



## PROYECTO TECHO SOLAR PUBLICO PTSP-2016-007 100 KW

### ANEXO B

## MEMORIA DE CÁLCULO ELÉCTRICO

“Sistema de Generación Solar Fotovoltaico para Edificio de la 3ª Brigada  
Acorazada “La Concepción” del Ejército de Chile, Antofagasta”

FECHA	REVISIÓN	COMENTARIOS	PREPARADO	REVISADO	APROBADO
21/10/2016	A	EMITIDO PARA REVISION INTERNA	J.S.H.	L.H.F.	R.S.Z.
03/11/2016	B	EMITIDO PARA REVISION CLIENTE	J.S.H.	L.H.F.	R.S.Z.
14/11/2016	C	EMITIDO PARA APROBACION CLIENTE	J.S.H.	L.H.F.	R.S.Z.

INSCRIPCION SEC	ACEPTACION PROPIETARIO	INSTALADOR
N° _____ FECHA _____	_____ FUERZAS ARMADAS DE CHILE RUT: 61.979.970-4 RL Sr: _____ RUT RL: _____	_____ LIBARDO HERNANDEZ FERNANDEZ INGENIERO CIVIL ELECTRICO LICENCIA SEC N° 8.566.958-3 CLASE A CORONEL 2317 - DEPTO 803 PROVIDENCIA SANTIAGO +56 9 7766 0267 LIBARDO.HERNANDEZ@OENERGY.CL

## TABLA DE CONTENIDOS

1	Introducción .....	3
2	Descripción del Sistema .....	3
3	Ubicación y emplazamiento .....	4
4	Información general de la planta.....	5
5	Equipo y autorizaciones .....	6
6	Autorización Instalador SEC.....	6
7	Sistema de Malla de Puesta a Tierra.....	6
8	Cálculos de sección y caídas de tensión en conductores .....	6
8.1	caída de tensión y regulación en corriente alterna (CA) .....	6
8.1.1	Tramo 1a: inversor 1 hasta el Tablero Auxiliar (TAux N°1) .....	7
8.1.2	TRAMO 2a: Tablero TAux N°1 al TDAux.....	8
8.1.3	TRAMO 2b: Tablero TA N°2 al TDAux .....	10
8.1.4	TRAMO 3: Tablero TDAux al TD y A N°2 (Punto Empalme en BT) .....	11
8.2	Caída de tensión y regulación en corriente continua (CC) .....	12
8.3	Factores de Corrección .....	14
9	Selección de Protecciones .....	14
9.1	Protecciones CA .....	14
9.1.1	Protecciones tramo: Inversores – Tablero Auxiliar.....	14
9.1.2	Protecciones tramo: Tablero Auxiliar – Tablero de Distribución Auxiliar .....	15
9.1.3	Resumen de las Protecciones Elegidas .....	15
9.2	Protecciones CC.....	15
9.2.1	Protecciones tramo: String – Inversor .....	15
10	Especificaciones Técnicas .....	16
10.1	Paneles Solares Fotovoltaicos .....	16
10.2	Cables Solares de CC.....	18
10.3	Inversores .....	19
10.4	Tableros Auxiliares .....	19
10.5	Punto de Inyección.....	19
10.6	Condiciones Generales .....	20

11	Cubicación de Materiales .....	20
----	--------------------------------	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema simplificado de la instalación. ....	4
Figura 2: Mapa ubicación. ....	5
Figura 3: Licencia clase A Instalador SEC autorizado. ....	6
Figura 4: Característica panel HareonSolar modelo HR-315W. ....	16
Figura 5: Características de operación panel HareonSolar modelo HR-315W. ....	17
Figura 6: Curvas de operación panel HareonSolar modelo HR-315W. ....	17
Figura 7: Conectores MC4 para conexión en serie de paneles fotovoltaicos. ....	18
Figura 8: Cable Solar CC. ....	18
Figura 9: Inversor SMA STP 25000TL de 25kW. ....	19

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Equipos y autorizaciones. ....	6
Tabla 2: Ficha técnica cable SUPERFLEX MULTICONDUCTOR - 3 FASES + 1 NEUTRO +1 TIERRA. ....	8
Tabla 3: Ficha técnica cable SUPERFLEX MULTICONDUCTOR - 3 FASES + 1 NEUTRO AL 100%. ....	9
Tabla 4: Cable solar Radox Solar 125WW (1,2 kV/1,8 kV). ....	13
Tabla 5: Factores de corrección de acuerdo a la norma NCH Elec 4/2003 y RGR N°2. ....	14
Tabla 6: Resumen de las protecciones elegidas. ....	15
Tabla 7: Cubicación de materiales. ....	20

## **1 INTRODUCCIÓN**

El proyecto de instalación solar fotovoltaica "3ª Brigada Acorazada Ejército de Chile" apuesta a la implementación de energías renovables no convencionales por medio de utilización de equipos de generación solar de última tecnología. Los cuales se instalarán en las dependencias del edificio de la 3ª Brigada Acorazada "La Concepción" del Ejército de Chile en las cercanías de la ciudad de Antofagasta, y así sacar el máximo rendimiento económico a las cubiertas de este edificio. Se instalarán un total de 320 paneles fotovoltaicos, lo que significa un ahorro aproximado de 101,6 ton CO<sub>2</sub>/año, dando un gran apoyo al desarrollo de esta tecnología en Chile.

Para dar cumplimiento con las normativas vigentes de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC), referidas a la Ley de Generación Distribuida 20.571, se expone en el siguiente informe los documentos necesarios que conforman la memoria explicativa exigida en el artículo 6.1 del "procedimiento de revisión, registro y fiscalización del TE4".

La memoria se compone básicamente con los siguientes ítems:

- a. Descripción del sistema conectado a la red
- b. Cálculos justificativos conductores
- c. Especificaciones técnicas
- d. Cubicación de materiales

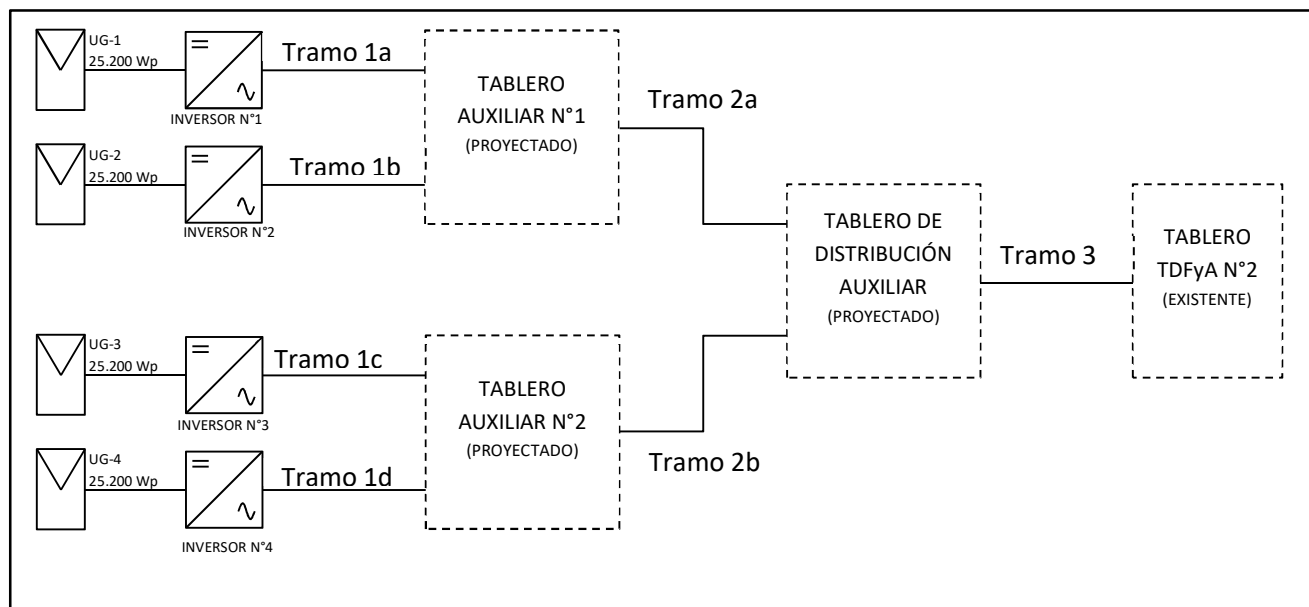
## **2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA**

El proyecto "3ª Brigada Acorazada Ejército de Chile" corresponde a una instalación solar fotovoltaica, tipo "On Grid", con una potencia instalada de 100 kW en cuatro inversores de 25 kW, la cual se instalará en la cubierta del edificio de la 3ª Brigada Acorazada "La Concepción" del Ejército de Chile, ubicado en Ruta 1 en el kilómetro 18, comuna de Antofagasta.

Esta instalación cuenta con cuatro campos solares instalados en cubierta, los cuales están conformados por un total de 320 paneles solares fotovoltaicos de 315 kWp de la marca Hareon Solar. Estos paneles están distribuidos en 4 campos de 80 paneles, conformando 4 Unidades Generadores, compuesta por 5 strings de 16 paneles cada uno, teniendo una potencia instalada en paneles de 25.200 Wp. Los paneles que conforman los strings presentarán la misma inclinación y orientación.

La energía generada por las unidades de generación será colectada en el Tablero de Distribución Auxiliar (TDA) y luego mediante un alimentador se conecta al circuito número 2 del Tablero T.D.F. y A. N°2. Entre las unidades de generación y el punto de conexión existe una serie de protecciones, tanto de corriente continua como de corriente alterna, a efectos de tener la seguridad de que, en caso de falla, se eviten daños a los equipos y también a personas.

Las protecciones utilizadas en corriente continua se encuentran en el propio inversor, mientras que las protecciones de corriente alterna se encuentran en el Tablero Auxiliar N°1 (TAux 1), Tablero Auxiliar N°2 (TAux2) y TDAux proyectado en el punto de conexión de la instalación eléctrica existente.



**Figura 1: Esquema simplificado de la instalación.**

El esquema anterior muestra una simplificación de la conexión que tendrá el sistema fotovoltaico. El detalle de los paneles, los string, los inversores y los tableros se puede observar en el Anexo A; donde se encuentran los planos e ingeniería de detalle.

### 3 UBICACIÓN Y EMPLAZAMIENTO

Como se indicó anteriormente el sistema solar será instalado sobre la cubierta del edificio de la 3ª Brigada Acorazada "La Concepción" del Ejército de Chile, que se ubica en la Ruta 1 en el kilómetro 18, comuna de Antofagasta. Sus coordenadas son: 23° 29' 13.82" S, 70° 24' 39.9" W, en la siguiente figura se muestra el KMZ del lugar de instalación del proyecto.



**Figura 2: Mapa ubicación.**

#### **4 INFORMACIÓN GENERAL DE LA PLANTA**

- |                                    |   |                             |
|------------------------------------|---|-----------------------------|
| ▪ Diseñador                        | : | oEnergy SpA                 |
| ▪ Instalador autorizado SEC        | : | Libardo Hernández Fernández |
| ▪ Profesión                        | : | Ingeniero Civil Eléctrico   |
| ▪ Sistema de producción            | : | Trifásico                   |
| ▪ Potencia instalada en paneles    | : | 100,80 kWp                  |
| ▪ Potencia instalada en inversores | : | 100 kW                      |
| ▪ Empresa Distribuidora            | : | Elecda                      |

## 5 EQUIPO Y AUTORIZACIONES

Equipos y autorizaciones

Cada equipo se encuentra autorizado por SEC, se adjuntan las resoluciones y manuales correspondientes.

EQUIPO	MARCA	MODELO	RESOLUCIÓN EXENTA	FECHA
Inversor	SMA	STP 25000TL	05927	19-11-2014
Módulo Fotovoltaico	Hareon Solar	HR-315W	09727	18-08-2015

Tabla 1: Equipos y autorizaciones.

## 6 AUTORIZACIÓN INSTALADOR SEC

La identificación de instalador clase A, autorizado por la SEC se adjunta a continuación.



Figura 3: Licencia clase A Instalador SEC autorizado.

## 7 SISTEMA DE MALLA DE PUESTA A TIERRA

La MPT a utilizar es la existente de la instalación cuyo valor óhmico se deberá medir en terreno mediante el método de la tenaza con instrumento Fluke modelo 1630. Se debe verificar que el valor de la resistencia debe ser menor a 20 ohm.

## 8 CÁLCULOS DE SECCIÓN Y CAÍDAS DE TENSIÓN EN CONDUCTORES

### 8.1 CAÍDA DE TENSIÓN Y REGULACIÓN EN CORRIENTE ALTERNA (CA)

Se calcula la caída de tensión desde cualquier inversor hasta el punto de empalme en BT. Para este proyecto se ha definido el punto de empalme como el tablero TDFyA N°2 que esta inmediatamente aguas abajo del

transformador de distribución de 300 KVA que alimenta en baja tensión todo el sector en que se emplazara la planta fotovoltaica.

Se realizara una verificación del cumplimiento de la normativa para regulación de tensión en corriente alterna desde cada inversor hasta el empalme en baja tensión definido para este proyecto. Para ello se calcula la caída de tensión en cada de los tramos, como se muestra en la figura 1, y se sumaran estos voltajes para tener el consolidado de la caída en volts y en porcentaje.

#### **8.1.1 Tramo 1a: inversor 1 hasta el Tablero Auxiliar (TAux N°1)**

##### **Consideraciones:**

▪ Distancia máxima de conductores (L)	:	1,5 m
▪ Potencia máxima	:	25 kW
▪ Tensión de salida inversor	:	380 V f-f
▪ Temperatura ambiente / Temp. Nominal	:	40°C / 60 °C
▪ Factor de potencia ( $\cos \phi$ )	:	1
▪ Corriente nominal de salida de dos inversores	:	37,98 A
▪ Corriente máxima de salida de inversores <sup>1</sup>	:	47,48 A
▪ Máxima caída tensión ( $\delta$ ) / Resistividad específica del cobre ( $\rho$ )	:	11,4 / 0,018

##### **Cálculo de sección:**

El cálculo de la sección se hace realizando el cálculo de corrección de la corriente admisible y verificando una adecuada caída de tensión (menor a 3%), la sección a utilizar para este alimentador será de 8,37 mm<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Multiplicado por factor de seguridad 1,25.

## INFORMACIÓN TÉCNICA ADICIONAL

SUPERFLEX MULTICONDUCTOR - 3 FASES + 1 NEUTRO + 1 TIERRA

Calibre AWG/kcmil	Sección nominal mm²	Diámetro del conductor aprox. mm	Espesor aislación mm	Diámetro exterior aprox. mm	Peso total aprox. kg/km	Resistencia máx. a 20 °C CC Ω/km	Capacidad de corriente A		
							Ducto enterrado (1) Temp. amb. 20 °C	Direct. enterrado (2) Temp. amb. 20 °C	Aire libre (3) Temp. amb. 40 °C
14	2,08	1,9	0,7	13,3	268	8,59	27	35	26
12	3,31	2,4	0,7	14,7	351	5,41	36	46	35
10	5,26	3,0	0,7	16,4	485	3,41	46	56	45
8	8,37	3,8	0,7	18,7	660	2,14	59	83	59
6	13,3	4,7	0,7	21,3	941	1,37	78	106	79
4	21,2	6,0	0,9	26,1	1.444	0,862	102	137	104
2	33,6	7,7	0,9	30,3	2.139	0,544	133	178	138
1	42,4	8,7	1,0	34,4	2.628	0,429	154	201	161
1/0	53,5	9,4	1,0	37,4	3.333	0,344	177	229	186
2/0	67,4	10,7	1,1	41,3	3.944	0,273	202	260	215
3/0	85	11,7	1,1	45,3	5.159	0,217	231	297	249
4/0	107	12,9	1,2	47,4	6.592	0,172	264	335	287
250	127	13,8	1,2	51,2	7.339	0,146	292	367	320
350	177	17,4	1,6	64,3	10.196	0,105	354	442	394
500	253	20,8	1,7	74,7	14.627	0,0735	429	531	487

Tabla 2: Ficha técnica cable SUPERFLEX MULTICONDUCTOR - 3 FASES + 1 NEUTRO + 1 TIERRA.

El cable utilizado para este tramo es el N° 8 AWG SUPERFLEX MULTICONDUCTOR - 3 FASES + 1 NEUTRO AL 100% según la tabla anterior del fabricante, la corriente admisible es de 83 A, verificando que los conductores deben ser dimensionados para una corriente no inferior a 1,25 veces la máxima intensidad de corriente del inversor, esto es 47,48 A, por lo tanto, está cumpliendo los requerimientos indicados en la norma NCH4/2003 y RGR N°2.

### Caída de tensión:

$$\delta = \sqrt{3} \cdot R \cdot I \cdot \cos\varphi = \sqrt{3} \cdot 0,00328 \cdot 37,98 \cdot 1 = 0,216 \text{ V (0,057 \%)}$$

### Notas:

(1) Este valor de caída de tensión es igual para los demás inversores dado que se su instalación es idéntica y simétrica (Tramo 1b, Tramo 1c, Tramo 1 d).

(2) El valor de resistencia R considera la corrección para 90°C y los factores de corrección según tabla N°5

### 8.1.2 TRAMO 2a: Tablero TAux N°1 al TDAux

#### Consideraciones:

- Distancia máxima de conductores (L) : 25 m
- Potencia máxima : 50 kW

- Tensión de salida inversor : 380 V f-f
- Temperatura ambiente / Temp. Nominal : 40°C / 60 °C
- Factor de potencia (cos φ) : 1
- Corriente nominal de salida de dos inversores : 75,96 A
- Corriente máxima de salida de inversores<sup>2</sup> : 94,95 A
- Máxima caída tensión (δ) / Resistividad específica del cobre (ρ) : 11,4 / 0,018

**Cálculo de sección:**

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot \rho \cdot L \cdot I \cdot \cos\varphi}{\delta} = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,018 \cdot 25 \cdot 94,95 \cdot 1}{11,4} = 6,48 \text{ mm}^2$$

El cálculo de la sección da como resultado 6,48 mm<sup>2</sup>, por lo que se debería usar la siguiente sección, pero realizando el cálculo de corrección de la corriente admisible y verificando una adecuada caída de tensión (menor a 3%), la sección a utilizar para este alimentador será de 21,2 mm<sup>2</sup>.

**INFORMACIÓN TÉCNICA ADICIONAL**
**SUPERFLEX MULTICONDUCTOR - 3 FASES + 1 NEUTRO AL 100%**

Calibre AWG/kcmil	Sección nominal mm²	Diámetro del conductor aprox. mm	Espesor aislación mm	Diámetro exterior aprox. mm	Peso total aprox. kg/km	Resistencia máx. a 20 °C CC Ω/km	Capacidad de corriente A		
							Ducto enterrado (1) Temp. amb. 20 °C	Direct. enterrado (2) Temp. amb. 20 °C	Aire libre (3) Temp. amb. 40 °C
14	2,08	1,9	0,7	12,3	222	8,59	27	35	26
12	3,31	2,4	0,7	13,5	290	5,41	36	46	35
10	5,26	3,0	0,7	15,0	400	3,41	46	56	45
8	8,37	3,8	0,7	17,0	535	2,14	59	83	59
6	13,3	4,7	0,7	19,3	760	1,37	78	106	79
4	21,2	6,0	0,9	23,5	1.154	0,862	102	137	104
2	33,6	7,7	0,9	27,9	1.782	0,544	133	178	138
1	42,4	8,7	1,0	31,1	2.218	0,429	154	201	161
1/0	53,5	9,4	1,0	32,8	2.559	0,344	177	229	186
2/0	67,4	10,7	1,1	36,9	3.153	0,273	202	260	215
3/0	85	11,7	1,1	41,6	3.940	0,217	231	297	249
4/0	107	12,9	1,2	43,3	4.910	0,172	264	335	287
250	127	13,8	1,2	45,9	5.898	0,146	292	367	320
350	177	17,4	1,6	57,7	8.147	0,105	354	442	394
500	253	20,8	1,7	67,3	11.197	0,0735	429	531	487

**Tabla 3: Ficha técnica cable SUPERFLEX MULTICONDUCTOR - 3 FASES + 1 NEUTRO AL 100%.**

El cable utilizado para este tramo es el N° 4 AWG SUPERFLEX MULTICONDUCTOR - 3 FASES + 1 NEUTRO AL 100% según la tabla anterior del fabricante, la corriente admisible es de 137 A, verificando que los conductores deben ser dimensionados para una corriente no inferior a 1,25 veces la máxima intensidad de corriente del grupo de inversores, esto es 94,95 A, por lo tanto, está cumpliendo los requerimientos indicados en la norma NCH4/2003 y RGR N°2.

<sup>2</sup> Multiplicado por factor de seguridad 1,25.

**Caída de tensión:**

$$\delta = \sqrt{3} \cdot R \cdot I \cdot \cos\varphi = \sqrt{3} \cdot 0,02211 \cdot 75,96 \cdot 1 = 2,91 \text{ V (0,765\%)}$$

**Notas:**

- (1) Este valor de caída de tensión es válido para el inversor N°1 e inversor N°2 dado que se su instalación comparte el mismo tablero auxiliar.
- (2) ) El valor de resistencia R considera la corrección para 90°C y los factores de corrección según tabla N°5

**8.1.3 TRAMO 2b: Tablero TA N°2 al TDAux**
**Consideraciones:**

▪ Distancia máxima de conductores (L)	:	115 m
▪ Potencia máxima	:	50 kW
▪ Tensión de salida inversor	:	380 V f-f
▪ Temperatura ambiente / Temp. Nominal	:	40°C / 60 °C
▪ Factor de potencia (cos φ)	:	1
▪ Corriente nominal de salida de dos inversores	:	75,96 A
▪ Corriente máxima de salida de inversores <sup>3</sup>	:	94,95 A
▪ Máxima caída tensión (δ) / Resistividad específica del cobre (ρ)	:	11,4 / 0,018

**Cálculo de sección:**

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot \rho \cdot L \cdot I \cdot \cos\varphi}{\delta} = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,018 \cdot 120 \cdot 94,95 \cdot 1}{11,4} = 31,12 \text{ mm}^2$$

El cálculo de la sección da como resultado 31,12 mm<sup>2</sup>, por lo que se debería usar la siguiente sección, pero realizando el cálculo de corrección de la corriente admisible y verificando una adecuada caída de tensión (menor a 3%), la sección a utilizar para este alimentador será de 67,4 mm<sup>2</sup>.

El cable utilizado para este tramo es el N° 2/0 AWG SUPERFLEX MULTICONDUCTOR - 3 FASES + 1 NEUTRO AL 100% según la tabla anterior del fabricante, la corriente admisible es de 260 A, verificando que los conductores deben ser dimensionados para una corriente no inferior a 1,25 veces la máxima intensidad de corriente del inversor, esto es 94,95 A, por lo tanto, está cumpliendo los requerimientos indicados en la norma NCH4/2003 y RGR N°2.

**Caída de tensión:**

<sup>3</sup> Multiplicado por factor de seguridad 1,25.

$$\delta = \sqrt{3} \cdot R \cdot I \cdot \cos\varphi = \sqrt{3} \cdot 0,0323 \cdot 75,96 \cdot 1 = 4,249V (1,11\%)$$

**Notas:**

- (1) Este valor de caída de tensión es válido para el inversor N°3 e inversor N°4 dado que se su instalación comparte el mismo tablero auxiliar.
- (2) El valor de resistencia R considera la corrección para 90°C y los factores de corrección según tabla N°5

**8.1.4 TRAMO 3: Tablero TDAux al TD y A N°2 (Punto Empalme en BT)**
**Consideraciones:**

▪ Distancia máxima de conductores (L)	:	150 m
▪ Potencia máxima	:	100 kW
▪ Tensión de salida inversor	:	380 V f-f
▪ Temperatura ambiente / Temp. Nominal	:	40°C / 60 °C
▪ Factor de potencia (cos φ)	:	1
▪ Corriente nominal de salida de cuatro inversores (100 kW)	:	151,92 A
▪ Corriente máxima de salida de inversores <sup>4</sup>	:	189,9 A
▪ Máxima caída tensión (δ) / Resistividad específica del cobre (ρ)	:	11,4 / 0,018

**Cálculo de sección:**

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot \rho \cdot L \cdot I \cdot \cos\varphi}{\delta} = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,018 \cdot 150 \cdot 189,9 \cdot 1}{11,4} = 77,9 \text{ mm}^2$$

El cálculo de la sección da como resultado 77,9 mm<sup>2</sup>, por lo que se debería usar la siguiente sección, pero realizando el cálculo de corrección de la corriente admisible y verificando una adecuada caída de tensión (menor a 3%), la sección a utilizar para este alimentador será de 85 mm<sup>2</sup>.

El cable existente para este tramo es el N° 4/0 AWG (107 mm<sup>2</sup>) que según la tabla anterior del fabricante, la corriente admisible es de 264 A (en ducto enterrado), verificando que los conductores deben ser dimensionados para una corriente no inferior a 1,25 veces la máxima intensidad de corriente de los inversores, esto es 189,9 A, por lo tanto, está cumpliendo los requerimientos indicados en la norma NCH4/2003 y RGR N°2.

**Caída de tensión:**

<sup>4</sup> Multiplicado por factor de seguridad 1,25.

$$\delta = \sqrt{3} \cdot R \cdot I \cdot \cos\varphi = \sqrt{3} \cdot 0,02635 \cdot 151,92 \cdot 1 = 6,93 \text{ V}(1,82 \%)$$

Notas:

(1) Este valor de caída de tensión es válido para el conjunto de los inversores, pues todos comparten este alimentador hasta el punto de empalme.

(2) El valor de resistencia R considera la corrección para 90°C y los factores de corrección según tabla N°5

### Cuadro Resumen

INVERSOR N°	CAIDA DE TENSION (V) TRAMO 1	CAIDA DE TENSION (V) TRAMO 2A	CAIDA DE TENSION (V) TRAMO 2B	CAIDA DE TENSION (V) TRAMO 3	CAIDA DE TENSION(V) TOTAL	CAIDA DE TENSION (%) TOTAL
1 - 2	0,216	2,91	-	6,93	10,056	2,646
3 - 4	0,216	-	4,249	6,93	11,395	2,998

### Conclusión:

El cálculo de caída de tensión desde cualquier inversor hasta el punto de empalme, cuando todos están operando a su máxima capacidad, resulta menor al 3 % como lo requiere la norma RGR N°2/2014.

## 8.2 CAÍDA DE TENSION Y REGULACIÓN EN CORRIENTE CONTÍNUA (CC)

### Consideraciones:

▪ Distancia máxima de conductores (L)	:	74 m
▪ Tensión máxima Vmp (16 paneles -45,29 V c/u)	:	725 V
▪ Temperatura ambiente / Temp. Nominal	:	40°C / 60 °C
▪ Corriente máxima	:	8,52 A
▪ Corriente de cortocircuito (9,11x1,25)	:	11,38 A
▪ Factores de corrección por temp. (Ft) y N° conductores (Fn)	:	0,82 / 0,8
▪ Máxima caída tensión (δ) / Resistividad específica del cobre (ρ)	:	8,85 / 0,018

### Cálculo de sección:

$$S = \frac{2 \cdot \rho \cdot L \cdot I}{\delta} = \frac{2 \cdot 0,018 \cdot 74 \cdot 11,38}{8,85} = 3,42 \text{ mm}^2$$

El cálculo de la sección da como resultado 3,42 mm<sup>2</sup>, por lo que se debería usar la siguiente sección, además realizando el cálculo de corrección de la corriente admisible y verificando una adecuada caída de tensión (menor a 1,5%) se puede concluir que la sección que satisface los requerimientos del circuito es de 4 mm<sup>2</sup>.


Installation method	Connecting lead in free air or perforated tray										
Number of simultaneous loaded conductors on each tray											
	1	2	3	4	6	8	10	16	20	4	6
Reduction factor $f_2$	1	0.87	0.81	0.78	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	0.71	0.62
Copper conductor cross section mm <sup>2</sup>	Current carrying capacity in A										
1.5	39	34	32	31	30	29	29	29	28	28	25
2.5	53	47	43	42	40	40	39	39	38	38	33
4	71	62	58	56	54	53	52	52	51	51	45
6	92	81	75	72	69	69	68	67	66	66	58
10	129	113	105	101	97	96	95	93	92	92	80
16	171	149	139	134	129	127	125	124	122	122	107
25	228	199	185	178	171	169	167	165	162	162	142
35	281	245	228	220	211	208	206	203	200	200	175
50	355	309	288	277	267	263	260	256	253	253	221
70	447	389	363	349	336	331	327	322	318	318	278
95	530	462	430	414	398	393	387	382	377	377	329
120	622	542	504	486	467	461	455	448	442	442	386
150	720	627	584	562	540	533	526	519	512	512	447

Tabla 4: Cable solar Radox Solar 125WW (1,2 kV/1,8 kV).

El cable utilizado para este tramo es el cable solar Radox modelo Solar 125WW, según la tabla anterior del fabricante, la corriente admisible es de 52 A, a esta corriente se le aplica los factores de corrección indicados en la norma NCH4/2003 y RGR N°2 y da como resultado 34,11 A ( $52 \cdot 0,8 \cdot 0,82$ ), por lo tanto, está cumpliendo los requerimientos del sistema.

#### Caída de tensión:

$$\delta = 2 \cdot R \cdot I = 2 \cdot 0,006422 \cdot 74 \cdot 8,52 = 8,11 \text{ V}$$

$$\gg 8,11 \rightarrow 1,12\% \therefore < 1,5\%$$

#### Conclusión:

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

### 8.3 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	
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

Tabla 5: Factores de corrección de acuerdo a la norma NCH Elec 4/2003 y RGR N°2.

## 9 SELECCIÓN DE PROTECCIONES

### 9.1 PROTECCIONES CA

#### 9.1.1 Protecciones tramo: Inversores – Tablero Auxiliar

Para el interruptor general de cada Tablero Auxiliar (1 y 2) se escogió un interruptor termomagnético de 4x80A, 16kA curva "C" para proteger a los 2 inversores respectivamente.

Además, a cada inversor se le asignó un interruptor termomagnético propio. Como los cuatro inversores son de 25 kW, se escogió la misma protección. Para proteger estos elementos se tendrán protecciones de 4x40A, "C", 10 kA.

Se determinó de acuerdo a la corriente máxima de salida de los inversores y el factor de seguridad mediante la siguiente fórmula:

$$I_{m\acute{a}x\ inv\ 25\ kW} = 37,98 \cdot A$$

También se escogieron protecciones diferenciales de 4x40A, 300 mA para cada circuito de generación de inversor de 25 kW. Esto para actuar en caso de fallas a tierra y proteger tanto de manipulación de usuarios como a los equipos de la instalación fotovoltaica, comprobando el siguiente criterio:

$$\text{Criterio de selección: } I_{diff} \geq I_{aut}$$

### 9.1.2 Protecciones tramo: Tablero Auxiliar – Tablero de Distribución Auxiliar

Para este tramo se usa una protección general de 3x320 A debido a que existen arranques y circuitos adicionales. Las protecciones de los circuitos 4 y 5 donde se conectan los tableros auxiliares N°1 y N°2 respectivamente son 3x100 A, 25 kA y también aguas abajo se instalan protecciones diferenciales de 4x200A, 300 mA con transformador de corriente toroidal.

### 9.1.3 Resumen de las Protecciones Elegidas

PROTECCIÓN	UBICACIÓN	CANTIDAD
Termomagnético 4x40 A, 10kA curva C	Tablero Auxiliar N°1 y N°2	4
Diferencial Tipo A, 4x40 30mA	Tablero Auxiliar N°1 y N°2	4
Termomagnético 3x100 A, 25kA curva C	Tablero de Distribución Auxiliar	2
Diferencial 4x200 300mA + Toroide	Tablero de Distribución Auxiliar	2

Tabla 6: Resumen de las protecciones elegidas.

## 9.2 PROTECCIONES CC

### 9.2.1 Protecciones tramo: String – Inversor

Para este se considera protegido por las protecciones incluidas en el Inversor tipo String (STP 25000 TL-30), la cual cuenta con todos los elementos exigidos en la RGR N°2 y cumple con la norma IEC 61439-1.

## 10 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

### 10.1 PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS

La instalación cuenta con 320 módulos fotovoltaicos de la marca HareonSolar modelo HR-315W, policristalinos de 315 Wp cada uno, conectados en serie mediante conectores tipo MC4 formando 20 string compuestos por 16 paneles.

Este panel se encuentra autorizado por la SEC. Se adjuntan imágenes del manual con características constructivas y de operación.

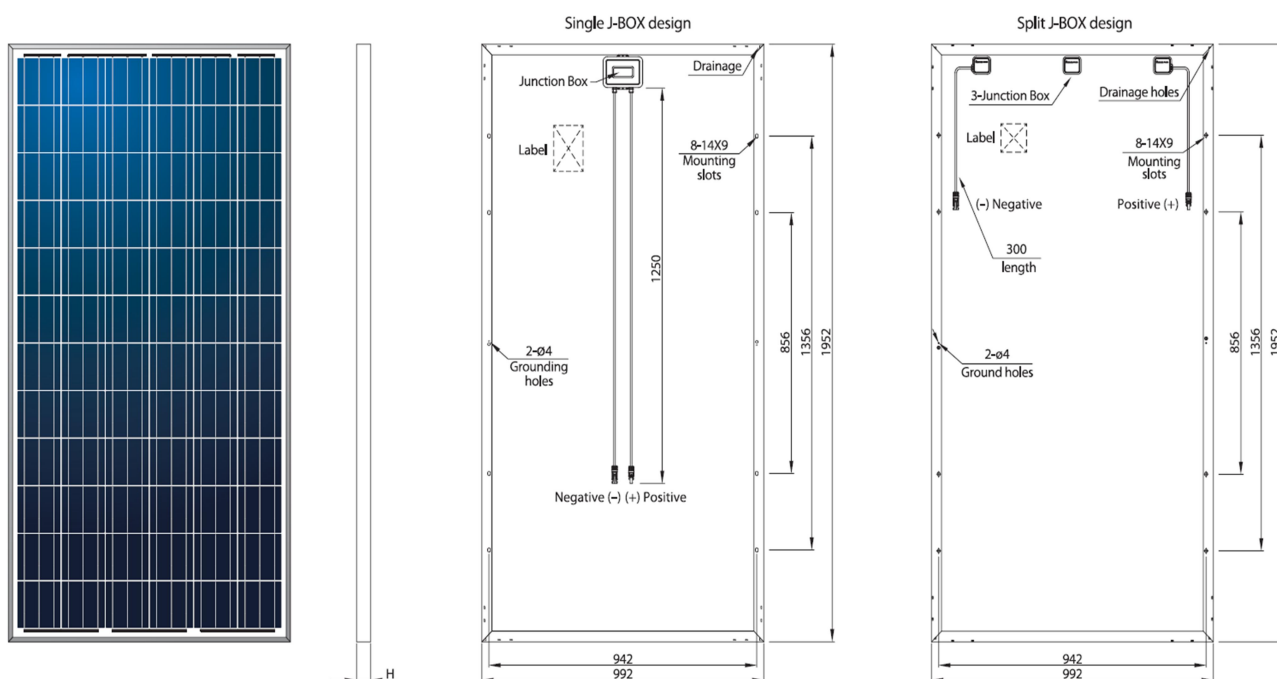
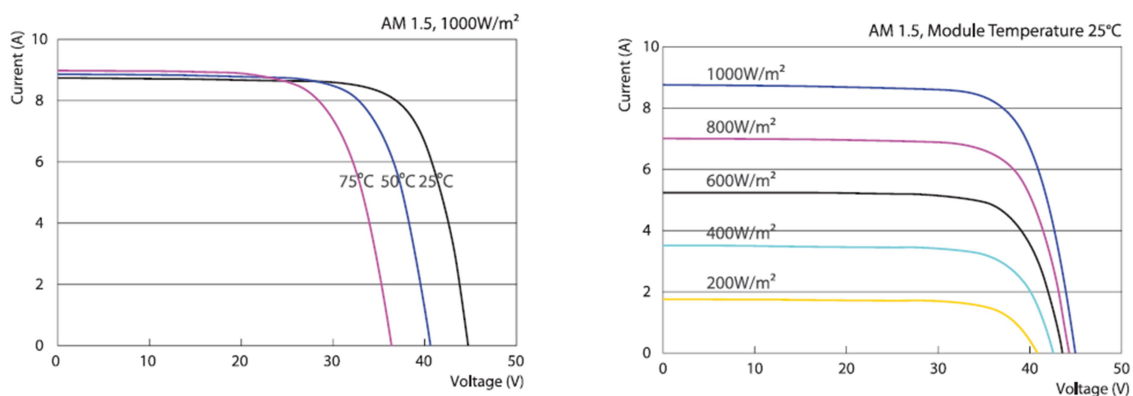


Figura 4: Característica panel HareonSolar modelo HR-315W.

## ELECTRICAL PARAMETERS

TYPE		HR-285W	HR-290W	HR-295W	HR-300W	HR-305W	HR-310W	HR-315W
<b>STC</b> AM 1.5, 1000W/m <sup>2</sup> , Module Temperature 25°C	Rated Max. Power at STC (W)	285	290	295	300	305	310	315
	Max. Power Voltage / Vmp (V)	35.60	35.86	35.98	36.30	36.61	36.82	36.98
	Max. Power Current / Imp (A)	8.00	8.09	8.20	8.26	8.33	8.42	8.52
	Open Circuit Voltage / Voc (V)	44.51	44.65	44.74	44.82	44.91	45.05	45.29
	Short Circuit Current / Isc (A)	8.52	8.64	8.76	8.88	8.99	9.10	9.11
	Module Efficiency (%)	14.72	14.98	15.23	15.49	15.75	16.01	16.27
<b>NOCT</b> AM 1.5, 800W/m <sup>2</sup> , Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1m/s	Rated Max. Power at NOCT (W)	205.7	209.3	212.6	216.2	219.8	223.1	226.4
	Max. Power Voltage / Vmp (V)	32.70	32.80	32.90	33.00	33.10	33.20	33.30
	Max. Power Current / Imp (A)	6.29	6.38	6.46	6.55	6.64	6.70	6.80
	Open Circuit Voltage / Voc (V)	40.60	40.70	40.80	40.90	41.00	41.10	41.20
	Short Circuit Current / Isc (A)	6.89	6.99	7.08	7.18	7.27	7.35	7.44
	Module Efficiency (%)	13.28	13.51	13.72	13.96	14.19	14.45	14.61

**Figura 5: Características de operación panel HareonSolar modelo HR-315W.**



**Figura 6: Curvas de operación panel HareonSolar modelo HR-315W.**



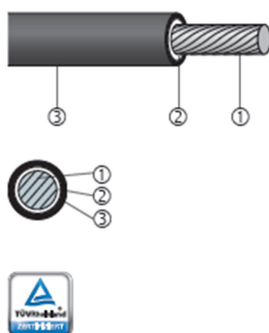
Figura 7: Conectores MC4 para conexionado en serie de paneles fotovoltaicos.

## 10.2 CABLES SOLARES DE CC

Estos serán de la marca Radox modelo Solar 125WW, un cable especialmente diseñado para instalaciones fotovoltaicas, su voltaje máximo es de 1,8kV DC. Se utilizará color rojo para identificar el conductor positivo, negro para el conductor negativo y verde para el conductor de tierra de protección como se indica en la RGR N°02/2014.

### RADOX® Solar 125 WW

Single core for PV installations



#### Application

Specially developed for indoor and outdoor installation of photovoltaic system components, and devices which are exposed to high mechanical load and extreme weather conditions. Complies with European standards (CENELEC HD), the double-insulation design also supports the use in non-earthed photovoltaic systems. RADOX Solar cables allow low cost installation without conduits if required.

#### Features

- \* Approved according to global standards for PV systems (PV1-F)
- \* Meets the EN 50618 standard for PV cables
- \* High resistance against high and low temperatures, oil, abrasion, ozone, UV and harsh weather
- \* Increased safety due to dual insulation, notch-resistant
- \* Short circuit-resistant
- \* Space saving outer diameter
- \* Large operational temperature range -40 to +120 °C
- \* Long service life
- \* Halogen free, flame retardant
- \* Flexible, easy to strip
- \* Marked every metre for easy installation

Figura 8: Cable Solar CC.

### 10.3 INVERSORES

La instalación cuenta con 4 inversores de corriente continua a corriente alterna trifásica de la marca SMA, cuyo modelo es Sunny Tripower 25000TL de 25kW. Los cuales se instalarán en el techo del establecimiento. Estos equipos se encuentran autorizados por la SEC. Cuentan con los ajustes de red correspondientes indicados en la norma Chilena.



Figura 9: Inversor SMA STP 25000TL de 25kW.

### 10.4 TABLEROS AUXILARES

A continuación se enumeran las principales características de los tableros

- i. Periferia Multi-plegado para evitar agua y basura.
- ii. Marco de acero. Soldadura extra resistente.
- iii. Puerta se puede girar hasta 110° con la bisagra y 180° con bisagra especial.
- iv. Cierre de puerta tipo rápido con llave
- v. Gabinetes contruidos en plancha de acero laminado en frío de 1,5mm.
- vi. Tratamiento de pintura electroestática.
- vii. Grado de protección IP54.

### 10.5 PUNTO DE INYECCIÓN

▪ Tablero	:	TDFyAN°2
▪ Protección General	:	3x800 A
▪ Protección Alimentador Circuito 2	:	3x320 A

- Tensión : 380 V
- Medidor : N/A
- Acometida : Subterránea

## 10.6 CONDICIONES GENERALES

- Máxima potencia instalada en paneles : 100,8 kWp
- Máxima potencia instalada en inversores : 100 kW
- Temperatura ambiente : 30-50°C
- Temperatura de servicio : 60-80°C
- Estructura de montaje : Estructura TRI-STAND AERO
- Acceso : Solo encargado inmueble
- Tránsito y mantención : Sobre estructura edificio

## 11 CUBICACIÓN DE MATERIALES

Los equipos y dispositivos de protección necesarios para el proyecto son los siguientes:

UNIDAD DE GENERACIÓN - 3ª BRIGADA ACORAZADA EJERCITO DE CHILE			
N°	EQUIPO / MATERIAL	DETALLES	CANTIDAD TOTAL
1	Panel Solar HareonSolar HR-315W	Módulo Policristalino 315 Wp	320
2	Cable Solar CC	Radox 4mm ZZ-F	1800
3	Terminales MC-4	4mm, macho	20
4	Terminales MC-4	4mm, hembra	20
5	Inversor CC/CA	SMA STP 25000-TL	4
6	Cable entre inversor y Tablero Auxiliar	Cable RV-K	10 m
6	Cable entre Tablero Auxiliar y Tablero de Inyección	Cable RV-K	145 m
7	Termomagnético 4x40	Tetrapolar 10 kA curva C	4
8	Termomagnético 4x80	Tetrapolar 10 kA curva C	2
9	Protección diferencial	Tetrapolar 4X40 300 mA	4
10	Sistema de monitoreo	Tablero IP 55, 12 mod.	1

Tabla 7: Cubicación de materiales.