

TECHO SOLAR
INSTITUCIÓN EDUCATIVA
FRANCISCO JOSE DE CALDAS

MOMIL, CÓRDOBA



**SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR INTEGRADO A RED DE 41
KVA (AC) CON INVERSORES FRONIUS PRIMO 8.2**

Tabla de contenido

1. Objetivo	3
2. Presentación del proyecto	3
a. Propietario	3
b. Ingeniero diseñador	3
c. Objeto del proyecto	3
d. Normatividad	3
e. Diagrama unifilar del proyecto	4
f. Datos del sistema y medición.....	4
g. Notas a las Generalidades y Consideraciones del Diseño integrado a red.....	5
3. Análisis de coordinación de aislamiento eléctrico.....	12
4. Análisis de nivel de riesgo por rayos y medidas de protección contra rayos	13
5. Análisis del nivel de tensión requerido.....	13
6. Cálculo del Sistema de Puesta a Tierra	16
7. Dimensionamiento de conductores a utilizar	17
a. Dimensionamiento de conductores primera sección de cableado.....	17
b. Dimensionamiento de conductores segunda sección de cableado:	17
c. Dimensionamiento de conductores tercera sección de cableado:	17
8. Cálculo de pérdidas de energía	18
9. Cálculo de regulación de tensión	18
10. Cálculo de Barrajes (Sección mm ²).....	18
11. Cálculo y especificaciones técnicas de los equipos de medida.....	19

**DE ACUERDO CON EL FORMATO ANEXO 1 A LA RESOLUCIÓN CREG 030
DE 2018 PARA CONEXIÓN SIMPLIFICADA DE AGPE – ACTUALIZADA POR
LA RESOLUCIÓN CREG 174 DE 2021**

1. Objetivo

Mostrar los cálculos necesarios para el diseño de un sistema

2. Presentación del proyecto

a. Propietario

Nombre: Institución Educativa Francisco José de Caldas

Ubicación: Momil, Córdoba

b. Ingeniero diseñador

Nombre: Fernando Almentero

c. Objeto del proyecto

Proyecto Autogenerador a Pequeña Escala (AGPE) menor de 0,1 MW, con Sistema Fotovoltaico integrado a red con inversores Fronius y módulos fotovoltaicos Trina Solar para autoconsumo, con el objetivo de dar cumplimiento a lo contemplado en la LEY 1715 de 2014 de mitigar el impacto del efecto invernadero y del calentamiento global, compartir los excedentes con la red pública, asegurar el futuro energético y el ahorro de energía, con la posibilidad de escalar.

d. Normatividad

- 1.1.1. Ley 1715 de 2014
- 1.1.2. UPME 045 de 2016
- 1.1.3. Ley 2099 del 10 de Julio de 2021
- 1.1.4. Resolución CREG 174 de 2021
- 1.1.5. Resolución CREG 135 de 2021

- 1.1.6. RETIE 2013
- 1.1.7. NEC 2014
- 1.1.8. Inversores: UL1741-2015, UL1998, IEEE 1547-2003, IEEE 1547.1-2003, ANSI/IEEE C62.41, FCC Parte 15 A & B, NEC 2014 Artículo 690, C22. 2 No. 107.1-01 (Septiembre 2001) , UL1699B, CSA TIL M-07.
- 1.1.9. Fuentes de energía de uso general listadas por UL como FV de apagado rápido de equipo FV y cumple con la NEC 2017 sección 690.12 y C22.1-2015 Regla 64-218 Apagado rápido de sistemas FV, para conductores AC y DC, cuando se instalan de acuerdo con las instrucciones del fabricante.
- 1.1.10. Módulos fotovoltaicos: IEC61215, ISO 9001; ISO 14001.

e. Diagrama unifilar del proyecto

El diagrama unifilar se presenta en documento anexo.

f. Datos del sistema y medición

Tipo de Sistema Fotovoltaico:	Interconectado a red
Tipo de sistema:	Bifásico
Tipo de sistema a tierra:	Interconectado al de la institución
Tipo de medida:	Semidirecta, a instalar un medidor Bidireccional con Perfil Horario
Ciudad:	Momil, Córdoba
Módulos Fotovoltaicos:	(120) Trina Solar TSM-DE18M(II)
Inversores:	(5) Fronius Primo 8.2
Potencia instalada en AC:	41 kVA (AC)
Potencia instalada en DC <small>(generación)</small> :	60 kW (DC)
Tierra:	Integrada
Desconexión:	Sistema Shutdown automático

El consumo promedio mensual de la institución es de 6.127 kWh/mes. Al ser un colegio, el consumo es considerablemente variable a razón de los periodos como las vacaciones de los estudiantes, semana santa o semana de receso. Se decide entonces diseñar el sistema omitiendo los dos meses de vacaciones largas de los estudiantes, julio y diciembre, el promedio de consumo es de 6.640 kWh/mes.

$$\frac{8640 + 5520 + 7040 + 6160 + 7840 + 6800 + 5680 + 5280}{10} = 6.640 \text{ kWh}$$

Durante los periodos de baja ocupación, que son menores a un mes, no se presentan grandes implicaciones en los equipos eléctricos. Estos periodos son ideales para realizar mantenimientos eléctricos, sobre todo intervenciones mayores, pues de esta manera no se afectaría la rutina de la comunidad.

Es por ello que además de analizar los consumos mensuales del colegio, se decide realizar un análisis de cargas horario, evaluando los consumos energéticos de la institución con ocupación, es decir, de un día de actividad estudiantil. El resultado es un consumo energético diario de 301,5 kWh/día. Estos consumos se sacaron a partir de una curva de potencia que muestra una potencia instantánea pico de casi 23.800 W, con un consumo medio durante las 8 am a las 6 pm de 21.670 W (Tabla 1, Figura 2).

Tabla 1.

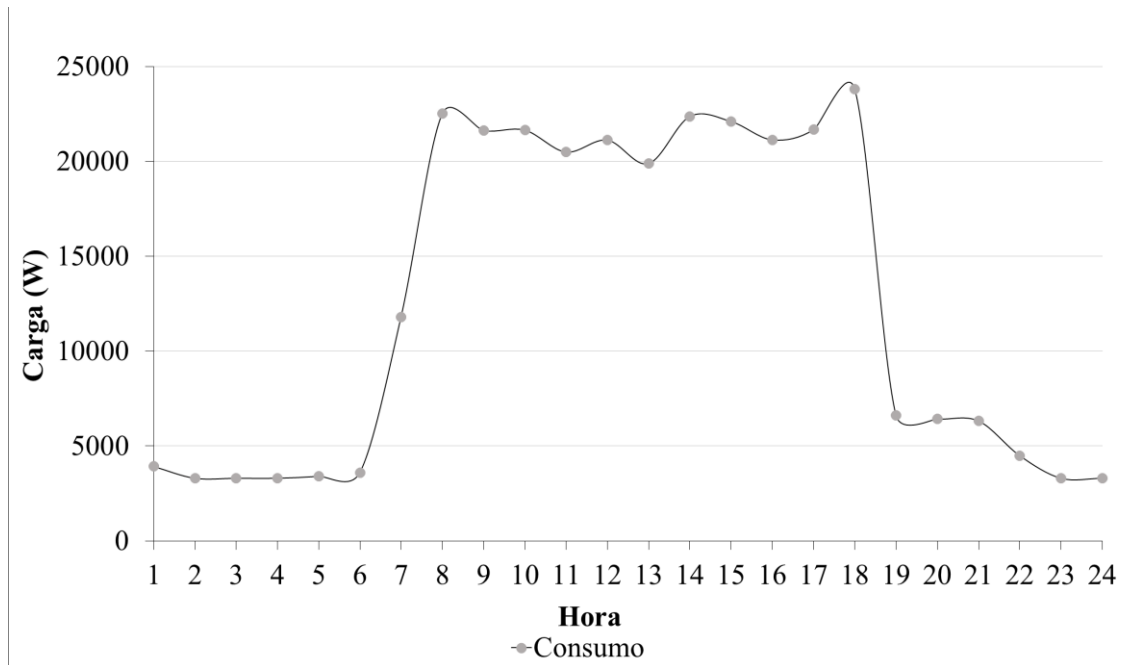
Demanda horaria diaria de la IE Francisco José de Caldas de Momil Córdoba.

Hora	Consumo (Wh/día)	Hora	Consumo (Wh/día)	Hora	Consumo (Wh/día)	Hora	Consumo (Wh/día)
1	3504	7	11866	13	19974	19	6580
2	3404	8	22576	14	22192	20	6380
3	3404	9	21804	15	22104	21	6280
4	3404	10	21592	16	21080	22	4592
5	3504	11	20842	17	21454	23	3404
6	3704	12	21066	18	23688	24	3404

Teniendo en cuenta que los sábados y domingos no hay actividad estudiantil, para calcular el consumo mensual se tienen en cuenta 22 días hábiles al mes, por lo que resulta en un consumo mensual de 6.640 kWh/mes.

Figura 2.

Curva de demanda horaria diaria de la IE Francisco José de Caldas de Momil Córdoba.



Evaluando la disponibilidad de equipos en el mercado, se observa que los paneles solares actualmente se encuentran en potencias entre los 400W y los 600W según los requerimientos del cliente. Por las dimensiones del techo y la facilidad para instalar en sitio (masa de los paneles) se decide utilizar paneles de una potencia similar a 500W. En este caso, paneles marca Trina Solar de 500W, modelo TSM-DE18M(II) con dimensiones de 1.102 m de ancho y 2.187 m de largo, con una masa de 26.5 kg, que se puede manipular con facilidad entre una o dos personas. La marca y referencia seleccionadas además de estar disponibles en el mercado colombiano, tienen muy buena relación precio/vatio, como se ve en la Tabla 2. Todos los paneles analizados cumplen normas técnicas y eléctricas internacionales para sistemas fotovoltaicos, como son IEC61215 / IEC61730 / IEC61701 / IEC62716. Para decidir cuál panel utilizar, se realizó una comparativa entre diferentes potencias y marcas disponibles en el mercado colombiano y se evaluó la menor relación precio por vatio de potencia.

Tabla 2.

Evaluación de los paneles solares disponibles en el mercado colombiano.

Marca	Referencia	Eficiencia	Potencia [W]	Medidas [m]	Área [m ²]	Precio	Relación \$ / W
Trina Solar	TSM-DE09	20,80%	400	1,754 x 1,096	1,92	\$ 775.000	\$ 1.938
JA Solar	JAM72S10	20,70%	415	2,015 x 0,996	2,01	\$ 757.000	\$ 1.824
Jinko Solar	JKM450M-60HL4	20,85%	450	1,903 x 1,134	2,16	\$ 820.000	\$ 1.822
JA Solar	JAM72S20	20,40%	455	2,120 x 1,052	2,23	\$ 887.600	\$ 1.951
Trina solar	TSM-DE18M(II)	20,70%	500	2,187 x 1,102	2,41	\$ 910.500	\$ 1.821
JA Solar	JAM72S30	21,10%	545	2,278 x 1,134	2,58	\$ 1.038.700	\$ 1.906
Trina Solar	TSM-DE19	21,00%	550	2,384 x 1,096	2,61	\$ 1.046.000	\$ 1.902

Para la selección del inversor, se evalúan inversores centrales y micro inversores. Los micro inversores son equipos que brindan mayor fiabilidad y vida útil para el sistema en general, pues cada panel está conectado únicamente a su micro inversor, los cuales están interconectados con los demás en paralelo, de modo que, si algún panel o micro inversor falla o tiene sombras, no afectará a los demás; además de que tienen garantías de 10 años y una vida útil estimada de 25 años (Sendy, 2023). Por otro lado, los inversores centrales tienen un costo significativamente menor que el de un sistema con micro inversores, pues en un sistema de 100 paneles, por ejemplo, en vez de utilizar 100 micro inversores podría utilizar 1, 2 o pocos inversores centrales, de modo que utilizando menos equipos se ahorran costos. Teniendo en cuenta la alta calidad de los inversores centrales hoy en día, se decide utilizar uno solo para todo el proyecto y no usar micro inversores debido a su alto costo.

Para calcular la cantidad de paneles e inversores necesaria, se calcula la producción de cada panel y con cuántos se cubre la demanda del cliente. Lo que queremos con este proyecto es cubrir la demanda de potencia que tiene la institución educativa durante las horas del día, es por ello que con los datos de producción de cada panel y posteriormente del conjunto de paneles, se genera una curva de producción y se sobrepone con la curva de consumo para analizar su comportamiento (Figura 3). La curva de producción previamente mencionada tiene en cuenta la irradiación mensual de la zona de ejecución del proyecto, tomando los datos de PVGIS, que es una base de datos de la Unión Europea (Figura 3).

La razón de sobreponer las curvas de producción y consumo, es que así logramos que la potencia pico de producción el sistema solar sea similar a la potencia pico de la demanda del colegio. Para asegurarnos de ellos, se busca que la potencia máxima del sistema solar sea igual al promedio de las horas de mayor consumo en el día, es decir, el promedio de consumo entre las 8 am y las 6 pm. Los consumos horarios se pueden revisar en la Tabla 2. Analizando la Tabla 2, se puede apreciar que la potencia máxima se encuentra a las 6 pm, cuando se comienzan a prender las luces y todavía hay personas en muchos salones, con una potencia instantánea requerida de 23.804 W o 23,8 kW. El promedio de potencia consumida en las horas de mayor consumo, entre las 8 am y las 6 pm es 21.670 W.

Figura 3.

Comparativa diaria de curva de generación solar vs consumo.

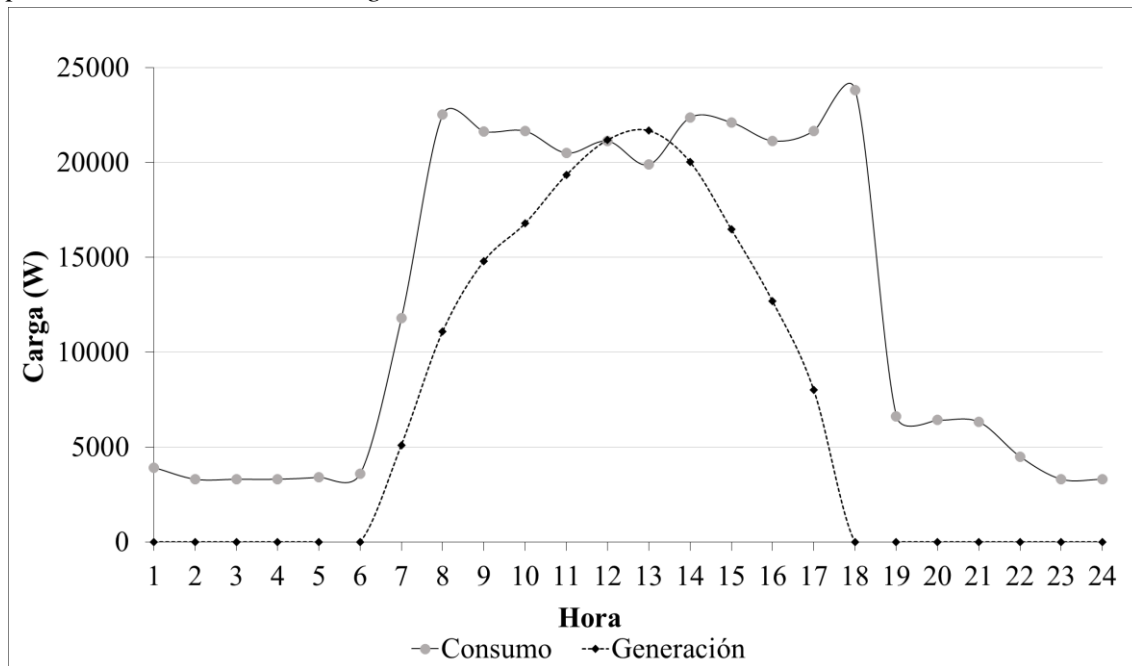
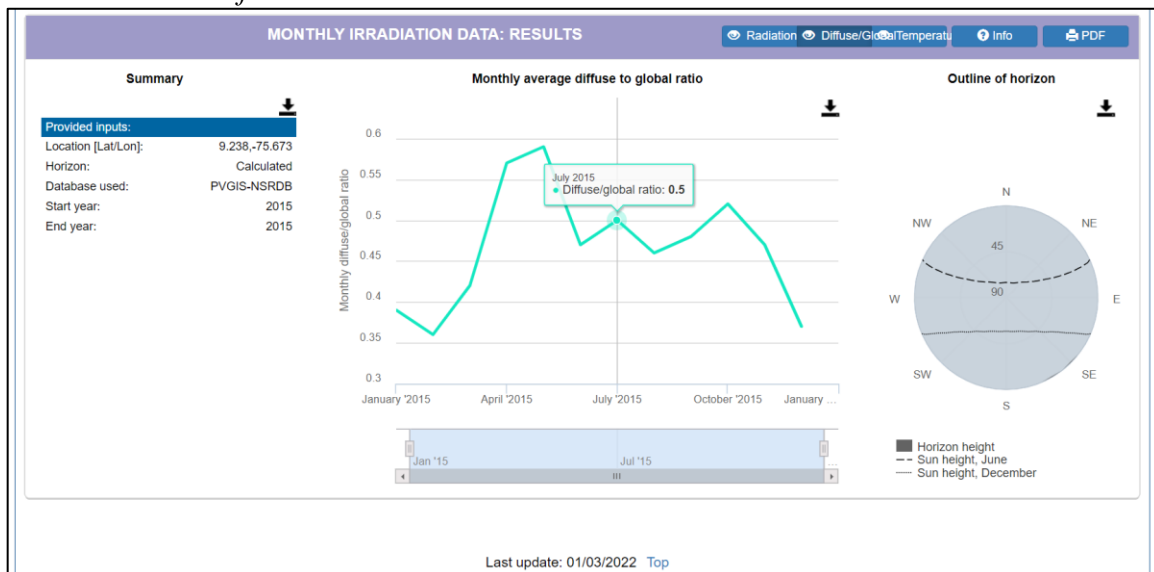


Figura 4.

Curva de radiación difusa mensual en Momil Córdoba.



Nota: Tomada de PVGIS.

Para saber la cantidad de paneles a utilizar, se necesita que la potencia por panel, que se seleccionó en la Tabla 3, así como la potencia objetivo que se estableció en la Tabla 4 sea la producida por el sistema a la hora de mayor producción del sistema, según la información de la base de datos PVGIS. Para ello, se suma la irradiación total del día y se calcula el porcentaje que representa cada hora en el total del día. Luego, según la cantidad de paneles utilizados y la generación de los mismos, la energía generada a la hora de mayor irradiación debe ser lo más similar posible a la energía media

(potencia en varias horas) demandada por el colegio entre las horas de mayor consumo. Para ello se debe iterar entre la cantidad de paneles a utilizar y con ellos calcular una generación estimada con una fórmula y del total, sacar el porcentaje correspondiente a la hora de mayor irradiación, como se muestra en la Tabla 19.

Para calcular la energía total generada diaria, es decir, los 167.200 Wh, se utilizó la fórmula:

$$\text{Generación} = \text{Potencia de paneles} * \text{Horas Pico Sol} * \text{Factor de seguridad}$$

En esta fórmula la potencia de paneles se iteró hasta concluir en 76 paneles, habiendo previamente decidido que cada panel tendría una potencia de 500 W, por lo tanto, la potencia total del sistema son 38.000 W o 38 kW de potencia en DC (Tabla 3, Figura 5). Para el factor de generación se utiliza de referencia el mapa de brillo solar del IDEAM, en el que se indica que en la región en la que se ubica el proyecto hay entre 5 y 6 horas diarias de horas pico Sol a lo largo del año, a lo que se le aplica un factor de corrección del 80%, para tener en cuenta factores climáticos, ineficiencias implícitas en los equipos solares y eléctricos y factores externos como la suciedad de los paneles solares. Así, resulta utilizar un factor de generación de 4,4 kWh/día por cada kWp de potencia DC instalada. Cabe aclarar que 4,4 resulta de multiplicar $5,5 * 0,8$, siendo 5,5 la media entre 5 y 6 horas de sol diarias y 0,8 el factor de corrección mencionada.

Tabla 3.

Generación horaria del sistema solar.

Hora	Irradiación	Porcentaje	Generación (Wh)
1	0	0,00%	0
2	0	0,00%	0
3	0	0,00%	0
4	0	0,00%	0
5	0	0,00%	0
6	0	0,00%	0
7	53,44	3,05%	5098,9
8	116,16	6,63%	11083,3
9	155,04	8,85%	14793,0
10	175,96	10,04%	16789,1
11	202,69	11,57%	19339,5
12	222,08	12,67%	21189,6
13	227,22	12,97%	21680,0
14	210	11,98%	20037,0
15	172,77	9,86%	16484,7
16	133,01	7,59%	12691,0
17	83,98	4,79%	8012,9
18	0,01	0,00%	1,0
19	0	0,00%	0
20	0	0,00%	0
21	0	0,00%	0
22	0	0,00%	0
23	0	0,00%	0
24	0	0,00%	0
Total	1752,36	100%	167200

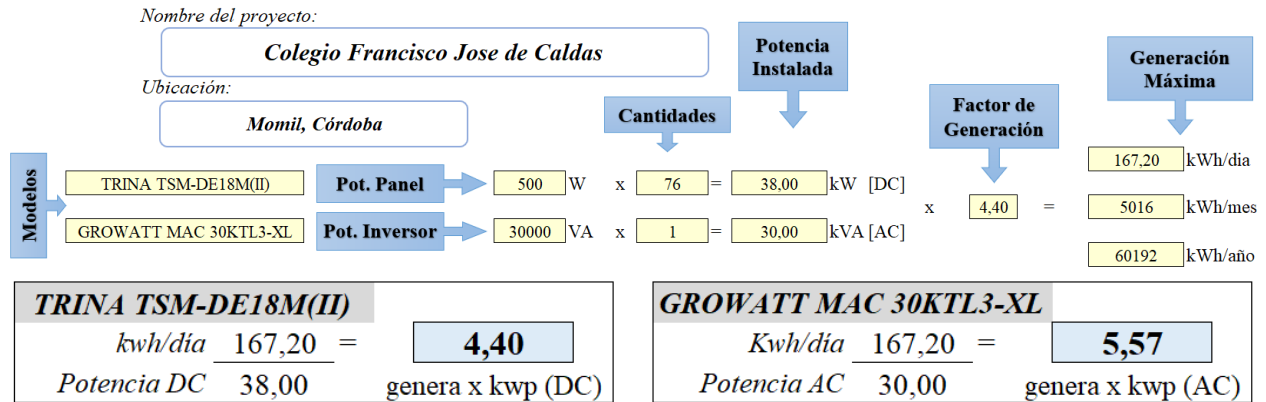
Tabla 4.

Cálculo de la cantidad de paneles e inversores necesarios para el sistema solar fotovoltaico.

ÍTEM	PARÁMETRO	CANTIDAD	UNIDAD
1	Consumo o demanda de diseño	6640	kWh / mes
2	Generación mensual estimada	5016	kWh / mes
3	Porcentaje de demanda cubierto	75,5	%
4	Generación diaria estimada	167,2	kWh / día
			kWh / día /
5	Factor de Generación	4,4	kW
6	Capacidad a instalar en AC	30	kVA
7	Potencia de planta en DC	38	kW
8	Potencia de cada panel	500	W
9	Potencia de cada inversor	30000	VA
10	Cantidad de inversores a instalar	1	Unidades
11	Cantidad de paneles a instalar	76	Unidades

Figura 5.

Cálculo de la cantidad de paneles e inversores necesarios para el sistema solar fotovoltaico.



En la naturaleza de los sistemas solares está que la potencia DC instalada sea mayor a la potencia AC, en relaciones que varían según el fabricante entre el 30% y 50% de potencia mayor en DC. Teniendo esto en cuenta y los cálculos realizados en potencia DC, se busca un inversor disponible en el mercado y se encuentra que la marca Fronius de diseño y fabricación europea, que es de alta calidad, ofrece la referencia Fronius Eco 27.0-3-S de 27.000 VA de potencia AC, para el que sugieren una potencia DC de hasta 37.800 W DC. Sin embargo, la potencia de paneles en DC calculada es 38.000 W, por lo que se busca otra marca con una referencia que aguante la cantidad de paneles requerida y se encuentra otra marca muy comercial en los últimos años que es Growatt. Teniendo en cuenta lo anterior, se sugiere el uso del inversor Growatt MAC 30KTL3-XL, para el que el fabricante recomienda una potencia DC pico de 39.000 W, suficiente para este proyecto. Los datos técnicos se pueden comprobar en su ficha técnica (Ver Anexo 10).

3. Análisis de coordinación de aislamiento eléctrico

La coordinación del aislamiento tiene por objeto determinar las características de aislamiento necesarias y suficientes de los equipos conectados a las redes eléctricas, para garantizar que el nivel de tensión soportado por el aislamiento del equipo sea mayor que la tensión que pueda aparecer como resultado de una sobretensión transitoria.

La coordinación de aislamiento consiste en relacionar las sobretensiones que puedan aparecer en el sistema y los niveles de protección de los pararrayos, con los niveles de aislamiento del equipo.

Se tiene una tensión de red de 120/240 V y aislamientos para 600 voltios en el cableado y los interruptores, con el factor de seguridad requerido para su seguridad suficiente.

El BIL de los equipos a instalar cumple con los valores dados por la Norma IEEE 1313.1.

No aplica este análisis de coordinación, de acuerdo con el análisis reflejado en el numeral 5,

a continuación.

4. Análisis de nivel de riesgo por rayos y medidas de protección contra rayos

No aplica, en este caso es una ampliación en una institución existente, no es una instalación nueva, ni hay ampliación de cargas. Sin embargo, se contemplan las medidas necesarias de evaluación de riesgo.

5. Análisis del nivel de tensión requerido

Presentar el análisis del nivel de tensión requerido. Para el proyecto en baja tensión asegurar que la tensión de operación no exceda la normal del equipo. En media tensión cumplir con la tensión de servicio indicada por el operador de RED en las condiciones de servicio para el respectivo proyecto.

- Demanda Máxima: El nivel de tensión del predio es 1.
- Nivel de Tensión: Baja Tensión con energía de corriente Alterna, con frecuencia de 60 Hz.
- Tensión Nominal: sistema de dos conductores 120/208 V, tensión máxima de la nominal en +%5, tensión mínima de la nominal en %-10.
- El sistema fotovoltaico tiene sus paneles conectados en serie e inversores conectados en paralelo y el sistema desde los inversores es en AC, los inversores emulan la red por lo tanto su máximo nivel de tensión es el mismo del perfil de la red pública, 120/208 V.
- Margen de voltaje: si el voltaje de servicio es crónicamente alto, el operador de red algunas veces realizará un cambio de toma en el transformador de distribución. Esto puede proporcionar un porcentaje de margen de voltaje adicional.

Datos del inversor Growatt MAC 30KTL3-XL

GROWATT - PRODUCT

Datasheet	MAC 15KTL3-XL	MAC 20KTL3-XL	MAC 22KTL3-XL	MAC 25KTL3-XL	MAC 30KTL3-XL	MAC 36KTL3-XL
Input Data(DC)						
Max. recommended PV power (for module STC)	19500W	26000W	28600W	32500W	39000W	46800W
Max.DC voltage	1100V					
Start voltage	250V					
Nominal voltage	360V					
MPPT voltage range	200V-1000V					
No. of MPP trackers	3					
No. of PV strings per MPP tracker	4/4/4					
Max. input current per MPP tracker	46A/46A/46A					
Max. short-circuit current per MPP tracker	50A/50A/50A					
Output Data(AC)						
Rated AC output power	15000W	20000W	22000W	25000W	30000W	36000W
Max. AC apparent power	16600VA@220VAC	22200VA@220VAC	24400VA@220VAC	27800VA@220VAC	33300VA@220VAC	36000VA@220VAC 39200VA@240VAC
Nominal AC voltage (range*)	127V/220V(101.6-139.7V)					
AC grid frequency (range*)	50/60 Hz(46~54/56~64Hz)					
Nominal AC output current	39.4A	52.5A	57.7A	65.6A	78.8A	94.5A
Max. output current	43.6A	58.3A	64.0A	73.0A	87.4A	94.5A
Power factor(@nominal power)	>0.99					
Adjustable power factor	0.8leading ...0.8lagging					
THDI	<3%					
AC grid connection type	3W+N+PE					
Efficiency						
Max. efficiency	98.8%					
European efficiency	98.2%					
Protection Devices						
DC reverse polarity protection	Yes					
DC switch	Yes					
DC surge protection	Type II					
Insulation resistance monitoring	Yes					
AC surge protection	Type II					
AC short-circuit protection	Yes					
Grid monitoring	Yes					
Anti-islanding protection	Yes					
Residual-current monitoring unit	Yes					
String fuse protection	No					
String monitoring	No					
Anti-PID function	No					
AFCI protection	Yes					
General Data						
Dimensions(W / H / D)	680/508/281mm					
Weight	≤52kg					
Operating temperature range	-25°C...+60°C (>45°C Derating)					
Noise emission(typical)	≤60dB(A)					
Altitude	4000m					
Nighttime power consumption	1W					
Topology	Transformerless					
Cooling	Smart air cooling					
Protection degree	IP65					
Relative humidity	0~100%					
DC connection	H4(OPT)					
AC connection	OT Terminal					
Display	OLED+LED/WIFI+APP					
Interfaces:RS485/USB /WIFI/GPRS	Yes/Yes /Optional/Optional/Optional					
CE, IEC62116, IEC61727, IEC 60068, IEC 61683, IEC60529IEEE1547, UL1741, IEEE1547						

Para calcular las protecciones, con 76 paneles en el inversor, cubriendo 38 kW de los 39 kW disponibles de entrada en el inversor, se asume que estamos cubriendo el 100% de la capacidad del mismo. Entonces se deben calcular las protecciones tanto en DC como en AC.

En primer lugar, se realizan los cálculos de las protecciones en DC, donde se utilizarán fusibles. Se calcula tanto el voltaje como la corriente requerida. Para el voltaje se utiliza un factor de corrección del 20%, mientras para la corriente el factor de corrección permitido es de 25% según la norma NTC-2050. Los cálculos de voltaje se realizan para cada circuito (string) de paneles, que en nuestro diseño tenemos circuitos de 13 paneles, así como otros de 12 paneles, todos conectados en serie dentro del circuito. La ficha técnica de los paneles (Anexo 8) muestra que el voltaje de cortocircuito de cada panel es 51,7 V, mientras la corriente de cortocircuito es 12,28 A. De modo que los cálculos se realizan así:

$$\text{Circuitos 13 paneles} \rightarrow V_{fusible} = 13 * 51,7 V * 1,2 = 806,5 V$$

$$\text{Circuitos 12 paneles} \rightarrow V_{fusible} = 12 * 51,7 V * 1,2 = 744,5 V$$

$$\text{Todos los circuitos} \rightarrow A_{fusible} = 12,28 * 1,25 = \mathbf{15,4 A}$$

Teniendo en cuenta los cálculos anteriores, para cada circuito se pueden utilizar los mismos fusibles, que deben ser de por lo menos 744 V, así que se pueden utilizar fusibles que soporten 1.000 V. Y lo más importante, que sean de 15 A para que se accionen con esta corriente.

Por otro lado, se deben calcular las protecciones en potencia AC, que será la potencia efectiva de salida del inversor y se utilizan interruptores electromagnéticos (breakers). En este caso se tienen 30 kVA completamente utilizados y se asume un factor de potencia de 1. Además, se debe tener en cuenta que el voltaje de la I.E. son 208 V al tener ser el estándar de la red nacional para sistemas trifásicos. El amperaje máximo de trabajo se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{Corriente} = \frac{\text{Potencia}}{\text{Voltaje} * \sqrt{3}} = \frac{30000 W}{208 V * \sqrt{3}} = \mathbf{83,3 A}$$

Finalmente, la norma NTC-2050 permite utilizar un factor de sobrecorriente de 25%, por lo que los cálculos de corriente para las protecciones son los siguientes:

$$\frac{30.000 W * 1,25}{208 V * \sqrt{3}} = \mathbf{104,1 A}$$

Así, como protección general para el sistema se debe utilizar la protección comercial más cercana a 105 A, para lo que seguramente se deberá buscar un breaker que se pueda regular a 105 o 110 A. A esta protección corresponden cables #1 AWG según los artículos 210-20 y 310-15 de la NTC-2050. El diseño realizado se presenta en el Apéndice 1.

El inversor Growatt, se conecta en paralelo a la red en el barraje principal del predio. Al inversor llegan seis circuitos en, cuatro de 13 paneles en serie y los dos más lejanos de 12 paneles interconectados en serie con un cable fotovoltaico de dos conductores. Antes de la llegada de estos circuitos al inversor, se realiza una caja de protecciones con fusibles, en la que se conectan los circuitos en paralelo entre ellos, protege el inversor de sobrecorrientes provenientes del lado del generador. Los circuitos se conectan al inversor en parejas a cada MPPT, pues el equipo de inversión tiene 3 controladores MMPT, con 4 entradas cada uno.

El inversor se conecta en AC en un tablero de protecciones que recoge toda la energía del inversor y la salida de este tablero se conecta directamente al panel principal de la edificación, alimentando todos los circuitos de cargas juntos con la red pública. Los inversores tienen su propio sistema de protección y desconexión.

Los inversores emulan los parámetros de energía de la red pública y activa la generación. Si la red está fuera de los parámetros de energía programados permisibles por la norma, el inversor abre sus protecciones y deja de generar energía hasta que no se restablezcan los parámetros de los perfiles de la red. Esta tecnología de última generación simplifica enormemente el diseño de desconexión y Anti Isla. De igual manera, la protección AC entre el inversor y el barraje protege tanto sobretensiones como sobrecorrientes en ambos sentidos, desde las cargas y la red hacia el sistema de generación, y desde el sistema de generación hacia las cargas y la red.

6. Cálculo del Sistema de Puesta a Tierra

Realizar el diseño del sistema de puesta a tierra de acuerdo con la Metodología IEEE 80 o la metodología que mejor se adapte al diseño.

Garantizar que el sistema de puesta a tierra cumpla con el artículo 15 de RETIE 2013.

El proyecto cuenta con una tierra que se encuentra, interconectando la estructura fotovoltaica con el barraje que se encuentra en el tablero de distribución del punto de conexión, ya que en el inmueble cuenta previamente con el sistema a tierra existente, por lo tanto, no se requiere algún otro sistema de pararrayos, ya que el nivel de riesgo, no lo exige acorde con la evaluación del nivel de riesgo de acuerdo RETIE 2013 ARTÍCULO 10.1.1 (d).

El análisis de coordinación de aislamiento eléctrico, en nuestro sistema de inversores inteligentes no es necesario, debido a que la tensión a la salida del inversor es constante, y en caso de fallas

el inversor interrumpe o apaga el suministro eléctrico de los paneles solares por el sistema antiisla, pues cumple UL1741.

7. Dimensionamiento de conductores a utilizar

Realizar la selección de los conductores de acuerdo con la NTC 2050 y aplicar los factores de ajuste que se indican en las secciones 310 y 318, para cálculo de capacidad de corriente.

a. Dimensionamiento de conductores primera sección de cableado

El tramo conductor es una línea continua de cobre estándar #12 con clasificación para el aire libre THWN-2 conectado en serie a distancias de 1,3 metros ubicado entre paneles.

b. Dimensionamiento de conductores segunda sección de cableado:

La distancia máxima para la segunda sección, entre el empalme del circuito y la entrada del inversor, son 55 metros, en el circuito #1.1 siendo el que se encuentra más retirado; con una cantidad de 12 paneles en serie, cada uno con un voltaje máximo de 51,7 V sumando 620,4 V, Lo anterior, teniendo en cuenta que los circuitos conectados en serie suman los voltajes individuales y mantienen el amperaje constante. Según la norma NTC 2050, la caída de voltaje no debe exceder el 3% en un circuito ramal, por lo que se calcula de la siguiente manera:

$$V_{caída(v)} = I * R * L$$
$$V_{caída(\%)} = \left(\frac{V_{caída(v)}}{V_{inicial}} \right) * 100\%$$

Siendo I la corriente en el tramo de cableado, R la resistencia del conductor expresada en Ohms/kilómetro y L la distancia en kilómetros. Teniendo en cuenta lo anterior, el cálculo de caída de voltaje es el siguiente:

$$V_{caída(v)} = 11,69 A * 4,148 \frac{\Omega}{km} * 0,055 = 2,667 V$$

$$V_{caída(\%)} = \left(\frac{2,667 V}{620,4 V} \right) * 100\% = 0,430\%$$

La resistencia que se escoge es en referencia a un cable #10 AWG, siendo una referencia comercial y suficiente para soportar y mantener el voltaje y la corriente en una distancia mediana en instalaciones residenciales, como son los 40 metros de tramo que se tienen en este caso, resultando en una caída de voltaje de 0,378% de los 3% permitidos por la norma.

c. Dimensionamiento de conductores tercera sección de cableado:

Es el tramo conductor encargado de conectar los inversores con el tablero de protecciones fotovoltaico. Para este tramo no se tiene en cuenta la caída de voltaje dado que el inversor está en el mismo cuarto eléctrico con el tablero de conexiones solar, de modo que se evalúa el calibre del conductor es teniendo en cuenta la corriente de salida del inversor.

El cálculo las protecciones se realizó en la Sección 5 de este documento, obteniendo como resultado que se necesita un breaker termomagnético AC de 105 A o de similar corriente. Respecto a un conductor que soporte esta corriente, según los artículos 210-20 y 310-15 de la NTC2050 podría utilizar un conductor 1/0 AWG en cada fase.

8. Cálculo de pérdidas de energía

Calcular las pérdidas de energía por efecto Joule al circular la corriente por el conductor. Los cálculos deben incluir mínimo los datos de las siguientes tablas:

No aplica, la distancia del generador al punto de conexión es muy corta y no implica pérdidas significativas de transmisión por el lado de las cargas. El sistema se encuentra aguas abajo del medidor de energía y no interfiere con la acometida de la red que es existente.

9. Cálculo de regulación de tensión

Los cálculos de regulación se deben hacer por el método de momento eléctrico y en ellos se debe incluir: (Nivel de tensión, Constantes de regulación de los conductores proyectados de acuerdo con el tipo y calibre, distancia en metros, carga en kVA, capacidad del AGPE o GD).

Regulación: Circuitos secundarios o acometidas desde bornes del transformador: 3 %

Acometida hasta el medidor: 1 %

Para los conductores a utilizar indicar las especificaciones técnicas, donde se establezcan las constantes de regulación, nivel de tensión, resistencia equivalente, aislamiento, etc.

Para ver los cálculos relacionados con la regulación de tensión, remitirse al apartado 7, en el cual se calcula los conductores a utilizar y las protecciones correspondientes, teniendo en cuenta las caídas de voltaje en los diferentes tramos de cableado.

10. Cálculo de Barrajes (Sección mm²)

Para determinar la corriente del barraje de fase, neutro y tierra, se utiliza la especificación técnica de la NTC 2050.

De acuerdo con el RETIE para evitar el sobrecalentamiento de conductores, en sistemas trifásicos de instalaciones de uso final con cargas no lineales, los conductores de neutro deben ser dimensionados por lo menos al 173% de la corriente de fase según los lineamientos de las normas **IEEE 519** o **IEEE1100**.

Con la corriente del barraje, se determina las dimensiones de este último, utilizando la tabla de la norma NTC3444. Presentar características de los barrajes de tablero general de acometidas, tablero general de distribución y armario de medidores.

El inversor tiene una protección de 105 A, a la que le corresponden cables de calibre #1 AWG (o mayor) según los artículos 210-20 y 310-15 de la NTC2050.

Como se calculó en la sección 7.c, el sistema general y por lo tanto los barrajes que transportan toda la energía, están protegidos por fusibles de 1000 V y 15 A, además de un totalizador de 105 A, por lo tanto, los barrajes deben también soportar estas corrientes.

11. Cálculo y especificaciones técnicas de los equipos de medida

Indicar en el plano como en las memorias, la selección del equipo de medida según las resoluciones CREG 038-2014 y CREG 030-2018.

Incluir las características del medidor, de acuerdo con la carga, tensión, configuración del sistema (trifásico, bifásico o monofásico), y calibre máximo de la acometida para el medidor.

Para cumplir la regulación nacional, en este caso la Resolución CREG 174 de 2021 y la normativa específica de medida la Resolución CREG 135 de 2021, se utiliza un medidor bidireccional que se puede parametrizar en los 4 cuadrantes. En este caso, por los amperajes a tratar, se busca un medidor de medida semidirecta avalado por los operadores de red a nivel nacional como es el ITRON SL7000, cuya ficha técnica se muestra a continuación:

Datos técnicos

Valores	Tensión:	- 3x57.1 / 100 V hasta 3x240 / 415 V auto-range - Fuente de alimentación auxiliar (opcional)
Tipo de conexión	Corriente - Conexión CT: Conexión en transformadores:	- In 1A / 2,5A / 5A, I _{max} 10A - Disponibles en 3 y 4 hilos
Precisión	Conexión en transformador: Conexión directa:	- Clase D, C, o B - Clase B
Frecuencia	50Hz/60Hz	
Porción de temperatura	-40°C hasta +85°C	
Estándares	Adecuación a las normas IEC 61036, IEC 60867 y estándares de marcación CE (metrológicos, eléctricos, electromecánicos, mecánicos, climáticos) INMETRO RTM 431 2007	
Comunicaciones	Puerta óptica (IEC 61107), opcionalmente RS232C y/o RS485 Protocolo DLMS-COSEN (IEC 62056) Salida de usuario ABNT 14522	
Decreto de aprobación	INMETRO/DIMEL 299/2007	