

Estudio de Pre factibilidad

Diseño de planta fotovoltaica
Palacio La Moneda

Ministerio de Energía

INFORME PRE FACTIBILIDAD

Rev. B

Ministerio de Energía
Enero de 2016



Programa Techos Solares Públicos
División Energías Renovables
Ministerio de Energía
Gobierno de Chile

Elaborado por: Daniel Menares Schaub	Cargo: Profesional PTSP	Firma	Fecha: 15-01-16
Revisado por: Guillermo Soto Olea	Cargo: Jefe PTSP	Firma	Fecha: 21-01-16
Aprobado por: Christian Santana Oyarzún	Cargo: Jefe DER - PTSP	Firma	Fecha: 22-01-06

Contenido

1. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA	4
1.1 ANTECEDENTES GENERALES Y CONTEXTO	4
1.2 OBJETIVO DE DOCUMENTO	4
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
2. INFORMACIÓN UTILIZADA	5
3. NORMAS APLICABLES	6
4. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO.....	7
4.1 DATOS GENERALES DEL INMUEBLE	7
4.2 SUPERFICIE DISPONIBLE, CARACTERÍSTICAS GENERALES Y RESTRICCIONES	8
4.3 SOMBRAS	11
4.3 ASPECTOS DE SEGURIDAD Y ACCESOS.....	12
5. SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	13
5.1 COMPONENTES PRINCIPALES DEL SISTEMA.....	13
6. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	19
6.1 VERIFICACIÓN DEL CONSUMO INTERNO.....	19
6.2 PRODUCCIÓN ESTIMADA DE ENERGÍA (SIMULACIÓN)	19
7. SISTEMA ELÉCTRICO.....	21
7.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO	21
7.2 ESTADO DE TABLEROS Y PUNTO DE CONEXIÓN	22
7.3 SISTEMAS DE PROTECCIÓN CA / CC.	24
7.4 CANALIZACIÓN CC/CA (SECCIÓN ESTIMADA, DISTANCIAS Y CAÍDAS DE TENSIÓN).....	24
8. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	25
9. ASPECTOS ECONÓMICOS	26
8.1 AHORROS ESTIMADOS	26
10. CONCLUSIONES.....	27

1. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA

1.1 Antecedentes generales y contexto

Los desafíos de Chile en materia energética son disponer de energía que sea confiable, sustentable y a precios razonables como una condición necesaria para el crecimiento, desarrollo económico y para avanzar en una mayor inclusión social.

Para estos fines, el Gobierno ha elaborado la Agenda de Energía, la cual esgrime líneas de acción a ser implementadas en el corto, mediano y largo plazo, a través de siete ejes estratégicos. Entre ellos, se considera el Eje 3: Desarrollo de recursos energéticos propios, el cual considera entre sus líneas de acción la promoción del desarrollo de un mercado ERNC de autoconsumo, socialmente eficiente y transversal a todos los actores económicos. Una de las medidas de esta línea de acción es la promoción de energía fotovoltaica, la cual se contempla desarrollar a través de cuatro iniciativas:

- La implementación de mecanismos de apoyo al financiamiento para la adquisición de sistemas fotovoltaicos dirigidos a la micro y pequeña empresa
- La creación de una unidad especializada de fiscalización de sistemas de autogeneración
- La implementación de sistemas de información para micro, pequeñas empresas y comunidad en general que apoye la evaluación de la viabilidad técnica y económica de aplicaciones fotovoltaica, y
- La implementación del Programa de Techos Solares Públicos (PTSP)

El presente documento describe y analiza la factibilidad del Proyecto “*Sistema Fotovoltáico Palacio La Moneda*”, así como el funcionamiento de un sistema fotovoltaico, especificando componentes principales y puesta en operación. Además, se entrega una propuesta de disposición de módulos fotovoltaicos a instalar en la techumbre seleccionada, una simulación de la producción de energía generada y su ahorro asociado.

1.2 Objetivo de documento

Elaborar un estudio de pre factibilidad técnica para la implementación y puesta en operación de un sistema fotovoltaico en el edificio Palacio La Moneda para auto consumo conectado a la red de distribución eléctrica en el marco del Programa Techos Solares Públicos.

1.3 Objetivos específicos

- Evaluar la factibilidad técnica de instalar un sistema fotovoltaico en la techumbre del edificio sector sur del Palacio La Moneda.
- Especificar los componentes de un sistema fotovoltaico instalado en la superficie seleccionada.
- Diseñar el sistema fotovoltaico, la disposición de equipos, la producción esperada de energía y los ahorros estimados.

- Describir el funcionamiento de un sistema fotovoltaico instalado sobre techo seleccionada y cómo éste se integra al sistema eléctrico existente
- Recomendar desde el punto de vista técnico la viabilidad de ejecutar el proyecto, describiendo el proceso de construcción, puesta en operación y vida útil.

2. Información utilizada

A continuación se listan las actividades realizadas por los profesionales del PTSP y los documentos utilizados para la confección de este informe, los cuales también pueden ser entregados al adjudicatario de la licitación para mejor entendimiento y ejecución del proyecto:

- Registro de consumos eléctricos año 2014 a mayo 2015
- Datos de empalmes eléctricos
- Planos eléctricos

Además de la información disponible, se realizó un levantamiento en terreno del sistema eléctrico y las superficies útiles en techumbre. El resultado en la siguiente tabla:

Información recopilada			
Ficha básica	Sí <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>		
Facturas y/o boletas de consumo eléctrico	Sí <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>		
Visita técnica	Sí <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Fecha 1° visita	27 de mayo de 2015
Visita técnica			01-11-2015
Declaración TE1	Sí <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>		
Otros documentos	Informe de pre-factibilidad de la empresa Chilectra		
Planos			
	Digital (CAD)	No digital	Observación
Planos Eléctricos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Planos de cubierta	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Durante las visitas a Palacio, se realizaron levantamientos de información en terreno y registros fotográficos para identificar materialidad y características constructivas. Estas actividades de inspección fueron guiadas por especialistas de mantenimiento de La Moneda.
Planos de estructura	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Durante las visitas a Palacio, se realizaron levantamientos de información en terreno y registros fotográficos para identificar materialidad y características constructivas. Estas actividades de inspección fueron guiadas por especialistas de mantenimiento de La Moneda.

3. Normas aplicables

La normativa consultada y aplicada en este análisis de pre factibilidad corresponde a la utilizada por la industria fotovoltaica nacional y la regulación y normas eléctricas Chilena para baja y media tensión. Las normas consultadas fueron:

- a) D.S. N°71 Reglamento de la Ley N° 20.571, que regula el pago de las tarifas eléctricas de las generadoras residenciales.
- b) Procedimiento de comunicación de puesta en servicio de generadoras residenciales RGR N°1/2014.
- c) Instructivo diseño y ejecución de las instalaciones fotovoltaicas conectadas a red, RGR N° 02/2014.
- d) Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio, y Norma Chilena Eléctrica 4/2003 para Instalaciones de consumo en baja tensión
- e) Instrucciones y Resoluciones de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC), contenidas en sus normas técnicas y otros documentos oficiales.
- f) Decreto Supremo No 327, del Ministerio de Minería, de 1997: Reglamento de la ley General de Servicios eléctricos y sus modificaciones posteriores
- g) Diseño Estructural – Cargas de viento NCh.432-2010
- h) Diseño Sísmico de Edificios NCh.433-1996 Mod 2009
- i) Diseño Estructural –Cargas de Nieve Nch.431-2010
- j) Materiales a utilizar para construcción de estructuras de soporte, en general

normas del Instituto Nacional de Normalización (INN).

4. Información general del proyecto

4.1 Datos generales del inmueble

A continuación se encuentran los datos generales del inmueble.

DATOS DEL INMUEBLE			
Institución pública responsable		Gobierno de Chile	
Identificación del Inmueble		Palacio la Moneda	
Cantidad de pisos		2	
Antigüedad del edificio		Reapertura y restauración del Palacio año 1986	
Reformas previstas		Normalización estructura eléctrica	
Dirección	Moneda S/N		
Región	Metropolitana	Comuna	Santiago Centro
Coordenadas geográficas		-33.44°, -70.65°	

Las siguientes ilustraciones muestran la fachada norte del Palacio y la ubicación de referencia.



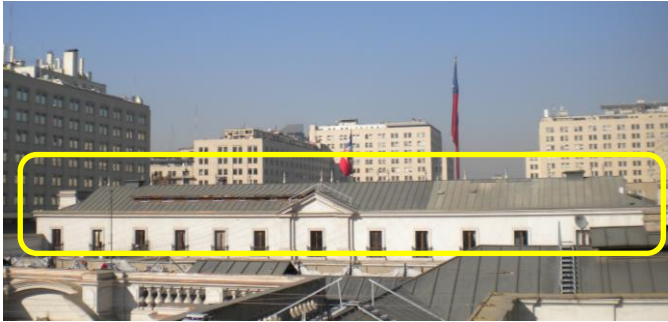

Ilustración - Fachada Palacio La Moneda



Ilustración - Ubicación del edificio por Google Earth

4.2 Superficie disponible, características generales y restricciones

Considerando las características propias constructivas del edificio, es necesario implementar una solución fotovoltaica, acorde a las características físicas del inmueble tomando en cuenta factores principalmente constructivos, operacionales y geográficos. A continuación se resume el análisis de la superficie seleccionada para el montaje de un sistema fotovoltaico.

SUPERFICIE DISPONIBLE			
Lugar seleccionado	Techo agua norte del ala sur del Palacio		
			
Justificación	Cubierta libre de sombras con orientación norte. En la primera visita a Palacio, Se verificó que la cubierta se encuentra en buen estado y que además existe un punto de conexión -tablero eléctrico- en el entretecho del edificio, distante unos 30 metros de la cubierta, el cual cumple con la potencia y condiciones requeridas para inyectar la energía generada.		
			
Orientación	Norte	Inclinación	20°
Elementos dentro del área seleccionada que hay que retirar o relocalizar:		Relocalizar la línea de vida	
Área bruta disponible		160 m ²	
Material de la cubierta		Zinc Alum	

Antigüedad de la cubierta	5 años
Material de la estructura	Vigas de madera
Antigüedad de la estructura	5 años
¿Deterioro?	Sí <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>
Tipo de deterioro	Ninguno
¿Filtraciones?	Sí <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>
Lugar filtraciones	

Obs: El entretecho del ala sur es espacioso y permite el tránsito a través de mismo. Una parte de este entretecho, actualmente tiene un uso alternativo como espacio de recambio de la guardia de Palacio. Sin embargo, este uso no implica interferencias en el proceso de montaje del sistema eléctrico asociado a la planta fotovoltaica.

A continuación se muestran dos (2) fotografías del techo del ala sur, orientación norte. La primera foto tomada desde el oriente y la segunda mostrada desde el poniente.



Ilustración – Foto de la superficie norte lado poniente



Ilustración – Foto de la superficie orientación lado oriente

Como se observa en las fotografías superiores, la superficie seleccionada no presenta elementos que interferirían con la instalación del campo fotovoltaico ni tampoco se observa deterioro en la techumbre. Durante la instalación de las estructuras de soporte de los paneles fotovoltaicos, se debe prestar atención a lo siguiente:

- Que las estructuras sean ancladas a las cerchas y costaneras del techo.
- Que el sistema de impermeabilización a utilizar asegure la estanqueidad del tejado.
- Que exista una adecuada distribución (homogénea) de los paneles sobre la cubierta
- Que las canalizaciones se proyecten considerando el menor recorrido posible.

4.3 Sombras

En el área seleccionada del techado, donde se instalará el sistema fotovoltaico en cuestión, no presenta sombras que puedan afectar la radiación incidente y en consecuencia la producción de energía del campo fotovoltaico. Este es uno de los factores críticos en el diseño de éste tipo de sistemas de generación, ya que el efecto de sombras sobre un panel o parte de su conjunto de paneles, también llamados “*string*”, podrían afectar la integridad de estos, dañándolos y produciendo la desconexión del sistema fotovoltaico, reduciendo considerablemente la producción de energía eléctrica estimada y la vida útil del sistema.

SOMBRAS A TENER EN CUENTA EN EL DISEÑO DEL SISTEMA FV

Internas	Zona centro de la cubierta (menores)
Externas	Edificios del lado oriente y poniente. Obras Públicas y Contraloría respectivamente.
Espacio libre a bordes	0.5 cm

4.3 Aspectos de seguridad y accesos.

A continuación se describen los elementos necesarios para implementar un sistema fotovoltaico en este tipo de lugares, como medidas mínimas necesarias tanto de seguridad, propios de la ejecución de obra como para desarrollar labores de mantenimiento post entrega de la instalación de los sistemas fotovoltaicos.

ACCESO Y TRANSITO ACTUAL		
Forma de acceso	A través del entretecho	
Forma de transito	Sobre cubierta	
¿Es posible el tránsito para una visita a terreno?	Sí <input type="checkbox"/>	No <input checked="" type="checkbox"/>

Los siguientes elementos se deberán considerar dentro del proyecto para garantizar un montaje correcto y posterior mantenimiento de la planta fotovoltaica, minimizando el riesgo de accidente y/o daño a las instalaciones. Así, las medidas de seguridad a implementar antes del montaje de los sistemas en la techumbre e intervención del sistema eléctrico serán:

MEDIDAS DE SEGURIDAD A IMPLEMENTAR	
Cuerda de vida y soportes.	Sí <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Estos se deberán instalar a lo largo de la cumbrera del techo elegido y en la parte baja del mismo.
Barandas	Sí <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> A la salida del entretecho del edificio, lado poniente
Piso técnico	Sí <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Escalerilla para acceder a la cumbrera y pasillo técnico que permita el tránsito de personas por la parte baja del techo, para facilitar las labores de mantenimiento.
¿Otras medidas?	Aterrizar la cubierta de cobre. Lugar para puesta a tierra: patio de los naranjos

El Consejo de Monumentos Nacionales recomienda que la estructura del pasillo técnico sea opaca que no genere brillo excesivo.

5. Sistema fotovoltaico

5.1 Componentes principales del sistema

A continuación se muestran y describen algunas características y criterios de los componentes principales de un sistema fotovoltaico, a saber, módulos e inversores. También se describe en este punto, el tipo de estructura de soporte de los módulos fotovoltaicos a instalar y sus sistemas de fijación a la estructura del techo.

5.1.1 Módulos

Los módulos fotovoltaicos están formados por un conjunto de células fotovoltaicas que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos mediante el efecto fotoeléctrico¹. El principio de funcionamiento de éste tipo de generación, se basa en un proceso químico que transforma la radiación solar en energía eléctrica, donde se obtiene corriente continua (CC). La siguiente figura muestra un panel fotovoltaico instalado en techo.



Ilustración - Módulo fotovoltaico tipo, potencia de 250 W, dimensión de 1,6 m x 1 m. Peso aproximado 15 kg. Foto proyecto Teletón Santiago, Programa Techos Solares Públicos.

A continuación se muestra una ficha técnica característica de un módulo fotovoltaico²

¹ https://es.wikipedia.org/wiki/Panel_fotovoltaico

² www.csun-solar.com

Electrical characteristics at Standard Test Conditions (STC)

Module	CSUN 260-60P	CSUN 255-60P	CSUN 250-60P	CSUN 245-60P	CSUN 240-60P
Maximum Power - P _{mp} (W)	260	255	250	245	240
Positive power tolerance	0~3%	0~3%	0~3%	0~3%	0~3%
Open Circuit Voltage - V _{oc} (V)	37.7	37.5	37.3	37.1	36.9
Short Circuit Current - I _{sc} (A)	8.95	8.88	8.81	8.74	8.67
Maximum Power Voltage - V _{mp} (V)	30.3	30.1	29.9	29.7	29.6
Maximum Power Current - I _{mp} (A)	8.58	8.47	8.36	8.25	8.11
Module efficiency	16.01%	15.70%	15.40%	15.09%	14.78%

Electrical data relates to standard test conditions (STC) : irradiance 1000W /m²; AM 1.5; cell temperature 25°C measuring uncertainty of power is within ±3%. Certified in accordance with IEC61215, IEC61730-1/2 and UL 1703

Estos módulos serán nuevos del mismo tipo y modelo. Se podrán utilizar aquellos de tipo monocristalino o policristalino, los cuales deben estar autorizados por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) para ser utilizados en instalaciones de generación eléctrica que se conecten a las redes de distribución eléctrica, conforme a lo establecido en el reglamento de la Ley 20.571.³

Adicionalmente a los requisitos que describe la normativa vigente, los módulos fotovoltaicos deben cumplir con los siguientes requisitos técnicos:

- Garantía de potencia de salida, al año 25 después de la puesta en operación, igual o superior al 80% de la potencia máxima del módulo.
- Garantía de fabricación de al menos 10 años.
- Tolerancia a la potencia igual o mayor a cero.
- Marco anodizado de los módulos fotovoltaicos de color negro. Recomendación del CMN.

5.1.2 Inversor

Para transformar la energía generada por el conjunto de paneles fotovoltaicos o campo fotovoltaico, corriente continua (CC) en corriente alterna (CA), es necesario incorporar un equipo llamado inversor. Este equipo realiza la conversión de energía logrando adecuar la energía producida por el campo fotovoltaico, en función de las variables eléctricas de voltaje alterno (220-380 V) y frecuencia (50 Hz), para la operación en sincronismo con la red eléctrica de distribución existente.

Los diseños de plantas fotovoltaicas pueden considerar uno o varios inversores trifásicos, que en su conjunto sumen la potencia instalada requerida. Éstos, al igual que los módulos fotovoltaicos deben ser nuevos y estar autorizados por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC). La información sobre los inversores autorizados por la SEC se encuentra disponible en la página de la Superintendencia: www.sec.cl.

³ Información sobre los módulos autorizados por la SEC se encuentra disponible en la página de la Superintendencia: www.sec.cl

La siguiente figura muestra un inversor tipo, con sus respectivos desconectadores, entradas y salidas de cables.



Ilustración -Típico montaje de un inversor

Adicionalmente a los requisitos que describe la normativa vigente, el o los inversores deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Poseer un grado IP compatible con el lugar de instalación del inversor
- Rendimiento máximo, según su ficha técnica (datasheet), mayor o igual a 95%.
- Garantía de fabricación de, al menos, 5 años.
- El inversor debe tener servicio técnico en Chile.

Para este proyecto se determinó, en conjunto con la SEC, que el punto de conexión se encuentra en el entretecho del ala sur del Palacio, por lo que el inversor se encontrará también en el entretecho, donde existe espacio y buena condición de ventilación.

5.1.3 Estructura de soporte / paralela a cubierta

La estructura para el anclaje será de aluminio, la cual debe cumplir funciones mecánicas tanto de estabilidad como de resistividad. El tipo de estructura dependerá de la inclinación del conjunto de módulos fotovoltaicos que se instalarán como estructura de soporte y anclaje del campo fotovoltaico.

La siguiente fotografía muestra el montaje de paneles fotovoltaicos paralelos a cubierta.



Ilustración – Estructura de anclaje Típica para módulos fotovoltaicos paralela a cubierta. Foto proyecto Juzgado Garantía de Parral, Programa Techos Solares Públicos

Las estructuras utilizadas para soportar los módulos fotovoltaicos deberán cumplir con los siguientes requisitos, sin perjuicio que deberán satisfacer la normativa vigente en Chile, haciendo especial mención a la normativa que afecta a la edificación y diseño estructural para los efectos de viento, nieve y sismo. A continuación se describen los requisitos mínimos que deben cumplir estas estructuras en un sistema fotovoltaico:

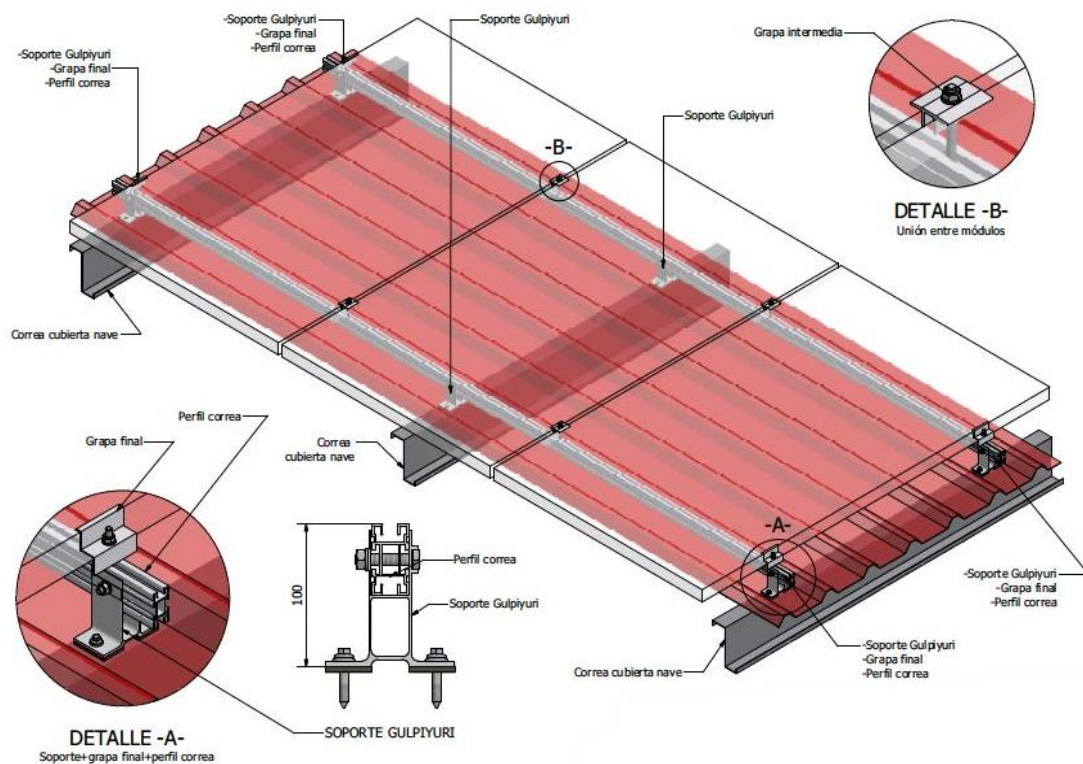
- Garantía de fabricación de, al menos 5 años. Esta garantía debe ser proporcionada por el desarrollador o contratista y debe ser válida para la localización concreta de la instalación fotovoltaica y con el sistema de anclaje adecuado a las características constructivas del techo a intervenir.
- El sistema de fijación de la estructura de soporte a la superficie existente debe ser tal que no produzca daños ni filtraciones. Para verificar lo anterior la inspección de obra podrá exigir que se realice pruebas para verificar la impermeabilización de la cubierta antes y después de la instalación del campo fotovoltaico.
- La estructura seleccionada debe permitir la limpieza de la cubierta y debe evitar interrumpir las pendientes de desagüe de la cubierta o generar de cualquier forma zonas de agua estancada.

- El peso total de la estructura, incluidos los módulos fotovoltaicos, no debe exceder el 10% del peso total del edificio que soporta la planta FV. De igual forma se debe considerar las distintas cargas que puedan afectar a la instalación como pueden ser el viento y la nieve según la normativa vigente.

A continuación se detallan las condiciones geográficas que debe cumplir la estructura proyectada en el diseño de la planta.

ESTRUCTURA	
¿Es posible perforar?	Sí <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
Sistema de fijación	Fijar a las cerchas de madera estructurales del techo
Inclinación	25°
Orientación	Norte

En la siguiente ilustración, se muestra el detalle de una solución para estructura paralela a cubierta, la cual para el caso del proyecto, debe estar anclada a las costaneras o cerchas de madera. Esta solución tipo, consiste en perfiles de aluminio instalados transversalmente, pernería de acero inoxidable y grapas terminales e intermedias de aluminio.



La siguiente figura muestra el detalle constructivo de las grapas finales e intermedias y del sistema de anclaje, incluida la solución de impermeabilización (junta EPDM)⁴ el cual se monta perforando la cubierta y fijándose a la estructura del techo.

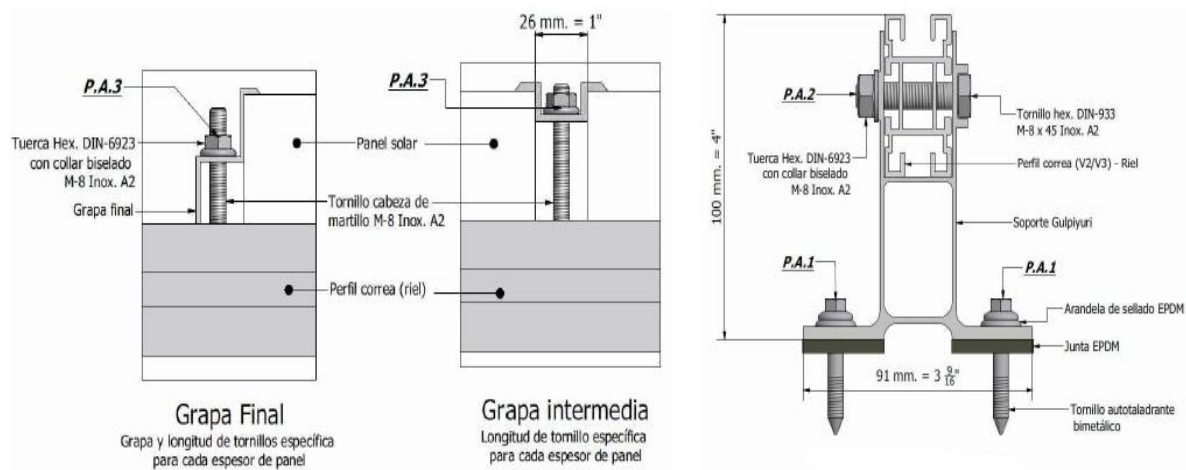


Ilustración. Sistema de montaje paralelo a cubierta

La siguiente fotografía muestra el sistema de soporte de paneles y anclajes instalados sobre una cubierta paralela.



Fotografía proyecto Juzgado de Garantía Parral. En amarillo las grapas finales e intermedias solidarias a la estructura de soporte, la que a su vez se fija a las costaneras de la techumbre del edificio.

⁴ EPDM Etileno Propileno Dieno: **Termo polímero elastómero** de buena resistencia a la abrasión y al desgaste, utilizado como lámina **impermeabilizante** de **cubiertas** en edificaciones.

6. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

6.1 Verificación del consumo interno

Cabe mencionar que el espíritu de la Ley de Generación Distribuida N° 20.571, se basa en otorgar a los clientes de las empresas distribuidoras el derecho generar su propia energía eléctrica, autoconsumirla y vender sus excedentes energéticos a las empresas distribuidoras.

En términos prácticos disminuirán los retiros de energía, los que antes provenían 100% desde la red de distribución, ya que una fracción del consumo será auto abastecida por la generación del proyecto fotovoltaico, con el consecuente ahorro en facturación de energía eléctrica mensual.

Dicho lo anterior y en concordancia con el espíritu de fomentar el autoconsumo, es necesario dimensionar el tamaño de un sistema fotovoltaico de manera tal que la producción promedio anual de energía, no supere el consumo promedio anual del inmueble. En este escenario, se requiere verificar el consumo interno del edificio a partir de algún dato concreto como la facturación eléctrica o algún registro paralelo de los consumos eléctricos.

En el caso del Palacio La Moneda, la demanda eléctrica se determinó a partir de los registros históricos (año 2014) enviados como antecedentes preliminares del proyecto.

El siguiente cuadro indica la cantidad anual de kWh/año consumidos en el empalme asociado al punto de conexión proyectado.

DEMANDA PROMEDIO DEL CLIENTE 131602-8	Cantidad	Unidad
Energía anual 2014	208.170	kWh/año

La demanda indicada, corresponde al empalme N°1 “Alumbrado”, n° de cliente 131602-8. Este empalme posee una potencia instalada de 75 kVA, con protección de cabecera es de 200 A, verificado en los planos de la instalación, adecuado desde el punto de vista de su capacidad para permitir la inyección de energía del sistema fotovoltaico proyectado.

6.2 Producción estimada de energía (simulación)

El dimensionamiento de la planta fotovoltaica fue realizado usando el software fotovoltaico PVSol 7.5 Premium®, el que entrega datos de producción de energía eléctrica para un sitio determinado, utilizando datos de radiación de Meteonorm 7®. Este dimensionamiento consideró módulos fotovoltaicos estándares de 250 Wp (dimensiones 1,6 m x 1 m) e inversores trifásicos, ampliamente utilizados y comercializados para este tipo de sistemas de generación.

Los resultados de esta simulación en el siguiente detalle:

DIMENSIONAMIENTO SFV AJUSTADA A AUTOCONSUMO	Cantidad	Unidad
Capacidad de planta F.V Simulada	30	kWp
Cantidad de módulos a instalar (estimado)	125	pcs
Generación anual específica	1240	kWh/kWp
Producción anual esperada	37.200	kWh/año
Porcentaje de autoconsumo de la instalación (para el empalme identificado en particular)	18	%
Reducción de rendimiento por sombreado	2	%/año
Toneladas de CO ₂ evitadas	13.4	ton/año

A continuación, se muestra una propuesta de disposición de módulos fotovoltaicos en el área seleccionada. Este layout de equipos, consideró la instalación de módulos sobre la lucerna y una distribución homogénea de los mismos.

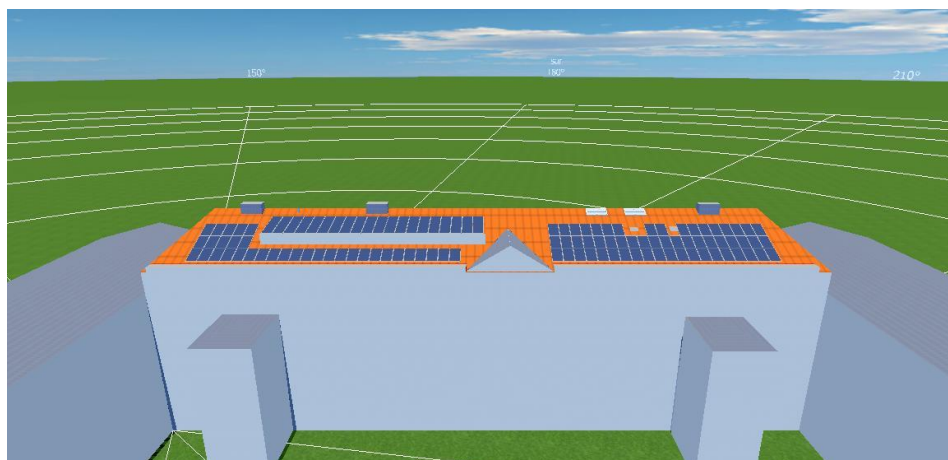


Ilustración – Vista simulación orientación

Esta distribución de módulos fotovoltaicos, la instalación y trazado de canalizaciones y eventuales sistemas de protección del campo fotovoltaico que se proyecten deberán ser resueltas en la ingeniería de detalle del proyecto.

7. Sistema eléctrico

7.1 Descripción del sistema eléctrico

El edificio cuenta con un suministro eléctrico compuesto por once (11) empalmes trifásicos instalados en diferentes sectores del Palacio, los que suman una potencia instalada (verificada en planos) de 1,6 MW.

El siguiente cuadro muestra el detalle de los empalmes existentes.

Datos de Empalmes							
Nº Emp.	Proteccion general existente (A)	Ubicación	Potencia conectada de acuerdo a plano	Medidor			Nº Cliente
				K	Nº	Tipo	
1 Alumbrado.	200	Sala de Calderas	SR 75 KW	10	33041201	Activo	131602-8
					31080672	Reactivo	
2 Fuerza	300	Sala de Calderas	SR 225 KW	80	70171944	Activo	131601-k
					70159144	Reactivo	
3 Minist. Int.	100	Sur oriente Val.Let./morandé	SR 75 KW	40	2026181	Activo	131597-8
						Reactivo	
4 Las Camelias	300	Nor Poniente Teatinos	SR 225 KW	80	647515	Activo	131603-6
						Reactivo	
5 Los Naranjos	100	Sur poniente Valentín Letelier /	SR 75 KW	10	64660586	Activo	131598-6
					40523136	Reactivo	
6 El Canelo	300	Nor Oriente Morandé	SR 225 KW	80	70165599	Activo	131600-1
					70159147	Reactivo	
7 Fuerza	400	Sala de Calderas	SR 225 KW	80	2302036	Activo	131599-4
						Reactivo	
8 Esp. TV.	200	Nor Oriente Morandé	SR 150 KW	80	3294288	Activo	131604-4
						Reactivo	
9 Fach.	160	Sur poniente Valentín Letelier /	Sin Registro	40	70171941	Activo	131605-2
					70172110	Reactivo	
10 D. Administ.	450	Subt. Plaza Const. Morandé	SR 225 KW	120	28097007	Activo	131608-7
					58502793	Reactivo	
11 Gen. Nº 3	225	Subt. Plaza Const. Agustinas	SR 100 KW	80	647516	Activo	131607-9
						Reactivo	

De estos once sistemas eléctricos, el empalme N°1, y sus tableros asociados, fue elegido por capacidad, consumos asociados y localización como potencial circuito de inyección del sistema fotovoltaico. Las características del empalme seleccionado se presentan en el siguiente cuadro.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO EXISTENTE		EMPALME N°1	
Potencia instalada		75	kVA
Acometida	Embutido <input checked="" type="checkbox"/>	Aérea <input type="checkbox"/>	Subterránea <input type="checkbox"/>
Tipo de conexión		Monofásica <input type="checkbox"/>	Trifásica <input checked="" type="checkbox"/>
Protección general		200	A
Ubicación		Subterráneo	

En este caso, existe un sistema de emergencia a través de un grupo electrógeno, el cual se identifica en el siguiente cuadro.

GRUPO ELECTRÓGENO		
Potencia	400	kW
Ubicación	Subterráneo	
Cargas alimentadas	Empalme general	
Se puede tomar muestra	Sí <input checked="" type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>

Ante la existencia de un grupo electrógeno que suministra energía desde el empalme general, se recomienda proyectar, en el cuadro de protecciones y comandos de la planta fotovoltaica (Tablero Auxiliar FV), un sistema de desconexión automática que impida la operación del grupo electrógeno en paralelo con la planta fotovoltaica por razones de buena operación y seguridad del inversor del sistema.

7.2 Estado de tableros y punto de conexión

En relación al punto de inyección, que se refiere principalmente al tablero eléctrico seleccionado para la inyección de energía desde el sistema fotovoltaico, éste se elige considerando aspectos técnicos como potencia, espacio disponible y si éste cumple con la normativa vigente. Lo anterior se verifica con el propósito de interconectar el sistema fotovoltaico con el sistema eléctrico del edificio de manera segura sin poner en riesgo la seguridad de las personas ni de la instalación.

Dicho lo anterior, la energía generada será evacuada en el empalme N°1 “Alumbrado”, el cual tienen una protección de cabecera de 200A, y alimenta el Tablero de Fuerza “G” (TDF “G”) ubicado en el entretecho del edificio seleccionado, el que posee a su vez una protección de cabecera de 100A. Estos antecedentes verifican las condiciones técnicas descritas en el párrafo anterior y confirman este último tablero como el punto de conexión del sistema fotovoltaico.

Sin embargo, desde el punto de vista normativo, en específico la Norma 4/2003, se deben efectuar en este punto de conexión modificaciones que tiendan a normalizar ese punto del sistema eléctrico.

Junto al punto de inyección propuesto, se considerará la instalación de un Tablero Auxiliar Fotovoltaico para albergar las protecciones del sistema.

La siguiente figura muestra el estado actual del tablero eléctrico seleccionado como punto de conexión.

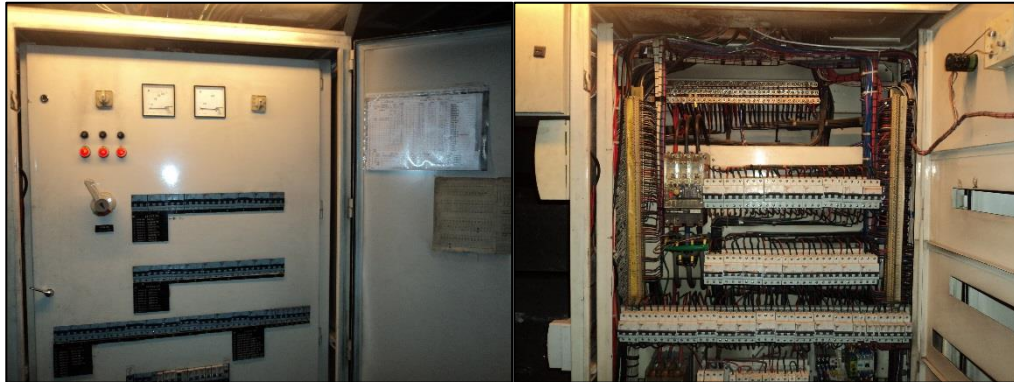


Figura TDF “G”, ubicado en el entretecho del ala sur.

Este tablero, el cual es el punto de conexión recomendado, será modificado para que cumpla con la actual NCh4/2003, por lo que, cuando se lleve a cabo el proyecto de modernización del sistema eléctrico del Palacio entre el 2016-2017, este tablero ya se encuentre regularizado.

A continuación, se mencionan las principales obras adicionales y adecuaciones necesarias a realizar en dicho tablero donde se conectará el SFV:

- a) Ampliación del tablero TDF “G”, para que cumpla con el volumen de espacio libre de 25% para proveer de ampliaciones incumpliendo el numeral 6.2.1.8 de la Norma NCH ELEC. 4/2003.
- b) Incorporar terminales, rotulación y chapa con llave, para que cumpla los numerales 5.4.3.3, 5.4.2.9 y 6.2.1.3 de la Norma NCH ELEC. 4/2003.
- c) Deshacer las conexiones realizadas de dispositivo a dispositivo, para que cumpla el numeral 6.2.2.1 de la Norma NCH ELEC. 4/2003.
- d) Estampar la identificación, la tensión, la corriente y el número de fases para cumplir el numeral 6.0.4 de la Norma NCH ELEC. 4/2003.
- e) Cambiar los instrumentos de medición que están inoperativos, además agregar una protección para las barras de distribución y así proteger ante contactos directos, adicional a la cubierta cubre equipos.
- f) Proteger las partes metálicas del tablero contra tensiones peligrosas, para que cumpla los numerales 6.2.4.2 y 10.2.1 de la Norma NCH ELEC. 4/2003.
- g) Se debe considerar un sistema de control que en la eventualidad de la partida de grupo electrógeno del edificio, exista una desconexión automática de la planta fotovoltaica, ya que por temas normativos de seguridad no podrá funcionar en modo isla.

7.3 Sistemas de protección CA / CC.

Tablero auxiliar fotovoltaico: Este tablero alojará un cuadro de protecciones en su interior de acuerdo a lo indicado en el instructivo de diseño y ejecución de las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red RG N° 02/2014. Este tablero se conectará eléctricamente con el Tablero de Fuerza “G” (TDF “G”), punto de inyección seleccionado a una distancia no mayor a 10 metros.

En el lado de corriente alterna CA el sistema de protecciones se compone principalmente de interruptores termo magnéticos tetrapolares que operan en caso de fallas de sobrecarga y cortocircuito y una protección diferencial trifásica de 300 mA de corriente de fuga, para proteger exclusivamente la integridad de las personas de accidentes mediante contactos directos o indirectos.

En tanto el lado de corriente continua CC, deberá cumplir la función de proteger el campo fotovoltaico en su integridad con desconectores fusibles los cuales deberán operar en caso de producirse una falla y se ubicarán lo más cercano al campo fotovoltaico.

En resumen los sistemas de protección descritos siempre deberán operar en caso de cualquier tipo de falla, desconectando la planta fotovoltaica y asegurando la integridad y seguridad de personas y las instalaciones.

7.4 Canalización CC/CA (sección estimada, distancias y caídas de tensión)

El inversor deberá estar ubicado en un lugar accesible y acometidas de cables, tanto en el lado alterno como continuo, debidamente canalizados. Se deberá poner especial cuidado en la canalización entre módulos fotovoltaicos de manera de proteger los cables de esfuerzos mecánicos voluntarios o accidentales.

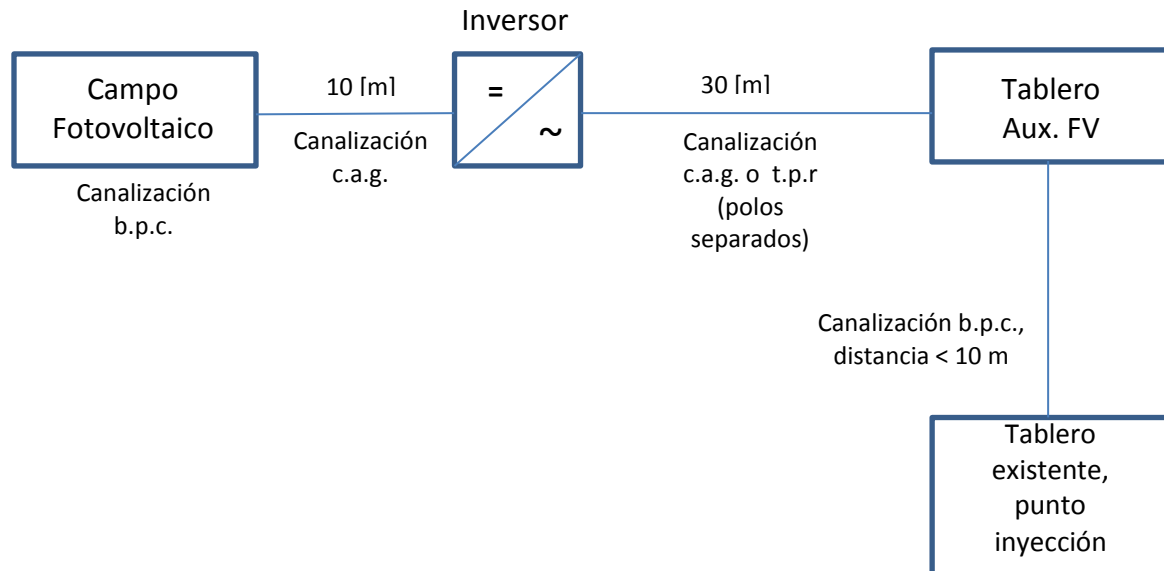
La canalización eléctrica para el lado de CC, será a través de ductos de acero galvanizado para uso eléctrico, según lo indicado en la Normativa RGR N°2 SEC y lo establecido en la Norma 4/2003 para el número máximo de conductores en ducto.

Es posible considerar un solo ducto galvanizado para canalizar el conductor de polo positivo (+) y el conductor de polo negativo (-).

Los cables eléctricos deberán ser dimensionados adecuadamente para transporte de corriente continua y alterna, según su capacidad de transporte de corriente y caída de tensión máxima permitida. Todos estos diseños proyectados de acuerdo al instructivo de diseño y ejecución de las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red RG N° 02/2014.

Se especifica que la caída de tensión máxima permitida es de 1,5% para circuitos en corriente continua y 3% del voltaje nominal como caída de tensión del circuito de corriente alterna hasta el punto de inyección a la red de distribución.

A continuación se muestra un esquema de las distancias entre los componentes principales del sistema fotovoltaico propuesto.



8. Funcionamiento del Sistema Fotovoltaico

Una instalación fotovoltaica de conexión a red responde de forma simplificada al esquema de la Figura 1. El generador fotovoltaico está compuesto por una serie de paneles fotovoltaicos, del mismo modelo y conectados eléctricamente entre sí, formando *strings* o cadenas de paneles conectados en serie. Este conjunto de paneles, se encargan de transformar la energía del Sol en energía eléctrica, generando una corriente continua proporcional a la irradiación solar que incide sobre ellos. Estos paneles usualmente se instalan sobre estructuras fijas que permiten maximizar la radiación incidente sobre ellos, aumentando de esta forma la generación eléctrica producida.

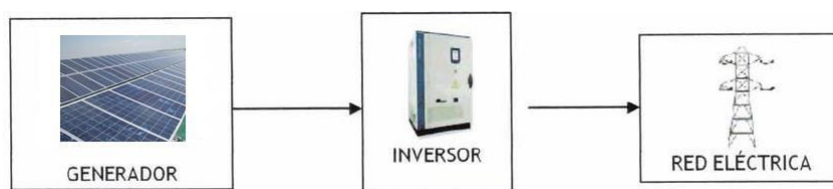


Figura 1: Esquema básico de una instalación fotovoltaica conectada a red.

Como no es posible inyectar directamente la energía del generador fotovoltaico en la red eléctrica, ésta precisa ser transformada. Esta corriente continua se conduce hasta un inversor, el cual utilizando tecnología de electrónica de potencia, la convierte en corriente alterna en la misma frecuencia y tensión que la red eléctrica, pudiendo conectarse sincronizadamente a través de un tablero eléctrico, y así abastecer consumos eléctricos internos o inyectarla directamente a la red de distribución.

9. Aspectos económicos

Tarifa del inmueble: Ver fuente de información

Opción de tarifa es BT 3, con una potencia conectada de 75 kW, donde el precio de venta/compra de 1 kWh es de \$ 57,30 pesos (CLP) sin IVA. Esta tarifa se compone de los siguientes cargos, en relación a tarifa de clientes regulados según decreto tarifario:

- a) Cargo fijo mensual
- b) Cargo único por uso del sistema troncal
- c) Cargo mensual por energía
- d) Cargo mensual por demanda máxima leída de potencia en horas de punta
- e) Cargo mensual por demanda máxima de potencia suministrada

La empresa de distribución del suministro eléctrico de la zona de concesión corresponde a la empresa Chilectra, donde especifica en su pliego tarifario los costos de cada uno de los cargos regulados, mencionados anteriormente.

Fuente: <http://www.chilectra.cl/wps/wcm/connect/ngchl/ChilectraCL/Hogar/Cuentaconsu/Todo+Sobre+Tarifas/>

8.1 Ahorros estimados

En relación a la producción de energía anual kWh/año de la planta fotovoltaica para ser auto consumida, se realizó una estimación con los datos obtenidos de la generación anual específica para Santiago, según lo arrojado por el explorador solar (desarrollo Ministerio Energía - Universidad de Chile) y simulado con el software PVSol, donde se obtuvieron los siguientes datos:

- a) Factor de rendimiento: 80%.
- b) Pérdida por sombra: 2,% año
- c) Pérdida por ensuciamiento: 5%
- d) Pérdida por cableado: 4,5%
- e) Rendimiento anual esperado: 1.400 kWh/kWp.

Potencia instalada kWp	Autoconsumo (kWh/año)	Ahorro CO ₂ (ton/año)	Tarifa	Costo energía (kWh)	Ahorro estimado al año CLP
30	37.200	13,4	BT3	\$57,30	\$ 2.536.556

Tabla ahorro económico anual

Energía anual demandada kWh/año	Producción FV esperada kWh/año	Nueva demanda kWh/año	Porcentaje anual ahorrado
208.170	37.200	170.970	18%

10. Conclusiones

Revisados los antecedentes constructivos del edificio, techumbre y del sistema eléctrico seleccionado, es posible concluir que existe factibilidad técnica de adquirir y montar una planta fotovoltaica, conectada a la red de distribución de una capacidad instalada de **30 kWp**, donde el beneficiario directo será el Palacio La Moneda.

No obstante lo anterior, es altamente recomendable reemplazar el Tablero de Fuerza “G” (TDF “G”), punto de inyección seleccionado, por otro con componentes nuevos, barras de distribución ampliadas y mayor espacio interior, manteniendo las conexiones y distribución original de los circuitos asociados a ese tablero.

La superficie útil a intervenir en el techo elegido será de aproximadamente 160 m². Sobre esta superficie se distribuirán homogéneamente 125 módulos fotovoltaicos.

Los datos de generación simulados arrojaron una producción de energía eléctrica estimada en 37.200 kWh/año, suficiente energía para suministrar energía a 20 hogares durante un año.

Esta producción de energía, la cual representa un 18% del consumo anual registrado en el Empalme N°1 Alumbrado, se traducirá en un ahorro anual de \$ 2.536.556.

Se considera una vida útil de la planta fotovoltaica de al menos veinte años. Las actividades de mantenimiento estarán enfocadas principalmente a la limpieza del campo fotovoltaico. El resto de la instalación requería un mantenimiento preventivo como cualquier otro sistema eléctrico.

A partir de la entrega de este informe a la entidad correspondiente, es necesario que esta, junto con solicitar a la compañía distribuidora (Chilectra) la Solicitud de Conexión (Formulario N°3 de la Norma Técnica de la Ley 20.571), también manifieste su conformidad, para preparar las bases administrativas y técnicas para el llamado a licitación por parte de la Subsecretaría de Energía, para contratar la ejecución del proyecto en cuestión.