



Estudio de Pre-Factibilidad Técnica y Económica de un Sistema FV para Autoconsumo Eléctrico

Viña Valle Secreto, Valle de Cachapoal

Edición:

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Friedrich-Ebert-Allee 40
53113 Bonn • Alemania

Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5
65760 Eschborn • Alemania

Nombre del proyecto:

Energía Solar para la Generación de Electricidad y Calor

Ministerio de Energía de Chile
Alameda 1449, Pisos 13 y 14, Edificio Santiago Downtown II
Santiago de Chile
T +56 22 367 3000
I www.minenergia.cl

Responsable:

Hugo Mendizábal Yáñez

En coordinación:

Marchant Pereira 150
7500654 Providencia
Santiago • Chile
T +56 22 30 68 600
I www.4echile.cl

Título:

Estudio de Prefactibilidad Técnica y Económica de un Sistema FV para Autoconsumo, Viña Valle Secreto.

Autor:

Hugo Mendizábal Yáñez

**Aclaración:**

Esta publicación ha sido preparada por encargo del proyecto “Energía Solar para la Generación de Electricidad y Calor” 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, Obras Públicas y Seguridad Nuclear (BMUB). 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.

Santiago de Chile, Abril 2015

Contenido del informe

1. INTRODUCCIÓN	4
2. CARACTERÍSTICAS DE CONSUMO ENERGÉTICO.....	4
2.1. ANÁLISIS DE LA DEMANDA ELÉCTRICA	4
2.1.1. Proyección de demanda eléctrica.....	6
2.2. PRECIOS DE ENERGÍA	6
3. DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	6
3.1. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA FV	6
3.2. RADIACIÓN SOLAR EN LA ZONA DEL PROYECTO.....	7
3.3. CÁLCULO DE LA GENERACIÓN FOTOVOLTAICA	7
3.4. CÁLCULO DE LA CAPACIDAD INSTALADA DEL SISTEMA FV	8
4. EVALUACIÓN ECONÓMICA	10
4.1. PARÁMETROS UTILIZADOS EN EL ANÁLISIS ECONÓMICO.....	10
4.1.1. Costos asociados al proyecto.....	10
4.1.2. Factores relacionados a la tarifa.....	10
4.1.3. Eficiencia del generador solar	11
4.1.4. Tasas de interés.....	11
4.1.5. Otros parámetros	11
4.1.6. Tabla de parámetros	11
4.2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS ECONÓMICO.....	11
4.2.1. Resultados y análisis de sensibilidad a los costos de inversión	12
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	12

1. Introducción

El presente estudio tiene por objetivo mostrar los resultados del análisis de pre-factibilidad técnica y económica de la instalación de un sistema fotovoltaico para la generación de electricidad para autoconsumo conectada a la red de distribución, en la viña Valle Secreto localizada en el valle de Cachapoal en la sexta región del país.

2. Características de consumo energético

La Viña Valle Secreto está ubicada en la comuna de Malloa en la provincia de Cachapoal, específicamente en las coordenadas latitud 34.49°S y longitud 70.84°O. Esta viña está en funcionamiento desde el año 2008 y actualmente tiene una producción cercana a los 250.000 litros de vino de alta gama. El campo de plantación tiene una extensión de 38 hectáreas, las cuales producen principalmente cabernet sauvignon, syrah y carmenere. En la última vendimia la cosecha se estimó en unas 420 toneladas de uvas.



Ilustración 1: Foto aérea Viña Valle Secreto. Fuente: Google Earth

La viña tiene tres conexiones a la red de distribución de la empresa CGE Distribución. La de mayor consumo alimenta a las bombas de riego de 27 hectáreas y a la bodega de vinificación. Además existe una conexión que alimenta el sistema de riego de una parcela de 11 hectáreas y por último hay otro empalme que la alimenta la administración del campo.

2.1. Análisis de la demanda eléctrica

La información de estos consumos fue entregada por la viña y consiste en una serie de facturas de electricidad. Todos los empalmes tienen un contrato de tarifa AT 4.3 con medición en baja tensión y pertenecen al sector tarifario CGED SIC4 Sector 1 Aéreo. Según los datos entregados por la empresa este empalme tiene una potencia conectada de 32.91 kW.

El sistema fotovoltaico que se analizará será diseñado para alimentación de la bodega de vinificación y para la bomba de riego que suministra agua a un terreno de plantación de 27 hectáreas.

El perfil mensual de estos consumos se puede apreciar en la ilustración 2.

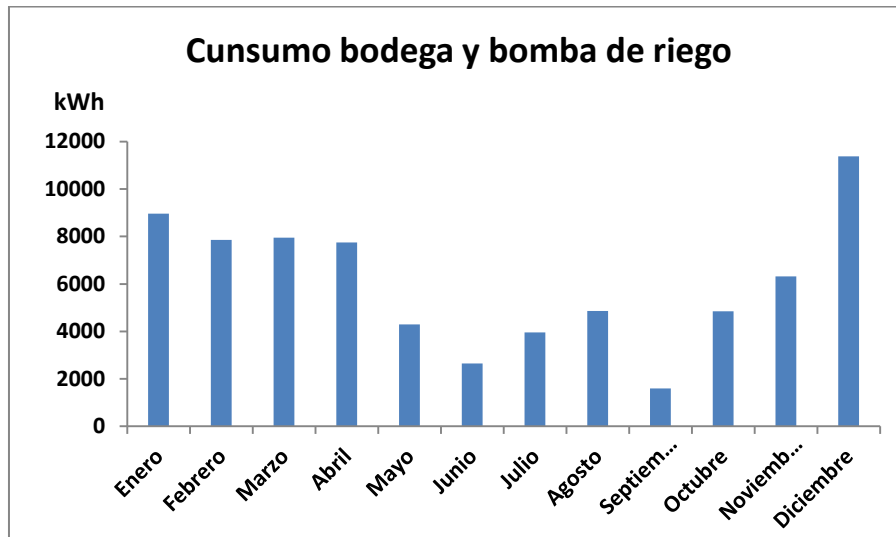


Ilustración 2: Gráfico consumo mensual.

La información entregada corresponde al consumo mensual del año 2014. La demanda anual de estos consumos alcanzó 72.401 kWh, concentrándose los meses de mayor consumo entre octubre y marzo. En estos meses se utilizó cerca del 65% de la demanda total anual, esto coincide con la temporada producción del vino.

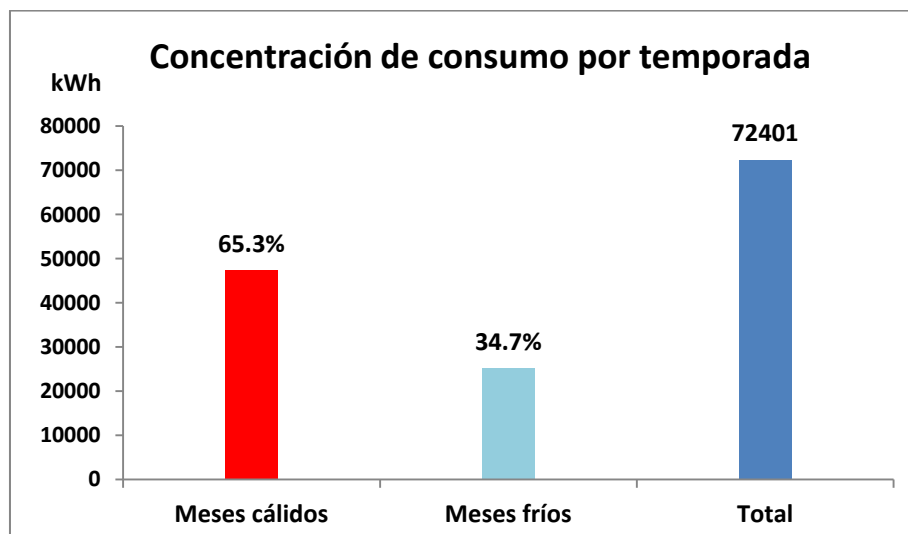


Ilustración 3: Gráfico proporción de consumo estacional.

2.1.1. Proyección de demanda eléctrica

Según información entregada por la empresa, la intención es que en los próximos años la producción de vino aumente, por lo que se espera que el consumo eléctrico también. Para poder incluir esta variable en el análisis de rentabilidad se estima que es razonable considerar una tasa de crecimiento anual de 2%.

De esta forma, el consumo dentro de 20 años más será de 107.584 kWh/año.

2.2. Precios de energía

La tarifa de la viña corresponde al tipo AT 4.3. El valor actual del sector tarifario por el cargo de energía, según la información de la empresa CGE Distribución, es de 71,7 \$/kWh, y la valorización de las inyecciones de energía es de 60,3 \$/kWh.

3. Diseño del sistema fotovoltaico

3.1. Características del sistema FV

La configuración del sistema FV será hecho con foco en el autoconsumo de la viña, de esta forma el generador solar cubre en primer lugar el consumo de la bodega y de las bombas de riego. En el caso que exista un excedente del sistema, éste será inyectado a la red de distribución. La Ilustración 4 muestra un esquema del sistema FV.

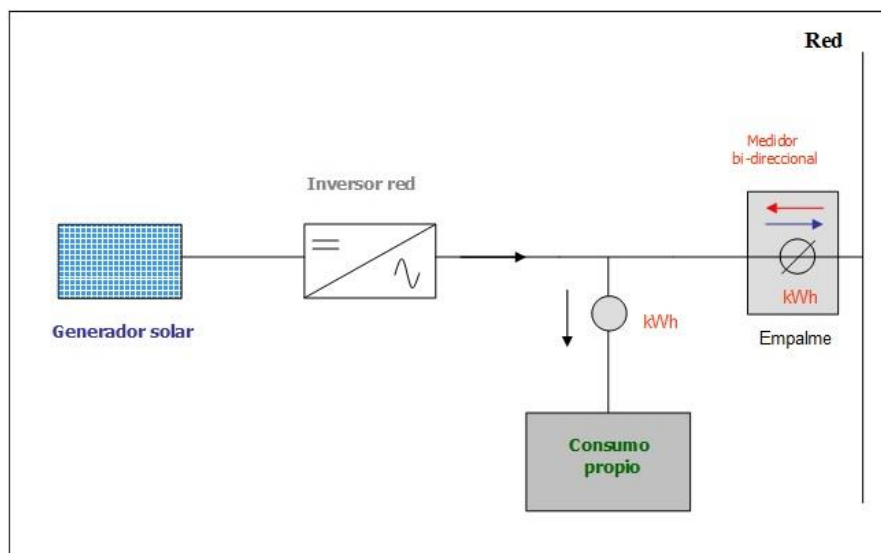


Ilustración 4: Esquema sistema fotovoltaico.

Uno de los componentes del sistema es un medidor bi-direccional que registra la cantidad de energía, tanto que recibe de la red como la que se inyecta a la red (excedentes del sistema).

3.2. Radiación solar en la zona del proyecto

Para determinar la radiación, y de esta forma poder estimar la generación de energía del sistema fotovoltaico se utilizó la información suministrada por el Explorador del Recurso Solar en Chile del departamento de geofísica de la Universidad de Chile.

Esta herramienta entrega datos de la irradiancia global horizontal y de la radiación que recibe el plano inclinado, según el ángulo que se requiera. La información se presenta en tablas con los promedios anuales y mensuales de la insolación diaria (en kWh por metro cuadrado) para el período 2004 – 2013.

Específicamente en el caso de la viña, se calculó la radiación para una inclinación de 18°, pues es el ángulo de inclinación del techo de la bodega, y con un azimut de 5°, ya que la orientación del techo está levemente hacia el este. Los datos de radiación se pueden apreciar en la Tabla 1.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Radiación Horizontal	8.46	7.34	5.99	4.28	2.83	2.33	2.59	3.34	4.7	5.87	7.46	8.26
Radiación Inclinada	8.3	7.63	6.73	5.23	3.65	3.11	3.39	4.08	5.34	6.2	7.42	7.98

Tabla 1: Promedios mensuales insolación diaria (2004-2013) kWh/m² día.

3.3. Cálculo de la generación fotovoltaica

En la actualidad hay diversos métodos para poder calcular la producción de energía de un sistema solar FV. En el presente análisis se ocupa la información entregada por el Explorador Solar, esta herramienta entrega una estimación de la producción del sistema FV. Esta información considera la producción de un sistema compuesto por paneles horizontales y un sistema con un ángulo de inclinación y azimut (18° y 5° respectivamente) seleccionados para el proyecto.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Producción Horizontal	6.07	5.27	4.34	3.16	2.11	1.76	1.98	2.54	3.55	4.38	5.46	5.99
Producción Inclinada	5.94	5.45	4.84	3.84	2.73	2.36	2.6	3.1	4.01	4.6	5.41	5.77

Tabla 2: Promedios mensuales potencial FV diario kWh/día por kW instalado.

La Tabla 2 muestra la generación promedio diaria por mes de los sistemas analizados. Se puede observar que solo en los meses más cercanos al verano la generación del sistema horizontal es mayor a la del sistema inclinado. Si tomamos en cuenta la producción anual de energía, la generación de la instalación inclinada es mayor en un 8.6% al del sistema con módulos horizontales.

3.4. Cálculo de la capacidad instalada del sistema FV

Para el cálculo de la potencia a instalar del generador fotovoltaico se considera: la potencia máxima del empalme, la superficie disponible para la instalación y el consumo eléctrico

Se determinó que el mejor lugar para la instalación del proyecto es el agua norte del techo de la bodega de vinificación de la viña, pues tiene una superficie y una orientación adecuadas (Ilustración 5).

Las limitantes técnicas principales para la capacidad máxima a instalar son: la potencia del empalme, que según los antecedentes entregados es de 48 kW y la superficie disponible, que de acuerdo al área del techo (720 m²) y sus características (Ilustración 5), se podrían instalar como máximo 88 kWp,

En cuanto al consumo eléctrico, debido a las características de la Ley de Generación Distribuida, lo más conveniente es diseñar un sistema FV en el cual la mayor parte de la producción de energía cubra el consumo de la viña, y solo un mínimo excedente sea inyectado a la red de distribución. Ya que, la valorización de la energía inyectada es menor a la valorización de la energía que se compra de la red.



Ilustración 5: Vista norte de bodega de vinificación.

Para poder determinar la potencia que se instalará del sistema FV que se adecúe a las condiciones antes descritas debemos hacer un cruce entre la producción de distintas potencias y el consumo de la viña. Así, utilizando la información de producción suministrada por el Explorador Solar, se pueden obtener y analizar los resultados requeridos.

	Generación Sistema por Capacidad kWh/año					
Consumo año	25 kW	30 kW	35 kW	40 kW	45 kW	48 kW
72401	38471	46167	53862	61555	69249	72327

Tabla 3: Producción FV del sistema por capacidad instalada

La Tabla 3 muestra la generación mensual del sistema según potencia instalada, en el primer año del proyecto. Se consideró hasta una potencia de 48 kW, ya que técnicamente es la capacidad máxima que soporta el empalme.

Según las capacidades analizadas, se puede apreciar que la producción de energía anual del sistema fotovoltaico que mejor cubre el consumo total anual de la viña es la de 48 kW que coincide con la máxima capacidad técnicamente posible de conectar a la red. Esta será la capacidad utilizada en todos los cálculos siguientes

La relación entre generación y consumo se puede apreciar en el gráfico siguiente.

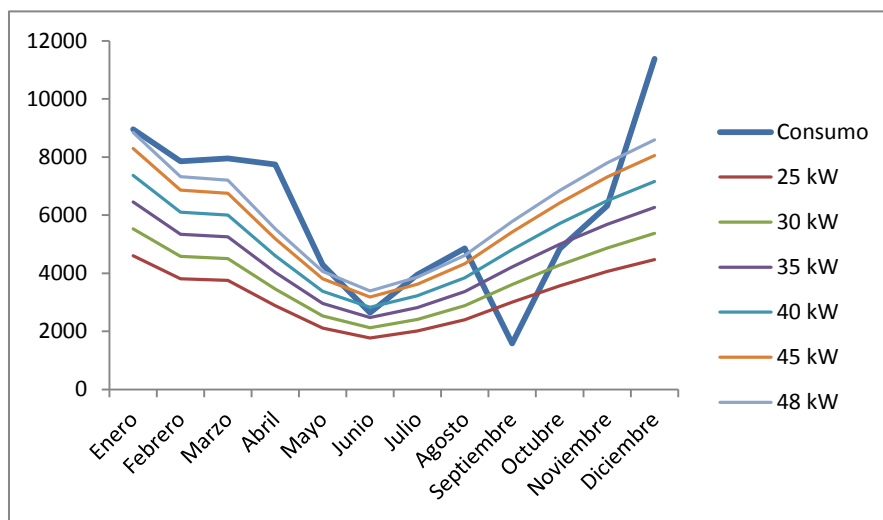


Ilustración 6: Gráfico consumo vs generación según capacidad

La Ilustración 7 muestra un modelo del proyecto realizado en el software PV Sol, que permite mostrar de una forma bien exacta cómo quedaría el proyecto en la realidad.

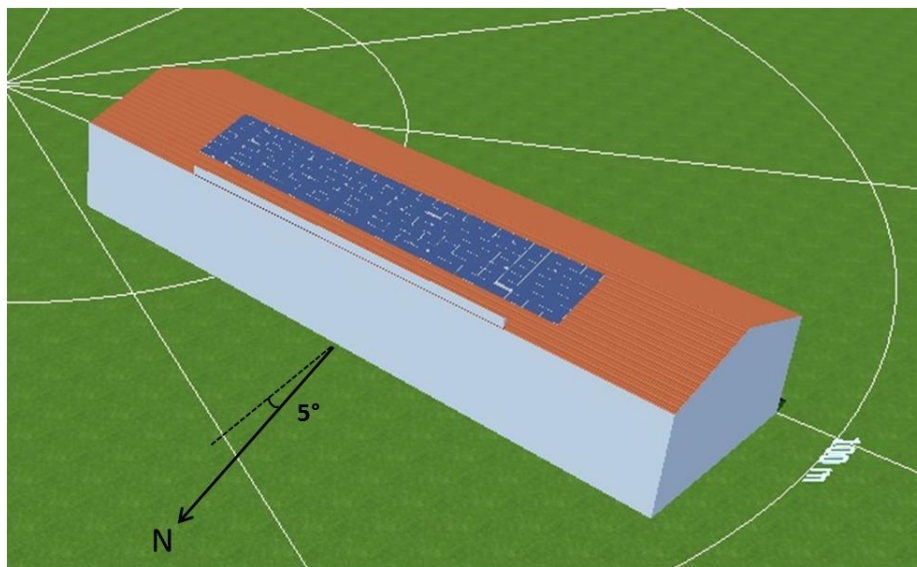


Ilustración 7: Sistema FV en bodega de vinificación. Modelo PV SOL

4. Evaluación económica

Para el análisis económico de este proyecto se deben considerar diversos factores que afectan el resultado en cuanto a la rentabilidad de la inversión. Estos serán explicados a continuación.

4.1. Parámetros utilizados en el análisis económico

4.1.1. Costos asociados al proyecto

Se deben considerar todos los costos asociados a la inversión y a la operación y mantención del proyecto. En cuanto a los costos de inversión, estos se refieren a la compra de los componentes del sistema FV, estos son:

- Generador solar
- Inversor
- Estructura soporte del generador solar
- Materiales de instalación, cables, tablero, medidores, seccionador, etc.

Estos costos se calculan como un costo unitario, es decir son expresados en \$/kW instalado, éstos serán detallados más adelante.

En cuanto a los costos de operación y mantención, éstos están asociados al adecuado funcionamiento del sistema en todo el tiempo de su operación y consideran los trabajos de limpieza de los paneles y una mantención técnica por lo menos una vez al año.

Estos costos son calculados y expresados como un porcentaje del total de la inversión del sistema FV.

4.1.2. Factores relacionados a la tarifa

La tarifa es una variable importante que afecta la rentabilidad del proyecto, y dependiendo del tipo de contrato que se tiene con la empresa de distribución es el valor, tanto de la energía suministrada de la red, como la que es inyectada a la red. Para la evaluación económica es importante considerar:

- Valor de la energía suministrada por la red: es el precio al cual la empresa distribuidora vende la energía.
- Valor de la energía inyectada a la red: es el precio que la empresa distribuidora paga por los excedentes de energía que son inyectados a la red.
- Variación de los precios de energía: el valor de la energía es dinámico a través del tiempo, es por eso que es importante poder estimar una variación para el horizonte del proyecto.

Es importante aclarar que para el tipo de tarifa AT, básicamente la relación entre el valor de la energía que se inyecta a la red y la energía suministrada por la red está determinada por el IVA, de esta forma el valor de la energía suministrada es igual al valor de la energía inyectada más el IVA. Por el giro comercial de la viña, el pago de los servicios de electricidad están

exentos del pago del IVA, por lo tanto el valor de la energía suministrada por la red es el mismo al valor de la energía inyectada.

4.1.3. Eficiencia del generador solar

A lo largo de la vida útil del sistema FV, hay que considerar una degradación de su funcionamiento, es decir los paneles FV generalmente sufren una disminución en su producción eléctrica a lo largo del tiempo.

4.1.4. Tasas de interés

Para calcular los flujos a futuros del proyecto es muy importante poder definir la tasa de descuento de éstos, es decir aplicar a los flujos la rentabilidad que se espera. Este valor es variable y depende exclusivamente de los intereses del inversionista del proyecto.

4.1.5. Otros parámetros

Además de los parámetros anteriores, se deben tomar en cuenta otros para obtener mayor exactitud en los resultados del proyecto. Estos son:

- Variación en el consumo eléctrico: se debe tener información de eventuales cambios a futuro en la demanda de energía. Esto para poder diseñar de la mejor forma el sistema FV (capacidad).
- Variación anual en el precio de la energía: el valor de la energía es variable en el tiempo y este cambio debe ser considerado en el análisis económico del proyecto, ya que tiene impacto en los flujos futuros del proyecto.
- Inflación: para un correcto cálculo de los resultados se debe considera la variación que se produce en el tiempo del valor real del dinero.

4.1.6. Tabla de parámetros

Parámetro	Valor	Unidad
Capacidad	48	kW
Costo mantención	0.5%	% Inversión
% degradación anual	0.6%	
% incremento consumo	2.0%	
Tasa de descuento	5%	
Precio energía	60.29	\$/kWh
Variación anual precio energía	4%	
Inflación	3%	

Tabla 4: Parámetros utilizados en la evaluación económica del proyecto.

4.2. Resultados del análisis económico

Es importante aclarar que la evaluación del proyecto se hizo tomando en cuenta una inversión sin financiamiento externo, es decir considerando como financista solamente al dueño del proyecto, en este caso la Viña Valle Secreto. En los cálculos el valor de la inversión inicial fue sensibilizado

4.2.1. Resultados y análisis de sensibilidad a los costos de inversión

El costo de los equipos es una de las variables más influyentes en los resultados económicos del proyecto, estos representan la inversión inicial del proyecto. La tabla considera desde un precio unitario (\$/kW) mínimo de \$900.000, que representa el escenario más favorable, y no muy lejano de lo que se espera en el corto/mediano plazo, y un valor máximo de \$1.300.000, que es muy cercano al valor promedio actual, y representa el escenario menos favorable en este análisis. Los resultados entre estos dos valores presentan una diferencia significativa.

Los indicadores más importantes del ejercicio, como el VAN, TIR y Payback se pueden apreciar en la Tabla 5.

Indicador	Inversión \$/kW				
	\$900.000	\$1.000.000	\$1.100.000	\$1.200.000	\$1.300.000
Van	\$ 27,547,204	\$ 22,375,543	\$ 17,203,883	\$ 12,032,223	\$ 6,860,563
TIR	10.84%	9.40%	8.16%	7.08%	6.12%
Payback	11-12	12-13	14-15	16-17	17-18

Tabla 5: Resultados económicos a distintos valores de inversión de 48 kW de potencia.

5. Conclusiones y recomendaciones

Los resultados del estudio de pre-factibilidad muestran claramente que la implementación de una planta fotovoltaica con conexión a red y enfocada para el autoconsumo durante las horas del día es técnicamente y económicamente viable.

Según éstos, se puede concluir lo siguiente:

- Capacidad instalada: se recomienda desarrollar el proyecto con la mayor capacidad disponible, en este caso 48 kW. Esto porque, su generación cubre de mayor forma el consumo de la viña a lo largo del tiempo, y considerando un aumento en la demanda energética es importante. Además que comparado con una menor potencia, muestra un mayor VAN y una similar tasa interna de rentabilidad.
- Valor de la inversión: debido a los resultados mostrados en la Tabla 5, es recomendable poder acceder al menor precio posible, por lo tanto se sugiere esperar a que estos costos disminuyan, cuestión que es esperada en el corto plazo.
- Otro punto que no se consideró en el análisis pero que se considera relevante, es el valor del proyecto en el ámbito de imagen corporativa y responsabilidad ambiental de la empresa. El contar con energía renovable en sus procesos de producción trae beneficios que pueden ser valorizados. El tener un sistema de producción con menores niveles de emisión de CO₂ otorga beneficios no contemplados en este análisis, por lo que se recomienda realizar este trabajo e incluirlos en la evaluación económica del proyecto.

- Como próximo paso, para poder tomar una decisión orientada a la ejecución del proyecto es necesario realizar como segunda etapa un análisis más profundo que permita tener una mayor certeza de los resultados.
- Además, se sugiere analizar posibles formas de financiamiento de este proyecto, como por ejemplo, el poder postular a fondos de inversión en este ámbito o el poder analizar un modelo de negocios para la gestión de la energía (ESCO).
- Por último, se propone colaboración en un eventual proceso de licitación para la implementación del proyecto FV.