



## **MEMORIA EXPLICATIVA PROYECTO FOTOVOLTAICO ESCUELA IGNACIO CARRERA PINTO**

Rev. 2	Elaboración Loreto Maturana	Fecha Julio 2016	Firma
	Aprobación Arturo Letelier	Fecha Julio 2016	Firma

1	DESCRIPCION .....	2
1.1	OBJETO DE LA MEMORIA.....	2
1.2	DATOS GENERALES.....	2
1.2.1	Emplazamiento de la instalación.....	2
1.2.2	Clasificación de la instalación.....	2
1.3	REGLAMENTOS Y DISPOSICIONES CONSIDERADAS .....	2
2	INFORMACION UTILIZADA.....	3
3	INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA .....	3
3.1	Características de la instalación.....	3
3.2	Características de la Techumbre.....	4
3.3	Equipos .....	5
3.4	Estructura soporte .....	6
3.5	Inversores .....	6
4	CONFIGURACION DE LA PLANTA.....	7
4.1	Sombras .....	8
4.2	Resultados.....	9
4.3	Cableado .....	10
4.3.1	Conductor de CA: Tablero Fotovoltaico - Tablero de Conexión.....	10
4.3.2	Conductor de DC: Caja String - Inversor .....	11
4.3.2	Conductor de DC: String - Caja String.....	13
5	PUNTO DE CONEXIÓN .....	15
5.1	Puesta a tierra.....	16
5.2	Protecciones eléctricas.....	17
6	PRODUCCIÓN ENERGÉTICA .....	17

## **1 DESCRIPCION**

### **1.1 OBJETO DE LA MEMORIA**

La presente memoria tiene por objeto describir las características de la instalación fotovoltaica sobre techo on-grid en la escuela Ignacio Carrera Pinto de la comuna de Los Andes. Este proyecto se conectará a la red de distribución acogándose a la Ley N° 20.571.

### **1.2 DATOS GENERALES**

#### **1.2.1 Emplazamiento de la instalación**

Dirección: Julio Montt Salamanca S/N, Barrio la Concepción, Los Andes.  
Provincia: Cordillera

#### **1.2.2 Clasificación de la instalación**

La instalación fotovoltaica es de 15 kWp de capacidad, por lo cual se clasifica en instalaciones menores a 30 kW

### **1.3 REGLAMENTOS Y DISPOSICIONES CONSIDERADAS**

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

## 2 INFORMACION UTILIZADA

A continuación se detalla la información y documentos utilizados para la confección de este informe:

- Informe de factibilidad realizado por el Ministerio de Energía - Planos Arquitectura.
- Registro fotográfico del inmueble
- levantamiento en terreno del sistema eléctrico y las superficies útiles en techumbre. Visitas días 26/05 y 01/06.

## 3 INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

### 3.1 Características de la instalación

La instalación fotovoltaica contiene 60 paneles de 250W sobre estructura coplanar fija sobre el agua norte de la techumbre de la escuela. Una referencia de ubicación se puede observar en las Fig. 1 y 2.



Fig.1 Ubicación proyecto Escuela I.C. Pinto - Googlemaps

⌚ Potencia de la instalación: **15 KWp**

### 3.2 Características de la Techumbre

Techo metálico a dos aguas con vigas y cerchas metálicas de madera. Los paneles se instalaron en la cara norte del techo con inclinación paralela al techo. Se resumen las características de la techumbre en la tabla 1.

TECHUMBRE			
<b>Lugar seleccionado</b>	Techo aguas norte		
<b>Orientación</b>	25° (Noroeste)	<b>Inclinación</b>	20°
<b>Elementos a considerar</b>	4 ductos de ventilación. Arboles de altura máxima 5,3 metros en las zonas poniente y oriente de la cubierta.		
<b>Área</b>	49 m de largo 4,3 m de ancho		
<b>Material de la cubierta</b>	Zinc		
<b>Antigüedad de la cubierta</b>	5 años		
<b>Material de la estructura</b>	Vigas y costaneras de madera		
<b>Separación vigas o costaneras</b>	1,1m y 1,3 m		



Fig.2 Vista techumbre fuente: Ministerio de Energía

Los módulos fotovoltaicos se han dispuesto en la cubierta existente de, con una **inclinación de 20°** sobre la horizontal, y un **azimut de 25° noreste**, como se aprecia en la fig. Dado la cercanía de los árboles en la zona poniente la planta fotovoltaica se ubicó evitando la sombra de estos en los 12 metros ponientes de la cubierta.

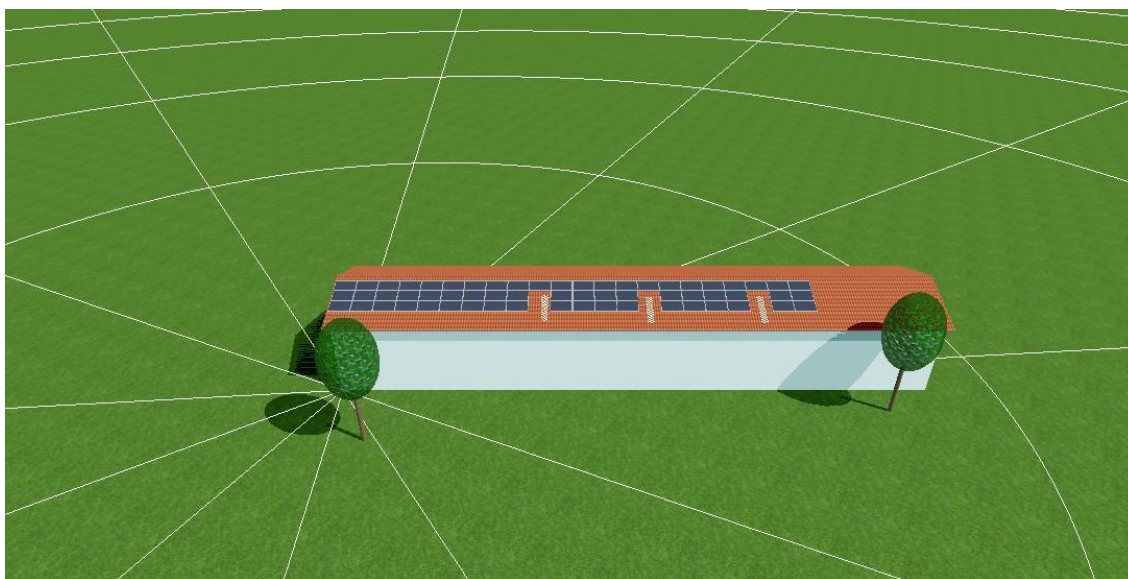


Fig.3 Vista norte de disposición de paneles software PVSOL

### 3.3 Equipos

Se entrega un resumen de las características principales de los equipos utilizados, detalle de fichas técnicas en Anexo 1.

MODULOS FOTOVOLTAICOS	
Marca (*)	JS SOLAR
Modelo(*)	JS 250W 6" POLY
Características	Módulo Policristalino con Marco de aluminio anodizado
Tecnología de la Célula fotovoltaica (*)	POLICRISTALINO
Potencia Módulo STC (W) (*)	250Wp
Tolerancia a la Potencia [w] mayor o igual a cero (*)	0-3%
Años de garantía del fabricante igual a 10 años	10 años

<b>Potencia de salida, igual o superior al 80% al año 25 después de la puesta en operación (*)</b>	0,81
<b>Cantidad de módulos totales</b>	60,00
<b>Resolución SEC</b>	012123 del 29 de enero del 2016
<b>Adjunta especificaciones de montaje de los módulos fotovoltaicos</b>	si

### 3.4 Estructura soporte

La estructura de soporte de aluminio para techos metálicos empotrada en las costaneras de la techumbre.

<b>Marca</b>	SolarStruct TM
<b>Modelo</b>	SolarStruct SolarRoof co-planares con L-feet para techos con vigas de madera.
<b>Estructura de aluminio</b>	Si
<b>Clasificación del acero inoxidable de la pernería (A2 ó A4). Especificar</b>	SUS 304 equivalente a A2. Normas TUV, AS/NZS 1170.2
<b>Angulo de inclinación estructura de soporte según el proyecto</b>	20°
<b>Cinco (5) Años años de garantía de la estructura</b>	10 años
<b>Componente de fijación a la estructura del techo</b>	Ancladas a las vigas metálicas con ST6.3 tapping screw.

### 3.5 Inversores

El proyecto contempla 1 inversor de 15 kW instalado anclado a muro existente al lado a la techumbre que contiene la planta fotovoltaica.



<b>Marca y modelo</b>	Ingeteam Ingecom Sun 3 play TL M
<b>Potencia Nominal AC [kW]</b>	15 KW
<b>Características</b>	Protección IP 65
<b>Eficiencia</b>	98.5%
<b>¿Cuál es el rango de modificación del <math>\cos \phi</math> ?</b>	96,77%
<b>Garantía del fabricante</b>	5 años
<b>Número de la Resolución de autorización</b>	9334
<b>Número de MPPT del inversor</b>	1

#### 4 CONFIGURACION DE LA PLANTA

Los paneles del campo fotovoltaico se agruparán haciendo series y agrupaciones en paralelo, manteniendo los valores de tensión y corriente de las entradas de los inversores dentro de márgenes del inversor, para las temperaturas de paneles entre  $-15^{\circ}$  y  $75^{\circ}\text{C}$ . Para este proyecto se utilizaron 3 series de 20 paneles en serie agrupados como se observa en la fig. El dimensionamiento, análisis de sombras y la estimación de la producción del sistema fotovoltaico fue realizado utilizando el software fotovoltaico PVSol 7.5 Premium®.

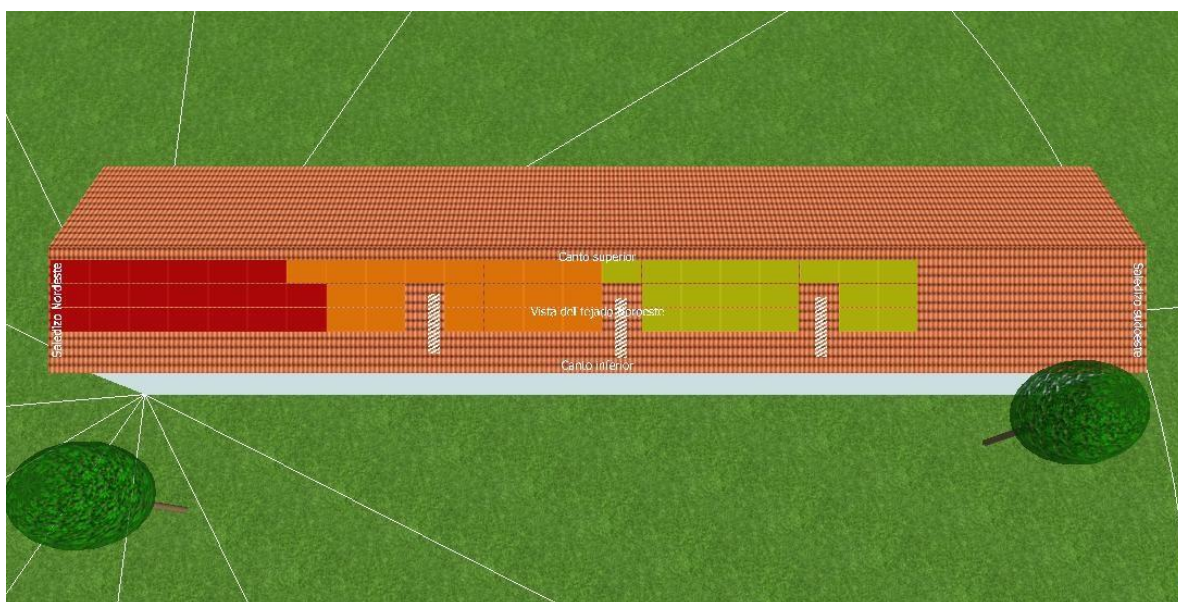


Fig.3 Vista conexionado de paneles software PVSOL



## 4.1 Sombras

El área sobre el techo donde se proyecta instalar el sistema fotovoltaico no presenta sombras permanentes que puedan afectar la radiación incidente y en consecuencia la producción de energía del campo fotovoltaico.

Se realizó un análisis de sombra de la planta fotovoltaica en el software PV SOL 7.1 considerando las sombras parciales que provocan los árboles en la zona de emplazamiento de los paneles. La distancia al edificio y altura de los árboles se midió en terreno resultado:

### Elementos considerados en el análisis de sombras

<b>Internas</b>	Ductos de ventilación H= 1 m Diámetro =0.2 m
<b>Externas</b>	Zona Oriente: Arboles de altura 7.6 m y ubicados a una distancia de 1.8 con respecto al edificio.  Zona Poniente: Arboles de altura 7.5 m y ubicados a una distancia de 0.5 m con respecto al edificio.



Fig.4 Resultados simulación de sombras techumbre principal en software PVSOL

De acuerdo con la simulación el mayor porcentaje de sombra en los paneles es de 1,3%.

## 4. 2 Resultados

Los parámetros eléctricos de entrada y salida se muestran en la fig. y se resumen en la siguiente tabla:



Fig.5 Resultados en software PVSOL

Capacidad del sistema FV simulado	15 KW
Cantidad de módulos a instalar	60
Factor de rendimiento	79.3%
Superficie del campo fotovoltaico	97,6 m2
Pérdidas totales por cableado	2,52%
Generación anual específica	1.4423 kWh/kWp
Producción anual esperada	21.357 kWh/año
Toneladas de CO <sub>2</sub> evitadas	12.812 kg/año
Voc	817,6 V
I sc	24.5 V

### 4.3 Cableado

Las secciones del cableado se dimensionaron en función de la distancia para evitar caídas de voltaje mayores a 3% del voltaje nominal para el circuito de corriente alterna y de 1,5% para circuitos de corriente continua.

#### 4.3.1 Conductor de CA: Tablero Fotovoltaico - Tablero de Conexión

Datos:

Longitud	: 90 m.
Potencia	: 15000 W.
Tensión de salida del Inversor	: 380 V.
Temp. Ambiente / Temp. Nominal	: 30°C / 60°C
Factor de potencia	: 1
I inversor	: 22 A
con factor de seguridad 1.25	: 27,5 A
Factores de corrección por temperatura (Ft) y N° conductores (Fn)	: 0,82 / 0,8
Máxima caída tensión (3%) / Resistividad especiada del cobre	: 11,4 /0,018

**Calculo de sección:**

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot \rho \cdot L \cdot I \cdot \cos\varphi}{\delta} =$$

Reemplazando valores:

$$S = 6,76 \text{ mm}^2$$

Se verifica la caída de tensión para cable AWG 6 de 13,3 mm<sup>2</sup>


**Caída de tensión:**

$$\delta = \frac{\sqrt{3} \cdot L \cdot I \cdot \cos\varphi \cdot \rho}{S}$$

$$\delta = 4,64 = 1,22\% < 3\%$$

El cálculo da como resultado un valor menor a 3% como lo requerido en la Norma RGR N° 02/2014.

El cable utilizado para este tramo es el: EVA libre de halógenos, según la tabla del fabricante, la corriente admisible es de 75A



**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Calibre (AWG)	Código Venta	Diámetro Aprox (m.m.)	Corriente (A) DUCTO/AIRE
1X14	15330101	6.5	25/35
1X12	15330201	7.0	30/40
1X10	15330301	7.5	40/55
1X8	15330401	8.5	55/80
1X6	15330501	10.0	75/105
1X4	15330601	11.0	95/140
1X3	15330701		
1X2	15330801	13.0	130/190
1X1	15330901	14.0	150/220
1X1/0	15331001	15.0	170/260
1X2/0	15331101	16.0	195/300
1X3/0	15331201	18.0	225/350
1X4/0	15331301	19.0	260/405
1X250 MCM	15331401	22.0	290/455
1X300 MCM	15331501		
1X350 MCM	15331601	26.0	350/570
1X500 MCM	15331701	30.0	430/700
1X750 MCM	15331801		

Fuente: NCH Elec.4/2003

#### 4.3.2 Conductor de DC: Caja String - Inversor

**Datos:** (caso más desfavorable)

Distancia máxima de estos conductores	: 10 m.
Tensión máxima Vmp	: 639,6 V.

Temp. Ambiente / Temp. Nominal	: 40°C / 60°C
Corriente máxima	: 24,5 A.
Con FS=1,25	: 30,6 A.
- Factores de corrección por temperatura (Ft) y N° conductores (Fn)	: 0,82 / 0,8
- Máxima caída tensión / Resistividad específica del cobre	: 9,594V/0,018

### Calculo de sección:

$$S = \frac{2 \cdot \rho \cdot L \cdot I}{\delta} =$$

$$S=1,14 \text{ mm}^2$$

Se verifica la caída de tensión para cable de sección 4mm<sup>2</sup>

El cable utilizado para este tramo es el Cable TOP Solar PV-ZZ-F, según la tabla N°3 del fabricante, la corriente admisible es de 55A, a esta corriente le aplicamos el los factores de corrección indicados en la norma NCH4/2003 y RGR N° 2, nos da 45,1A por lo tanto está cumpliendo los requerimientos del circuito.

**Top Cable**

BAJA TENSIÓN CA: 0,6/1kV · CC: 1,8 kV

**TOPSOLAR PV**



**ZZ-F (AS)**  
Cables para instalaciones solares fotovoltaicas

**DISEÑO**

**Conductor**  
Cobre electrolítico estañado, clase 5 (flexible) según EN 60228.

**Aislamiento**  
Goma libre de halógenos tipo E16.

**Cubierta**  
Goma ignífuga tipo EMB, libre de halógenos y con baja emisión de humos y gases corrosivos en caso de incendio.

**APLICACIONES**  
Cables flexibles aptos para servicios móviles y para instalación fija. Adecuados para la conexión entre paneles fotovoltaicos y desde los paneles al inversor de corriente continua a alterna. Cables de alta seguridad (AS): no propagadores del incendio, con baja emisión de humos y libres de halógenos. Aptos para instalaciones interiores y exteriores.

**Top Cable**

**TOPSOLAR PV ZZ-F (AS)**

DIMENSIONES					
Sección (mm <sup>2</sup> )	Diámetro (mm)	Peso (kg/km)	Área libre (A)	Superficie (A)	Caída tensión (V/A · km)
1 x 2,5	5,6	52	41	33	23,0
1 x 4	6,3	68	55	44	14,3
1 x 6	8,7	89	70	57	9,49
1 x 10	7,8	136	99	79	5,46
1 x 16	8,8	193	132	107	3,47
1 x 25	10,8	294	176	142	2,23
1 x 35	11,9	390	218	176	1,58

Tabla Cable Solar TopSolar PV1-ZZ-F

### Caída de tensión:

$$\delta = \frac{2 \cdot L \cdot I \cdot \rho}{S}$$

Reemplazando valores:

$$\delta = 2,21 = 0,34\% < 1.5\%$$

El cálculo da como resultado un valor menor a 1,5% como lo requerido en la Norma RGR N° 02/2014.

### 4.3.2 Conductor de DC: String - Caja String

**Datos:** (caso más desfavorable)

Distancia máxima de estos conductores	: 40 m.
Tensión máxima Vmp	: 639,6 V.
Temp. Ambiente / Temp. Nominal	: 40°C / 60°C
Corriente máxima	: 8,16 A.
Con FS=1,25	: 10,2 A.
- Factores de corrección por temperatura (Ft) y N° conductores (Fn)	: 0,82 / 0,8
- Máxima caída tensión / Resistividad específica del cobre	: 9,594V/0,018

### Calculo de sección:

$$S = \frac{2 \cdot \rho \cdot L \cdot I}{\delta} =$$

$$S=1,54 \text{ mm}^2$$

Se verifica la caída de tensión para cable de sección 4mm<sup>2</sup>

El cable utilizado para este tramo es el Cable TOP Solar PV-ZZ-F, según la tabla N°3 del fabricante, la corriente admisible es de 55A, a esta corriente le aplicamos el los factores de corrección



[illegible]

### Tabla Cable Solar TopSolar PV1-ZZ-F

$$\delta = \frac{2 \cdot L \cdot I \cdot \rho}{S}$$

Reemplazando valores:

$$\delta = 2,93 = 0,45\% < 1.5\%$$

El cálculo da como resultado un valor menor a 1,5% como lo requerido en la Norma RGR N° 02/2014.

**Los factores de corrección:** de acuerdo a la norma NCH Elec. 4/2003 y RGR N°2 se usaron las siguientes tablas para calcular la capacidad de corriente admisible, corregida por los factores de corrección  $F_n$  y  $F_t$ .

Temperatura Ambiente °C	Temperatura nominal de los conductores			
	60°C	75°C	90°C	105°C
30	1	1	1	1
31-35	0,91	0,94	0,96	0,97
36-40	0,82	0,88	0,91	0,93
41-45	0,71	0,82	0,87	0,89
46-50	0,058	0,75	0,82	0,86
51-55	0,041	0,67	0,76	0,82
56-60	-	0,58	0,71	0,77
61-70	-	0,33	0,58	0,68
71-80	-	-	0,41	0,58

**Factor de Corrección de Capacidad de Transporte de Corriente por Cantidad de Conductores en Tubería.**

Cantidad de conductores	Factor de corrección $f_n$
4 a 6	0,8
7 a 24	0,7
25 a 42	0,6
sobre 42	0,5

En resumen tenemos la siguiente tabla de cables:

	Material	Largo	Área	Pérdida
DC Caja-Inversor	Cobre	10 m	4 mm <sup>2</sup>	0,34%
DC String- Caja		40 m		0,45%
AC	Cobre	90 m	13,3 mm <sup>2</sup>	1,22%

La canalización eléctrica para el lado de CC, será a través de ductos de acero galvanizado para uso eléctrico, según lo indicado en la Normativa RGR N°2 SEC y lo establecido en la Norma 4/2003 para el número máximo de conductores en ducto. Se canaliza en un solo ducto galvanizado el conductor de polo positivo (+) y el conductor de polo negativo (-).

## 5 PUNTO DE CONEXIÓN

A continuación se detallan las características del punto de conexión:

PUNTO DE CONEXIÓN	
<b>Tablero Fotovoltaicos</b>	Se ubica al costado del inversor, muro lateral bajo planta fotovoltaica.
<b>Tablero o punto de conexión</b>	Tablero Nuevo en el empalme.
<b>Protección de cabecera 3x63 [A]</b>	

Según las características de la edificación, se propuso instalar un tablero fotovoltaico con protecciones tetrapolares adyacente al inversor. Dado que la distancia al punto de conexión son 90 metros se debe instalar un tablero con una protección tripolar antes del punto de conexión.

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

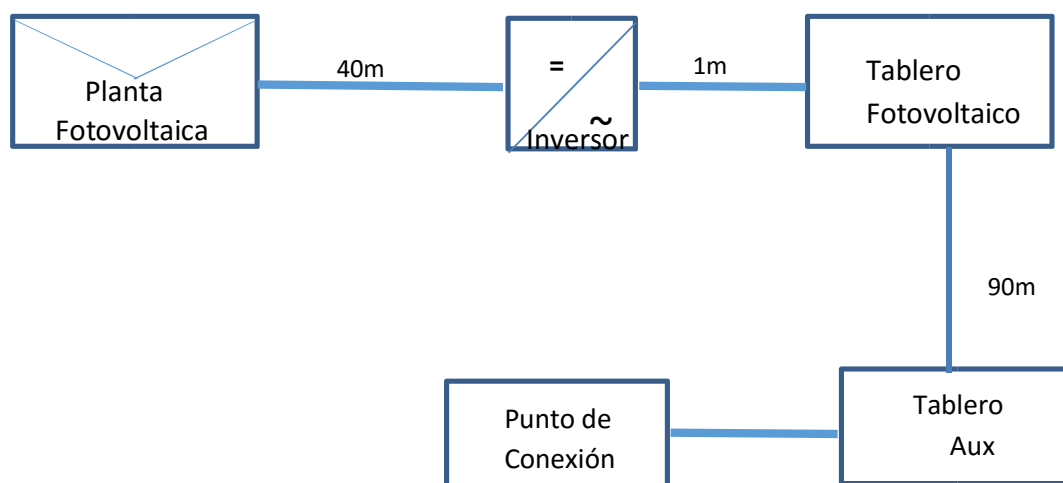


Fig.6 Esquema de Conexión

## 5.1 Puesta a tierra.

La puesta a tierra de la instalación comprenderán los módulos, la estructura de módulos, los inversores y las bandejas metálicas, creando una única red equipotencial distribuida según planos, asegurándose una correcta puesta a tierra.

- Sección calculada:

Material	Cobre
Metros	40m
Sección	6 mm <sup>2</sup>

## 5.2 Protecciones eléctricas

El cuadro de protecciones estará ubicado junto al inversor Tablero Fotovoltaico, o lo más cerca posible contendrá protecciones que se repetirán en el tablero de conexión.

- Magnetotérmico trifásico cuadripolar de **25A**
- Diferencial trifásico cuadripolar de **25A 300mA**

Se verifica la siguiente formula:

$$I_{\max \text{ inversor}} = 22A$$

La protección diferencial debe

$$I_{dif} \geq I_{aut}$$

### Protecciones tramo: String - Inversor

Para este tramo se utilizará una caja de conexión CC o “caja string”, la cual cuanta con todos los elementos exigidos en la RGR N°2 y cumple con la norma IEC 61439-1.

## 6 PRODUCCIÓN ENERGÉTICA

Dados los datos obtenidos de la simulación de la planta en el software PV SOL 7.1, la estimación de producción de la instalación será:

Mes	Radiación sobre la horizontal kWh/m <sup>2</sup>	Inyección en la red kWh
Ene	229,9	2.539,6
Feb	185,8	2.169,8
Mar	160,4	2.027,5
Abr	109,7	1.523,8
Mayo	77,3	1.111,4
Jun	58,4	870,2
Jul	70,6	1.054,5
Ago	93,0	1.314,4
Sep	125,5	1.674,7
Oct	172,5	2.106,1
Nov	208,1	2.388,2
Dic	233,0	2.576,9
anual	1.724,1	21.357,0

