Estudio de conexión simplificado Sistema Solar Fotovoltaico Puerto Mallarino

Señores: EMCALI
Medellín, Colombia
Febrero 6 de 2022

FLUX

INFORME FINAL

Realizó	Fecha	Versión
Wilfrido Crawford	06/02/2022	2
Nicolás Achury	06/02/2022	2

TABLA DE CONTENIDO

INDICE DE ANEXOS 3
1. Resumen ejecutivo 4
1.1 Descripción general del proyecto 4
1.2 Fecha de entrada del proyecto 5
1.3 Potencia máxima de generación 5
1.4 Número de unidades 5
1.5 Parámetros eléctricos del generador 5
1.6 Ubicación geográfica del proyecto y de la instalación 6
1.7 Parámetros técnicos de los paneles y de los inversores para tecnología solar fotovoltaica 6
1.8 Información adicional que sea necesaria para el análisis de la conexión 8
2. Objetivo y alcance 9
2.1 Objetivo 9
2.2 Alcance 9
3. Metodología 10
3.1 Criterios técnicos de calidad, seguridad y confiabilidad 10
3.2 Límites para validar de acuerdo con los criterios del numeral 3.1 11
3.3 Descripción de los análisis a realizar 11
3.4 Cálculo teórico de la energía anual producida por el proyecto 11
4. Resultados de los análisis eléctricos 12
4.1 Flujo de carga AC en estado estable para condiciones normales de operación (sistema desbalanceado) o análisis desbalanceado de corrientes, en el que se evidencie el impacto de la conexión y las corrientes circulantes por el neutro. 12
4.1.1 Criterios para el análisis de estado estacionario 13
4.1.2 Resultados de estado estacionario 14
4.2 Cálculo de pérdidas en el nodo de operación 15
4.3 Verificación del nivel de cortocircuito en el nodo de conexión (norma IEC60909) . 20
4.3.1 Criterios para análisis de cortocircuito 21
4.3.2 Resultados de cortocircuito 21
4.4 Calidad de la potencia: Declaración técnica del equipo en cuanto al cumplimiento de los parámetros establecidos en la IEEE 1547 y de estándares en cuanto a la calidad de la potencia (inyección de armónicos a la red y fluctuaciones de tensión, etc.) y sujetos a la verificación con medidas en campo antes y después de la instalación del proyecto. 24
5. Verificación de protecciones 26
5.1 Parametrización de las protecciones voltaje y frecuencia 26
6. Conclusiones 29

Flux S.A.S: Transversal 34B Sur # 33-42 Int 401, Teléfono: (4)3019030
Email: jarboleda@fluxenergy.co ●
Envigado – Colombia

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama circuito de interés 4
Figura 2. Ubicación geográfica del cliente 6
Figura 3. Curvas de generación 12
Figura 4. Caso Planta Solar FV ON 16
Figura 5. Caso Base Planta Solar FV OFF 20
Figura 6. Funcionamiento de un inversor conectado a la red. 22
Figura 7. Circuito de prueba (norma IEEE 1547.1 – 2005). 23
Figura 8. Diagrama del inversor CA/CC y de bloques de circuitos lógicos relacionados con la protección anti-isla 24

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Distribución de equipos 5
Tabla 2. Descripción técnica panel solar fotovoltaico 7
Tabla 3. Descripción técnica inversor 7
Tabla 4. Descripción técnica interruptores regulables 8
Tabla 5. Clasificación, denominación y valores de la tensión nominal 13
Tabla 6. Perfiles de tensión 14
Tabla 7. Cargabilidad del transformador y líneas 14
Tabla 8. Pérdidas de potencia transformador 15
Tabla 9. Pérdidas en los nodos contiguos 17
Tabla 10. Resultados de Cortocircuito Monofásico 22
Tabla 11. Límites de distorsión armónica en tensión 25
Tabla 12. Límites de distorsión armónica en corriente 25
Tabla 13. Información técnica inversor. 25
Tabla 14. Funciones de protección mínimas en sistemas de generación basados en inversores y frecuencia variable 26
Tabla 15. Ajuste de protecciones sistémicas para sistemas de generación basados en inversores y frecuencia variable mayores a 0.25 MW y menores a 1MW conectados al SDL 26
Tabla 16. Valores de ajuste para protecciones 27

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Fichas técnicas
Anexo 2. Flujos de carga
Anexo 3. Análisis de cortocircuito
Anexo 4. Coordinación de protecciones

Flux S.A.S: Transversal 34B Sur # 33-42 Int 401, Teléfono: (4)3019030
Email: jarboleda@fluxenergy.co ●
Envigado – Colombia

1. Resumen ejecutivo

1.1 Descripción general del proyecto

La empresa **Consorcio Hidrosolar** se encuentra en proceso de construcción y puesta en servicio de un sistema solar fotovoltaico de **990 kW AC** de capacidad para autogeneración, el cual estará instalado en **Planta de tratamiento Puerto Mallarino.** Con esta generación, se atenderá la demanda propia de energía y en caso tal de generar excedentes, exportar energía a la red operada por **EMCALI**. La entrada en operación del proyecto en cuestión se estima para febrero de 2022. El presente estudio incluye los análisis eléctricos para la única alternativa de conexión al sistema de distribución local de **EMCALI**.

Se tiene en cuenta que el estudio de conexión simplificado debe cumplir con los requisitos para autogeneradores establecidos por la regulación actual de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) en la resolución 174 de 2021 y con lo establecido en el acuerdo del Centro Nacional de Operaciones (CNO) 1322.

La conexión de la autogeneración **Planta de tratamiento Puerto Mallarino 990 kW AC** se hará en el circuito **Puerto Mallarino** conectado a la subestación **Juanchito** de 34,5 kV. A continuación, en la Figura 1 se muestra el diagrama unifilar del circuito del operador de red **EMCALI**, en el cual se modela el equivalente de red de la subestación **Juanchito** de 34,5 kV, la carga equivalente del resto de la subestación y las cargas equivalentes del ramal de interés.

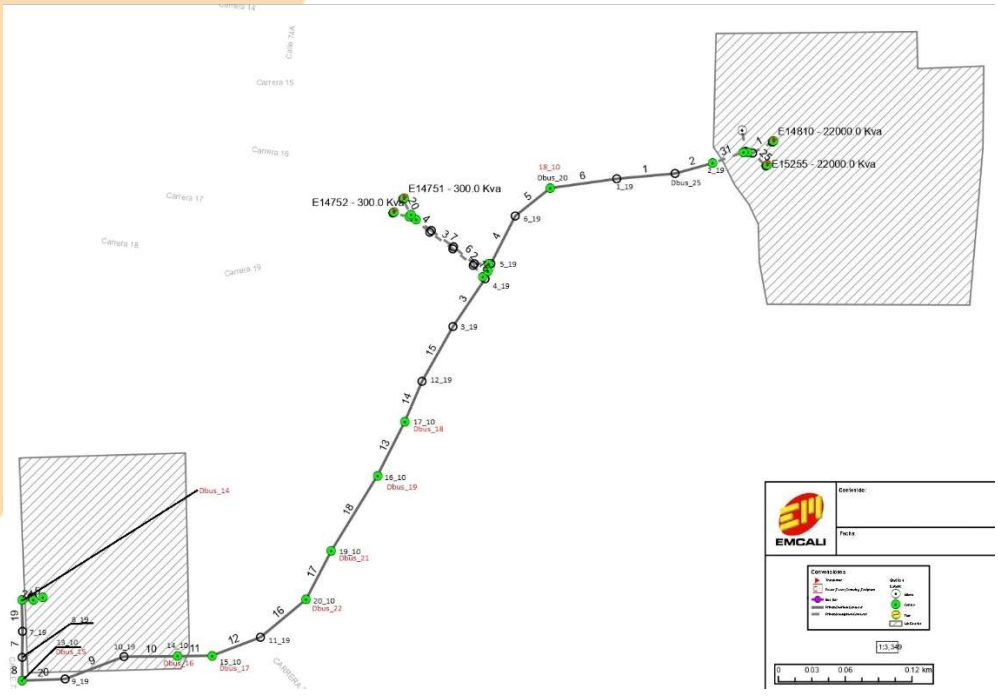


Figura 1. Diagrama circuito de interés

Flux S.A.S: Transversal 34B Sur # 33-42 Int 401, Teléfono: (4)3019030
Email: jarboleda@fluxenergy.co ●
Envigado – Colombia

1.2 Fecha de entrada del proyecto

La entrada en operación del proyecto se estima para el mes de febrero del 2022, teniendo en cuenta el proceso de construcción, certificación y legalización ante el operador de red.

1.3 Potencia máxima de generación

En el caso de los sistemas solares fotovoltaicos la potencia máxima de generación se verá limitada por la potencia aparente de los inversores en corriente alterna, para este proyecto se instalarán **9** inversores con potencia nominal de **100 kW** y una potencia máxima de **110 kW**, por lo tanto, la potencia máxima de generación serán **990 kW**.

1.4 Número de unidades

Para el proyecto **Planta de tratamiento Puerto Mallarino** se proyecta la instalación de **9** inversores fotovoltaicos marca **Huawei** referencia **SUN2000-100KTL** con potencia nominal de **100 kW** y potencia máxima de **110kW**. Adicionalmente, se utilizarán **1849** paneles solares marca **Longi Solar** referencia **LR5-72HPH-540M** con una potencia nominal de **540Wp**. El arreglo solar fotovoltaico tendrá la siguiente topología de conexión:

Tabla 1. Distribución de equipos

INVERSOR	Potencia máxima AC [kW]	Cantidad de paneles	Potencia DC [kWp]
1	110	187	100,98
2	110	197	106,38
3	110	197	106,38
4	110	204	110,16
5	110	228	123,12
6	110	209	112,86
7	110	209	112,86
8	110	228	123,12
9	110	190	102,6

1.5 Parámetros eléctricos del generador

N/A

Flux S.A.S: Transversal 34B Sur # 33-42 Int 401, Teléfono: (4)3019030
Email: jarboleda@fluxenergy.co ●
Envigado – Colombia

1.6 Ubicación geográfica del proyecto y de la instalación

El sistema solar fotovoltaico **Planta de tratamiento Puerto Mallarino 990 kW AC** está ubicado en **Cra. 15 #1, Cali, Valle del Cauca**. Se conectará al transformador **E14810** con potencia nominal de **22 MVA**, sin embargo, el sistema será conectado mediante un transformador de **1.1 MVA** aguas abajo del transformador **E14810**. En la Figura 2 se encuentra la ubicación del proyecto señalado en color rojo, la fuente de las imágenes es de Google Earth.

Las coordenadas del sitio de instalación son: 3.444967, -76.478991

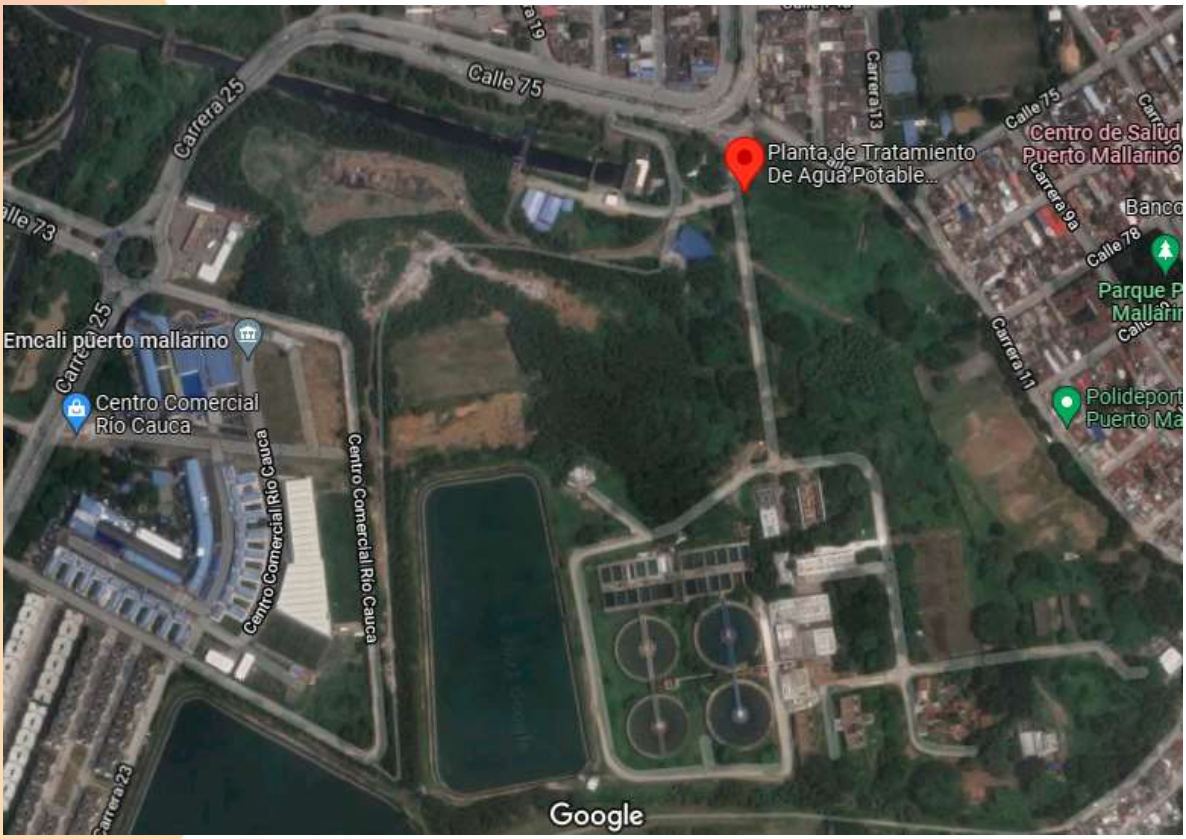


Figura 2. Ubicación geográfica del cliente

1.7 Parámetros técnicos de los paneles y de los inversores para tecnología solar fotovoltaica

Se anexan fichas técnicas de los equipos a instalar

Flux S.A.S: Transversal 34B Sur # 33-42 Int 401, Teléfono: (4)3019030
Email: jarboleda@fluxenergy.co ●
Envigado – Colombia

Panel solar: Longi Solar referencia LR5-72HPH-540M

Tabla 2. Descripción técnica panel solar fotovoltaico

Características Eléctricas en STC					
Potencia Máxima (Pmax)	530 Wp	535 Wp	540 Wp	545 Wp	550 Wp
Tensión en el Punto de Máxima Potencia (Vmax)	41,35 V	41,5 V	41,65 V	41,8 V	41,95 V
Corriente en el punto de máxima potencia (Imax)	12,82 A	12,9 A	12,97 A	13,04 A	13,12 A
Tensión en Circuito Abierto (Voc)	49,2 V	49,35 V	49,5 V	49,65 V	49,8 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	13,71 A	13,78 A	13,85 A	13,92 A	13,98 A
Eficiencia	20,7 %	20,9 %	21,1 %	21,3 %	21,5 %
Tolerancia de Potencia (+)	+ 1 %	+ 1 %	+ 1 %	+ 1 %	+ 1 %

Inversor Huawei SUN2000-100KTL

Tabla 3. Descripción técnica inversor

	Entrada
Tensión máxima de entrada [1]	1,100 V
Corriente de entrada máxima por MPPT	26 A
Corriente de cortocircuito máxima	40 A
Tensión de arranque	200 V
Tensión de funcionamiento MPPT [2]	200 V ~ 1,000 V
Tensión nominal de entrada	720 V @480 Vac, 600 V @400 Vac, 570 V @380 Vac
Cantidad de MPPTs	10
Cantidad máxima de entradas por MPPT	2
	Salida
Potencia activa	100,000 W
Max. Potencia aparante de CA	110,000 VA
Max. Potencia activa de CA (cosϕ = 1)	110,000 W
Tensión nominal de salida	480 V/ 400 V/ 380 V, 3W+(N)+PE
Frecuencia nominal de red de CA	50 Hz / 60 Hz
Intensidad nominal de salida	120.3 A @480 V, 144.4 A @400 V, 152.0 A @380 V
Max. intensidad de salida	133.7 A @480 V, 160.4 A @400 V, 168.8 A @380 V
Factor de potencia ajustable	0,8 capacitivo ... 0,8 inductivo
Distorsión armónica total máxima	< 3%

Flux S.A.S: Transversal 34B Sur # 33-42 Int 401, Teléfono: (4)3019030
Email: jarboleda@fluxenergy.co ●
Envigado – Colombia

1.8 Información adicional que sea necesaria para el análisis de la conexión

Para este caso se utilizan interruptores regulables de 750A y 600A, ajustados en 720A y 560A respectivamente, para la protección del sistema solar.

Tabla 4. Descripción técnica interruptores regulables

Hoja de datos **3VA1463-5EF32-0AA0**

Interruptor automático 3VA1 IEC tamaño 630 clase de poder de corte M Icu = 55 kA a 415 V 3 polos, protección de distribuciones TM240, ATAM, In=630 A protección de sobrecarga Ir=440 A...630 A protección de cortocircuito Ii=4...8 x In conexión plana con tornillos

La versión	
nombre comercial del producto	SENTRON
designación del producto	Interruptor automático de caja moldeada
tipo de producto	Protección de distribuciones
tipo del disparador de sobreintensidad	TM240
función de protección del disparador de sobreintensidad	LI
número de polos	3
Datos técnicos generales	
Tensión de aislamiento asignada Ui	800 V
tensión de empleo / con DC / valor asignado	500 V
pérdidas [W] / máx.	192,9 W
pérdidas [W] / con valor asignado de la intensidad / con AC / en estado operativo caliente / por polo	64,3 W
vida útil mecánica (ciclos de maniobra) / típico	20 000
vida útil eléctrica (ciclos de maniobra) / con AC-1 / con 380/415 V	4 000
vida útil eléctrica (ciclos de maniobra) / con AC-1 / con 690 V	3 000
propiedad del producto / para neutro / ampliable/reequipable / protección de cortocircuito y sobrecarga	No
tipo de la vigilancia de defectos a tierra	Sin
función del producto	
• función de comunicación	No
• otras funciones de medición	No
peso neto	3,9 kg

Flux S.A.S: Transversal 34B Sur # 33-42 Int 401, Teléfono: (4)3019030
Email: jarboleda@fluxenergy.co ●
Envigado – Colombia

Hoja de datos	3VA2780-1AC03-0AA0
	Montaje fijo, compacto: interruptor automático tamaño 1600; con RTC y 4 bloques cont. AUX bloque señaliz. disparado S24; Icu "M" Icu=55 kA a 415 V, 3 polos ETU350, LSI, In=800 A Codificador giratorio Ir=320...800 A Isd=1...10xIn, Ii=1,5...15xIn Protección de neutro ajustable opcionalmente con transf. corriente ext.; hasta 200 % conexión plana con tornillos sin conexión de comunicación, Accto. manual del acumulador con activación mecánica sin 2.° disparador auxiliar sin 1.er disparador auxiliar
La versión	
nombre comercial del producto	SENTRON
tipo de accionamiento de conmutación / accionamiento del motor	No
Datos técnicos generales	
número de polos	3
vida útil mecánica (ciclos de maniobra) / típico	1 000
Voltaje	
tensión de aislamiento / valor asignado	1 000 V
tensión de empleo / con AC / con 50/60 Hz / valor asignado	690 V
grado de protección IP	IP20
grado de protección IP / frontal	IP20
pérdidas [W] / con valor asignado de la intensidad / con AC / en estado operativo caliente / por polo	19,3 W
Electricidad	
corriente permanente / valor asignado	800 A
valor de respuesta ajustable para corriente	
• del disparador de sobrecarga dependiente de la corriente / valor final	800 A
• del disparador instantáneo de cortocircuito / mín.	1 200 A
• del disparador instantáneo de cortocircuito / máx.	12 000 A
corriente de breve duración soportable (Icw)	
• limitada a 1 s / valor asignado	20 kA
• con AC / con 415 V / limitada a 0,5 s / valor asignado	20 kA

2. Objetivo y alcance

2.1 Objetivo

El presente informe busca analizar la conexión de un sistema solar fotovoltaico con una capacidad nominal de **998,46 kWp**, conectado al transformador **E14810** de la empresa **EMCALI**, para dar cumplimiento a los establecido en la resolución CREG 174 de 2021, y garantizar que la entrada en operación del sistema no genere ninguna afectación en el nodo y alrededores del punto de interés ante el OR **EMCALI**. Se realiza el análisis considerando que se entrega potencia a la red de **EMCALI**.

2.2 Alcance

El estudio de conexión muestra los resultados obtenidos del análisis eléctrico de la conexión del sistema solar fotovoltaico de **990 kW** al sistema eléctrico de **EMCALI**. Los análisis se

Flux S.A.S: Transversal 34B Sur # 33-42 Int 401, Teléfono: (4)3019030
Email: jarboleda@fluxenergy.co ●
Envigado – Colombia

realizan para una única alternativa de conexión en el año 2022 como año de entrada y puesta en marcha del sistema. Se toma como punto de conexión el transformador **E14810**, basados en el equivalente de red entregado por el operador de red.
Los análisis eléctricos cuyo objetivo es mostrar la viabilidad técnica de la planta de autogeneración, incluyen:

- Flujo de carga en estado estable para condiciones normales de operación
- Análisis de pérdidas
- Análisis de cortocircuito (monofásico y trifásico con la norma IEC60909)
- Análisis de calidad de la potencia de los inversores
- Análisis de Coordinación de protecciones eléctricas

3. Metodología

3.1 Criterios técnicos de calidad, seguridad y confiabilidad

Se realiza el estudio con el objetivo de verificar la variabilidad y el impacto del sistema eléctrico asociado a este circuito y verificar los parámetros eléctricos de la red antes y después de la entrada en funcionamiento de la planta solar como lo establece la Resolución CREG 025 de 1995 en el Código de Operación, Redes, Conexión y Medida. Estos parámetros deben cumplir con límites de tensión no inferiores al 90% de la tensión nominal ni superar el 110% de esta tensión nominal. Además, debe garantizar que la distorsión armónica cumpla con la NTC (Norma Técnica Colombiana) respectiva o la norma IEEE 519.
El valor de frecuencia establecido debe tener un valor de 60,00 Hz con una tolerancia de 0,2 Hz inferior y superior según lo dispuesto en la norma NTC5001 del 2008. Para las protecciones, los equipos de cierre y desconexión del sistema deben estar entre un margen de 200ms y 500ms para garantizar una buena operación.

En este estudio se establecen los resultados para determinar el impacto de la generación solar fotovoltaica en sistemas de distribución. Para ello, se comienza determinando la capacidad del sistema de generación solar fotovoltaica de prueba. Luego se procede a implementar dichos sistemas de generación solar fotovoltaica en un sistema de distribución cuyas características son similares a un sistema de distribución colombiano. Dichos sistemas se modelaron en el software de simulación DIgSILENT PowerFactory, en el cual se ejecutan los estudios de flujo de potencia, cortocircuitos y estabilidad.

Flux S.A.S: Transversal 34B Sur # 33-42 Int 401, Teléfono: (4)3019030
Email: jarboleda@fluxenergy.co ●
Envigado – Colombia

3.2 Límites para validar de acuerdo con los criterios del numeral 3.1.

Se deben validar en las simulaciones los estudios de flujo de potencia, cortocircuito, estabilidad de tensión y frecuencia en las barras del sistema, con el fin de comprobar que no hay un impacto fuera de lo reglamentario en el circuito por la entrada en operación de la planta solar fotovoltaica.

3.3 Descripción de los análisis a realizar

En el presente estudio de conexión, se realizarán análisis de flujo de carga AC en estado estable, antes y después de la instalación de la planta solar fotovoltaica, con el objetivo de validar el impacto que tiene el sistema de generación fotovoltaico en la topología de la red.

Adicionalmente, se realizará análisis de pérdidas de energía y cortocircuito (IEC60909) para evaluar si existe un cambio sustancial en la corriente de cortocircuito en la subestación del alimentador principal, con el propósito de garantizar que los equipos actuales son suficientes para soportar esta conexión.

En el análisis de flujo de carga AC, se debe evaluar casos de generación-demanda, con el fin de analizar qué influencia tiene el sistema de generación fotovoltaico en la red, tomando escenarios de generación máxima, generación mínima, demanda máxima y demanda mínima.

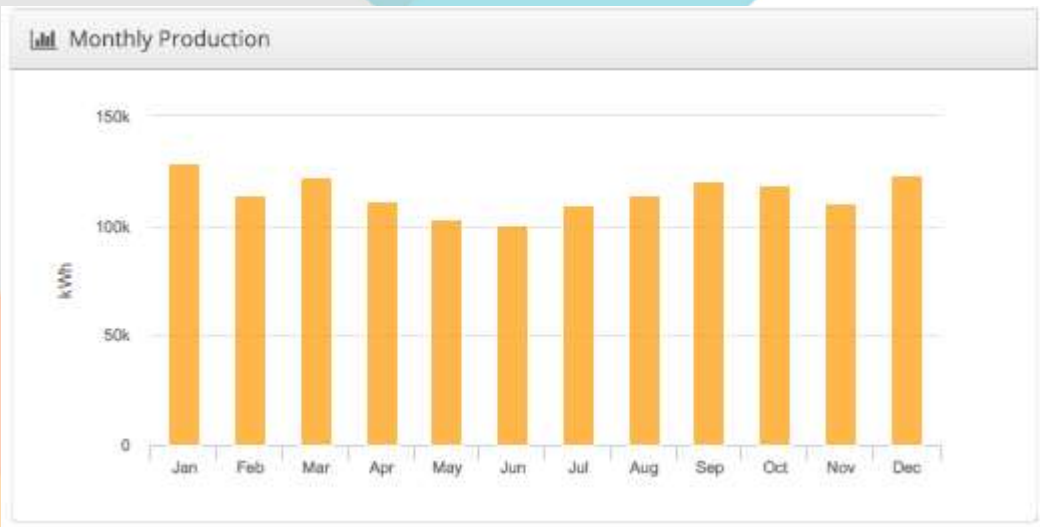
Consideraciones:

- Se modela el sistema con la demanda media suministrada por el operador de red.
- Se evalúan dos escenarios: caso base ON y OFF.
- Para el caso base, se utiliza la producción máxima de energía del sistema, la producción mínima de energía del sistema y la demanda a las horas 9:00AM, 12:00M y 3:00PM, según el nivel de radiación solar que haya en esa hora considerando estimados e información del IDEAM.
- El análisis de cortocircuito se realiza con la norma IEC60909.

3.4 Cálculo teórico de la energía anual producida por el proyecto

Se presenta el perfil de carga correspondiente al consumo de energía eléctrica del cliente que instalará el sistema FV y la curva de generación de energía eléctrica.

Flux S.A.S: Transversal 34B Sur # 33-42 Int 401, Teléfono: (4)3019030
Email: jarboleda@fluxenergy.co ●
Envigado – Colombia



Annual Production

	Description	Output	% Delta
Irradiance (kWh/m²)	Annual Global Horizontal Irradiance	1,716.1	
	POA Irradiance	1,714.6	-0.1%
	Shaded Irradiance	1,686.5	-1.6%
	Irradiance after Reflection	1,633.8	-3.1%
	Irradiance after Soiling	1,601.1	-2.0%
	Total Collector Irradiance	**1,601.1**	**0.0%**
Energy (kWh)	Nameplate	1,599,182.4	
	Output at Irradiance Levels	1,596,784.9	-0.1%
	Output at Cell Temperature Derate	1,489,839.0	-6.7%
	Output After Mismatch	1,434,721.8	-3.7%
	Optimal DC Output	1,430,951.6	-0.3%
	Constrained DC Output	1,429,693.5	-0.1%
	Inverter Output	1,412,522.1	-1.2%
	Energy to Grid	**1,381,031.5**	**-2.2%**

Figura 3. Curvas de generación

4. Resultados de los análisis eléctricos

4.1 Flujo de carga AC en estado estable para condiciones normales de operación (sistema desbalanceado) o análisis desbalanceado de corrientes, en el que se evidencie el impacto de la conexión y las corrientes circulantes por el neutro.

El estudio de flujo de cargas analiza las siguientes variables de interés:

- ✓ Tensión en las barras.

Flux S.A.S: Transversal 34B Sur # 33-42 Int 401, Teléfono: (4)3019030
Email: jarboleda@fluxenergy.co ●
Envigado – Colombia

- ✓ Cargabilidad del transformador.
- ✓ Flujo de potencia por los equipos del sistema.

En operación normal los escenarios para analizar el comportamiento estacionario del sistema se constituyen a partir de las siguientes consideraciones:

- ✓ Demanda del sistema: Suministrada por el OR a diferentes casos y promedio mensual.
- ✓ Alternativas de conexión: CB (caso base) y sistema ON
- ✓ Generación máxima del sistema solar considerando datos de radiación solar suministrados por el IDEAM (enlace: http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html)

4.1.1 Criterios para el análisis de estado estacionario

El nivel de tensión en estado estacionario a frecuencia nominal 60 Hz dentro de sus posibles límites (59,8 y 60,2 Hz), son establecidos en la norma NTC 1340 y se muestran en la ***Tabla 5***, donde se indica que, para el nivel de tensión del proyecto **Planta de tratamiento Puerto Mallarino** (nivel de tensión 1, 2 y 3), esta no debe superar el 105% del valor nominal ni ser inferior al 90%.

Tabla 5. Clasificación, denominación y valores de la tensión nominal

Tabla 2. Clasificación, denominación y valores de la tensión nominal

Clasificación	Nivel	Tensión Nominal (V)		Tensión máxima (% de la nominal)	Tensión mínima (% de la nominal)
		Sistemas Trifásico de 3 ó 4 conductores	Sistemas Monofásico de 2 ó 3 conductores		
Baja Tensión Vn < 1 kV	Nivel 1 Vn < 1 kV	-	120	+5	Clientes Urbanos: -8 Clientes rurales: -10
		120/208	-		
		-	120/240		
		127/220	-		
		220	-		
		277/480	-		
		480	-		
Media Tensión 1 kV ≤ Vn < 57,5 kV	Nivel 2 1 kV ≤ Vn < 30 kV	4 160	-	+5	-10
		-	7 620		
		11 400	-		
		13 200	-		
		13 800	-		
	Nivel 3 30 kV ≤ Vn < 57,5 kV	34 500			
		44 000			
Alta Tensión 57,5 kV ≤ Vn ≤ 230 kV	Nivel 4 57,5 kV ≤ Vn < 220 kV	57 500	-	+5	-5
		66 000	-		
		110 000			
		115 000	-		
	-	220 000	-		
Extra Alta Tensión 230 kV < Vn		230 000	-		
NOTA La clasificación por niveles es de tipo informativo y corresponden con la regulación CREG 082/2002 o la resolución que la modifique o sustituya.					

Flux S.A.S: Transversal 34B Sur # 33-42 Int 401, Teléfono: (4)3019030
Email: jarboleda@fluxenergy.co ●
Envigado – Colombia

4.1.2 Resultados de estado estacionario

En la *Tabla 6,* se muestran los resultados del flujo de carga en operación normal en cuanto a perfiles de tensión en las barras, para cada alternativa de conexión. Adicionalmente en el **Anexo 2**, se encuentran las imágenes obtenidas de las simulaciones de flujo de cargas.

Tabla 6. Perfiles de tensión

Generación Máxima – Demanda media – Operación normal Tensión [p.u]										
Barra	Tensión Nominal [V]	Sistema 9:00 AM			Sistema 12:00 M			SISTEMA 3:00 PM		
		OFF	MÁXIMA	MÍNIMA	OFF	MÁXIMA	MÍNIMA	OFF	MÁXIMA	MÍNIIMA
S/E Juanchito	34500	1	1	1	1	1	1	1	1	1
E14810	34500	0,9901	0,9904	0,9903	0,9901	0,9904	0,9903	0,9901	0,9904	0,9902
E14810	4650	0,9864	0,9866	0,9865	0,9864	0,9866	0,9865	0,9864	0,9866	0,9864
E14810	460	0,9864	0,9862	0,9864	0,9864	0,9862	0,9864	0,9864	0,9862	0,9864

Se observa un adecuado comportamiento de las tensiones en barras de la zona de impacto del proyecto **Planta de tratamiento Puerto Mallarino 990 kW**. Durante la operación normal, en el nodo de conexión (460 V) se observa que, con la entrada del SSFV, el perfil de tensión en dicha barra tiene un aumento en p.u. de 0,0003. En el anexo 2, al realizar el análisis con el sistema en carga y generación máxima, se observa un incremento del nivel de tensión a 460V, por lo que se evidencia que el sistema al entrar aumenta el nivel del perfil de tensión garantizando una correcta operación, sin generar afectaciones el comportamiento del sistema y en los niveles de tensión en 34,5 kV. En los otros escenarios el nivel de tensión crece o disminuye en baja proporción sin salirse del rango establecido.

Tabla 7. Cargabilidad del transformador y líneas

Generación Máxima – Demanda media – Operación normal Cargabilidad [100%]									
Elemento	Sistema 9:00 AM			Sistema 12:00 M			SISTEMA 3:00 PM		
	OFF	MÁXIMA	MÍNIMA	OFF	MÁXIMA	MÍNIMA	OFF	MÁXIMA	MÍNIIMA
Tramo 24_14-0	41,7	39,0	40,6	41,7	39,0	40,2	41,7	39,0	41,1
Tramo 15_15-0	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
Tramo 22_14-0	39,1	36,3	38,0	39,1	36,3	37,5	39,1	36,3	38,4
Tramo 4_14-0	38,8	36,1	37,7	38,8	36,1	37,3	38,8	36,1	38,2
Tx E14810 – 1.1MVA	0,0	91,3	36,5	0,0	91,3	51,2	0,0	91,3	20,9
Tx E14810 – 22MVA	25,3	21,8	23,9	25,3	21,8	23,3	25,3	21,8	24,5

Flux S.A.S: Transversal 34B Sur # 33-42 Int 401, Teléfono: (4)3019030
Email: jarboleda@fluxenergy.co ●
Envigado – Colombia

Se evidencia que la conexión del proyecto en el área de impacto no genera problemas de cargabilidad en el transformador ni en las diferentes líneas de distribución. Se observa una disminución en la cargabilidad del transformador al encender el sistema solar, esto debido a que la energía generada por el sistema solar supliría parte de la demanda energética, lo que a su vez disminuye el consumo proveniente de la red de **EMCALI**.

4.2 Cálculo de pérdidas en el nodo de operación

En la Tabla 8, se muestran las pérdidas de potencia activa y potencia reactiva en el transformador y las diferentes líneas de distribución. Estos valores también tienen en cuenta demanda media y la generación máxima del sistema solar **Planta de tratamiento Puerto Mallarino 990 kW**.

Tabla 8. Pérdidas de potencia transformador

Perdidas TRF 22000kVA Cliente				
Transformador	**Caso [V]**	**Escenario de simulación**	**Perdidas**	
E14810	Sistema 9:00 am	Sistema OFF	P [MW]	0,0000
			Q [MVAr]	0,0424
		MÁXIMA	P [MW]	0,0000
			Q [MVAr]	0,0307
		MÍNIMA	P [MW]	0,0000
			Q [MVAr]	0,0373
	Sistema 12:00 m	Sistema OFF	P [MW]	0,0000
			Q [MVAr]	0,0424
		MÁXIMA	P [MW]	0,0000
			Q [MVAr]	0,0307
		MÍNIMA	P [MW]	0,0000
			Q [MVAr]	0,0354
	Sistema 3:00 pm	Sistema OFF	P [MW]	0,0000
			Q [MVAr]	0,0424
		MÁXIMA	P [MW]	0,0000
			Q [MVAr]	0,0307
		MÍNIMA	P [MW]	0,0000
			Q [MVAr]	0,0394

Flux S.A.S: Transversal 34B Sur # 33-42 Int 401, Teléfono: (4)3019030
Email: jarboleda@fluxenergy.co ●
Envigado – Colombia

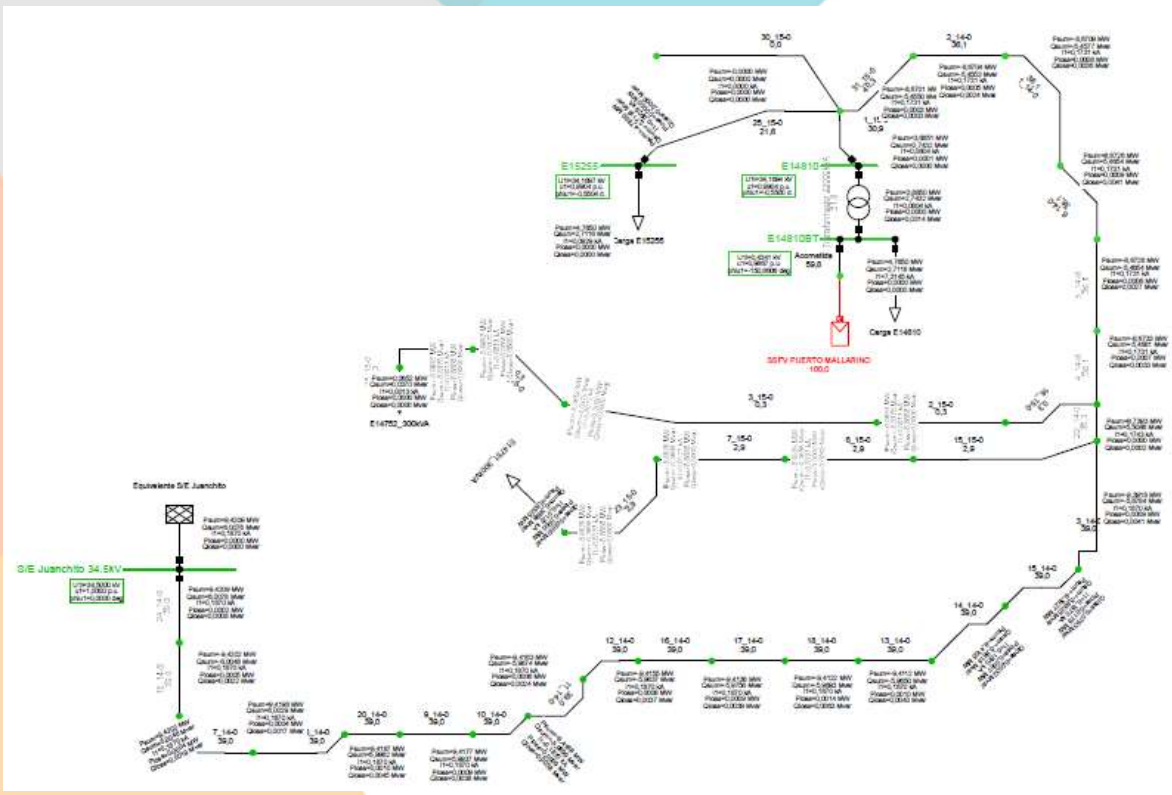


Figura 4. Caso Planta Solar FV ON

Flux S.A.S: Transversal 34B Sur # 33-42 Int 401, Teléfono: (4)3019030
Email: jarboleda@fluxenergy.co ●
Envigado – Colombia

Tabla 9. Pérdidas en los nodos contiguos

Perdidas Nodos contiguos				
Elemento	**Caso [V]**	**Escenario de simulación**	**Perdidas**	
Tramo 24_14-0	Sistema 9:00 am	Sistema OFF	P [MW]	0,0002
			Q [MVAr]	0,0009
		MÁXIMA	P [MW]	0,0002
			Q [MVAr]	0,0008
		MÍNIMA	P [MW]	0,0002
			Q [MVAr]	0,0009
	Sistema 12:00 m	Sistema OFF	P [MW]	0,0002
			Q [MVAr]	0,0009
		MÁXIMA	P [MW]	0,0002
			Q [MVAr]	0,0008
		MÍNIMA	P [MW]	0,0002
			Q [MVAr]	0,0009
	Sistema 3:00 pm	Sistema OFF	P [MW]	0,0002
			Q [MVAr]	0,0009
		MÁXIMA	P [MW]	0,0002
			Q [MVAr]	0,0008
		MÍNIMA	P [MW]	0,0002
			Q [MVAr]	0,0009

Flux S.A.S: Transversal 34B Sur # 33-42 Int 401, Teléfono: (4)3019030
Email: jarboleda@fluxenergy.co ●
Envigado – Colombia

Tramo 22_14-0	Sistema 9:00 am	Sistema OFF	P [MW]	0,0000
			Q [MVAr]	0,0003
		MÁXIMA	P [MW]	0,0000
			Q [MVAr]	0,0002
		MÍNIMA	P [MW]	0,0000
			Q [MVAr]	0,0002
	Sistema 12:00 m	Sistema OFF	P [MW]	0,0000
			Q [MVAr]	0,0003
		MÁXIMA	P [MW]	0,0000
			Q [MVAr]	0,0002
		MÍNIMA	P [MW]	0,0000
			Q [MVAr]	0,0002
	Sistema 3:00 pm	Sistema OFF	P [MW]	0,0000
			Q [MVAr]	0,0003
		MÁXIMA	P [MW]	0,0000
			Q [MVAr]	0,0002
		MÍNIMA	P [MW]	0,0000
			Q [MVAr]	0,0003
4_14-0	Sistema 9:00 am	Sistema OFF	P [MW]	0,0009
			Q [MVAr]	0,0038
		MÁXIMA	P [MW]	0,0007
			Q [MVAr]	0,0032
		MÍNIMA	P [MW]	0,0008
			Q [MVAr]	0,0036
	Sistema 12:00 m	Sistema OFF	P [MW]	0,0009
			Q [MVAr]	0,0038
		MÁXIMA	P [MW]	0,0007
			Q [MVAr]	0,0032
		MÍNIMA	P [MW]	0,0008
			Q [MVAr]	0,0035
	Sistema 3:00 pm	Sistema OFF	P [MW]	0,0009
			Q [MVAr]	0,0038
		MÁXIMA	P [MW]	0,0007
			Q [MVAr]	0,0032
		MÍNIMA	P [MW]	0,0008
			Q [MVAr]	0,0037

Flux S.A.S: Transversal 34B Sur # 33-42 Int 401, Teléfono: (4)3019030
Email: jarboleda@fluxenergy.co ●
Envigado – Colombia

1_15-0	Sistema 9:00 am	Sistema OFF	P [MW]	0,0001
			Q [MVAr]	0,0000
		MÁXIMA	P [MW]	0,0001
			Q [MVAr]	0,0000
		MÍNIMA	P [MW]	0,0001
			Q [MVAr]	0,0000
	Sistema 12:00 m	Sistema OFF	P [MW]	0,0001
			Q [MVAr]	0,0000
		MÁXIMA	P [MW]	0,0001
			Q [MVAr]	0,0000
		MÍNIMA	P [MW]	0,0001
			Q [MVAr]	0,0000
	Sistema 3:00 pm	Sistema OFF	P [MW]	0,0001
			Q [MVAr]	0,0000
		MÁXIMA	P [MW]	0,0001
			Q [MVAr]	0,0000
		MÍNIMA	P [MW]	0,0001
			Q [MVAr]	0,0000
2_14-0	Sistema 9:00 am	Sistema OFF	P [MW]	0,0006
			Q [MVAr]	0,0028
		MÁXIMA	P [MW]	0,0005
			Q [MVAr]	0,0024
		MÍNIMA	P [MW]	0,0006
			Q [MVAr]	0,0026
	Sistema 12:00 m	Sistema OFF	P [MW]	0,0006
			Q [MVAr]	0,0028
		MÁXIMA	P [MW]	0,0005
			Q [MVAr]	0,0024
		MÍNIMA	P [MW]	0,0006
			Q [MVAr]	0,0025
	Sistema 3:00 pm	Sistema OFF	P [MW]	0,0006
			Q [MVAr]	0,0028
		MÁXIMA	P [MW]	0,0005
			Q [MVAr]	0,0024
		MÍNIMA	P [MW]	0,0006
			Q [MVAr]	0,0027

Flux S.A.S: Transversal 34B Sur # 33-42 Int 401, Teléfono: (4)3019030
Email: jarboleda@fluxenergy.co ●
Envigado – Colombia

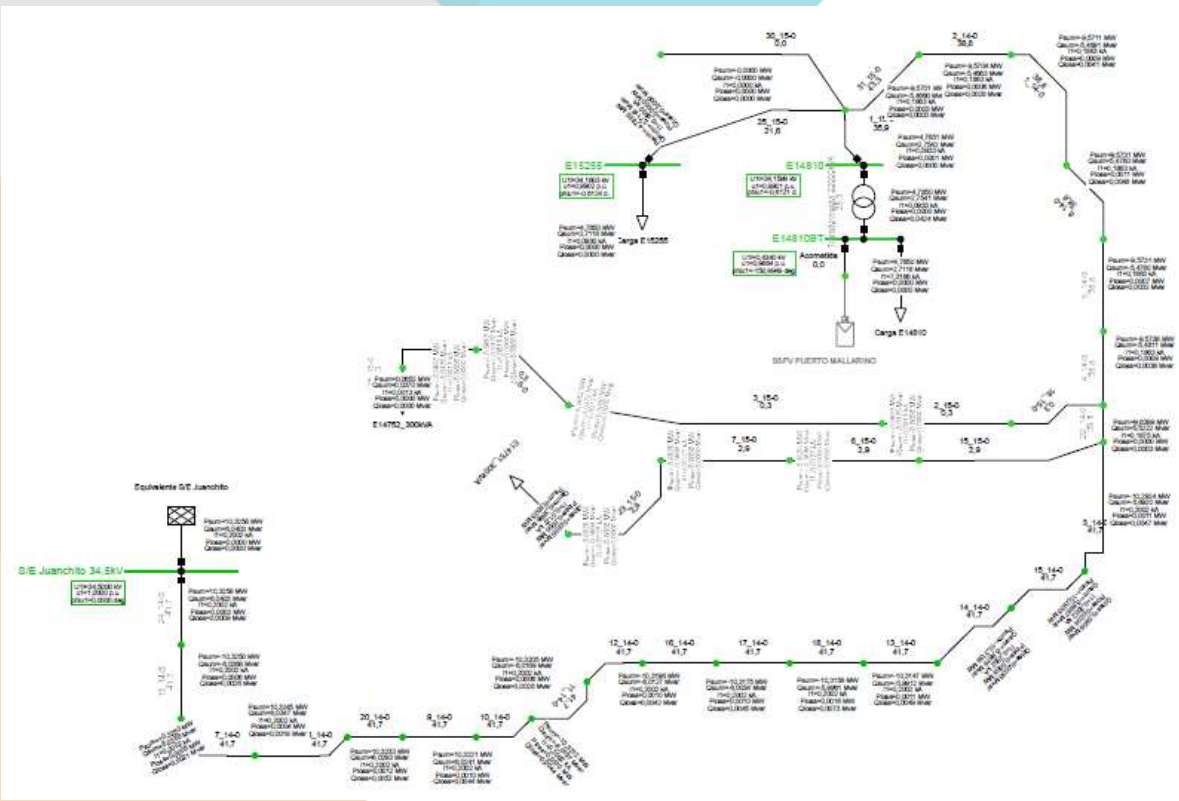


Figura 5. Caso Base Planta Solar FV OFF

En la ***Figura 4*** y ***Figura 5*** se puede observar que no hay un cambio significativo en las pérdidas de energía en los nodos, esto debido a que la cargabilidad de cada uno de estos es mínima y la entrada en operación del SSFV no afecta esta cargabilidad, por lo que se tienen pérdidas en los nodos despreciables. En el **Anexo 2**, se tienen las imágenes de los flujos de carga para los diferentes escenarios analizados, donde se pueden observar los flujos de carga a diferentes horas.

4.3 Verificación del nivel de cortocircuito en el nodo de conexión (norma IEC60909)

Busca revisar la seguridad del sistema al conectar el proyecto **Planta de tratamiento Puerto Mallarino 990 kW**, y al integrarlo al sistema de distribución local operado por la empresa **EMCALI**. Se usa la metodología para el cálculo de cortocircuito recomendada por la norma IEC-60909.
El cortocircuito se efectúa para los siguientes tipos de falla:

Flux S.A.S: Transversal 34B Sur # 33-42 Int 401, Teléfono: (4)3019030
Email: jarboleda@fluxenergy.co ●
Envigado – Colombia

- ✓ Falla monofásica a tierra, sin impedancia de falla
- ✓ Falla Trifásica sin impedancia de falla

Se debe tener presente que las condiciones descritas se pueden alejar de la realidad operativa, pero sirven como base para representar las condiciones más críticas de cortocircuito para el sistema.

4.3.1 Criterios para análisis de cortocircuito

En ningún caso se puede sobrepasar la máxima capacidad de interrupción en los equipos. El nivel de cortocircuito en subestaciones existentes empieza a ser crítico y motivo de alarma, cuando supera el 90% de su capacidad.

Adicionalmente, se usan los siguientes datos de la S/E Juanchito entregados por el OR para realizar el análisis de cortocircuito.

Short-Circuit Summary Report

3-Phase, LG, LL, LLG Fault Currents

Bus		3-Phase Fault			Line-to-Ground Fault				Line-to-Line Fault				*Line-to-Line-to-Ground			
ID	kV	I"k	ip	Ik	I"k	ip	Ib	Ik	I"k	ip	Ib	Ik	I"k	ip	Ib	Ik
JUANCHITO_34.5	34.500	8.282	22.174	8.270	10.007	26.795	10.007	10.007	7.172	19.205	7.172	7.172	9.576	25.641	9.576	9.576

All fault currents are in rms kA. Current ip is calculated using Method C.

* LLG fault current is the larger of the two faulted line currents.

Sequence Impedance Summary Report

Bus		Positive Seq. Imp. (ohm)			Negative Seq. Imp. (ohm)			Zero Seq. Imp. (ohm)			Fault Zf (ohm)		
ID	kV	Resistance	Reactance	Impedance	Resistance	Reactance	Impedance	Resistance	Reactance	Impedance	Resistance	Reactance	Impedance
JUANCHITO_34.5	34.500	0.10006	2.64307	2.64496	0.10019	2.64325	2.64515	0.05732	1.27610	1.27738	0.00000	0.00000	0.00000

4.3.2 Resultados de cortocircuito

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de cortocircuito. De igual manera, en **Anexo 3** se muestran las imágenes obtenidas de las simulaciones. En la ***Tabla 10*****,** se observan los resultados cortocircuito monofásico.

Flux S.A.S: Transversal 34B Sur # 33-42 Int 401, Teléfono: (4)3019030
Email: jarboleda@fluxenergy.co ●
Envigado – Colombia

Tabla 10. Resultados de Cortocircuito Monofásico

Cortocircuito Monofásico I0 [kA]		
Barra	**CB**	**Sistema ON**
S/E Juanchito 34.5 kV	10,0064	10,0175
E14810 - 34.5 kV	5,0783	5,0851
E14810 – 4.65 kV	37,0750	37,1718
E14810 – 0.46 kV	44,0257	44,6347

En general, los niveles máximos de cortocircuito obtenidos en los barrajes de la zona de influencia no presentan cambios significativos con los resultados obtenidos en el caso sin Proyecto (CB). La producción energética de la planta AGPE, al ser un sistema solar fotovoltaico, depende de la radiación solar, por lo que su corriente se ve limitada a la cantidad de radiación solar que haya en el instante de tiempo que se evalúa. Por esta razón, la corriente de cortocircuito no incrementa a un valor mayor de la corriente nominal del panel en condiciones ideales.

Para la **condición de isla**, los inversores de funcionamiento paralelo a la red (inversores conectados a la red) funcionan como fuentes de corriente que alimentan la red eléctrica. Este tipo de inversores normalmente no puede alimentar la red eléctrica porque no funcionan como fuente de tensión. Los inversores conectados a la red la alimentan con corriente CA con la misma frecuencia de la tensión de la red.

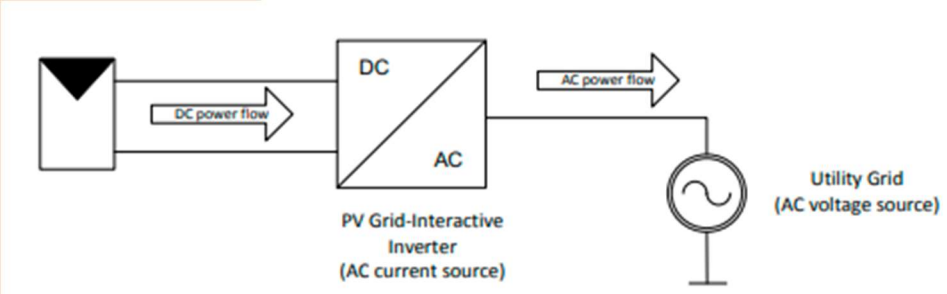


Figura 6. Funcionamiento de un inversor conectado a la red.

La condición de "*isla*" es una situación paralela a la red en la que el inversor sigue alimentando la red, aunque ya no haya tensión de la red eléctrica. En la norma IEEE 1547.1-2005 la definición de "*isla*" es la siguiente:

Isla: Una situación en la que una parte de un sistema de electricidad (EPS) recibe energía exclusivamente de uno o más EPS a través de los puntos de conexión comunes (PCC) asociados, mientras que esa parte del EPS del área está separada eléctricamente del resto del sistema.

Flux S.A.S: Transversal 34B Sur # 33-42 Int 401, Teléfono: (4)3019030
Email: jarboleda@fluxenergy.co ●
Envigado – Colombia

La condición de "*isla*" existe cuando, debido a un fallo de la red o a una situación de carga concreta, la red presenta un comportamiento de carga resonante. En tal situación, aunque ya no hay voltaje de la red, la resonancia entre el componente L-C todavía mantiene el voltaje en el terminal de salida del inversor y, por lo tanto, es posible que el inversor no detecte la ausencia de voltaje de la red. En este caso, si la carga resistiva se ajusta a la potencia producida por el inversor, aún es posible el funcionamiento en paralelo y se crea la "*condición de isla*".

Como ejemplo de la configuración de prueba, a continuación, se muestra la denominada "*configuración de prueba de condición de isla imprevista*" según la norma IEEE 1547.1-2005 (ref. al párrafo 5.7.1). En otras normas la configuración es similar.

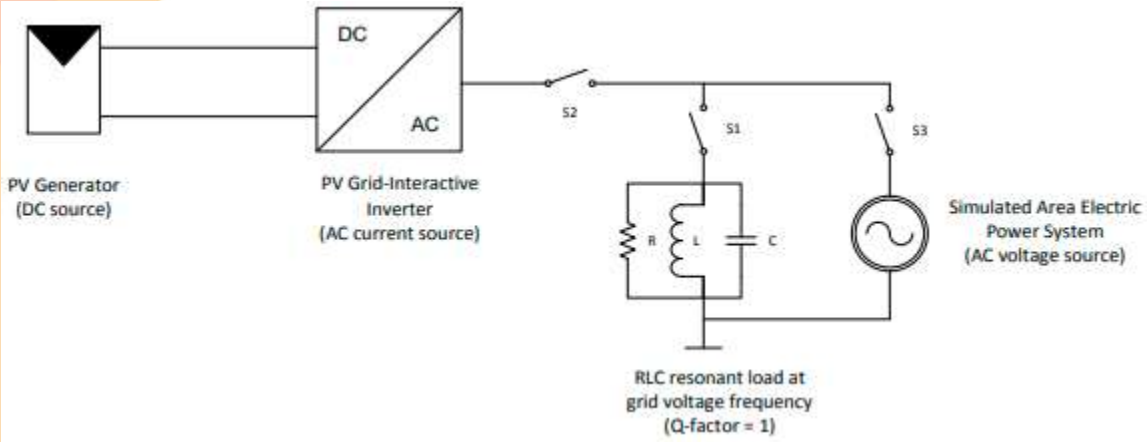


Figura 7. Circuito de prueba (norma IEEE 1547.1 – 2005).

Independientemente de la norma de referencia que defina los requisitos de protección anti-isla, los inversores **Huawei** proporcionan el mismo mecanismo de detección que se describe a continuación.

La detección de la condición de isla se lleva a cabo observando la variación de frecuencia de la red respecto al tiempo. El inversor "*induce*" la variación de frecuencia por una potencia reactiva capacitiva que se alimenta periódicamente a la red. El período en que se alimenta la potencia reactiva a la red depende del tiempo de detección necesario (norma de la red); la cantidad de potencia reactiva suele estar en el margen del 3 al 5% de la potencia activa que el inversor está convirtiendo en este momento.

En caso de que el inversor esté conectado a la red (no existe la condición de isla) la potencia reactiva capacitiva no provoca ningún cambio en la frecuencia de red, que viene impuesta por la red pública. En caso de que exista la condición de isla, la potencia reactiva capacitiva provoca el desajuste respecto a la frecuencia de resonancia de la carga LC; después de la alimentación de potencia reactiva, el inversor comprueba la $\Delta f/\Delta t$ (variación de la frecuencia de la red respecto al tiempo) y se desconecta de la isla.

Flux S.A.S: Transversal 34B Sur # 33-42 Int 401, Teléfono: (4)3019030
Email: jarboleda@fluxenergy.co ●
Envigado – Colombia

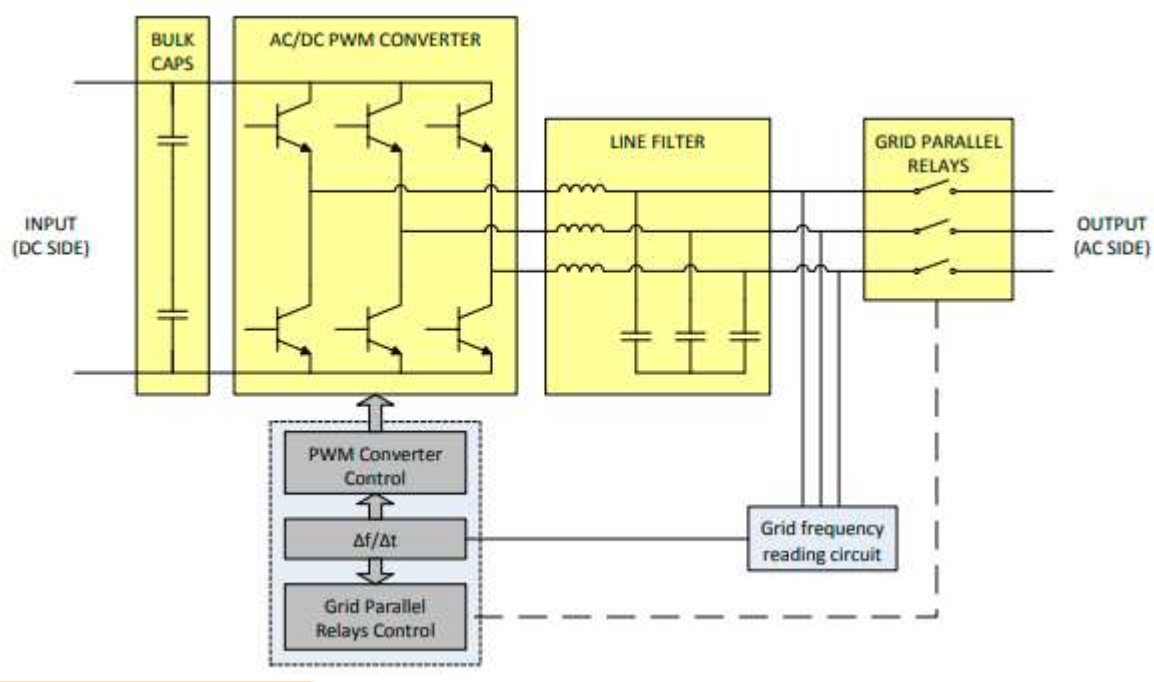


Figura 8. Diagrama del inversor CA/CC y de bloques de circuitos lógicos relacionados con la protección anti-isla.

4.4 Calidad de la potencia: Declaración técnica del equipo en cuanto al cumplimiento de los parámetros establecidos en la IEEE 1547 y de estándares en cuanto a la calidad de la potencia (inyección de armónicos a la red y fluctuaciones de tensión, etc.) y sujetos a la verificación con medidas en campo antes y después de la instalación del proyecto.

Para el caso de especificaciones técnicas y pruebas de interconexión de sistemas de generación distribuida a la red de distribución local, el estándar adoptado es el IEEE 1547. En este se describen los requisitos relevantes al desempeño, operación, seguridad, mantenimiento y calidad de la potencia. De forma equivalente se pueden encontrar dos estándares: la IEC 61727 y la IEC 62116, mediante los cuales se establecen los requisitos que deben cumplir los equipos con respecto a parámetros de calidad de la potencia, rangos de voltaje y frecuencia, oscilaciones, armónicos, factor de potencia y prueba anti-isla.

Teniendo en cuenta lo anterior, los equipos a instalar cuentan con una certificación con base a la norma europea, por lo tanto, se anexan los certificados de producto IEC 61727 e IEC 62116.

Flux S.A.S: Transversal 34B Sur # 33-42 Int 401, Teléfono: (4)3019030
Email: jarboleda@fluxenergy.co ●
Envigado – Colombia

Según la IEEE 519 de 2014 se definen los niveles de distorsión armónica máximos permisibles en función del nivel de tensión:

Tabla 11. Límites de distorsión armónica en tensión

Rango de tensión	Distorsión armónica individual (%)	Distorsión armónica Total-THDv (%)
1kV < Vn ≤ 69kV	3,0	5,0
69kV < Vn ≤ 161kV	1,5	2,5
Vn ≥ 161kV	1,0	1,5

Tabla 12. Límites de distorsión armónica en corriente

Individual harmonic order h (odd harmonics)[b]	h < 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	35 ≤ h	Total demand distortion (TDD)
Percent (%)	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0

[a] I = the greater of the Local EPS maximum load current integrated demand (15 or 30 minutes) without the DR unit, or the DR unit rated current capacity (transformed to the PCC when a transformer exists between the DR unit and the PCC).

Se adjunta la ficha técnica del inversor donde se especifica el grado de aporte de distorsión armónica de corriente.

	Salida
Potencia activa	100,000 W
Max. Potencia aparante de CA	110,000 VA
Max. Potencia activa de CA (cosϕ = 1)	110,000 W
Tensión nominal de salida	480 V/ 400 V/ 380 V, 3W+(N)+PE
Frecuencia nominal de red de CA	50 Hz / 60 Hz
Intensidad nominal de salida	120.3 A @480 V, 144.4 A @400 V, 152.0 A @380 V
Max. intensidad de salida	133.7 A @480 V, 160.4 A @400 V, 168.8 A @380 V
Factor de potencia ajustable	0,8 capacitivo ... 0,8 inductivo
Distorsión armónica total máxima	< 3%

Tabla 13. Información técnica inversor.

Se puede observar que el límite aceptable de THD o distorsión armónica total es de 5%. El inversor **Huawei SUN2000-100KTL**, en su ficha técnica declaran que tiene un THD menor al 3% por lo que cumple con lo exigido por la norma IEEE 1547.

Flux S.A.S: Transversal 34B Sur # 33-42 Int 401, Teléfono: (4)3019030
Email: jarboleda@fluxenergy.co ●
Envigado – Colombia

5. Verificación de protecciones

5.1 Parametrización de las protecciones voltaje y frecuencia

Como se menciona en el acuerdo 1322 del CNO, Artículo 6.2 "Funciones de protección mínimas en PC o UG para sistemas de generación basados en inversores y frecuencia variable" los sistemas de generación mayores a 0.25MW y menores o iguales a 1MW basados en inversores y frecuencia variable conectados a los niveles de tensión 1, 2 y 3 deberán disponer de un esquema de protección para proteger la instalación del generador y su PC con el SDL, los cuales deberán ser selectivos y coordinar con la red existente, es decir, que una falla al interior del sistema de generación sea despejada por las protecciones propias y no por las protecciones del área de influencia.

Tabla 14. Funciones de protección mínimas en sistemas de generación basados en inversores y frecuencia variable

Función de Protección	PC	UG	Notas
Bajatensión (ANSI 27)	X		*l - m*
Sobrepotencia adelante (ANSI 32)	X		*j*
Sobrecorriente de fases y tierra ANSI (51/51N) ó (51V/51VN) ó (67V/67VN)			*k*
Sobretensión (ANSI 59)	X		*l - m*
Sobretensión de secuencia cero (ANSI 59N)	X		*n*
Frecuencia (ANSI 81U/O)		X	*m - p*
Anti-isla		X	*q*

El proyecto fotovoltaico **Planta de tratamiento Puerto Mallarino** posee una capacidad instalada efectiva de **900 kW AC** y máxima de **990kW**, por lo tanto, el ajuste de las protecciones de tensión y frecuencia que se tendrá será con base en la Tabla 15. "Ajuste de protecciones sistémicas para sistemas de generación basados en inversores y frecuencia variable mayores a 0.25 MW y menores a 1MW conectados al SDL" del acuerdo 1322 del CNO.

Tabla 15. Ajuste de protecciones sistémicas para sistemas de generación basados en inversores y frecuencia variable mayores a 0.25 MW y menores a 1MW conectados al SDL

FUNCIÓN	AJUSTE	TEMPORIZACIÓN	OBSERVACIONES
Etapa 1: Bajatensión (ANSI 27)	0.8 p.u.	2 s	actuación de la protección con tensiones fase tierra
Etapa 2: Bajatensión (ANSI 27)	0.6 p.u.	0.2 s	actuación de la protección con tensiones fase tierra
Etapa 1: Sobretensión (ANSI 59)	1.12 p.u.	2 s	actuación de la protección con tensiones fase tierra
Etapa 2: Sobretensión (ANSI 59)	1.15 p.u.	0.2 s	actuación de la protección con tensiones fase tierra
Bajafrecuencia (ANSI 81 U)	57 Hz	0.2 s	actuación de la protección con tensiones fase tierra
Sobrefrecuencia (ANSI 81 O)	63 Hz	0.2 s	actuación de la protección con tensiones fase tierra

Flux S.A.S: Transversal 34B Sur # 33-42 Int 401, Teléfono: (4)3019030
Email: jarboleda@fluxenergy.co ●
Envigado – Colombia

Teniendo en cuenta el nivel de tensión del punto de conexión del inversor (460V), los valores quedarían de la siguiente forma:

Tabla 16. Valores de ajuste para protecciones

FUNCIÓN	AJUSTE	VALOR	TEMPORIZACIÓN
Etapa 1: Bajatensión (ANSI 27)	0,80	368V	2 s
Etapa 2: Bajatensión (ANSI 27)	0,60	276V	0.2 s
Etapa 1: Sobretensión (ANSI 59)	1,12	515,2V	2 s
Etapa 2: Sobretensión (ANSI 59)	1,15	529V	0.2 s
Bajafrecuencia (ANSI 81 U)	0,95	57Hz	0.2 s
Sobrefrecuencia (ANSI 81 o)	1,05	63Hz	0.2 s

Usando la información suministrada por el OR **EMCALI** se tienen las siguientes proteccionesen el circuito:

Circuito Puerto Mallarino en subestación Juanchito

Tap fase 5 amperios
Dial de fases 0.3
Ip>> 35 amperios

Tap tierra 1.5 amperios
Dial de tierra 0.45
Ie>> 35 amperios

Curva IEC VI
RTC 600/5

Para el cumplimiento de CNO se utiliza el relé de la familia LOVATO PMV95N A240 NFC para garantizar las protecciones de tensión en la red y cumplir con los tiempos de disparo y desconexión del SSFV.

Flux S.A.S: Transversal 34B Sur # 33-42 Int 401, Teléfono: (4)3019030
Email: jarboleda@fluxenergy.co ●
Envigado – Colombia

M01 – GENERAL		UdM	Predet.	Rango
P01.01	Tensión nominal entre fases	V CA L-L	220 V CA 400 V CA (depende del modelo)	208 a 240 380 a 575
P01.02	Tipo de control de tensión		L-L	L-L L-N L-L + L-N
P01.03	Frecuencia nominal	Hz	AUT	AUT 50 60
P01.04	Umbral de tensión máxima	%	110,0	OFF / 105,0 a 115,0
P01.05	Retardo de tensión máxima	s	1,0	0,1 a 30,0
P01.06	Umbral de tensión mínima	%	90,0	OFF / 80,0 a 95,0
P01.07	Retardo de tensión mínima	s	1,0	0,1 a 30,0
P01.08	Histéresis de tensión	%	3,0	1,0 a 5,0
P01.09●	Umbral de asimetría	%	10,0	OFF / 5,0 a 15,0
P01.10	Retardo de asimetría	s	1,0	0,1 a 30,0
P01.11	Umbral de frecuencia máxima	%	OFF	OFF / 101 a 110
P01.12	Retardo de frecuencia máxima	s	1,0	0,1 a 30,0
P01.13	Umbral de frecuencia mínima	%	OFF	OFF / 90 a 99
P01.14	Retardo de frecuencia mínima	s	1,0	0,1 a 30,0
P01.15	Retardo de restablecimiento	s	0,5	0,1 a 30,0
P01.16●	Umbral de pérdida de fase	%	70,0	30,0 a 80,0
P01.17	Control de secuencia de fases		ON	OFF-ON
P01.18	Memoria		OFF	OFF-ON

Se realizan las siguientes fallas para verificar la coordinación de protecciones en el área de interés teniendo en cuenta que se tomará la protección principal del sistema de generación.

Flux S.A.S: Transversal 34B Sur # 33-42 Int 401, Teléfono: (4)3019030
Email: jarboleda@fluxenergy.co ●
Envigado – Colombia

Coordinación de protecciones: Fallas	
Falla monofásica BT SSFV_1	1
Falla monofásica BT SSFV_2	2
Falla monofásica BT Transformador	3
Falla monofásica MT 4,65kV	4
Falla Trifásica BT SSFV_1	5
Falla Trifásica BT SSFV_2	6
Falla Trifásica BT Transformador	7
Falla Trifásica MT 4,65kV	8

En el **anexo 4** se muestran las imágenes obtenidas de las simulaciones.

En las curvas de fallas monofásicas se evidencia que la coordinación se adecua debido a que, en un corto monofásico a tierra, en el barraje de 460V se dispara la protección de los inversores. Luego, al estudiar el caso en nodo de 4,65 kV se observa que las protecciones del circuito se activan según el punto de falla garantizando selectividad.

6. Conclusiones

- Según el análisis de flujo de carga en los diferentes escenarios simulados, se puede concluir que los niveles de tensión y cargabilidad no superan los límites establecidos por la norma, la tensión en los diferentes nodos siempre se mantuvo en el rango de 0.9 p.u. y 1.1 p.u y la carga de los equipos nunca superó el 100%.

- Analizando los diferentes valores obtenidos en las simulaciones de cortocircuito, se puede identificar que no existe un cambio significativo en la magnitud de las corrientes de falla con la entrada del sistema solar fotovoltaico, lo anterior cobra sentido al establecer que el inversor se comporta como una fuente de corriente controlada por tensión, lo que implica que al producirse una falla, el sistema de electrónica de potencia limita el aporte de corriente de cortocircuito del inversor a valores iguales o inferiores en comparación a los datos nominales.

- Según los análisis de cortocircuito, el cambio en magnitud no es sustancial con la entrada del sistema solar fotovoltaico, por lo que no se hace necesario modificar la

Flux S.A.S: Transversal 34B Sur # 33-42 Int 401, Teléfono: (4)3019030
Email: jarboleda@fluxenergy.co ●
Envigado – Colombia

capacidad de interrupción de los equipos que componen la red, ni cambiar los respectivos ajustes de protección del relé de cabecera.

- Se puede establecer que el inversor Huawei referencia SUN2000-100KTL cumple con lo establecido en la norma internacional IEEE 519. En la ficha técnica se puede constatar que el inversor posee un THDi inferior al 3%, valor inferior al máximo establecido por la norma del 5%.

- El Sistema Solar Fotovoltaico **Planta de tratamiento Puerto Mallarino 990 kW** entregará excedentes de energía a la red local de **EMCALI**, se observa que la topología de la red no es golpeada drásticamente con la entrada en operación del sistema solar.

- En las instalaciones de Puerto Mallarino existen dos transformadores de 22MVA cada uno, ambos se encuentran conectados a derivaciones desde un mismo nodo de 34.5kV. Por la naturaleza radial del circuito principal de la red de **EMCALI** y a la conexión de ambos transformadores a un mismo nodo de 34.5kV, la conexión del sistema solar fotovoltaico a un transformador o al otro es indiferente para el OR. Las variaciones en este caso serán en el nodo de baja tensión donde se conecta el sistema, puesto que las variables dependerán única y exclusivamente de las cargas conectadas a cada uno de los transformadores.

- Con el presente estudio de conexión, se logró corroborar que la conexión del sistema solar fotovoltaico **Planta de tratamiento Puerto Mallarino 990 kW** no afecta la estabilidad y buen funcionamiento del sistema de distribución local. Adicionalmente, se logró demostrar que los valores de tensión, cargabilidad, perdidas y frecuencia cumplen a cabalidad la norma exigida (CREG 025 de 1995).

- Si bien, el estudio de conexión simplificado no considera el aporte de reactivos por parte del proyecto solar, el promotor debe acordar con **EMCALI** el punto de operación en cuanto al aporte de reactivos.

- Se manifiesta el compromiso de realizar medidas en campo antes y después de la instalación del proyecto con el fin de validar el cumplimiento de los todos los aspectos involucrados en el presente estudio de conexión.

- El promotor conoce y acepta las condiciones en las cuales el proyecto fotovoltaico deberá desconectarse de la red.

Flux S.A.S: Transversal 34B Sur # 33-42 Int 401, Teléfono: (4)3019030
Email: jarboleda@fluxenergy.co ●
Envigado – Colombia

ANEXOS

Anexo	Nombre
1	Fichas técnicas
2	Flujos de carga
3	Análisis de cortocircuito
4	Coordinación de protecciones

Flux S.A.S: Transversal 34B Sur # 33-42 Int 401, Teléfono: (4)3019030
Email: jarboleda@fluxenergy.co ●
Envigado – Colombia