

# MEMORIA EXPLICATIVA

Proyecto fotovoltaico Liceo Industrial Superior de Talca

## Contenido

<b>CAPÍTULO 1. GENERAL</b>	<b>0</b>
1.1 Descripción Global de la instalación .....	0
1.2 Reglamento .....	0
1.3 Modificaciones .....	1
1.4 Condiciones y/o exigencias .....	1
<b>CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ON GRID</b>	<b>2</b>
2.1 Lugar geográfico .....	2
2.2 Cliente TE4 .....	3
2.3 Tipos de generadores .....	3
2.4 Paneles y string .....	3
2.5 Protecciones.....	4
2.6 Puesta a tierra .....	6
2.7 Sistema CC, CA y Generador .....	6
2.7.2 Inversor .....	6
2.7.3 Tablero CC .....	6
2.7.4 Tableros CA .....	6
2.7.5 Empalme .....	6
2.7.6 Generador .....	6
2.7.7 Canalizaciones .....	6
2.7.8 Conductores .....	7
2.7.9 Caída de tensión .....	7
<b>CAPÍTULO 3. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS</b>	<b>8</b>
3.1 Cálculo y dimensionamiento de conductores .....	8
3.1.1 Criterios y fórmulas .....	8
3.1.2 Cálculo en CC .....	9
3.1.3 Cálculo en CA .....	13

<b>3.2 Cálculos, coordinación y selectividad de protecciones.....</b>	<b>16</b>
3.2.2 Cálculo de protección en CC .....	16
3.2.3 Cálculo de protección en CA .....	16
<b>3.3 Cálculo del diámetro de la canalización .....</b>	<b>16</b>
 <b>CAPÍTULO 4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS .....</b>	 <b>17</b>
<b>4.1 Paneles solares.....</b>	<b>17</b>
<b>4.2 Inversores .....</b>	<b>18</b>
<b>4.3 Estructura de soporte.....</b>	<b>18</b>
<b>4.4 Cableado .....</b>	<b>19</b>
4.4.2 Cable CC .....	19
4.4.3 Cable CA .....	19
<b>4.5 Canalizaciones .....</b>	<b>19</b>
<b>4.6 Tablero T.FV.Aux. ....</b>	<b>20</b>
 <b>CAPÍTULO 5. CUBICACIÓN DE LOS MATERIALES .....</b>	 <b>21</b>
<b>5.1 Componentes generales.....</b>	<b>21</b>
<b>5.2 Estructura.....</b>	<b>21</b>
 <b>CAPÍTULO 6. ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA .....</b>	 <b>22</b>

## Capítulo 1. General

### 1.1 Descripción Global de la instalación

La planta consiste en una instalación de paneles fotovoltaicos con la producción de energía destinada al Autoconsumo e Inyección de la energía restante. Para esta instalación eléctrica, se encuentra la planta solar propiamente tal y un circuito destinado a transmitir la energía desde la planta hacia el tablero general de conexión de la propiedad.

Las presentes especificaciones generales, tienen por objeto señalar las características principales de los materiales que se utilizaron en la ejecución de la instalación.

El proyecto Fotovoltaico denominado “**Liceo Industrial Superior Talca FV**”, perteneciente a “**Ministerio de Energía**”, corresponde a un sistema fotovoltaico On grid de 70,2kWp de potencia instalada, con 4 inversores y 1 tablero eléctrico fotovoltaico. La alimentación del lugar es trifásica. Los datos técnicos principales del proyecto son los siguientes:

Dispositivo	Descripción
Paneles	216xHanwha Q Cells Q-Power L-G5. 325
Estructura	Alusín Bulnes
Inversores	<ul style="list-style-type: none"><li>• 3 x Fronius Symo 20.0-3-M</li><li>• 1 x Fronius Symo 10.0-3-M</li></ul>
Tableros	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tablero fotovoltaico T.FV.Aux.</li></ul>

### 1.2 Reglamento

Estas especificaciones técnicas generales fueron respetadas y realizadas por el instalador eléctrico responsable de la ejecución de las instalaciones proyectadas.

Los trabajos se ejecutaron acorde a la normativa técnica de conexión y operación de equipamiento de baja tensión, en conjunto con los instructivos técnicos RGR N°1 y RGR N°2 para instalaciones fotovoltaicas, además de contemplar la normativa vigente NCh 4/2003.

### **1.3 Modificaciones**

No se podrán realizar cambios a lo establecido en la presente especificación técnica o planos que comprende la instalación, sin la debida autorización escrita de los propietarios en conjunto con la debida certificación de un instalador autorizado por la S.E.C.

### **1.4 Condiciones y/o exigencias**

Se adquirió el compromiso del contratista eléctrico, en este caso, la empresa Flux Solar Limitada para llevar a cabo la inscripción de la obra ante la S.E.C, presentando los planos eléctricos (As Built), considerando todo tipo de modificación y/o ampliación que se pudo haber hecho en el transcurso de esta. La instalación fue realizada bajo la supervisión de un instalador eléctrico autorizado por la S.E.C clase “A”. Todo el material utilizado en la obra fue adquirido de fábrica y contó con la aprobación vigente de la S.E.C. Fue de cargo de la empresa contratista, todos los materiales o equipamiento utilizado, salvo especificación expresa de lo contrario.

## Capítulo 2. Descripción del sistema On Grid

### 2.1 Lugar geográfico

El proyecto fotovoltaico que describe esta memoria explicativa tiene lugar en Av. Cuatro Norte #485, Talca, El Maule, Chile.

A continuación se puede ver el Mapa de la ubicación:

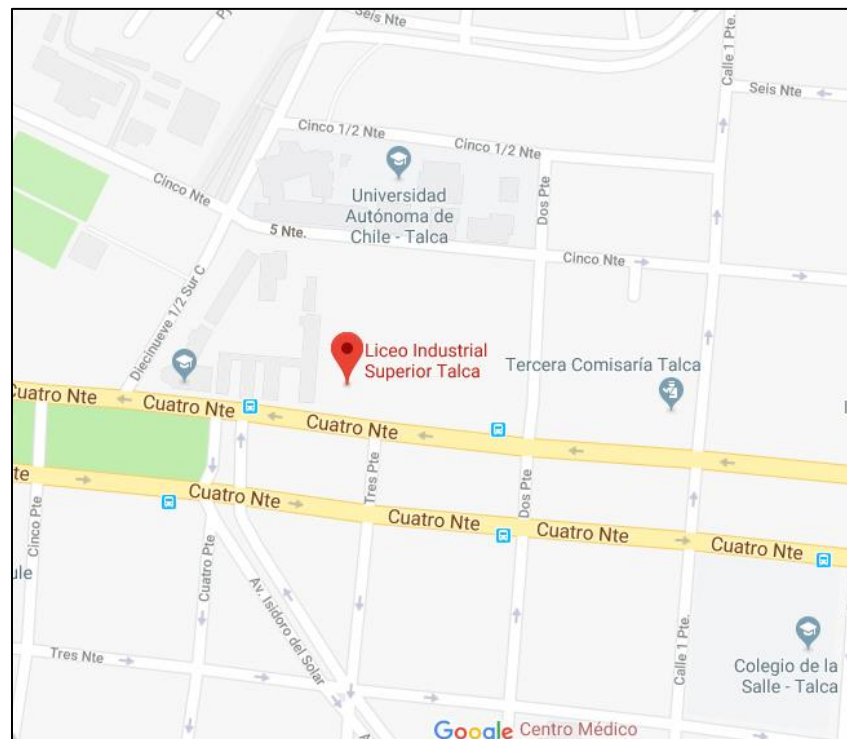


Imagen 1. Mapa de referencia del proyecto.

#### Coordenadas UTM:

X: 257674 E

Y: 6077011 S

Huso: 19

## 2.2 Cliente TE4

Municipalidad de Talca.

## 2.3 Tipos de generadores

Este es un proyecto de generación residencial del tipo On grid o Conectado a red, que contempla la utilización de energía solar a través de un sistema fotovoltaico con inversores sin almacenar energía en baterías.

## 2.4 Paneles y string

Para llevar a cabo este proyecto se dispuso de módulos fotovoltaicos policristalinos de la marca Hanwha Q Cell modelo Q-Power L-G5 de 325W de potencia. Los string se configuraron como muestra la siguiente tabla:

String	Cantidad de paneles	Orientación	Estructura	Potencia (kWp)	Voltaje Operación (V)
1	16	Norte	Bulnes	5200	600
2	16	Norte	Bulnes	5200	600
3	15	Norte	Bulnes	4875	562,5
4	15	Norte	Bulnes	4875	562,5
5	16	Norte	Bulnes	5200	600
6	16	Norte	Bulnes	5200	600
7	15	Norte	Bulnes	4875	562,5
8	15	Norte	Bulnes	4875	562,5
9	16	Norte	Bulnes	5200	600
10	16	Norte	Bulnes	5200	600
11	15	Norte	Bulnes	4875	562,5
12	15	Norte	Bulnes	4875	562,5
13	15	Norte	Bulnes	4875	562,5
14	15	Norte	Bulnes	4875	562,5

La conexión de los string a los inversores queda de la siguiente forma:

String	Inversor N°	Entrada Seguidor MPP
1	1 (Fronius Symo 20.0-3-M)	1.1
2	1 (Fronius Symo 20.0-3-M)	1.2
3	1 (Fronius Symo 20.0-3-M)	2.1
4	1 (Fronius Symo 20.0-3-M)	2.2
5	2 (Fronius Symo 20.0-3-M)	1.1
6	2 (Fronius Symo 20.0-3-M)	1.2
7	2 (Fronius Symo 20.0-3-M)	2.1
8	2 (Fronius Symo 20.0-3-M)	2.2
9	3 (Fronius Symo 20.0-3-M)	1.1
10	3 (Fronius Symo 20.0-3-M)	1.2
11	3 (Fronius Symo 20.0-3-M)	2.1
12	3 (Fronius Symo 20.0-3-M)	2.2
13	4 (Fronius Symo 10.0-3-M)	1.1
14	4 (Fronius Symo 10.0-3-M)	1.2

## 2.5 Protecciones

**Las protecciones del lado de CC son:**

- Fusibles MC4 dispuestos en bandeja cajas de 300x200mm antes de entrar a los inversores.

**Las protecciones del lado de CA son:**

Tablero Fotovoltaico T.FV.Aux

- Un interruptor termomagnético General de 3x125A, 25kA, curva C.
- Un interruptor termomagnético para inversor 1 de 4 x 32A, 10kA, curva C.
- Un diferencial para Inversor 1 de 4 x 40 A, 300mA, Clase A.
- Un interruptor termomagnético para inversor 2 de 4 x 32A, 10kA, curva C.
- Un diferencial para inversor 2 de 4 x 40 A, 300mA, Clase A.
- Un interruptor termomagnético para inversor 3 de 4 x 32A, 10kA, curva C.
- Un diferencial para Inversor 3 de 4 x 40 A, 300mA, Clase A.
- Un interruptor termomagnético para inversor 4 de 4 x 16A, 10kA, curva C.



- Un diferencial para Inversor 4 de 4 x 25 A, 300mA, Clase A.
- Un interruptor termomagnético para monitoreo de 1 x 10A, 10kA, curva C

En tablero de conexión

- Un interruptor general en el Tablero de conexión TGDA y F “C” de 160A, 85kA. Curva C
- Un interruptor para circuito fotovoltaico de 125 A, Curva C, 85kA.

## **2.6 Puesta a tierra**

Medición: 10hm. Malla tierra existente. Conexión a tierra hasta tablero de conexión con cable desnudo de 50mm<sup>2</sup>.

## **2.7 Sistema CC, CA y Generador**

### **2.7.2 Inversor**

La instalación cuenta con 4 inversores string de la marca Fronius. Tres Inversores Fronius Symo 20.0-3-M y un inversor Fronius Symo 10.0-3-M, cuya capacidad máxima de salida AC es de 20KVA y 10KVA respectivamente.

### **2.7.3 Tablero CC**

No se dispone de tableros en el lado de corriente continua. Se dispone de una bandeja porta conductores bajo los inversores en la cual se sitúan fusibles MC4 para proteger el circuito en **CC**.

### **2.7.4 Tableros CA**

Se cuenta con un tablero de conexión donde existe una protección de 160A.

Se instaló un tablero de CA llamado Tablero Fotovoltaico Auxiliar T.FV.Aux. En él se encuentra una protección general fotovoltaica y por cada inversor se tiene su correspondiente protección termomagnética y diferencial según lo establece la norma.

### **2.7.5 Empalme**

Empalme trifásico. 380V. Medidor bidireccional.

### **2.7.6 Generador**

Se puede considerar a cada circuito de CC con su inversor una unidad de generación. Por lo que se tienen 4 unidades de generación de 20kW, 20KW,20kW y 10KW respectivamente.

### **2.7.7 Canalizaciones**

Para detalles sobre canalizaciones ver plano "Canalizaciones"

### 2.7.8 Conductores

El cable utilizado en el lado de corriente continua para conectar los string al inversor es Cable Top Solar ZZF de 4mm<sup>2</sup> de sección. Los metros de cable utilizados son:

String N°	Cable positivo (m)	Cable negativo (m)	Suma cables (m)
1	48	44	92
2	40	36	76
3	48	42	90
4	38	32	70
5	32	29	61
6	25	22	47
7	28	22	50
8	24	31	55
9	18	18	36
10	22	25	47
11	32	31	63
12	25	23	48
13	39	33	72
14	29	23	52

En el caso de corriente alterna se utilizó un conductor multiflex RV-K de 16mm<sup>2</sup> entre cada inversor y el tablero T.FV. Aproximadamente 6 metros en el inversor más lejano. Entre T.FV.Aux y el tablero de conexión TGDA y F “C” se utilizó 48 m de cable RV-K de 50mm<sup>2</sup> incluyendo misma sección para neutro y tierra.

### 2.7.9 Caída de tensión

La caída de tensión en CC es menor a 1,5% para cada string, mientras que la caída de tensión en suma de los tramos en CA es menor a 3% en cada fase. Para más detalle ver capítulo 3.

## Capítulo 3. Cálculos justificativos

### 3.1 Cálculo y dimensionamiento de conductores

#### 3.1.1 Criterios y fórmulas

- Según RGR N° 02/2017 numeral 11.18, los conductores del lado de CC, deberán ser dimensionados para transportar una corriente no inferior a 1,25 veces la corriente máxima del circuito fotovoltaico.
- El numeral 14.8 de RGR N° 02/2017, dice que los dispositivos de sobrecorriente en el lado CC, serán dimensionados para conducir una corriente no inferior a 1,25 veces la máxima corriente del string y no deberá ser superior a la corriente inversa máxima que soportan los módulos que forman parte del string.
- Se debe considerar que el Artículo 8.1.2.3 de la NCh 4/2003 señala que la corriente máxima de servicio que puede transportar un conductor disminuye según factores de corrección y cuando es canalizado junto a más conductores y también cuando la temperatura ambiente excede de los 30°C, como es señalado en la expresión:

$$I_s = I_t f_t f_n$$

Donde  $I_s$  es la corriente de servicio del conductor,  $f_n$  es el factor de corrección por cantidad de conductores en tubería,  $f_t$  es el factor de corrección por variación de temperatura ambiente y finalmente  $I_t$  es la corriente máxima que puede transportar el conductor por tabla.

- En el caso de **corriente alterna** el numeral 11.19 de RGR N° 02/2017, dice que los conductores del lado de CA, deberán ser dimensionados para una corriente no inferior a 1,25 veces la máxima intensidad de corriente del inversor y deberán quedar protegidos por el dispositivo de sobrecorriente establecido en el punto 14.15
- Según el numeral 11.17 de la instrucción técnica se tiene que cumplir que los conductores de la unidad de generación (Lado CC) deberán tener una sección adecuada para evitar caídas de tensión y calentamientos. Para cualquier condición de trabajo, los conductores deberán tener la sección suficiente para que la caída de tensión sea inferior del 1,5 %.
- Según el numeral 11.20 de la instrucción técnica RGR N° 02/2017 Los alimentadores o conductores del lado de CA de la unidad de generación

deberán tener una sección adecuada para evitar las caídas de tensión y calentamientos, para cualquier condición de trabajo, los conductores deberán tener la sección suficiente para que la caída de tensión entre el punto de conexión a la red y la unidad de generación sea inferior del 3%.

- La resistencia de un conductor se obtiene de la expresión:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

Donde:

- $R$ : Resistencia del conductor
  - $\rho$ : Resistividad ( $0,0172 \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}}$ )
  - $L$ : Longitud total del conductor (Suma negativo más positivo en CC)
  - $S$ : Sección del conductor
- La caída de tensión para CC se obtiene de:

$$\%V_{cc} = \frac{IR}{V_{cc}}$$

Donde:

- $\%V_{cc}$ : porcentaje de caída de tensión
  - $V_{cc}$ : Tensión entre negativo y positivo. (Por ejemplo la tensión del string)
  - $I$ : Intensidad de la corriente nominal (Paneles fotovoltaicos)
  - $R$ : Resistencia del conductor.
- La caída de tensión para CA se obtiene de en porcentaje de:

$$\%V_L = \frac{\sqrt{3}IR}{V_L} 100$$

Donde:

- $\%V_L$ : Porcentaje de caída de tensión
  - $I$ : Intensidad de corriente nominal
  - $R$ : Resistencia del conductor
- $V_L$ : Tensión entre fases

### 3.1.2 Cálculo en CC

En este caso se utilizó un conductor Top solar ZZ-F de 4mm<sup>2</sup> calculado de la siguiente forma. La corriente máxima admisible según el fabricante será de  $I_s=44$  A. Además en este caso se tiene un  $f_n = 0.7$  (Tabla 8.8 de Norma 4/2003) debido a que van más de 7 conductores por tubería. Por otra parte, aplicamos el factor de corrección por temperatura a 50°C.

**Tabla N° 8.8**  
**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

**Tabla N°1.**

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

Por lo tanto, en este caso la corriente máxima admisible del conductor Top solar ZZ-F de 4mm<sup>2</sup> será:

$$I_s = I_t f_t f_n = 44 \times 0,82 \times 0,7 = 25,25A$$

Se verifica que la capacidad del cable  $I_s = 25,25A$  es mayor a  $1,25 \times I_{cc} = 1,25 \times 9,2$ , es decir mayor a 11,5A. También  $I_s = 25,25A$  es mayor a la máxima corriente inversa del string (Máxima corriente inversa=20A) Por lo tanto, se cumple con los criterios establecidos en el RGR02-2017 y el cable está correctamente dimensionado siendo capaz de admitir las corrientes de los circuitos de CC.

### **Cálculo de sección mínima en CC:**

Para calcular la mínima sección que podemos ocupar se requiere asumir el peor caso, es decir el tramo más largo entre los tramos de los distintos string.

En este caso el tramo más largo se recorrerá desde el string 14, con una distancia de 45 metros de cable positivo y una distancia de 71 metros de cable negativo.

Sumando ambas distancias el recorrido de este lazo será de 116 metros.

La corriente de operación del string la obtenemos de los datos del módulo, esta es de 8,67A.

La resistencia viene dada por la fórmula:

$$1) \text{ Resistencia: } R = \rho \frac{L}{S}$$

Mientras que el porcentaje de caída de tensión será:

$$2) \%V_{cc} = \frac{IR}{V_{cc}} 100$$

Donde Vcc es el voltaje de operación del string Vcc=562,5V y %Vcc es el porcentaje que la norma nos exige no superar de Vcc, es decir 1,5%.

Reemplazando 1) en 2) y despejando la sección del conductor S, obtenemos:

$$3) S = \frac{100IpL}{\%V_{cc}V_{cc}}$$

Reemplazando los valores en 3) tenemos:

$$4) S = \frac{100 \times 8,67 \times 0,0172 \times 92}{1,5 \times 562,5} = 1,62 \text{mm}^2$$

Por lo tanto la sección mínima que se puede ocupar en corriente continua es de 1,62mm<sup>2</sup>. Por lo que se escogió un cable de 4mm<sup>2</sup>.

### **Verificación caída de tensión con el cable escogido de 4mm<sup>2</sup>**

Asumiendo el cable de 4mm<sup>2</sup> se procede a calcular las caídas de tensión en todos los tramos.

Datos de la instalación:

- $\rho: 0,0172 \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}}$  (Resistividad del cobre)
- $S: 4 \text{ mm}^2$
- $V_{cc}: \text{ST1}=\text{ST2}=\text{ST3}=\text{ST4}=\text{ST5}=600\text{V}$  (Voltaje de operación de los strings)
- La corriente de operación es 8.67A

Distancias de cable ocupado por strings:

String N°	Cable positivo (m)	Cable negativo (m)	Suma cables (m)
1	48	44	92
2	40	36	76
3	48	42	90
4	38	32	70
5	32	29	61
6	25	22	47
7	28	22	50
8	24	31	55
9	18	18	36
10	22	25	47
11	32	31	63
12	25	23	48
13	39	33	72
14	29	23	52

Por lo tanto, ocupando las expresiones:

$$\text{Resistencia: } R = \rho \frac{L}{S}$$

Y

$$\text{Caída de tensión} \quad V_{cc} = IR$$

$$\text{Porcentaje caída de tensión} \quad \%V_{cc} = \frac{IR}{V_{cc}} 100\%$$

Obtenemos los siguientes resultados reemplazando los datos por string.



Tramo	L (m)	Caída de tensión (V)	Porcentaje caída de tensión (%)
String1-Inv1	92	3.42	0.571
String2-Inv1	76	2.83	0.472
String3-Inv1	90	3.35	0.596
String4-Inv1	70	2.60	0.463
String5-Inv2	61	2.27	0.379
String6-Inv2	47	1.75	0.292
String7-Inv2	50	1.86	0.331
String8-Inv2	55	2.05	0.364
String9-Inv3	36	1.34	0.223
String10-Inv3	47	1.75	0.292
String11-Inv3	63	2.34	0.417
String12-Inv3	48	1.78	0.318
String13-Inv4	72	2.68	0.477
String14-Inv4	52	1.93	0.344

Por lo tanto, se cumple con una caída de tensión inferior al 1.5% en la suma de los tramos que recorre cada string de corriente continua.

### 3.1.3 Cálculo en CA

#### Entre Inversores y T.FV.Aux.

Por otra parte corriente alterna se escogió cordón multiflex RV-K de 16 mm<sup>2</sup> calculado de la siguiente forma. La corriente máxima admisible según fabricante a 20° C será de  $I_s = 79A$ . Además, en este caso se tiene un  $f_n = 1$  debido a que van a lo más 4 cordones por tubería en la bandeja portaconductores. Por otra parte, según la tabla N° 1 de la norma técnica RGR02-2017 y tomando como referencia 45° C, se tendrá un factor de corrección  $f_t = 0,89$ .

Por lo tanto, en este caso la corriente máxima admisible del conductor RVK de 16 mm<sup>2</sup> será:

$$I_s = I_t f_t f_n = 79 \times 0.89 \times 1 = 70A$$

La corriente máxima en CA por inversor es:

$$I = P / (\sqrt{3} V_L) = 20000 / 1,73 \cdot 380 = 30,4A$$

Por lo que se verifica que  $I_s = 70A$  es mayor a  $1,25 \times 30,4A$  es decir mayor a  $37,98A$ . Además este cable queda protegido por su dispositivo de sobrecorriente de  $32A$  asociado. Por lo tanto, el cable está correctamente dimensionado según el RGR02-2017.

#### Entre T.FV.Aux. y Tablero de conexión TGDA y F”C”:

Así también, en este tramo se escogió cordón multiflex RVK de  $50 \text{ mm}^2$  calculado de la siguiente forma. La corriente máxima admisible según fabricante a  $20^\circ \text{ C}$  será de  $I_s = 156A$ . Además, en este caso se tiene un  $f_n = 1$  debido a que va un cordón por tubería. Por otra parte, según la tabla N°1 del RGR02-2017 y tomando como referencia  $45^\circ \text{ C}$ , se tendrá un factor de corrección  $f_t = 0,89$ .

Por lo tanto, en este caso la corriente máxima admisible del conductor RVK de  $50 \text{ mm}^2$  será:

$$I_s = I_t f_t f_n = 156 \times 0,89 \times 1 = 139A$$

La corriente máxima en CA toma en cuenta la suma de potencias de todos los inversores, es decir:

$$I = P / (\sqrt{3} V_L) = 70000 / 1,73 \cdot 380 = 106A$$

Por lo que se verifica que  $I_s = 139A$  es mayor a  $1,25 \times 106A$  es decir mayor a  $133A$ . Además, este cable queda protegido por su dispositivo de sobrecorriente, de  $125A$  asociado. Por lo tanto, el cable está correctamente dimensionado y es capaz de admitir las corrientes de los circuitos de CA en este tramo. A continuación, se presenta la ficha técnica de donde se extrajo la información:

Calibre [mm <sup>2</sup> ]	Espesor		Diámetro aproximado [mm]	Peso aproximado [kg/km]	Radio curvatura [mm]	Ampacidad	
	Aislamiento [mm]	Revest. [mm]				En ducto Ta 30°C (1) [A]	Al aire Ta 30°C (1) [A]
1,5	0,7	1,4	6,5	50	26	19	26
2,5	0,7	1,4	7	65	28	26	36
4	0,7	1,4	7,5	80	30	33	44
6	0,7	1,4	8,5	100	34	43	61
10	0,7	1,4	10	150	40	61	88
16	0,7	1,4	12	210	48	81	117
25	0,9	1,4	13	310	52	99	147
35	0,9	1,4	14	400	56	133	194
50	1,0	1,4	16	560	64	156	232
70	1,1	1,4	17	760	68	199	307

### Cálculo de caída de tensión en CA:

La corriente máxima será:

- Inversor 1)  $I_1 = P / (\sqrt{3} V_L) = 20000 / 1,732 \cdot 380 = 30.38A$
- Inversor 2)  $I_2 = P / (\sqrt{3} V_L) = 20000 / 1,732 \cdot 380 = 30.38A$
- Inversor 3)  $I_3 = P / (\sqrt{3} V_L) = 20000 / 1,732 \cdot 380 = 30.38A$
- Inversor 4)  $I_4 = P / (\sqrt{3} V_L) = 10000 / 1,732 \cdot 380 = 15.19A$

La resistencia viene dada por la fórmula:

$$5) \text{ Resistencia: } R = \rho \frac{L}{S}$$

Mientras que el porcentaje de caída de tensión será:

$$6) \%V_L = \frac{\sqrt{3}IR}{V_L} 100\%$$

Donde  $V_L$  es el voltaje de línea del  $V_L=380V$  y  $\%V_L$  es el porcentaje que la norma nos exige no superar de  $V_L$ , es decir 3%.

Ocupando el cable seleccionado anteriormente de 16mm<sup>2</sup> y 50 mm<sup>2</sup> de sección y reemplazando los valores en las ecuaciones para todos los tramos tendremos:

Tramo	Datos
Inversor 1-T.FV.Aux.	$V_L=380V$ $P=20KW$ $I=20000/380/1,732=30,38A$ $L=6m$ $S=16mm^2$ $Rho=0,0172(Ohm \cdot mm^2/m)$
Inversor 2-T.FV.Aux.	$V_L=380V$ $P=20KW$ $I=20000/380/1,732=30,38A$ $L=5m$ $S=16mm^2$ $Rho=0,0172(Ohm \cdot mm^2/m)$
Inversor 3-T.FV.Aux.	$V_L=380V$ $P=20KW$ $I=20000/380/1,732=30,38A$ $L=4m$ $S=16mm^2$ $Rho=0,0172(Ohm \cdot mm^2/m)$
Inversor 4-T.FV.Aux.	$V_L=380V$ $P=20KW$ $I=10000/380/1,732=15,19A$ $L=3m$ $S=16mm^2$ $Rho=0,0172(Ohm \cdot mm^2/m)$
T.FV.Aux. - T.G.D. A y F. "C"	$V_L=380V$ $P=70KW$ $I=70000/380/1,732=106A$ $L=48m$ $S=50mm^2$ $Rho=0,0172(Ohm \cdot mm^2/m)$
T.G.D. A y F. "C" - T.G.D. A y F "A"	$V_L=380V$ $P=70KW$ $I=70000/380/1,732=106A$ $L=80m$ $S=33.6mm^2$ $Rho=0,0172(Ohm \cdot mm^2/m)$
T.G.D. A y F "A"-Empalme	$V_L=380V$ $P=70KW$ $I=70000/380/1,732=106A$ $L=14m$ $S=107mm^2$ $Rho=0,0172(Ohm \cdot mm^2/m)$

Tramo	Caída de tensión
Inversor 1-T.FV.Aux.	$\%V_L = 1,73 \cdot IR / V_L = 1,73 \cdot 30,38 \cdot 0,0064 / 380 = 0,089\%$
Inversor 2-T.FV.Aux.	$\%V_L = 1,73 \cdot IR / V_L = 1,73 \cdot 30,38 \cdot 0,0053 / 380 = 0,074\%$
Inversor 3-T.FV.Aux.	$\%V_L = 1,73 \cdot IR / V_L = 1,73 \cdot 30,38 \cdot 0,0043 / 380 = 0,059\%$
Inversor 4-T.FV.Aux.	$\%V_L = 1,73 \cdot IR / V_L = 1,73 \cdot 15,19 \cdot 0,0032 / 380 = 0,022\%$
T.FV.Aux. - T.G.D. A y F. "C"	$\%V_L = 1,73 \cdot IR / V_L = 1,73 \cdot 106 \cdot 0,0165 / 380 = 0,800\%$
T.G.D. A y F. "C" - T.G.D. A y F "A"	$\%V_L = 1,73 \cdot IR / V_L = 1,73 \cdot 106 \cdot 0,0409 / 380 = 1,98\%$
T.G.D. A y F "A"-Empalme	$\%V_L = 1,73 \cdot IR / V_L = 1,73 \cdot 106 \cdot 0,0022 / 380 = 0,108\%$

Por lo tanto, se cumple con una caída de tensión inferior al 3% en cada fase de CA sumando todos los tramos que se recorren desde ambos inversores hasta el empalme.

### 3.2 Cálculos, coordinación y selectividad de protecciones.

#### 3.2.2 Cálculo de protección en CC

La capacidad de la protección en CC debe estar entre  $1.25 \times I_{cc}$  (Del String) y la máxima corriente inversa del string. La corriente de cortocircuito es 9,2A y la corriente máxima inversa es de 20A.

Luego:

$$1,25I_{cc} \leq \text{Protección(Amperes)} \leq I_{invMáx}$$

En este caso con una porta fusible MC4 de 15A se comprueba que:

$$1,25 * 9,2A = 11,5 \leq 15A(\text{Protección}) \leq 20A(I_{invMáx})$$

Por lo tanto, la protección del lado de CC está correctamente dimensionada.

#### 3.2.3 Cálculo de protección en CA

Para el cumplimiento del RGR02-2017 se escogió:

- Para inversores de 20 kW se ha puesto un diferencial de 40 A, 300mA, mientras que para el inversor de 10 kW se ha puesto un diferencial de 25 A, 300mA. Además ambos son clase A.
- Interruptor termomagnético tetrapolar de 32A, 10kA y curva C para inversor de 20kW e Interruptor termomagnético tetrapolar de 16A, 10kA y curva C para inversor de 10kW.

Con estas protecciones se da cumplimiento a la norma.

### 3.3 Cálculo del diámetro de la canalización

Todos los tramos cumplen con la norma. Es decir la suma del área transversal de los cables no supera un 35% de ocupación del área transversal de la tubería en ningún tramo de canalización. Ver Plano de canalizaciones CC y CA.

## Capítulo 4. Especificaciones Técnicas

### 4.1 Paneles solares

Los paneles utilizados son marca Hanwha Q Cells Q-Power L-G5. 325, certificados por la S.E.C. Sus datos más relevantes son los siguientes. Para más detalles ver anexos.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS							
POWER CLASS			315	320	325	330	335
MINIMUM PERFORMANCE AT STANDARD TEST CONDITIONS, STC <sup>1</sup> (POWER TOLERANCE +5W / -0W)							
Minimum	Power at MPP <sup>2</sup>	P <sub>MPP</sub> [W]	315	320	325	330	335
	Short Circuit Current*	I <sub>SC</sub> [A]	9.11	9.15	9.20	9.30	9.40
	Open Circuit Voltage*	V <sub>OC</sub> [V]	45.7	45.8	46.0	46.1	46.3
	Current at MPP*	I <sub>MPP</sub> [A]	8.50	8.61	8.67	8.76	8.87
	Voltage at MPP*	V <sub>MPP</sub> [V]	37.1	37.2	37.5	37.7	37.8
	Efficiency <sup>2</sup>	η [%]	≥ 16.2	≥ 16.4	≥ 16.7	≥ 16.9	≥ 17.2
MINIMUM PERFORMANCE AT NORMAL OPERATING CONDITIONS, NOC <sup>3</sup>							
Minimum	Power at MPP <sup>2</sup>	P <sub>MPP</sub> [W]	232	235	239	243	247
	Short Circuit Current*	I <sub>SC</sub> [A]	7.37	7.40	7.44	7.52	7.60
	Open Circuit Voltage*	V <sub>OC</sub> [V]	42.9	43.0	43.1	43.2	43.4
	Current at MPP*	I <sub>MPP</sub> [A]	6.79	6.88	6.93	7.00	7.09
	Voltage at MPP*	V <sub>MPP</sub> [V]	34.1	34.2	34.5	34.7	34.8
<sup>1</sup> 1000W/m <sup>2</sup> , 25°C, spectrum AM 1.5 G <sup>2</sup> Measurement tolerances STC ±3%; NOC ±5% <sup>3</sup> 800W/m <sup>2</sup> , NOCT, spectrum AM 1.5 G              *typical values, actual values may differ							

## 4.2 Inversores

Los inversores utilizados para el proyecto corresponden a un inversor trifásico marca Fronius modelo Symo 20.0-3-M y Fronius Symo 10.0-3-M, sus datos más relevantes son los siguientes. Se adjunta anexo con todas las características. A continuación los datos más relevantes:

DATOS DE ENTRADA	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Máxima corriente de entrada ( $I_{dc\ máx.\ 1} / I_{dc\ máx.\ 2}$ )	27 A / 16,5 A <sup>1)</sup>			33 A / 27 A	
Máxima corriente de entrada total utilizada ( $I_{dc\ máx.\ 1} + I_{dc\ máx.\ 2}$ )	43,5 A			51,0 A	
Máxima corriente de cortocircuito por serie FV (MPP <sub>1</sub> / MPP <sub>2</sub> )	40,5 A / 24,8 A			49,5 A / 40,5 A	
Mínima tensión de entrada ( $U_{dc\ mín.}$ )	200 V				
Tensión CC mínima de puesta en servicio ( $U_{dc\ arranque}$ )	200 V				
Tensión de entrada nominal ( $U_{dc\ r}$ )	600 V				
Máxima tensión de entrada ( $U_{dc\ máx.}$ )	1.000 V				
Rango de tensión MPP ( $U_{mpp\ mín.} - U_{mpp\ máx.}$ )	270 - 800 V	320 - 800 V		370 - 800 V	420 - 800 V
Número de seguidores MPP	2				
Número de entradas CC	3+3				
Máxima salida del generador FV ( $P_{dc\ máx.}$ )	15,0 kW <sub>peak</sub>	18,8 kW <sub>peak</sub>	22,5 kW <sub>peak</sub>	26,3 kW <sub>peak</sub>	30,0 kW <sub>peak</sub>
DATOS DE SALIDA	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Potencia nominal CA ( $P_{ac,r}$ )	10.000 W	12.500 W	15.000 W	17.500 W	20.000 W
Máxima potencia de salida	10.000 VA	12.500 VA	15.000 VA	17.500 VA	20.000 VA
Máxima corriente de salida ( $I_{ac\ máx.}$ )	14,4 A	18,0 A	21,7 A	25,3 A	28,9 A
Acoplamiento a la red (rango de tensión)	3-NPE 400 V / 230 V o 3-NPE 380 V / 220 V (+20 % / -30 %)				
Frecuencia (rango de frecuencia)	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)				
Coefficiente de distorsión no lineal	1,8 %	2,0 %	1,5 %	1,5 %	1,3 %
Factor de potencia ( $\cos \varphi_{ac,r}$ )	0 - 1 ind. / cap.				

## 4.3 Estructura de soporte

La estructura que se utilizara será la Bulnes, de Alusín Solar.

La estructura Alusín Solar modelo Bulnes. Características:

- Perfiles, grapas y accesorios elaborados en aluminio.
- Tornillería en acero inoxidable A2 y A4 en caso de ambientes muy agresivos.
- Sistema de fijación con incorporación de Juntas EPDM y adhesivo a doble cara, que aseguran la estanqueidad y resistencia a gradientes de temperatura y a los rayos UV.
- Opción de tuercas antirrobo, sistema de ranuras para tornillos.
- Material 100% reciclable.

- Peso aproximado con tornillería: Panel horizontal, 3,25kg/m<sup>2</sup>. Panel vertical, 2,49kg/m<sup>2</sup>.
- Viento: Hasta 240 km/h. Nieve: Hasta 2kN/m<sup>2</sup>.
- Diseño según Euro-código. Sistema de fijación de paneles universal.
- Grapas especiales dedicadas a la película fina y frameless.

#### **4.4 Cableado**

##### **4.4.2 Cable CC**

Cable top Solar de 4mm<sup>2</sup> de sección. 1,8kV en CC, temperatura de servicio de 90°. Corriente máxima de transporte 55 A, a 40° C al aire. Intensidad adyacente a superficie de 44 A.

##### **4.4.3 Cable CA**

- En el caso de corriente alterna se utilizó un conductor RVK Reviflex de 16mm<sup>2</sup> entre cada inversor y el tablero T.D.FV. y RV-K de 50mm<sup>2</sup> entre T.FV y conexión a red. Cable de cobre blando flexible, conductor Multipolar, con aislación de polietileno reticulado (XLPE), compuesto termoplástico de Policloruro de Vinilo (PVC). Color: Negro. Aplicaciones: Conductores de potencia y control para instalaciones fijas. Especialmente diseñado para ser usado en edificios residenciales, comerciales, industriales y subestaciones. Se caracteriza por su alta flexibilidad lo que permite una fácil instalación. Puede ser instalado de forma aérea, en bandeja, en ducto, directamente enterrado y de buen comportamiento en lugares húmedos, puede estar temporalmente sumergido en agua. Capacidad Máxima de Corriente:
- 16mm<sup>2</sup>: En ductos a temperatura ambiente de 30°C 79 Amperes. Conductor al aire libre, a 30°C 100 Amperes.
- 50mm<sup>2</sup>: En ductos a temperatura ambiente de 30°C 156 Amperes. Conductor al aire libre, a 30°C 232 Amperes.

#### **4.5 Canalizaciones**

Tubería metálica galvanizada en CC de 1", 1 1/4" y 1 1/2" Recubrimiento exterior e interior galvanizado exento de cromados. En extremo es roscada con hilo NPT. Una copla por tira, hilo recto.

Caja galvanizada. Dimensiones: 300x200x100mm.

Canal metálica galvanizada. 150x150mm.

Tubería Flexible metálica 3/4". Compuesta de fleje de acero laminado en frío y galvanizado en caliente. Cubierta de PVC. IP66. Estándar UL-797

#### 4.6 Tablero T.FV.Aux.

Tablero	Datos
Largo	1000
Ancho	800
Profundidad	400
IP	65
Material	Acero laminado conformado en frío
Tratamiento anticorrosivo	En base a fosfato de zinc
Sello puerta	Goma esponja
Cierre	Estándar extraíble con bisagras interiores
Color de placa porta equipo	Naranja
Color	Ral-7032 (Beige)
Pernos de tierra	1/4"
Contratapa	800 x 600 mm / Acero laminado



## Capítulo 5. Cubicación de los materiales

### 5.1 Componentes generales

Cubicación general	
Producto	Cantidad
Tablero metalico 1000x800x250	1
Panel Hanwha 325W	154
Inversor Fronius Symo 20.0-3-M	3
Inversor Fronius Symo 10.0-3-M	1
Tablero monitoreo 400x300	1
Cable Top Solar ZZF 4mm2 rojo	350m
Cable Top Solar ZZF 4mm2 negro	400m
Cable Multiflex RVK 50mm2	80m

### 5.2 Estructura

Cubicación general	
Producto	Cantidad
Portico Alusin Bulnes 30°	140
Perfil V5	460 mt
Grapa Correa	560
Pernos cabeza de martillo 25mm	560
Tuerca Biselada M8	1064
Grapa final universal	112
Perno Cabeza de Martillo 65mm	112
Grapa Intermedia	392
Perno Cabeza de Martillo 65mm	392

## Capítulo 6. Estimación de la producción de energía

Para detalles sobre simulación consultar anexo adjunto “Simulación Liceo Industrial Superior de Talca”