

**INFORME DE MEMORIAS DE CÁLCULO Y
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MINIMAS
REQUERIDAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN
DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO 10 KW
CASA FABIO SOTO**

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. ABREVIATURAS Y SIGLAS USADAS EN EL DOCUMENTO.....	6
3. UNIDADES Y MAGNITUDES USADAS EN EL DOCUMENTO.....	6
4. GLOSARIO.....	7
5. MEMORIA DE CÁLCULOS	8
5.1. LISTA DE CHEQUEO ARTICULO 10.1.1 DEL RETIE.....	9
a. Análisis y cuadros de cargas iniciales y futuras, incluyendo análisis de factor de potencia y armónicos.	11
b. Análisis de coordinación de aislamiento eléctrico.....	12
c. Análisis de cortocircuito y falla a tierra.....	12
d. Análisis de nivel de riesgo por rayos y medidas de protección contra rayos.	14
e. Análisis de riesgos de origen eléctrico y medidas para mitigarlos. Para un análisis de riesgos de origen eléctrico, el diseñador debe hacer una descripción de los factores de riesgos potenciales o presentes en la instalación y las recomendaciones para minimizarlos.....	14
f. Análisis del nivel tensión requerido	14
g. Cálculo de campos electromagnéticos para asegurar que en espacios destinados a actividades rutinarias de las personas, no se superen los límites de exposición definidos en la Tabla 14.1	15
h. Cálculo de transformadores incluyendo los efectos de los armónicos y factor de potencia en la carga	15
i. Cálculo del sistema de puesta a tierra.....	15
j. Cálculo económico de conductores, teniendo en cuenta todos los factores de pérdidas, las cargas resultantes y los costos de la energía	16
k. Verificación de los conductores, teniendo en cuenta el tiempo de disparo de los interruptores, la corriente de cortocircuito de la red y la capacidad de corriente del conductor	16
l. Cálculo mecánico de estructuras y de elementos de sujeción de equipos	17
m. Cálculo y coordinación de protecciones contra sobre corrientes. En baja tensión se permite la coordinación con las características de limitación de corriente de los dispositivos según IEC 60947-2 Anexo A.....	18
n. Cálculos de canalizaciones (tubo, ductos, canaletas y electroductos) y volumen de encerramientos (cajas, tableros, conduletas, etc.).....	21
o. Cálculos de pérdidas de energía, teniendo en cuenta los efectos de armónicos y factor de potencia.....	21
p. Cálculos de regulación	22
q. Clasificación de áreas	22
r. Elaboración de diagramas unifilares.....	22

s. Elaboración de planos y esquemas eléctricos para construcción.....	23
t. Especificaciones de construcción complementarias a los planos, incluyendo las de tipo técnico de equipos y materiales y sus condiciones particulares	23
u. Establecer las distancias de seguridad requeridas.....	23
v. Justificación técnica de desviación de la NTC 2050 cuando sea permitido, siempre y cuando no comprometa la seguridad de las personas o de la instalación	23
w. Los demás estudios que el tipo de instalación requiera para su correcta y segura operación, tales como condiciones sísmicas, acústicas, mecánicas o térmicas	23
5.2 ANEXOS	24
5.2.1 ANÁLISIS DE COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO - ANÁLISIS DE PROTECCIÓN INTERNA TIPO DPS EN PUNTO DE ACOPLAMIENTO COMÚN DEL SISTEMA EN AC.	25
5.2.2. ANEXO E. ANÁLISIS DE RIESGOS ELÉCTRICOS.....	26
5.2.3. ANEXO H. CÁLCULO DE TRANSFORMADORES – SIMULACIÓN DE SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO INTERACTIVO OFICINA CABLES Y REDES 4,8KW	32

INTRODUCCIÓN

El presente documento tiene como objeto el diseño, memoria de cálculo y especificaciones del sistema solar para la instalación y puesta en marcha del proyecto solar fotovoltaico interactivo de 10 kW para la casa del señor Fabio Soto.

Como parte del programa de una iniciativa de aporte a la reducción de emisiones de CO₂ a la atmosfera, con la aplicación de tecnologías de energía renovables, al uso eficiente y racional de energía y a la promoción de la empresa Cables y Redes, como una entidad que aporta a la educación y a la promoción del cuidado del medio ambiente con infraestructura para el ahorro y eficiencia energética por medio del aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica.

1. ABREVIATURAS Y SIGLAS USADAS EN EL DOCUMENTO

RETIE: Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas
NTC2050: Norma Técnica Colombiana 2050 - Código eléctrico colombiano
NTC4552: Norma Técnica Colombiana 4552 - Protección contra rayos
FV: Fotovoltaico
SSFV: Sistema solar fotovoltaico
AC: Corriente Alterna
DC: Corriente Directa
IEC: Comisión Electrotécnica Internacional

2. UNIDADES Y MAGNITUDES USADAS EN EL DOCUMENTO

M: Metro
KG: Kilo Gramo
A: Amperio
°C: Grados Centígrados
V: Voltio
W: Watio
m²: Metro Cuadrado
kWh: Kilovatios hora
P_{max}: Potencia máxima
V_{mp}: Voltaje a potencia máxima
V_{oc}: Voltaje en circuito abierto
I_{sc}: Corriente de cortocircuito

3. GLOSARIO

En el presente documento se utilizan las siguientes definiciones, tomadas de la NTC2050:

Arreglo (*array*). Conjunto mecánicamente integrado de módulos o paneles con una estructura y bases de soporte, sistemas de orientación y otros componentes, según se necesite para formar una unidad de generación de energía eléctrica de corriente continua o corriente alterna.

Circuito de entrada del inversor (*inverter input circuit*). Conductores conectados a la entrada de C.C. de un inversor.

Circuito de salida del inversor (*inverter output circuit*). Conductores conectados a la salida de C.A. de un inversor.

Circuito fotovoltaico de salida (*photovoltaic output circuit*). Los conductores entre el circuito o circuitos de alimentación fotovoltaica y el inversor o el equipo de utilización de corriente continua.

Circuito de una fuente fotovoltaica (*photovoltaic source circuit*). Circuitos entre los módulos y desde los módulos al punto o puntos de conexión comunes del sistema de corriente continua.

Inversor (*inverter*). En general un inversor es un dispositivo que cambia una entrada de corriente continua en una salida de corriente alterna. Los inversores también pueden funcionar como cargadores de baterías que emplean la corriente alterna de otra fuente y la convierten en corriente continua para cargar las baterías.

Módulo (*module*). Unidad completa protegida ambientalmente, que consta de celdas solares, óptica y otros componentes, sin incluir los sistemas de orientación, diseñada para generar energía de corriente continua cuando es expuesta a la luz solar.

Panel (*panel*). Grupo de módulos unidos mecánicamente sujetos, cableados y diseñados para proporcionar una unidad instalable en sitio.

Sistema interactivo (*interactive system*). Sistema FV que funciona en paralelo con una red de generación y distribución de energía eléctrica, a la que puede alimentar.

**4.MEMORIA DE CÁLCULOS
DE ACUERDO CON LISTA DE CHEQUEO DE
DISEÑO DETALLADO
DE ARTÍCULO 10.1.1 DEL RETIE**

4.1. LISTA DE CHEQUEO ARTICULO 10.1.1 DEL RETIE.

ITE M	DESCRIPCION	A/N.A
a.	Análisis y cuadros de cargas iniciales y futuras, incluyendo análisis de factor de potencia y armónicos.	Aplica
b.	Análisis de coordinación de aislamiento eléctrico.	Aplica
c.	Análisis de cortocircuito y falla a tierra.	Aplica
d.	Análisis de nivel de riesgo por rayos y medidas de protección contra.	No Aplica
e.	Análisis de riesgos de origen eléctrico y medidas para mitigarlos. Para un análisis de riesgos de origen eléctrico, el diseñador debe hacer una descripción de los factores de riesgos potenciales o presentes en la instalación y las recomendaciones para minimizarlos.	Aplica
f.	Análisis del nivel tensión requerido.	Aplica
g.	Cálculo de campos electromagnéticos para asegurar que, en espacios destinados a actividades rutinarias de las personas, no se superen los límites de exposición definidos en la Tabla 14.1	No Aplica
h.	Cálculo de transformadores incluyendo los efectos de los armónicos y factor de potencia en la carga.	Aplica
i.	Cálculo del sistema de puesta a tierra.	Aplica
j.	Cálculo económico de conductores, teniendo en cuenta todos los factores de pérdidas, las cargas resultantes y los costos de la energía.	Aplica
k.	Verificación de los conductores, teniendo en cuenta el tiempo de disparo de los interruptores, la corriente de cortocircuito de la red y la capacidad de corriente del conductor de acuerdo con la norma IEC 60909, IEEE 242, capítulo 9 o equivalente.	Aplica
l.	Cálculo mecánico de estructuras y de elementos de sujeción de equipos.	Aplica
m.	Cálculo y coordinación de protecciones contra sobre corrientes. En baja tensión se permite la coordinación con las características de limitación de corriente de los dispositivos según IEC 60947-2 Anexo A.	Aplica
n.	Cálculos de canalizaciones (tubo, ductos, canaletas y electroductos) y volumen de encerramientos (cajas, tableros, conduletas, etc.)	Aplica
o.	Cálculos de pérdidas de energía, teniendo en cuenta los efectos de armónicos y factor de potencia.	Aplica
p.	Cálculos de regulación.	Aplica
q.	Clasificación de áreas.	No Aplica
r.	Elaboración de diagramas unifilares (Anexo en planos).	Aplica
s.	Elaboración de planos y esquemas eléctricos para construcción.	Aplica

t.	Especificaciones de construcción complementarias a los planos, incluyendo las de tipo técnico de equipos y materiales y sus condiciones.	Aplica
u.	Establecer las distancias de seguridad requeridas.	Aplica
v.	Justificación técnica de desviación de la NTC 2050 cuando sea permitido, siempre y cuando no comprometa la seguridad de las personas o de la instalación.	No Aplica
w.	Los demás estudios que el tipo de instalación requiera para su correcta y segura operación, tales como condiciones sísmicas, acústicas, mecánicas o térmicas.	No Aplica

a. **Análisis y cuadros de cargas iniciales y futuras, incluyendo análisis de factor de potencia y armónicos.**

Las cargas existentes corresponden a la distribución interna de una unidad de vivienda, que fueron preestablecidas en la construcción de ésta. El equipo inversor tiene un THD máximo de 5% individual se puede dejar con la programación de fábrica de factor de potencia igual a 1. La mayor cantidad de carga del usuario por ser de tipo comercial se verá reflejada en iluminación, aires acondicionados, equipos de cómputo y algunos motores de uso limitado, que, en toda la demanda sumada a la sincronización y entrada del sistema solar fotovoltaico, se espera que no lleguen a superar el 15% de distorsión. Es muy poco probable que la demanda en su punto máximo donde se registrará el mayor valor de distorsión se dé simultáneamente con el mayor valor de producción solar, pero de igual manera, debe considerarse el caso. Por eso, los conceptos pueden ser validados por el cliente con un análisis de redes donde compare un escenario donde el sistema se encuentre solar fotovoltaico se encuentre desconectado frente a otro cuando se encuentre en funcionamiento.

Si por alguna razón se ve reflejado un aumento de la potencia reactiva, se sugiere programar el factor de potencia de los inversores a un valor entre 0.9 a 1 para que no se vea penalizado por mayor reactiva, dando como “sacrificio” un pequeño porcentaje de energía activa en función de mejorar este detalle de calidad del servicio. De cualquier manera, ésta última no es una práctica recomendada, pues se vuelve costoso para la instalación, hacer la reposición de reactiva, cuando puede resolverse de mejor manera desde la carga con los métodos validados y comprobados dentro del mercado.

CÁLCULO DE ARMÓNICOS				
EQUIPO	I_n (A)	THD (%)	I_{arm} (A)	$I_n \geq 115\% I_{arm}$
INVERSOR	18	0,05	18,9	CUMPLE

Tabla 1: Cálculos de armónicos

Se demuestra que el aporte por equipo de THD no supera el 15%, además que la corriente armónica se calculó teniendo en cuenta el factor de potencia, no se ve la necesidad de sobre dimensionar el conductor neutro para compensación de problemas de calidad de la energía y no se afecta la instalación interna existente. De igual manera se sugiere el análisis de redes anterior y posterior a la instalación del sistema.

b. Análisis de coordinación de aislamiento eléctrico.

De acuerdo con el Anexo E de la NTC4552-1, la definición de Aislamiento: “Es la separación de dos o más superficies conductoras por medio de un dieléctrico (incluyendo el aire), ofreciendo una alta resistencia al paso de la corriente.” Para el cumplimiento de esta condición se recurre a la revisión de los envoltentes de los equipos asociados a la instalación eléctrica en conjunto con la aplicación del capítulo 13 del Retie y a la sección 110 de la NTC2050, de las cuales se anexan detalles en el plano. Además, en la clasificación de los equipos usados frente a la tabla E.3 de la NTC4552-1. Nivel básico de impulso (BIL) de equipos de acuerdo a su ubicación en las instalaciones:

Nivel de tensión de operación de los equipos V	BIL requerido en (kV)			
	Contadores	Tableros, interruptores, cables, etc.	Electrodomésticos, herramientas portátiles	Equipo electrónico
	Categoría IV	Categoría III	Categoría II	Categoría I
120 – 240 ; 120 / 208	4	2,5	1,5	0,8
254 / 440 ; 277 / 480	6	4	2,5	1,5

Tabla 2: Tensión al impulso que deben soportar los equipos

DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS EN LA INSTALACIÓN	APLICA	NO APLICA	TENSIÓN DE OPERACIÓN (V)	CATEGORÍA	BIL (KV)
CONTADORES	X		220	IV	4
TABLEROS DE DISTRIBUCIÓN	X		220	III	2,5
PROTECCIONES EN BT	X		220	III	2,5
CONDUCTORES (CABLES)	X		220	III	2,5
ELECTRODOMÉSTICOS	X		120	II	1,5
HERRAMIENTAS PORTÁTILES	X		120	II	1,5
EQUIPOS ELECTRÓNICOS	X		120	I	0,8

Tabla 3: Tensión al impulso que deben soportar los equipos aplicables

Se anexa se adjunta el análisis de protección interna con DPS para el punto de acoplamiento común en anexo b. Además, se ilustra en plano el detalle de los espacios de trabajo de acuerdo con la sección 110 de la NTC2050.

c. Análisis de cortocircuito y falla a tierra.

Para determinar el nivel mínimo de ruptura del interruptor se toma como referencia la capacidad nominal del inversor:

CÁLCULO DE CORTOCIRCUITO - CORTE PROTECCIÓN		
Icc trifásica o de descarga de los DPS's	40000	A
KVA Base	7,6	KVA
I Base	36,54	A
Z Transformador	0,045	
Vbase	13,2	KV
$Z_c \text{ pu} = \text{KVA Base} / \text{Pcc}$	1,44E-05	
$Z_{\text{total}} = Z_{\text{trans}} + Z_c$	0,045014394	
$I_{\text{cc}} = I_{\text{base}} / Z_{\text{total}}$	811,7061753	A
$I_{\text{cc ASIM}} = I_{\text{cc}} \times 1,25$	1.015	A
Capacidad mínima del interruptor a 208V	2	KA C.I

Tabla 4: Cálculo de cortocircuito para nivel de ruptura de protecciones

Los interruptores usados en la instalación tienen capacidad de ruptura de 4 y 10 KA para un nivel de tensión de 208-220-240V, de acuerdo con la referencia comercial más cercana a la calculada.

CÁLCULO DE CORRIENTE DE FLUJO INVERSA EN CAMPO FV		
Isc por cadena	11,69	A
Isc x 1,56	18,2364	A
Conductor escogido	6mm ²	
Corriente nominal del conductor (A)	30	Cu
Factor temperatura a 75°C	36-40°C	0,88
Factor de agrupamiento (ducto)	4-6	0,80
Corriente máxima de conductor (A)	21,12	
Número de hilos por polo (A)	1	
Corriente por hilo conductor (A)	18,24	
Cantidad de cadenas x MPPT	2	Np
Corriente max de flujo inverso en arreglo	14,6125	A
$I_{\text{max flujo inverso}} > I_{\text{max conductor}}$	NO REQUERE FUSIBLE POR CADENA PARA FLUJO INVERSO	

Tabla 5: Cálculo de corriente de flujo inversa en campo FV

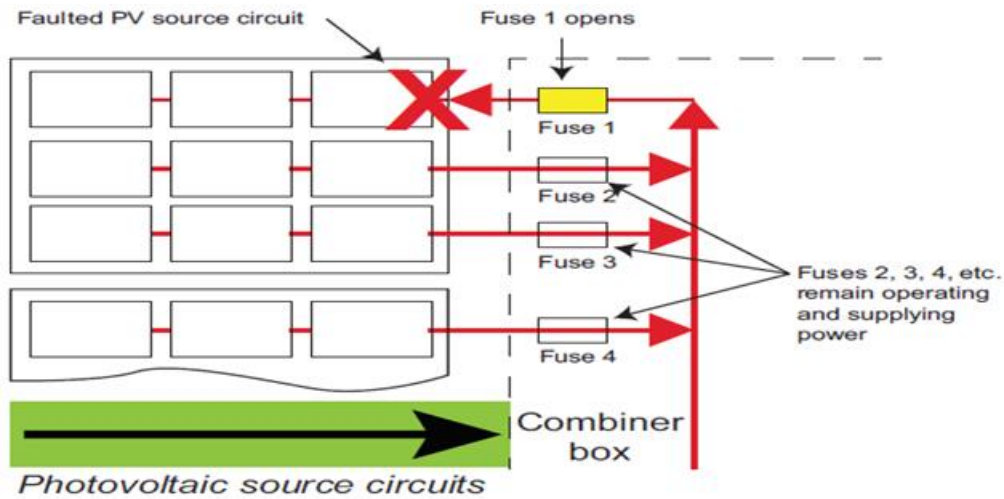


Figura 1: Falla de corriente de flujo inversa en strings

No se requiere instalar fusibles por cada cadena o string para proteger el conductor y el circuito de fuente fotovoltaica contra corrientes de flujo inversa, pues se demuestra que no hay corrientes adicionales de contribución de corto en los paneles. De igual manera, se instalan fusibles tipo FV que permita ofrecer un manejo adecuado para el mantenimiento en el alojamiento interno del equipo inversor.

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

No aplica para el alcance de la propuesta solar pues, el edificio ya cuenta con construcción de apantallamiento.

e. Análisis de riesgos de origen eléctrico y medidas para mitigarlos. Para un análisis de riesgos de origen eléctrico, el diseñador debe hacer una descripción de los factores de riesgos potenciales o presentes en la instalación y las recomendaciones para minimizarlos.

Se adjunta a este documento en anexo E.

f. Análisis del nivel tensión requerido.

De acuerdo al Artículo 12 “Clasificación de los niveles de tensión”, se aplican los literales:

- Baja tensión (BT): Los de tensión nominal mayor o igual a 25 V y menor o igual a 1000V.

El nivel de tensión en el circuito de fuente fotovoltaica es 551,1VDC en circuito abierto sin la aplicación de factores de derrateo. El nivel de tensión del circuito de salida del inversor es de 240-220-208VAC, conforme a la sincronización con la red de distribución a la que se conecta el sistema, al requerimiento de las cargas a instalar. Se hace comprobación del nivel de tensión en DC de acuerdo al artículo 690.7 de la NTC2050.

CÁLCULO DE CONDUCTOR POR CRITERIO DE REGULACIÓN EN BT DC EN STRINGS A TABLERO DC									
Equipo	String	MPPT	Vmp (V)	Imp (A)	L (m)	Conductor	R20°(Ω/km)	% Caída	ΔV (V)
Inversor	2	1	428	13,79	10	6mm2	3,2356	0,21	0,89

Tabla 6: Tensión máxima de arreglos

VERIFICACIÓN DE REGULACIÓN POR CORRECCIÓN DE TEMPERATURA DE OPERACIÓN EN DC										
Equipo	String	MPPT	L	Imp	Material	Temp op	Y	ΔV	Conductor (mm2)	
			m	A	Cu / Al	°C	m.Ω/mm2	V	Mínimo	Escogido
Inversor	2	1	10	9,74	Cobre	70	48	4,521	0,90	6

Tabla 7: Tensión mínima de arreglos

g. Cálculo de campos electromagnéticos para asegurar que, en espacios destinados a actividades rutinarias de las personas, no se superen los límites de exposición definidos en la Tabla 14.1.

No se superan los 1000A de transporte de corriente en conductores activos para requerir la medición.

h. Cálculo de transformadores incluyendo los efectos de los armónicos y factor de potencia en la carga.

Este literal va ligado al literal a. Se adjuntan documentos de memorias de cálculo del sistema interactivo como homólogo de cálculo de transformador en anexo h.

i. Cálculo del sistema de puesta a tierra.

Se realizó de acuerdo a artículos 690-41 al 690-47 y tabla 250-122 de la NTC2050, además de la UL2703 para la estructura. Para el caso del conductor

de protección de equipos se tuvo en cuenta lo citado en el artículo 250-122: *“Cuando un conductor sencillo de puesta a tierra de equipos vaya con circuitos múltiples en el mismo conducto o cable, su calibre se debe determinar de acuerdo con el mayor dispositivo de protección contra sobrecorriente que proteja a los conductores del mismo conducto o cable.”*. El conductor general de puesta a tierra de equipos del sistema solar se dimensionó bajo la condición citada en el artículo 250.120(c). Se dejan estas referencias en el diagrama unifilar y esquemas de conexión.

j. Cálculo económico de conductores, teniendo en cuenta todos los factores de pérdidas, las cargas resultantes y los costos de la energía.

Se anexa cálculo relacionado con conductor de circuito de salida del inversor, teniendo en cuenta el tiempo diario de utilización de los sistemas y un valor promedio de kWh del servicio de energía que paga el cliente.

CÁLCULO DE ALIMENTADOR POR PÉRDIDAS ECONÓMICAS		
Conductor escogido	8	Cu
Tarifa promedio pagada por energía	593	\$/kWh
Costo del conductor por kg de peso	12.000	\$/kg
Tiempo de servicio max del conductor	1.006	h/año
Interés corriente % anual efectivo	22	%
% carga max estimado en conductor	26	%
Área mínima calculada del cond (Ac)	8,00	mm ²
Área del cond escogido Ae (Ae>Ac)	8,36	mm ²
Verificación de cumplimiento	CUMPLE	

Tabla 8: Cálculo de conductor por pérdidas económicas

k. Verificación de los conductores, teniendo en cuenta el tiempo de disparo de los interruptores, la corriente de cortocircuito de la red y la capacidad de corriente del conductor de acuerdo con la norma IEC 60909, IEEE 242, capítulo 9 o equivalente.

Se anexan cálculos relacionados con el conductor del circuito de salida del inversor y del punto de conexión en tablero. De igual manera, el fabricante de conductores, por medio de la ficha técnica, confirma los datos requeridos.

CÁLCULO DE CORTOCIRCUITO - CONDUCTOR		
Icc o de descarga de los DPS's	40000	A
Tiempo de duración de la falla	0,5	Segs
Tmax de operación del conductor	75	°C
Tmax en Ccto sin daño al aislamiento	160	°C
Conductor escogido	8	Cu
Área del conductor escogido Ae	8,36	mm2
Cantidad de hilos por conductor	1	#
Constante k por material de conductor	341	
Constante λ por material de conductor	234	
Icc calculada para conductor escogido	1309,72	A
Icc de acuerdo a tiempo (UNE20460-4-43)	976	A
Verificación de cumplimiento (Ae>Ac)	CUMPLE	

Tabla 9: Cálculo de conductor alimentador AC por cortocircuito

CÁLCULO DE CONDUCTOR BT EN AC POR DEMANDA		
Potencia (VA)	7.600	
Corriente de carga (A)	34,55	
Amp x Fact.Seg (1,25)	43,2	
Conductor escogido	8	
Corriente nominal del conductor (A)	50	Cu
Factor temperatura a 75°C	31-35°C	0,94
Factor de agrupamiento (ducto)	1 - 3	1,00
Corriente máxima de conductor (A)	47	
Número de hilos por fase (A)	1	
Corriente por hilo conductor (A)	43,18	
Verificación de cumplimiento	CUMPLE	

Tabla 10: Cálculo de conductor alimentador AC por demanda

VERIFICACIÓN INVERSOR MÁX 120% DE BARRAJE - 705.12(B)(2)(3)(b)					
I _{max} Inversor (A)	OCPD principal	I Barraje (A)	120% I Barraje (A)	I min PC	Verificación
18	200	200	240	32	CUMPLE

Tabla 11: Cálculo de punto de conexión en barraje de Tablero de distribución

I. Cálculo mecánico de estructuras y de elementos de sujeción de equipos.

Se anexa layout de estructura en el plano y ficha técnica de los accesorios utilizados que ha recomendado el fabricante en su propuesta de acuerdo al tipo de cubierta y las consideraciones de tipo estructural. Se sugiere que adicionalmente, el constructor y el cliente se apoyen en el cálculo y recomendaciones que realice un especialista estructural.

m. Cálculo y coordinación de protecciones contra sobre corrientes. En baja tensión se permite la coordinación con las características de limitación de corriente de los dispositivos según IEC 60947-2 Anexo A.

Se calculan las protecciones teniendo en cuenta las características de cumplimiento con la máxima corriente a transportar y lo descrito en la sección 240 “Protección contra sobrecorriente” para AC y la sección 690 “Sistemas solares fotovoltaicos” para DC, de la NTC2050. En el caso de la protección de la carga de acuerdo a IEC 60947-2, los interruptores sugeridos son de categoría "A" con selectividad amperimétrica. Se dejan estas referencias en el diagrama unifilar y esquemas de conexión.

CÁLCULO DE FUSIBLE POR CADENA		
Isc por cadena	11,69	A
Isc x 1,56	18,2364	A
Características mínimas de fusible	20	A
	1000	V

Tabla 12: Cálculo de protección para campo FV

CÁLCULO DE PROTECCIÓN PDI LADO CARGA	
Potencia (VA)	7.600
Corriente (A)	36,5
Amp x Fact.Seg (1,25)	45,7
Breaker totalizador escogido (A)	50

Tabla 12. Requisitos equipos de corte para sistemas de autogeneración basados en inversores y de frecuencia variable

Capacidad	Equipo de Corte	Notas
$P \leq 0.25 \text{ MW}$	Interruptor termomagnético o Interruptor con unidades de disparo	u
$0.25 \text{ MW} < P \leq 1 \text{ MW}$	Interruptor con unidades de disparo, Reconectador o Interruptor de potencia	v - w
$1 \text{ MW} < P \leq 5 \text{ MW}$	Interruptor con unidades de disparo, Reconectador o interruptor de potencia	v - x
$P > 5 \text{ MW}$	Reconectador o Interruptor de potencia	s - v

Tabla 13: Cálculo de protección de circuito de salida del inversor

Se escoge interruptor termomagnético disponible en el mercado y se corrobora con CNO1322:

Figura 3: Requisitos equipos de corte para sistemas de autogeneración basado en inversores CNO1332

Finalmente, el equipo inversor con CNO1322, para dar conformidad a la existencia del esquema de protecciones de tensión, frecuencia y anti isla:

Tabla 6. Funciones de protección mínimas para sistemas de generación basados en inversores y frecuencia variable menores o iguales a 0.25 MW

Función de Protección	PC	UG	Notas
Bajatensión (ANSI 27)		X	<i>l - m</i>
Sobrepotencia adelante (ANSI 32)	X		<i>j</i>
Sobretensión (ANSI 59)		X	<i>l - m</i>
Frecuencia (ANSI 81U/O)		X	<i>m - p</i>
Anti-isla		X	<i>q</i>

Figura 4: Funciones de protección mínimas de sistemas de generación basados en inversores menores o iguales a 0,25MW CNO1332

Para el caso de sobrepotencia en el punto de conexión, no se aplica pues se busca en este caso que el cliente tenga el beneficio de entregar excedentes y no se instala ningún equipo de control dinámico de potencia o relé de flujo inverso.

El equipo inversor previsto, cumple con los requerimientos de programación requeridos por el CNO 1332:



DECLARACIÓN CNO 1258

Fronius International GmbH

Con la presente confirmamos que los inversores

/ Fronius Primo 3.8-1 – 8.2-1 208 - 240
 / Fronius Primo 10.0-1 – 15.0-1 208 - 240
 / Fronius Galvo 1.5-1 – 3.1-1 208 - 240
 / Fronius Symo 10.0-3 – 12.0-3 208 - 240
 / Fronius Symo 15.0-3 208
 / Fronius Symo 10.0-3 – 24.0-3 480
 / Fronius Symo Advanced 10.0-3 – 12.0-3 208 - 240
 / Fronius Symo Advanced 15.0-3 – 24.0-3 480

Cumple con la norma UL 1741 "Norma para la seguridad: equipos de convertidores, convertidores, controladores y sistemas de interconexión para su uso con recursos de energía distribuida" y IEEE 1547 "Estándar para la interconexión de recursos distribuidos con sistemas de energía eléctrica".

Los inversores están equipados con una protección de interfaz interna que incluye las siguientes funciones de disparo para voltaje anormal y frecuencia anormal (de acuerdo con IEEE 1547):

FUNCIÓN	AJUSTE		TEMPORIZACIÓN	
	Setups 208, 220, 240, 440N y 480N	Requerido por CNO	Setups 208, 220, 240, 440N y 480N	Requerido por CNO
Etapa 1: Bajatensión (ANSI 27)	0.88 p.u.	0.85 p.u.	2 s	2 s
Etapa 2: Bajatensión (ANSI 27)	0.5 p.u.	0.5 p.u.	0.16 s	0.16 s
Etapa 1: Sobretensión (ANSI 59)	1.10 p.u.	1.15 p.u.	1 s	2 s
Etapa 2: Sobretensión (ANSI 59)	1.2 p.u.	1.2 p.u.	0.16 s	0.16 s
Bajafrecuencia (ANSI 81 U)	57 Hz	57 Hz	0.16 s	0.16 s
Sobrefrecuencia (ANSI 81 O)	62 Hz	63 Hz	0.16 s	0.16 s

De acuerdo a esto, los inversores acá señalados cumplen con los requisitos de protecciones para la conexión de sistemas de generación en el sistema interconectado nacional según lo estipulado en el acuerdo 1258 del Consejo Nacional de Operación (CNO) para sistemas de generación basados en inversores menores o iguales a 0.25 MW.

Además, los inversores están equipados con una función anti-isla como se describe en IEEE 1547.

Fronius International GmbH
 Business Unit Solar Energy
 Froniusplatz 1
 A-4600 Wels

Bernhard Kossak, MSc
 Head of Systems Technology

Figura 5: Declaración de cumplimiento de CNO1332 de fabricante de inversores

n. Cálculos de canalizaciones (tubo, ductos, canaletas y electroductos) y volumen de encerramientos (cajas, tableros, conduletas, etc.)

CÁLCULO DE DUCTO TUBULAR MÍNIMO PARA STRINGS A INVERSOR					
Calibre	Calibre mm2	Diámetro con aislamiento en mm2	Tipo y uso del conductor	Cantidad de conductores	Espacio total ocupado
10	6	47,06	PV	2	94,12
6	13,29	28,65	THHN, THWN	1	28,65
Diámetro (mm) total de conductores alojados en ducto					122,77
Ducto mínimo escogido		Tubo conduit PVC tipo A		1"Ø	279
Verificación de cumplimiento					CUMPLE

Tabla 14: Cálculo de ducto tubular para alimentador DC

CÁLCULO DE DUCTO TUBULAR MÍNIMO PARA INVERSOR A TABLERO DE DISTRIBUCIÓN					
Calibre	Calibre mm ²	Diámetro con aislamiento en mm ²	Tipo y uso del conductor	Cantidad de conductores	Espacio total ocupado
10	5,25	11,76	THHN, THWN	3	35,28
Diámetro (mm) total de conductores alojados en ducto					35,28
Ducto mínimo escogido		Tubo conduit tipo EMT		3/4"Ø	137

Tabla 15: Cálculo de ducto tubular para alimentador AC

o. Cálculos de pérdidas de energía, teniendo en cuenta los efectos de armónicos y factor de potencia.

Se anexa cálculo relacionado con el alimentador del sistema solar fotovoltaico. El resto de los cálculos de pérdidas se relacionan en el documento anexo de cálculo del sistema interactivo.

CÁLCULO DE ACOMETIDA POR PÉRDIDAS DE ENERGÍA		
Conductor escogido	8	Cu
Tiempo de servicio del conductor	1.393	h/año
% carga estimado en el conductor	36	%
Longitud del conductor escogido	10	m
Resistividad del conductor escogido	4,01E-03	Ω /m
Pérdidas por efecto Joule	293	W/h/año
Área mínima calculada del cond (Ac)	5,23	mm ²
Área del cond escogido Ae (Ae>Ac)	5,25	mm ²
Verificación de cumplimiento	CUMPLE	

Tabla 16: Cálculo de acometida por pérdidas de energía

p. Cálculos de regulación.

CÁLCULO DE CONDUCTOR POR CRITERIO DE REGULACIÓN EN BT DC EN STRINGS A TABLERO DC									
Equipo	String	MPPT	Vmp (V)	Imp (A)	L (m)	Conductor	R20°(Ω /km)	% Caída	ΔV (V)
Inversor	1	1	428	9,74	15	6mm ²	3,3436	0,22	0,96

Tabla 17: Cálculo de conductor por criterio de regulación DC

VERIFICACIÓN DE REGULACIÓN POR CORRECCIÓN DE TEMPERATURA DE OPERACIÓN EN DC										
Equipo	String	MPPT	L	Imp	Material	Temp op	Y	ΔV	Conductor (mm ²)	
			m	A	Cu / Al	°C	m. Ω /mm ²	V	Mínimo	Escogido
Inversor	2	1	10	11,69	Cobre	70	48	4,521	1,08	6

Tabla 18: Verificación de regulación en DC

q. Clasificación de áreas.

No hay instalaciones con áreas clasificadas en el alcance de esta obra.

r. Elaboración de diagramas unifilares.

Se anexa en plano.

s. Elaboración de planos y esquemas eléctricos para construcción.

Se anexa en plano en la planta y en los detalles de construcción.

t. Especificaciones de construcción complementarias a los planos, incluyendo las de tipo técnico de equipos y materiales y sus condiciones particulares.

Se anexa en plano en las notas.

u. Establecer las distancias de seguridad requeridas.

Se tuvo en cuenta la sección 110, con énfasis en el artículo 110.16 en adelante, de la NTC 2050 donde se citan las disposiciones de los espacios de trabajo. El constructor debe hacer demarcación de los límites de aproximación restringida de acuerdo al artículo 13 del Retie, en el frente de los equipos del sistema. Los aplicables de esta bibliografía se anexan en los detalles y en la planta del plano.

v. Justificación técnica de desviación de la NTC 2050 cuando sea permitido, siempre y cuando no comprometa la seguridad de las personas o de la instalación.

No hay desviación de la normativa vigente en el alcance de esta obra.

w. Los demás estudios que el tipo de instalación requiera para su correcta y segura operación, tales como condiciones sísmicas, acústicas, mecánicas o térmicas.

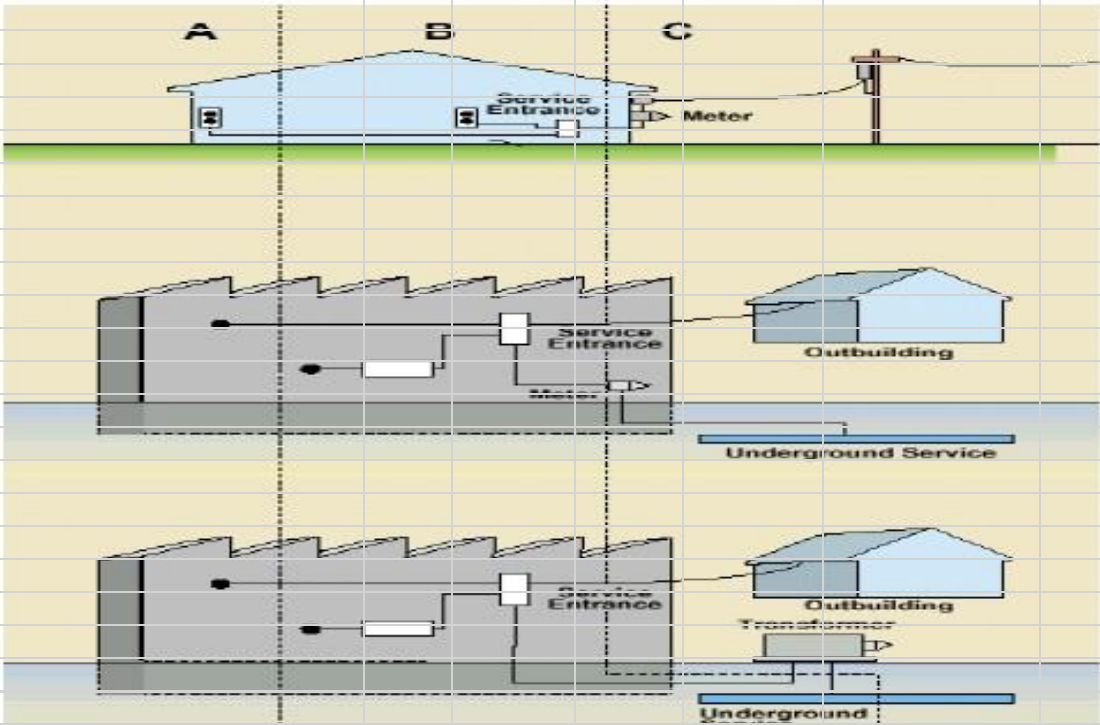
No se requieren estudios adicionales en el alcance de esta obra.

El diseñador queda exonerado de cualquier responsabilidad si estos cálculos y distribuciones son alterados o modificados sin autorización previa escrita en su diseño y construcción original por el cliente, propietario del proyecto o terceros.

No se permite su empleo o reproducción total o parcial con fines distintos al contratado. Además, declara que el contenido total de este documento es cierto y se encuentra soportado con los cálculos anexos.

5.2 ANEXOS

5.2.1 ANÁLISIS DE COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO - ANÁLISIS DE PROTECCIÓN INTERNA TIPO DPS EN PUNTO DE ACOPLAMIENTO COMÚN DEL SISTEMA EN AC.

GUIA SELECCIÓN DE SUPRESORES DE TRASIENTOS PARA SISTEMAS DE CORRIENTE ALTERNA BASADO EN NORMA IEEE - 62.41			
SITIO DONDE SE CONSTRUYE EL PROYECTO:	Cali		
ZONA DONDE SE CONSTRUYE EL PROYECTO:	URBANO		
ALTURA RESPECTO A OTRAS CONSTRUCCIONES	EL MÁS ALTO		
TIPO DE ACOMETIDA	INDEPENDIENTE		
HISTORIA DE DISTRUBIOS EN EL SECTOR	OCACIONALES		
IMPORTANCIA DEL EQUIPO A PROTEGER	MEDIO		
COSTO DE REPARACIÓN DEL EQUIPO	MODERADA		
NIVEL DE EXPOSICIÓN NORMA IEEE 62 - 41	NIVEL B (DISTRIBUCIÓN)		
INDICE DE EXPOSICIÓN CALCULADO	44	KA DEL SUPRESOR REQUERIDO	120 KA 80 KA
			
Se debe consultar las capacidades sugeridas de equipos existen en referencias comerciales y existencias. Se pueden instalar referencias cercanas a las sugeridas. Si se va a acoplar un sistema solar fotovoltaico interactivo con la red, se debe tener en cuenta la referencia de supresor a la salida en AC de tipo B.			

5.2.3. ANEXO E. ANÁLISIS DE RIESGOS ELÉCTRICOS DE ACUERDO A ARTÍCULOS 9.2 AL 9.4

UBICACIÓN	CONDICION		ARCO ELECTRICO			MEDIDAS DE PROTECCIÓN
	APLICA	NO APLICA	TIPO DE RIESGO:		POTENCIAL	
			PERDIDAS ECONOMICAS	PERDIDAS VIDAS HUMANAS	DAÑO MEDIO AMBIENTAL	
CAMPO FOTOVOLTAICO	X		1E	1E	1E	Cuadrilla especializada de trabajo en montaje y/o mantenimiento, uso de EPP, distancias de seguridad, recubrimiento de partes vivas expuestas o trabajo en frío, minimizar carga en apertura de circuitos y solo abrir circuito en horas nocturnas
REDES DE DISTRIBUCIÓN EXTERNAS	X		1E	1E	1E	Cableado de aislamiento correcto y conexonado correcto, personal autorizado y capacitado en montaje y/o mantenimiento de redes en baja tensión, uso de EPP, aplicación de distancias de seguridad y límites de aproximación seguro, señalización
TABLERO TIPO PANEL BOARD	X		1E	1E	1E	Personal autorizado y capacitado en montaje y/o mantenimiento, uso de EPP categoría de acuerdo a estudio de arco, distancias de seguridad, señalización de estudio de arco en tablero, demarcación de límite de aproximación restringida de acuerdo a Retie 13.4i y tabla 13.7 del Retie en el recinto
UBICACIÓN	CONDICION		EQUIPO DEFECTUOSO			MEDIDAS DE PROTECCIÓN
	APLICA	NO APLICA	TIPO DE RIESGO:		POTENCIAL	
			PERDIDAS ECONOMICAS	PERDIDAS VIDAS HUMANAS	DAÑO MEDIO AMBIENTAL	
CAMPO FOTOVOLTAICO	X		1E	1E	1E	Verificación de documentación de garantía y protocolos de pruebas de equipos, conexonado e instalación de equipos de acuerdo a recomendaciones de fábrica y normativa técnica vigente
REDES DE DISTRIBUCIÓN EXTERNAS	X		1E	1E	1E	Verificación de documentación de garantía y protocolos de pruebas de equipos, conexonado e instalación de equipos de acuerdo a recomendaciones de fábrica y normativa técnica vigente
TABLERO TIPO PANEL BOARD	X		1E	1E	1E	Garantía de equipos, conexonado e instalación de equipos de acuerdo a recomendaciones de fábrica y normativa técnica vigente

UBICACIÓN	CONDICION		CONTACTO DIRECTO			MEDIDAS DE PROTECCIÓN
			TIPO DE RIESGO:		POTENCIAL	
	APLICA	NO APLICA	PERDIDAS ECONOMICAS	PERDIDAS VIDAS HUMANAS	DAÑO MEDIO AMBIENTAL	
CAMPO FOTOVOLTAICO	X		1E	1E	1E	Controlado con la ubicación de instalación de los equipos en cubierta para evitar manipulación de personas no autorizadas y el aterrizaje del sistema
REDES DE DISTRIBUCIÓN EXTERNAS	X		1E	1E	1E	Controlado con el aislamiento de los conductores y partes energizadas con sistemas portacables y cerramiento de equipos
TABLERO TIPO PANEL BOARD	X		1E	1E	1E	Personal autorizado y capacitado en montaje y/o mantenimiento, uso de EPP, distancias de seguridad, señalización, correcto dimensionamiento de protecciones y SPT, mantener el aislamiento de equipos
UBICACIÓN	CONDICION		SOBRECARGA DE CIRCUITOS			MEDIDAS DE PROTECCIÓN
			TIPO DE RIESGO:		POTENCIAL	
	APLICA	NO APLICA	PERDIDAS ECONOMICAS	PERDIDAS VIDAS HUMANAS	DAÑO MEDIO AMBIENTAL	
CAMPO FOTOVOLTAICO	X		1E	1E	1E	Correcto dimensionamiento de cableado, equipos, protecciones y SPT, mantener el aislamiento de equipos y aparatos
REDES DE DISTRIBUCIÓN EXTERNAS	X		1E	1E	1E	Correcto dimensionamiento de cableado, equipos, protecciones y SPT, mantener el aislamiento de equipos y aparatos
TABLERO TIPO PANEL BOARD	X		1E	1E	1E	Correcto dimensionamiento de cableado, equipos, protecciones y SPT, mantener el aislamiento de equipos y aparatos, sugerir correctos hábitos de consumo y demanda, verificar el estado de los componentes de los equipos y/o electrodomésticos

UBICACIÓN	CONDICION		CONTACTO INDIRECTO			MEDIDAS DE PROTECCIÓN
			TIPO DE RIESGO:		POTENCIAL	
	APLICA	NO APLICA	PERDIDAS ECONOMICAS	PERDIDAS VIDAS HUMANAS	DAÑO MEDIO AMBIENTAL	
CAMPO FOTOVOLTAICO	X		1E	1E	1E	Controlado con la ubicación de instalación de los equipos en cubierta para evitar manipulación de personas no autorizadas y el aterrizaje del sistema
REDES DE DISTRIBUCIÓN EXTERNAS	X		1E	1E	1E	Controlado con el aislamiento de los conductores y partes energizadas con sistemas portacables, el cerramiento de equipos además del correcto dimensionado y montaje del SPT
TABLERO TIPO PANEL BOARD	X		1E	1E	1E	Personal autorizado y capacitado en montaje y/o mantenimiento, uso de EPP, distancias de seguridad, señalización, correcto dimensionamiento de protecciones y SPT, mantener el aislamiento de equipos, verificar el estado de los componentes de los equipos y/o electrodomésticos
UBICACIÓN	CONDICION		TENSION DE CONTACTO			MEDIDAS DE PROTECCIÓN
			TIPO DE RIESGO:		POTENCIAL	
	APLICA	NO APLICA	PERDIDAS ECONOMICAS	PERDIDAS VIDAS HUMANAS	DAÑO MEDIO AMBIENTAL	
CAMPO FOTOVOLTAICO	X		1E	1E	1E	Controlado con la ubicación de instalación de los equipos en cubierta para evitar manipulación de personas no autorizadas además del correcto dimensionado y montaje del SPT
REDES DE DISTRIBUCIÓN EXTERNAS	X		1E	1E	1E	Controlado con el aislamiento de los conductores y partes energizadas con sistemas portacables, el cerramiento de equipos además del correcto dimensionado y montaje del SPT
TABLERO TIPO PANEL BOARD	X		1E	1E	1E	Correcto dimensionamiento de cableado, equipos, protecciones y SPT, mantener el aislamiento de equipos y aparatos, señalización, distancias de seguridad

UBICACIÓN	CONDICION		CORTOCIRCUITO			MEDIDAS DE PROTECCIÓN
			TIPO DE RIESGO:		POTENCIAL	
	APLICA	NO APLICA	PERDIDAS ECONOMICAS	PERDIDAS VIDAS HUMANAS	DAÑO MEDIO AMBIENTAL	
CAMPO FOTOVOLTAICO	X		1E	1E	1E	Controlado con el aislamiento conductores con sistemas portacables y cerramiento de equipos, la correcta polaridad en instalación, las protecciones calculadas además del correcto dimensionado y montaje del SPT
REDES DE DISTRIBUCIÓN EXTERNAS	X		1E	1E	1E	Controlado con el aislamiento conductores con sistemas portacables y cerramiento de equipos, la correcta polaridad en instalación, las protecciones calculadas además del correcto dimensionado y montaje del SPT
TABLERO TIPO PANEL BOARD	X		1E	1E	1E	Personal autorizado y capacitado en montaje y/o mantenimiento, uso de EPP, distancias de seguridad, señalización, correcto dimensionamiento de protecciones y SPT, mantener el aislamiento de equipos
UBICACIÓN	CONDICION		TENSION DE PASO			MEDIDAS DE PROTECCIÓN
			TIPO DE RIESGO:		POTENCIAL	
	APLICA	NO APLICA	PERDIDAS ECONOMICAS	PERDIDAS VIDAS HUMANAS	DAÑO MEDIO AMBIENTAL	
CAMPO FOTOVOLTAICO	X		1E	1E	1E	Controlado con la ubicación de la instalación de los equipos en cubierta, la correcta polaridad en instalación, las protecciones calculadas además del correcto dimensionado y montaje del SPT
REDES DE DISTRIBUCIÓN EXTERNAS		X	NA	NA	NA	NA
TABLERO TIPO PANEL BOARD		X	NA	NA	NA	NA

UBICACIÓN	CONDICION		ELECTRICIDAD ESTATICA			MEDIDAS DE PROTECCIÓN
	APLICA	NO APLICA	TIPO DE RIESGO:		POTENCIAL	
			PERDIDAS ECONOMICAS	PERDIDAS VIDAS HUMANAS	DAÑO MEDIO AMBIENTAL	
CAMPO FOTOVOLTAICO	X		1E	NA	1E	Correcto dimensionamiento y montaje del SPT
REDES DE DISTRIBUCIÓN EXTERNAS	X		1E	NA	1E	Correcto dimensionamiento y montaje del SPT
TABLERO TIPO PANEL BOARD	X		1E	NA	1E	Correcto dimensionamiento y montaje de SPT

COLOR	NIVEL DE RIESGO	DECISIONES A TOMAR Y CONTROL	PARA EJECUTAR LOS TRABAJOS
	Muy alto	Inadmisibles para trabajar. Hay que eliminar fuentes potenciales, hacer reingeniería o minimizarlo y volver a valorarlo en grupo, hasta reducirlo. Requiere permiso especial de trabajo.	Buscar procedimientos alternativos si se decide hacer el trabajo. La alta dirección participa y aprueba el Análisis de Trabajo Seguro (ATS) y autoriza su realización, mediante un Permiso Especial de Trabajo (PES).
	Alto	Minimizarlo. Buscar alternativas que presenten menor riesgo. Demostrar cómo se va a controlar el riesgo, aislar con barreras o distancia, usar EPP. Requiere permiso especial de trabajo.	El jefe o supervisor del área involucrada, aprueba el Análisis de Trabajo Seguro (ATS) y el Permiso de Trabajo (PT) presentados por el líder a cargo del trabajo.
	Medio	Aceptarlo. Aplicar los sistemas de control (minimizar, aislar, suministrar EPP, procedimientos, protocolos, lista de verificación, usar EPP). Requiere permiso de trabajo.	El líder del grupo de trabajo diligencia el Análisis de Trabajo Seguro (ATS) y el jefe de área aprueba el Permiso de Trabajo (PT) según procedimiento establecido.
	Bajo	Asumirlo. Hacer control administrativo rutinario. Seguir los procedimientos establecidos. Utilizar EPP. No requiere permiso especial de trabajo.	El líder del trabajo debe verificar: • ¿Qué puede salir mal o fallar? • ¿Qué puede causar que algo salga mal o falle? • ¿Qué podemos hacer para evitar que algo salga mal o falle?
	Muy bajo	Vigilar posibles cambios	No afecta la secuencia de las actividades.

Tabla 9.4 Decisiones y acciones para controlar el riesgo

5.2.4 ANEXO H. CÁLCULO DE TRANSFORMADORES – SIMULACIÓN DE SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO INTERACTIVO

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging



PROYECTO

País	Colombia
Nombre del proyecto	2021-04-12_1142

MÓDULO FV

Módulo FV fabricante	Trina Solar Energy
Modelo	TSM-400DE15M(II) (THE SPLITMAX framed)
Temp. de módulo mín. / máx.	-10 °C / 70 °C
Rendimiento adicional módulo bifacial	0%

INVERSOR

Tipo de Inversor	Primo 5.0-1 / 208
------------------	-------------------

RESUMEN

Relación de potencia	86%
Pmpp para 25 °C	4,40 kWp
MPPT	PV1+2: 1x11
Corriente factor	1,00

MPPT DETALLES

	PV1+2
Cableado (series. x mód.)	1 x 11
Corriente de cortocircuito 25 °C	10,45 A
Ump para 70 °C	372,96 V
Tensión circuito abierto para -10 °C	593,71 V
Tensión de MPP para 25°C	443,30 V
Pmpp para 25 °C	4,40 kWp
Fusibles de string requeridos	no
Caja de string requerida	no

FRONIUS International GmbH no asume responsabilidad alguna por la integridad de los datos de módulos y inversores empleados ni por las configuraciones incorrectas, diseños erróneos o ineficientes de instalaciones creados mediante el configurador. Todos los derechos de responsabilidad frente a Fronius que guarden relación con daños materiales o inmateriales debidos al uso del Solar configurador, quedan excluidos siempre que Fronius no haya actuado de forma dolosa o negligente grave. El diseño Quick se basa en los siguientes supuestos. No se tiene en consideración cosPH, tensión de CA, carga desequilibrada o limitación de potencia específicas de países. Lugar de instalación < 2000m. Rendimiento específico para cálculo de almacenamiento = 1000 kWh/kWp. 1/1

Ing. Carlos Alberto Orejuela