

Memoria explicativa

El presente documento tiene por objeto exponer los detalles y bases de cálculos de la instalación fotovoltaica a llevar a cabo por la UTP Chilectra/Solar del Valle en el marco del programa de techos solares para el Hospital de Parral impulsado por el Ministerio de Energía.

Descripción de la obra

- Instalación fotovoltaica de 60.32 kWp on-grid sin respaldo de baterías.
- La dirección de la propiedad es la que se indica en el Anexo 9 de las bases técnicas: Aníbal Pinto #1255, Parral, VII Región. Esta zona es atendida por la distribuidora de energía CGE Distribución.
- Las coordenadas de ubicación son: 36.1415°S, 71.8147°W

A continuación, una vista desde Google Earth



Los elementos principales de la instalación son:

Módulos Fotovoltáicos

232 módulos fotovoltaicos marca China Sunergy modelo CSUN 260-60P de 260Wp conectados en diferentes strings e inversores, conformando una unidad generadora de 60.32kWp. Se instalarán sobre la cubierta de los tres edificios principales que componen el Hospital de Parral. Se tiene una disposición de 3 strings con 2 series de 20 módulos cada uno, 2 strings con 2 series de 19 módulos cada uno y 1 strings con 2 series de 18 módulos.

Inversor On-grid

Inversor marca Omnik modelo Omniksol-20k-TL, el cual posee una potencia nominal de 20kWp. Se disponen tres inversores similares funcionando de manera independiente. Reciben la energía CC proveniente del arreglo de paneles fotovoltaicos, transformando en energía AC y a disposición de los consumos, ya sea para los equipos eléctricos internos del Hospital o inyección en el caso de excedentes.

Tablero de protecciones AC

Tablero AC que centraliza la instalación fotovoltaica. Cumple dos funciones principales:

- Interruptor de acoplamiento: Conformado por 2 contactores en serie (redundancia) que se abren/cierran ante la ausencia/presencia de energía desde la red de la distribuidora. De esta manera, se evitan inyecciones de energía no deseadas hacia la red. El instante de acción y tiempo de respuesta respectivos lo determina la protección RI interna de cada inversor, las cuales han sido configuradas para valores inadmisibles de tensiones o la frecuencia de acuerdo a la norma técnica de la Ley 20.571 de Generación Distribuida.
- Protecciones AC: Provee las protecciones respectivas de cada inversor, así como el sistema de control del interruptor de acoplamiento.

Simulación del sistema

La simulación del sistema fotovoltaico se realiza con el software del fabricante Omnikdesign y con el software PVSyst 5. La distribución de módulos e inversores, con sus respectivos strings, es la siguiente:

- Inversor 1: Omniksol-20k-TL
 - Input 1 **2 series de 20 módulos**
 - Input 2 **2 series de 19 módulos**
- Inversor 2: Omniksol-20k-TL
 - Input 1 **2 series de 20 módulos**
 - Input 2 **2 series de 19 módulos**
- Inversor 3: Omniksol-20k-TL
 - Input 1 **2 series de 20 módulos**
 - Input 2 **2 series de 18 módulos**

Los datos de locación que se consideran en la simulación con Omnikdesign son los siguientes:

- Ubicación geográfica : Parral, VII Región, Chile.
- Latitud (coordenada) : -36. 14125°
- Longitud (coordenada) : -71. 8133°
- Altitud sobre nivel de mar : 177 metros
- Rango de temperatura : 6°C - 30°C

La descripción de los equipos a utilizar son los siguientes:

Inversores

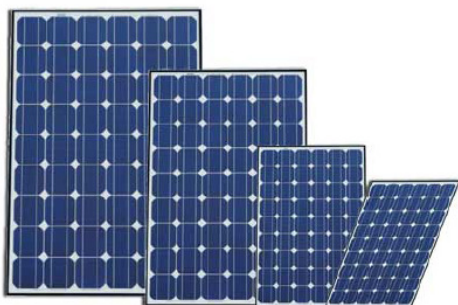
Omniksol-20k-TL



			MPPT Vol Range :	480 ~ 800	V
			Number of MPPT :	2	
			Max.Allowed AC	19,200	W
			Power :		
			Max.AC Current :	29	A
			Rated AC Power :	19,200	W
			Grid Vol Range :	187-264	V
			Grid Freq Range :	47.5-51.5	Hz
			Max.Efficiency :	98.2	%
			Euro Efficiency :	97.8	%
Max.DC Power :	21,200	W			
Max.DC Voltage :	1,000	V			
Max.DC Current :	22/22	A			

Módulos fotovoltaicos

China Sun Energy CSUN260P



Material :	poly	
MPP Voltage :	35	V
Module Area :	2	m ²
MPP Current :	8	A
Peak Power :	260	W
Open Circuit Voltage :	44	V
Efficiency :	13.43	%
Short Circuit Current :	8	A
Allowed Voltage :	1,000	V

Los datos de modelación para los distintos arreglos se resumen a continuación:

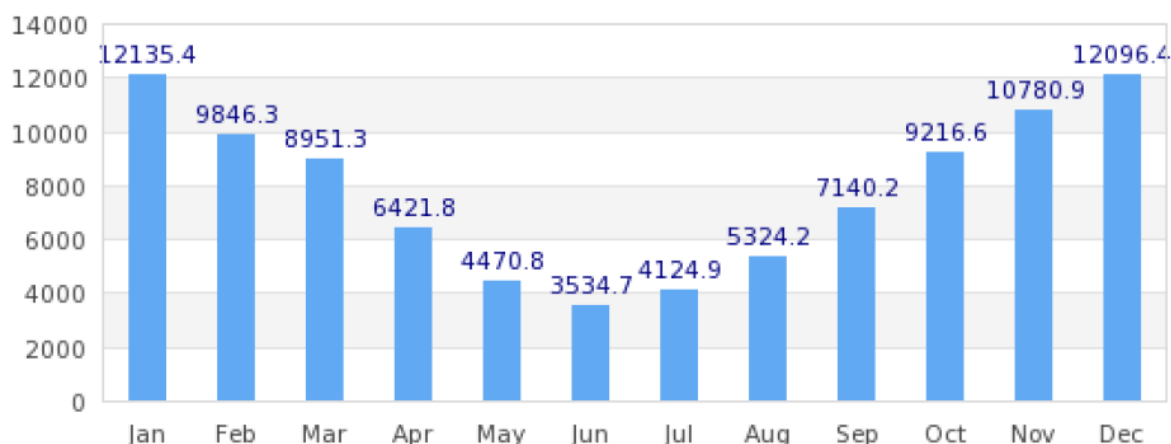
Inversor 1: Omniksol-20k-TL		
	Input 1	Input 2
Potencia (W)	10.400	9.880
Área total campo (m ²)	78	74
Ángulo de inclinación (grados)	15	15
Angulo azimutal (grados)	-144	-144
Número de strings	2	2
Número de módulos por string	20	19
Inversor 2: Omniksol-20k-TL		
	Input 1	Input 2
Potencia (W)	10.400	9.880
Área total campo (m ²)	78	74
Ángulo de inclinación (grados)	15	15
Angulo azimutal (grados)	-144	-144
Número de strings	2	2
Número de módulos por string	20	19
Inversor 3: Omniksol-20k-TL		
	Input 1	Input 2
Potencia (W)	10.400	9.360
Área total campo (m ²)	78	70
Ángulo de inclinación (grados)	15	15
Angulo azimutal (grados)	126	126
Número de strings	2	2
Número de módulos por string	20	18

Los resultados de la simulación para la capacidad de generación de energía mensual, anual y reducción de emisiones de CO₂ a la atmósfera son los siguientes:

Sumario	
Inversores	3 × Omniksol-20k-TL
Potencia fotovoltaica (W)	60.320
Potencia máx. fotovoltaica (W)	63.600
Potencia máx. en corriente alterna (W)	57.600
Número de módulos	232
Área total campo fotovoltaico (m ²)	450
Energía anual (kWh/año)	94.043
Reducción emisiones CO ₂ (ton)	85

El gráfico de la distribución mensual con la energía generada por el campo fotovoltaico a continuación:

Monthly Capacity (kWh)



Para la simulación con el software PVSyst el sistema se resume como a continuación:

Sistema	
Módulos fotovoltaicos	CSUN 260-60P
Inversores	Omniksol-20k-TL
Número de inversores	3
Potencia nominal (W)	60.320
Voltaje MPP (V)	31.5
Corriente MPP (A)	8.3
Potencia nominal del inversor (KW)	19.2
Inclinación (°)	15
Azimut (°)	-34

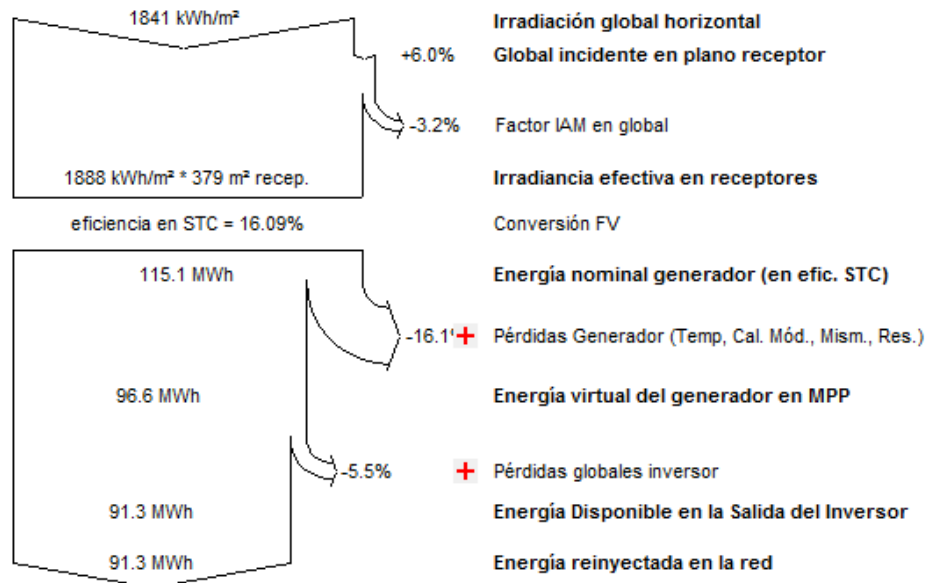
Los datos de locación geográfica, y otros de interés son análogos a la simulación realizada con el software del fabricante Omnikdesign. Se presentan a continuación:

Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación

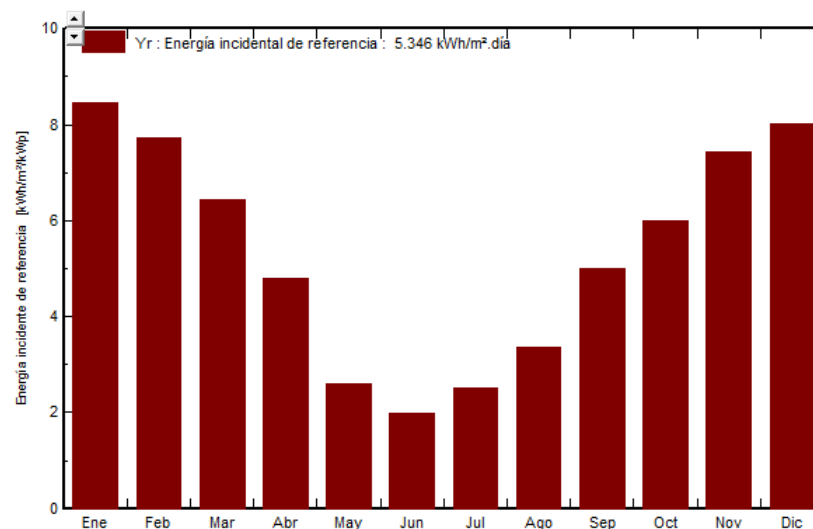
Proyecto :	Proyecto Conectado a la Red at Hospital de Parral			
Lugar geográfico	Hospital de Parral		País	Chile
Ubicación	Latitud	36.1°S	Longitud	71.8°W
Hora definido como	Hora Legal	Huso hor. UT-4	Altitud	177 m
	Albedo	0.20		
Datos climatológicos :	Hospital de Parral, Síntesis datos por hora			

Los resultados de la simulación para las distintas variables de interés se encuentran anexas en el documento **Simulación PVSyst** y se resumen en las gráficas siguientes:

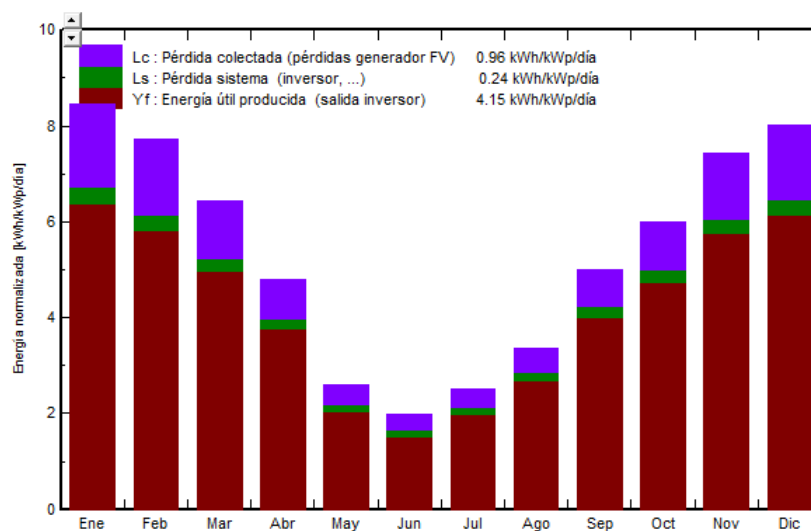
Diagrama de pérdida del sistema



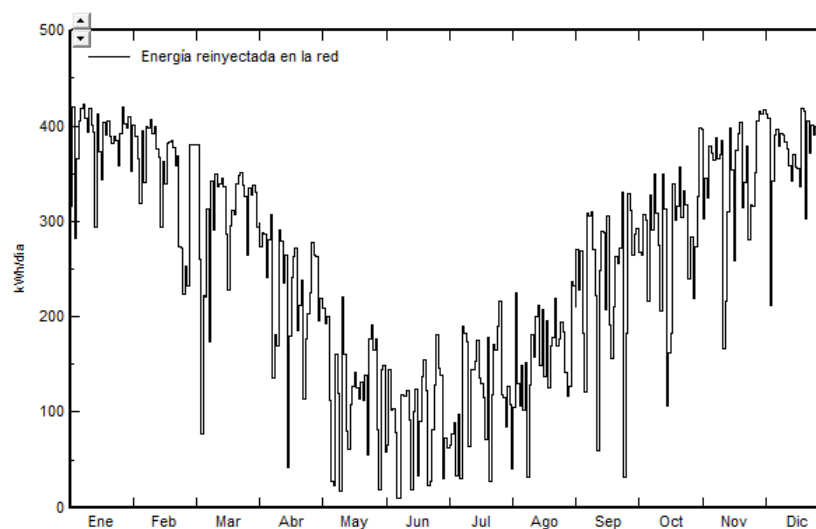
Energía incidente de referencia en el plano receptor



Producción normalizada por kWp instalado



Energía diaria de salida del sistema



Resultados principales de la simulación

Producción del sistema	91.263 kWh/año
Producción específica	1513 kWh/kWp/año
Factor de rendimiento	0.775
Producción normalizada	4.15 kWh/kWp/día
Pérdidas del generador	0.96 kWh/kWp/día
Pérdidas del sistema	0.24 kWh/kWp/día

Se tiene para ambas simulaciones, una producción de energía inyectada anual de **94.043 kWh/año** y **91.263 kWh/año** respectivamente.

Cálculos justificativos

Arreglo de paneles

Para la confirmación de la correcta conexión de los paneles fotovoltaicos a los inversores Omniksol-20k-TL se utiliza el programa de diseño Omnikdesign del proveedor de inversores. Según sus resultados se observa que al conectar hasta 20 módulos en serie se respetan los parámetros del inversor.

MPPT1: 2x20 en serie

MPPT2: 2x19 en serie

Omniksol-20k-TL Check List			
MPPT-1			
Parameter	Value	Range	
Vmpp[V]	694	✓	480 ~ 800
Impp[A]	15	✓	<22
Voc [V]	967	✓	<1000
Power[W]	11336	✓	<12720
MPPT-2			
Parameter	Value	Range	
Vmpp[V]	659	✓	480 ~ 800
Impp[A]	15	✓	<22
Voc [V]	919	✓	<1000
Power[W]	10769	✓	<12720
Total			
Max.Allowed PV Power [W]			21200
Max.Allowed AC Power [W]			19200
Total Quantity of PV-module			78
Module Area [m²]			151.32
<div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div>			

MPPT1: 2x20 en serie

MPPT2: 2x18 en serie

Omniksol-20k-TL Check List			
MPPT-1			
Parameter	Value	Range	
Vmpp[V]	694	✓	480 ~ 800
Impp[A]	15	✓	<22
Voc [V]	967	✓	<1000
Power[W]	11336	✓	<12720
MPPT-2			
Parameter	Value	Range	
Vmpp[V]	625	✓	480 ~ 800
Impp[A]	15	✓	<22
Voc [V]	870	✓	<1000
Power[W]	10202	✓	<12720
Total			
Max.Allowed PV Power [W]			21200
Max.Allowed AC Power [W]			19200
Total Quantity of PV-module			76
Module Area [m²]			147.44
<div><div>70%</div><div>80%</div><div>110%</div><div>120%</div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div>▲</div>			

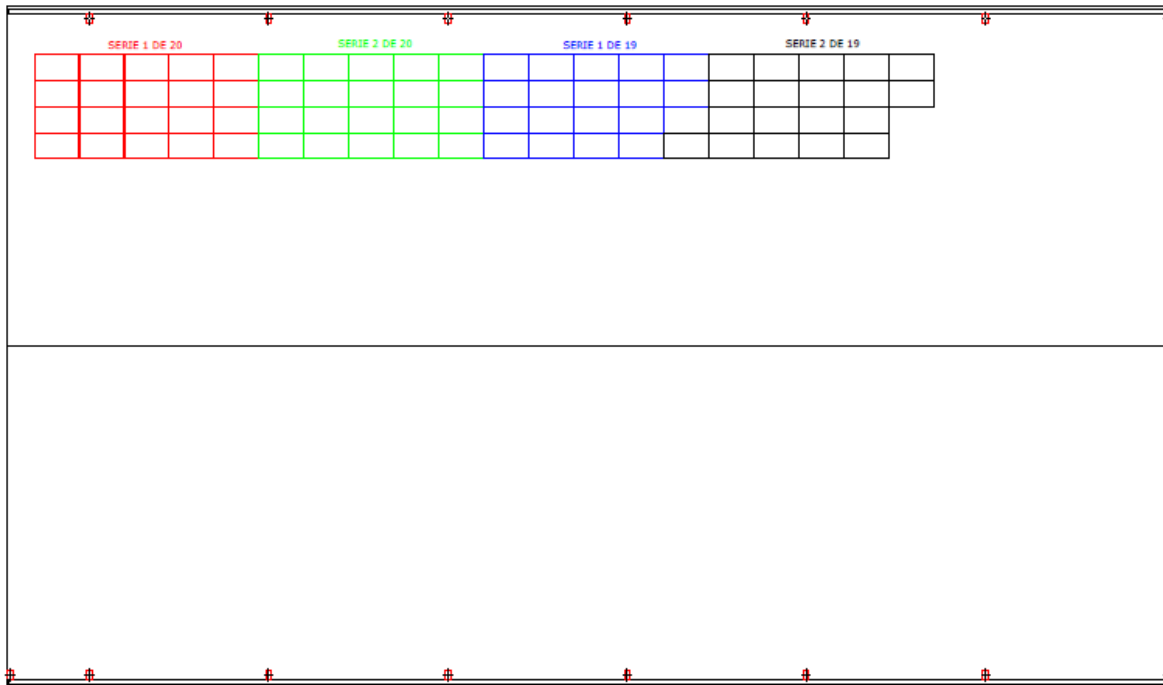
De acuerdo a lo expuesto anteriormente, se utilizan las 2 entradas MPPT de cada inversor. Es decir, en dos inversores una entrada MPPT recibe 2 strings de 20 paneles y la otra recibe 2 strings de 19 paneles. El restante recibe 2 strings de 20 paneles y 1 de 18 paneles en cada MPPT respectivo. Se elimina así la posibilidad de desperfecto por corriente inversa, haciéndose innecesario el uso de fusibles en cada string. El cableado respectivo puede llegar directo al inversor.

Cableado y canalización

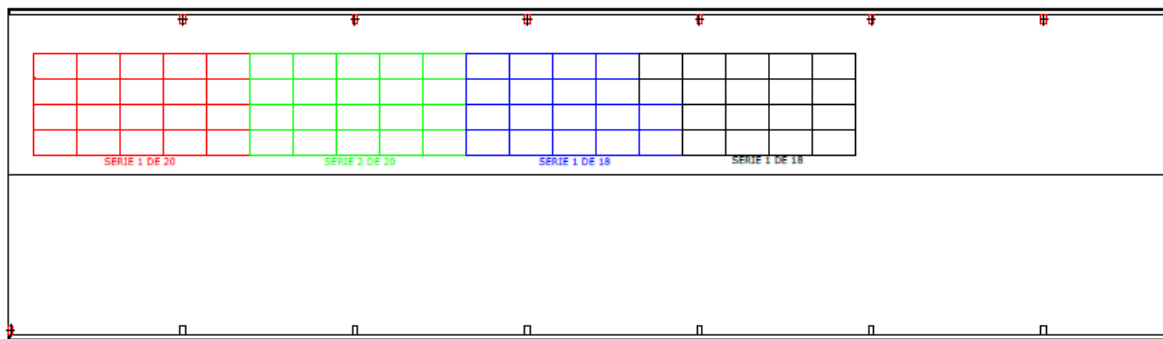
Los strings de paneles se conforman de modo de agrupar paneles contiguos minimizando la utilización de cable. A continuación, el detalle (los colores identifican distintos strings)

Edificio 1 – 2 strings de 20 módulos y 2 strings de 19 módulos

EDIFICIO 1 ORIENTACIÓN 34° AL ESTE



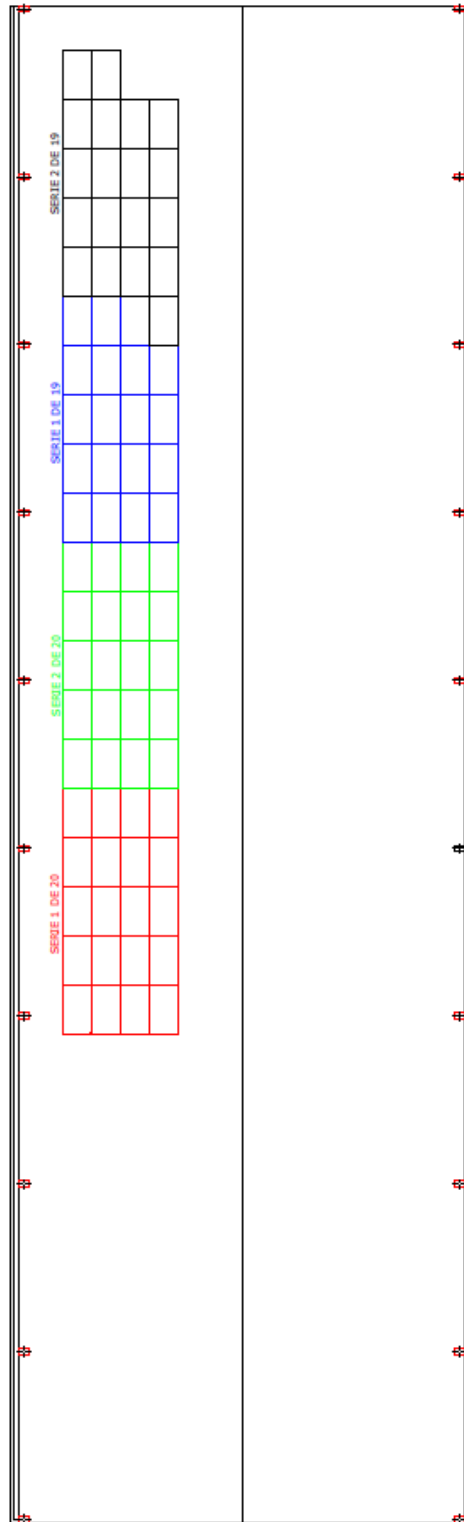
Edificio 2 – 2 strings de 20 módulos y 2 strings de 18 módulos



EDIFICIO 2 ORIENTACIÓN 34° AL ESTE

Edificio 3 – 2 strings de 20 módulos y 2 strings de 19 módulos

EDIFICIO 3 ORIENTACIÓN 56° AL OESTE



El cableado entre paneles de una mismo string se realiza con los conectores del panel, utilizándose la estructura de soporte como guía y protección del cable. Cuando se debe cablear de una fila a otra contigua, se utilizan los perfiles perpendiculares para tal efecto.

El cable desde los paneles hacia el inversor se lleva por medio de una canalización mediante escalerilla por el entretecho de los edificios y de manera subterránea entre ellos. Se utilizan tres tubos PVC de 50mm². Uno para los cables positivos ZZ-F de 4mm², otro para los negativos de 4mm² y otro para el cable de tierra de 16mm² usado para aterrizar la estructura y marco de los paneles fotovoltaicos.

En cuanto al tramo CA, la energía saliente del tablero CA se lleva hasta el tablero T.F. y A., el cual constituye el punto de inyección de energía solar. Para tal efecto, se utilizan 10 metros de cable THHN 5x13.3mm² canalizados por el muro donde se instalarán los inversores.

Respecto a las pérdidas, en el tramo CC en promedio estas son de 0.33%. En el tramo CA, considerando el mayor recorrido desde la salida de los inversores hasta el punto de inyección a la red del distribuidor pequeño en el empalme, estas son de 0.99%. Los detalles se encuentran anexos en las tablas al final de este documento.

Protecciones

CC

Cada inversor posee un DC switch que actúa como seccionador de la energía proveniente de los paneles fotovoltaicos en la eventualidad que se desee aislar los equipos.

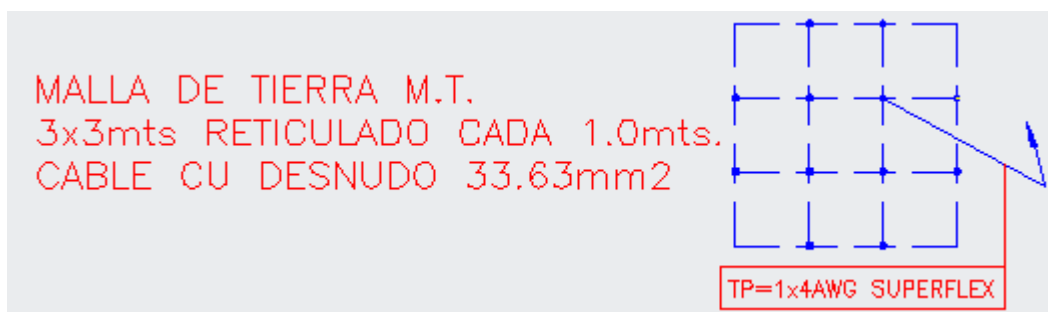
No se requiere de fusibles para protección contra corriente inversa, ya que como se mencionó anteriormente, se conectan a lo más 2 strings por entrada MPPT.

CA

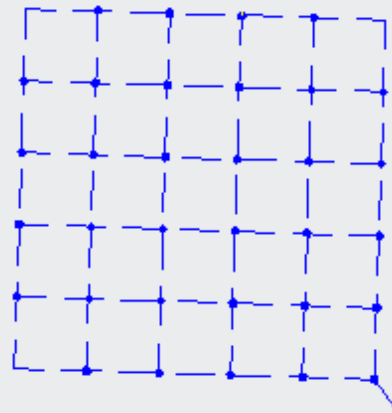
Ubicadas en el tablero CA (**este tablero se dispone de acuerdo a la norma NCH Elec 4/2003**). Según las especificaciones técnicas de los inversores, la corriente máxima que inyectará cada uno es de 29A. Por ende, se utiliza un interruptor magneto térmico tetrapolar de 4x32A curva C y un diferencial de 4x40A, 300mA para cada uno. Adicionalmente, en el mismo tablero se agrega como protección general un interruptor magneto térmico tripolar de 3x63A curva C. Por último, en el tablero que recibe la energía proveniente de los inversores, se agrega otro interruptor magneto térmico tripolar de similares características, 3x63A.

Tierra de protección

Se construye una tierra de protección en base a la malla tierra existente actualmente. Se tienen dos mallas actualmente en el recinto:



MALLA DE TIERRA B.T.
5x5mts RETICULADO CADA 1.0mts.
CABLE CU DESNUDO 67.4mm²



Se comprobará en terreno si las mallas existentes permiten aterrizar la planta fotovoltaica de manera que se obtenga una tierra de protección con resistencia menor a 20 Ohm, tal como lo exige la norma. De lo contrario, se realizará una malla nueva en base a electrodos.

La resistencia de un único electrodo se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$R_e = \frac{\rho_{eq}}{2 \times \pi \times L_1} \times \ln\left(\frac{2 \times L_1}{a}\right) \quad (1.1)$$

L_1 : Largo del electrodo (m).
 a : Radio del electrodo (m).
 ρ_{eq} : Resistividad equivalente ($\Omega \times m$).

La resistencia del conjunto de electrodos se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$R_F = K \times \frac{R_e}{N_e} \quad (1.2)$$

R_f Resistencia final ohms
K Constante de combinación
R_e Resistencia de 1 electrodo ohms
N_e Numero de electrodos en paralelo

Utilizando barras de 5/8"x1.5 m para lograr la tierra de protección con resistencia menor a 20 Ohm, tal como exige la norma, se tiene la siguiente tabla:

Re	L1 [m]	a ["]	a [m]
62,97	1,5	5/8	0,007938

Electrodos	K	Re [Ω]	Rf [Ω]
1	1	62,97	62,97
2	1,1523	62,97	36,28
3	1,3053	62,97	27,40
4	1,4139	62,97	22,26
5	1,4982	62,97	18,87
6	1,5670	62,97	16,45
7	1,6252	62,97	14,62
8	1,6756	62,97	13,19
9	1,7201	62,97	12,03
10	1,7599	62,97	11,08

Las 5 barras en cuestión se instalarían cercanas al tablero CA. Se debe tener presente, además, que la estructura de montaje también constituye un elemento metálico tipo enmallado que aporta a la obtención de una menor resistencia de la tierra de protección.

En cuanto a los marcos de los módulos y estructura de montaje, estos se aterrizan por medio de cable THHN de 5.26mm². Cada módulo se conecta con los módulos adyacentes y con la estructura. Adicionalmente, las estructuras se aterrizan, también mediante un cable THHN de 5.26mm². La canalización hasta el tablero CA se realiza mediante un cable RV-K de 16mm².

Caídas de tensión

Las caídas de tensión en CC y AC se calculan de la siguiente manera:

$$\text{caída de tensión} = \frac{u}{V} \cdot 100\% \quad (1.3)$$

donde

$$u = R \cdot I \quad (1.4)$$

$$I = \frac{P}{V} \quad (1.5)$$

$$R = \frac{L}{e \cdot S} \quad (1.6)$$

u = caída de tensión en el conductor

V = tensión en la carga

R = resistividad del conductor

I = corriente en el conductor

L = largo del conductor

e = conductividad

S = sección del conductor

CUADRO DE UNIDAD GENERACIÓN FOTOVOLTAICA DE CC																														
N°	UG	MPPT (Nº String)	Módulos o Paneles						String o cadena					Canalización CC de String						UG			Inversor							Ubicación
			Tipo Modulo	Pot. Max (W)	Corriente Max. (A)	Voltaje de Circuito Abierto Voc (V)	Corriente Cortocircuito (A)	Corriente Máx. Inversa	Cantidadde Módulos	Voltaje Máx. String (V)	Potencia max (W)	Automático o Fusible	Diodo de bloqueo Tensión inversa (V)	Ducto		Conductor					Potencia máx o peak (W)	Corriente Máx String (A)	Voltaje Máx String (V)	Rango de Entrada CC		Potencia Nominal (W)	Voltaje AC (V)	Tipo (String, central o micro)	Modelo y marca	
														Tipo	Sección mm	Tipo	Sección mm2	Corriente máx. (A)	Largo m	Caída de Tensión				V (V)	I (A)					
1	1	1 (1)	Poly	260	8,37	38,1	8,98	15	20	762	5200	-	-	tp	50	ZZ-F	4	55	14	0.85V 0.11%	20280	8,37	762	250 1000	0 25	20000	380	String	Omniksol 20k-TL	Muro externo Edificio 1
		1 (2)	Poly	260	8,37	38,1	8,98	15	20	762	5200	-	-	tp	50	ZZ-F	4	55	20	1.22V 0.16%				250 1000	0 25					
		2 (1)	Poly	260	8,37	38,1	8,98	15	19	724	4940	-	-	tp	50	ZZ-F	4	55	24	1.46V 0.20%				250 1000	0 25					
		2 (2)	Poly	260	8,37	38,1	8,98	15	19	724	4940	-	-	tp	50	ZZ-F	4	55	26	1.58V 0.22%				250 1000	0 25					
2	2	1 (1)	Poly	260	8,37	38,1	8,98	15	20	762	5200	-	-	tp	50	ZZ-F	4	55	50	3.05V 0.40%	20280	8,37	762	250 1000	0 25	20000	380	String	Omniksol 20k-TL	Muro externo Edificio 2
		1 (2)	Poly	260	8,37	38,1	8,98	15	20	762	5200	-	-	tp	50	ZZ-F	4	55	56	3.41V 0.45%				250 1000	0 25					
		2 (1)	Poly	260	8,37	38,1	8,98	15	19	724	4940	-	-	tp	50	ZZ-F	4	55	63	3.84V 0.53%				250 1000	0 25					
		2 (2)	Poly	260	8,37	38,1	8,98	15	19	724	4940	-	-	tp	50	ZZ-F	4	55	70	4.27V 0.59%				250 1000	0 25					
3	3	1 (1)	Poly	260	8,37	38,1	8,98	15	20	762	5200	-	-	tp	50	ZZ-F	4	55	35	2.13V 0.28%	19760	8,37	762	250 1000	0 25	20000	380	String	Omniksol 20k-TL	Muro externo Edificio 3
		1 (2)	Poly	260	8,37	38,1	8,98	15	20	762	5200	-	-	tp	50	ZZ-F	4	55	41	2.50V 0.33%				250 1000	0 25					
		2 (1)	Poly	260	8,37	38,1	8,98	15	18	686	4680	-	-	tp	50	ZZ-F	4	55	47	2.86V 0.42%				250 1000	0 25					
		2 (2)	Poly	260	8,37	38,1	8,98	15	18	686	4680	-	-	tp	50	ZZ-F	4	55	54	3.29V 0.48%				250 1000	0 25					

UG Nº	MPPT (Nº String)	UG			Inversor				Ubicación	Protecciones CA		Canalización CA								
		Potencia máx o Peak (W)	Corriente Max. String (A)	Voltaje máx String (V)	Rango de Entrada CC		Potencia Nominal (W)	Voltaje AC (V)		Tipo (String, central o micro)	Modelo y marca	Automático	Diferencial	Ducto		Conductor				
					V (V)	I (A)								Tipo	Sección mm2	Tipo	Sección mm2	Corriente máx. (A)	Largo m	Caída de Tensión
1	1 (1)	20280	8,37	762	250	0	20000	380	String	Omniksol 20k-TL	Muro externo Edificio 1	4x32A, Curva C 10kA	4x40A Tipo A 300mA	Canaleta metálica	40	THHN	13.3	75	10	1.22V 0.32%
	1000				25															
	250				0															
	1000				25															
2 (1)	250	0	250	0																
2 (2)	250	0	250	0																
2	1 (1)	20280	8,37	762	250	0	20000	380	String	Omniksol 20k-TL	Muro externo Edificio 1	4x32A, Curva C 10kA	4x40A Tipo A 300mA							
	1000				25															
	250				0															
	1000				25															
2 (1)	250	0	250	0																
2 (2)	250	0	250	0																
3	1 (1)	19760	8,37	762	250	0	20000	380	String	Omniksol 20k-TL	Muro externo Edificio 1	4x32A, Curva C 10kA	4x40A Tipo A 300mA							
	1000				25															
	250				0															
	1000				25															
2 (1)	250	0	250	0																
2 (2)	250	0	250	0																

