



**ESTUDIO DE CONEXÓN SIMPLIFICADO PARA LA INSTALACIÓN DE
380.33 kW DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN LAS
INSTALACIONES DEL CLUB CAMPESTRE - CALI**

REVISIÓN 0

GERS

Santiago de Cali, Marzo de 2019

CONTROL

Código del Documento:	Interno:	D5-02	Externo:	
Tipo				
Informe	X	Memoria de Cálculo	Especificación Técnica	

RESPONSABLES		
Nombres y Apellidos		Matrícula Profesional #
Elaboró	Julio César García A	VL205-76973
Revisó y Verificó	Harold Quintero García	VL205-26944
Aprobó	Harold Quintero García	VL205-26944

REVISIONES			
Rev.	Sección Modificada	Fecha (dd/mm/aaaa)	Descripción
0	Versión original	15/03/2019	Versión Original

DISTRIBUCIÓN	
Dependencia	Copias
DATECSA	1
GERS, Centro de Documentación	1

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	5
1. MODELADO DEL SISTEMA	6
1.1 ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y CONSIDERACIONES	7
1.1.1 TRANSFORMADORES	7
1.1.2 LÍNEAS Y CONDUCTORES	8
1.2 SOFTWARE UTILIZADO	8
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	9
3. PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE LOS EQUIPOS ASOCIADOS AL PROYECTO DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA	13
3.1 PICADERO	13
3.2 CASA CLUB	15
4. ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA	17
4.1 INFORMACIÓN BÁSICA	17
4.2 RESULTADOS FLUJO DE CARGA	18
5. ESTUDIO DE CORTOCIRCUITO	22
5.1 NIVELES DE CORTOCIRCUITO	22
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	24
7. BIBLIOGRAFÍA	26

TABLAS

	Pág.
Tabla 1, Datos del transformador elevador de Picadero	13
Tabla 2, Datos de los paneles e inversores de Picadero	13
Tabla 3, Datos del transformador elevador de Casa Club	15
Tabla 4, Datos de los paneles e inversores de Casa Club.....	15
Tabla 5, Niveles de tensión en las barras principales	18
Tabla 6, Transferencia de potencia transformadores.....	19
Tabla 7, Transferencia de potencia líneas.....	19
Tabla 8, Resultados de Cortocircuito barras principales	23

FIGURAS

Figura 1. Representación Gráfica del Software Neplan	6
Figura 2. Relación X/R de transformadores.....	8
Figura 3. Diagrama unifilar del sistema eléctrico del Club Campestre	11
Figura 4. Modelo de generación solar Casa Club.....	12
Figura 5, Datos de los paneles solares Picadero.....	14
Figura 6, Datos de los paneles solares Casa Club	16
Figura 7, Niveles de tensión en las barras.....	20
Figura 8. Transferencia de potencia y cargabilidad de las líneas.....	21

INTRODUCCIÓN

En este documento se incluyen los análisis de flujo de carga y cortocircuito para el sistema eléctrico del proyecto de generación solar de 380.33 kW en el **Club Campestre** ubicado en la ciudad de Cali. Los estudios hacen parte del estudio de conexión simplificado que se debe presentar al operador de red (Emcali) y tienen como objetivo determinar cómo se ve afectado el sistema eléctrico ante la entrada en funcionamiento de dicha generación.

Para realizar los cálculos de los estudios mencionados, se llevaron a cabo las siguientes actividades para el modelo eléctrico.

- Procesamiento de la información suministrada.
- Modelado del sistema eléctrico del Club Campestre en el software Neplan
- Cálculos de flujo de carga
- Cálculos de cortocircuito

Para llevar a cabo los estudios del sistema eléctrico se utilizó el software de análisis de sistemas de potencia Neplan, de la cual se poseen las respectivas licencias y se emplearon estándares de la IEEE para el análisis del sistema de potencia.

1. MODELADO DEL SISTEMA

Para el modelado del sistema eléctrico se hizo uso de la información técnica suministrada. Como parte de las actividades se realizó la revisión de la totalidad de la información, en la Figura 1-1 se puede apreciar el modelo realizado en el software Neplan.

Para interpretar correctamente los diagramas del programa Neplan, es importante tener en cuenta la posición de abierto-cerrado de los interruptores. Donde el cuadro sin relleno corresponde a interruptor abierto y cuadro con relleno corresponde a interruptor cerrado. Las flechas corresponden a las cargas y el cuadro con achurado representa el equivalente de red. El software utilizado hace uso de esta nomenclatura que se presenta en la Figura 1-2 presentada a continuación:

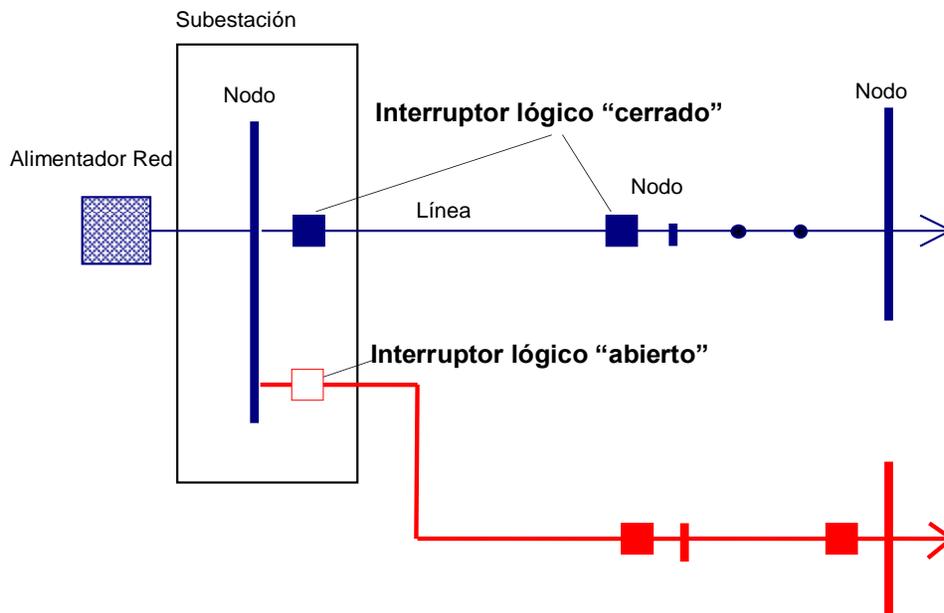


Figura 1. Representación Gráfica del Software Neplan

1.1 ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y CONSIDERACIONES

A continuación se presentan las consideraciones que se tuvieron en cuenta para el modelado de los elementos del sistema eléctrico, a los cuales hace referencia este estudio. Los ítems siguientes hacen referencia a los modelos básicos que en general se utilizaron para modelar el sistema eléctrico.

1.1.1 TRANSFORMADORES

Los transformadores se modelaron con la información técnica respectiva y las recomendaciones de la norma ANSI/IEEE C37.010 en cuanto a la relación X/R.

Por lo general los valores de reactancia X y R se desconocen, pero teniendo el valor de la impedancia de cortocircuito (Z_{cc}) y las bases del transformador se pueden determinar. Para lo anterior se emplea la gráfica característica de la relación X/R de transformadores (ANSI/IEEE C37.010.), la cual se muestra en Figura 1.3 y las siguientes expresiones:

$$R = \frac{Z}{\sqrt{1 + \left(\frac{X}{R}\right)^2}}$$

$$X = R \times \left(\frac{X}{R}\right)$$

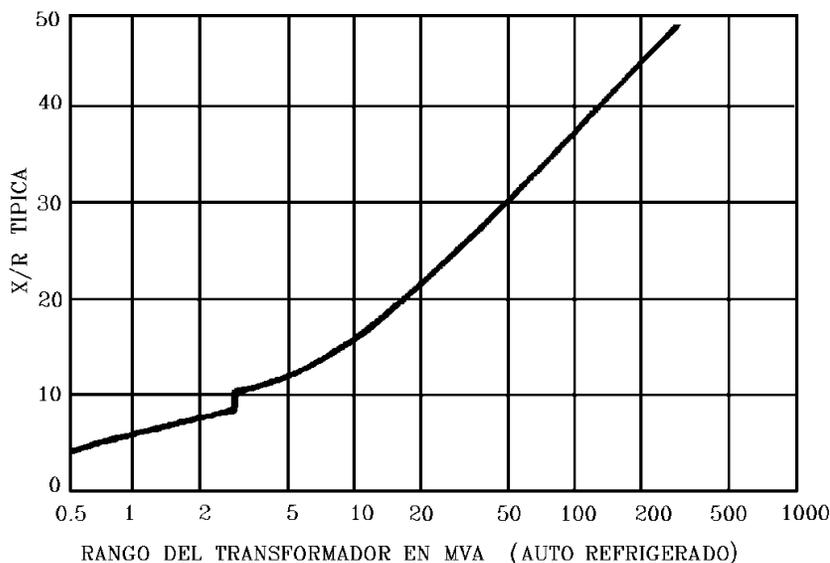


Figura 2. Relación X/R de transformadores

1.1.2 LÍNEAS Y CONDUCTORES

Las características técnicas de los conductores (R y X) de alta y media tensión empleados en el modelado del sistema eléctrico de **Club Campestre Cali**, corresponden a las suministradas por el personal del cliente.

1.2 SOFTWARE UTILIZADO

Los análisis se realizaron utilizando el software de análisis de sistemas de potencia Neplan con sede en Suiza, el cual utiliza metodologías propuestas en las normas internacionales ANSI/IEEE e IEC, para la realización de este tipo de estudios. **GERS** es actualmente el representante técnico de este programa para América Latina y Centroamérica.

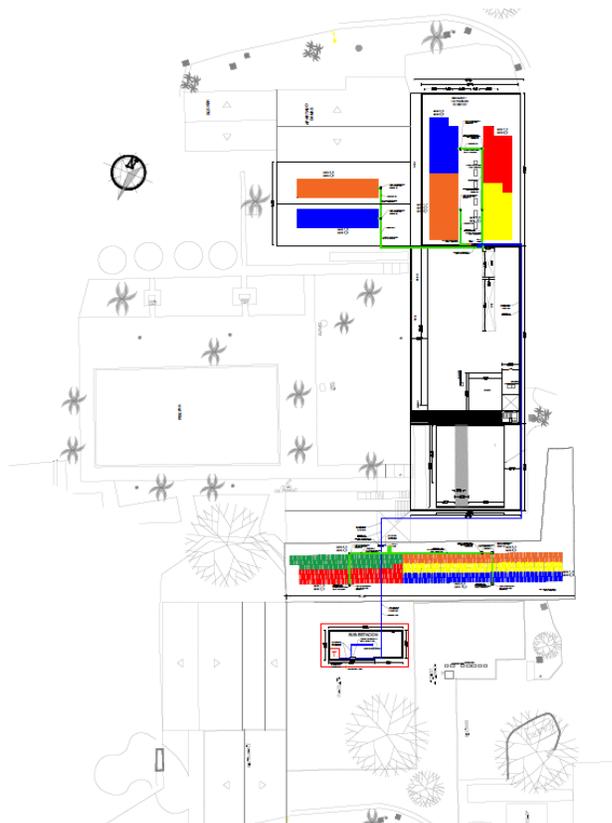
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Con la finalidad de determinar la distribución de potencia y los niveles de cortocircuito en las redes eléctricas donde se conecta el proyecto, ante la entrada en servicio del centro de generación solar de 380.33 kW que se instalará en el **Club Campestre Cali**.

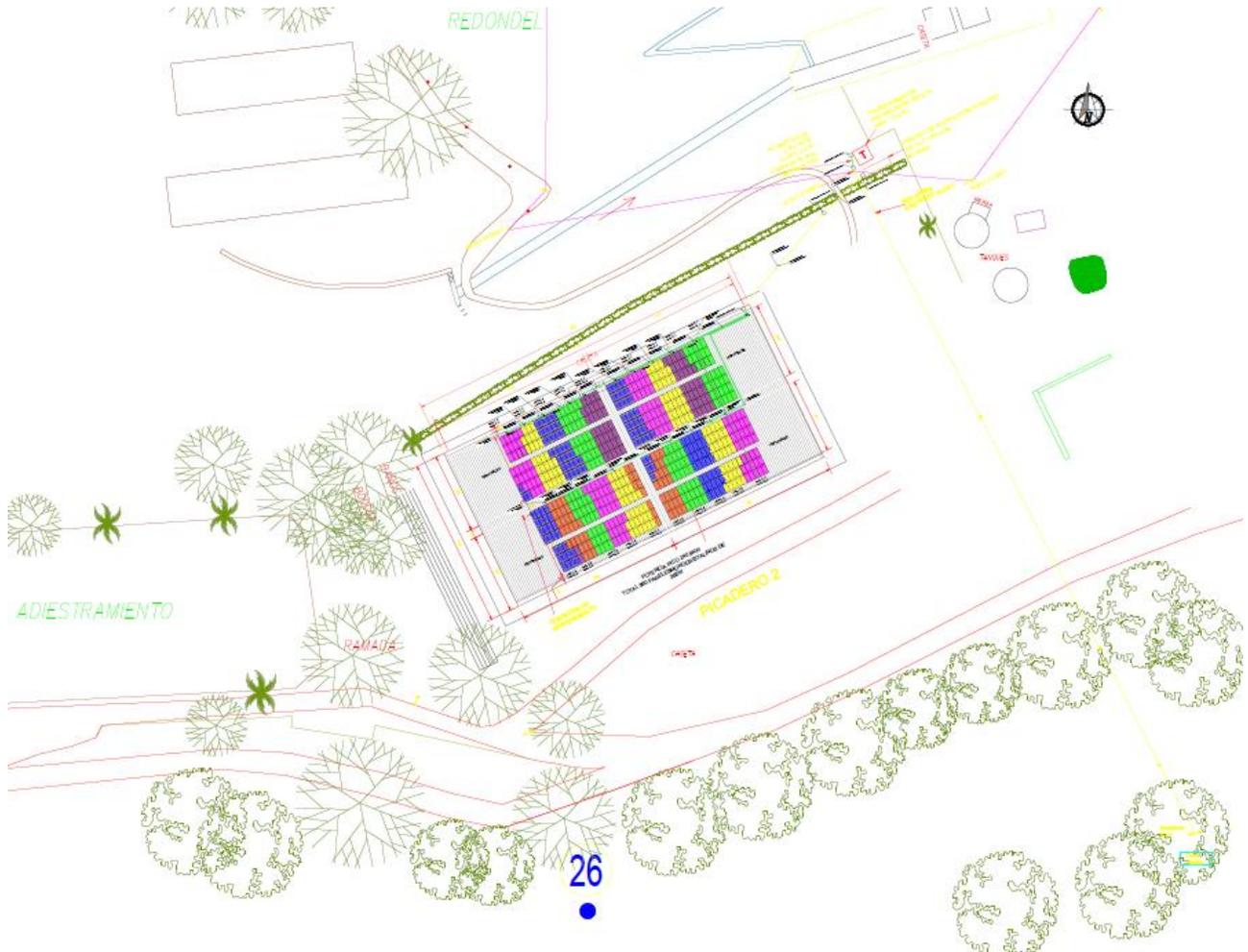
El proyecto se conecta a la red de EMCALI mediante la conexión existente, la cual corresponde a una derivación en T desde el circuito Pasoancho. El calibre de la línea desde la que se conecta el Club Campestre corresponde a un #4/0 de cobre.

El proyecto contempla la instalación de la potencia distribuidas en dos áreas del club, a continuación se listan:

CASA CLUB: 139.43 KW



PICADERO: 240.9 KW



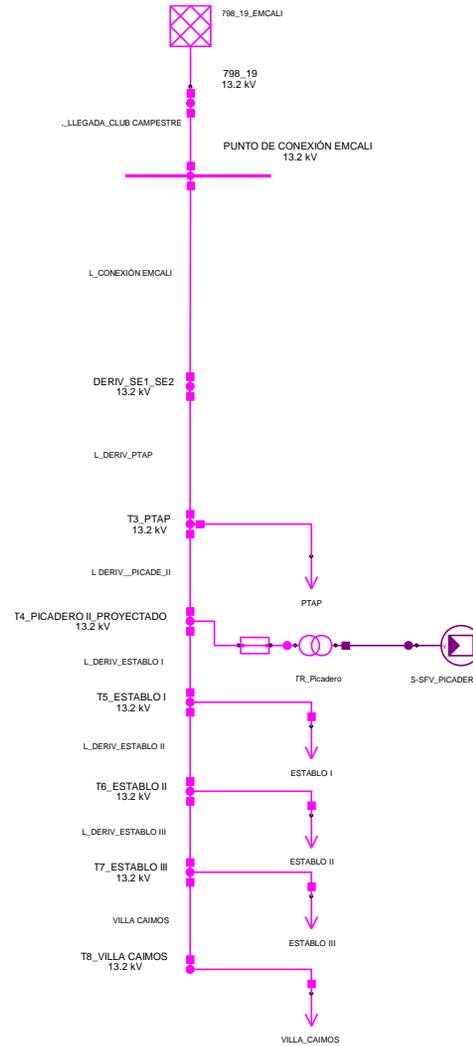


Figura 3. Diagrama unifilar del sistema eléctrico del Club Campestre

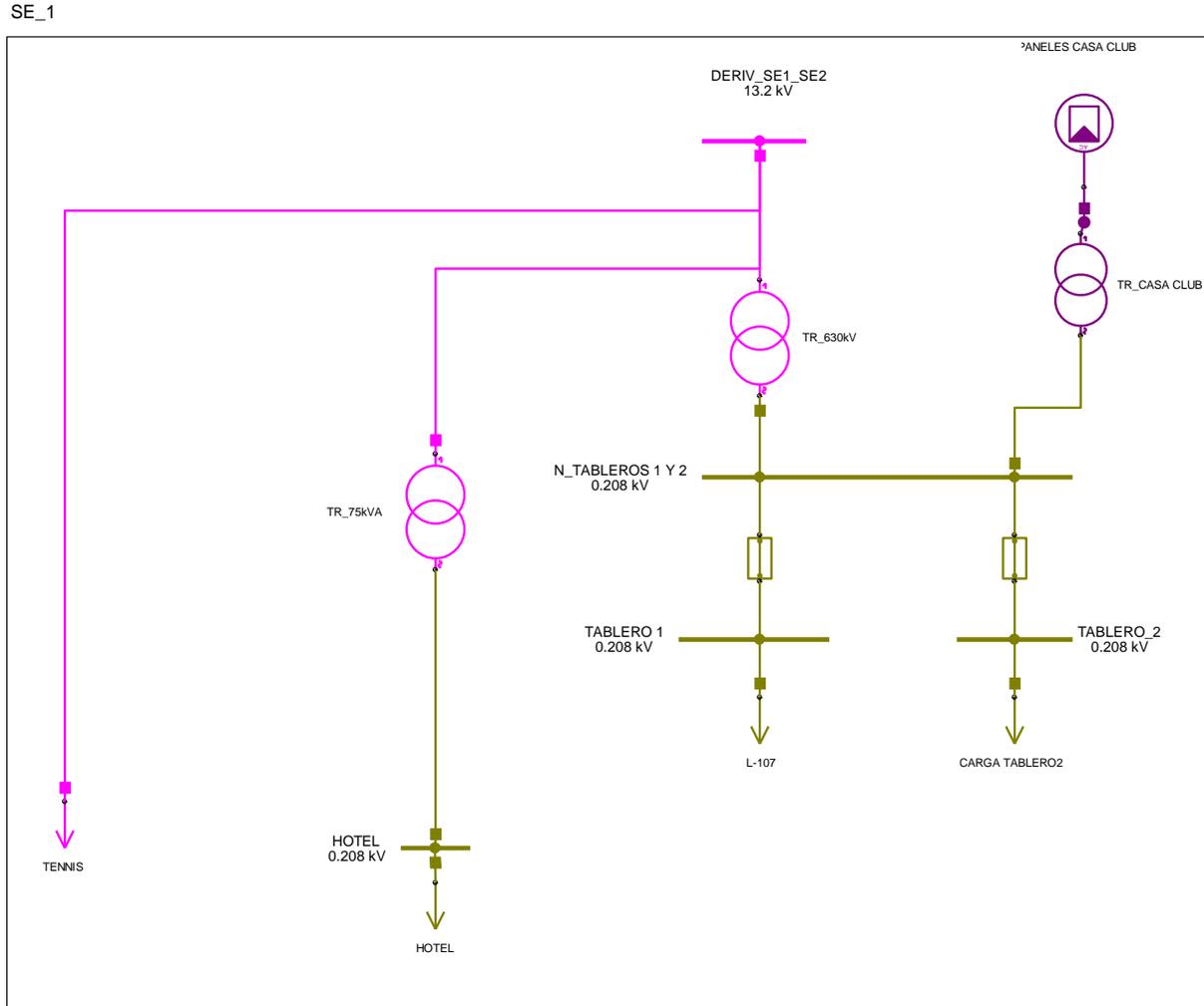


Figura 4. Modelo de generación solar Casa Club

3. PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE LOS EQUIPOS ASOCIADOS AL PROYECTO DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA

3.1 PICADERO

Tabla 1, Datos del transformador elevador de Picadero

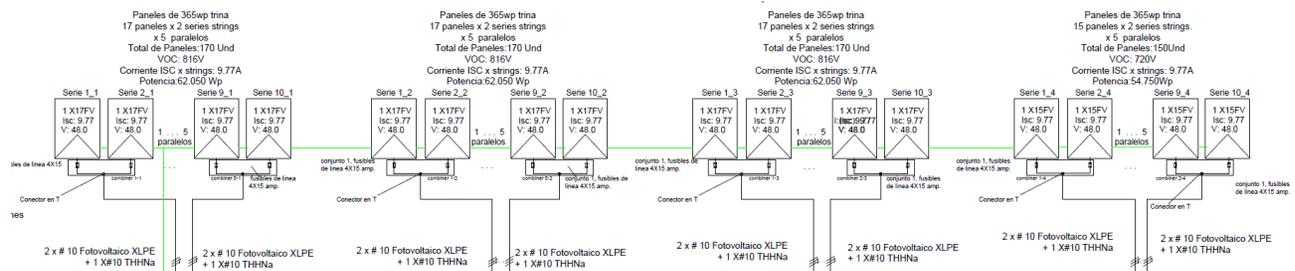
Transformador Elevador Tipo Pad Mounted	
Potencia	350 kVA
Tensión	13.2/ 0.44 kV
Zcc	6%

Tabla 2, Datos de los paneles e inversores de Picadero

Resumen del sistema solar Picadero		
Potencia por serie	6.205	kW
Numero de series por inversor	10	
Potencia de paneles por inversor	62.05	kW
Numero de inversores	3	
Potencia total de inversores nominal	180	kW
Potencia de paneles	186.15	kW
Razón de operación validada PV_SYST	1.034	
Potencia por serie	5.475	kW
Numero de series por inversor	10	

Potencia de paneles por inversor	54.75	kW
Numero de inversores	1	
Potencia total de inversores nominal	60	kW
Potencia de paneles	54.75	kW
Razón de operación validada PV_SYST	0.913	

Figura 5, Datos de los paneles solares Picadero



3.2 CASA CLUB

Tabla 3, Datos del transformador elevador de Casa Club

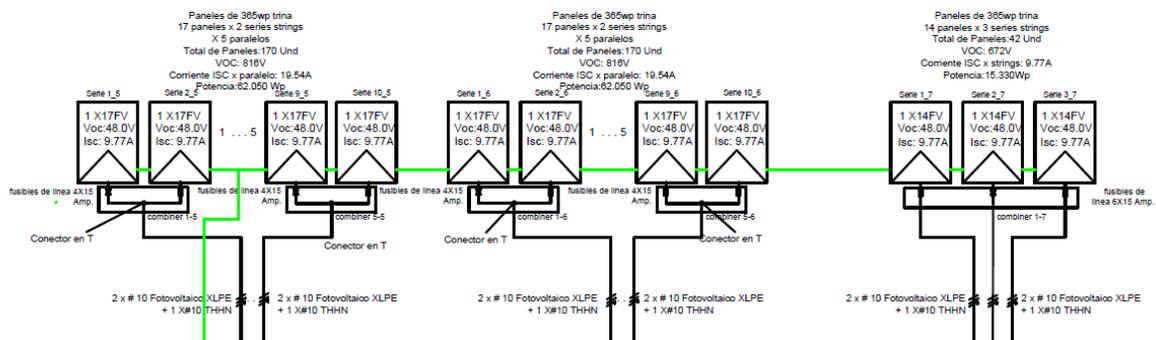
Transformador baja - baja	
Potencia	200 kVA
Tensión	440 V / 208 V
Zcc	6%

Tabla 4, Datos de los paneles e inversores de Casa Club

Resumen del sistema Casa Club		
Potencia por serie	6.205	kW
Numero de series por inversor	10	
Potencia de paneles por inversor	62.05	kW
Numero de inversores	2 x 60	kW
Potencia total de inversores nominal	120	kW
Potencia de paneles	124.1	kW
Razón de operación validada PV_SYST	1.034	
Intensidad de cortocircuito por inversor DC	98.8	ADC
Tensión MPPT en DC entrada por inversor	664.7	VDC
Tensión máxima DC entrada por inversor	804.1	VDC
Potencia por serie	5.11	kW
Numero de series por inversor	3	

Potencia de paneles por inversor	15.33	kW
Numero de inversores	1 x 60	kW
Potencia total de inversores nominal	20	kW
Potencia de paneles	15.33	kW
Razón de operación validada PV_SYST	0.767	
Intensidad de cortocircuito por inversor DC	29.64	ADC
Tensión MPPT en DC entrada por inversor	547.4	VDC
Tensión máxima DC entrada por inversor	662.2	VDC

Figura 6, Datos de los paneles solares Casa Club



4. ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA

Con la información se modeló el sistema eléctrico mediante el programa de análisis de sistemas de potencia Neplan, para la realización de los cálculos de flujo de carga se realizaron las corridas para la topología de operación normal.

Para evaluar la cargabilidad y los perfiles de tensión del sistema, se consideran los siguientes límites operativos:

- Las tensiones de estado permanente aceptables se encuentran entre 95% y 105% de la tensión nominal del barraje.
- Todos los transformadores de potencia y cables se pueden cargar hasta el 100% de su capacidad nominal.

4.1 INFORMACIÓN BÁSICA

Para la realización del estudio de flujo de carga, se toma como punto de partida el sistema eléctrico actual. Los flujos de carga permiten obtener los niveles de tensión, los valores de transferencia de potencia y el estado de carga en los diferentes elementos que conforman el sistema eléctrico.

Para la interpretación adecuada de los resultados de los flujos de potencia, a continuación se describe la convención utilizada por el programa de análisis Neplan.

Los flujos de potencia son enfocados hacia nodos, de la siguiente forma:

- La potencia entrando a un nodo se considera negativa.
- La potencia saliendo de un nodo se considera positiva.

4.2 RESULTADOS FLUJO DE CARGA

En las siguientes tablas se presenta un resumen de la transferencia de potencia por las líneas y los transformadores de potencia para cada uno de los casos analizados. Adicionalmente se presenta un resumen de las tensiones en los principales barrajes, para las alternativas de operación planteadas.

A continuación se muestran las tablas de resultados del análisis de flujo de carga.

Tabla 5, Niveles de tensión en las barras principales

BARRA	V [kV]	OP NORMAL	
		V [kV]	V [%]
Derivación a subestación 1	13.2	13.1	99.6
Punto de conexión Generación Solar Casa Club	0.208	0.2	97.9
Tablero 1	0.208	0.2	95.1
Tablero 2	0.208	0.2	95.1
Lado de baja tensión transformador Hotel	0.208	0.2	99.6
Barraje principal 208V SE2	0.208	0.2	97.3
Conexión red EMCALI	13.2	13.2	100.0
Punto de medida Club Campestre	13.2	13.2	99.9
Punto de conexión Generación Solar Picadero	13.2	13.1	99.4

Tabla 6, Transferencia de potencia transformadores

TRANSFORMADOR	OP NORMAL		
	P	Q	Cargab
	[KW]	[KVAr]	[%]
Transformador SE1 Casa Club	339.3	155.2	59.4
Transformador paneles Casa Club	123.6	20.3	64.0
Transformador Paneles Picadero	236.1	47.9	68.5

Tabla 7, Transferencia de potencia líneas

LÍNEA	OP NORMAL		
	P	Q	Cargab
	[KW]	[KVAr]	[%]
Línea Entrada al Club Campestre	1156.9	542.7	16.9
Circuito interno media tensión Club Campestre	1152.2	551.7	66.0

Figura 7, Niveles de tensión en las barras

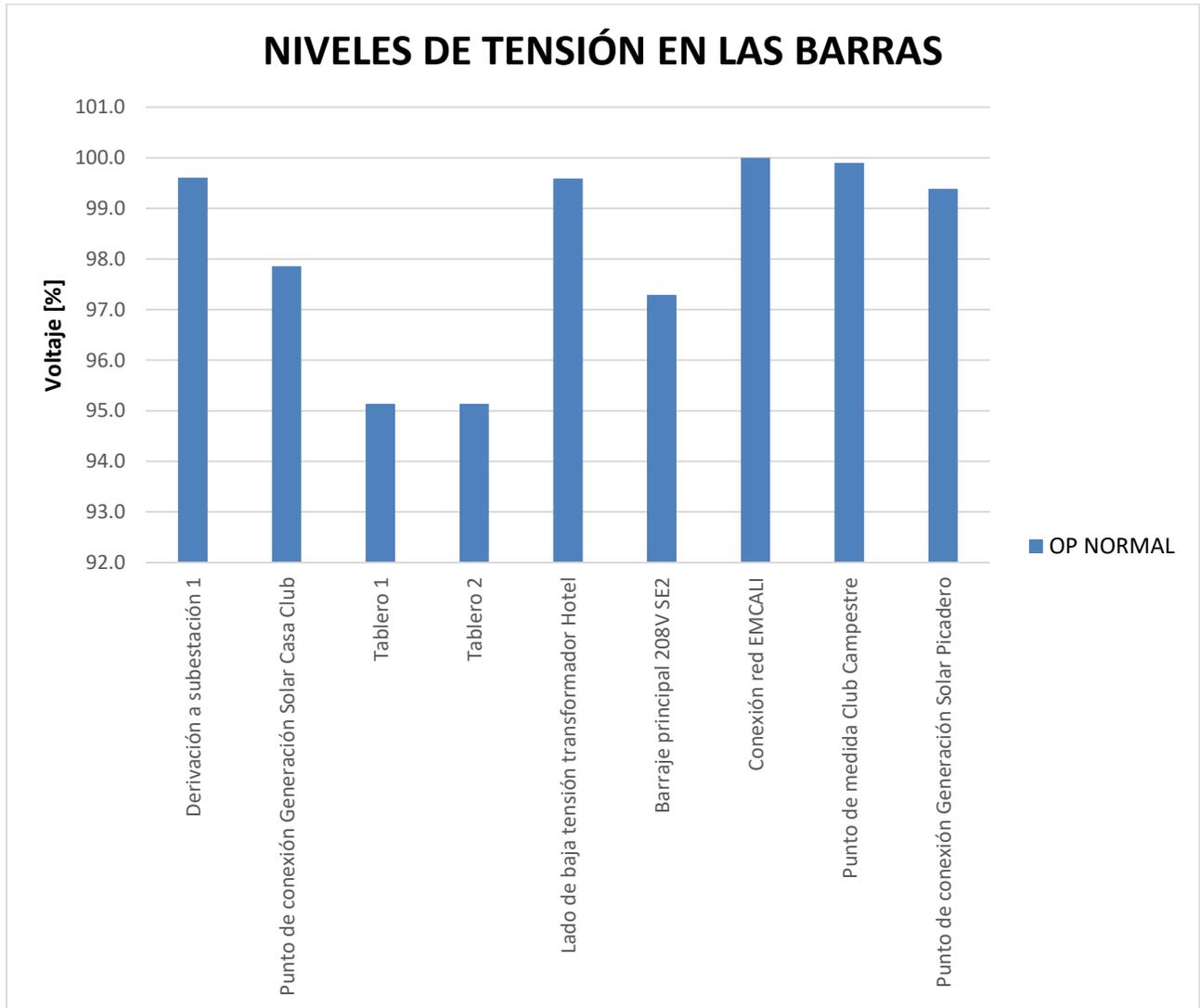
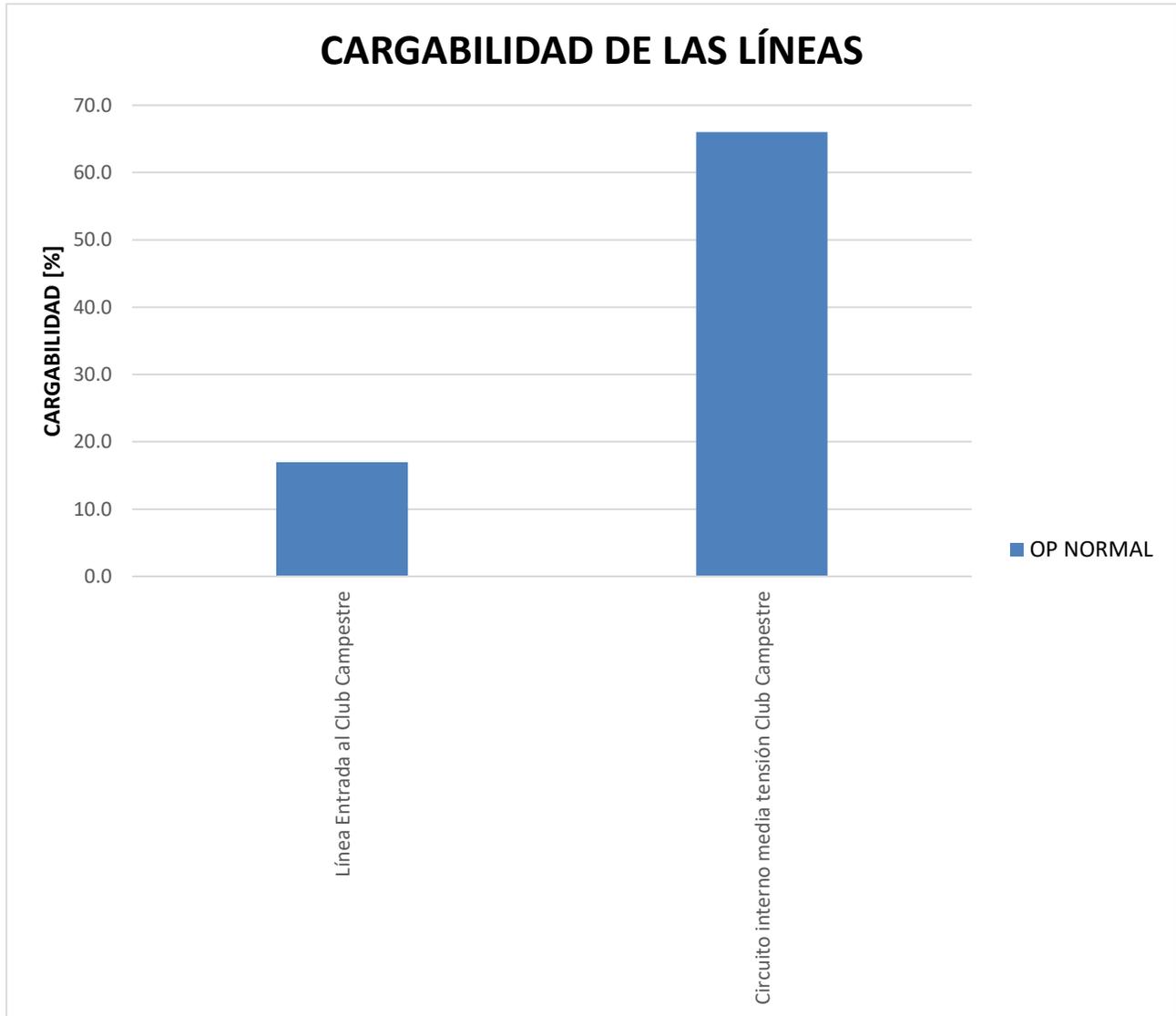


Figura 8. Transferencia de potencia y cargabilidad de las líneas



5. ESTUDIO DE CORTOCIRCUITO

Como parte de este estudio se realizó el cálculo de los niveles de cortocircuito trifásico y monofásico del sistema eléctrico de **Club Campestre Cali** considerado en el alcance del presente estudio.

Para el desarrollo de este estudio se siguió la metodología presentada en las normas ANSI C37-10.

5.1 NIVELES DE CORTOCIRCUITO

En la Tabla 4.1-1 se presentan los niveles de cortocircuito trifásicos y monofásicos en los principales barrajes del sistema eléctrico del **Club Campestre Cali**. Los valores que se presentan son la corriente de cortocircuito momentánea (I_k'') y la corriente de interrupción (I_b), definidas según la norma ANSI/IEEE como:

- **Corriente de cortocircuito momentánea (I_k''):** Es el valor RMS de la componente simétrica de AC en el primer medio ciclo de ocurrida la falla.
- **Corriente de interrupción simétrica (I_b):** Es el valor RMS de la componente simétrica AC en el instante de separación de los contactos.

En baja tensión (<1000 V) se evalúan equipos con base en I_k'' . En alta tensión se deben utilizar I_k'' e I_b , dependiendo del equipo a evaluar.

El tiempo de separación de los contactos viene expresado en ciclos de la frecuencia nominal (60 Hz). Para este estudio se suponen tiempos de operación para los interruptores de tres ciclos en los resultados, el cual corresponde a un valor conservativo en los análisis.

Tabla 8, Resultados de Cortocircuito barras principales

UBICACIÓN DE LA FALLA (BARRA)	V [kV]	TRIFÁSICO		MONOFÁSICO	
		Ik" [kA]	Ib [kA]	Ik" [kA]	Ib [kA]
Derivación a subestación 1	13.20	4.4	4.4	2.3	2.3
Punto de conexión Generación Solar Casa Club	0.21	27.1	27.1	27.6	27.6
Tablero 1	0.21	25.7	25.7	26.2	26.2
Tablero 2	0.21	25.7	25.7	26.2	26.2
Lado de baja tensión transformador Hotel	0.21	3.4	3.4	3.4	3.4
Barraje principal 208V SE2	0.21	9.9	9.9	10.1	10.1
Conexión red EMCALI	13.20	5.6	5.6	2.8	2.8
Punto de medida Club Campestre	13.20	5.1	5.1	2.6	2.6
Punto de conexión Generación Solar Picadero	13.20	3.5	3.5	2.0	2.0

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Del análisis de flujo de carga se puede observar que los niveles de tensión en todas las barras del club campestre y la frontera se encuentran dentro de los límites. Permitiendo concluir que el nuevo centro de generación solar del club campestre no tiene efectos negativos sobre el sistema eléctrico del operador de red (EMCALI) o propio del club campestre.
2. La cargabilidad de todos los elementos del sistema eléctrico del Club campestre y de alimentación (propiedad del OR) se encuentran dentro de los límites (100%) una vez el proyecto entra en operación.

Adicionalmente la cargabilidad de las líneas de alimentación e interna del club disminuyen, debido a la generación interna que será instalada.

3. Se recomienda que una vez entre en servicio el proyecto, se realicen mediciones de calidad de potencia para determinar que el factor de potencia se encuentre dentro del rango permitido por la regulación y evitar posibles penalidades por parte del OR. Lo anterior se recomienda debido a que al bajar el consumo interno de potencia activa y permanecer igual el consumo de potencia reactiva, el factor de potencia en el punto frontera tiende a bajar. Si una vez realizadas las mediciones se determina que el factor de potencia esta fuera de los límites, se recomienda la instalación de un banco de condensadores interno, que compense los reactivos necesarios.
4. Con los resultados del estudio de cortocircuito para el sistema eléctrico de la planta, puede realizar las siguientes actividades, teniendo en cuenta las normas ANSI e IEC:
 - ✓ Evaluar y/o especificar las capacidades de interrupción de interruptores y demás equipos de seccionamiento tales como fusibles, contactores, etc,

- ✓ Evaluación de saturación de transformadores de corriente.
 - ✓ Diseño de mallas de puesta a tierra.
5. Los niveles de cortocircuito presentados en este informe deben ser considerados para evaluar los equipos eléctricos existentes o para efectuar la especificación de nuevos equipos en los casos donde sean requeridos. De esta manera se podrá obtener una adecuada selección y operación del sistema eléctrico.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. ANDERSON, Paul M. Analysis of Faulted Power Systems: The Iowa State University Press / Ames, Iowa, 1973.
2. STEVENSON, William D. Elements of Power System Analysis: Mc Graw Hill Kogakusha, Ltd. Tokio, 1975.
3. WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION. Electrical Transmission and Distribution: Reference Book. East Pittsburgh, (Estados Unidos) : 1984.
4. IEEE Recommended Practice For Electric Power Distribution: For Industrial Plants. IEEE, 1993. (Std - 141).
5. IEEE Recommended Practice for Power Systems Analysis: IEEE 990 (std 390).
6. C.L. WADHWA, Electric Power Systems.