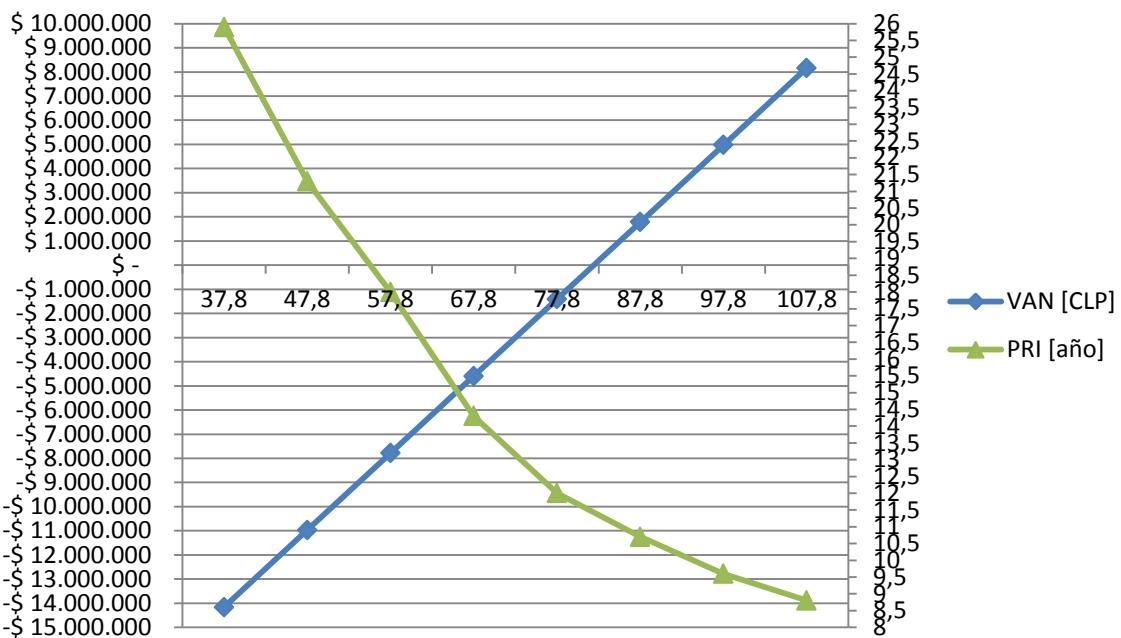


Figura 23. Sensibilidad respecto el precio de la energía.

Fuente: LAER.

Sensibilidad al Factor de Producción [kWh/kWp]

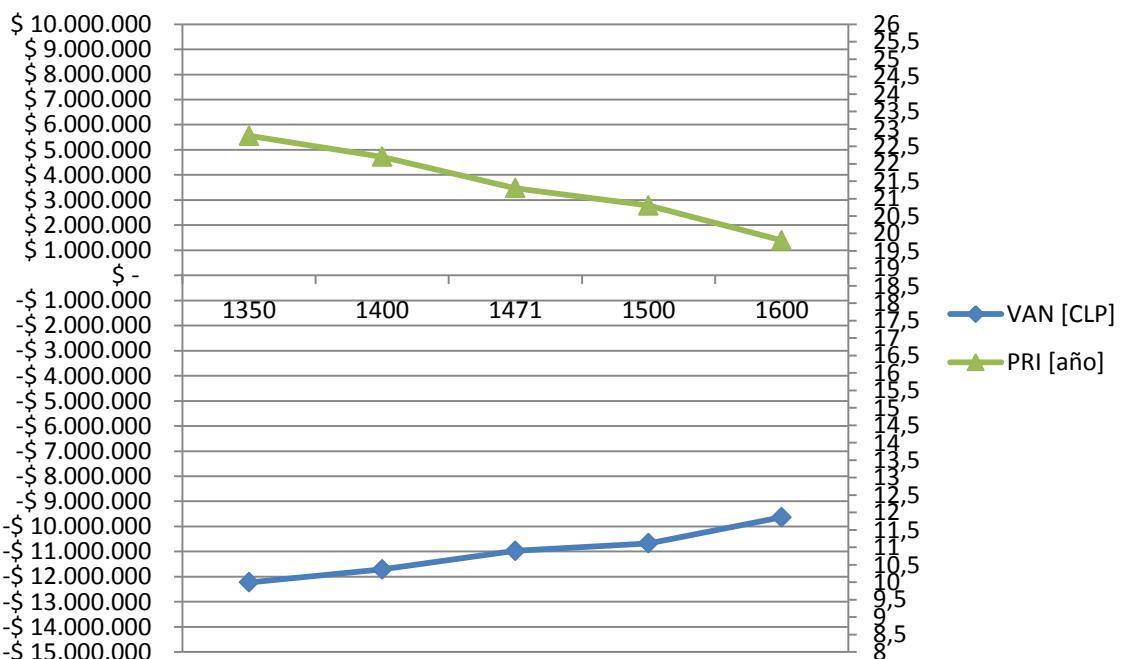


Figura 24. Sensibilidad respecto a el factor de producción.

Fuente: LAER.

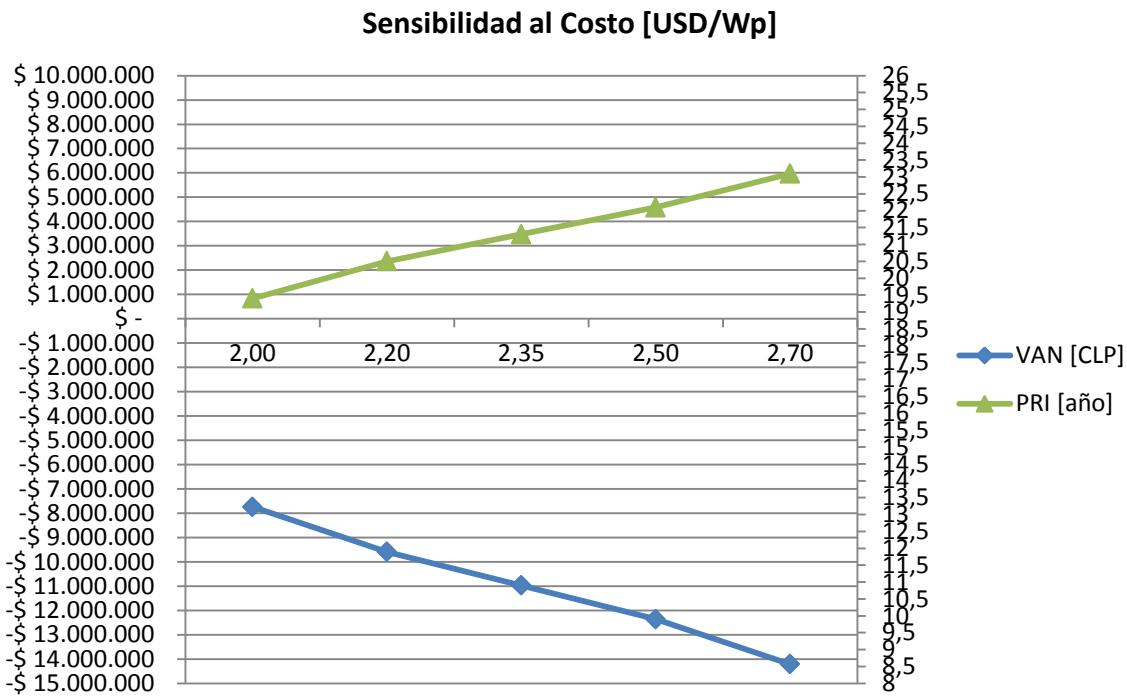


Figura 25. Sensibilidad respecto el costo.

Fuente: LAER.

De las tres gráficas de sensibilidad podemos realizar las siguientes observaciones:

- El factor de producción es la variable que menos incide en el resultado del análisis económico, modificando éste no produce grandes variaciones en el VAN y PRI. Esto se puede ver también por su pendiente, la menor entre las 3 curvas de sensibilidad. La estimación de la radiación y la ingeniería fotovoltaica son importantes para el resultado del proyecto, sin lugar a dudas, pero comparativamente a las otras variables, es de menor influencia.
- Por otro lado, el costo de la instalación del proyecto, posee una pendiente un poco mayor, pero por mucho que baje el precio, no se logra un VAN positivo, ni mucho menos bajar el retorno de la inversión de los 19 años. Nuevamente nos encontramos con una variable importante para el diseño y análisis económico, pero de menor importancia comparativa al mirar el precio de la energía.

Finalmente, mirando la figura 23, podemos ver la sensibilidad al precio de la energía, sin duda la variable más importante para la economía de un proyecto. Podemos ver que para valores iguales y mayores a 95 \$/kWh obtenemos un retorno de la inversión inferior a 10 años, con un VAN por sobre los 4 millones de pesos y una TIR de 9,85%. El precio a recibir por la energía es sumamente importante, por esta razón se prefiere un proyecto de autoconsumo sin excedentes y se prefiere el consumo interno que la venta a la red. Según lo que ya se ha mencionado anteriormente, la tarifa de venta del excedente de energía es inferior que el valor de compra.

7. Conclusiones y próximos pasos

7.1. Resumen final

Este informe presenta el análisis del diseño de un sistema de generación de energía fotovoltaica para un edificio operativo de la Municipalidad de Providencia. El sistema consiste de un carport que se ubicará en el estacionamiento existente del edificio, y que se usará para generar la energía utilizada para cargar 12 vehículos eléctricos que se utilizan por la Municipalidad durante el día, de forma eventual. Estos vehículos son marca Piaggio, modelo Porter, con motor eléctrico de potencia 10,5kW.

El perfil de uso de electricidad del edificio fue entregado a la Consultora por la Municipalidad de Providencia en un informe de auditoría de la empresa Deuman, y un perfil de consumo diario, mensual y anual ha sido extraído. Para los años 2011, 2012 y 2013, los consumos eléctricos de energía han sido 226.320, 253.680 y 290.640 kWh, respectivamente. La tarificación vigente del edificio corresponde a BT 4.3 con una potencia contratada de 287 kW.

El nivel de radiación solar en el sitio ha sido determinado usando un informe denominado “Reporte Solar” creado por el Explorador Solar del Ministerio de Energía, y con datos del base de datos del software MeteoSyn. El software PV-Sol se ha utilizado para calcular el rendimiento potencial de los paneles solares de un sistema de 15,6kWp. Un sistema de este tamaño producirá cerca de 22.977kWh por año, con un factor de producción de 1.471 kWh/kWp, lo que corresponde a la producción del 9% de la demanda eléctrica total del edificio.

Por otro lado, el proyecto fotovoltaico que suministra toda la energía necesaria anualmente por la flota de vehículos, correspondiente a 12.500 kWh/año, debería poseer una capacidad de 8,5 kWp. El sistema de 15,6kWp, que producirá cerca de 22.977kWh por año, proveerá la demanda de 100% de la flota.

El diseño del carport de 15,6kWp, correspondiente a un arreglo de 104 módulos solares, en 4 columnas de 26 paneles, que se ubicará en el estacionamiento existente del edificio. Las dimensiones del carport son de 18m x 6m. La entrada del carport tiene una altura de 2m, y una inclinación de 15 grados. En los apéndices se muestra un diagrama general del diseño de un carport de Schletter, un diseñador y fabricante alemán de estructuras de carport.

El costo de la construcción del carport y la compra de los materiales necesarios, está estimado en un total de USD 36.637. Esto incluye una contingencia de un 10%. Este costo incluye el costo de los paneles solares de aproximadamente USD 10.920 (US 0,7 por Watt), un costo de USD 7.020 para la estructura, USD 4.680 para el inversor trifásico de 15kW, un costo de USD 3.120 para mano de obra más otros costos. Estos costos se basan en una cotización de Schletter para la estructura del carport y en la experiencia de la Consultora. Basado en el carport de 15,4 kWp presentado en este informe, un aumento anual del precio de energía en un 4,0% y aplicando un período de 15 años de depreciación, el valor TIR del proyecto será de un 1,92%. Detalles de los costos de inversión y el análisis económico de este proyecto se pueden encontrar en la sección 6 de este informe.

Cabe destacar que podría resultar más económico fabricar el soporte/la estructura localmente en una maestranza en Santiago. Sin embargo, la economía de la inversión depende en primera

instancia de la tarifa eléctrica. Dado que es baja, resulta una inversión económicamente poco atractiva.

7.2. Línea de trabajo a futuro

Se recomienda que para seguir con la construcción del carport presentado en este informe, un diseño detallado debe ser llevado a cabo, y costos exactos de la instalación y mantención se deben analizar.

En el caso en que se desee un proyecto de mayor tamaño, por ejemplo la alternativa de 35kWp presentado en la sección 5.2 de este informe (Escenario 2: Autoconsumo sin generación de excedentes), es recomendable ejecutar un estudio de pre-factibilidad de esta solución. En comparación a un carport de 15kWp, un sistema de 35kWp implicará un área de superficie más grande. El área de 18m x 6m utilizado por el diseño del carport de 15kWp fue elegido porque cumple con los requerimientos listados en la sección 4.1 de este informe. Para construir un sistema de mayor tamaño, se puede analizar el uso de parte del techo del edificio, ya que el resto del área de estacionamiento, según el estudio presente, no cumple con los requerimientos anteriormente mencionados. Es probable que un estudio de pre-factibilidad de un sistema de 35kWp deberá incluir un estudio estructural del techo del edificio, para asegurar que la estructura pueda sostener el peso de los paneles solares.