

“Estudio técnico y económico de la instalación  
de un sistema de generación eléctrica  
fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal  
de la ciudad de Balcarce”

Trabajo final de la carrera de Ingeniería Industrial

Departamento de Ingeniería Industrial

Facultad de Ingeniería

Universidad Nacional de Mar del Plata

Mar del Plata

30 de Noviembre de 2021

Peralta, Magdalena

Porretta, Luciano






RINFI se desarrolla en forma conjunta entre el INTEMA y la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata.

Tiene como objetivo recopilar, organizar, gestionar, difundir y preservar documentos digitales en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de Materiales y Ciencias Afines.

A través del Acceso Abierto, se pretende aumentar la visibilidad y el impacto de los resultados de la investigación, asumiendo las políticas y cumpliendo con los protocolos y estándares internacionales para la interoperabilidad entre repositorios



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-  
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



“Estudio técnico y económico de la instalación  
de un sistema de generación eléctrica  
fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal  
de la ciudad de Balcarce”

Trabajo final de la carrera de Ingeniería Industrial

Departamento de Ingeniería Industrial

Facultad de Ingeniería

Universidad Nacional de Mar del Plata

Mar del Plata

30 de Noviembre de 2021

Peralta, Magdalena

Porretta, Luciano



# Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

## **Autores:**

- Peralta Magdalena
- Porretta Luciano

## **Evaluadores:**

- Guillermo Carrizo  
Departamento de Ingeniería Industrial  
Facultad de Ingeniería, UNMDP
- Antonio Morcella  
Departamento de Ingeniería Industrial  
Facultad de Ingeniería, UNMDP

## **Director:**

- Ricardo Zucal  
Departamento de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería, UNMDP

## **Codirector:**

- Federico Camino  
Departamento de Ingeniería Industrial  
Facultad de Ingeniería, UNMDP

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica  
fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
2	OBJETIVOS .....	2
3	MARCO TEÓRICO .....	3
3.1	Energía.....	3
3.1.1	Energía eléctrica .....	3
3.1.2	Clasificación de fuentes de energía.....	3
3.1.3	Energía no renovable.....	4
3.1.4	Energía renovable.....	4
3.1.5	Ventajas de las energías renovables (Ruiz, 2020) .....	4
3.1.6	Las desventajas de las energías renovables (Ruiz, 2020) .....	4
3.1.7	Energía solar .....	5
3.1.8	El recurso solar .....	5
3.1.9	Radiación .....	5
3.1.10	Radiación directa.....	5
3.1.11	Radiación difusa .....	5
3.1.12	Radiación reflejada o albedo .....	6
3.1.13	Radiación global .....	6
3.1.14	Mapa de radiación solar en Argentina .....	6
3.1.15	Principales usos de la energía solar.....	6
3.1.16	Energía solar fotovoltaica.....	7
3.1.17	Características de las instalaciones fotovoltaicas .....	7
3.1.18	Tipos de paneles fotovoltaicos.....	7
3.1.19	Paneles solares monocristalinos de celdas de silicio .....	8
3.1.20	Paneles fotovoltaicos policristalinos de silicio .....	8
3.1.21	Paneles solares fotovoltaicos de capa fina.....	8
3.2	Principio de funcionamiento de una celda solar fotovoltaica.....	9
3.3	Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica .....	10
3.3.1	Sistemas conectados a la red .....	10
3.4	Mantenimiento de una instalación fotovoltaica .....	10
3.5	Leyes y políticas energéticas .....	10
3.6	Huella de Carbono .....	13
3.7	Efecto invernadero y los gases responsables.....	13
4	ANTECEDENTES DE USO DE ENERGÍAS RENOVABLES EN BALCARCE .....	15
5	ANTECEDENTES DEL USO DE PANELES SOLARES EN DEPENDENCIAS MUNICIPALES.....	16

# Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

5.1	Municipalidad de Oleata .....	16
5.2	Palacio Municipal 6 de Julio .....	17
6	DESARROLLO .....	18
6.1	Relevamiento del edificio .....	18
6.2	Consumo eléctrico.....	22
6.3	Descripción de la instalación .....	24
6.4	Requisitos del equipamiento.....	26
6.5	Selección de proveedores .....	27
6.6	Selección del equipamiento .....	29
6.6.1	Paneles solares .....	29
6.6.2	Inversores.....	32
6.7	CALCULO DE NUMERO DE MODULOS MAXIMO POR ARREGLO .....	33
6.8	Orientación e inclinación de los paneles.....	34
6.9	Pérdidas anuales por orientación e inclinación.....	34
6.10	Dimensionamiento y distribución de la instalación fotovoltaica .....	35
6.10.1	Conexión de los paneles.....	40
6.11	Simulación .....	41
6.11.1	Ubicación geográfica y fuente de datos climáticos .....	41
6.11.2	Paneles solares .....	42
6.11.3	Inversores.....	44
6.11.4	Diseño de la instalación.....	44
6.11.5	Sombreamiento.....	46
6.11.6	Pérdidas de energía.....	47
6.11.7	Resultados de la simulación .....	48
6.12	Cables de interconexión .....	49
7	Protecciones.....	54
7.1	Protecciones en corriente continua.....	55
7.1.1	Protección contra descargas atmosféricas.....	57
7.2	Protecciones en corriente alterna.....	58
7.3	Medidor bidireccional .....	61
7.3.1	Requisitos para instalar el medidor.....	61
8	ESTRUCTURA DE SOPORTE .....	61
9	INVERSIÓN.....	63
9.1	Costos de equipamiento.....	63
9.2	Costos de instalación.....	65
10	BENEFICIO.....	67

## Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

10.1	Cálculo de energía consumida directamente y energía inyectada a la red .....	67
10.2	Cálculo del ahorro .....	69
10.2.1	Ahorro por consumo .....	69
10.2.2	Ahorro por inyectar a la red .....	71
11	ANÁLISIS DE BENEFICIO/COSTO .....	71
11.1	Costo por Mantenimiento .....	73
11.2	Costo de Seguros .....	73
11.3	Costo Promedio Ponderado de capital.....	74
11.3.1	Costo de capital propio (Ke) .....	74
11.3.2	Costo de capital de deuda (Kd) .....	75
11.4	Valor anualizado de la inversión total .....	75
11.5	Análisis de factibilidad .....	75
11.6	Escenario sin subsidio.....	77
12	EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL.....	79
12.1	Calculo de la Huella de Carbono.....	79
12.2	Huella de Carbono de un hogar tipo de la ciudad de Balcarce. ....	81
12.3	Disposición final y desechado de paneles solares.....	84
12.4	Concientización a la comunidad sobre energías renovables .....	85
13	ANÁLISIS FODA .....	86
14	CONCLUSIONES .....	87
15	Bibliografía.....	90

### INDICE DE CUADROS

Cuadro 1:	Gases de efecto invernadero .....	13
Cuadro 2:	Sectores y cantidad de personas .....	20
Cuadro 3:	Consumo del Palacio Municipal.....	23
Cuadro 4:	Consumo total por año.....	24
Cuadro 5:	Matriz de selección de proveedores .....	29
Cuadro 6:	Matriz de selección de paneles solares.....	30
Cuadro 7:	Datos eléctricos de los paneles solares .....	30
Cuadro 8:	Datos mecánicos de los paneles solares.....	31
Cuadro 9:	Limites de temperatura para los paneles .....	31
Cuadro 10:	Especificaciones eléctricas .....	32
Cuadro 11:	Especificaciones de eficiencia del inversor .....	33
Cuadro 12:	Especificaciones generales del inversor .....	33
Cuadro 13:	Consumo y generación .....	49
Cuadro 14:	Especificaciones técnicas de los cables de la sección de corriente continua.....	52
Cuadro 15:	Especificaciones técnicas de los cables de los tramos alternos .....	54
Cuadro 16:	Especificaciones técnicas protector atmosférico .....	57
Cuadro 17:	Recomendaciones del proveedor.....	60

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica  
fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

Cuadro 18: Costos de inversión del equipamiento.....	65
Cuadro 19: Cantidad de rieles necesarios .....	65
Cuadro 20: Costos de instalación .....	66
Cuadro 21: Inversión total .....	67
Cuadro 22: Energía consumida y generada.....	68
Cuadro 23: Energía consumida e inyectada de la red.....	69
Cuadro 24: Ahorro por consumo.....	70
Cuadro 25: Ahorro por ventas .....	71
Cuadro 26: Degradación anual de generación de paneles solares.....	72
Cuadro 27: Ahorro anual .....	73
Cuadro 28: Relación ahorro/costos .....	75
Cuadro 29: Relación ahorro/costos .....	78
Cuadro 30: Ahorro anual sin subsidio .....	78
Cuadro 31: Relación ahorro/costos sin subsidio .....	79
Cuadro 33: Factores de emisión .....	80
Cuadro 34 Entradas y salidas del proceso de elaboración de celdas solares .....	81
Cuadro 38: Análisis FODA .....	87

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapas de radiación solar mensual en Argentina en enero (izquierda) y julio (derecha) en kWh/m2.....	6
Figura 2: Modelo de celda simplificado.....	9
Figura 3: Proyección de generación de energía eléctrica por fuentes limpias .....	11
Figura 4: Esquema del funcionamiento de los Gases de Efecto Invernadero .....	14
Figura 5: Sectores de estudio de emisión de CO2.....	15
Figura 6: Gráfico de porcentajes de emisión de CO2 en diferentes sectores .....	15
Figura 7: Instalación fotovoltaica Municipalidad de Oleata.....	17
Figura 8: Instalación fotovoltaica en el Palacio 6 de Julio.....	18
Figura 9: Palacio Municipal .....	18
Figura 10: Ubicación geográfica del Palacio Municipal .....	19
Figura 11: Tablero principal del Palacio Municipal.....	22
Figura 12: Grafico del consumo total periodo 2017-2017 .....	24
Figura 13: Esquema ilustrativo del conexionado de la instalación .....	25
Figura 14: Esquema unifilar de la instalación .....	26
Figura 15: Inclinación y orientación de paneles solares.....	34
Figura 16: Disco solar de la provincia de Buenos Aires.....	35
Figura 17: Zona I de la terraza del Palacio Municipal de Balcarce.....	37
Figura 18: Zona II de la terraza del Palacio Municipal de Balcarce .....	38
Figura 19: Zona III-1 de la terraza del Palacio Municipal de Balcarce.....	39
Figura 20: Zona III-2 de la terraza del Palacio Municipal de Balcarce.....	39
Figura 21: Distribución final de la instalación fotovoltaica.....	40
Figura 22: Resultados climáticos de la simulación.....	42
Figura 23: Irradiancia global mes a mes.....	42
Figura 24: Interfaz del usuario para las especificaciones técnicas de los paneles.....	43
Figura 25: Interfaz del usuario para las especificaciones técnicas de los inversores .....	44
Figura 26: Interfaz de usuario para el diseño de la instalación.....	45
Figura 27: Interfaz de usuario para el diseño de la instalación.....	46



Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica  
fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

Figura 28: Interfaz de usuario para las pérdidas de energía en los paneles .....	47
Figura 29: Grafico de barras de la energía generada mes a mes .....	48
Figura 30: Grafico de consumo vs generación .....	49
Figura 31: Cable solar fotovoltaico .....	53
Figura 32: Cable trifásico Prysmian.....	54
Figura 33: Fusible modelo gPV 1000VCC 15 <sup>a</sup> .....	56
Figura 34: Portafusible modelo gPV 1000VCC - SPF-15 .....	56
Figura 35: Protector atmosférico.....	57
Figura 36: Interruptor termomagnético.....	59
Figura 37: Disyuntor.....	59
Figura 38: Protector contra descargas atmosféricas .....	60
Figura 39: Riel posterior .....	62
Figura 40: Fijador de frente .....	62
Figura 41: Fijador posterior .....	62
Figura 42: Empalme final.....	62
Figura 43: Mordaza media .....	62
Figura 44: Mordaza final.....	62
Figura 45: Componentes del sistema de soporte ensamblados .....	63
Figura 46: Simulador de facturación.....	69
Figura 47: Resultado de la simulación .....	70
Figura 48: Interfaz de usuario del calculador .....	82
Figura 49: Interfaz de usuario del calculador .....	82
Figura 50: Componentes de los paneles solares .....	84

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica  
fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

**TABLA DE SIGLAS**

CA: corriente alterna

CC: corriente continua

GEI: Gases de efecto invernadero

GW: Giga Watt

HH: hora hombre

MEM: mercado eléctrico mayorista

MW: Mega Watt

PERMER: Proyecto de energías renovables en mercados rurales

SFV: solar fotovoltaica

TIR: tasa de rentabilidad

TRMA: tasa de rentabilidad minima aceptable

UNMDP: Universidad Nacional de Mar del Plata

kWh: Kilowatt hora

ENRE: Ente Nacional Regulador de la Electricidad

CAMMESA: Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico Sociedad Anónima

## **RESUMEN**

El desarrollo de las energías renovables ha tomado nuevamente importancia en los últimos años, fundamentalmente por dos razones: la conciencia de que los problemas de contaminación ambiental se están volviendo cada vez más graves (en especial las consecuencias que los mismos tienen para el calentamiento global) y del futuro agotamiento de las fuentes energéticas tradicionales. Por tal motivo es que en este trabajo se plantea la alternativa de incorporar paneles solares en el Palacio Municipal de Balcarce para la generación de energía. Tomando como referencia proyectos similares que se implementaron en municipios de Argentina. En primer lugar se analiza el aspecto técnico de la instalación considerando las características climáticas y edilicias, como así también las distintas opciones de equipamiento fotovoltaico. En segundo lugar, mediante una simulación se obtienen los valores de generación en función de la distribución y orientación de las celdas fotovoltaicas, dando como resultado que la sustitución de energía a partir de la generación fotovoltaica es de un % respecto de la totalidad. Esto se debe a que la cantidad máxima de paneles solares colocados, de acuerdo a la disponibilidad física del Municipio, no permite la obtención del 100% del consumo del mismo. Por otra parte, se procede a determinar la factibilidad del proyecto a partir de la relación beneficio/costo de la instalación, a través de la comparación entre los ingresos y egresos. Para ello, se calcula los ingresos por medio del ahorro, tanto por consumo como por inyección a la red, y el valor de los ingresos que corresponden al valor anualizado de la inversión por medio de los factores para pasar de presente a anualidad y los costos de mantenimiento, depreciación y de seguros. Por último, se realiza un análisis del impacto ambiental de llevar a cabo la instalación fotovoltaica usando como variable de análisis la Huella de Carbono.

## **PALABRAS CLAVES**

Energía Renovable, Energía Fotovoltaica, Paneles Solares, Inversión, Beneficio, Costo, Balcarce.

## 1. INTRODUCCIÓN

Durante el siglo XX, el paradigma energético dominante se centró en producir energía, en cantidad abundante y de buena calidad. El efecto de su producción a gran escala no fue motivo de preocupación ambiental hasta fines de la década de los ochenta. Es claro que sin fuentes energéticas abundantes no hubiera sido posible sostener el ritmo de crecimiento económico mundial y alcanzar el grado de calidad de vida actual. Gran parte de los avances logrados internacionalmente en la medicina, en las comunicaciones, en la producción de alimentos, entre otros beneficios, se deben al uso extensivo de las fuentes energéticas basadas principalmente en el uso de los llamados recursos fósiles como el carbón, el gas natural, el petróleo y sus derivados.

Sin embargo, en la actualidad estos recursos son los principales responsables de las emisiones de dióxido de carbono, un gas que contribuye a aumentar el efecto invernadero y una amenaza a la estabilidad del clima del planeta. Por ello, un cambio de paradigma es necesario. En especial cuando se sabe que el consumo energético mundial seguirá aumentando, tanto por el crecimiento socioeconómico de las naciones como por el mayor consumo per cápita de la población mundial.

En el caso de la República Argentina su demanda energética se ha incrementado sosteniblemente desde hace más de 10 años. Por tal motivo, se ha aumentado la potencia instalada, no obstante, dicha potencia no es suficiente y tampoco consta de un tipo de generación sostenible. Hoy en día la matriz de generación de la Argentina está constituida en un 62,35 % de térmica, 22,54 % de hidráulica, 7,19 % de nuclear y un 7,91 % de renovables (Mirazón, 2019).

Como consecuencia, son necesarias políticas públicas que estimulen la incorporación de energía obtenida a través de fuentes renovables. Por ello, La ley 26.190 sancionada en el año 2006 buscaba alcanzar una proporción del 8 % en la generación eléctrica a nivel nacional mediante fuentes renovables para el año 2016. La meta energética comentada anteriormente no fue lograda, alcanzando solo el 1 %. Ante esta situación, se sancionó en septiembre del 2015 la Ley 27.191 que postergó el objetivo de 8 % de generación renovable para el año 2018 y adicionó una meta del 20 para el año 2025. Sin embargo, el objetivo planteado para el año 2018 no se logró cumplir. En pos de diversificar la generación para lograr un aumento apreciable que dé el paso a acoger definitivamente métodos renovables de generación, el Congreso aprobó la Ley 27.424. La presente tuvo por objeto fijar las políticas y establecer las condiciones jurídicas y contractuales para la generación de energía eléctrica de origen renovable por parte de usuarios de la red de distribución, para su autoconsumo, con eventual inyección de excedentes a la red, y establecer la obligación de

## Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

los prestadores del servicio público de distribución de facilitar dicha inyección, asegurando el libre acceso a la red de distribución, sin perjuicio de las facultades propias de las provincias (Mirazón, 2019).

En la actualidad existen numerosos métodos de generación renovable de energía, siendo el menos invasivo, de menor mantenimiento y mayor simpleza en cuanto a la instalación el solar fotovoltaico. Por lo tanto, es el más sencillo de adaptar a las necesidades y espacio que puede poseer un consumidor para su autoabastecimiento energético.

Por todo lo mencionado anteriormente, es que en el presente trabajo se lleva a cabo un estudio que nos permite determinar la factibilidad técnica y económica de generar energía eléctrica para el autoabastecimiento en el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce, a través de energía fotovoltaica. El objeto es poder identificar la cantidad óptima de paneles solares a instalar teniendo en cuenta tanto la disponibilidad física del Municipio, como del consumo total del mismo.

El motivo de la elección del Palacio Municipal se debe a que actualmente se encuentra en proceso de reglamentación una ordenanza municipal para promover el uso racional y eficiente de la energía y el estímulo del uso de fuentes de energía renovables destinadas al autoconsumo. La ordenanza antes mencioanda, en su segundo artículo establece la obligación en establecimientos municipales a través de la creación del “Programa Municipal para el Ahorro y la Transformación Energética”. El Departamento Ejecutivo deberá llevar adelante políticas y acciones tendientes a disminuir el consumo energético dentro de sus edificios y en los espacios públicos, promoviendo políticas proactivas para la utilización de tecnologías para la reducción del consumo de energía y la generación de energías renovables en las dependencias municipales y espacios públicos dependientes del municipio. La elección del Palacio Municipal para emplazar una instalación fotovoltaica presenta una oportunidad para generar energía de manera limpia y de concientizar a la comunidad sobre la importancia del uso de energías renvovables, debido a que se trata del edificio público más emblemático y relevante de la ciudad.

El objetivo primordial de este proyecto incluye por un lado alcanzar un ahorro económico a largo plazo para el Palacio Municipal de Balcarce, y por el otro lado, generar una actitud crítica en la comunidad sobre ciertos aspectos de la obtención y utilización de la energía solar.

## 2 OBJETIVOS

### Objetivo general:

- ✓ Analizar la factibilidad técnica y económica para la generación de energía eléctrica mediante paneles solares para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce.

# Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

## Objetivos específicos:

- ✓ Realizar un relevamiento del edificio, en cuanto a su funcionamiento y consumo energético.
- ✓ Seleccionar las celdas fotovoltaicas, inversores, cables y elementos de seguridad para el sistema de generación de energía.
- ✓ Diseñar la instalación fotovoltaica, teniendo en cuenta la inclinación óptima de los paneles y la superficie disponible con la meta de obtener la mayor generación de energía posible.
- ✓ Simular mediante un software la generación de energía eléctrica en base al diseño planteado.
- ✓ Analizar la relación costo-beneficio de implementar un sistema de abastecimiento por medio de paneles solares en el Palacio Municipal de Balcarce.
- ✓ Estudiar el impacto ambiental en función de la Huella de Carbono del sistema fotovoltaico.

## 3 MARCO TEÓRICO

### 3.1 Energía

La energía es la capacidad que tienen los cuerpos para producir trabajo. La misma puede manifestarse de forma gravitatoria, cinética, química, eléctrica, magnética, nuclear, radiante, entre otras, existiendo la posibilidad de que se transformen entre sí, pero respetando siempre el principio de conservación de la energía (Schallenberg & Piernavieja, 2008).

#### 3.1.1 Energía eléctrica

La energía eléctrica es la que se origina de la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos determinados, cuando se los pone en contacto mediante un transmisor eléctrico.

Este contacto provoca una corriente eléctrica que consiste en la transmisión de cargas negativas a través de un material propicio para ello, como suelen ser los metales, desde el punto de su generación o almacenamiento hasta el punto de consumo. Usualmente la energía eléctrica es convertida en otras formas de energía, por ejemplo mecánica o térmica (Schallenberg & Piernavieja, 2008).

#### 3.1.2 Clasificación de fuentes de energía

Las fuentes de energía pueden clasificarse en renovables y no renovables.

## Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

### 3.1.3 Energía no renovable

Las energías no renovables son aquellas que existen en la naturaleza en una cantidad limitada. No se renuevan a corto plazo y por eso se agotan cuando se utilizan. La demanda mundial de energía en la actualidad se satisface fundamentalmente con este tipo de fuentes energética, como pueden ser el carbón, el petróleo, el gas natural, el uranio y el plutonio. (Schallenberg & Piernavieja, 2008).

Las ventajas de la generación de energía por medio de esta fuente, es que permiten la producción de electricidad a gran escala con lo que se pueden proveer a ciudades enteras y a bajo costo.

Sin embargo, su desventaja es que la energía térmica que se produce como resultado de la combustión produce un deterioro al medio ambiente, liberando gases de efecto invernadero a la atmósfera. Además, agota con rapidez recursos que no se pueden reponer (Guerra, 2019).

### 3.1.4 Energía renovable

Los recursos renovables son aquellos que provienen de la naturaleza, que no se agotan y su procesamiento no generan gases de efecto invernadero como los combustibles fósiles, por lo tanto, no contribuyen al calentamiento global. Entre ellos se encuentran la energía solar, la eólica, la térmica, la hidráulica y la biomasa (Guerra, 2019).

### 3.1.5 Ventajas de las energías renovables (Ruiz, 2020)

- No contaminan: es la forma de energía más limpia hasta la actualidad.
- No generan residuos a largo plazo
- Prosperidad económica local: ayuda al desarrollo de la zona donde son instaladas ya que permite que la misma sea más autónoma.
- Seguridad: energías seguras que no contaminan, ni tampoco suponen un riesgo para la salud.
- Ilimitadas: se trata de energías de fuentes que son inagotables, como el sol o el agua. Además, sus distintos orígenes permiten su aplicación en todo tipo de escenarios.

### 3.1.6 Las desventajas de las energías renovables (Ruiz, 2020)

- Inversión inicial: invertir en energías renovables supone un gran movimiento de dinero y la rentabilidad no suele llegar a corto plazo, por lo que requiere una inversión que no todas las empresas se pueden acceder.

## Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

- Disponibilidad: no siempre se dispone de ellas y se debe esperar que haya suficiente almacenamiento. Esto tiene una estrecha relación con el hecho de que están comenzado a ser cada vez más populares.
- Espacio necesario: necesitan de un gran espacio para poder instalarlas.

### 3.1.7 Energía solar

El Sol, de forma directa o indirecta, es el origen de todas las energías renovables, exceptuando la energía maremotriz y la geotérmica. La energía del Sol se desplaza a través del espacio en forma de radiación electromagnética, llegando una parte de esta energía a la atmósfera. Sin embargo, un porcentaje bajo llega efectivamente a la superficie terrestre, esto se debe a que una parte de esa radiación es absorbida por la atmósfera y el suelo, y otra reflejada directamente al espacio. Esa proporción de energía es la que puede utilizarse con fines energéticos. (Schallenberg & Piernavieja, 2008).

### 3.1.8 El recurso solar

La unidad de medición en el Sistema Internacional para la irradiancia es el Watt por metro cuadrado ( $W/m^2$ ) mientras que la Irradiación es la energía por unidad de área, es decir, cuando se habla de irradiación se refiere a la cantidad de irradiancia que llega por unidad de tiempo, y se mide en Watt-hora por metro cuadrado ( $Wh/m^2$ ) (Gonzalez, 2019).

### 3.1.9 Radiación

La radiación es la transferencia de energía por ondas electromagnéticas. La radiación se produce directamente desde la fuente hacia fuera en todas las direcciones. Estas ondas no necesitan un medio material para propagarse, pueden atravesar el espacio interplanetario y llegar a la Tierra desde el Sol. La radiación solar llega a nuestro planeta de tres formas distintas. (Schallenberg & Piernavieja, 2008).

### 3.1.10 Radiación directa

La Radiación directa es aquella que nos llega directamente del Sol, sin haber incidido con nada por el camino y sin haberse desviado ni cambiado de dirección. Esta radiación es la que produce las sombras.

### 3.1.11 Radiación difusa

La Radiación difusa es la que nos llega después de haber incidido con cualquier elemento de la atmósfera, por lo que ha cambiado de dirección.



## Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

### 3.1.12 Radiación reflejada o albedo

Es la radiación reflejada por la superficie terrestre; cobra importancia en las zonas con nieve, con agua o cualquier otra zona donde la reflexión sea importante.

### 3.1.13 Radiación global

Es la suma de la radiación directa y la radiación difusa.

### 3.1.14 Mapa de radiación solar en Argentina

A continuación, en la Figura N°1 se presentan los mapas de radiación solar de Argentina para enero y julio respectivamente publicado en el Atlas Solar de la República Argentina.

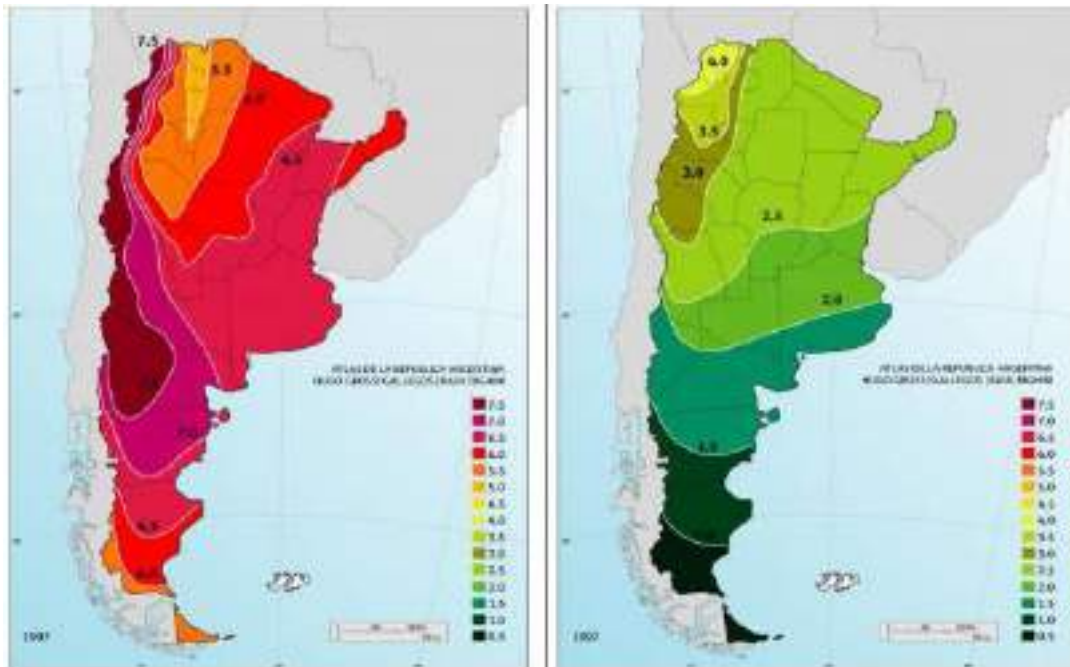


Figura 1: Mapas de radiación solar mensual en Argentina en enero (izquierda) y julio (derecha) en kWh/m<sup>2</sup>

Fuente: Gonzales, 2019

### 3.1.15 Principales usos de la energía solar

La energía procedente del Sol se ha utilizado directa o indirectamente desde hace siglos en actividades tales como la agricultura, arquitectura, industria, etc. El Sol puede aprovecharse energéticamente de dos formas conceptualmente diferentes.

- Como fuente de calor: energía solar térmica de baja y media temperatura.
- Como fuente de electricidad: energía solar fotovoltaica y solar térmica de alta temperatura.

## Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

### 3.1.16 Energía solar fotovoltaica

La tecnología fotovoltaica busca convertir directamente la radiación solar en electricidad, basado en el efecto fotoeléctrico, este proceso se lleva a cabo mediante materiales semiconductores denominados celdas fotovoltaicas, las cuales son sensibles a la incidencia de luz solar, de manera que cuando se expone a esta se genera un flujo de electrones en el interior del material que puede ser aprovechado para generar energía eléctrica (Schallenberg & Piernavieja, 2008) (Energía S. d., 2008).

### 3.1.17 Características de las instalaciones fotovoltaicas

El objetivo de las instalaciones fotovoltaicas es producir energía eléctrica a partir de la energía solar. Esta generación de energía eléctrica, sin emisiones de gases contaminantes, se produce como resultado de la captación directa de la energía solar mediante la intervención del llamado efecto fotovoltaico. Los sistemas fotovoltaicos se caracterizan por:

- Su simplicidad y fácil instalación.
- Tener una larga duración, la vida útil de las celdas superior a 25 años.
- Bajo mantenimiento.
- Tener una elevada fiabilidad.
- No producir ningún tipo de contaminación ambiental.
- Tener un funcionamiento totalmente silencioso.

Un panel fotovoltaico produce electricidad en corriente continua y sus parámetros característicos (intensidad y tensión) varían con la radiación solar que incide sobre las células y con la temperatura ambiente. La electricidad generada con energía solar fotovoltaica se puede transformar en corriente alterna, con las mismas características que la electricidad de la red eléctrica, utilizando inversores (Schallenberg & Piernavieja, 2008).

### 3.1.18 Tipos de paneles fotovoltaicos

En el mercado existen varios tipos de paneles solares fotovoltaicos. Los más comunes son:

- Los paneles fotovoltaicos monocristalinos.
- Los paneles solares policristalinos.
- Las placas solares de capa fina.

La principal diferencia entre los diferentes tipos de placas fotovoltaicas es la pureza del silicio utilizado. Cuanto más puro es el silicio, mejor alineadas están sus moléculas, y mejor convierte la energía solar en electricidad. De este modo, se establece una relación directa

## Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

entre la pureza del silicio y la eficiencia de los paneles solares. Por el contrario, el aumento de la pureza del silicio implica procesos más caros (Planas, 2020).

### 3.1.19 Paneles solares monocristalinos de celdas de silicio

Para este tipo de paneles, las celdas monocristalinas se fabrican con bloques de silicio, de forma cilíndrica. Posteriormente, con el objetivo de reducir los costos de fabricación y de optimizar su rendimiento, se recortan los cuatro lados de los bloques cilíndricos para hacer láminas de silicio. Este recorte es el que les da este aspecto característico.

La diferencia básica entre una célula solar monocristalina y una policristalina es la composición del cristal de silicio. Las células monocristalinas están formadas por un único tipo de cristal de silicio, compuesto por un alineamiento bastante perfecto de todos los componentes del cristal (Planas, 2020).

### 3.1.20 Paneles fotovoltaicos policristalinos de silicio

En este tipo de panel solar el silicio en bruto se funde y se vierte en un molde cuadrado. A continuación, se enfría y se corta en láminas perfectamente cuadradas.

La mayor ventaja de este tipo de paneles solares es que parte de un proceso de producción de menor costo, que permite una baja en el precio final de la instalación. Sin embargo, este tipo de celdas tiene una tolerancia al calor menor, lo que hace que tenga una eficiencia inferior a la alternativa monocristalina (Planas, 2020).

### 3.1.21 Paneles solares fotovoltaicos de capa fina

El fundamento de estos paneles es depositar varias capas de material fotovoltaico en una base. Dependiendo de cuál sea el material empleado podemos encontrar paneles de capa fina de silicio amorfo, de telururo de cadmio, de cobre, indio, galio y selenio o células fotovoltaicas orgánicas.

En su fabricación, la principal característica es que el proceso se realiza a baja temperatura (inferior a 300 °C), lo que permite disminuir el costo de producción manteniendo la rentabilidad. Además, la cantidad de material semiconductor presente en el panel es considerablemente menor que los paneles hechos con celdas fotovoltaicas estándar, lo que permite reducir los costos. Frente a las ventajas de fabricación y bajo costo, estas células solares presentan importantes inconvenientes, su rendimiento se cifra entre el 7-10%, debido a que el material amorfo no tiene una ordenación cristalina y sufre un alto envejecimiento con la exposición al sol (Planas, 2020). (Zucal & Vidal, 2019).

### 3.2 Principio de funcionamiento de una celda solar fotovoltaica

En la Figura N°2 se puede observar una versión simplificada del principio básico de funcionamiento de una celda fotovoltaica. La luz proveniente del sol alcanza la superficie de los módulos fotovoltaicos. Es allí donde los fotones (partículas elementales responsables del fenómeno electromagnético) son absorbidos por el material semiconductor provocando la excitación de los electrones y permitiendo que se forme lo que se conoce como el par electrón-hueco. Dado que los electrones y los huecos tienden a recombinarse para volver a liberar la energía del fotón, si uno desea aprovechar la energía almacenada en un par electrón-hueco para realizar trabajo en un circuito externo se deben separar los electrones y los huecos mediante la inserción de otros materiales que permitan sólo el paso de electrones hacia un extremo y sólo el paso de huecos hacia el otro. Finalmente, las cargas eléctricas son extraídas de las celdas fotovoltaicas mediante contactos eléctricos para que puedan realizar trabajo en un circuito externo. La energía química de los pares electrón-hueco se convierte en energía eléctrica, para que luego de que los electrones hayan pasado por el circuito, se recombinen con los huecos (Gonzalez, 2019).

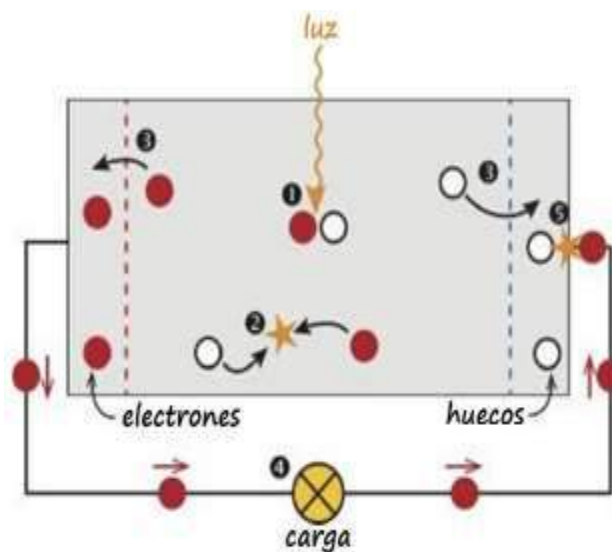


Figura 2: Modelo de celda simplificado

Fuente: Gonzalez, 2019

1. Absorción del fotón que permite la generación del par electrón-hueco.
2. Normalmente el par electrón-hueco se recombina sin que se genere energía eléctrica.
3. Con membranas semipermeables, los electrones y los huecos son separados.
4. Los electrones recolectados son utilizados para que circulen en un circuito eléctrico.

## Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

5. Luego de que los electrones han atravesado el circuito, se recombinan con los huecos.

### 3.3 Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica

Las instalaciones solares fotovoltaicas se dividen en dos grandes grupos: sistemas aislados (sistemas autónomos sin conexión a la red eléctrica) y sistemas conectados a la red eléctrica. El sistema planteado en este proyecto corresponde a uno conectado a la red.

#### 3.3.1 Sistemas conectados a la red

Se instalan en zonas que disponen de red eléctrica y su función es producir electricidad para venderla a la compañía eléctrica. Estos sistemas constan de los siguientes elementos.

- Paneles fotovoltaicos: generan electricidad a partir de la energía del Sol en corriente continua.
- Inversores: para transformar la electricidad producida por un panel solar fotovoltaico (corriente continua) en electricidad con las mismas características que la de la red eléctrica.
- Cuadro de protecciones y contadores: el generador fotovoltaico necesita dos contadores ubicados entre el inversor y la red: uno para cuantificar la energía que se genera e inyecta en la red (para su posterior remuneración), y otro para cuantificar el pequeño consumo del inversor fotovoltaico en ausencia de radiación solar (también garantiza a la compañía eléctrica posibles consumos que el titular de la instalación pudiera hacer) (Schallenberg & Piernavieja, 2008).

#### 3.4 Mantenimiento de una instalación fotovoltaica

El mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red es mínimo y de carácter preventivo, no tiene partes móviles sometidas a desgaste, ni requiere cambio de piezas ni lubricación. Requiere de revisiones periódicas de las instalaciones para asegurar que todos los componentes funcionen correctamente. Dos aspectos a tener en cuenta son, por un lado, asegurar que ningún obstáculo haga sombra a los módulos y, por el otro, mantener limpios los módulos fotovoltaicos (Schallenberg & Piernavieja, 2008).

#### 3.5 Leyes y políticas energéticas

El actual marco normativo que regula el desarrollo de las energías renovables en Argentina se promulgó en 2015 por medio de la Ley 27.191, que modifica la Ley 26.190. Dicha normativa fue reglamentada por medio del decreto 531/16. La cual establecía lograr que un 8% de la matriz energética sea aportada por fuentes limpias para el año 2017 y alcanzar un

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

20% para el año 2025. Con el decreto se conformó el fondo fiduciario (FODER) para respaldar la financiación de los proyectos de inversión, estableciéndose beneficios en el otorgamiento del préstamo (Cassagne, 2017).

Otro aspecto sumamente importante que introduce la nueva ley se refiere a la contribución de los usuarios de energía eléctrica al cumplimiento de los objetivos del régimen de fomento de energías renovables. A tal fin, la ley establece que todos los usuarios de energía eléctrica de la República Argentina deberán contribuir con el cumplimiento de los objetivos fijados en la Ley 26.190, y cada sujeto obligado deberá alcanzar la incorporación mínima del 8% del total del consumo propio de energía eléctrica, con energía proveniente de las fuentes renovables, al 31 de diciembre de 2017, y del 20% al 31 de diciembre de 2025. Para alcanzar este grado de cumplimiento, la propia normativa establece que debe realizarse de manera gradual, de acuerdo a un cronograma que fija metas cada dos años (Cassagne, 2017).

A continuación, en la figura N°3 se presenta la proyección de manera gradual para el incremento de generación eléctrica por medio de energías renovables.

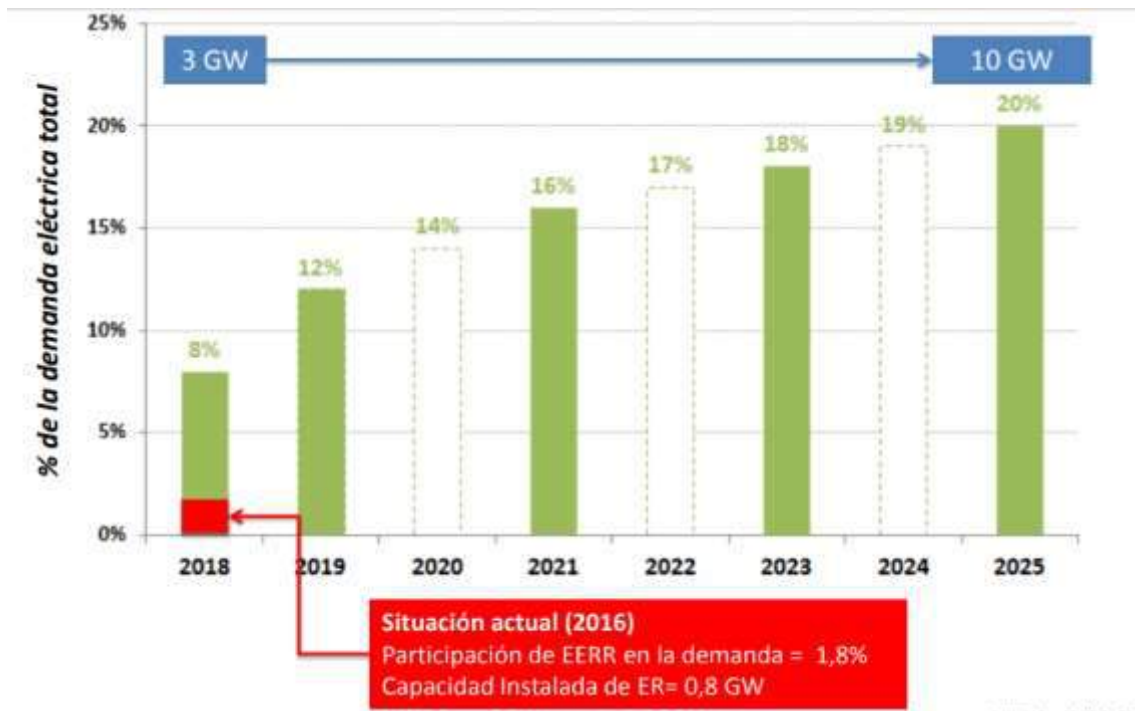


Figura 3: Proyección de generación de energía eléctrica por fuentes limpias  
Fuente: MINEM, 2016

Entre las alternativas los consumidores pueden proveerse de energía renovable por medio de tres mecanismos alternativos.

## Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

- 1) La contratación individual con un generador renovable en forma directa o a través de una distribuidora o comercializador, a ser negociados de manera libre entre las partes.
- 2) La autogeneración. El autogenerador debe contar con una potencia instalada no inferior a 1 MW, y debe ser capaz de cubrir el 50% o más de su demanda anual de energía informada. Los autogeneradores pueden vender al MEM (Mercado Eléctrico Mayorista) sus excedentes de energía o comprar faltantes.
- 3) La cogeneración, la cual consiste en generar conjuntamente energía eléctrica y vapor u otra forma de energía para fines industriales, comerciales, de calentamiento o de enfriamiento. Al igual que la autogeneración, el excedente puede ser vendido al MEM, pero la diferencia es que no pueden comprar energía.

La última modificación de la Ley 27191 fue en el 2017 con la Ley 27424 de fomento a la generación distribuida de energía renovable, con el objeto de regular la generación de energía eléctrica de origen renovable por parte de usuarios de la red de distribución, para su autoconsumo, con eventual inyección de excedentes a la red, y establecer la obligación de los prestadores del servicio público de distribución de facilitar dicha inyección, asegurando el libre acceso a la red de distribución. En primer lugar, se encuentran dos exenciones que benefician directamente a los usuarios-generadores que apuesten por fuentes renovables para la generación de energía eléctrica (beneficios directos). Por un lado, una exención en el Impuesto a las Ganancias en relación a la renta derivada de dicha actividad y, por el otro, una exención en el IVA respecto de la venta de la energía inyectada. En todo caso siempre debe tratarse de usuarios-generadores que cuenten con 300kW de potencia contratada como máximo y que cumplan con los requisitos y las demás autorizaciones determinadas en la normativa. En segundo lugar, existen una serie de incentivos tributarios que no favorecen directamente a los usuarios-generadores, sino que benefician al Fondo para la Generación Distribuida de Energías Renovables (FODIS) y al Régimen de fomento para la fabricación nacional de sistemas, equipos e insumos para generación distribuida a partir de fuentes renovables (FANSIGED). Igualmente, ambos buscan en definitiva incentivar la generación distribuida de energías renovables (beneficios indirectos) (Magter, 2019).

A efectos de fomentar estas actividades se establecen los siguientes beneficios tributarios.

- a) Certificado de crédito fiscal, sobre la inversión en investigación y desarrollo, diseño, bienes de capital, certificación para empresas fabricantes;

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

b) Amortización acelerada del Impuesto a las Ganancias, por la adquisición de bienes de capital para la fabricación de equipos e insumos destinados a la generación distribuida de energía a partir de fuentes renovables, con excepción de automóviles.

c) Devolución anticipada del IVA, por la adquisición de los bienes para cumplir con estos objetivos.

### 3.6 Huella de Carbono

La Huella de Carbono (HC) es un instrumento que permite estimar las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) emitidos por un individuo, organización, evento o producto. El cálculo consiste en recopilar los datos referentes a los consumos directos e indirectos de insumos materiales y energía, y traducirlos en emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes, universalmente se eligió el CO<sub>2</sub> como valor de referencia para poder comparar con los otros GEI, ya que es el gas que más crecimiento ha experimentado en la atmósfera terrestre y el más abundante en porcentaje de todos ellos (Rodríguez, 2018).

### 3.7 Efecto invernadero y los gases responsables

El efecto invernadero es un fenómeno natural que ocurre en la atmósfera, que permite que la temperatura en la Tierra se mantenga estable, en promedio en 15 °C, gracias a esto puede existir y mantenerse la vida en el planeta. Este fenómeno se produce gracias a la retención de calor por parte de los gases de efecto invernadero, detallados en el cuadro 1.

Gases de efecto invernadero - GEI
CO <sub>2</sub> (Dióxido de carbono)
CH <sub>4</sub> (Metano)
N <sub>2</sub> O (Óxido Nitroso)
Hidrofluorocarbonos (HFC)
Perfluorocarbonos (PFC)
SF <sub>6</sub> (Hexafluoruro de Azufre)

Cuadro 1: Gases de efecto invernadero  
Fuente: Ministerio de Agroindustria, 2018

Los GEI son de origen natural como antropogénico (consecuentes de las actividades llevadas adelante por el hombre); como se observa en la figura N°4, absorben y emiten radiación de determinadas longitudes de ondas del espectro de radiación infrarroja, dando como resultado que parte del calor que la Tierra transmite desde su superficie quede retenido en la atmósfera generando el calentamiento de la propia atmósfera y de la superficie terrestre. Al incrementarse la concentración de dichos gases, se aumenta la capacidad de retención de



Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

la energía, produciendo un aumento considerable de la temperatura de La Tierra (Calabrese, 2017).



Figura 4: Esquema del funcionamiento de los Gases de Efecto Invernadero  
Fuente: Inventario de Gases de Efecto Invernadero de Argentina, 2017

Durante el año 2017 el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la República Argentina ha elaborado un inventario de gases de efecto invernadero, para dar cumplimiento a los compromisos internacionales del país. El informe de inventario de GEI incluye un conjunto de cuadros estandarizados para la generación de informes que cubren todos los gases, las categorías y los años pertinentes, acompañado de un informe escrito que documenta las metodologías y los datos utilizados para elaborar las estimaciones. Las estimaciones de emisiones y absorciones de GEI se dividen en sectores principales, que son grupos de procesos, fuentes y sumideros relacionados (Calabrese, 2017). La figura N°5 muestra los sectores de estudio.

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce



Figura 5: Sectores de estudio de emisión de CO<sub>2</sub>

Fuente: Inventario de Gases de Efecto Invernadero de Argentina, 2017

En la figura N°6 se muestra el gráfico que detalla los resultados del inventario de GEI de la República Argentina, elaborado en 2017. Se incluyeron todas las fuentes de emisiones y absorciones para las cuales la información disponible permitió realizar la estimación.



Figura 6: Gráfico de porcentajes de emisión de CO<sub>2</sub> en diferentes sectores

Fuente: Inventario de Gases de Efecto Invernadero de Argentina, 2017

Como puede observarse en la figura N°5 el sector con mayor impacto, en función de las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes corresponde al sector energético con un 53% del total.

#### 4 ANTECEDENTES DE USO DE ENERGÍAS RENOVABLES EN BALCARCE

Si bien actualmente en la ciudad de Balcarce no existen antecedentes del uso de energías limpias, se encuentra en vías de desarrollo un proyecto de Ordenanza para ser tratado en el Honorable Consejo Deliberante. El mismo consiste en la creación del "Programa de

## Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

Promoción del uso Racional y Eficiente de la Energía y el estímulo del uso de fuentes de energías renovables destinadas al autoconsumo”, el cual tendrá por finalidad concientizar y trabajar con la comunidad sobre el uso y consumo eficiente y racional de la energía, así como también, promover la utilización de tecnologías que permitan el aprovechamiento de energía proveniente de fuentes limpias, con el objetivo de revertir la problemática que ocasiona el proceso del cambio climático.

Además, se acaba de incorporar un proyecto en el cual consiste en la colocación de luminarias en el sector “El Mirador”, con abastecimiento energético a partir de paneles solares que contendrán incorporadas las luminarias.

Esto demuestra que a pesar de que Balcarce no cuenta con sistemas de obtención de energía a través de fuentes limpias tiene como objetivo la incorporación y concientización para hacerlo.

### 5 ANTEDECENTES DEL USO DE PANELES SOLARES EN DEPENDENCIAS MUNICIPALES

#### 5.1 Municipalidad de Oleata

La localidad de Oleata, ubicada en la zona centro-sur de la provincia de Córdoba, es el primer municipio de Argentina en incorporar paneles solares para proveer de esta energía renovable al edificio municipal. Para ello adhirió a través de un convenio con la Cooperativa Eléctrica de la localidad, a la ley nacional 27.424, de régimen de fomento a la generación distribuida de energía renovable integrada a la red eléctrica pública.

Para llevar a cabo la transformación en la generación de energía mediante fuentes limpias el municipio realizó un análisis sobre el consumo promedio de un año, teniendo en cuenta los picos de invierno y verano, horas por día de mayor consumo, entre otras variables. De esta forma se obtuvo el consumo estimativo de un año, con lo cual se calculó la cantidad de paneles necesarios de acuerdo al consumo promedio, de 7 a 14 horas diariamente.

A principios de abril del año 2018 se instalaron en el techo del edificio municipal 16 paneles solares de 4,4 kilovatios por hora, como puede apreciarse en la figura N°7, que según los cálculos realizados inyectarán a la red lo que se consume mensualmente en el edificio. La inversión en el material fue de \$ 250.000 pesos, que según el gobierno local fue amortizada en un año.

## Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

La iniciativa de instalación de paneles fotovoltaicos le permitió al municipio un ahorro promedio anual de \$250.000 pesos en un servicio básico como lo es la electricidad (La Ribera, 2018).



Figura 7: Instalación fotovoltaica Municipalidad de Oleata  
Fuente: La Ribera (2018)

### 5.2 Palacio Municipal 6 de Julio

Durante el año 2019 la Municipalidad de Córdoba realizó una instalación fotovoltaica en el techo del Palacio Municipal 6 de Julio, colocando al municipio a la vanguardia en el uso de energías limpias y renovables, cumpliendo de esta manera con dos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas.

Se trata de una instalación aproximada de 400 paneles solares que fueron dispuestos entre las dos terrazas, la del 10º piso, y la de la terraza del Piso Ejecutivo, como puede apreciarse en la figura 8. Para ello se hizo un llamado a licitación pública, con un presupuesto oficial de \$ 6.384.250 pesos.

La instalación fotovoltaica corresponde a un sistema de funcionamiento On Grid, donde la energía generada se utiliza inmediatamente. Esto quiere decir que, durante las horas de luz del día, la Municipalidad consume la electricidad producida por el sistema fotovoltaico y durante la noche toma energía de la red.

Cada panel tiene dos metros de altura por un metro de ancho y estarán destinados a generar la energía necesaria para alimentar el Centro de Cómputos Municipal del que dependen todas las bases de datos y servidores de la administración. Por ejemplo, el Sistema de Carnets de Conducir que se utiliza en todos los Centros de Participación Comunal, Sistema Tributario, Registro Civil, la Historia Clínica Única, entre otros.

El Municipio estima que se generan unos 240 MWh por año, lo que representa un ahorro de 2 millones de pesos para la Municipalidad. De este modo, el municipio utiliza energía sustentable equivalente al consumo de 1.400 hogares de manera anual (Municipalidad de Córdoba, 2019).

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce



Figura 8: Instalación fotovoltaica en el Palacio 6 de Julio

Fuente: Municipalidad de Córdoba (2019)

## 6 DESARROLLO

### 6.1 Relevamiento del edificio

El palacio Municipal se encuentra ubicado en la Ciudad de Balcarce, calle 16 N°602, a continuación, se presenta en la figura N°9 imágenes del mismo, como así también en la figura N°10 se muestra la ubicación.



Figura 9: Palacio Municipal  
Fuente: Google Maps, 2021



Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce



Figura 10: Ubicación geográfica del Palacio Municipal

Fuente: Google Maps, 2021

El Palacio Municipal cuenta con tres plantas, y un total de 156 m<sup>2</sup>. El total de empleados es de 60 personas, de las cuáles se encuentran divididas en las diferentes dependencias que forman parte de la Municipalidad.

A continuación, se presenta la distribución del Palacio en el cuadro 2, indicando los diferentes sectores en cada piso y la cantidad de personas.

<b>Planta baja</b>	<b>Cantidad de personas</b>
Informes y recepción	2 personas
Oficina/sala del Intendente	1 persona
Oficina de Secretario de Gobierno	2 personas
Administración	10 personas
Oficina general	3 personas
2 depósitos	-
Administración de depósito	2 personas
2 salas de máquinas	2 personas
Sala de reuniones	-
Acceso de empleados	-
Patio	-
5 baños	-
<b>Primer piso</b>	<b>Cantidad de personas</b>
Registración contable	3 personas

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

Contaduría	4 personas
Oficina de contadora	1 persona
Oficina de Secretario de Hacienda	1 persona
Administración de Secretario de Hacienda	2 personas
Oficina Subsecretaria de Hacienda	1 persona
Oficina de Jefe de Compras	1 persona
Oficina de compras	3 personas
Oficina de informática	1 persona
Oficina de conmutador	2 personas
3 oficinas de tesorería	5 personas
2 baños	
<b>Segundo piso</b>	<b>Cantidad de personas</b>
Oficina de Secretario de Obras y Servicios Públicos	1 persona
Oficina de Subsecretario de Obras y Servicios Públicos	2 personas
Oficina de Secretario de Obras Privadas	1 persona
Oficina de Subsecretario de Obras Privadas	1 persona
Mesa de entrada	3 personas
Oficina de dirección de tierras	2 personas
Oficina de jefe de catastro	1 persona
Oficina de catastro	3 personas
3 baños	-
Total	60 personas

Cuadro 2: Sectores y cantidad de personas  
Fuente: Elaboración propia, 2021

A continuación, se describe brevemente las funciones más importantes de las principales áreas y Secretarías dentro del Palacio Municipal.

- Intendencia: el Intendente es el titular del Departamento Ejecutivo Municipal. Su Gabinete de gobierno está integrado por secretarios de carácter político designados por el Intendente a cargo de Secretarías que son establecidas por Ordenanzas, pudiendo además nombrar subsecretarios y otros asesores técnicos y políticos, los cuales cesan en sus funciones juntamente con el Intendente.

## Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

- Secretaría de Gobierno: es su deber entender en todo lo atinente al Gobierno Político. Propiciar el control efectivo de las normas que rigen la convivencia urbana. Promover el desarrollo productivo; cuidar de la conservación del medio ambiente y el adecuado abastecimiento del Municipio. Fomentar y apoyar programas de Desarrollo de Servicios Sociales, Psicopedagógicos y de Asistencia Familiar. Establecer y mantener el nexo entre Municipio y comunidad mediante la promoción de Centros de Acción Comunitaria y servicios esenciales a la familia.
- Secretaría de Hacienda: es responsable de coordinar la aplicación de las políticas y la administración presupuestaria y financiera del gasto público municipal. Intervenir en el proceso de programación de la gestión presupuestaria de la Administración Pública Municipal, planificando la aplicación del presupuesto vigente, fijando controles atinentes a la ejecución presupuestaria.
- Secretaría de Obras y Servicios Públicos: es la encargada de la planificación, programación, ejecución y control, tanto de la obra pública municipal, como de la prestación de los servicios públicos. Tiene a su cargo el ordenamiento urbano, la puesta en valor de los espacios públicos y el control de los servicios que el Municipio brinda a la comunidad. Planifica, proyecta y ejecuta las obras viales, hidráulicas y de arquitectura. También se encarga de cuestiones relacionadas al medio ambiente, el arbolado, la gestión de residuos, el correcto mantenimiento de los espacios verdes y públicos, la higiene urbana y mantenimiento del cementerio.
- Secretaría de Obras Privadas: tiene como función controlar las construcciones en el tejido urbano de la ciudad de Balcarce, mediante la recepción de documentación de obras privadas para la previa verificación y aprobación de las mismas para su ejecución, mediante inspecciones se fiscaliza el cumplimiento de las normativas vigentes, para luego ser habilitadas.
- Contabilidad: se encarga de la administración de los presupuestos, tesorería y crédito público, así como la de los sistemas de administración de recursos reales (personal, bienes y servicios) que producen durante la gestión innumerables transacciones y hechos económicos que requieren registrarse sistemáticamente como base de información para la toma de decisiones ejecutivas y para su ulterior evaluación. El sistema de contabilidad es el que sintetiza, como responsable de proveer la información, los datos relativos a la gestión.
- Compras: es responsable de dictar normas y procedimientos específicos en materia de compras de bienes y servicios. Actualiza el listado de proveedores y licitadores de obras públicas. Establece las modalidades de contratación más adecuadas y realiza los trámites inherentes a la contratación y recepción de los bienes adquiridos.



## Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

- Tesorería: básicamente es responsable de la recaudación de impuestos, derechos, productos, aprovechamientos y demás contribuciones municipales.
- Catastro: desarrolla tareas tales como asesoramiento sobre tareas de agrimensura, subdivisiones y trámites de aprobación parcelaria. Asesoramiento sobre requisitos y tramitación para donación de inmuebles. Certificación de nombres de calles y de número domiciliario de viviendas. Venta de planos catastrales del Municipio.

### 6.2 Consumo eléctrico

El palacio Municipal de Balcarce cuenta con las acometidas que permiten la distribución de energía y consumo en toda la Municipalidad, la misma está compuesta por el tablero principal ubicado por Av. Del Valle, como se aprecia en la figura N°11.

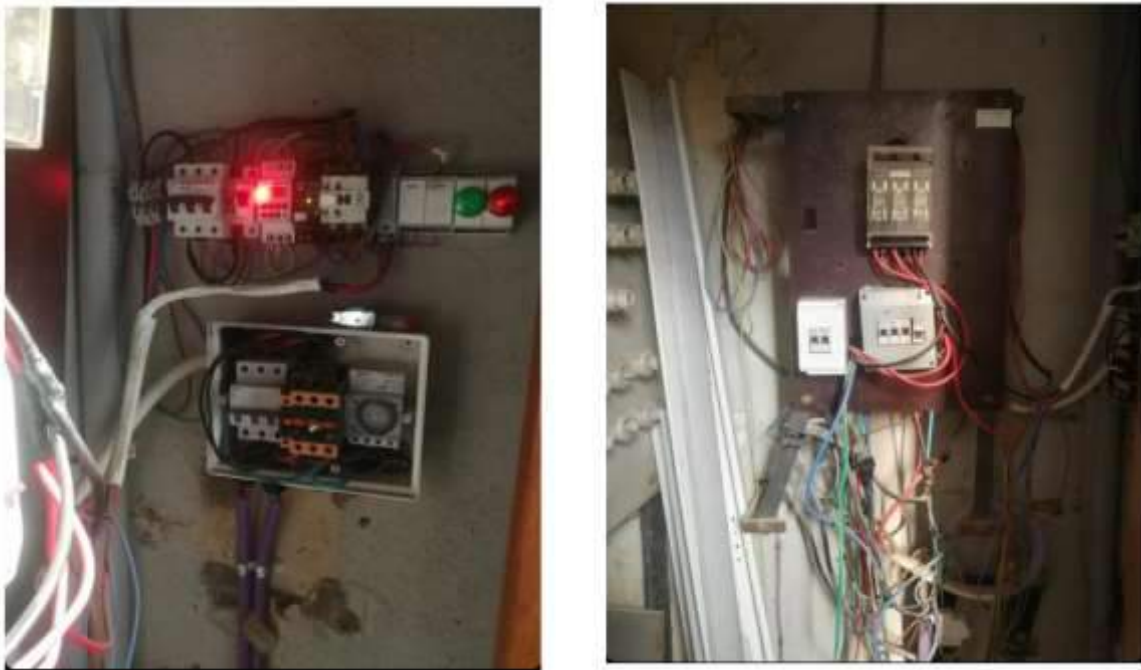


Figura 11: Tablero principal del Palacio Municipal  
Fuente: Secretario Obras Públicas, 2021

Mediante el consumo histórico emitido por la Cooperativa de Electricidad de Balcarce, brindadas por el Secretario de Obras Públicas, se obtienen las demandas energéticas mes a mes correspondientes al medidor con el que cuenta el Municipio.

A continuación, en el cuadro N°3 se presenta el consumo en kWh del palacio municipal, para el período 2017-2019:

AÑO	MES	C. Pico	C. Resto	Reactiva	TOTAL MEDIDOR
2017	Enero	1.060	5.840,56	1.886,2	8.786,76
2017	Febrero	1.230,45	5.284,52	1.536,12	8.051,09
2017	Marzo	1.000,45	6.152,3	1.258,63	8.411,38

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

2017	Abril	1.159,2	5.685,25	1.524,85	8.369,3
2017	Mayo	1.358,3	5.298,59	2.145,85	8.802,74
2017	Junio	985,65	5.187,52	1.258,45	7.431,62
2017	Julio	582,60	5.692,89	937,61	7.213,1
2017	Agosto	580,54	5.498,27	969,20	7.048,01
2017	Septiembre	521,33	5.082,27	997,93	6.601,53
2017	Octubre	449,66	5.178,24	946,16	6.574,06
2017	Noviembre	462,77	5.429,65	919,01	6.811,43
2017	Diciembre	785,83	6.390,25	1.539,19	8.715,27
2018	Enero	1.050,51	7.131,92	1.987,86	10.170,29
2018	Febrero	1.312,20	5.714,65	1.417,08	8.443,93
2018	Marzo	945,45	5.205,73	1.014,89	7.166,07
2018	Abril	1.156,20	4.733,68	1.252,56	7.142,44
2018	Mayo	1.250,36	5.379,18	877,89	7.507,43
2018	Junio	913,86	5.828,34	941,71	7.683,91
2018	Julio	932,23	6.282,53	1.046,85	8.261,61
2018	Agosto	731,96	5.030,86	826,27	6.589,09
2018	Septiembre	873,21	5.152,75	750,07	6.776,03
2018	Octubre	628,20	4.722,20	564,59	5.914,99
2018	Noviembre	708,60	5.154,19	788,33	6.651,12
2018	Diciembre	737,61	5.420,88	790,01	6.948,50
2019	Enero	1.016,55	6.816,13	1.887,99	9.720,67
2019	Febrero	1.597,26	8.514,9	3.710,33	13.822,49
2019	Marzo	1.718,69	7.956,59	3.814,51	13.489,79
2019	Abril	1.603,52	6.241,17	4.971,38	12.816,07
2019	Mayo	1.609,58	5.955,34	2.302,56	9.867,48
2019	Junio	1.225,36	5.555,16	1.837,63	8.618,15
2019	Julio	1.022,49	6.516,72	2.397,78	9.936,99
2019	Agosto	1.476,09	8.441,1	4.050,31	13.967,50
2019	Septiembre	1.144,71	6.591,84	2.734,93	10.471,48
2019	Octubre	1285,22	7.063,27	3.117,23	11.465,72
2019	Noviembre	771,71	5.235,18	1.560,24	7.567,13
2019	Diciembre	932,63	5.337,15	1.628,19	7.897,97

Cuadro 3: Consumo del Palacio Municipal  
Fuente: Elaboración propia

A continuación, en la figura N°12, se presenta el consumo para los períodos 2017, 2018 y 2019 de la Municipalidad de Balcarce. Como puede observarse el mayor consumo se dio para el año 2019, superando ampliamente los valores en referencia a los años anteriores, esto se debe a la ampliación que se llevó a cabo en el palacio Municipal, incorporando dependencias que se encontraban realizando sus actividades en otra parte de la ciudad de

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

Balcarce, por ello es que puede observarse el incremento correspondiente al año 2019 aumentando el consumo del Palacio. Además, se puede observar que los meses de mayor consumo fueron durante los meses de Agosto, Febrero Marzo y Abril, con aproximadamente un consumo de 14000 kWh.

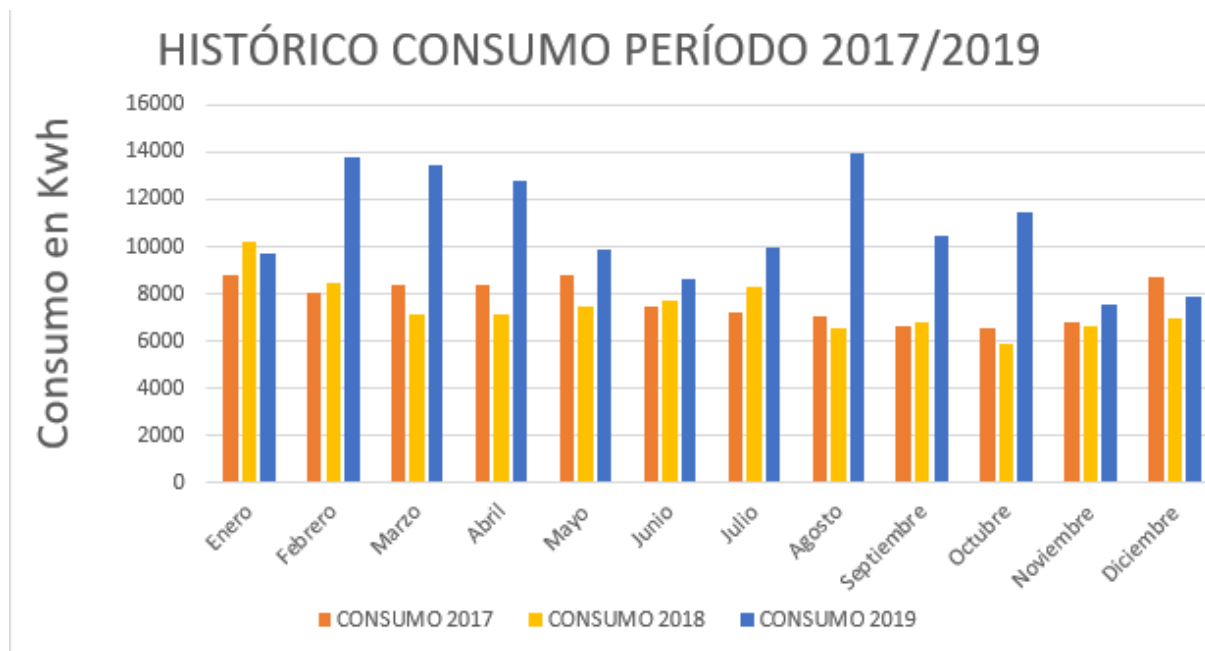


Figura 12: Grafico del consumo total periodo 2017-2019  
Fuente: Elaboración propia

A continuación, en el cuadro N°4 se presenta el consumo total para para los años 2017,2018 y 2019:

TOTAL 2017	10.176,78	66.720,31	15.919,20	92.816,29
TOTAL 2018	11.240,39	65.756,91	12.258,11	89.255,41
TOTAL 2019	15403,81	80224,55	34013,08	129.641,44

Cuadro 4: Consumo total por año  
Fuente: Elaboración propia

Por lo expuesto anteriormente, a lo largo del trabajo se utilizará como referencia el año 2019 para llevar a cabo todo el análisis.

### 6.3 Descripción de la instalación

La instalación que se plantea para el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce corresponde a un sistema conectado a la red. El proyecto se encuadra dentro del marco del Régimen de Generación Distribuida, una iniciativa del gobierno nacional que establece el marco regulatorio para que los usuarios de la red de distribución generen energía eléctrica de origen renovable para su autoconsumo, con eventual inyección de excedentes a la red.

## Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

En este caso se omitirán las baterías, debido a que las horas en las que la demanda de energía es mayor coincide con las horas de mayor producción solar, como ya se mencionó las actividades en la Municipalidad se llevan a cabo desde las 7 AM hasta las 2 PM. Al no considerar la incorporación de baterías para almacenar la energía, el costo, la complejidad y el mantenimiento del sistema fotovoltaico se reducen.

Los componentes necesarios para la instalación solar fotovoltaica son los siguientes:

- Paneles fotovoltaicos
- Inversor de red
- Protecciones
- Cables de interconexión
- Medidor bidireccional

El conexionado de los componentes se realizará en conformidad con la normativa reglamentaria según la Ley 27.424 de generación distribuida, cuyo esquema ilustrativo se muestra en la figura N°13 y su esquema unifilar se muestra en la figura N°14 (Navntoft, 2019).

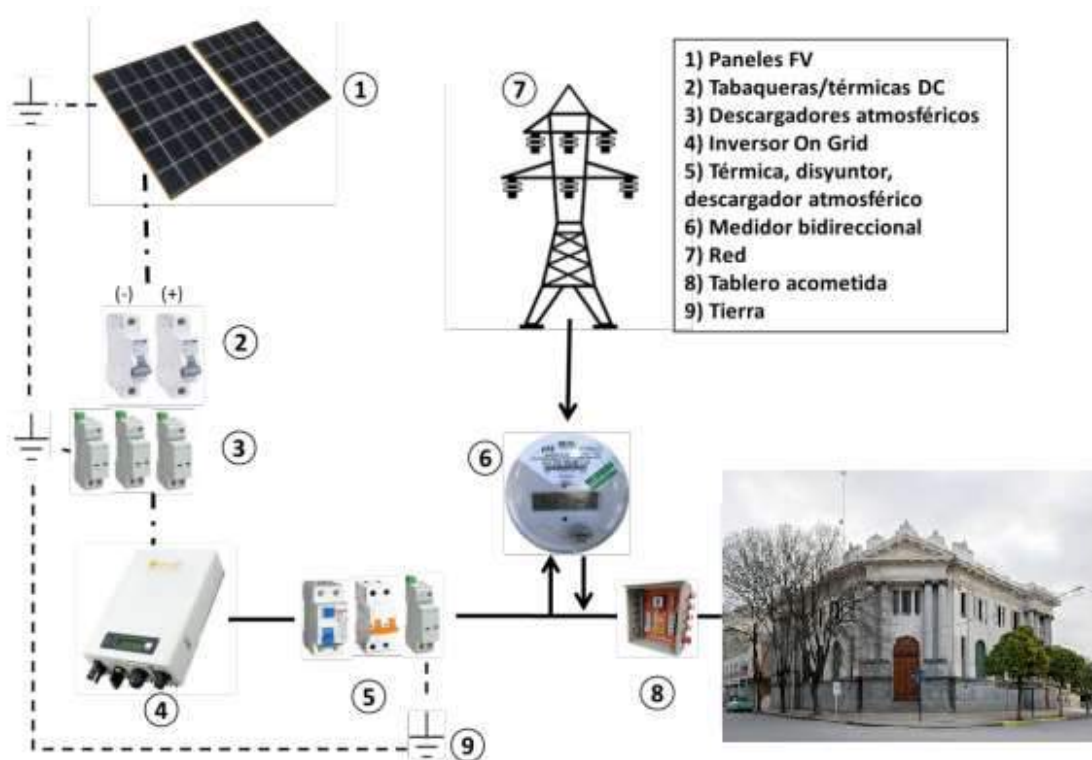


Figura 13: Esquema ilustrativo del conexionado de la instalación  
Fuente: Elaboración propia en base a Navntoft, 2019

## Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

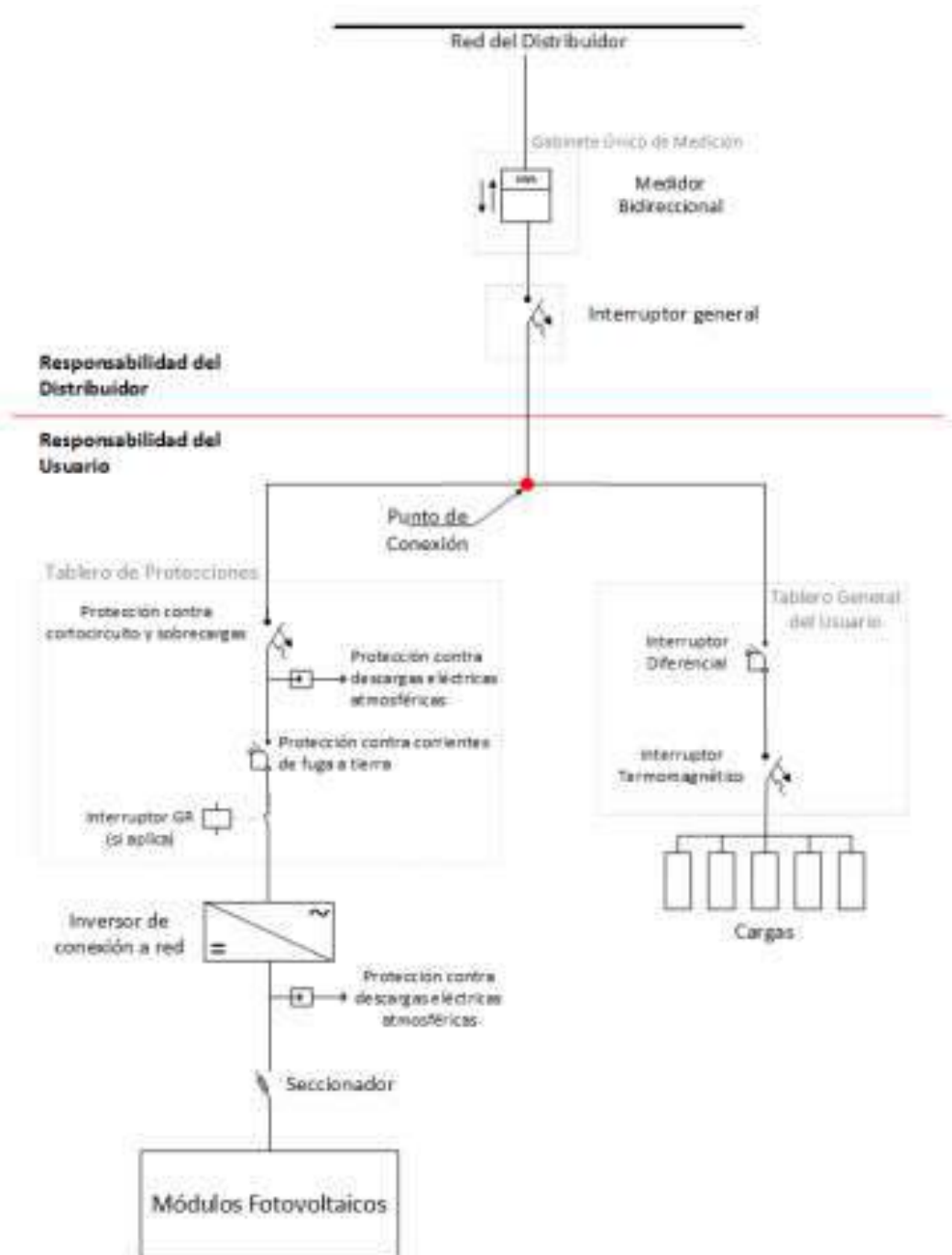


Figura 14: Esquema unifilar de la instalación  
Fuente: Elaboración propia en base a Navntoft, 2019

### 6.4 Requisitos del equipamiento

En cuanto a la normativa técnica exigible a los equipos de generación distribuida de tecnología solar fotovoltaica, la reglamentación de la Ley 27.424 establece las certificaciones a cumplimentar tanto para los paneles como para los inversores de conexión a red.

## Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

Para los paneles se requiere certificación de la norma IEC 61730-1/2 (norma de construcción y seguridad). Luego, deberán contar con las siguientes certificaciones de clasificación de diseño y aprobación de tipo de módulos (Navntoft, 2019).

### Módulos de tipo Silicio Cristalino

- IRAM 210013-17 (exceptuando el ensayo de Torsión IRAM 210013-5)
- IEC 61215-1/2:2016
- IEC 61215:2005

Para los inversores de conexión a red deberán estar certificados bajo la norma IRAM 210013- 21 (requisitos generales de los inversores), o en su defecto contar con certificación de las normas IEC 62109-2 (seguridad de inversores), IEC 62116 o VDE 0126-1-1 (Protección anti-isla) y cumplir con alguno de los códigos de red internacionales contenidos en las normas: VDE-AR-N 4105 o RD1699 (Navntoft, 2019).

### 6.5 Selección de proveedores

Con el fin de seleccionar al proveedor del equipamiento y dispositivos necesarios para la implementación de la instalación fotovoltaica, se optará por usar una matriz de selección.

La Matriz de Selección es una herramienta de clasificación jerárquica para evaluar alternativas basadas en criterios previamente seleccionados. Para su desarrollo se establecen criterios que son relevantes para la toma de decisiones. Para determinar el nivel de importancia de cada uno se ponderan, y de esta forma se priorizan correctamente, asignándoles un valor dentro de una escala definida. Luego, se establecen las distintas alternativas posibles y se evalúa cada una con respecto a cada criterio, otorgándole un valor numérico dentro de la escala. Posteriormente, se multiplica el peso del criterio por el valor asignado a cada opción planteada. Finalmente se suman los valores obtenidos para cada una, resultando la mejor alternativa la de mayor puntaje.

Para abordar esta selección, en primer lugar se presentan las alternativas encontradas para los proveedores de equipamientos fotovoltaicos.

- MultiSolar, nace en el año 2017 en la ciudad de Buenos Aires como una nueva unidad de negocios del Grupo Multi destinada a proveer equipamiento a los desarrolladores, instaladores e integradores de proyectos de generación solar fotovoltaica en Argentina.
- Inteva, es una empresa radicada en la ciudad de Casilda, provincia de Santa Fe, integrada por un grupo de profesionales de la ingeniería, especializados en el desarrollo de proyectos domésticos e industriales para el aprovechamiento de energía solar térmica y fotovoltaica. Desarrolla sus actividades desde el año 2018.

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

- Solarsol, es una organización que se dedica desde el año 2015 a la importación, distribución y comercialización de equipamiento solar térmico y fotovoltaico. La central de Solarsol se encuentra en la ciudad de Rosario
- Enertik, es una empresa dedicada a brindar soluciones para la conversión de energía eléctrica, como también a la generación de energía a través de fuentes renovables y no contaminantes. Fue fundada en el año 2004 en la ciudad de Rosario.
- Solartec S.A., es una empresa de capitales argentinos fundada en el año 1981 en Martinez. Su campo de actividad cubre las aplicaciones de las energías renovables y en particular de la energía solar.

En segundo lugar, se exponen los criterios tomados en cuenta para llevar a cabo una selección objetiva de proveedores.

- Precio
- Servicio técnico de instalación
- Garantía
- Distancia
- Servicio post-venta
- Asesoramiento previo a la venta

En el cuadro 5 se procede a la confección de la matriz, valorando por un lado los criterios en función del impacto que tienen para el proyecto. Y por el otro, a los potenciales proveedores en relación a los criterios comentados anteriormente.

Criterios	Ponderación del criterio	Ponderación relativa de los proveedores				
						
Precio	0,4	4	2	3	5	3
Servicio técnico de instalación	0,2	3	4	3	4	4
Garantía	0,1	5	5	4	4	5

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

Distancia	0,1	4	2	2	2	4
Servicio post-venta	0,1	3	4	3	4	3
Asesoramiento previa a venta	0,1	2	3	3	4	4
Total	1	3,6	3	3	<b>6</b>	3,6

Cuadro 5: Matriz de selección de proveedores

Fuente: Elaboración propia, 2021

Al observar el cuadro 5 se concluye que la mejor opción corresponde a la empresa rosarina Enertik.

#### 6.6 Selección del equipamiento

Los equipos para la instalación fotovoltaica serán seleccionados en base al catálogo de la empresa rosarina Enertik, debido a que fue la que mejor puntaje ponderado obtuvo en el apartado anterior. A su vez, los equipos distribuidos por la empresa necesarios para la generación de energía cuentan con las certificaciones necesarias comentadas anteriormente.

##### 6.6.1 Paneles solares

Como se mencionó en el apartado 3.1.18 existen varios tipos de paneles solares fotovoltaicos, para seleccionar el más adecuado para la instalación se hará uso de la matriz de selección, teniendo en cuenta los siguientes criterios.

- Precio
- Rendimiento
- Vida útil
- Garantía
- Disponibilidad del proveedor

En el cuadro 6 se presenta la matriz de selección para los tres tipos más comunes de paneles solares.



Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

Criterios	Ponderación del criterio	Ponderación relativa de los tipos de paneles		
		Monocristalinos	Policristalinos	Capa fina
Precio	0,4	2	5	3
Rendimiento	0,2	5	3	1
Vida útil	0,1	4	3	2
Garantía	0,2	3	5	3
Disponibilidad	0,1	3	5	2
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>3,1</b>	<b>4,4</b>	<b>2,4</b>

Cuadro 6: Matriz de selección de paneles solares

Fuente: Elaboración propia, 2021

Al observar el cuadro 6 se concluye que la alternativa más adecuada para este proyecto corresponde a los paneles solares policristalinos.

Los paneles a incorporar en este proyecto corresponden al modelo TSM-345PE15HP de la marca Trinasolar, distribuidos por la empresa Enertik ubicada en la ciudad de Rosario. Estos dispositivos cuentan con 144 células de módulo policristalinos, un rango de potencia de 345 W y una eficiencia máxima de 17% (Enertik, 2021).

En el cuadro N°7 se presentan los datos eléctricos extraídos del catálogo de los paneles.

Características eléctricas de los paneles	
Potencia nominal - $P_{MAX}$ (Wp)	345
Voltaje en el punto máximo- $V_{MPP}$ (V)	37.70
Corriente máxima- $I_{MPP}$ (A)	9.15
Voltaje en circuito abierto- $V_{OC}$ (V)	46.40
Corriente en cortocircuito- $I_{SC}$ (A)	9.62
Eficiencia del módulo $\eta$ (%)	17

Cuadro 7: Datos eléctricos de los paneles solares

Fuente: Enertik, 2021

En el cuadro N°8 se presentan los datos mecánicos extraídos del catálogo de los paneles.

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

Características mecánicas de los paneles	
Celdas solares	Silicio policristalino
Distribución de celdas	144 celdas (6 x 24)
Dimensiones del módulo (mm)	2024 x 1004 x 35
Peso (kg)	22.8
Vidrio	3.2mm, alta transparencia, recubrimiento AR y vidrio solar templado
Marco	Aluminio anodizado

Cuadro 8: Datos mecánicos de los paneles solares

Fuente: Enertik, 2021

Los límites de temperatura para los paneles figuran en el cuadro N°9.

NOCT <sub>(Temperatura de operación nominal de celda)</sub>	41°C ( $\pm 2^{\circ}\text{C}$ )
Coeficiente de Temperatura $P_{MAX}$	- 0.38%/°C
Coeficiente de Temperatura $V_{OC}$	- 0.31%/°C
Coeficiente de Temperatura $I_{SC}$	0.05%/°C

Cuadro 9: Límites de temperatura para los paneles

Fuente: Enertik, 2021

Las ventajas de los paneles modelo TSM-345PE15HP son las siguientes:

- Construcción robusta
- Ideal para instalaciones a gran escala
- Desempeño probado a campo
- Alta confiabilidad gracias al estricto control de calidad
- Certificado para soportar las más severas condiciones ambientales
- Excelente rendimiento en condiciones de poca luz en días nublados, mañanas y atardeceres

Los paneles se venden en pallet de 30 unidades con un costo de \$489.940 valor al pago de contado, expresado en pesos argentino con IVA incluido, según la cotización del dólar actualizado al 14 de abril de 2021 (Enertik, 2021).

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

### 6.6.2 Inversores

Los inversores a incorporar son trifásicos de la marca Samil Power modelo Solar Lake 5500TL-PM. Los inversores, al igual que los paneles, son comercializados por la empresa Enertik. Estos inversores cuentan con una eficiencia máxima de 98%, de potencia máxima 5750 W y una corriente de entrada máxima de 2\*11.5 A (Enertik, 2021).

A continuación, en los cuadros 10 ,11 y 12 se presentan las especificaciones del inversor.

ESPECIFICACIONES ELECTRICAS	
Potencia máxima	5750W
Voltaje máximo	1000V
Corriente máxima	2*11.5A
Cantidad de MPPT	2/1
Rango de voltaje de MPPT	250-800V
Voltaje de apagado/encendido	250/300V
Potencia nominal CA	5500W
Corriente máxima CA	8A
Voltaje nominal	3/N/PE.230/400V
Frecuencia de red AC/rango	50 – 60 HZ
Tensión nominal red/frecuencia nominal red	230V/50HZ
Factor de potencia con potencia nominal	1
Fases para inyección/fases para conexión	3/3

Cuadro 10: Especificaciones eléctricas  
Fuente: Enertik, 2021

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

EFICIENCIA	
Eficiencia máxima	98%
Eficiencia euro	97.2%

Cuadro 11: Especificaciones de eficiencia del inversor  
Fuente: Enertik, 2021

DATOS GENERALES	
Dimensiones (mm)	440x580x210
Peso neto (kg)	24
Temperatura de operación (°)	- 25   + 60
Protección para intemperie	IP65
Topología	Sin transformador
Consumo interno nocturno	0W
Sistema de ventilación	COOLER
Ruido	<35
Pantalla LCD	3.5''
Puerto de comunicación	Ethernet

Cuadro 12: Especificaciones generales del inversor  
Fuente: Enertik, 2021

El costo del inversor seleccionado es de \$145.688, valor para pago al contado con IVA incluido según la cotización del dólar actualizado al día 14 de abril 2021

#### 6.7 CALCULO DE NUMERO DE MODULOS MAXIMO POR ARREGLO

Para lograr establecer la cantidad de paneles en serie de cada arreglo es necesario considerar dos aspectos. En primer lugar, la tensión de circuito abierto no deberá ser superior a la tensión máxima admisible de inversor. En segundo lugar, es necesario que la tensión de circuito abierto no sea inferior al valor mínimo correspondiente a la tensión de circuito abierto (Navntoft, 2019). En las ecuaciones 1 y 2 se presentan los cálculos para obtener la cantidad de paneles por arreglo.

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

$$\text{Máximo MPPT [V]} = \text{Cantidad de paneles máxima} * \text{Voc panel} \quad (1)$$

$$800 \text{ [V]} = \text{Cant. de paneles máxima} * 46.40 \text{ [V]} \rightarrow \text{Cant. de paneles máxima} = 17,2 \quad (1)$$

$$\text{Mínimo MPPT [V]} = \text{Cantidad de paneles mínima} * \text{Vmpp} \quad (2)$$

$$250 \text{ [V]} = \text{Cant de paneles mínima} * 37,70 \text{ [V]} \rightarrow \text{Cant mínima de paneles} = 6,6 \quad (2)$$

Del análisis previamente presentado se toma como conclusión que la cantidad máxima de paneles por arreglo es de 18 y que la cantidad de paneles mínima por arreglo es de 7.

### 6.8 Orientación e inclinación de los paneles

La orientación y la inclinación son dos variables que inciden directamente sobre la radiación solar que llega a un panel fotovoltaico. La inclinación ( $\beta$ ), se define como el ángulo que forma la superficie de los paneles con el plano horizontal. Su valor es  $0^\circ$  para paneles colocados horizontalmente y  $90^\circ$  para verticales (ver figura N°23). La orientación o acimut ( $\gamma$ ) es el ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del panel y el meridiano del lugar. Valores típicos son  $0^\circ$  para captadores orientados al Norte,  $+90^\circ$  para captadores orientados al Este y  $-90^\circ$  para paneles orientados al Oeste (ver figura N°23) (Navntoft, 2019).

Dependiendo de los valores de inclinación y orientación, el panel brindará mayor o menor cantidad de energía a lo largo del año. Para sistemas ubicados en el hemisferio sur, la dirección Norte es la orientación óptima. En la figura N°15 se aprecian esquemáticamente los ángulos de inclinación y orientación.

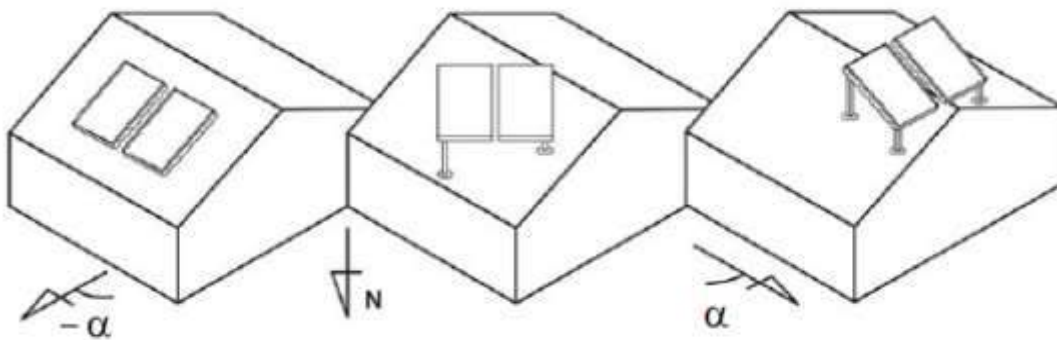


Figura 15: Inclinación y orientación de paneles solares  
Fuente: Navntoft, 2019

### 6.9 Pérdidas anuales por orientación e inclinación

Las pérdidas anuales pueden estimarse a partir del disco de irradiación solar. En la figura N°16 puede apreciarse el disco solar correspondiente a la provincia de Buenos Aires.

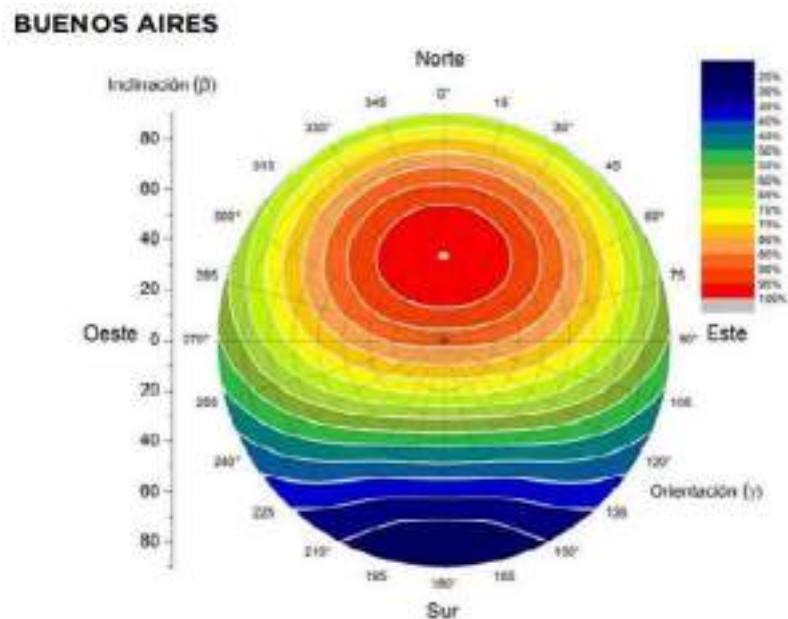


Figura 16: Disco solar de la provincia de Buenos Aires  
Fuente: Guía del recurso solar, 2019

El disco de irradiación solar muestra el porcentaje de energía anual que se pierde, a medida que varía la inclinación y orientación del panel con respecto al máximo anual, dado por el punto gris de la imagen. El eje horizontal representa la inclinación, y el circular, la orientación del panel. Adicionalmente, el círculo rojo alrededor del punto gris, marcado en la escala como “100%”, indica que existe un rango de inclinaciones y orientaciones que dan prácticamente el mismo resultado que el punto gris (Cristóforo, 2019).

Considerando el disco de irradiación solar de la provincia de Buenos Aires, se concluye que para el presente proyecto los paneles solares deberían tener una inclinación ( $\beta$ ) de 30 grados y una orientación ( $\gamma$ ) de 0 grados, es decir, una orientación Norte.

A pesar de los datos obtenidos se optó por colocar los paneles de manera horizontal, por dos motivos: el espacio físico disponible y porque luego de ver los resultados la generación de energía no modificaba en gran proporción. Lo anteriormente mencionado será abordado en un apartado siguiente.

#### 6.10 Dimensionamiento y distribución de la instalación fotovoltaica

El dimensionamiento de un sistema fotovoltaico suele llevarse a cabo en base a los siguientes datos:

1. La demanda de energía y potencia del Palacio Municipal de Balcarce
2. La disponibilidad de la radiación solar de la ciudad de Balcarce.

## Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

### 3. La disponibilidad de superficie utilizable en la terraza

El conocimiento de la demanda permite conocer cuánta energía eléctrica necesita el Palacio Municipal para su funcionamiento. El conocimiento de la irradiación solar o la cantidad de energía que está disponible para su aprovechamiento es lo que permitirá estimar el área de paneles fotovoltaicos necesaria para satisfacer una parte o la totalidad de la demanda. Por su parte, la noción de la cantidad de metros cuadrados disponibles es esencial para lograr conocer con exactitud el número de paneles que pueden distribuirse en la terraza del edificio.

En este caso en particular, el análisis de distribución y dimensionamiento de la instalación se llevará a cabo teniendo en cuenta la superficie disponible. Lo comentado anteriormente se justifica debido a que el techo del Palacio Municipal tiene un área irregular, es decir, con varios desniveles que generan sombras, lo que implica que la superficie utilizable sea menor a la superficie total de la terraza. Adicionalmente, no existen edificios lindantes que generen una proyección de sombras que limiten el diseño final de la instalación.

La distribución de los paneles se dividirá en 3 zonas que se detallan a continuación.

#### **Zona I**

La zona I cuenta con un área rectangular de 24 metros por 5.5 metros, 132 metros cuadrados finales, como puede apreciarse en la figura N°24. Si bien la inclinación óptima de las placas solares en la ubicación de interés es de 33°, lo cual implica que entre filas de paneles haya una distancia mínima de 2.5 metros, debido a las limitaciones de espacio se optará por colocar los paneles horizontalmente, es decir a 0°, con orientación Norte y de esta forma se podrá aprovechar todo el espacio disponible. Por lo comentado anteriormente, en la zona de análisis se colocarán un total de 20 paneles solares.

Como puede apreciarse en la figura N°17, la superficie de la terraza de la zona I es de chapa. Por lo tanto, se propone colocar 10 vigas de acero doble T de 7 metros de longitud. Sobre dichos perfiles se instará la estructura de sujeción y soporte de los paneles solares. Para poder amarrar las vigas al concreto de la pared se utilizarán pernos.



Figura 17: Zona I de la terraza del Palacio Municipal de Balcarce  
Fuente: Palacio Municipal de Balcarce, 2021

## Zona II

En la figura N°18 se aprecia la zona II que posee una superficie total de 48 metros cuadrados formada por un rectángulo de 12 metros por 4 metros. Al igual que se analizó en la zona I, para optimizar el espacio disponible se instalarán los paneles con una inclinación de  $0^\circ$  con orientación Oeste. Debido a la superficie acotada de esta zona, se decide colocar un total de 10 placas solares.

Al igual que la zona I, en este caso el área de 48 metros cuadrados es de chapa. Por este motivo, será necesario colocar 10 perfiles de acero de doble T de 4 metros de largo, con el objetivo de emplazar la estructura de soporte de las placas solares. Se hará uso de pernos para lograr anclar los perfiles al concreto.





Figura 18: Zona II de la terraza del Palacio Municipal de Balcarce  
Fuente: Palacio Municipal de Balcarce, 2021

### Zona III

La zona III está conformada por dos rectángulos que rodean una estructura de forma piramidal que se encuentra en el centro. Las superficies rectangulares disponibles son de 11 metros por 5.5 metros cada uno, completando un total de 60.5 metros cuadrados cada uno.

En las figuras N°19 y N°20 se pueden apreciar los espacios disponibles de interés. En cada uno de los dos sitios comentados con anterioridad se instalarán 10 paneles. Habrá un total de 20 paneles acoplados en la zona III con una inclinación de  $0^\circ$ , tendrán orientación Norte 10 de las placas y las 10 restantes orientación Oeste.

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce



Figura 19: Zona III-1 de la terraza del Palacio Municipal de Balcarce  
Fuente: Palacio Municipal de Balcarce, 2021



Figura 20: Zona III-2 de la terraza del Palacio Municipal de Balcarce  
Fuente: Palacio Municipal de Balcarce, 2021

En la figura N°21 se aprecia la distribución final de la instalación para cada una de las zonas analizadas.

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

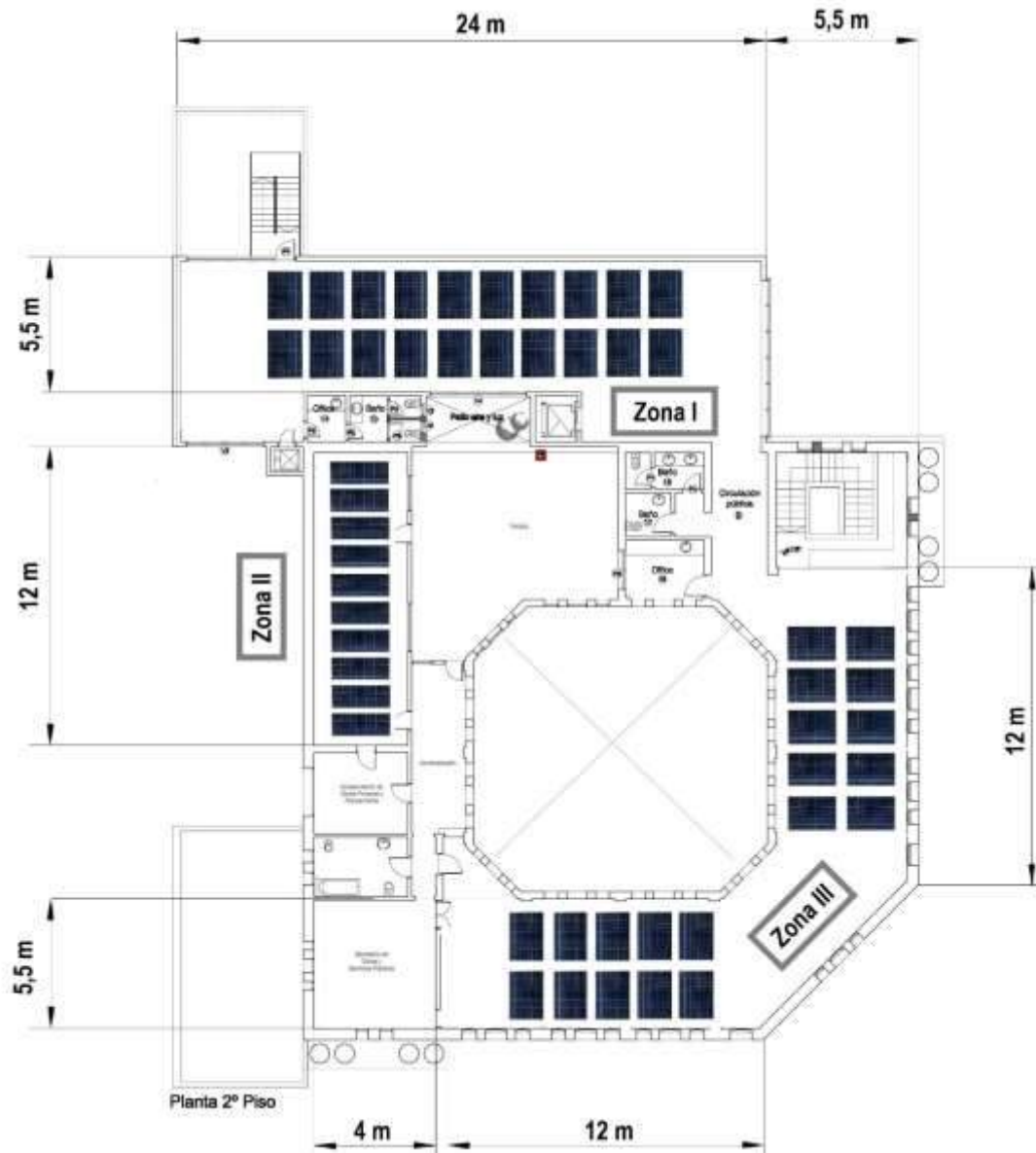


Figura 21: Distribución final de la instalación fotovoltaica  
Fuente: Elaboración propia en base al Palacio Municipal de Balcarce, 2021

### 6.10.1 Conexión de los paneles

Mediante la conexión en serie se conectan directamente las placas solares entre sí, conectando el polo positivo de un panel con el polo negativo del siguiente panel. Al ser 18 la cantidad máxima de paneles fotovoltaicos a ser conectados en serie, se establece que el conexionado de los paneles estará basado en cuatro arreglos.

Por un lado, se definen dos arreglos de 15 paneles cada uno, correspondientes a las zonas I y II. Como se puede observar en la figura N°21 las zonas I y II se encuentran en áreas distantes de la terraza del Palacio Municipal, por tal motivo será necesario adquirir una

## Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

extensión de cable de conexión con su correspondiente adaptador. Se dispondrá de un inversor Growatt Min 2500TL-X en el cual se conectarán los dos strings.

Por otro lado, se implementan dos arreglos de 10 paneles cada uno, pertenecientes a la zona III del área de la terraza. Se instalará un inversor Growatt Min 2500TL-X en el cual se conectarán los dos arreglos.

### 6.11 Simulación

Con el objetivo de analizar las características de la instalación fotovoltaica, como así también la cantidad de energía que podrá generarse mes a mes se optará por realizar una simulación en el software System Advisor Model (SAM), desarrollado por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable de Estados Unidos.

El software requiere que se ingresen una serie de variables las cuales utilizará como base para calcular la generación producida en esas condiciones. Las variables son:

- Ubicación geográfica y fuente de datos climáticos
- Paneles solares
- Inversores
- Diseño de la instalación
- Sombreamiento
- Pérdidas de energía

#### 6.11.1 Ubicación geográfica y fuente de datos climáticos

El software solicita la ubicación geográfica y datos climáticos, los cuales serán procesados dando como resultado información de utilidad como la irradiancia global, el promedio de temperaturas, el promedio de la velocidad del viento, entre otras.

El simulador cuenta con una gran base de datos de ciudades de Estados Unidos, también cuenta la opción de agregar archivos de ciudades. El archivo a ser cargado en el sistema debe contar datos de temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo, humedad ambiente, dirección y velocidad del viento, presión atmosférica, espesor de nieve e irradiancia global, directa y difusa por cada minuto de un año completo.

Ingresando al sitio web [Climate.OneBuilding.Org](http://Climate.OneBuilding.Org) se procedió a descargar el archivo de datos correspondientes a la ciudad de Balcarce.

En la figura N°22 se puede observar los resultados de la simulación, específicamente la irradiancia global, la irradiancia directa, la irradiancia difusa, la temperatura promedio y la velocidad del viento promedio.

## Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

Horizontal global	4.76	kWh/m <sup>2</sup> /día
Directa normal	4.45	kWh/m <sup>2</sup> /día
Difusa horizontal	1.86	kWh/m <sup>2</sup> / día
Temperatura promedio	13.6	°C
Velocidad de viento	3.9	m/s

Figura 22: Resultados climáticos de la simulación  
Fuente: Elaboración propia en base a System Advisor Model, 2021

En la figura N°23 se muestra la salida del software para la irradiancia global mes a mes para la ciudad de Balcarce.

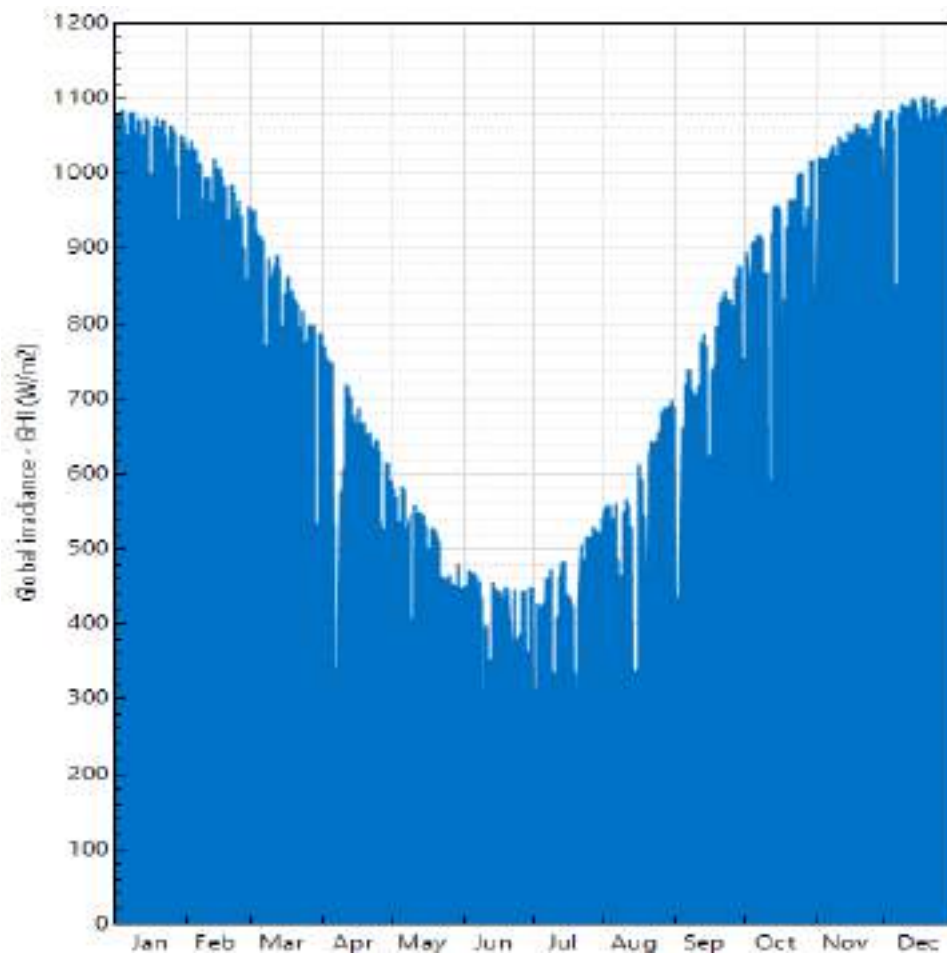


Figura 23: Irradiancia global mes a mes  
Fuente: Elaboración propia en base a System Advisor Model, 2021

### 6.11.2 Paneles solares

El software posee una base de datos de paneles solares y también permite al usuario ingresar las especificaciones técnicas de los paneles.

Debido a que los paneles seleccionados no se encontraban en la base de datos, se procedió a ingresar manualmente el tipo de celda, área del panel, temperatura de celda

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

nominal, tensión y corriente pico, tensión a circuito abierto, corriente de corto circuito, coeficientes de temperatura de punto máximo de potencia, corriente de cortocircuito y tensión de vacío, número de celdas, altura de montaje y separación al soporte.

En base a las especificaciones incorporadas el simulador muestra en pantalla la potencia máxima nominal en condiciones estándar de temperatura y presión, así como la eficiencia del módulo. Los paneles a instalar en el presente proyecto corresponden al modelo TSM-345PE15HP de la marca Trina Solar.

En la figura N°24 se muestran las especificaciones técnicas del panel ingresadas en la interfaz del usuario del simulador.

**General Information**

Module name	TRINA SOLAR TSM-345PE15HP		
Cell type	multiSi	v	
Module area	2.03	m <sup>2</sup>	
Nominal operating cell temperature	41	°C	

**Electrical Specifications**

Maximum power point voltage (Vmp)	37.7	V	
Maximum power point current (Imp)	9.15	A	
Open circuit voltage (Voc)	46.4	V	
Short circuit current (Isc)	9.62	A	
Temperature coefficient of Voc	-0.31	%/°C v	
Temperature coefficient of Isc	0.05	%/°C v	
Temperature coefficient of max. power point	-0.38	%/°C	
Number of cells in series	144		

The model assumes a reference bandgap voltage  $E_{g\_ref} = 1.121$  eV, and temperature coefficient for bandgap of  $-0.0002677$  eV/K.

Copy module specs from currently selected CEC database module

**Nominal Maximum Power Point Ratings at STC**

Power	344.955	Wdc	
Efficiency	16.9929	%	

Figura 24: Interfaz del usuario para las especificaciones técnicas de los paneles  
Fuente: Elaboración propia en base a System Advisor Model, 2021

## Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

### 6.11.3 Inversores

Del mismo modo que con los paneles solares, se escogió la opción que ofrece el simulador para ingresar manualmente los datos técnicos de los inversores a incorporar en la instalación fotovoltaica. En esta oportunidad la información que requiere el software corresponde con la potencia máxima de salida, eficiencia del inversor, tensión en alterna nominal, máximas tensión y corriente en continua, tensión mínima y máxima en continua MPPT y tensión nominal en continua.

Los datos técnicos ingresados para el inversor se observan en la figura N°25.

Power Ratings	
Maximum AC output power	3500 Wac
<input type="radio"/> Weighted efficiency	96
<input checked="" type="radio"/> Manufacturer efficiency	90.2
Maximum DC input power	3564.15 Wdc

Operating Ranges	
Nominal AC voltage	220 Vac
Maximum DC voltage	500 Vdc
Maximum DC current	23 Adc
Minimum MPPT DC voltage	80 Vdc
Nominal DC voltage	220 Vdc
Maximum MPPT DC voltage	500 Vdc
Number of MPPT inputs	2

Losses		
Power consumption during operation	0 Wdc	Suggested value: 23
Power consumption at night	1 Wdc	Suggested value: 0.875

If you are modeling a system with microinverters or DC power optimizers, see the Losses page to adjust the system losses accordingly.

If the datasheet does not specify loss values, you can use the suggested values to approximate the losses. See Help for details.

Save / Load Data

Save data to file... Load data from file...

Figura 25: Interfaz del usuario para las especificaciones técnicas de los inversores  
Fuente: Elaboración propia en base a System Advisor Model, 2021

### 6.11.4 Diseño de la instalación

La interfaz del usuario que corresponde a la sección del diseño de la instalación fotovoltaica requiere que sean ingresados los datos de cantidad de paneles solares por arreglo, la cantidad de arreglos en paralelo, el número de inversores y la cantidad de arreglos. A su vez, se debe indicar los grados de inclinación y orientación de las placas solares.

En la figura N°26 se observa la pantalla de ingreso de datos para el diseño de los dos arreglos de 15 paneles conectados en serie al primer inversor de la instalación.



## Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

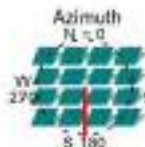
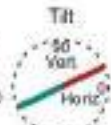
AC Sizing	Sizing Summary			
Number of inverters: <input type="text" value="1"/> DC to AC ratio: <input type="text" value="1.80"/> Size the system using modules per string and strings in parallel inputs below. <input type="checkbox"/> Estimate Subarray 1 configuration	Nameplate DC capacity: <input type="text" value="10.349"/> kWdc Total AC capacity: <input type="text" value="5.750"/> kWac Total inverter DC capacity: <input type="text" value="5.855"/> kWdc	Number of modules: <input type="text" value="30"/> Number of strings: <input type="text" value="2"/> Total module area: <input type="text" value="60.9"/> m <sup>2</sup>		
<b>DC Sizing and Configuration</b> To model a system with one array, specify properties for Subarray 1 and disable Subarrays 2, 3, and 4. To model a system with up to four subarrays connected in parallel to a single bank of inverters, for each subarray, check Enable and specify a number of strings and other properties.				
<b>Electrical Configuration</b>				
<b>Set subarrays for multiple MPPT</b>	(always enabled)	<input checked="" type="checkbox"/> Enable	<input type="checkbox"/> Enable	<input type="checkbox"/> Enable
Modules per string in subarray	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="15"/>		
Strings in parallel in subarray	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>		
Number of modules in subarray	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="15"/>		
String Voc at reference conditions (V)	<input type="text" value="696.0"/>	<input type="text" value="696.0"/>		
String Vmp at reference conditions (V)	<input type="text" value="565.5"/>	<input type="text" value="565.5"/>		
Inverter MPPT input for subarray	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="2"/>		
<b>Tracking &amp; Orientation</b>				
				
<input checked="" type="radio"/> Fixed <input type="radio"/> 1 Axis <input type="radio"/> 2 Axis <input type="radio"/> Azimuth Axis <input type="radio"/> Seasonal Tilt <input type="checkbox"/> Tilt=latitude		<input checked="" type="radio"/> Fixed <input type="radio"/> 1 Axis <input type="radio"/> 2 Axis <input type="radio"/> Azimuth Axis <input type="radio"/> Seasonal Tilt <input type="checkbox"/> Tilt=latitude		
Tilt (deg)	<input type="text" value="0"/>	Tilt (deg)	<input type="text" value="0"/>	
Azimuth (deg)	<input type="text" value="0"/>	Azimuth (deg)	<input type="text" value="270"/>	

Figura 26: Interfaz de usuario para el diseño de la instalación  
Fuente: Elaboración propia en base a System Advisor Model, 2021

La figura N°27 muestra la interfaz del usuario para la configuración del diseño de la instalación correspondiente a los dos arreglos de 10 placas solares conectadas en serie que alimentan al segundo inversor de la instalación.



## Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

### AC Sizing

Number of inverters:   
 DC to AC ratio:

Size the system using modules per string and strings in parallel inputs below.

Estimate Subarray 1 configuration

### Sizing Summary

Nameplate DC capacity	6.889 kWdc	Number of modules	26
Total AC capacity	5.750 kWac	Number of strings	2
Total inverter DC capacity	5.855 kWdc	Total module area	40.6 m <sup>2</sup>

---

### DC Sizing and Configuration

To model a system with one array, specify properties for Subarray 1 and disable Subarrays 2, 3, and 4. To model a system with up to four subarrays connected in parallel to a single bank of inverters, for each subarray, check Enable and specify a number of strings and other properties.

Electrical Configuration	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
<input checked="" type="checkbox"/> Set subarrays for multiple MPPT	(always enabled)	<input checked="" type="checkbox"/> Enable	<input type="checkbox"/> Enable	<input type="checkbox"/> Enable
Modules per string in subarray	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="10"/>		
Strings in parallel in subarray	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>		
Number of modules in subarray	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="10"/>		
String Voc at reference conditions (V)	<input type="text" value="464.0"/>	<input type="text" value="464.0"/>		
String Vmp at reference conditions (V)	<input type="text" value="377.0"/>	<input type="text" value="377.0"/>		
Inverter MPPT input for subarray	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="2"/>		

---

### Tracking & Orientation

Azimuth

Tilt

Fixed

1 Axis

2 Axis

Azimuth Axis

Seasonal Tilt

Tilt=latitude

Tilt (deg)

Azimuth (deg)

Fixed

1 Axis

2 Axis

Azimuth Axis

Seasonal Tilt

Tilt=latitude

Tilt (deg)

Azimuth (deg)

Figura 27: Interfaz de usuario para el diseño de la instalación  
 Fuente: Elaboración propia en base a System Advisor Model, 2021

### 6.11.5 Sombreamiento

El simulador utilizado en esta tesis de grado tiene incorporado un módulo de diseño 3D de instalaciones fotovoltaicas, cuyo fin es cuantificar las pérdidas inducidas por las sombras, ya sea por edificaciones lindantes o por sombras generadas entre filas de paneles solares.

El Palacio Municipal no cuenta con edificios lindantes de altura semejante como para proyectar sombras en las terrazas de interés para el proyecto, a su vez al ser los paneles solares colocados de manera horizontal, se asegura que no se proyecten sombras entre las filas de paneles. Por lo comentado anteriormente, se omitió la utilización de este módulo de diseño 3D.

## Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

### 6.11.6 Pérdidas de energía

El software System Advisor Model estima pérdidas en la generación de energía en base ciertos factores, dichas pérdidas son adicionales a las provocadas por las sombras. Las mermas en el rendimiento de la instalación son debido a los siguientes factores:

- Pérdidas de Irradiancia: se deben al ensuciamiento de la superficie de las placas solares, aplican al total de la Irradiancia incidente en cada arreglo. El software estima estas pérdidas en 5 % anual.
- Pérdidas en corriente continua: aplican a la salida de cada arreglo y tienen en cuenta las pérdidas que no son estimadas por la eficiencia del panel. El software estima estas pérdidas en 4,44 %.
- Pérdidas en corriente alterna: aplican a la salida de cada inversor y tienen en cuenta las pérdidas que no son estimadas por el mismo. El software estima estas pérdidas en 1 %.

Los porcentajes de pérdidas energéticas estimadas por el simulador y presentadas en la correspondiente pantalla de interfaz de usuario se muestran en la figura N°28.

**Irradiance Losses**  
Soiling losses apply to the total solar irradiance incident on each subarray. SAM applies these losses in addition to any losses on the Shading and Snow page.

	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
Monthly soiling loss	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="5"/>
Average annual soiling loss	5	5	5	5
<b>Bi-facial modules only</b>				
Average annual rear irradiance loss due to soiling, mismatch, or external shading (%)	0	0	0	0

**DC Losses**  
DC losses apply to the electrical output of each subarray and account for losses not calculated by the module performance model.

	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
Module mismatch (%)	2	2	2	2
Diodes and connections (%)	0.5	0.5	0.5	0.5
DC wiring (%)	2	2	2	2
Tracking error (%)	0	0	0	0
Nonoptimal (%)	0	0	0	0
DC power optimizer loss (%)	0	All four subarrays are subject to the same DC power optimizer loss.		
Total DC power loss (%)	4.44	4.44	4.44	4.44

Total DC coverage = 100% \* (1 - the product of (1 - loss/100%))

**Default DC Losses**  
Apply default losses to replace DC losses for all subarrays with default values.

Apply default losses for:  Central inverters  Microinverters  DC optimizers

**AC Losses**  
AC losses apply to the electrical output of the inverter and account for losses not calculated by the inverter performance model.

AC wiring  %

Figura 28: Interfaz de usuario para las pérdidas de energía en los paneles  
Fuente: Elaboración propia en base a System Advisor Model, 2021

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

6.11.7 Resultados de la simulación

Al proceder con la simulación, ingresando los datos presentados anteriormente, el software muestra el resultado de la cantidad de energía generada mes a mes para la instalación planteada, como se observa en la figura 29.

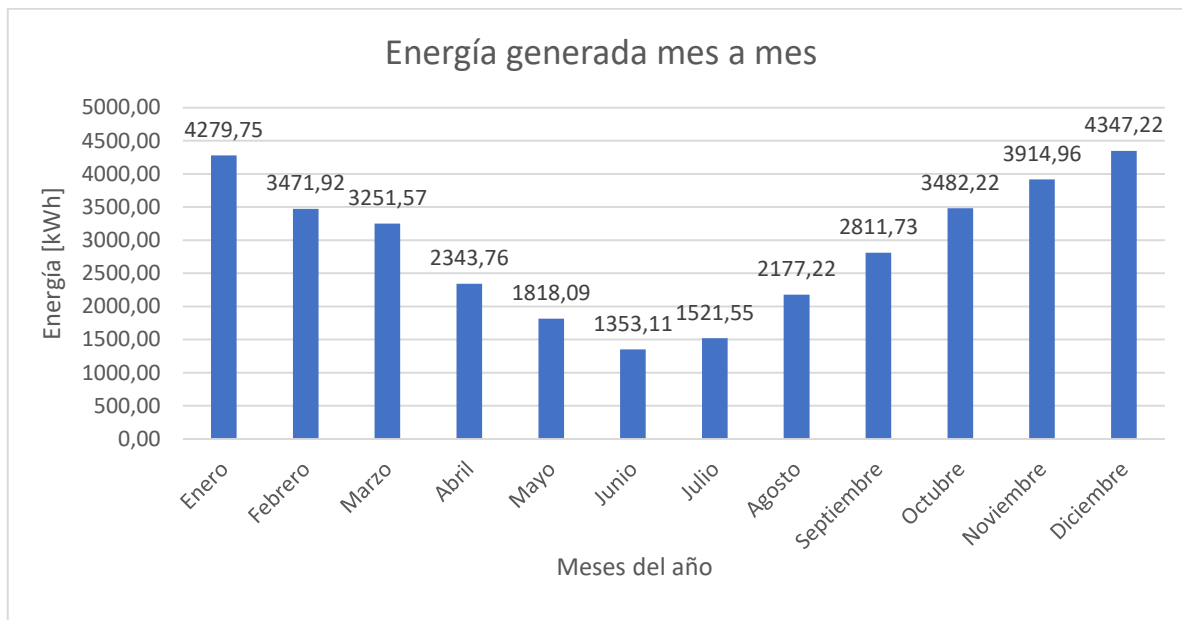


Figura 29: Grafico de barras de la energía generada mes a mes  
Fuente: Elaboración propia en base a System Advisor Model, 2021

Se puede concluir que los meses de mayor generación corresponden a enero y diciembre.

En base a los resultados obtenidos por la simulación realizada se presenta en el cuadro 13 la comparación del consumo para el año 2019, y la energía generada. Sin embargo parte de esta generación será consumida directamente, mientras que un pequeño porcentaje será energía inyectada directamente a la red (como se explica en la sección 10.1).

MES	CONSUMO	GENERACIÓN	PORCENTAJE
ENERO	9.720,67	4.279,75	44%
FEBRERO	13.822,49	3.471,92	25%
MARZO	13.489,79	3.251,57	24%
ABRIL	12.816,07	2.343,76	18%
MAYO	9.867,48	1.818,09	18%
JUNIO	8.618,15	1.353,11	16%
JULIO	9.936,99	1.521,55	15%
AGOSTO	13.967,5	2.177,22	16%
SEPTIEMBRE	10.471,48	2.811,73	27%

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

OCTUBRE	11.465,72	3.482,22	30%
NOVIEMBRE	7.567,13	3.914,96	52%
DICIEMBRE	7.897,97	4.347,22	55%

Cuadro 13: Consumo y generación  
Fuente: elaboración propia

Se puede observar en el gráfico de la figura 30, la comparación entre la generación a partir de los paneles solares respecto al consumo mes a mes del Palacio Municipal para el año 2019. Por un lado, las barras en color azul corresponden al consumo del Municipio, mientras que las barras en color naranja corresponden a la generación eléctrica. Si bien se observa que para todos los meses del año el consumo es ampliamente mayor a la generación, los meses donde la generación puede verse afectada por la situación climática, por ejemplo mayo-junio-julio, es aproximadamente de un 15% del consumo, mientras que para los meses más favorables frente a la situación climática, por ejemplo noviembre-diciembre-enero, es de casi el 50% del consumo.

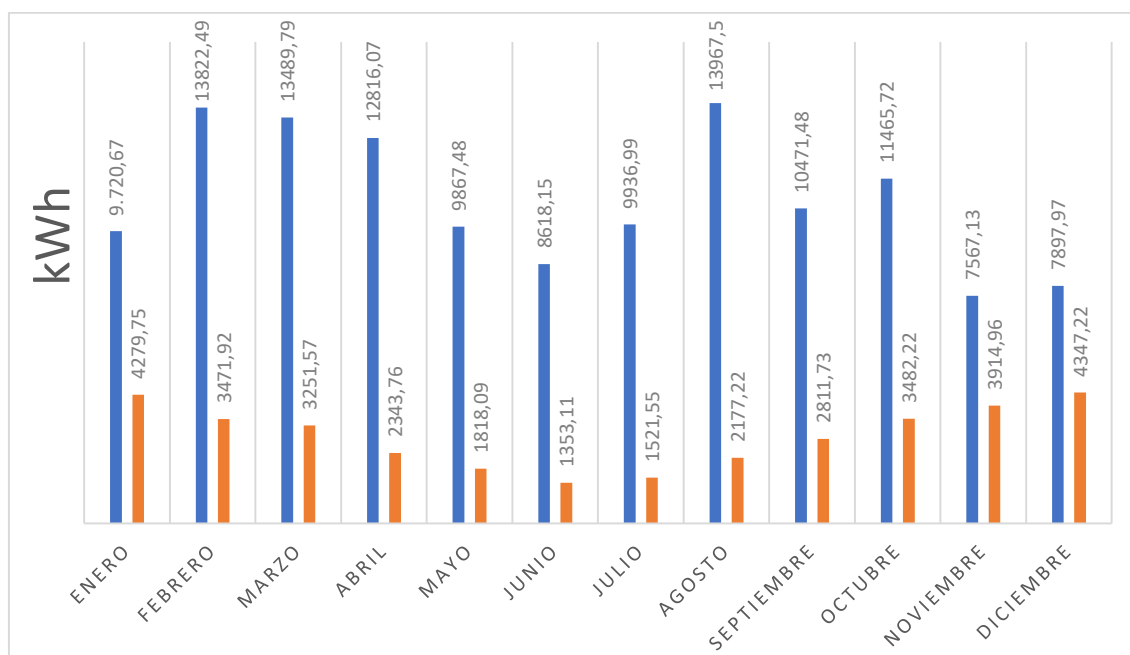


Figura 30: Gráfico de consumo vs generación  
Fuente: Elaboración propia

### 6.12 Cables de interconexión

Los cables que son utilizados en un sistema fotovoltaico deben ser capaces de soportar condiciones medioambientales durante todo el ciclo de vida de la instalación.

Es importante identificar dentro de la instalación que existen zonas diferenciadas en lo que al cableado se refiere. Entre ellas podemos mencionar los cables entre los paneles de un mismo arreglo, el que va desde cada una de los arreglos hasta los distintos inversores y el que va desde los inversores hasta el punto de conexión con la red eléctrica.

## Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

Para un óptimo funcionamiento del sistema de generación fotovoltaica, es recomendable que las caídas de tensión en los cables de corriente continua y corriente alterna no superen el 1,5% de las tensiones nominales de continua y alterna respectivamente. Esto implica que será necesario estimar la sección del cable en función de la tensión que se pretende obtener y la distancia del cable a utilizar. La caída de tensión en función de la distancia y el cable está dada por la ecuación 3 (Navntoft, 2019).

$$\Delta T = \frac{2 * I * \rho * L}{S} \quad (3)$$

Donde  $\Delta T$  es la caída de tensión en Volts,  $I$  es la intensidad de corriente que circulará por el cable en amperes,  $\rho$  es la resistividad del cable en  $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$  ( $0,0172 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$  para el cobre),  $L$  es la longitud del cable en metros y  $S$  es la sección del cable en  $\text{mm}^2$ . A continuación, se reemplazan los datos en la ecuación 3.

Datos:

$$I = 9.15 \text{ A}$$

$$\Delta T = \text{cantidad de paneles} * 37.7 \text{ V}$$

$$\rho = 0,0172 \Omega\text{mm}^2/\text{m} \text{ (cobre)}$$

$$L = \text{longitud del cable}$$

Al contar la instalación con cuatro arreglos de paneles, ubicados en zonas distantes de la terraza del Palacio Municipal, se deberá a calcular la sección mínima de cada uno de los cables. Con motivo de homologar los cables a ser seleccionados, se optará por una opción que cubra las necesidades de los cuatro arreglos.

Arreglo de la zona I

Este arreglo cuenta con 15 paneles conectados en serie, todos correspondientes a la zona I de la terraza. La distancia entre los paneles y el inversor es de aproximadamente 40 metros. A continuación, se resumen los datos a ser aplicados en la fórmula.

Datos:

- $I = 9,15 \text{ A}$

- $\Delta T = 0,015 * (15 * 37,7 \text{ V}) = 8,48 \text{ V}$

- $\rho = 0,0172 \Omega\text{mm}^2/\text{m} \text{ (cobre)}$

- $L = 40 \text{ metros}$

$$S = \frac{2 * 9,15 \text{ [A]} * 0,0172 \left[ \frac{\Omega\text{mm}^2}{\text{m}} \right] * 40 \text{ [m]}}{8,48 \text{ [V]}} = 1,50 \text{ mm}^2 \quad (3)$$

### Arreglo de la zona I y zona II

Este arreglo tiene con 15 paneles conectados en serie, está compuesto por 10 paneles de la zona I y los 5 restantes de la zona II de la terraza. La distancia entre los paneles y el inversor es de aproximadamente 30 metros. A continuación, se resumen los datos a ser aplicados en la ecuación 3.

Datos:

- $I = 9,15 \text{ A}$
- $\Delta T = 0,015 * (15 * 37,7 \text{ V}) = 8,48 \text{ V}$
- $\rho = 0,0172 \text{ } \Omega\text{mm}^2/\text{m}$  (cobre)
- $L = 30 \text{ metros}$

$$S = \frac{2 * 9,15 \text{ [A]} * 0,0172 \left[ \frac{\Omega\text{mm}^2}{\text{m}} \right] * 30 \text{ [m]}}{8,48 \text{ [V]}} = 1,12 \text{ mm}^2 \quad (3)$$

### Arreglo de la zona III-1

Este arreglo consiste en 10 placas solares conectadas en serie, ubicadas en la zona III de la terraza. La distancia entre los paneles y el inversor es de aproximadamente 25 metros. A continuación, se resumen los datos a ser aplicados en la ecuación 3.

Datos:

- $I = 9,15 \text{ A}$
- $\Delta T = 0,015 * (10 * 37,7 \text{ V}) = 5,655 \text{ V}$
- $\rho = 0,0172 \text{ } \Omega\text{mm}^2/\text{m}$  (cobre)
- $L = 25 \text{ metros}$

$$S = \frac{2 * 9,15 \text{ [A]} * 0,0172 \left[ \frac{\Omega\text{mm}^2}{\text{m}} \right] * 25 \text{ [m]}}{5,655 \text{ [V]}} = 1,40 \text{ mm}^2 \quad (3)$$

### Arreglo de la zona III-2

Este arreglo consiste en 10 placas solares conectadas en serie, ubicadas en la zona III de la terraza. La distancia entre los paneles y el inversor es de aproximadamente 35 metros. A continuación, se resumen los datos a ser aplicados en la ecuación 3.

Datos:

- $I = 9,15 \text{ A}$
- $\Delta T = 0,015 * (10 * 37,7 \text{ V}) = 5,655 \text{ V}$
- $\rho = 0,0172 \text{ } \Omega\text{mm}^2/\text{m}$  (cobre)

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

- L = 35 metros

$$S = \frac{2 \cdot 9,15 [A] \cdot 0,0172 \left[ \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} \right] \cdot 35 [m]}{5,655 [V]} = 1,95 \text{ mm}^2 \quad (3)$$

Del análisis anterior, se desprende que la sección del cable a seleccionar deberá ser mayor a 1,95 mm<sup>2</sup>. Como regla general, siempre que el cálculo de sección requerida sea menor que 4 mm<sup>2</sup>, se utilizarán cables de 4 mm<sup>2</sup> y si la sección requerida cae entre 4 y 6 mm<sup>2</sup>, se utilizarán cables de 6 mm<sup>2</sup>.

Con el objetivo de homologar los proveedores para dicho proyecto, se elige el modelo de cable C25S1854BK-M, distribuido por la empresa rosarina Enertik. El costo del mismo es de \$136 por metro, valor para el pago de contado, expresado en pesos argentinos con IVA incluido, según la cotización del dólar al 17/08/2021. El cuadro 14 muestra las especificaciones técnicas del cable.

Sección de cable	4 mm <sup>2</sup>
Material conductor	Cobre
Voltaje	1000V
Temperatura	-40°C ~ 90°C
Recubrimiento externo	XLPE Negro
Aislación interna	XLPE Negro
Certificación	TÜV EN50618

Cuadro 14: Especificaciones técnicas de los cables de la sección de corriente continua  
Fuente: (Enertik, 2021)

En la figura 31 se pueden apreciar los cables a utilizar desde los paneles hasta el inversor.

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce



Figura 31: Cable solar fotovoltaico  
Fuente: (Enertik, 2021)

En esta sección se procede a verificar la sección mínima que deberá tener el cable del tramo de corriente alterna de la instalación, es decir, el que va desde los dos inversores al tablero principal del Palacio Municipal de Balcarce. Al igual que se calculó en los tramos de corriente continua, es recomendable que la caída de tensión en el cable de corriente alterna no supere el 1,5% de la tensión nominal alterna. La sección del cable en función de caída de tensión y la distancia del cable está dada por la ecuación 4 (Navntoft, 2019).

$$S = \frac{\sqrt{3} * I * L * \rho * \cos \varphi}{\Delta T} \quad (4)$$

Donde  $\Delta T$  es la caída de tensión en volts,  $I$  es la intensidad de corriente que circulará por el cable en amperes,  $\rho$  es la resistividad del cable en  $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$  ( $0,0172 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$  para el cobre),  $L$  es la longitud del cable en metros,  $S$  es la sección del cable en  $\text{mm}^2$  y  $\cos \varphi$  es el factor de potencia correspondiente a los inversores. Al encontrarse el tablero principal del Palacio Municipal alineado al área donde se encuentran los dos inversores, pero en la planta baja, la distancia necesaria del cable será de 20 metros aproximadamente.

Datos:

- $I = 16 \text{ [A]}$  ya que cada inversor posee  $8 \text{ [A]}$  a la salida
  - $\Delta T = 0,015 * (400 \text{ V}) = 6 \text{ V}$
  - $\rho = 0,0172 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$  (cobre)
    - $L = 20 \text{ metros}$
    - $\text{Cos } \varphi = 1$

$$S = \frac{\sqrt{3} * 16 \text{ [A]} * 20 \text{ [m]} * 0,0172 \left[ \frac{\Omega\text{mm}^2}{\text{m}} \right] * 1}{6 \text{ [V]}} = 1,6 \text{ mm}^2 \quad (4)$$



## Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

Del análisis anterior, se desprende que la sección del cable a seleccionar deberá ser mayor a  $1,6 \text{ mm}^2$ . Como regla general, siempre que el cálculo de sección requerida sea menor que  $4 \text{ mm}^2$ , se utilizarán cables de  $4 \text{ mm}^2$  y si la sección requerida cae entre 4 y  $6 \text{ mm}^2$ , se utilizarán cables de  $6 \text{ mm}^2$ .

En este caso el cable tripolar a seleccionar corresponde al modelo Retenax Valio de la marca Prysmian, el cuadro N°15 muestra las especificaciones técnicas.

Sección de cable	4 mm <sup>2</sup>
Material conductor	Cobre
Tensión nominal	0,6 – 1,1 kV
Corriente admisible	24 A
Temperatura de servicio	-40 - 90 °C
Resistencia del conductor (90°C)	10,2 [ $\Omega$ /km]

Cuadro 15: Especificaciones técnicas de los cables de los tramos alternos  
Fuente: (Prysmian Group, 2021)

En la figura N°32 se puede apreciar los cables a utilizar desde los inversores hasta los tableros.



Figura 32: Cable trifásico Prysmian  
Fuente: (Prysmian Group, 2021)

El costo del mismo es de \$6.365 por 25 metros, valor en pesos, incluido IVA. (Mercado Libre, Mercado Libre, 2021).

## 7 Protecciones

Como se muestra en la figura N°14 es necesario incorporar al sistema distintos tipos de protecciones que permiten lograr la efectividad del circuito. En una primera instancia es necesario colocar dos tipos diferentes de protecciones entre los paneles y el inversor, la primera tiene que ver con fusibles y portafusibles que se funden en caso de detectar una sobrecarga o frente a un cortocircuito, la segunda consiste en la incorporación de un

## Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

descargador atmosférico el cual protege a la instalación contra las sobretensiones y descargas atmosféricas, es decir, contra las sobretensiones que pueden generar los rayos de una tormenta.

Por otra parte, son necesarias protecciones entre el inversor y la red. Según la reglamentación técnica de la ley nacional de generación distribuida es necesario contar con tres protecciones.

- Interruptor termomagnético
- Interruptor diferencial
- Descargador de sobretensiones

### 7.1 Protecciones en corriente continua.

Como se mencionó anteriormente los elementos que trabajan en corriente continua deben ser protegidos de intensidades originadas por sobrecargas o cortocircuitos, para ello se utilizan fusibles, compuestos esencialmente por un conductor fino que se deshace a una temperatura determinada. Si la corriente excede un valor, el conductor se derrite y se rompe o abre el circuito.

Para la selección de un correcto fusible de protección se debe tener en cuenta:

- Intensidad que puede soportar el fusible sin fundirse
- La corriente máxima que puede soportar el fusible
- Intensidad de fusión del fusible

Por lo tanto, para una correcta selección la tensión del fusible utilizado deberá ser superior a la tensión que recorre la línea. Anteriormente se estableció que el diseño de la instalación contará con 4 cadenas de paneles, dos de las cuales tendrán 15 placas en serie y las dos restantes 10 placas en serie.

Al estar los paneles fotovoltaicos conectados en serie, se tiene que proceder sumando la tensión de circuito abierto para cada arreglo. En las ecuaciones 5 y 6 se procede con el producto de la cantidad de paneles en serie y la tensión de circuito abierto.

$$\text{Arreglo de 15 paneles en serie} = 15 * 46,40 [V] \rightarrow 694 [V] \quad (5)$$

$$\text{Arreglo de 10 paneles en serie} = 10 * 46,40 [V] \rightarrow 464 [V] \quad (6)$$

Por otro lado, se debe verificar que la intensidad de corriente que soporta el fusible sea superior a la intensidad de corriente de los arreglos. Al no contar la instalación con paneles conectados en paralelo, se deberá considerar la corriente en corto circuito de un panel y se le aplicará un 25% como factor de seguridad, como se muestra en la formulación matemática 7.

$$\text{Corriente de corto circuito } I_{sc} = 9,62 [A] * 0,25 \rightarrow 12,025 [A] \quad (7)$$

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

Por lo tanto, el fusible a seleccionar deberá contar con una capacidad superior a los 12,025 [A] y un voltaje máximo superior a 696 [V].

Los fusibles seleccionados corresponden al modelo gPV 1000VCC 15A. En la figura N°33 se muestra el fusible distribuido por la empresa Enertik.



Figura 33: Fusible modelo gPV 1000VCC 15<sup>a</sup>  
Fuente: (Enertik, 2021)

El costo del mismo es de \$444, valor al pago de contado, expresado en pesos argentinos con IVA incluido, según la cotización del dólar al 17/08/2021.

Por cada uno de los fusibles a ser instalados será necesario incorporar un portafusibles. En este caso, se selecciona el modelo gPV 1000VCC - SPF-15 comercializado por la empresa Enertik, el mismo se puede apreciar en la figura N°34.



Figura 34: Portafusible modelo gPV 1000VCC - SPF-15  
Fuente: (Enertik, 2021)

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

El costo del mismo es de \$995, valor expresado en pesos argentinos con IVA incluido, según la cotización del dólar al 17/08/2021.

### 7.1.1 Protección contra descargas atmosféricas

Posteriormente de los portafusibles, cuya función es separar los paneles del inversor, será necesario proteger a la instalación contra las sobretensiones y descargas atmosféricas, es decir, contra las sobretensiones que pueden generar los rayos de una tormenta.

En la instalación planteada en este proyecto se incorporarán cuatro protectores de descargas atmosféricas de 1000 Vcc para el tramo de corriente continua. El modelo de los dispositivos de protección antes mencionados es LKTD2, los mismos son distribuidos por la empresa Enertik. El cuadro N°16 presenta las especificaciones técnicas de los protectores atmosféricos.

Polos	2
Corriente máxima	40 kA
Voltaje máximo	1000VCC
Terminal	M5
Sección de cable	4 mm <sup>2</sup> ~ 16 mm <sup>2</sup> (flexible) / 25 mm <sup>2</sup> (hard)
Grado de protección	IP20

Cuadro 16: Especificaciones técnicas protector atmosférico

Fuente: Enertik, 2021

En la figura N°35 se puede apreciar el protector contra descargas atmosféricas LKTD2.



Figura 35: Protector atmosférico

Fuente: (Enertik, 2021)

## Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

El costo del mismo es de \$6.218, valor expresado en pesos argentinos con IVA incluido, según la cotización del dólar al 17/08/2021.

### 7.2 Protecciones en corriente alterna

Para una correcta selección del interruptor termomagnético se debe cumplir la siguiente condición presentada en la formulación matemática 8.

$$I_b \leq I_N \leq I_z \quad (8)$$

Donde:

$I_b$ : Corriente de los inversores.

$I_N$ : Corriente nominal del elemento de protección.

$I_z$ : Corriente admisible del conductor.

En este caso cada inversor alimenta a un mismo tablero. Por lo tanto, la corriente de los inversores sería la suma 16 [A].

La corriente nominal del elemento de protección sale del catálogo y es 16 [A].

La corriente admisible del conductor sale del catálogo del cable para el tramo alterno 63 [A].

A continuación, se reemplazan los datos mencionados en la condición de la fórmula (8).

$$16 \text{ A} \leq 16 \text{ A} \leq 63 \text{ A} \quad (8)$$

Al observar la formulación 8 se concluye que se cumple la condición. El elemento de protección corresponde al modelo 674637 de la marca General Electric, el mismo se puede ver en la figura N°36.

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce



Figura 36: Interruptor termomagnético  
Fuente: (General Industrial, 2021)

El disyuntor a seleccionar es de la marca General Electric de modelo 606208. Para una corriente máxima de circulación de 25 [A]. El disyuntor reacciona con una corriente mínima de 30mA. En la figura N°37 se muestra el disyuntor a implementar en la instalación fotovoltaica.



Figura 37: Disyuntor  
Fuente: (General Industrial, 2021)

El costo del disyuntor es de \$20.790, IVA incluido.

Al igual que en el tramo de corriente continua, se deberá seleccionar un protector contra descargas atmosféricas.

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

Según las recomendaciones del proveedor, se deberá proceder con la elección del dispositivo de protección en base a la corriente nominal del disyuntor como se aprecia en el cuadro N°17.

<b>I<sub>N</sub> del disyuntor</b>	<b>I<sub>MAX</sub> del protector contra descargas atmosféricas</b>
10 A – 20 A	20 kA
20 A – 25 A	40 kA
25 A – 32 A	60 kA
32 A – 40 A	80 kA

Cuadro 17: Recomendaciones del proveedor  
Fuente: Schneider Electric, 2021

Del cuadro 17 se concluye que se deberá seleccionar un protector contra descargas atmosféricas de 20 kA de valor de corriente máxima, que corresponde al choque de un rayo indirecto.

Por lo tanto, se elige para la instalación el dispositivo de protección de la marca Schneider Electric cuyo modelo es A9L15693. El dispositivo antes mencionado tiene una corriente máxima de 20 kA. La figura N°38 muestra al protector contra descargas atmosféricas a colocar en la instalación fotovoltaica.



Figura 38: Protector contra descargas atmosféricas  
Fuente: Schneider Electric, 2021

El costo del mismo es de \$60.000, IVA incluido.

### 7.3 Medidor bidireccional

Al finalizar cada período de medición, se registran los valores de consumo e inyección a la red a través de un medidor bidireccional. Este medidor registra el consumo de energía del usuario y la energía inyectada a la red y posteriormente se valorizan por separado.

La obtención del medidor bidireccional se da a través de la solicitud para la conexión del usuario-generador. Por medio del formulario 2A en el cual se solicita la presentación de la documentación completa y declaración jurada de los equipos instalados, los cuales deben estar certificados. Una vez aprobada la solicitud, la Subsecretaria de Energías Renovables y Eficiencia Energética emitirá el Certificado de Usuario-Generador.

#### 7.3.1 Requisitos para instalar el medidor

- Declaración de Conformidad de Instalaciones (DCI) según Resolución ENRE N°225/2011 y N°269/2012 del inmueble en donde se instaló el sistema de generación.
- Certificado de Encomienda del Colegio Profesional donde se encuentra inscripto el instalador calificado con el objeto "Instalación y Certificación del sistema de generación de energía fotovoltaica conectada a la red de acuerdo a la Ley Nacional N°27.424 y sus anexos reglamentarios, expresados en la Resolución 314/2018 de la Secretaría de Gobierno de Energía, dependiente del Ministerio de Hacienda y sus anexos técnicos".
- Certificado de ensayo de paneles solares bajo norma IEC 61730-1 y -2. Si el panel es de tipo silicio cristalino adjuntar certificado de ensayo bajo IRAM 210013-17 o IEC 61215-1/2:2016 o IEC 61215:2005. Si el panel es tipo película delgada adjuntar certificado de ensayo bajo o IEC 61215-1/2:2016 o IEC 61646:2008.
- Certificado de ensayo del inversor bajo alguna de estas normas: IRAM 210013-21 o bien, IEC 62109-2 + IEC 62116 o VDE 0126-1-1 más alguno de los códigos de red incluidos en las siguientes normas: VDE-AR-N 4105, o Real Decreto 1699.

## 8 ESTRUCTURA DE SOPORTE

Una parte importante de un sistema de generación de electricidad solar es la estructura de soporte de los paneles. Ella asegura que los paneles puedan colocarse con el ángulo de inclinación correcto en dirección al sol y brinden seguridad a la instalación.

Como se mencionó en secciones anteriores los paneles serán colocados a 0° de inclinación para optimizar el espacio disponible. Si se hubiese optado por colocar los paneles a 30°, como lo indica el análisis mediante los discos solares, sería necesario realizar un análisis de las fuerzas del viento en relación a la estructura de soporte.



## Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

La selección del sistema de montaje que hace la función de soporte de paneles y sujeción al techo, deberá analizarse por separado para las tres zonas de interés en la terraza del Palacio Municipal, debido a que las características del techo cambian de un sector a otro, específicamente la superficie de la tarraza de las zonas I y II son de chapa con una cierta inclinación, mientras que el área comprendida en la zona III de interés es de losa sin ninguna inclinación. Por lo comentado anteriormente, será necesario colocar una serie de vigas que sirvan de apoyo para sujetar los paneles en las zonas I y II, para el sector restante bastará con sujetar los paneles en la superficie horizontal del techo de losa.

La estructura de soporte y sujeción estará compuesta por los siguientes elementos:

- Rieles para montaje de paneles solares de 4200 mm (ver figura N°39)
- Fijador de frente regulable para techo (ver figura N°40)
- Fijador posterior para techo (ver figura N°41)
- Empalme para riel 150mm (ver figura N°42)
- Mordaza media para panel solar 35-40mm (ver figura N°43)
- Mordaza final para panel solar 35~40mm (ver figura N°44)



Figura 39: Riel  
Fuente: Enertik, 2021



Figura 40: Fijador de frente  
Fuente: Enertik, 2021



Figura 41: Fijador posterior  
Fuente: Enertik, 2021



Figura 42: Empalme  
Fuente: Enertik, 2021



Figura 43: Mordaza media  
Fuente: Enertik, 2021



Figura 44: Mordaza final  
Fuente: Enertik, 2021

## Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

En la figura N°45 se pueden apreciar los componentes del sistema de soporte ensamblados.

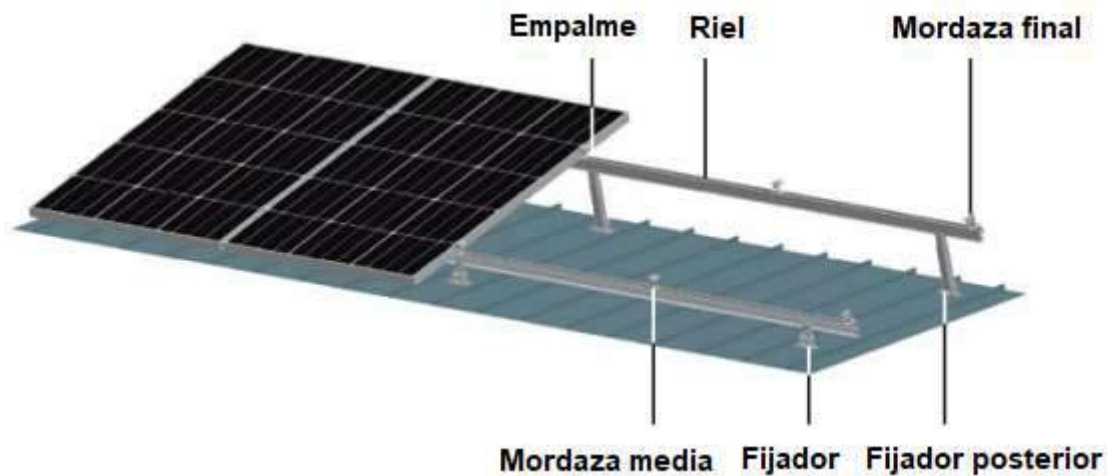


Figura 45: Componentes del sistema de soporte ensamblados  
Fuente: Enertik, 2021

La terraza de la zona III cuenta con un techo de superficie horizontal de concreto. Por lo tanto, al no requerir los paneles una inclinación mayor a  $0^\circ$  se optará por un sistema de soporte y sujeción basado en rieles.

## 9 INVERSIÓN

Para determinar la inversión necesaria para la colocación de paneles solares en el Municipio de Balcarce se debe tener en cuenta tanto los costos del equipamiento como los costos de instalación de los mismos.

### 9.1 Costos de equipamiento

Los costos de equipamiento se componen de lo siguiente:

- **PANELES:** de acuerdo a la distribución seleccionada en el apartado 5.9 Dimensionamiento y distribución de paneles solares el total de paneles solares a utilizar es de 50. Por tal motivo, para disminuir en los costos, se decide obtener dos pallets de 30 paneles cada uno. El costo de cada pallet es de USD\$ 4.756,7
- **INVERSOR:** de acuerdo a la distribución seleccionada se utilizan 2 inversores. El costo de cada inversor es de USD\$ 1.414,45.
- **CABLE FOTOVOLTAICO:** de acuerdo a los arreglos explicados en el apartado 5.11 se requiere un total de 30m para zona I, 25m para zona II y 35m para zona III. El costo de cada metro de cable fotovoltaico es de USD\$ 1,32.

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

- CABLE CORRIENTE ALTERNA: la cantidad de metros entre la caja de inversores y el tablero principal es de 20 metros. El costo de cada metro de cable de alterna es de USD\$ 61,80.
- FUSIBLES: debido a que se cuenta con 4 zonas de arreglos de paneles, serán necesarios 4 fusibles. El costo de cada fusible es de USD\$ 4,31.
- PORTA FUSIBLES: debido a que se cuenta con 4 fusibles serán necesarios 4 portafusibles. El costo de cada portafusible es de USD\$ 9,66.
- PROTECTOR DE DESCARGAS ATMOSFERICAS: cada protector de descargas atmosféricas como se mencionó anteriormente se colocará posterior a cada portafusible, por lo tanto, serán necesarios 4 unidades. El costo de cada protector es de USD\$ 60,37.
- INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO: será necesario un interruptor electromagnético para la protección del circuito eléctrico de sobrecargas y cortocircuitos. El costo del mismo es de USD\$ 16,50.
- DISYUNTOR: de acuerdo a la distribución seleccionada será necesario un disyuntor para aportar seguridad y protección a personas y a los equipos eléctricos cuando la potencia excede lo establecido. El costo del mismo es de USD\$ 201,84.
- PROTECTOR DE DESCARGAS ATMOSFERICAS EN ALTERNA: tal como es necesario la colocación de un protector de descargas atmosféricas en el circuito de corriente continua, también lo es para el circuito de alterna, por lo tanto, será necesario un protector. El costo del mismo es de USD\$ 582,52.

A continuación, en el cuadro N°18 se encuentra a modo de resumen el costo total de equipamiento, teniendo en cuenta que todos los costos fueron calculados con la cotización del dólar de \$103 el día 8 de septiembre de 2021 (Cronista, 2019).

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

Costos de equipamiento	Cantidad	Costo Unitario (Pesos Arg)	Costo (USD)	Costo total (USD)
PANELESX30	2	489.940,00	4.756,70	9.513,40
Inversor	2	145.688,00	1.414,45	2.828,89
Cable fotovoltaico (en metros)	90	136,00	1,32	118,83
Cable alterna (en metros)	20	6.365,00	61,80	1.235,92
Fusibles	4	444,00	4,31	17,24
Porta Fusibles	4	995,00	9,66	38,64
Protector de descargas atmos.	4	6.218,00	60,37	241,48
Interruptor Electromagnetico	1	1.700,00	16,50	16,50
Disyuntor	1	20.790,00	201,84	201,84
Protector de descargas atmos.	1	60.000,00	582,52	582,52
<b>Total</b>				<b>14.795,28</b>

Cuadro 18: Costos de inversión del equipamiento  
Fuente: elaboración propia, 2021

## 9.2 Costos de instalación

Para la instalación de los paneles solares, es necesario la colocación y armado de una estructura de soporte como fue descripta en el apartado N°8.

Para el cálculo de la cantidad de rieles necesarios se tuvo en cuenta que la medida de cada panel solar es de 2024x1004x35mm, como también el largo de cada riel (4200mm). A continuación, en el cuadro N°19, se realizó el cálculo del número de rieles necesarios para las 3 zonas.

ZONA	PANELES	METROS POR PANELES	CANTIDAD RIELES
I	10	10040	2,3905
II	10	10040	2,3905
III (parte I)	5	5020	1,1952
III (parte II)	5	5020	1,1952
<b>TOTAL</b>			<b>10</b>

Cuadro 19: Cantidad de rieles necesarios  
Fuente: elaboración propia, 2021

Teniendo en cuenta que son necesarios para la zona I y III 2 pares de rieles por cada string de paneles, y que para la zona II únicamente se requiere 1 par de rieles, entonces la cantidad total de rieles necesaria es de 34 unidades.

Con respecto al fijador de frente regulable, los mismos se colocarán únicamente en los rieles de frente, siendo necesario 3 unidades por cada riel, como se puede observar en la figura N°45. Por lo tanto, al tener un total de 17 rieles serán necesarios 51 fijadores.

El mismo calculo fue realizado para los fijadores posteriores, requiriendo un total de 51 unidades.

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

Debido a que se requieren 2 o más rieles en cada zona, es necesario colocar empalmes entre ellos, por lo tanto, para la zona I se requieren 2 empalmes por 4 líneas de rieles, por lo tanto, serán necesario 8 unidades. Para la zona II al contar con 6 rieles, 3 para la parte superior y 3 para la parte posterior, entonces serán necesario 4 empalmes. Por último, para la zona III, al contar con 4 rieles, dos para la parte superior y dos para la parte posterior y se cuenta con 2 cadenas de string será necesario 4 empalmes para cada parte de la zona III. El total de empalmes necesarios será de 20 unidades. El costo de cada empalme es de USD\$ 4,71.

Con respecto a la mordaza media, se colocarán dos unidades por panel, exceptuando en los paneles que se encuentran en los extremos que solo llevarán 1 unidad. Por lo tanto, teniendo en cuenta que hay un total de 50, el cual solo 14 corresponden a los extremos, por lo tanto, el total de mordazas es de 86 unidades. El costo de cada mordaza es de USD\$ 2,77. Por último, la cantidad de mordazas finales corresponde a una unidad por cada panel que se encuentra en el extremo de cada string, por lo tanto, serán necesario 14 unidades. El costo de cada mordaza es de USD\$ 3,04.

A continuación, en el cuadro N° 20 se presenta a modo resumen el costo total de instalación:

Costos de instalación	Cantidad	Costo Unitario (Pesos Arg)	Costo (USD)	Costo Total (USD)
Rieles para montaje	34	5.223,00	50,71	1.724,10
Fijador de frente regulable	51	1.183,00	11,49	585,76
Fijador posterior para techo	51	3.078,00	29,88	1.524,06
Empalme para riel 150mm	20	485,00	4,71	94,17
Mordaza media para panel solar	86	285,00	2,77	237,96
Mordaza final para panel solar	14	313,00	3,04	42,54
<b>Total</b>				<b>4.208,59</b>

Cuadro 20: Costos de instalación  
Fuente: elaboración propia, 2021

Finalmente, para determinar el costo total necesario para la instalación de paneles solares en el Municipio de Balcarce, se determinan los costos de mano de obra y de imprevistos, los cuales contemplan la mano de obra por instalación de los equipos, siendo el 20% del costo total y los costos de transporte siendo del 10%. Por lo tanto, la inversión total necesaria se muestra en el cuadro 21.

TIPO DE INVERSIÓN	INVERSIÓN (USD)
Costos de Equipamiento	14.795,28
Costos de Instalación	4.208,59
Costos por mano de obra e imprevistos (20%)	3.800,77

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

Costos de transporte (10%)	1.900,39
<b><i>INVERSIÓN TOTAL</i></b>	<b><i>24.705,04</i></b>

Cuadro 21: Inversión total  
Fuente: elaboración propia, 2021

## 10 BENEFICIO

Para determinar el beneficio o ahorro generado a partir de la obtención de energía a través de la instalación de los 50 paneles solares se tuvo en cuenta, la energía total consumida por mes para el período de análisis en el año 2019, y la energía generada analizada anteriormente en el apartado N°6.10.7. Además, se tiene en cuenta que un porcentaje de generación será inyectado a la red, según la ley de balance neto. Por lo tanto, al finalizar el mes los kWh inyectados a la red, se restarán de la factura como ahorro.

### 10.1 Cálculo de energía consumida directamente y energía inyectada a la red

Para determinar que porcentaje de la energía generada por los paneles solares es consumida directamente por el Palacio Municipal y que porcentaje será energía inyectada a la red, se tuvo en cuenta que a pesar de que como puede observarse en el apartado 6.11.7 cuadro N°10 la energía consumida en todo momento es mayor que la energía generada, la Municipalidad solo se encuentra abierta de lunes a viernes de 7 a 14hs. De todas formas, eso no implica que la Municipalidad en horario de cese de actividades no continúe consumiendo, pero el porcentaje es menor, y en esos períodos de tiempo la generación es mayor que el consumo, por lo tanto, durante los fines de semana y durante el cierre de la Municipalidad existirá un porcentaje de la generación que será inyectada a la red.

Para la obtención de los porcentajes de energía consumidos directamente e inyectados a la red, como se mencionó anteriormente la Municipalidad se encuentra abierta de lunes a viernes de 7 a 14hs. Por lo tanto, para obtener la energía consumida por día, se dividió el total del mes por la cantidad de días hábiles para ese mismo mes.

Por otra parte, se definió que de la energía generada por día el 75% corresponde al consumo directo de la Municipalidad (que es durante el período que se encuentra en funcionamiento), mientras que el 25% restante corresponde a las horas que los paneles continúan generando energía pero la Municipalidad se encuentra en cese de actividades. Del 25% antes mencionado el 40% corresponde al consumo directo, debido que a pesar de que la Municipalidad se encuentra cerrada, el consumo no es nulo, ya que continúan encendidos equipos y luces del Palacio, mientras que el 60% es energía que se inyectará a la red. Esto es debido a que el rango de horario de generación de energía es de 8hs a 16hs aproximadamente, es decir un total de 8 horas. Tal como se mencionó anteriormente el

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

Municipio se encuentra abierto de 7AM a 2PM, por lo tanto del total de 8 horas solo 6 horas la Municipalidad se encuentra abierta. Además, los días sábados y domingos el 60% de la generación serán inyectados a la red y el restante al consumo directo.

A continuación, en el cuadro N°22 se muestran los resultados de la cantidad por día de energía consumida y generada para el año 2019 para todos los meses del año:

MES	Energía Consumida por mes (kWh)	Energía Generada por mes (kWh)	Energía Consumida por día (kWh)	Energía Generada por día (kWh)
Enero	9.720,67	4.279,75	422,64	138,06
Febrero	13.822,49	3.471,92	691,12	124,00
Marzo	13.489,79	3.251,57	613,17	104,89
Abril	12.816,07	2.343,76	582,55	78,13
Mayo	9.867,48	1.818,09	429,02	58,65
Junio	8.618,15	1.353,11	430,91	45,10
Julio	9.936,99	1.521,55	432,04	49,08
Agosto	13.967,50	2.177,22	634,89	70,23
Septiembre	10.471,48	2.811,73	498,64	93,72
Octubre	11.465,72	3.482,22	498,51	112,33
Noviembre	7.567,13	3.914,96	360,34	130,50
Diciembre	7.897,97	4.347,22	359,00	140,23

Cuadro 22: Energía consumida y generada  
Fuente: elaboración propia, 2021

A continuación, en el cuadro N°23 se presenta la energía que será consumida directamente de los paneles por mes, la energía inyectada a la red y la diferencia entre el consumo del Palacio Municipal y el consumo directo:

MES	Energía consumida directa por mes	Energía inyectada en la red por mes	Diferencia (kWh)
Enero	3.140,78	1.138,97	<b>6.579,89</b>
Febrero	2.820,94	1.022,98	<b>11.001,56</b>
Marzo	2.291,83	959,74	<b>11.197,96</b>
Abril	1.710,94	632,82	<b>11.105,13</b>
Mayo	1.334,24	483,85	<b>8.533,24</b>
Junio	947,18	405,93	<b>7.670,97</b>
Julio	1.116,62	404,93	<b>8.820,37</b>
Agosto	1.566,19	611,03	<b>12.401,31</b>



Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

Septiembre	2.010,39	801,34	<b>8.461,09</b>
Octubre	2.555,50	926,72	<b>8.910,22</b>
Noviembre	2.799,20	1.115,76	<b>4.767,93</b>
Diciembre	3.127,19	1.220,03	<b>4.770,78</b>

Cuadro 23: Energía consumida e inyectada de la red  
Fuente: elaboración propia, 2021

## 10.2 Cálculo del ahorro

El ahorro anual está compuesto por la suma entre el ahorro por consumo directo y el ahorro por inyectar a la red como se observa en la ecuación 9. Para ello, es necesario determinar los costos por kWh por parte de la Cooperativa Eléctrica de Balcarce a partir del cuadro tarifario.

$$\text{AHORRO ANUAL} = \text{AHORRO POR CONSUMO} + \text{AHORRO POR INYECTAR A LA RED} \quad (9)$$

### 10.2.1 Ahorro por consumo

Para determinar el ahorro por consumo se utilizó el simulador de Oceba, el organismo que regula el cuadro tarifario de la Provincia de Buenos Aires. Para ello, como se observa en la figura N°46 se seleccionan los diferentes campos que corresponden al consumo de la Municipalidad para determinar el costo.

**Simulador de facturación**

Distribuidora: BALCARCE  
Categoría: Tarifa Plena  
Tarifa: Tarifa 1  
Subtarifa: G  
Consumo en kWh: 3140.78  
Días medidos: 23

Los importes resultantes de la utilización de esta herramienta son meramente orientativos e informativos (Resolución OCEBA N°0180/18)

**Calcular**

Figura 46: Simulador de facturación  
Fuente: OCEBA SIMULADOR, 2021



Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

Para el caso en estudio, el consumo en kWh para realizar la simulación corresponde al consumo directo de la generación de los paneles solares, ya que es la cantidad que se ahorrará el Municipio de su consumo total.

Los resultados de la simulación muestran los valores tanto de cargo fijo como el valor del costo variable por kWh, a continuación, se muestra en la figura N°47 a modo de ejemplo para el mes de Enero:

Cargo	Unidad	Costo	Subtotal
CARGO FIJO-GAC2	\$/mes	\$1575.25	<b>\$1187.89</b>
CARGO VARIABLE (>= 2000 kWh-Mes)	\$/kWh	\$3.3324	<b>\$10466.34</b>
El importe estimado corresponde al concepto de servicios eléctricos, sin cargas impositivas, ni el incremento de Costos Tarifarios (ICT)			<b>TOTAL</b>
			<b>\$11654.23</b>

Figura 47: Resultado de la simulación

Fuente: Oceba Simulador, 2021

Por otra parte, los resultados de la simulación no tienen en cuenta las cargas impositivas, los cuales los mismos aumentan en un 30% aproximadamente el costo final. A continuación, se presenta en el cuadro N°24 con los resultados obtenidos de la simulación y los costos finales con los impuestos incluidos.

MES	Facturación Mensual s/ Impuestos en pesos (\$)	Costo Final con impuestos en pesos (\$)	COSTO FINAL EN DOLARES (\$USD)
Enero	11.654,23	15.150,50	147,09
Febrero	10.588,39	13.764,91	133,64
Marzo	8.721,89	11.338,46	110,08
Abril	6.837,78	8.889,11	86,30
Mayo	5.315,03	6.909,54	67,08
Junio	3.914,09	5.088,32	49,40
Julio	4.592,10	5.969,73	57,96
Agosto	6.355,42	8.262,05	80,21
Septiembre	7.784,02	10.119,23	98,24
Octubre	9.703,84	12.614,99	122,48
Noviembre	10.412,65	13.536,45	131,42
Diciembre	11.557,29	15.024,48	145,87
<b>AHORRO POR CONSUMO</b>			<b>1.229,78</b>

Cuadro 24: Ahorro por consumo

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

Fuente: elaboración propia, 2021

### 10.2.2 Ahorro por inyectar a la red

Para determinar el ahorro por venta, se tuvo en cuenta que los kWh inyectados a la red luego se descontarán de la boleta a fin de cada mes. Por lo tanto, para determinar el ahorro por inyectar a la red, se calcula de igual manera que el ahorro por consumo, a través del simulador de Oceba.

Teniendo en cuenta la página del simulador se pudo determinar el costo de ahorro por inyectar a la red. A continuación, se presenta en el cuadro N°25 los resultados obtenidos:

MES	Ahorro por inyectar a la red en pesos sin impuestos en pesos (\$)	Ahorro final con impuestos en pesos (\$)	AHORRO POR INYECTAR A LA RED EN DOLARES (USD\$)
Enero	4.208,68	5.471,28	53,12
Febrero	3.822,16	4.968,81	48,24
Marzo	3.714,71	4.829,12	46,88
Abril	2.521,99	3.278,59	31,83
Mayo	1.914,37	2.488,68	24,16
Junio	1.732,28	2.251,96	21,86
Julio	1.652,20	2.147,86	20,85
Agosto	2.501,02	3.251,33	31,57
Septiembre	3.135,21	4.075,77	39,57
Octubre	3.501,38	4.551,79	44,19
Noviembre	4.182,99	5.437,89	52,80
Diciembre	4.530,46	5.889,60	57,18
<b>AHORRO POR VENTAS</b>			<b>472,26</b>

Cuadro 25: Ahorro por ventas  
Fuente: elaboración propia, 2021

A partir del análisis se pudo determinar que el valor del ahorro anual en dólares es de:

<b>AHORRO ANUAL</b>	<b>1.702,04</b>
---------------------	-----------------

## 11 ANALISIS DE BENEFICIO/COSTO

A partir de los datos obtenidos en el apartado N°9 y 10 respectivamente, se realiza el cuadro de flujo para determinar la rentabilidad del proyecto.

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

Se determina una vida útil de los paneles solares de 25 años, con una degradación del 1% anual de los mismos. Por lo tanto, en el cuadro N°26 se muestra los valores en kWh para los 25 años:

	Energía consumida directa por mes en kWh	Energía inyectada en la red por mes en kWh
AÑO 1	25.421,01	9.724,08
AÑO 2	25.166,80	9.626,84
AÑO 3	24.915,13	9.530,57
AÑO 4	24.665,98	9.435,27
AÑO 5	24.419,32	9.340,91
AÑO 6	24.175,13	9.247,50
AÑO 7	23.933,38	9.155,03
AÑO 8	23.694,04	9.063,48
AÑO 9	23.457,10	8.972,84
AÑO 10	23.222,53	8.883,11
AÑO 11	22.990,31	8.794,28
AÑO 12	22.760,40	8.706,34
AÑO 13	22.532,80	8.619,28
AÑO 14	22.307,47	8.533,08
AÑO 15	22.084,40	8.447,75
AÑO 16	21.863,55	8.363,28
AÑO 17	21.644,92	8.279,64
AÑO 18	21.428,47	8.196,85
AÑO 19	21.214,18	8.114,88
AÑO 20	21.002,04	8.033,73
AÑO 21	20.792,02	7.953,39
AÑO 22	20.584,10	7.873,86
AÑO 23	20.378,26	7.795,12
AÑO 24	20.174,48	7.717,17
AÑO 25	19.972,73	7.640,00

Cuadro 26: Degradación anual de generación de paneles solares  
Fuente: elaboración propia, 2021

A partir del cuadro 27, se determina el ahorro anual para los 25 años en dólares USD:

	AHORRO POR CONSUMO EN DOLARES (USD)	AHORRO POR INYECTAR A LA RED EN DOLARES (USD)	AHORRO ANUAL EN DOLARES (USD)

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

AÑO 1	1.229,78	472,26	<b>1.702,04</b>
AÑO 2	1.217,48	467,54	<b>1.685,02</b>
AÑO 3	1.205,31	462,86	<b>1.668,17</b>
AÑO 4	1.193,25	458,23	<b>1.651,49</b>
AÑO 5	1.181,32	453,65	<b>1.634,97</b>
AÑO 6	1.169,51	449,11	<b>1.618,62</b>
AÑO 7	1.157,81	444,62	<b>1.602,44</b>
AÑO 8	1.146,24	440,18	<b>1.586,41</b>
AÑO 9	1.134,77	435,78	<b>1.570,55</b>
AÑO 10	1.123,43	431,42	<b>1.554,84</b>
AÑO 11	1.112,19	427,10	<b>1.539,29</b>
AÑO 12	1.101,07	422,83	<b>1.523,90</b>
AÑO 13	1.090,06	418,60	<b>1.508,66</b>
AÑO 14	1.079,16	414,42	<b>1.493,58</b>
AÑO 15	1.068,37	410,27	<b>1.478,64</b>
AÑO 16	1.057,68	406,17	<b>1.463,85</b>
AÑO 17	1.047,11	402,11	<b>1.449,22</b>
AÑO 18	1.036,63	398,09	<b>1.434,72</b>
AÑO 19	1.026,27	394,11	<b>1.420,38</b>
AÑO 20	1.016,01	390,17	<b>1.406,17</b>
AÑO 21	1.005,85	386,26	<b>1.392,11</b>
AÑO 22	995,79	382,40	<b>1.378,19</b>
AÑO 23	985,83	378,58	<b>1.364,41</b>
AÑO 24	975,97	374,79	<b>1.350,76</b>
AÑO 25	966,21	371,04	<b>1.337,26</b>

Cuadro 27: Ahorro anual  
Fuente: elaboración propia, 2021

Para determinar el cuadro de flujo final y así determinar finalmente la factibilidad económica del proyecto, se considera un costo por mantenimiento de 15 horas mensuales, el costo por seguro de los paneles solares y el costo de depreciación de los equipos.

#### 11.1 Costo por Mantenimiento

Para determinar el costo de HH por mantenimiento se tiene en cuenta que en promedio un sueldo mensual para un técnico de mantenimiento es de \$79.211 por mes. Por lo tanto, teniendo en cuenta que el promedio es de 192 horas mensuales, el costo de HH es de \$412,55. Por lo tanto, el costo en dólar de HH es de USD\$4 (Glassdor, 2021).

Finalmente, se determina que el costo anual por mantenimiento es de USD\$60.

#### 11.2 Costo de Seguros

Por otra lado, para determinar el costo de seguros se solicitó una cotización al seguro ALLIANZ, el mismo contempla tanto el riesgo por robo, daños en placas solares, rotura de inversores o transformadores, afectación por daños de la naturaleza y por último

## Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

daños por granizo. El costo mensual del mismo es \$52.550, es decir, USD\$486,57 cotización del dólar al 03/01/2022.

### Costo de Depreciación del sistema fotovoltaico

De acuerdo al desgaste de los equipos que forman parte del sistema fotovoltaico es que se debe calcular el costo de depreciación del mismo. El cual se tomará como método de depreciación el sistema de línea recta. Además, se tiene en cuenta que el valor residual al final de la vida útil del bien corresponde al 10% de la inversión fija de los equipos (L). Para ello, en la ecuación 10 se calcula el valor del factor de depreciación anual, mientras en la ecuación 11 se presenta el cálculo de la depreciación en dólares (James L. Riggs, 2002).

$$e = \frac{1}{n} \quad (10)$$

$$e = 0.04$$

$$D = e * (I - L) \quad (11)$$

$$D = 0.04 * 14.795,18 * (1 - 0.1)$$

$$D = 532,62$$

### 11.3 Costo Promedio Ponderado de capital

Para el cálculo del valor anualizado de la inversión se lleva a cabo el cálculo del costo promedio ponderado de capital como se observa en la ecuación 12, donde en nuestro caso se considera que el 100% de la inversión es por medio de capital propio, por lo tanto solo es necesario calcular el costo de capital propio (James L. Riggs, 2002).

$$CPPC = \% \text{ de capital propio} * Ke + \% \text{ de capital de deuda} * Kd \quad (12)$$

#### 11.3.1 Costo de capital propio (Ke)

Para estimar el costo de capital propio (13), se tuvieron en cuenta diferentes factores. Por un lado, se toma el riesgo país en Argentina al 26 de Noviembre de 2021, de 1872 puntos (Ambito, 2021). El coeficiente de retorno del sector (beta) se determinó a partir de la página de Damodaran de EEUU, en este caso para el sector de Energías Renovables siendo de 0.98 (Damodaran, 2021). Por otro lado, la tasa libre de riesgo se obtiene a partir del rendimiento de bonos a 10 años de Estados Unidos, valiendo 1.53% al 26 de Noviembre de 2021 (Datos Macro, 2021). Por último, el valor de prima de riesgo en Estados Unidos es de 2.97% (Index Mundi, 2021) (James L. Riggs, 2002).

$$Ke = Rf + \beta * (Rm - Rf) + Riesgo País \quad (13)$$

$$Ke = 0.015 + 0.98 * 0.029 + 0.18$$

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

$$K_e = 0.22$$

$$K_e = 22\%$$

### 11.3.2 Costo de capital de deuda (Kd)

Como se mencionó anteriormente, no se considera costo de capital de deuda debido a que el 100% corresponde a capital propio

Por lo tanto el valor final de CPPC =22%, este valor es aquel que se tomará para el cálculo de la inversión llevada a anualidad.

### 11.4 Valor anualizado de la inversión total

Finalmente, para determinar el cuadro de flujo es necesario llevar el valor presente de inversión a anualidad, a través de la fórmula de factores de presente a anualidad (14) (James L. Riggs, 2002).

$$F_{PAi,n} = \frac{i * (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \quad (14)$$

Por lo tanto, teniendo en cuenta que el valor de la tasa anual corresponde al valor del costo de capital propio calculado con anteriormente, y que la vida útil de los paneles es de 25 años, el valor anualizado del factor es:

$F_{PAi,n} = 0.22$
--------------------

Por lo tanto el valor anualizado de la inversión total en dólares es de 5.694,60.

### 11.5 Análisis de factibilidad

Para analizar la factibilidad del proyecto la misma se analiza a partir de la relación beneficio/costos, siendo el beneficio el ahorro generado por la generación de los paneles solares.

Debido a que el ahorro no es constante durante los años de vida útil de los paneles solares, se realiza el análisis para el caso mas desfavorable, siendo para el año 25, como puede observarse en el cuadro N°28. A continuación se presentan los valores de ingreso y egreso para el año mencionado y su relación correspondiente:

Año	25
<b>BENEFICIO</b>	
Ahorro	1.337,26

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

<b>COSTO</b>	
Costo por Mantenimiento	60,00
Costo por Seguros	486,57
Costo de depreciación	532,62
Inversión anualizada	5.694,60
<b>Relación Beneficio/Costos</b>	<b>0,19</b>

Cuadro 28: Relación beneficio/costos  
Fuente: elaboración propia, 2021

De acuerdo al resultado obtenido se puede concluir que para el año 25 el proyecto desde el punto de vista económico no es rentable, debido a que la relación beneficio/costo es menor a 1.

Teniendo en cuenta el valor de la inversión y los costos asociados al proyecto, como así también la cantidad de energía generada para autoconsumo y para la inyección a la red, se obtiene que el precio de la energía debería ser de USD\$ 0,24 por kWh para que la relación beneficio/costo sea 1. De lo anterior se concluye que el precio del kilowatt-hora debería ser cinco veces mayor al precio considerado para este proyecto (USD\$ 0,048) para que sea factible económicamente la implementación de la instalación fotovoltaica.

En base al resultado obtenido anteriormente se realiza el análisis para el caso más favorable, es decir, para el año que se obtienen mayores beneficios, en tal caso es para el primer año de vida útil de los paneles. A continuación en el cuadro 29 se presentan los beneficios, egresos y la relación beneficio/costos del primer año:

Año	1
<b>BENEFICIO</b>	
Ahorro	1.702,04
<b>COSTOS</b>	
Costo por Mantenimiento	60,00
Costo por Seguros	486,57
Costo de depreciación	532,62
Inversión anualizada	5.694,60
<b>Relación Beneficio/Costos</b>	<b>0,25</b>

Cuadro 29: Relación beneficio/costos  
Fuente: elaboración propia, 2021

## Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

Como puede observarse a pesar de ser el año mas favorable ya que es el año donde el beneficio es mayor la relación beneficio/costos continúa siendo menor a uno, por lo tanto el proyecto no es factible economicamente.

Al igual que para el año menos favorable, se procede a obtener el precio del kilowatt-hora para el cual el proyecto sería factible economicamente, es decir, para que la relación beneficio/costo sea 1. En este caso el valor de la inversión se mantiene, pero se presenta un cambio en el beneficio, debido a que en el primer año los paneles generan una cantidad mayor de energía. Por lo comentado anteriormente, el valor de la energía debería ascender a USD\$ 0,19 por kilowatt-hora para que la instalación fotovoltaica sea factible desde el punto de vista económico. De lo anterior se concluye que el precio del kilowatt-hora debería ser cuatro veces mayor al precio considerado para este proyecto para que sea factible economicamente.

### 11.6 Escenario sin subsidio

De acuerdo a los resultados obtenidos en el apartado anterior se analiza la alternativa de que el costo de kWh no contenga ningún tipo de subsidio. Esto se debe a que entre el 50 y 60% del costo de la energía es subsidiada por el Estado, influyendo en el valor del beneficio (Clarín, 2021).

Teniendo en cuenta que el cálculo del ahorro corresponde a un 40% del costo total de kWh, por lo tanto se determina el valor del ahorro al 100% de costo por kWh. A continuación en el cuadro N°30 se observan los valores calculados:

	<b>AHORRO POR CONSUMO SIN SUBSIDIO (en dolares)</b>	<b>AHORRO POR INYECTAR A LA RED SIN SUBSIDIO (en dolares)</b>	<b>AHORRO ANUAL SIN SUBSIDIO (en dolares)</b>
AÑO 1	3.074,45	1.180,65	4.255,10
AÑO 2	3.043,71	1.168,84	4.212,55
AÑO 3	3.013,27	1.157,16	4.170,42
AÑO 4	2.983,14	1.145,58	4.128,72
AÑO 5	2.953,30	1.134,13	4.087,43
AÑO 6	2.923,77	1.122,79	4.046,56
AÑO 7	2.894,53	1.111,56	4.006,09
AÑO 8	2.865,59	1.100,44	3.966,03
AÑO 9	2.836,93	1.089,44	3.926,37
AÑO 10	2.808,56	1.078,54	3.887,11
AÑO 11	2.780,48	1.067,76	3.848,24
AÑO 12	2.752,67	1.057,08	3.809,75
AÑO 13	2.725,15	1.046,51	3.771,66
AÑO 14	2.697,89	1.036,05	3.733,94
AÑO 15	2.670,92	1.025,68	3.696,60



Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

AÑO 16	2.644,21	1.015,43	3.659,63
AÑO 17	2.617,76	1.005,27	3.623,04
AÑO 18	2.591,59	995,22	3.586,81
AÑO 19	2.565,67	985,27	3.550,94
AÑO 20	2.540,01	975,42	3.515,43
AÑO 21	2.514,61	965,66	3.480,28
AÑO 22	2.489,47	956,01	3.445,47
AÑO 23	2.464,57	946,45	3.411,02
AÑO 24	2.439,93	936,98	3.376,91
AÑO 25	2.415,53	927,61	3.343,14

Cuadro 30: Ahorro anual sin subsidio

Fuente: elaboración propia, 2021

Al igual que para el apartado 11.5 se analiza la relación beneficio/costos, a partir del ahorro anual sin subsidio obtenido en el cuadro N°30. A continuación, en el cuadro N°31 y N°32 se presenta la relación para el año 25 (peor escenario) y el año 1 (mejor escenario):

Año	25
<b>BENEFICIO</b>	
Ahorro	3.343,14
<b>COSTO</b>	
Costo por Mantenimiento	60,00
Costo por Seguros	486,57
Costo de depreciación	532,62
Inversión anualizada	5.694,60
<b>Relación Beneficio/Costos</b>	<b>0,49</b>

Cuadro 29: Relación beneficio/costos

Fuente: elaboración propia, 2021

Año	1
<b>BENEFICIO</b>	
Ahorro	4.225,10
<b>COSTOS</b>	
Costo por Mantenimiento	60,00

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

Costo por Seguros	486,57
Costo de depreciación	532,62
Inversión anualizada	5.694,60
<b>Relación Beneficio/Costos</b>	<b>0,62</b>

Cuadro 302: Relación beneficio/costos  
Fuente: elaboración propia, 2021

Se puede concluir que al igual que en el caso del valor del kWh con subsidio, resulta no ser factible económicamente a pesar de que los valores de ahorro aumentan sin el subsidio para el valor del kWh.

Cabe mencionar que las dos variables que impactan de manera negativa en el análisis económico son la gran inversión inicial y la tarifa eléctrica con el respectivo subsidio, cuyo valor depende de las decisiones políticas del gobierno electo. Cuanto mayor sea este subsidio, menos atractiva será la implementación de la instalación fotovoltaica.

## 12 EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

La implementación de una instalación fotovoltaica presenta una serie de ventajas en relación al impacto ambiental. En primer lugar, la generación de energía eléctrica mediante paneles solares disminuye la dependencia exterior de fuentes fósiles para el abastecimiento energético, contribuyendo al establecimiento de un sistema renovable y sostenible a largo plazo. En segundo lugar, la energía que se genera en una instalación fotovoltaica es limpia y reduce la huella de carbono de manera significativa, pues no genera gases de efecto invernadero ni contamina durante su uso (tan solo la contaminación creada al producir las celdas solares). Finalmente, este tipo de generación renovable presenta una baja producción de residuos y vertidos contaminantes durante la fase de explotación.

Para cuantificar el impacto medioambiental de la ejecución de la instalación fotovoltaica en la terraza del Palacio Municipal de Balcarce se hará uso de la Huella de Carbono como variable de análisis.

### 12.1 Cálculo de la Huella de Carbono

Para el correcto cálculo de la Huella de Carbono, que en nuestro caso representará una disminución de la misma, serán necesarios dos datos. En primer lugar, la cantidad de energía generada por la instalación fotovoltaica en un periodo de tiempo determinado, se

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

optará por considerar el primer año de funcionamiento del sistema. En segundo lugar, el Factor de Emisión que es un parámetro que convierte el dato de generación energética anual en las emisiones de Gases de Efecto Invernadero, traducidas en kg o tn de CO<sub>2</sub> equivalente. Por último, para obtener el valor de la Huella de Carbono se multiplica el valor de la energía producida en un año por el Factor de Emisión.

El cuadro 33 presenta los datos de Factores de Emisión.

Fuente/Combustible	Factor de emisión
Generación de energía eléctrica	0,486 KgCO <sub>2</sub> eq/kWh
Gasoil	0,00222 TnCO <sub>2</sub> eq/litro
Gas Natural	0,00216 TnCO <sub>2</sub> eq/m <sup>3</sup>
Fueloil	0,00306 TnCO <sub>2</sub> eq/Kg
Carbón	0,00253 TnCO <sub>2</sub> eq/Kg

Cuadro 313: Factores de emisión  
Fuente: Ministerio de Agroindustria, 2018

Del cuadro 12 se obtiene que la energía generada para el primer año de funcionamiento de la instalación fotovoltaica será de 34773,1 kWh/año. Se puede observar del cuadro 33 que el Factor de Emisión tiene un valor de 0,486 KgCO<sub>2</sub>eq/kWh. En la formulación matemática 15 se presenta el producto de la energía generada y el Factor de Emisión.

$$\text{Huella de Carbono} = \text{Energía generada} * \text{Factor de Emisión} \quad (15)$$

$$\text{Huella de Carbono} = 34773,1 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} * 0,486 \frac{\text{KgCO}_2\text{eq}}{\text{kWh}} = 16,89 \text{ TnCO}_2\text{eq/año} \quad (15)$$

Al observar la formulación 15 se concluye que el valor de la disminución de la Huella de Carbono es de 16,89 TnCO<sub>2</sub>eq/año. Sin embargo, en el valor presentado no se considera el impacto de la Huella de Carbono en relación a la fabricación de las celdas solares. Un estudio realizado en el año 2019 logró estimar el impacto de la Huella de Carbono para la elaboración de paneles solares fotovoltaicos policristalinos. El trabajo antes mencionado considera las siguientes etapas (Nugent & Sovacool, 2019).

- Extracción y procesado de las materias primas del captador solar fotovoltaico que forman parte del producto final.
- Transporte de materias primas del panel solar.
- Producción de la celda fotovoltaica en fábrica, es decir, la producción de los paneles incluyendo los consumos energéticos y de agua; producción de materias auxiliares; producción de embalajes; y transporte y gestión de residuos generados.

## Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

El cuadro 34 presenta un diagrama de entradas y salidas para el proceso de elaboración de paneles solares policristalinos.



Cuadro 324: Entradas y salidas del proceso de elaboración de celdas solares

Fuente: Elaboración propia en base a Nugent & Sovacool, 2019

Los procesos posteriores de transporte y la instalación de los captadores quedan fuera del alcance del estudio. La conclusión a la que se llega en el trabajo antes mencionado es que la Huella de Carbono para la fabricación de un panel solar fotovoltaico es 500 KgCO<sub>2</sub>eq (Nugent & Sovacool, 2019). Si bien el proceso productivo y las distancias de transporte de materia prima a la fábrica pueden variar, se considera el resultado como una estimación aceptable.

Al haber determinado que la vida útil de los paneles es de 25 años, se opta por distribuir el valor de la Huella de Carbono para los paneles en dicho periodo. Teniendo en cuenta que la instalación planteada en este proyecto cuenta con 50 celdas fotovoltaicas, la cantidad total de la Huella de Carbono para la fabricación es de 25 TnCO<sub>2</sub>eq, al distribuir entre los años de vida de los paneles queda un total de 1 TnCO<sub>2</sub>eq/año. Por último, al valor obtenido en la fórmula 15 se le resta el correspondiente al impacto para la fabricación en un año, llegando a un total de 15,89 TnCO<sub>2</sub>eq/año.

Con el objetivo de representar el impacto positivo en el medioambiente, en cuanto a la disminución de la Huella de Carbono que se presentaría al implementar la instalación fotovoltaica planteada en este proyecto, se procede con una serie de comparaciones.

### 12.2 Huella de Carbono de un hogar tipo de la ciudad de Balcarce.

Para conocer de manera aproximada la Huella de Carbono de una casa promedio de la ciudad de Balcarce, se procedió a utilizar una calculadora de Huella de Carbono online. La interfaz del servidor web solicita una serie de datos que se presentan a continuación.

- País

## Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

- Periodo de estudio
- Cantidad de personas que habitan en la vivienda
- Consumo de energía eléctrica
- Consumo de gas natural

Se considera en este estudio que en una “casa promedio” habitan 4 personas y los datos de consumos promedios de energía eléctrica y gas natural se obtienen de las páginas web de ENRE y ENARGAS. A su vez, se establece como periodo de estudio de un año.

Las figuras N°35 y N°36 muestran los datos cargados en la interfaz del usuario del calculador.



Figura 35: Interfaz de usuario del calculador  
Fuente: Página web de Carbon Footprint, 2021

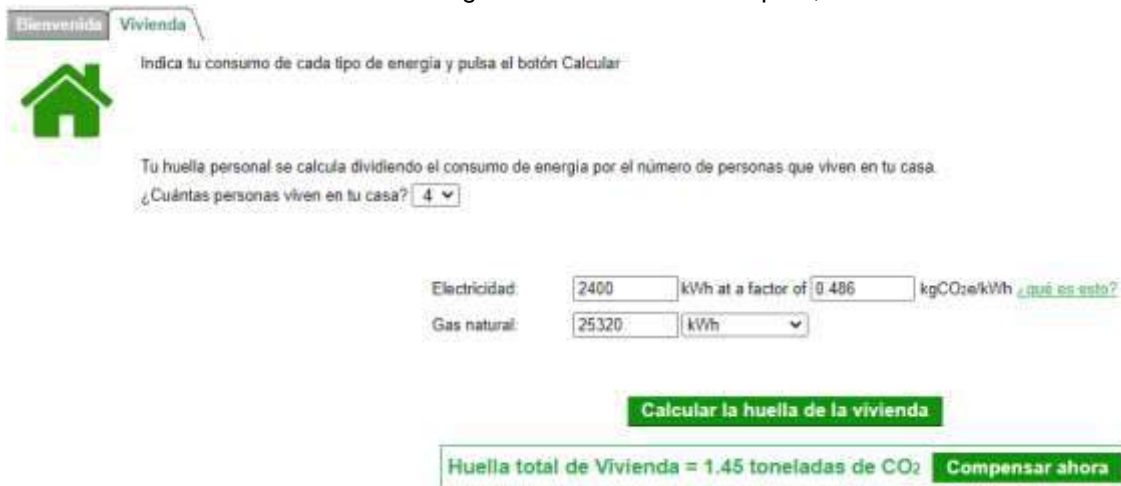


Figura 36: Interfaz de usuario del calculador  
Fuente: Página web de Carbon Footprint, 2021

En cuanto al consumo promedio de energía eléctrica se estima en unos 200 kWh/mes (ENRE, 2019). Por otra parte, se considera que el consumo promedio de gas natural es de unos 400 m<sup>3</sup> bimestrales (ENARGAS, 2020), los cuales equivalen a unos 25320 kWh anuales. Como se puede apreciar en la figura 36, la Huella de Carbono para una casa tipo corresponde a unas 1,45 TnCO<sub>2</sub>eq anuales.

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

Por lo tanto, con la implementación de la instalación fotovoltaica planteada en este proyecto, se reduciría una cantidad de CO<sub>2</sub> liberado a la atmosfera equivalente al generado por 11 viviendas de manera anual aproximadamente.

Siguiendo la línea de análisis anterior y usando los Factores de Emisión para los combustibles presentados en el cuadro 33, se procede a calcular en las formulaciones matemáticas 16, 17, 18 y 19 la cantidad de combustibles que sería necesario combustionar para generar la cantidad de dióxido de carbono equivalente a la implementación de la instalación planteada en un periodo de un año.

$$\text{Gasoil} = \text{Huella de carbono de la instalación} * \text{FE Gasoil} \quad (16)$$

$$\text{Gasoil} = 15,89 \frac{\text{TnCO2eq}}{\text{año}} * \frac{1 \text{ litro}}{0,00222 \text{ TnCO2eq}} = 7160 \frac{\text{litro}}{\text{año}} \quad (16)$$

$$\text{Gas Natural} = \text{Huella de carbono de la instalación} * \text{FE Gas Natural} \quad (17)$$

$$\text{Gas Natural} = 15,89 \frac{\text{TnCO2eq}}{\text{año}} * \frac{1 \text{ m}^3}{0,00216 \text{ TnCO2eq}} = 7356 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} \quad (17)$$

$$\text{Fueloil} = \text{Huella de carbono de la instalación} * \text{FE Fueloil} \quad (18)$$

$$\text{Fueloil} = 15,89 \frac{\text{TnCO2eq}}{\text{año}} * \frac{1 \text{ Kg}}{0,00306 \text{ TnCO2eq}} = 5193 \frac{\text{Kg}}{\text{año}} \quad (18)$$

$$\text{Carbón} = \text{Huella de carbono de la instalación} * \text{FE Carbón} \quad (19)$$

$$\text{Carbón} = 15,89 \frac{\text{TnCO2eq}}{\text{año}} * \frac{1 \text{ Kg}}{0,00253 \text{ TnCO2eq}} = 6280 \frac{\text{Kg}}{\text{año}} \quad (19)$$

Al observar las formulas 16, 17, 18 y 19 se concluye que para generar 15,89 TnCO<sub>2</sub>eq/año sería necesario combustionar 7160 litros/año de gasoil, 7356 m<sup>3</sup>/año de gas natural, 5193 Kg/año de fueloil y 6280 Kg/año de carbón.

Por último, se estima la cantidad necesaria de árboles que se necesitaría plantar para absorber la Huella de Carbono de la instalación fotovoltaica. En promedio un árbol absorbe entre 5 y 10 KgCO<sub>2</sub>/año, usando el promedio se obtiene con la formula 20 la cantidad de árboles que sería necesario plantar para absorber 15899,73 KgCO<sub>2</sub>/año.

$$\text{Cantidad de árboles a plantar} = \frac{1 \text{ año}}{7,5 \text{ KgCO}_2} * 15899,73 \frac{\text{KgCO}_2}{\text{año}} \quad (20)$$

$$\text{Cantidad de árboles a plantar} = 2120 \text{ árboles}$$

## Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

De la formulación 20 se concluye que sería necesario plantar 2120 árboles para absorber 15899,73 KgCO<sub>2</sub>/año.

### 12.3 Disposición final y desecho de paneles solares

Un punto relevante, en relación al impacto ambiental, es como proceder con los equipos fotovoltaicos al finalizar su vida útil. En primer lugar, se debe tener conocimiento sobre la composición de los colectores solares, para poder evaluar las alternativas de disposición final. En la figura 37 se muestran los componentes de los paneles seleccionados para este proyecto (Enertik, 2021).

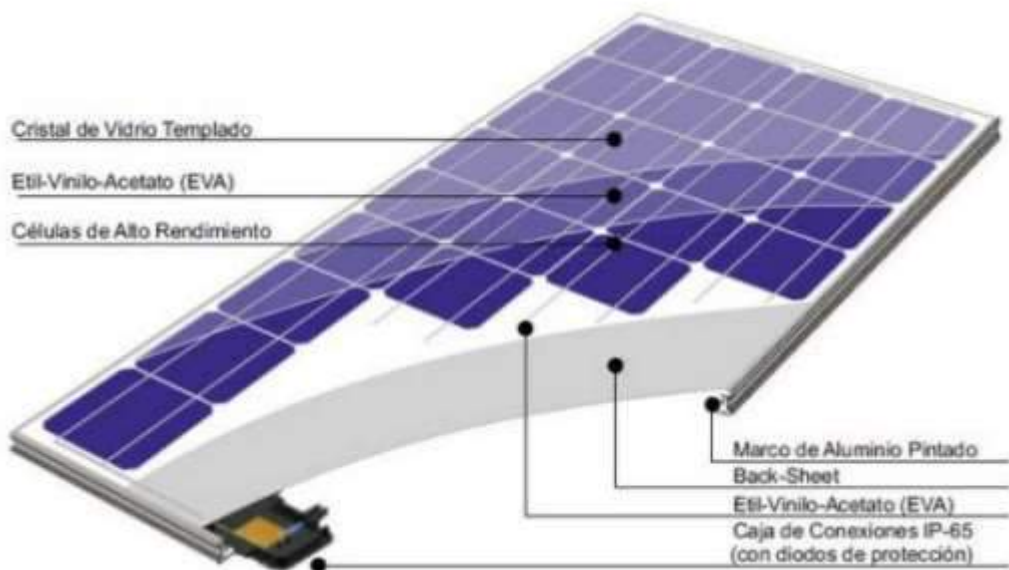


Figura 37: Componentes de los paneles solares

Fuente: Enertik, 2021

Como puede verse en la figura 50, la composición básica es la siguiente.

- Cristal/Vidrio
- Marcos de aluminio estructural (para alivianar peso)
- Células de alto rendimiento (Silicio y otros componentes químicos)
- Goma EVA (Etil Vinilo Acetato)
- Caja de conexiones (con componentes electrónicos).

Una vez que los paneles solares cumplen su ciclo de vida útil terminan dentro de basureros o incineradores. Esto perjudica los esfuerzos realizados para la reducción de residuos, añadiendo cientos de miles de toneladas de basura a la cuenta global cada año, sino también es una oportunidad enorme perdida. Los paneles solares constan de metales y vidrio que, si fueran separados y recopilados, podrían ser reutilizados en la fabricación de otros productos.

## Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

Hoy en día, se puede pensar en reciclar un 90% del panel solar, aprovechando características propias de los materiales. En el caso del vidrio, el mismo es 100% reutilizable para cualquier proceso y en el caso del aluminio se aprovecha poco menos del 100% del material. Pero gracias a ello, se ahorra el 95% de la energía, si se compara con la producción a partir del mineral (bauxita). La producción con aluminio reciclado genera sólo un 15% de las emisiones de gases de efecto invernadero, causantes del cambio climático (Navtoft, 2019).

Hasta el momento, se utilizan dos procesos para el reciclado de placas solares.

- Proceso térmico: la técnica de reciclado estándar se basa en el tratamiento térmico y consiste en quemar los plásticos para separar las células del vidrio. Esto es aproximadamente el 80% del panel. Después se llevan a cabo diferentes procesos químicos para eliminar la capa antireflectante, si la hubiese, y separar los contactos metálicos.
- Proceso mecánico: la segunda técnica de reciclado utilizado es mecánica. Consiste en moler todo el panel despejado de su marco para después ser trabajado a base de procesos químicos. Se tritura para extraer los materiales y luego se procesan para obtener materiales secundarios.

En Argentina existen diversas cooperativas, empresas y ONGs que reciclan y recolectan metales y vidrios, a lo largo de todo el país. Mismo, dentro de la provincia de Buenos Aires, existen varias empresas y cooperativas urbanas que recogen casi todo tipo de residuos (especiales como los elementos químicos de las células, y los convencionales). En otros mercados, por ejemplo en la Unión Europea, las regulaciones que gobiernan el tratamiento de residuos eléctricos y equipos electrónicos (WEEE), incluyen los paneles solares e indican el camino a seguir para manejar las herramientas renovables. En nuestro país no hay actualmente regulaciones sobre como proceder con la disposición final de los paneles solares.

### 12.4 Concientización a la comunidad sobre energías renovables

Para dar cierre al apartado ambiental de este proyecto, se trata la posibilidad de campañas de concientización a la comunidad sobre la energía solar fotovoltaica. Las campañas de concientización deberían contar con actividades recreativas, educativas y de comunicación para impulsar cambios de comportamiento, como así también conservar y educar en aspectos relacionados con la energía solar.

Las jornadas de sensibilización en el uso de energía solar fotovoltaica podrían estar divididas en dos instancias. En primer lugar, un espacio para charlas educativas con el objetivo de intercambiar conocimientos y generar una actitud crítica en la comunidad sobre ciertos aspectos de la obtención y utilización de la energía solar. En segundo lugar, una instancia de actividades a través de la práctica de instalación de kits fotovoltaicos pedagógicos, los



## Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

concurrentes tendrían una visión de los procesos tecnológicos que actúan en la obtención, transformación y uso de la energía solar fotovoltaica. Los kits antes mencionados podrían contener dos paneles solares de 20 Watt, una baterías estacionarias de 12 Volt y un inversor de 600 Watt. Con estas actividades los concurrentes adquirirían una percepción y una actitud más práctica sobre la energía, promoviendo una conciencia energética más palpable.

Desde la perspectiva de la comunicación, sería conveniente aprovechar el impacto de las redes sociales y los festivales públicos. En las redes sociales del Municipio podrían publicarse contenidos audiovisuales relacionados a las ventajas del uso de la energía solar fotovoltaica. Por su parte, en las distintas festividades populares de la ciudad podrían repartirse panfletos informativos con las ventajas del uso de la energía solar, como así también aprovechar la infraestructura de las pantallas en los escenarios para presentar videos que muestren el compromiso por parte del Municipio con las iniciativas del uso de energía solar.

Con el objetivo de planificar y coordinar las campañas de concientización, sería conveniente el trabajo en conjunto de la Dirección de Gestión Ambiental de Balcarce, la Escuela de Educación Secundaria Técnica N°1 "Lucas Kraglievich" y de los Promotores Ambientales de la ciudad. El grupo de Promotores Ambientales antes mencionado está conformado por 12 personas que desarrollan tareas de difusión y actividades prácticas en distintos espacios de la ciudad para tratar la problemática socio ambiental (0223-Digital, 2021).

La finalidad de las actividades comentadas anteriormente, serían de utilidad para lograr generar conciencia en la comunidad y para mejorar la imagen de la Municipalidad al mostrar el compromiso con la utilización de la energía fotovoltaica.

### 13 ANÁLISIS FODA

Luego de realizar un análisis técnico, económico y ambiental de la posibilidad de colocar paneles solares en la terraza de la Municipalidad de Balcarce para abastecer un porcentaje del consumo total de energía del mismo se realiza un análisis sobre la fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de poder llevar a cabo el proyecto. A continuación, en el cuadro 38 se presenta el análisis FODA.

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

<p><b>FORTALEZAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuente de energía limpia e ilimitada</li> <li>• Reducción de gastos energéticos</li> <li>• Sistema de generación energética con larga vida útil</li> <li>• Conocimiento de la normativa y regulación existente</li> <li>• Funcionamiento del edificio de 7 hs a 14 hs</li> <li>• Impacto visual nulo en la fachada del edificio</li> <li>• Mejora en la imagen de la Municipalidad de Balcarce</li> </ul>	<p><b>DEBILIDADES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gran inversión inicial</li> <li>• Superficie irregular en la terraza del Palacio Municipal</li> <li>• Baja eficiencia</li> </ul>
<p><b>OPORTUNIDADES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Apoyo gubernamental (Ley Nacional 27.424)</li> <li>• Posibilidad de inyección de remanente de energía a la red</li> <li>• Generar concientización sobre la importancia del uso de fuentes de energía renovables</li> <li>• Reducción en la generación de GEI</li> <li>• Avance de la tecnología</li> </ul>	<p><b>AMENAZAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambios en el Marco Legislativo</li> <li>• Pérdidas por sombras (modificación de edificios lindantes)</li> <li>• Cambio climático</li> <li>• Inestabilidad política</li> <li>• Caída del precio del petróleo</li> </ul>

Cuadro 33: Análisis FODA  
Fuente: Elaboración propia, 2021

## 14 CONCLUSIONES

El objetivo de este trabajo final fue analizar la factibilidad técnica y económica para la generación de energía eléctrica mediante paneles solares para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce.

Para alcanzar la meta planteada se comenzó con una investigación sobre los conceptos teóricos que engloban la generación con fuentes de energía renovables, específicamente la energía solar. A su vez, se recabó información sobre las características y componentes de las instalaciones fotovoltaicas.

Para el desarrollo del trabajo se inició con un relevamiento del Palacio Municipal, en base a la información brindada por el Secretario de Obras Públicas. Posteriormente, se estudió el consumo eléctrico del edificio en función de las facturas emitidas por la Cooperativa de Electricidad de Balcarce. Luego, se analizó el plano la terraza del edificio para identificar las zonas libres de sombra aptas para el emplazamiento de los paneles solares. Para la

## Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

selección del proveedor de los equipos y dispositivos necesarios para la instalación se utilizó una matriz de selección basada en criterios de interés para elegir la opción más adecuada. En cuanto al diseño de la instalación, se tuvo en cuenta la superficie disponible y el ángulo de inclinación más adecuado para obtener la mayor generación de energía posible. Si bien el ángulo más adecuado es de  $30^\circ$  según el concepto de círculo solar, se concluyó en este apartado que la mejor alternativa es colocarlos de manera horizontal, ya que de esa forma es posible colocar una mayor cantidad de celdas solares. Una vez que se estableció el diseño final de la instalación con la selección y cantidad del equipamiento se prosiguió con una simulación en el software System Advisor Model, lo que dio como resultado la cantidad de energía generada en la instalación planteada.

Para llevar a cabo el análisis económico en primer lugar se determinó el valor de la inversión inicial, teniendo en cuenta los costos del equipamiento necesario para la instalación de los 50 paneles solares. En segundo lugar, se procedió a calcular el valor anualizado de la inversión mediante el factor para pasar de presente a anualidad. Para ello, fue necesario calcular el valor del costo de capital ponderado, como así también determinar la vida útil de la instalación, siendo del 22% y 25 años respectivamente. Por otro lado, para calcular los egresos se llevó a cabo el cálculo de los costos tanto de mantenimiento, seguros y depreciación de los paneles solares a través del método de línea recta. A partir de los cálculos se analizó la relación ahorro/costos tanto para el año 25, como para el primer año de vida útil de los paneles, debido a que el valor del ahorro no permanece constante con el pasar de los años, sino que el mismo disminuye por la degradación de los paneles solares año tras año. Se plantearon dos alternativas, por un lado contemplando la situación actual en lo que refiere a los costos de kWh, ya que un porcentaje de los mismos se encuentra subsidiado por parte del estado, y por el otro, el escenario sin subsidios. Del análisis anterior se obtuvo como resultado que en ambos escenarios la relación beneficio/costos es menor a 1, concluyendo que no es factible desde el punto de vista económico. Esto puede deberse a que el espacio disponible para la colocación de paneles no es suficientemente grande como para pensar en una generación de energía a gran escala. Otros dos factores relevantes son la gran inversión inicial necesaria para la implementación de los paneles solares y el valor de la tarifa eléctrica y sus subsidios. El principal factor de incertidumbre, son los subsidios a las tarifas eléctricas, cuya variable depende de las decisiones políticas del gobierno electo. Cuanto mayor sea este subsidio, menos atractiva es la instalación fotovoltaica.

Por otro lado, se llevó a cabo un breve análisis sobre el impacto positivo que tendría para el medio ambiente la implementación de la instalación fotovoltaica planteada en el proyecto. En este apartado se utilizó la Huella de Carbono como variable de análisis. Se obtuvo la cantidad de toneladas de  $\text{CO}_2$  equivalente en base a la energía generada. Luego,

## Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

se realizó una comparación del valor antes mencionado con el valor de la Huella de Carbono promedio de una casa. Posteriormente, se calculó la cantidad de combustibles que sería necesario combustionar para generar la cantidad de dióxido de carbono equivalente de la instalación planteada en un periodo de un año. Finalmente, se realizó una breve descripción sobre las opciones de disposición final de las celdas solares.

La exposición ha puesto en evidencia que a pesar de que la factibilidad económica no resultó ser favorable para este proyecto, si lo es tanto desde el punto de vista técnico como ambiental, quedando demostrado que es una gran oportunidad por los grandes beneficios que permiten lograr. Por una parte, debido al reemplazo del consumo de combustibles fósiles, reduciendo la generación de Gases de Efecto Invernadero. Por otro lado, se genera una mejora en la imagen del Municipio gracias al compromiso con la generación de energías limpias y por la concientización de la población en el cuidado del medio ambiente. Balcarce dispone de un potencial importante en materia de energías renovables, en particular de una radiación solar que puede apoyar la transformación de la generación eléctrica de la ciudad.

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

## 15 Bibliografía

- 0223-Digital. (9 de agosto de 2021). 0223. Obtenido de 0223: <https://www.0223.com.ar/nota/2021-8-9-19-40-0-para-concientizar-a-la-poblacion-lanzan-en-balcarce-un-grupo-de-promotores-ambientales>
- Aires, M. d. (2018). *Manual de Aplicación de la Huella de Carbono*. Buenos Aires: Ministerio de Agroindustria de Buenos Aires.
- Ambito. (26 de 11 de 2021). *Ambito financiero*. Obtenido de <https://www.ambito.com/contenidos/riesgo-pais.html>
- Calabrese, D. (2017). *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero*. Buenos Aires: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable.
- CAMMESA. (2020). *Informe Renovable*. Estadístico, CAMMESA, Santa Fe. Recuperado el 28 de Julio de 2020, de <file:///C:/Users/User/Desktop/TESIS/Informe%20Renovables%20MAR%202020.pdf>
- Cassagne, E. (2017). *Cassagne publicaciones*. Obtenido de Cassagne.com: [http://www.cassagne.com.ar/publicaciones/358-El\\_nuevo\\_marco\\_normativo\\_de\\_las\\_energias\\_renovables.pdf](http://www.cassagne.com.ar/publicaciones/358-El_nuevo_marco_normativo_de_las_energias_renovables.pdf)
- Clarín. (26 de 11 de 2021). *clarin*. Obtenido de [https://www.clarin.com/economia/tarifas-luz-gas-transporte-pagamos-cubre-\\_0\\_WCvAIFMWg.html](https://www.clarin.com/economia/tarifas-luz-gas-transporte-pagamos-cubre-_0_WCvAIFMWg.html)
- Cristófalo, M. P. (2019). *Guía del Recurso Solar*. Buenos Aires: Subsecretaría de Energías Renovables y Eficiencia Energética.
- Cronista. (08 de 09 de 2019). *Mercados Online*. Obtenido de Mercados Online: <https://www.cronista.com/mercadosonline/dolar.html>
- Damodaran. (26 de 11 de 2021). *Betas Damodaran*. Obtenido de <http://www.betasdamodaran.site/>
- Datos Macro. (26 de 11 de 2021). *Datos Macro*. Obtenido de <https://datosmacro.expansion.com/bono/usa>
- ENARGAS. (2020). *Informe de gestión y balance 2020*. Buenos Aires.
- Energía, A. c. (2019). *EducarChile*. Obtenido de <https://www.aprendeconenergia.cl/glossary/irradiancia/>
- Energía, S. d. (2008). *Argentina.gov*. Obtenido de Energía.gov: [http://www.energia.gov.ar/contenidos/archivos/publicaciones/libro\\_energia\\_solar.pdf](http://www.energia.gov.ar/contenidos/archivos/publicaciones/libro_energia_solar.pdf)
- Enertik. (14 de 04 de 2021). Obtenido de <https://enertik.ar/>
- Enertik. (14 de 03 de 2021). *Enertik.com*. Obtenido de <https://enertik.ar/trina-solar-tsm-345pe15h-panel-solar-fotovoltaico-policristalino-345w-pallet>
- ENRE. (2019). *Informe Anual ENRE 2019*. Buenos Aires.
- Fernández, C. (s.f.). *ENERGIAS RENOVABLES EN ARGENTINA*. Obtenido de <file:///C:/Users/User/Desktop/TESIS/Energ%C3%ADas%20renovables%20en%20Argentina.pdf>

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

- General Industrial. (12 de 06 de 2021). *GE INDUSTRIAL*. Obtenido de <https://www.geindustrial.com.ar/producto/diferenciales-industriales>
- Glassdor. (20 de 11 de 2021). *Glassdor*. Obtenido de [https://www.glassdoor.com.ar/Sueldos/t%C3%A9cnico-de-mantenimiento-sueldo-SRCH\\_KO0,24.htm](https://www.glassdoor.com.ar/Sueldos/t%C3%A9cnico-de-mantenimiento-sueldo-SRCH_KO0,24.htm)
- Gonzalez, M. (Octubre de 2019). *Subsecretaría de Energía Renovables y Eficiencia Energética*. Obtenido de Argentina.gob: [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/energia\\_solar\\_fotovoltaica\\_-\\_octubre\\_2019.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/energia_solar_fotovoltaica_-_octubre_2019.pdf)
- Google Maps. (19 de 04 de 2021). *Google Maps*. Obtenido de <https://www.google.com/maps/place/Palacio+Municipal/@-37.8456523,-58.2591764,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x959aaf3fd8cefe15:0x801d014f28f516c8!8m2!3d-37.8456523!4d-58.2569877>
- Guerra, J. (12 de Junio de 2019). *Seisa Energía*. Obtenido de Blog Seisa Energía: <https://www.seisaenergia.com/blog/tipos-generacion-energia>
- Index Mundi. (26 de 11 de 2021). *Index Mundi*. Obtenido de <https://www.indexmundi.com/es/datos/estados-unidos/prima-de-riesgo-por-pr%C3%A9stamo>
- James L. Riggs, D. D. (2002). *Ingeniería Económica*.
- La Ribera*. (4 de Abril de 2018). Obtenido de La Ribera: <https://www.lariberaweb.com/2018/04/29/olaeta-un-municipio-pionero/>
- Magter, R. (2019). *Huespedes.cica.es*. Obtenido de [https://huespedes.cica.es/gimadus/33/04\\_la\\_promocion\\_de\\_la\\_energia\\_electrica.html](https://huespedes.cica.es/gimadus/33/04_la_promocion_de_la_energia_electrica.html)
- Mercado Electrico Mayorista. (7 de 11 de 2021). *MERCADO ELECTRICO MAYORISTA*. Obtenido de [http://www.melectrico.com.ar/web/pdfs/SINTESIS\\_MEM\\_2021\\_JULIO.pdf](http://www.melectrico.com.ar/web/pdfs/SINTESIS_MEM_2021_JULIO.pdf)
- Mercado Libre. (12 de 06 de 2021). *Mercado Libre*. Obtenido de [https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-843049858-disyuntor-diferencial-super-inmunizado-4x-25a-30ma-ge-\\_JM#position=9&search\\_layout=stack&type=item&tracking\\_id=55bfec1d-af57-4321-ba33-e8675c0ec7b9](https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-843049858-disyuntor-diferencial-super-inmunizado-4x-25a-30ma-ge-_JM#position=9&search_layout=stack&type=item&tracking_id=55bfec1d-af57-4321-ba33-e8675c0ec7b9)
- Mercado Libre. (12 de 06 de 2021). *Mercado Libre*. Obtenido de [https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-880153634-protector-descargas-atmosfericas-schneider-a9l15693-completo-\\_JM#position=3&search\\_layout=stack&type=item&tracking\\_id=0da9da52-c8dc-4d44-9065-d418b1050679](https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-880153634-protector-descargas-atmosfericas-schneider-a9l15693-completo-_JM#position=3&search_layout=stack&type=item&tracking_id=0da9da52-c8dc-4d44-9065-d418b1050679)
- Mercado Libre. (23 de 08 de 2021). *Mercado Libre*. Obtenido de [https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-913013430-cable-subteraneo-sintenax-valio-2x4-mm-prysmian-x25-mts-\\_JM#position=6&search\\_layout=stack&type=item&tracking\\_id=d1dea899-5f88-4bd6-9569-b00f96118af5](https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-913013430-cable-subteraneo-sintenax-valio-2x4-mm-prysmian-x25-mts-_JM#position=6&search_layout=stack&type=item&tracking_id=d1dea899-5f88-4bd6-9569-b00f96118af5)

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce

- MINEM. (Abril de 2016). *Energías Renovables Argentina*. Obtenido de Argentina.gov.ar: [https://www.argentina.gov.ar/sites/default/files/argentina\\_-\\_energias\\_renovables\\_-\\_nuevo\\_marco\\_regulatorio\\_y\\_perspectivas\\_2016\\_0.pdf](https://www.argentina.gov.ar/sites/default/files/argentina_-_energias_renovables_-_nuevo_marco_regulatorio_y_perspectivas_2016_0.pdf)
- Mirazón, E. (2019). *Energías renovables en Argentina: Oportunidades en un nuevo contexto de negocios*. Buenos Aires.
- Municipalidad de Córdoba. (2 de Octubre de 2019). Obtenido de Municipalidad de Córdoba: <https://www.cordoba.gov.ar/2019/10/02/paneles-solares-un-paso-mas-cerca-hacia-una-ciudad-sustentable/>
- Navntoft, C. (2019). *Manual de Generación Distribuida Solar Fotovoltaica*. Buenos Aires: Subsecretaría de Energías Renovables y Eficiencia Energética.
- Nugent, D., & Sovacool, B. (2019). *Evaluación del ciclo de vida de las emisiones de gases de efecto invernadero de la energía solar fotovoltaica y eólica*.
- OCEBA. (7 de 11 de 2021). *Oceba*. Obtenido de [https://oceba.gba.gov.ar/nueva\\_web/s.php?i=17](https://oceba.gba.gov.ar/nueva_web/s.php?i=17)
- OCEBA SIMULADOR. (5 de 11 de 2021). *OCEBA*. Obtenido de <https://oceba.gba.gov.ar/simulador/>
- Planas, O. (29 de Marzo de 2020). *Energía Solar*. Obtenido de Energía Solar: <https://solar-energia.net/que-es-energia-solar>
- Prysmian Group. (25 de 06 de 2021). *Prysmian Group*. Obtenido de <https://es.prysmiangroup.com/cables-accesorios-soluciones-fotovoltaicas-2020>
- Recalde, M., Bouille, H., & Girardin, O. (Octubre de 2015). *Limitaciones para el desarrollo de energías*. Obtenido de file:///C:/Users/User/Desktop/TESIS/document.pdf
- Rodriguez, J. (2018). *Manual para la Aplicación de la Huella de Carbono*. Buenos Aires: Ministerio de Agroindustria de la Provincia de Buenos Aires.
- Ruiz, G. (5 de Febrero de 2020). *ERENOVABLE*. Obtenido de Erenovable tendencias: <https://erenovable.com/energias-renovables-ventajas-y-desventajas/>
- Schallenberg, J., & Piernavieja, G. (2008). *Energías renovables y eficiencia energética*. Canarias: Instituto Tecnológico de Canarias.
- Zucal, R., & Vidal, I. (2019). *Energía Solar Fotovoltaica*. Mar del Plata.

Estudio técnico y económico de la instalación de un sistema de generación eléctrica  
fotovoltaica para abastecer el Palacio Municipal de la ciudad de Balcarce