

**Memoria técnica descriptiva de sistema fotovoltaico
interconectado a la red “San Francisco”,
Oaxaca De Juárez, Oaxaca.**



Armenta y López 618 Manzana 35, Doctor Pardo, Centro
Oaxaca de Juárez, Oaxaca.
13.03.2024



OBJETIVO

Fundamentar normativa y técnicamente la selección y cálculo de componentes que conforman la instalación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red con capacidad de generación de 15 kW, salvaguardando en todo momento la seguridad del inmueble, de los equipos y componentes y sobre todo de las personas que se encuentran operando en el inmueble.

Los cálculos ejecutados en esta memoria técnica tienen como característica principal el hecho de que están basados en la NOM-001-SEDE-2012 y su numeral **4.4.1.8.**

GENERALIDADES

Las especificaciones aquí descritas forman parte del diseño del proyecto general que, en conjunto con los planos eléctricos, diagramas unifilares, fichas técnicas y certificados de equipos, abarcan todas las características técnicas eléctricas involucradas con la ejecución del proyecto.

INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

La siguiente central de generación fotovoltaica interconectada a la red fue diseñada y calculada para el usuario con dirección en Armenta y López 618 Manzana 35, Doctor Pardo, Centro Oaxaca de Juárez, Oaxaca y tiene las siguientes características:

- **Capacidad de generación:** 15 kW (1 inversor de 15 kW).
- **Potencia instalada:** 19.8 kWp (36 módulos fotovoltaicos).
- **Modelo y marca del inversor:** MAC-15KTL3-XL, GROWATT.
- **Modelo y marca de los módulos fotovoltaicos:** CS6W-550MS, Canadian Solar.
- **Ubicación:** Armenta y López 618 Manzana 35, Doctor Pardo, Centro Oaxaca de Juárez, Oaxaca.



DIMENSIONAMIENTO

1. CÁLCULO DE LOS VOLTAJES MÁXIMOS Y MÍNIMOS EN LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

DATOS ELÉCTRICOS | STC*

CS6W	525MS	530MS	535MS	540MS	545MS	550MS
Potencia nominal máx. (Pmax)	525 W	530 W	535 W	540 W	545 W	550 W
Voltaje de operación ópt. (Vmp)	40,7 V	40,9 V	41,1 V	41,3 V	41,5 V	41,7 V
Corriente de operación ópt. (Imp)	12,90 A	12,96 A	13,02 A	13,08 A	13,14 A	13,20 A
Voltaje de circuito abierto (Voc)	48,6 V	48,8 V	49,0 V	49,2 V	49,4 V	49,6 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	13,75 A	13,80 A	13,85 A	13,90 A	13,95 A	14,00 A
Eficiencia del módulo	20,5%	20,7%	20,9%	21,1%	21,3%	21,5%

Imagen 1 – Datos técnicos del módulo a utilizar

CARACTERÍSTICAS DE TEMPERATURA

Especificación	Datos
Coeficiente de temperatura (Pmax)	-0,34 %/°C
Coeficiente de temperatura (Voc)	-0,26 %/°C
Coeficiente de temperatura (Isc)	0,05%/°C
Temperatura de operación nominal del módulo	42 ± 3 °C

Imagen 2 – Coeficientes de temperatura del módulo a utilizar

Temperatura mínima del lugar: 0°C Temperatura máxima del lugar: 39°C

NOTA: Los datos de la temperatura mínima y máxima son obtenidos de la base de datos oficial de la **CONAGUA**.



00020329
FORTIN, OAXACA DE JUAREZ

TEMPERATURA MÁXIMA

Mes	Año	Núm.	Valor	Fecha	Se ha	Valor	Fecha	Se ha	Valor	Desv.
Inicio	Fin	Años	Máximo	Máxima	Repetido	Mínimo	Mínima	Repetido	Medio	Estándar
Ene	1980	2017	22	34.0	1995-01-19	Si	19.0	1980-01-26	Si	26.9 2.7
Feb	1980	2017	20	38.0	1983-02-16	No	14.0	1983-02-12	No	28.6 3.1
Mar	1980	2017	22	39.0	1995-03-23	No	19.0	1998-03-11	No	30.7 2.8
Abr	1980	2017	20	39.0	1986-04-10	Si	23.0	1980-04-20	Si	31.4 3.2
May	1980	2017	20	39.0	1981-05-13	Si	20.0	1981-05-02	Si	31.4 3.1
Jun	1980	2017	22	38.0	1998-06-01	Si	18.0	1999-06-29	No	29.3 3.4
Jul	1980	2017	22	39.0	1980-07-24	No	19.0	1982-07-17	Si	28.7 2.8
Ago	1979	2017	22	39.0	1979-08-12	Si	20.0	1981-08-01	Si	28.6 3.1
Sep	1979	2017	24	38.0	1979-09-01	No	17.0	1983-09-24	No	27.7 2.8
Oct	1979	2017	24	35.0	1981-10-05	Si	18.0	1980-10-29	Si	27.8 2.7
Nov	1979	2017	22	34.0	1994-11-27	Si	17.0	1999-11-24	Si	27.4 2.6
Dic	1979	2017	23	33.0	1994-12-04	No	17.0	1999-12-08	Si	26.4 2.7

TEMPERATURA MÍNIMA

Mes	Año	Núm.	Valor	Fecha	Se ha	Valor	Fecha	Se ha	Valor	Desv.
Inicio	Fin	Años	Máximo	Máxima	Repetido	Mínimo	Mínima	Repetido	Medio	Estándar
Ene	1980	2017	22	17.0	2001-01-18	Si	0.0	1996-01-14	Si	9.5 3.0
Feb	1980	2017	20	26.0	2000-02-01	No	3.0	1996-02-05	Si	12.1 4.0
Mar	1980	2017	22	19.0	1997-03-25	Si	3.0	1986-03-22	No	12.9 2.7
Abr	1980	2017	20	19.0	1981-04-25	Si	9.0	1996-04-18	No	14.6 1.7
May	1980	2017	20	22.0	1983-05-26	No	9.0	1985-05-03	No	15.2 1.8
Jun	1980	2017	22	22.0	1983-06-17	Si	9.0	1998-06-12	No	15.4 1.9
Jul	1980	2017	22	24.0	1983-07-30	No	7.0	1986-07-08	No	14.9 2.0
Ago	1979	2017	22	24.0	1983-08-07	No	10.0	1979-08-04	Si	15.0 1.8
Sep	1979	2017	24	24.0	1994-09-09	No	10.0	1984-09-27	Si	15.0 1.7
Oct	1979	2017	24	25.0	1983-10-01	No	7.0	1982-10-27	No	14.3 2.4
Nov	1979	2017	22	17.0	1980-11-02	Si	5.0	1982-11-07	Si	11.9 2.6
Dic	1979	2017	23	24.0	1983-12-03	Si	2.0	1997-12-15	Si	10.6 3.4

Imagen 3. Temperaturas máximas y mínimas de la base de datos de CONAGUA.

DATOS:

$V_{oc} = 49.6 \text{ V}$ $V_{mp} = 41.7 \text{ V}$

Coefficientes de temperatura V_{oc} : $-0.26\%/^{\circ}\text{C}$

Coefficiente de temperatura V_{mp} : $-0.34\%/^{\circ}\text{C}$

Cálculo de la tensión máxima **690-7 a) 1)**

$$V_{oc \max} = V_{oc} + [(T_{\min} - 25^{\circ}\text{C}) \times (C_T \times V_{oc})]$$

$$V_{oc \max} = 49.6 \text{ V} + [(0^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}) \times (-0.26 \frac{\%}{^{\circ}\text{C}} \times 49.6 \text{ V})]$$

$$V_{oc \max} = 52.82 \text{ V}$$

Cálculo de la tensión mínima

$$V_{MP \min} = V_{MP} + [(T_{\max} + A_{temp} - 25^{\circ}\text{C}) \times C_T \times V_{MP}]$$

$$V_{MP \min} = 41.7 \text{ V} + [(50^{\circ}\text{C} + 30^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}) \times (-0.34 \frac{\%}{^{\circ}\text{C}} \times 41.7 \text{ V})]$$

$$V_{MP \min} = 35.46 \text{ V}$$

2. CÁLCULO DE LA CORRIENTE MÁXIMA DEL CIRCUITO DE FUENTE FOTOVOLTAICA

Con base en **690-8 a) 1)**, la corriente máxima de un circuito de fuente fotovoltaica, es determinada de la siguiente manera:

$$I_{\max} = 1.25 \times I_{sc}$$



Sustituyendo la corriente de cortocircuito con la indicada en placa de datos:

$$I_{max} = 1.25 \times 14 \text{ A}$$

$$I_{max} = 17.5 \text{ A}$$

3. RATIO O RELACIÓN CD/CA Y SELECCIÓN DE LOS INVERSORES

Como recomendación general, se sugiere tener una potencia de CD entre 110% y 130% respecto a la potencia del inversor en CA.

Con base en la anterior sentencia, se determina la potencia del o los inversores de interconexión:

$$\text{Potencia de los inversores} = \frac{\text{Potencia fotovoltaica}}{\text{Relación CD/CA}} = \frac{36 \text{ módulos} \times 550 \text{ Wp}}{1.3} = 15 \text{ kW}$$

Tomando en cuenta esta relación CD/CA que optimiza la operación del inversor, se opta por el uso de un inversor de la marca Growatt modelo MAC 15 KTL3-XL.

Adicionalmente, se revisó la potencia FV máxima que se puede conectar a la entrada de este inversor.

Hoja de datos	MAC 10KTL3-XL	MAC 12KTL3-XL	MAC 15KTL3-XL	MAC 20KTL3-XL
Datos de entrada (CD)				
Máxima potencia FV recomendada (STC)	15000W	18000W	22500W	30000W
Rango de potencia máxima	360-650V			
Voltaje de arranque	250V			
Voltaje nominal	550V			
Rango de voltaje de MPPT	200-850V			
Número de MPPTs	4			
Cadenas por MPPT	2/2/2/2			
Máxima corriente por MPPT	26A/26A/26A/26A			
Corriente de corto circuito por MPPT	32A/32A/32A/32A			

Imagen 4 – Datos de entrada del inversor de interconexión

Como se puede observar, la potencia FV máxima que el inversor Growatt modelo MAC 15 KTL3-XL de 15 kW puede soportar es de 22.5 kWp, por lo que la potencia de los módulos fotovoltaicos (19.8 kWp) se distribuirá en el equipo.

Con la finalidad de mantener el inversor operando de manera eficiente se buscará mantener una relación CD/CA superior al 100%.

$$Relación = 1.3$$

$$PFV \text{ por Inversor} = 15 \text{ kW} \times 1.32 = 19.8 \text{ kWp}$$

$$Módulos \text{ por inversor} = \frac{19.8 \text{ kWp}}{0.55 \text{ kWp}} = 36 \text{ módulos}$$

Por cuestiones de diseño, la distribución de los módulos fotovoltaicos con los inversores se muestra en la siguiente tabla:

Inversor	Número de módulos	Potencia (kWp)
1	36	19.8

4. DISTRIBUCIÓN Y FORMACIÓN DE CIRCUITOS DE FUENTE FOTOVOLTAICA

Este modelo de inversores cuenta con 4 seguidores del punto de máxima potencia (MPPT) cada uno de estos con 2 entrada, por lo que puede recibir una totalidad de 1 cadena de módulos.

Para el inversor 1 con 36 módulos:

$$\# \text{ Módulos por MPPT} = \frac{36 \text{ módulos}}{4 \text{ MPPT}} = 9 \text{ módulos}$$

Con este cálculo se define que el inversor tendrá en el MPPT 1,2,3 y 4 un total de 9 módulos por MPPT.

	MPPT 1
Inversor 1	36

NOTA: Cada MPPT en el inversor soporta una corriente de corto circuito de 17.5 A, por lo que, al conectarle una corriente máxima de 32 A, se encuentra dentro del rango aceptable.

Hoja de datos	MAC 10KTL3-XL	MAC 12KTL3-XL	MAC 15KTL3-XL	MAC 20KTL3-XL
Datos de entrada (CD)				
Máxima potencia EV recomendada (StC)	15000W	18000W	22500W	30000W
Rango de potencia máxima		360-650V		
Voltaje de arranque		250V		
Voltaje nominal		550V		
Rango de voltaje de MPPT		200-850V		
Número de MPPTs		4		
Cadenas por MPPT		2/2/2/2		
Máxima corriente por MPPT		26A/26A/26A/26A		
Corriente de corto circuito por MPPT		32A/32A/32A/32A		

Imagen 5 – Características de entrada del inversor

Conociendo el Voc máximo a la mínima temperatura esperada y el Vmp mínimo con la mayor temperatura esperada, se puede calcular el voltaje máximo y mínimo de módulos por inversor. El inversor tiene como característica eléctrica la capacidad de aceptar hasta 850 V_{CD}. El número máximo de módulos en cada cadena será:

$$\# \text{ módulos} = \frac{V \text{ máximo de entrada del inversor}}{Voc \text{ máximo del módulo}}$$

$$\# \text{ módulos} = \frac{850 V}{52.82 V}$$

$$\# \text{ módulos} = 16.09 \text{ módulos} = 16 \text{ módulo}$$

Número mínimo de módulos conectados en serie:

$$\# \text{ módulos} = \frac{V \text{ de arranque por MPPT del inversor}}{V_{MP} \text{ mínimo del módulo}}$$

$$\# \text{ módulos} = \frac{200 V}{35.46 V}$$

$$\# \text{ módulos} = 5.64 = 6 \text{ módulo}$$

Esto quiere decir que cada MPPT acepta perfectamente el voltaje del módulo que se le conectará tanto en sus rangos mínimos y máximos.

A continuación, un resumen de los circuitos fotovoltaicos:

Inversor	MPPT/Entrada	Número de módulos	Voc máximo	I máx (690-8)	Potencia FV
1	MPPT 1	9	475.38 V	17.5 A	4,950 Wp
2	MPPT 2	9	475.38 V	17.5 A	4,950 Wp
3	MPPT 3	9	475.38 V	17.5 A	4,950 Wp
4	MPPT 4	9	475.38 V	17.5 A	4,950 Wp

5. CÁLCULO DE CONDUCTORES EN CD



Al conectar 36 módulos por MPPT el cálculo de conductores aplicará para todos los casos:

Inversor	Inversor MPPT	Separación de la canalización con respecto al techo	Temperatura máxima	Factores de corrección 310-15 b) 2) a) Conductor FV 90°C	Factores de ajuste 310-15 b) 2) a)	Factor de distancia 310-15 b) 3) c)
1	MPPT 1	5 cm	39 °C	0.65 (61 °C) ¹	1	22 °C
	MPPT 2					
	MPPT 3					
	MPPT 4					

¹La temperatura utilizada para seleccionar el factor de corrección por temperatura es la resultante de la temperatura ambiente máxima más los grados adicionales indicados en la tabla 310-15 b) 3) c) para canalizaciones circulares expuestas a la luz solar en o por encima de azoteas.

El cálculo de conductores se hace tomando en cuenta dos métodos, el primero contempla solo la corriente máxima (I_{max}) multiplicada por un factor de 1.25 de acuerdo con 690-8 b) 1) y el segundo toma en cuenta los factores de corrección y ajuste en conformidad con 690-8 b) 2). La selección del conductor se basará en la mayor ampacidad calculada de los dos métodos anteriores.

DATOS:

Factor de corrección: 0.65 310-15 b) 2) a)

Factor de ajuste: 1 310-15 b) 3) a)

Corriente máxima (I_{max}): 14 A

Tipo de conductor: Cable fotovoltaico a 90°C.

a) 125% de la corriente máxima.

$$\begin{aligned} \text{Ampacidad} &= 1.25 \times I_{max} \\ \text{Ampacidad} &= 1.25 \times 14 \text{ A} \\ \text{Ampacidad} &= 17.5 \text{ A} \end{aligned}$$

b) Después de aplicar factores de corrección y ajuste.

$$\begin{aligned} \text{Ampacidad} &= \frac{I_{max}}{F_{ajuste} \times F_{corrección}} \\ \text{Ampacidad} &= \frac{14 \text{ A}}{0.1 \times 0.65} \end{aligned}$$



$$Ampacidad = 21.53A$$

La ampacidad mayor resultante es de 21.53 A y debido a que los conectores MC4 de los módulos e inversor operan a una temperatura nominal de 75°C **110-14 c)**, se toma en cuenta esta columna de la tabla **310-15 b) 16)** para seleccionar el conductor, dando como resultado un conductor calibre 3.31 mm² (12 AWG) con una ampacidad de 25 A a 75°C.

Conductor de puesta a tierra de equipos

La selección del calibre del conductor de puesta a tierra de equipos se hace con base en la sección **690-45 y 250-122 a)** considerando el dispositivo de protección contra sobrecorriente del circuito, o alguno simulado:

$$DPSC \geq 1.25 \times I_{max}$$

$$DPSC \geq 1.25 \times 14.35 A$$

$$DPSC \geq 17.93 A$$

Por lo tanto, la protección sería de 25 A, por lo que se selecciona un cable de cobre THHW de calibre 3.31 mm² (12 AWG).

6. CÁLCULO DE CONDUCTORES DE CA

Según **690-8 a) 3)**, la corriente máxima de circuito del inversor es igual a la corriente permanente de salida del inversor.

Salida (CA)				
Potencia nominal CA	10000W	12000W	15000W	20000W
Potencia aparente máxima	11100VA	13300VA	16600VA	22200VA
Voltaje nominal CA (Rango*)	127/220V (101.6-139.7V)			
Frecuencia de red CA (Rango*)	60Hz (55-65Hz)			
Corriente máxima de salida	29.2A	35A	43.7A	58.3A
Factor de potencia nominal (ajustable)	>0.99 / +0.8 ... -0.8			
Distorsión armónica total	< 3%			
Tipo de conexión CA	3L+N+PE			

Imagen 5 – Datos de salida del inversor de interconexión

La corriente de salida del inversor a la tensión de la red (220V) es de 43.7 A, este valor es considerado como la corriente máxima de salida.

$$I_{max} = 43.7 A$$

El procedimiento para la selección de los conductores de salida del inversor es exactamente igual al procedimiento establecido para conductores en CD, el cual se basa en las secciones **690-8 b) 1) y 2)**.

La temperatura de las terminales del inversor y de los interruptores termomagnéticos que se usarán es de 75°C y cada circuito de salida. Con esta



información ya se tienen los datos suficientes para el cálculo de los conductores del circuito de salida del inversor.

Para la selección, consideraremos conductores con aislamiento THHW a 90°C.

- a) 125% de la corriente máxima

$$\text{Ampacidad} = 1.25 \times I_{\text{inversores}}$$

$$\text{Ampacidad} = 1.25 \times 43.7 \text{ A} = 54.62 \text{ A}$$

- b) Después de aplicar factores de corrección y ajuste

DATOS:

Factor de ajuste: 1 **310-15 b) 3) a)**. El conductor neutro no se toma en cuenta como un conductor portador de corriente por 310-15 b) 5) 1).

Factor de corrección: 0.91 **310-15 b) 2) a)**, referido a la columna de 90 °C.

$$\text{Ampacidad} = \frac{I_{\text{del inversor}}}{F_{\text{ajuste}} \times F_{\text{temperatura}}}$$

$$\text{Ampacidad} = \frac{43.7 \text{ A}}{1 \times 0.91} = 48.02 \text{ A}$$

En este caso, la corriente mayor es la de 54.62 A. Como la temperatura de las terminales es de 75°C, se procede a seleccionar el conductor de esta columna. De acuerdo con la tabla **310-15 b) 16)** se selecciona un conductor calibre 13.3 mm² (6 AWG) con una ampacidad de 65 A a 75°C.

7. CÁLCULO DE LA PROTECCIÓN CONTRA SOBRECORRIENTE EN C.A. PARA CADA INVERSOR

Dado que la corriente de salida de cada inversor es de 43.7 A el dispositivo de protección contra sobrecorriente se calcula conforme **690-9 b)**

$$DPSC \geq 1.25 \times I_{\text{máx}}$$

$$DPSC \geq 1.25 \times 43.7 \text{ A}$$

$$DPSC \geq 48.02 \text{ A}$$

De acuerdo con **240-6 a)** se selecciona un interruptor termomagnético de 60 A.



Conductor de puesta a tierra de equipos

La selección del conductor de puesta a tierra de equipos del circuito se realiza con base a la **Tabla 250-122** dando como resultado un calibre 5.26 mm² (10 AWG). El aislamiento del conductor de puesta a tierra de equipos es THHW, color verde.

Cálculo de la canalización

El circuito de salida del inversor se canalizará por una sola tubería del tipo RMC o conduit pared gruesa **344-10** con un factor de relleno determinado mediante la **Tabla 1 del capítulo 10**, el cual será del 40%.

Área de los conductores de fase calibre 13.3 mm² (6 AWG): 147.06 mm²

Área del conductor de puesta a tierra de los equipos calibre 5.26 mm² (10 AWG): 15.9 mm²

Área total de los 4 conductores basados en la Tabla 5: 162.96 mm²

De acuerdo con la **Tabla 4, en la sección del Artículo 344** la canalización ideal es de 27 mm (1"). Dicho diámetro es seleccionado, debido a que al ser poca la distancia de cableado no es necesario aumentar el tamaño de la canalización por temas de instalación del cable.

