

PROYECTO:	REDES ELECTRICAS CASAS GRANJAS DE ESTAMBUL	COD. DOCUMENTO	MEM-CALCULO-CASAS-GRANJAS-ESTAMBUL
PROPIETARIO:	GOBERNACIÓN DE CALDAS	REVISION	A

**MEMORIAS DE CALCULO REDES ELECTRICAS PROYECTO
CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS DESTINADAS A LA
REUBIACIÓN DE FAMILIAS EN EL BARRIO GRANAJAS DE
ESTAMBUL DEL AREA URBANA MUNICIPIO DE MANIZALES**

FIRMA:

TIPOLOGIA	Revisión para comentarios						MATRICULA PROFESIONAL CL205-67843
	Rev A	Fecha	Rev 0	Fecha	Rev 1	Fecha	
Elaboró	A. CANTILLO	OCTUBRE DE 2019					

Tabla de Contenido

1.	ANALISIS DE CARGAS ELECTRICAS.....	4
1.1.	ALCANCE.....	4
1.2.	DEFINICIONES.....	4
1.3.	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO	4
1.4.	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	5
1.5.	ESQUEMA DE ALIMENTACIÓN GENERAL TABLEROS DE DISTRIBUCIÓN PRINCIPALES REDES INTERNAS 120V:.....	6
1.6.	CUADROS DE CARGA OBTENIDOS.....	8
1.7.	CUADRO DE CARGA TABLERO GENERAL CASA TIPO (TD-1-CASA):	8
1.8.	CONCLUSIONES ANALISIS DE CARVA Y CUADROS DE CARGA	9
2.	CALCULO DE CABLES Y CANALIZACIONES ACOMETIDAS PRINCIPALES FINCA CARANDAY	10
2.1.	DEFINICIONES:.....	10
2.2.	CRITERIOS DE DIMENSIONAMIENTO	10
2.3.	CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DE CABLES ELÉCTRICOS.....	10
2.4.	METODOS DE INSTALACIÓN.....	11
2.5.	METODOLOGÍA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS.....	11
2.6.	CALCULO DE CORRIENTE A PLENA CARGA (IFLA)	11
2.7.	VERIFICACIÓN DEL DIMENSIONAMIENTO DEL CONDUCTOR POR TEMPERATURA DE LOS TERMINALES DE CONEXIÓN	12
2.8.	SELECCIÓN DE CABLES POR CAIDA DE TENSIÓN	12
2.9.	LÍMITE DE CAIDA DE TENSIÓN.....	12
2.10.	ECUACIONES PARA LA CAIDA DE TENSIÓN	12
2.11.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:.....	15
3.	CALCULO DE CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO	16
3.1.	METODOLOGIA DE CÁLCULO	16
3.2.	TEORÍA DEL CÁLCULO DEL CORTO CIRCUITO	16
3.3.	CORRIENTES ANSI/IEEE	20
3.3.1.	CORRIENTES ANSI/IEEE	20
3.3.1.1.	CORRIENTES ANSI/IEEE	20

3.3.2.	CORRIENTES ANSI/IEEE	21
3.3.3.	CORRIENTES ANSI/IEEE	21
3.4.	DATOS DE ENTRADA AL MODELO	21
3.5.	TRANSFORMADOR FINCA CARANDAY.....	21
3.6.	CABLES.....	21
3.7.	EQUIVALENTE DEL SISTEMA.....	22
3.8.	NIVELES MAXIMOS DE CORTOCIRCUITO OBTENIDOS.....	22
3.9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	23
4.	CALCULO DEL ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA RED BAJA TENSION FINCA CARANDAY:	24
4.1.	DIMENSIONAMIENTO DEL CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA:.....	24
4.2.	CALCULO DE LAS CORRIENTES MAXIMAS ADMISIBLES DE PASO Y DE TOQUE – PASO 3. 26	
4.3.	RESISTENCIA DEL ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA DE LA MALLA – PASO 5	27
4.5.	CONCLUSIONES PUESTA A TIERRA	30
5.	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	31

1. ANALISIS DE CARGAS ELECTRICAS

1.1. ALCANCE

Este documento contiene el análisis de las cargas eléctricas de cada unidad residencial de acuerdo a la implantación arquitectónica del "PROYECTO CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS DESTINADAS A LA REUBIACIÓN DE FAMILIAS EN EL BARRIO GRANAJAS DE ESTAMBUL DEL AREA URBANA MUNICIPIO DE MANIZALES", teniendo en cuenta los cuadros de carga obtenidos para el tablero de distribución del sistema eléctrico.

1.2. DEFINICIONES

Baja Tensión: Tensiones menores o iguales a 1.000 VAC.

Media Tensión: Tensiones mayores de 1.000 VAC y menores de 57.500 VAC.

Carga: Es el valor nominal o suma de los valores nominales de potencia de cada equipo eléctrico y/o electrónico.

Para equipos de diferentes tipos de cargas corresponde a la carga nominal en kVA y para motores corresponde a la potencia nominal en HP, **para el presente documento siempre se analizaran las cargas en KVA.**

Cargas de operación normal (N) o continúa: Son las cargas que operan continuamente durante el período de demanda evaluado, generalmente un tiempo mayor a 3 horas.

Factor de Utilización o Demanda: Es la relación entre la demanda máxima de un sistema eléctrico, equipo o parte del mismo, y la carga total de potencia conectada al sistema, equipo o a una parte del mismo. Es decir la relación en porcentaje entre la potencia normal de operación de un equipo, sistema o carga eléctrica y la probabilidad que este opere en un lapso de tiempo determinado de uso por los usuarios.

Factor de coincidencia o factor de carga: Se define como la relación entre la potencia eléctrica que consume una carga en operación normal a plena carga o a carga variable y la potencia nominal del mismo. Es decir que un sistema eléctrico o un equipo opere a plena carga o el consumo sea variable en un lapso de tiempo.

Demanda de un sistema: Es la carga promedio en el receptor durante un lapso especificado. La carga considerada puede ser potencia activa, reactiva, aparente o corriente.

1.3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

La viviendas unifamiliares del proyecto "CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS DESTINADAS A LA REUBIACIÓN DE FAMILIAS EN EL BARRIO GRANAJAS DE ESTAMBUL DEL AREA URBANA MUNICIPIO DE MANIZALES" se encuentran en el área urbana del barrio Estambul como se describe a continuación:

UBICACIÓN: CRA. 38B CALLE12 / TRANSV. 38C BARRIO ESTAMBUL.



1.4. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

Los documentos que fueron tenidos en cuenta para determinar las cargas eléctricas que conforman el proyecto se encuentran en la tabla 1, así como los normatividad vigente y estándares a aplicar en la tabla 2.

Tabla 1. Documentación del Proyecto

REF.	CÓDIGO DEL DOCUMENTO	DESCRIPCIÓN
DR. 1	PL-RED-BT-01_PLIEGO	DIAGRAMA UNIFILAR GENERAL, PLANIMETRIA LOCALIZACIÓN RED BAJA TENSIÓN
DR. 2	PL-01-ELEC-CASAT_TOMAS_MEDIO_PLIEGO	PLANIMETRIA REDES ELECTRICAS INTERNAS TOMACORRIENTES-FUERZA
DR. 3	PL-02-ELEC-CASAT_ILUMINA_MEDIO_PLIEGO	PLANIMETRIA REDES ELECTRICAS INTERNAS ILUMINACIÓN

Tabla 1. Normatividad Vigente y estándares

Ref.	Documento	Descripción
[E1]	RETIE 2013	Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas
[E2]	NEC (NFPA 70)(NTC 2050)	National Electrical Code 2014
[E3]	RETILAP	REGLAMENTO TÉCNICO DE ILUMINACIÓN Y ALUMBRADO PÚBLICO.

Tabla 3. Norma CHEC

Ref.	Documento	Descripción
[E1]	MA-DI-02-002-001	Manual de normas de diseño y construcción CHEC

1.5. ESQUEMA DE ALIMENTACIÓN GENERAL TABLEROS DE DISTRIBUCIÓN PRINCIPALES REDES INTERNAS 120V:

La alimentación eléctrica para cada tablero general de distribución **TD-1 CASA**, en baja tensión 120V, de cada unidad de vivienda proyectada, para el cual se tiene asociada toda la carga de unidad de cada edificación residencial que viene alimentando desde un transformador monofásico trifilar de 15 KVA en aceite tipo poste ubicado en el área aledaña de los lotes o parcelaciones de influencia del predio, a su vez el **TRAFO** se encuentra alimentado en bornes primarios en media tensión 13,2 kV con acometida en una fase en red ASCR AL No. 2 + cable de guarda del poste o nodo de conexión CHEC autorizado como se muestra en el diagrama unifilar. Ver **la figura 1 y figura 1.2.**



1.6. CUADROS DE CARGA OBTENIDOS

A continuación se relaciona el cuadros de cargas del tablero de distribución principal que hacen parte de la distribución interna de las redes de cada edificación unifamiliar, se encuentra ubicado en la zona de patio de ropas ver planos de redes internas.

1.7. CUADRO DE CARGA TABLERO GENERAL CASA TIPO (TD-1-CASA):

El tablero general **TD-CASA** concentra la carga total asociada a zona área de vivienda denominada CASA, este se alimentara desde una derivación con conectores tipo piring o similar que cumplan con las condiciones técnicas de la red secundaria ne cable triplex auto-soportada proyectada, se alimentará con una acometida monofásica en cable concéntrico antifraude **1x8+8 (XLPE-PVC-SR)** como acometida principal de cada unidad de vivienda desde la red secundaria al medidor, y derivando el alimentador monofásico **1x8F+8N+8T** al tablero interno de cada edificación unifamiliar **TD-CASA**, A su vez este tablero alimenta las cargas de los circuitos ramales de los servicios proyectados como se relaciona a continuación:

CUADRO DE CARGAS TABLERO DISTRIBUCIÓN CASA TIPO												
TABLERO MONOFASICO DE 6 CIRCUITOS CERTIFICADO												
CIRCUITO	ILUMINACIÓN		TOMAS/ SERVICIO		VA/TOTAL	FACTOR DE DEMANDA	FACTOR DE CARGA	VA/TOTAL FASE	Corriente NOMINAL	Protección	ALIMENTADOR (AWG THHN/THWN)	DESCRIPCIÓN / OBSERVACIONES
	Nº	W	Nº	VA								
C1	16	25			444	1	1	444	3,7	1X20A	12F+12N+12T	ILUMINACIÓN GENERAL
C2			1	1500	1500	0,5	0,6	450	12,5	1X20A	12F+12N+12T	LAVANDERIA ROPAS
C3			4	375	1500	0,6	0,8	720	12,5	1X20A	12F+12N+12T	PEQUEÑOS ARTEFACTOS COCINA
C4			1	1500	1500	0,5	0,7	525	12,5	1X20A	12F+12N+12T	ESTUFA
C5			12	180	2160	0,3	1	648	18,0	1X20A	12F+12N+12T	TOMAS GENERALES SERVICIO
C6												DISPONIBLE
Sub total demandado por Fase (VA)								2787				
Total Demanda (KVA)								2,79		1X40A	8F+8N+8T	TABLERO MONOFASICO DE 6 CIRCUITOS CERTIFICADO
CORRIENTE TOTAL (I=S/((120V))AMP											23,23	

CARGA TOTAL INSTALADA		
ILUMINACIÓN (VA)	TOMACORRIENTES (VA)	TOTAL (KVA)
444	6660	7,10

Obteniendo una carga total de tipo residencial aproximada demandada de 2,7 KVA para cada casa.

1.8. CONCLUSIONES ANALISIS DE CARVA Y CUADROS DE CARGA

- Todas las cargas principales que componen el sistema eléctrico de cada edificación son de alumbrado general y tomacorrientes de servicio carga residencial.
- El constructor debe balancear el sistema asignando a cada fase las cargas de manera equilibrada acuerdo a todos los cuadros de carga y el diagrama unifilar
- Todos los tableros deben ser armados y rotulados según los cuadros de carga.

2. CALCULO DE CABLES Y CANALIZACIONES ACOMETIDAS PRINCIPALES FINCA CARANDAY

2.1. DEFINICIONES:

Carga: Es el valor nominal o suma de los valores nominales de potencia de cada equipo eléctrico y/o electrónico.

Para equipos de diferentes tipos de cargas corresponde a la carga nominal en kVA y para motores corresponde a la potencia nominal en HP, para el presente documento siempre se analizaran las cargas en KVA.

Caída de tensión: Llamamos **caída de tensión** a la diferencia de potencial que existe entre los extremos de cualquier conductor dependiendo de su longitud, capacidad de corriente, resistencia y reactancia inductiva, semiconductor o aislante. Este valor se mide en voltios y representa el gasto de fuerza que implica el paso de la corriente por el mismo.

La caída de tensión en el conductor se origina debido a la resistencia eléctrica al paso de la corriente. Esta resistencia depende de la longitud del circuito, el material, el calibre y la temperatura de operación del conductor. El calibre seleccionado debe verificarse por la caída de tensión en la línea.

Al suministrar corriente a una carga por medio de un conductor, se experimenta una caída en la tensión y una disipación de energía en forma de calor.

Impedancia eficaz: La **impedancia** (Z) es una medida de oposición que presenta un circuito a una corriente cuando se aplica una tensión. La **impedancia** extiende el concepto de resistencia a los circuitos de corriente alterna (CA), y posee tanto magnitud como fase, a diferencia de la resistencia, que sólo tiene magnitud.

Regulación de tensión: Es la magnitud expresada en porcentaje % de caída de tensión a lo largo de una línea o acometida eléctrica.

2.2. CRITERIOS DE DIMENSIONAMIENTO

Para el dimensionamiento de cables eléctricos se consideraron los siguientes criterios:

- Capacidad de conducción de corriente en régimen permanente (**IFLA**), de acuerdo con las condiciones ambientales del sitio, las características constructivas de los cables, la máxima temperatura de operación de los terminales de conexión en contacto directo con el conductor, los métodos de instalación y los arreglos de cables seleccionados.
- Caída de tensión en estado estable.
- Capacidad para soportar las corrientes de falla. (teniendo en cuenta el nivel del corto circuito y el tiempo de despeje de la falla).

2.3. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DE CABLES ELÉCTRICOS

La tabla 2. Se presentan las características constructivas de los cables eléctricos de potencia en baja tensión empleados en la presente ingeniería.

Tabla 2. Características constructivas de los cables de baja tensión.

Parámetro	Valor
Conductor	Cobre Suave Clase B, Concéntrico según ASTM B8
Número de hilos	7 hilos para calibres 18 al 2 AWG
Configuración	Mono conductor desde el calibre 8 AWG, CONCENTRICO ANTIFRAUDE 2X6+6 ACOMETIDA PPAL
Aislamiento	PVC retardante a la llama THHN
Tensión máxima de operación	600 V
Temperatura máxima de operación	75 °C Nominal permitido CHEC, MAXIMA NOMINAL DE 90°C en lugares secos o húmedos

2.4. METODOS DE INSTALACIÓN

Se describen los métodos de instalación a implementar para los cables eléctricos.

- Si la canalización de los cables eléctricos va a la intemperie se debe implementar tubería IMC de acuerdo al diámetro indicado en las planimetrías de Redes.
- Si la canalización de los cables va empotrada en muros, pisos, o lozas se debe implementar tubería conduit PVC tipo pesado de acuerdo al diámetro indicado en planos.
- Si la canalización de cables va sobrepuesta, o por cielos falsos o muros falsos se debe implementar tubería EMT a la vista de Acuerdo con el diámetro indicado en los planos.

2.5. METODOLOGÍA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS

2.6. CALCULO DE CORRIENTE A PLENA CARGA (IFLA)

Según el sistema eléctrico se aplicará una de las siguientes fórmulas para calcular la corriente a plena carga.

Tabla 3.

DATO DESEADO	SISTEMA	
	MONOFÁSICOS	BIFÁSICO
Amperios a partir de kVA	$\frac{kVA * 1000}{V_{L-N}}$	$\frac{kVA * 1000}{2 * V_{L-N}}$
Amperio a partir de kW	$\frac{kW * 1000}{V_{L-N} \cos \theta}$	$\frac{kW * 1000}{2 * V_{L-N} \cos \theta}$

Con los valores de corriente a plena carga, se realiza la pre-selección del calibre mínimo del conductor, garantizado que la capacidad de corriente del conductor seleccionado sea mayor o igual a la corriente de plena carga IFLA.

Los calibres de los conductores para circuitos ramales y acometida principal del tablero general se indican en el CAPITULO de análisis de Cargas, CUADROS_CASAS_GRANJAS_ESTAMBUL.

2.7. VERIFICACIÓN DEL DIMENSIONAMIENTO DEL CONDUCTOR POR TEMPERATURA DE LOS TERMINALES DE CONEXIÓN

La temperatura nominal asociada a la capacidad de corriente de un conductor, se debe elegir y coordinar de modo que no supere la temperatura nominal mínima de cualquier terminación, conductor o dispositivo conectado, para este caso la temperatura de operación será a 75°C.

2.8. SELECCIÓN DE CABLES POR CAIDA DE TENSIÓN

2.9. LÍMITE DE CAIDA DE TENSIÓN

El calibre de los conductores es seleccionado de tal forma que la caída de tensión en los terminales del usuario no exceda los valores indicados en la

Tabla 6:

Tabla 6_ Límites de caída de tensión permitidos para diferentes servicios

Usuario	Criterio
Cargas varias	<ul style="list-style-type: none"> Corriente nominal. Caída de tensión (plena carga): 5% máx.

2.10. ECUACIONES PARA LA CAIDA DE TENSIÓN

Para evaluar la caída de tensión en estado estacionario, se emplean las siguientes ecuaciones:

- Para caídas de tensión en cargas bifásicas:

$$\Delta V_{2\phi} = 2 \times I_{nom} \times L \times (R \times FP + X \times \sin(\cos^{-1}(FP))) \quad \text{Ec. 1}$$

$$\Delta V_{2\phi} \% = \frac{\Delta V_{2\phi}}{V_{LLNOM}} \quad \text{Ec. 2}$$

Dónde:

$\Delta V_{2\phi}$	=	Caída de tensión bifásica.
$\Delta V_{2\phi} \%$	=	Porcentaje de caída de tensión bifásica
L	=	Longitud del cable en km
R	=	Resistencia del cable en Ω/km .
X	=	Reactancia del cable Ω/km .
I_{nom}	=	Corriente de la carga en amperios
V_{LLNOM}	=	Tensión línea-línea
FP	=	Factor de potencia

Se tomó como referencia para conductores de baja tensión la Tabla 9 del capítulo 9 de la NEC-2014 para asignar valores de resistencia y reactancia.

Cuando la temperatura de operación de los conductores difiera de 75°C se hace necesario realizar una corrección de la resistencia del conductor, la cual está dada por:

$$R_{T_2} = R_{T_1} \times \frac{(T_{ref} + T_2)}{(T_{ref} + T_1)} \quad \text{Ec. 3}$$

Dónde:

T_1 = Temperatura de Referencia (Según sea el Fabricante).

R_{T_1} = Resistencia del conductor a la temperatura T_1 .

T_2 = Temperatura de operación.

T_{ref} = Temperatura de referencia; 234.5 para cobre y 236.0 para aluminio

Calculamos la regulación para nuestro sistema de acuerdo al diagrama unifilar general (**ver figura 1.**):

CAIDA DE TENSIÓN EN CONDUCTORES															
No.	ACOMETIDA	LONGITUD (M)	CARGA KVA	CORRIENTE TOTAL (I)	CORRIENTE X FASE (I)	FP=Cos θ	Sen θ	Resistencia (R) ver tablas	Reactancia inductiva (XL) ver tablas	Impedancia eficaz (ohm/km)	Caída Tensión F-N (V)	Caída Tensión F-F (V)	Caída Tensión F-N (%)	Caída Tensión F-F (%)	OBSERVACIONES
1	2X(1/0)F+(1/0)N TRIPLEX AUTOSOPRTADO (RED SECUNDARIA)	80	15	63,00	63,00	0,9	0,44	0,65	0,095	0,6268	3,16	3,16	2,63%	2,63%	Comprende la Acometida PRINCIPAL DESDE BORNES SECUNDARIOS DEL TRANSFORMADOR (Se tomaron los datos de R y XL a 75°C).
2	1X8F+8N Cobre (RED BT MEDIDOR A TD-CASA)	13	2	17,00	17,00	0,9	0,44	2,56	0,171	2,37924	0,53	0,53	0,44%	0,44%	Comprende la Acometida monofásica en cobre desde LA RED SECUNDARIA HASTA EL TABLERO DE DISTRIBUCIÓN DE CADA UNIDAD TD-CASA (Se tomaron los datos de R y XL a 75°C).
4	1x12+12+12T cobre, Salida monofasica mas lejana en CASA	20	0,2	2,00	2,00	0,9	0,44	6,56	0,177	5,98188	0,24	0,24	0,20%	0,20%	Comprende la Acometida RAMAL en cobre desde el tablero de distribución general TD-1 hasta la salida ramal más lejana (Se tomaron los datos de R y XL a 75°C).
														3,27%	TOTAL REGULACIÓN ACUMULADA CUMPLE 5% de caída de tensión medida entre Fase y Neutro para sistema Monofásico desde punto de conexión a la salida más lejana

La caída de tensión está dentro del valor permitido por la norma el cual no puede exceder el 5% de caída de tensión medida entre Fase y Neutro para sistema Monofásico desde punto de conexión a la salida o carga del ramal más lejano.

2.11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

- Se selecciona el calibre de las acometidas principales y calibres de alimentadores de acuerdo a la caída de tensión permitida en la normatividad la cual no puede superar el 5% de caída de tensión medida entre Fase y Neutro para sistema Monofásico desde punto de conexión a la salida o carga del ramal más lejano.
- Las redes de tomacorrientes pueden ser instaladas en las losas y muros en tubería PVC de media Clase A.
- Las redes de iluminación deben ser instaladas en tubería PVC SCHEDULE 40 en caso que vayan ocultas en el cielo falso.
- El control de iluminación de los interruptores debe instalarse en tubería PVC de media Clase A la parte que baja embebida en los muros.
- Se debe hacer puesta tierra con electrodo cobre-cobre de 5/8" y 2,40 m de longitud con conector o soldadura exotérmica de acuerdo a indicación en planos.

3. CALCULO DE CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO

3.1. METODOLOGIA DE CÁLCULO

Los niveles de falla se determinaron a partir de la red modelada en MELSHORT2, software de licencia libre para el diseño y análisis de sistemas de potencia, a través del módulo de cortocircuito según norma ANSI C37.

Para el estudio se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

Se implementó una barra infinita o fuente como red equivalente 13,2 kV del operador de CHEC y se tiene una potencia del transformador de 15 kVA de acuerdo al análisis de carga y punto de conexión autorizado para las unidades de vivienda.

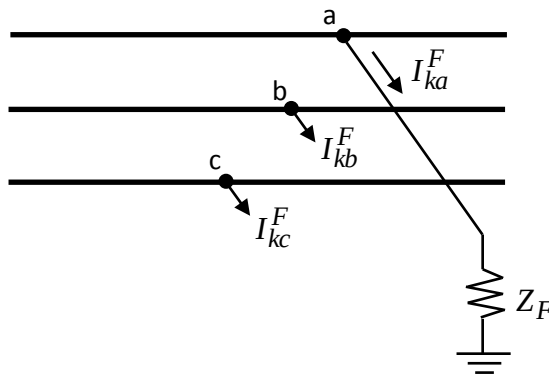
3.2. TEORÍA DEL CÁLCULO DEL CORTO CIRCUITO

El comportamiento de un sistema de potencia durante un cortocircuito, se puede representar por una red equivalente consistente de una fuente de tensión prefalla V_{k012}^{Pre} y la impedancia de la red $Z_{k012,k012}$ para las componentes simétricas de secuencia positiva, negativa y cero en el nodo bajo falla.

Los elementos que alimentan las fallas, tales como equivalentes de red, generadores y motores asíncronos se modelan por una impedancia Z_e y su fuente de tensión (f.e.m).

La interconexión de las componentes simétricas se definirá por las ecuaciones de falla, las cuales dependerán del tipo de falla:

- Cortocircuito Monofásico:



Z_F No es incluida en la matriz de impedancias. Las ecuaciones de secuencia 012 de la ecuación de Thevenin, asumiendo que las demás inyecciones de corriente no cambien, se tiene la siguiente expresión.

$$V_{k012}^F = V_{k012}^{Pre} - Z_{k012,k012} I_{k012}^F \quad (5)$$

Las ecuaciones relacionadas con el elemento fallado son las siguientes:

$$I_{ka}^F = \frac{V_{ka}^F}{Z_F}, \quad I_{kb}^F = 0, \quad I_{kc}^F = 0 \quad (6)$$

La relación entre las Corrientes de falla 0, 1,2 y a, b, c es la siguiente:

$$I_{k012}^F = \begin{bmatrix} I_{k0}^F \\ I_{k1}^F \\ I_{k2}^F \end{bmatrix} = T^{-1} I_{kabc}^F = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ka}^F \\ I_{kb}^F = 0 \\ I_{kc}^F = 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{ka}^F / 3 \\ I_{ka}^F / 3 \\ I_{ka}^F / 3 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Sustituyendo (7) en (5) se tiene la siguiente expresión:

$$\begin{bmatrix} V_{k0}^F \\ V_{k1}^F \\ V_{k2}^F \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{k0}^{Pre} = 0 \\ V_{k1}^{Pre} = V_{ka}^{Pre} \\ V_{k2}^{Pre} = 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} z_{k0,k0} & 0 & 0 \\ 0 & z_{k1,k1} & 0 \\ 0 & 0 & z_{k2,k2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ka}^F / 3 \\ I_{ka}^F / 3 \\ I_{ka}^F / 3 \end{bmatrix}.$$

Adicionando las tres filas:

$$V_{k0}^F + V_{k1}^F + V_{k2}^F = V_{ka}^F = V_{ka}^{Pre} - \frac{I_{ka}^F}{3} (z_{k0,k0} + z_{k1,k1} + z_{k2,k2}).$$

Sustituyendo $V_{ka}^F = I_{ka}^F Z_F$ en (6) se tienen las siguientes relaciones

$$I_{ka}^F Z_F = V_{ka}^{Pre} - \frac{I_{ka}^F}{3} (z_{k0,k0} + z_{k1,k1} + z_{k2,k2}).$$

Multiplicando ambos lados por 3 y resolviendo para I_{ka}^F resulta la ecuación para cálculo de las fallas monofásicas a tierra.

$$I_{ka}^F = \frac{3V_{ka}^{Pre}}{z_{k0,k0} + z_{k1,k1} + z_{k2,k2} + 3Z_F} \quad (8)$$

Teniendo la ecuación de falla clave, las tensiones resultantes de las barras y las corrientes de rama en toda la red durante la falla se puede determinar. De la relación en (7) los componentes de la corriente falla 0, 1,2 son

$$I_{k0}^F = I_{k1}^F = I_{k2}^F = \frac{I_{ka}^F}{3}$$

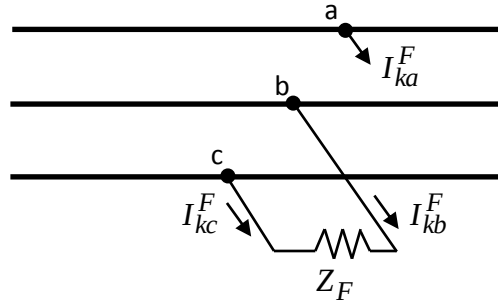
Todas las tensiones 012 se pueden calcular con la ecuación de Thevenin 012 de (5)

$$V_{j012}^F = V_{j012}^{Pre} - Z_{j012,k012} I_{k012}^F$$

Luego, las Corrientes de falla 012 pueden calcularse usando la ley de ohm correspondiente a la secuencia positiva, negativa y cero de las impedancias del sistema. Después las tensiones y Corrientes de secuencias se pueden convertir al sistema original abc.

Si $z_{k0,k0} < z_{k1,k2}$, un fallo monofásico tendrá un mayor valor que uno trifásico.

- **Cortocircuito entre dos fases:**



Z_F No es incluida en la matriz de impedancias. Las ecuaciones de secuencia 012 de la ecuación de Thevenin, asumiendo que las demás inyecciones de corriente no cambien, se tiene la siguiente expresión.

$$V_{k012}^F = V_{k012}^{Pre} - Z_{k012,k012} I_{k012}^F \quad (9)$$

Las ecuaciones relacionadas con el elemento fallado son las siguientes:

$$I_{ka}^F = 0, \quad (10)$$

$$I_{kb}^F = \frac{V_{kb}^F - V_{kc}^F}{Z_F}, \quad (11)$$

$$I_{kc}^F = -I_{kb}^F \quad (12)$$

La relación entre las Corrientes de falla 0, 1,2 y a, b, c es la siguiente:

$$I_{k012}^F = \begin{bmatrix} I_{k0}^F \\ I_{k1}^F \\ I_{k2}^F \end{bmatrix} = T^{-1} I_{kabc}^F = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ka}^F = 0 \\ I_{kb}^F \\ -I_{kb}^F \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} I_{kb}^F - I_{kb}^F = 0 \\ (a - a^2) I_{kb}^F \\ -(a - a^2) I_{kb}^F \end{bmatrix} \quad (13)$$

Donde $a = 1/\underline{120^\circ}$ y $a^2 = 1/\underline{120^\circ}$, entonces $(a - a^2) = j\sqrt{3}$. Por lo tanto, (13) se convierte en:

$$I_{k012}^F = \frac{j}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 0 \\ I_{kb}^F \\ -I_{kb}^F \end{bmatrix} \quad (14)$$

Sustituyendo (14) para 012 la ecuación de Thevenin en (9) se desarrolla en

$$\begin{bmatrix} V_{k0}^F \\ V_{k1}^F \\ V_{k2}^F \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{k0}^{Pre} = 0 \\ V_{k1}^{Pre} = V_{ka}^{Pre} \\ V_{k2}^{Pre} = 0 \end{bmatrix} - \frac{j}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} z_{k0,k0} & 0 & 0 \\ 0 & z_{k1,k1} & 0 \\ 0 & 0 & z_{k2,k2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ I_{kb}^F \\ -I_{kb}^F \end{bmatrix}$$

Simplificando se tiene

$$\begin{bmatrix} V_{k0}^F \\ V_{k1}^F \\ V_{k2}^F \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ V_{ka}^{Pre} - \frac{j}{\sqrt{3}} z_{k1,k1} I_{kb}^F \\ \frac{j}{\sqrt{3}} z_{k2,k2} I_{kb}^F \end{bmatrix} \quad (15)$$

De la fila superior está claro que no habrá voltajes de secuencia cero, y por lo tanto no hay corrientes de secuencia cero. Esto es físicamente cierto porque no hay corriente de tierra.

Volviendo a (11),

$$\begin{aligned} I_{kb}^F &= \frac{V_{kb}^F - V_{kc}^F}{Z_F} = \frac{(V_{k0}^F + a^2 V_{k1}^F + a V_{k2}^F) - (V_{k0}^F + a V_{k1}^F + a^2 V_{k2}^F)}{Z_F}, \\ &= \frac{V_{k1}^F (a^2 - a) + V_{k2}^F (a - a^2)}{Z_F} = \frac{-j\sqrt{3} V_{k1}^F + j\sqrt{3} V_{k2}^F}{Z_F} \quad (16) \end{aligned}$$

Sustituyendo los voltajes de (15) en (16) se tiene:

$$I_{kb}^F = \frac{-j\sqrt{3}\left(V_{ka}^{Pre} - \frac{j}{\sqrt{3}}z_{k1,k1}I_{kb}^F\right) + j\sqrt{3}\left(\frac{j}{\sqrt{3}}z_{k2,k2}I_{kb}^F\right)}{Z_F}$$

$$= \frac{-j\sqrt{3}V_{ka}^{Pre} - z_{k1,k1}I_{kb}^F - z_{k2,k2}I_{kb}^F}{Z_F},$$

Y después de combinar los términos, se tiene la ecuación para dos fases en falla en(17).

$$I_{kb}^F = \frac{-j\sqrt{3}V_{ka}^{Pre}}{z_{k1,k1} + z_{k2,k2} + Z_F} \quad (17)$$

Al Tener la ecuación de falla, entonces las tensiones resultantes de las barras y las corrientes de rama en toda la red durante la falla se puede determinar. A partir de la ecuación (14) no hay corriente de falla de secuencia cero. Por lo tanto, no hay tensiones de secuencia cero en la red. Mediante el uso de las corrientes de falla de secuencia (17) y (14), los componentes de secuencia positiva y negativa de todas las tensiones de red se pueden encontrar a partir de la ecuación 012 de Thevenin en (9).

A continuación, las corrientes de falla de secuencia positiva y negativa en las ramas se pueden encontrar utilizando la ley de Ohm y las correspondientes impedancias de secuencia positiva y negativa. Después, los voltajes y corrientes de secuencia positiva y negativa pueden ser convertidos a abc.

3.3. CORRIENTES ANSI/IEEE

De acuerdo a la norma ANSI/IEEE, se tienen tres tipos de corrientes:

Corriente simétrica de 0.5 ciclos I_k''

Corriente asimétrica de 0.5 ciclos I_{asil}

Corriente simétrica de interrupción de x ciclos I_b (x: entre 1.5 y 4)

Corriente de estado estacionario I_k (30 ciclos).

3.3.1. CORRIENTES ANSI/IEEE

La corriente simétrica de primer medio ciclo, se calcula como se indica a continuación:

$$I_{k1}'' = \frac{E_{oper}}{Zk_1} \quad (36)$$

3.3.1.1. CORRIENTES ANSI/IEEE

La corriente asimétrica de primer medio ciclo se calcula a partir de la corriente simétrica incluyendo el factor de asimetría dado por la relación X/R en el punto de falla:

$$I_{asil} = \frac{E_{oper}}{Zk_1} * \sqrt{(1 + 2e^{-4\pi R/X})} = I_{k1}'' * \sqrt{(1 + 2e^{-2\pi R/X})} \quad (37)$$

3.3.2. CORRIENTES ANSI/IEEE

La corriente de interrupción simétrica se calcula de forma similar a la corriente de primer medio ciclo, pero la matriz de impedancias se modifica teniendo en cuenta los aportes de motores síncronos, asíncronos y de generadores para el ciclo de interrupción.

$$I_b = \frac{E_{oper}}{Zk_i} \quad (38)$$

3.3.3. CORRIENTES ANSI/IEEE

De igual manera que para las corrientes anteriores, se construye una nueva matriz de impedancias y a partir de esta se determinan la corriente de falla en estado estacionario:

$$I_k = \frac{E_{oper}}{Zk_k} \quad (39)$$

3.4. DATOS DE ENTRADA AL MODELO

3.5. TRANSFORMADOR FINCA CARANDAY

En la tabla 5 se relacionan los parámetros modelado de los equipos de transformación.

Tabla 3. Datos de Transformadores.

Nombre	Grupo vector	Sr kVA	Vr1 kV	Vr2 kV	Zcc (0) %	R(0) %
TRA-01	N-A	15	13.2	0.240	5.75	2.522

Nota: El transformador está sólidamente puesto a tierra sin resistencia limitadora de corriente de cortocircuito.

3.6. CABLES

Para obtener las impedancias de los cables de baja tensión se emplearon los parámetros técnicos correspondientes entregados por software de simulación MELSHORT2.

Tabla 4. Datos de conductores.

Nombre	Descripción	Longitud [m]	Tensión de Operación [V]	R Ohm/km	X Ohm/km	In Máx. A
RED TRA-01-RED SECUNDARIA	2X1/0F+1/0N AWG	80	240	0,65	0,095	230
RED TD-1 CASA	1X8F+8N+8T AWG	13	120	2,56	0,171	50

3.7. EQUIVALENTE DEL SISTEMA

Para realizar este estudio se modeló la configuración de barra infinita.

Condición Niveles Máximos

One-Line Diagram - OLV1 (Short-Circuit Analysis)

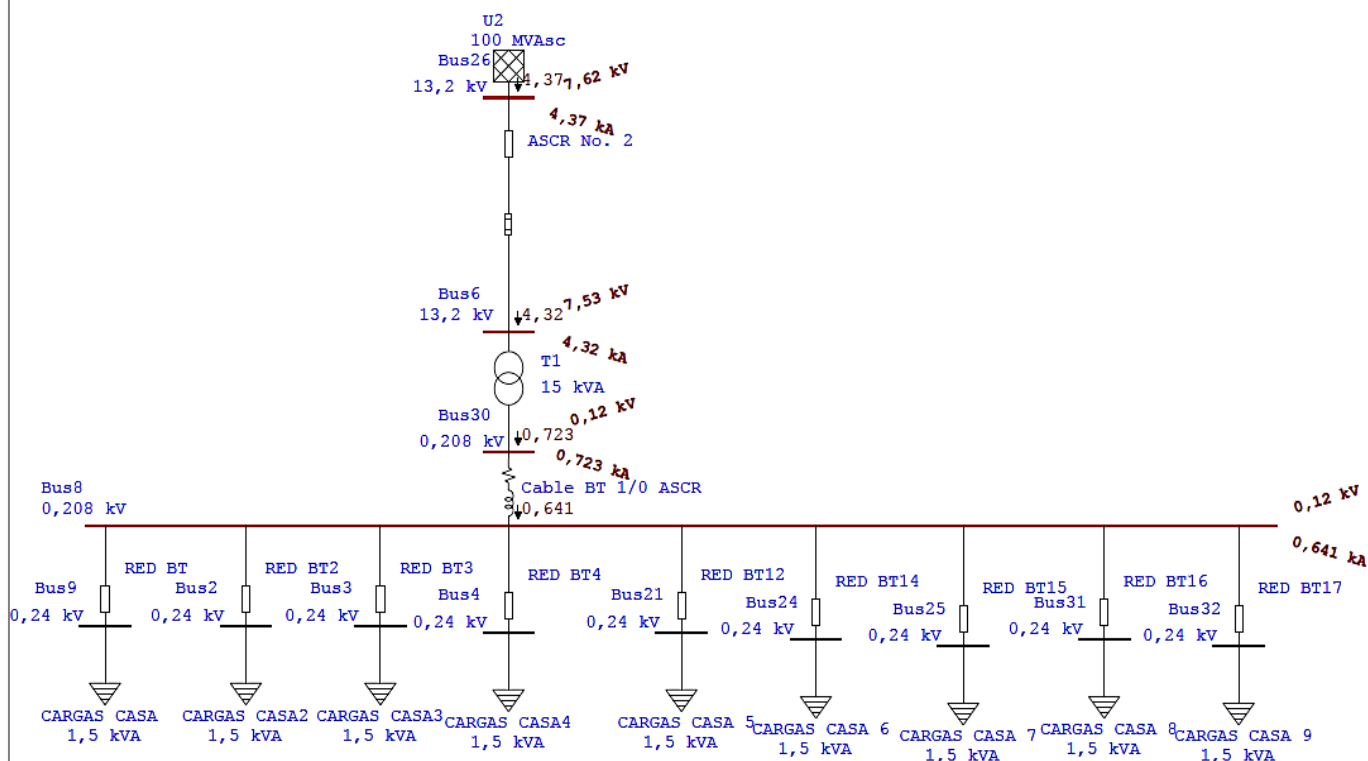


Figura 2. DIAGRAMA UNIFILAR MODELADO EN MELSHORT.

3.8. NIVELES MAXIMOS DE CORTOCIRCUITO OBTENIDOS

ID BARRA	TIPO	TENSIÓN	FASE	RANGO	Resistencia R	Reactancia X	Impedancia Z	Corrientes corto circuito I" k3 TOTAL
RED TRA-01- RED SECUNDARIA	BARRAJE BT- SECUNDARIO TRAFO, Impedancia total	240V	2 fases	15KVA 2.522% 1.131737	111.5%r 48.26 ohms	126.6%r 57.79 ohms	168.8%r 73.01 ohms	7.53 kApeak 4.32 kApeak

Tabla.5 resultados análisis de corto circuito

3.9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Con base a los resultados del presente estudio los valores de capacidad mínima de protección para las corrientes de corto circuito para los equipos en baja tensión 208 V deberán ser: 10 KA.
2. El medidor de la cuenta residencial será mínimo de 10 kA de corriente de corto.
3. De acuerdo a los resultados obtenidos como una buena aproximación de ingeniería, tenemos que las protecciones seleccionadas de acuerdo a su carga y corriente, para los tableros secundarios monofásicos de 10 kA.
4. No es necesario el uso de resistencia de puesta a tierra en el neutro del transformador de potencia en lado de 208V, a fin de limitar la magnitud de las corrientes de falla monofásicas, esta es de valor tolerable.
5. Los conductores eléctricos operan a una temperatura de 75°C en consistencia con la temperatura de operación en bornes de las protecciones contra sobre corrientes implementadas.

Los resultados del presente estudio deberán ser tenidos en cuenta para los siguientes documentos: cálculo del sistema de puesta tierra, cálculo de cables.

4. CALCULO DEL ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA RED BAJA TENSIÓN FINCA CARANDAY:

4.1. DIMENSIONAMIENTO DEL CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA:

Para calcular el calibre del conductor de la puesta a tierra se emplea la siguiente ecuación:

$$A_c = I * K_f * \sqrt{t_c}$$

Donde,

Ac	Área mínima del conductor [kcmil]
I	Corriente rms máxima de falla a tierra [kA]
K _f	Es la constante del material de acuerdo a las diferentes temperaturas de fusión T _m y usando una temperatura ambiente T _a de 40°C.1
t _c	Duración de la falla [s]

La acometida principal de distribución en baja tensión TRAFO-01-BT con barrajes de 75-100 Amp, es MONOFÁSICA TRIFILAR en Calibre 6 AWG CONCENTRICO ANTIFRAUDE 2X6F+6N, para lo cual seleccionamos el conductor de la malla de puesta a tierra:

Datos de entrada			
Descripción	Parámetro	Valor	Unidades
Temperatura máxima permitida	Tm	90	°C
Temperatura ambiente	Ta	18	°C
Temperatura de referencia	Tr	20	°C
Coeficiente térmico de la resistividad a Tr °C	alfa r	0,00393	
Resistividad del conductor a Tr °C	ro r	1,7241	micro ohm/cm
1/ao ó 1/(1-ar)-Tr	Ko	234	
Tiempo de despeje de la falla	tc	0,5	s
Factor de capacidad térmica	TCAP	3,422	J/cm³/°C
Máxima corriente de falla monofásica	Icc	2,14	kA
Sección mínima del cable a utilizar	Amin	8,36	mm²
Sección del conductor elegido	A	8,36	mm²

Figura 5. Cálculo capacidad de cable puesta a tierra

El área mínima del conductor seleccionado para conexión del electrodo con el barraje principal de puesta a tierra será de 8,36 mm², Calibre 8 AWG (según la tabla de 250-94 del NTC 2050).

Tabla 250-94. Conductor del electrodo de puesta a tierra para sistemas de c.a.

Sección Transversal del mayor conductor de acometida o su equivalente para conductores en paralelo				Sección transversal (calibre) del conductor al electrodo de puesta a tierra			
Cobre		Aluminio o aluminio recubierto de cobre		Cobre		Aluminio o aluminio revestido de cobre *	
mm ²	AWG o kcmil	mm ²	AWG o Kcmils	mm ²	AWG o Kcmils	mm ²	AWG o Kcmils
33,62 o menor	2 o menor	53,5 o menor	1/0 o menor	8,36	8	13,29	6
42,2 o 53,5	1 o 1/0	67,44 o 85,02	2/0 o 3/0	13,29	6	21,14	4
67,44 o 85,02	2/0 o 3/0	107,21 o 126,67	4/0 o 250 kcmil	21,14	4	33,62	2
107,21 hasta 177,34	4/0 hasta 350 kcmil	152,01 a 253,35	300 a 500 kcmil	33,62	2	53,50	1/0

Para selección de los electrodos de puesta a tierra de la malla de acuerdo con las exigencias del RETIE, en caso de contemplar cobre o acero, debe tener como mínimo un área transversal de 50 mm². Por lo tanto se selecciona una varilla de cobre-cobre de calibre 5/8" de sección 16 mm y 2.4 m de longitud.

PROPIEDADES DE LA VARILLA DE PUESTA A TIERRA COPPER GROUND

ESPECIFICACIONES DIMENSIONES

DIAMETRO (mm)	LONGITUD (m)	TOLERANCIA Diametro (mm)	PESO (und) Kg	TOLERANCIA Long. (mm)
12,7	2,40	+/-10	2.70	+/-5.0
12,7	3,00	+/-10	3.38	+/-5.0
14,28	2,40	+/-0.05	3.42	+/-5.0
14,28	3,00	+/-0.05	4.28	+/-5.0
17,3	2,40	+/-0.05	5.02	+/-5.0
17,3	3,00	+/-0.05	6.27	+/-5.0
23	2,40	+/-0.05	8.87	+/-5.0
23	3,00	+/-0.05	11.09	+/-5.0

En la tabla 3 se indica la máxima corriente de cortocircuito que pueden soportar los cables, las soldaduras y los conectores para las conexiones, para un tiempo de despeje de la falla de 200 ms.

Tabla 3. Capacidad de corriente ante cortocircuitos para cables y conexiones

Elemento	Temperatura máxima [°C]	Icc máxima [kA]
Varilla Cooper	108.4	17
Soldadura exotérmica (115 gr)	400	54
Conectores de cobre varilla cable	250	18

4.2. CALCULO DE LAS CORRIENTES MAXIMAS ADMISIBLES DE PASO Y DE TOQUE – PASO 3.

En la realización del cálculo de las tensiones máximas admisibles de paso (E_s) y toque (E_t) se puede incluir la consideración de una capa de material aislante en la superficie del terreno como el asfalto o el pavimento, la cual provee una protección adicional a las personas que se encuentran en próximos al tablero de distribución eléctrico.

Para ello las ecuaciones para el cálculo de las tensiones de paso y contacto tienen en cuenta el factor C_s el cual considera el efecto de incluir una capa delgada de material superficial como se indica en las siguientes ecuaciones. Adicionalmente, se asume que las tensiones de paso y contacto dependen del peso corporal de la persona en cuestión, por lo que se empleará la ecuación para un peso corporal promedio de 50kg.

Para personas con masa promedio de 50kg:

$$E_s = (1000 + 6 \cdot C_s \cdot \rho_s) \left(\frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \right)$$

$$E_t = (1000 + 1.5 \cdot C_s \cdot \rho_s) \left(\frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \right)$$

Donde,

E_s	Tensión de paso en V
E_t	Tensión de contacto en V
C_s	Factor de derrateo de la capa superficial.
ρ_s	Resistividad eléctrica del material superficial. Se selecciona el material concreto seco como material superficial considerando un valor conservativo de 2500 $\Omega \cdot m$.
t_s	Duración de la circulación de la corriente [s]. Se asume un valor conservativo de 200ms.

El factor de derrateo por el material superficial se puede calcular mediante la ecuación.

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \left(\frac{\rho}{\rho_s} \right)}{2h_s + 0.09}$$

Donde,

ρ	Resistividad eléctrica del terreno [Ωm].
h_s	Espesor de la capa superficial en m. Se asume para este espesor un valor de 0.20m.

Variable	Un	Valor
Resistividad del terreno: ρ	$\Omega \cdot m$	133,48
Resistividad del material de la superficie (cascajo): ρ_s	$\Omega \cdot m$	5.000,00
Espesor de la capa de cascajo: h_s	m	0,2
Tiempo de despeje de la falla: t_s	s	0,5
Cálculos intermedios		
Factor C_s		0,821

Tensión de contacto tolerable: E_m	Persona de 50 Kg	V	1.174,18
	Persona de 70 Kg		1.589,19

Tensión de paso tolerable: E_s	Persona de 50 Kg	V	4.204,57
	Persona de 70 Kg		5.690,67

TENSIÓN DE CONTACTO

$$E_{touch} = (R_B + 1.5C_s \cdot \rho_s) \cdot I_B$$

Para personas de 50 Kg.

$$E_{touch\ 50} = (1000 + 1.5C_s \cdot \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

Para personas de 70 Kg.

$$E_{touch\ 70} = (1000 + 1.5C_s \cdot \rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}}$$

TENSIÓN DE PASO

$$E_{step} = (R_B + 6C_s \cdot \rho_s) \cdot I_B$$

Para una persona de 50 Kg.

$$E_{step50} = (1000 + 6C_s \cdot \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

Para una persona de 70 Kg.

$$E_{step70} = (1000 + 6C_s \cdot \rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}}$$

FACTOR DE REDUCCIÓN

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s} \right)}{2h_s + 0.09}$$

Figura 3. Cálculo tensiones paso y contacto tolerable.

De acuerdo a la metodología descrita basado en el estándar IEEE Std 80-2000 – IEEE Guide For Safety In AC Substation Grounding Finalmente se obtienen las tensiones de paso y de contacto tolerables a una persona de 50 KG de peso dependiendo de los parámetros que intervienen como la geometría de la malla, la resistividad del terreno, el tiempo de despeje de la falla (500 ms), la resistividad de la capa superficial que es concreto entre otras:

$$E_m = 1174 \text{ V}$$

$$E_s = 4204 \text{ V}$$

4.3. RESISTENCIA DEL ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA DE LA MALLA – PASO 5

De acuerdo con el diseño preliminar la resistencia de puesta a tierra de las mallas de distribución se calcula empleando la ecuación 52 de la referencia **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** indicada a continuación en la ecuación:

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right]$$

Donde,

ρ	Resistividad eléctrica del terreno [Ωm].
L_r	Longitud total del conductor de puesta a tierra [m].
h	profundidad a la cual se encuentra enterrada la malla de puesta a tierra [m].
A	Área de la malla [m^2].

Los valores de resistencia de puesta a tierra obtenidos para la configuración propuesta de acuerdo con el valor de resistividad se muestran en la Figura 7.

Fórmula básica para profundidades $0,25 \text{ m} < h < 2,5 \text{ m}$

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{20/A}} \right) \right]$$

ρ : Resistividad del terreno [$\Omega\cdot\text{m}$]

A : Área de la malla [m^2]

L : Longitud del cable y varillas enterradas [m]

h : Profundidad de enterramiento de la malla [m]

$$R_{rod} = \frac{\rho}{2\pi L_r} [\ln(8L_r/d) - 1]$$

$$R_{CE-rod} = \frac{1}{2\pi L_r} \{ \rho [\ln(8L_r/D_C) - 1] + \rho_c [\ln(8L_r/d) - 1] - \rho_c [\ln(8L_r/D_C) - 1] \}$$

Variable	Un	Valor
Resistividad del terreno: ρ	$\Omega\cdot\text{m}$	133
Resistividad Superficial: ρ_c	$\Omega\cdot\text{m}$	5000
Longitud del electrodo: L_r	m	2,4
Diámetro del electrodo: d	m	0,016
Radio del Espesor de la capa de concreto: DC	m	0,2
Resistencia de puesta a tierra del electrodo en solo terreno: R_{rod}	Ω	23,71
Resistencia de puesta a tierra del electrodo recubierto en concreto: R_{CE-rod}	Ω	868,90

Figura 4. Cálculo resistencia de puesta a tierra (Aprox).

Finalmente se ajustan los valores modificables, con datos aproximados de la instalación eléctrica donde se implementara el sistema de puesta a tierra y se obtiene resultados aproximados como se muestra en la siguiente rutina:

Variable	Un	Valor
Lado de la retícula o espaciamiento de los conductores: D	m	2,0
Longitud total del cable enterrado:	L_c m	20,0
Longitud del perímetro:	L_p m	20,0
Longitud de los electrodos:	L_r m	2,4
Longitud total de los electrodos:	L_R m	2,4
Area de la malla:	A m^2	2,0
Máxima longitud de conductores en dirección X:	L_x m	2,0
Máxima longitud de conductores en dirección Y:	L_y m	2,0
Profundidad de enterramiento de la malla:	h m	0,50
Diámetro del conductor:	d m	0,084
Resistividad del terreno:	ρ $\Omega \cdot m$	133,00
Corriente de falla por la malla de tierra (**):	I_g A	1.164,00
Cálculos intermedios para hallar la tensión de retícula		
Factor Kii *		1
Factor Kh		1,225
Factor Ki		1,201
Factor n		3,76060309
Factor Km		0,262
Cálculos intermedios para hallar la tensión de paso		
Factor Ks		0,558
Resistencia de puesta a tierra de la malla	R_g Ω	23,71
Valor calculado de la tensión de retícula:	E_m V	18,58
Valor calculado de la tensión de paso:	E_s V	60,88

	DATOS DE ENTRADA
	CÁLCULOS INTERMEDIOS
	RESULTADOS

$$E_m = \frac{\rho \cdot I_G \cdot K_m \cdot K_i}{L_c + \left[1,55 + 1,22 \cdot \left(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] \cdot L_R}$$

$$E_s = \frac{\rho \cdot I_G \cdot K_s \cdot K_i}{0,75 \cdot L_c + 0,85 \cdot L_R}$$

$$K_m = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\ln \left[\frac{D^2}{16 \cdot h \cdot d} + \frac{(D + 2 \cdot h)^2}{8 \cdot D \cdot d} - \frac{h}{4 \cdot d} \right] + \frac{K_{ii}}{K_h} \cdot \ln \left[\frac{8}{\pi(2 \cdot n - 1)} \right] \right]$$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} \quad h_0 = 1m \text{ (Profundidad de referencia de la retícula)}$$

$$n = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d$$

$$n_a = \frac{2 \cdot L_c}{L_p}$$

$$n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4 \cdot \sqrt{A}}}$$

$$n_c = 1 \text{ Para mallas enterradas}$$

$$n_d = 1$$

$$K_i = 0,644 + 0,148 \cdot n$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 \cdot h} + \frac{1}{D + h} + \frac{1}{D} (1 - 0,5^{n-2}) \right]$$

* Considerando la malla con electrodos en las esquinas

** Debe recalcularse cada vez que se modifique la malla de puesta a tierra

Figura 5. Cálculo parámetros sistema puesta a tierra.

De acuerdo a los resultados obtenidos se garantiza que las tensiones de paso y de contacto en la retícula de la malla de puesta a tierra son menores a las tolerables obtenidas para una persona de 50 KG de peso, cumpliendo con la metodología descrita y garantizando la seguridad de las personas.

$$E_m(\text{malla}) 18,58 < 1174 E_m(\text{tolerable persona 50kg})$$

$$E_s(\text{malla}) 60,88 < 4204 E_m(\text{tolerable persona 50kg})$$

Tabla 15.1. Máxima tensión de contacto admisible para un ser humano		
Tiempo de despeje de la falla	Máxima tensión de contacto admisible (rms c.a.) según IEC para 95% de la población. (Público en general)	Máxima tensión de contacto admisible (rms c.a.) según IEEE para personas de 50 kg (Ocupacional)
Mayor a dos segundos	50 voltios	82 voltios
Un segundo	55 voltios	116 voltios
700 milisegundos	70 voltios	138 voltios
500 milisegundos	80 voltios	164 voltios
400 milisegundos	130 voltios	183 voltios
300 milisegundos	200 voltios	211 voltios
200 milisegundos	270 voltios	259 voltios
150 milisegundos	300 voltios	299 voltios
100 milisegundos	320 voltios	366 voltios
50 milisegundos	345 voltios	518 voltios

4.5. CONCLUSIONES PUESTA A TIERRA

- a) El sistema de puesta a tierra en la estructura de la subestación tipo poste de 15 kVA, 13.2/0.208kV, es existente y da cumplimiento a los parámetros de valores de sistema de puesta a tierra tolerables.
- b) Se elabora el dimensionamiento del conductor de la malla de puesta a tierra según los lineamientos definidos por Retie y la normatividad IEEE 80 std.
- c) Se obtiene un valor aproximado de resistividad del electrodo de puesta a tierra R_g de **23,71 Ω Ohmios**, dando cumplimiento al valor exigido en la norma RETIE de menor o igual a 25 Ω para punto neutro de acometida en BT.
- d) Se obtiene un valor aproximado de las tensiones de paso y de contacto menores al valor exigido en la norma RETIE tabla 15.1. para una persona de 50 kg, y tiempo de despeje de falla de 500 ms, adicionalmente en la etapa de construcción se debe adecuar el terreno con un aditivo como favigel o similar para mejorar la resistividad del terreno y las tensiones de contacto y la resistencia de la puesta a tierra garantice optimizar estos valores y la seguridad de las personas.

Tabla 15.4. Valores de referencia para resistencia de puesta a tierra	
APLICACIÓN	VALORES MÁXIMOS DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA
Estructuras y torrecillas metálicas de líneas o redes con cable de guarda	20 Ω
Subestaciones de alta y extra alta tensión.	1 Ω
Subestaciones de media tensión.	10 Ω
Protección contra rayos.	10 Ω
Punto neutro de acometida en baja tensión.	25 Ω
Redes para equipos electrónicos o sensibles	10 Ω

5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Conectado al tablero de distribución TG-BT se debe instalar un sistema de puesta a tierra configuración en malla cuadrada conformado por cuatro (4) electrodos de puesta a tierra tipo varilla o similar, de 2.4 m de longitud y 5/8" de diámetro de cobre, conectados mediante conductor desnudo 2/0 AWG de 6 metros cada lado, enterrados a una profundidad de 0.5 m. La unión entre ambos elementos será realizara con soldadura exotérmica o conector certificado para utilizar bajo tierra.

Tabla 9. Carga fundente para uniones con soldadura exotérmica

Elementos a unir	Tipo de unión	Carga fundente [g]
Cable copperclad 2/0 AWG– Varilla de 5/8"	Cable pasante a varilla	115

Efectuar una medida de la resistencia de puesta a tierra de las estructuras para verificar los valores esperados, como lo exige el RETIE.

Todos los materiales, equipos, herramientas, procedimientos y demás aspectos asociados con el suministro e instalación de las mallas de puesta a tierra deberán cumplir los requisitos y requerimientos establecidos en los siguientes reglamentos y normas:

- Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE.
- Norma IEEE Guide for Safety in A.C. Substation Grounding. ANSI/IEEE Std. 80-2000.
- Norma IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System. ANSI/IEEE Std 81-1983.
- Código Eléctrico Colombiano. Norma Técnica Colombiana. Icontec 2050-1998