

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**MODERNIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA TOPOLÓGICA DE LA
RED DE MEDIA TENSION 22.9 kV AÉREA Y SUBTERRÁNEA –
SECTOR TÍPICO 1**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR:

JORGE HERMÓGENES ROSALES CARBAJAL

**PROMOCIÓN
1996 - II**

**LIMA – PERÚ
2006**

**MODERNIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA TOPOLÓGICA DE LA
RED DE MEDIA TENSION 22.9 kV AÉREA Y SUBTERRÁNEA –
SECTOR TIPICO 1**

*Dedicación y agradecimiento muy especial:
A mi mamá Leonor, por su permanente apoyo.
A mi papá Hermógenes, quien en vida hubiera
estado orgulloso de este logro.*

SUMARIO

El presente trabajo tiene por objetivo determinar las mejores alternativas técnicas y económicas de estructuras topológicas de alimentadores en media tensión, incluyendo la red aérea, red subterránea y el sistema de protección y maniobra; estableciendo calibres óptimos de conductores y cables subterráneos y optimizando el tipo, cantidad y ubicación de los equipos de protección y maniobra.

Los resultados del informe están limitados a los alimentadores en media tensión 22.9 kV de las empresas de distribución eléctrica pertenecientes al sector típico 1.

En el capítulo I se presentan los criterios y consideraciones iniciales que se tienen en cuenta para el desarrollo del trabajo.

El capítulo II se refiere al desarrollo de alternativas topológicas determinando las mejores alternativas técnicas del sistema de protección y maniobra, así como las alternativas de red y las capacidades y alcances máximos de los alimentadores aéreos y subterráneos.

El capítulo III desarrolla la evaluación económica de las alternativas topológicas. Para cada tipo de red, las mejores alternativas serán aquellas de menor costo total en red y equipos de protección y maniobra, considerando inversión inicial, costos de mantenimiento, costos asociados a pérdidas de potencia y energía y costos asociados a la calidad del servicio, como resultado de análisis de confiabilidad sobre los alimentadores y considerando criterios y procedimientos establecidos en la Norma Técnica de Calidad del Servicio Eléctrico.

INDICE

PRÓLOGO	1
CAPITULO I	4
CRITERIOS Y CONSIDERACIONES DE DISEÑO DE ALIMENTADORES AEREOS Y SUBTERRANEOS	4
1.1. Zonificación del mercado y tipo de red	4
1.2. Alternativas de equipos de protección y maniobra	5
1.2.1. Equipos de protección y maniobra para alimentadores subterráneos.....	5
1.2.2. Equipos de protección y maniobra para alimentadores aéreos	7
1.3. Capacidad de cables subterráneos y conductores aéreos de media tensión	9
1.3.1. Capacidad de cables subterráneos	9
1.3.2. Capacidad de conductores aéreos	13
1.4. Alternativas de cables subterráneos y conductores aéreos.....	14
1.4.1. Consideraciones de diseño de los cables y/o conductores.....	14
1.4.2. Alimentadores Tipo AL 1	22
1.4.3. Alimentadores Tipo AL 2	29
CAPITULO II	36
ALTERNATIVAS TOPOLOGICAS DE ALIMENTADORES AEREOS Y SUBTERRANEOS DEL SECTOR TIPICO 1	36
2.1. Descripción de alternativas de topología radial en alimentadores primarios.....	36
2.2. Alimentadores Tipo AL 1	38
2.2.1. Alternativas topológicas para red subterránea.....	38
2.2.2. Alternativas topológicas para red aérea	39
2.2.3. Red aérea con subestaciones convencionales.....	40
2.3. Alimentadores Tipo AL 2.....	41
2.3.1. Alternativas topológicas para red subterránea.....	41
2.3.2. Alternativas topológicas para red aérea	42
2.3.3. Red aérea con subestaciones convencionales.....	43
CAPITULO III	44
EVALUACION ECONOMICA DE ALTERNATIVAS TOPOLOGICAS	44
3.1. Introducción	44

3.2.	Enfoque y metodología de trabajo.....	45
3.3.	Parámetros de evaluación.....	47
3.3.1.	Parámetros topológicos.....	47
3.3.2.	Parámetros del sistema.....	48
3.3.3.	Parámetros relacionados a la carga	48
3.3.4.	Parámetros relacionados a la calidad del servicio	49
3.3.5.	Parámetros económicos.....	49
3.4.	Diseño de modelos topológicos.....	51
3.5.	Procedimiento de evaluación del sistema de protección y maniobra.....	52
3.6.	Ecuaciones aplicables.....	53
3.6.1.	Caída de tensión	53
3.6.2.	Pérdidas de potencia.....	54
3.6.3.	Pérdidas de energía	55
3.6.4.	Costo por pérdidas técnicas de potencia y energía – CPTP&E	56
3.7.	Evaluación de las alternativas de red	57
3.7.1.	Evaluación de alimentadores del tipo AL 1	63
3.7.2.	Evaluación de alimentadores del tipo AL 2.....	76
3.8.	Determinación de alternativas optimas de red.....	90
3.8.1.	Resumen de resultados alternativas de red	92
3.9.	Determinación de las alternativas de equipos de protección y maniobra.....	93
3.9.1.	Descripción del sistema de distribución de media tensión 22.9kV	94
3.9.2.	Consideraciones de evaluación.....	94
3.9.3.	Modelos de sistemas de protección y maniobra en red aérea	97
3.9.4.	Modelos de sistemas de protección y maniobra en red subterránea	100
3.9.5.	Evaluación de equipos de protección y maniobra red aérea 22,9 kV.....	103
3.9.6.	Evaluación de equipos de protección y maniobra red subterránea 22,9 kV....	110
3.9.7.	Análisis de los resultados de los modelos de protección y maniobra.....	115
3.9.8.	Resumen: Alternativas de protección y maniobra.....	118
	CONCLUSIONES.....	122
	ANEXOS	127
	BIBLIOGRAFIA.....	180

PRÓLOGO

Como parte de la estrategia de optimización de sus inversiones eléctricas y del mejoramiento de la calidad del servicio eléctrico, las empresas concesionarias de distribución eléctrica necesitan revisar constantemente la filosofía de su sistema de protección y maniobra, la capacidad de transmisión de potencia de conductores desnudos y cables subterráneos y actualizar las estructuras topológicas de su red eléctrica.

Normalmente, los nuevos proyectos en redes de media tensión por ampliación del servicio o por reemplazo de antiguas instalaciones, se realiza considerando conductores y cables subterráneos cuyos calibres y características técnicas han sido estandarizados en sus especificaciones técnicas y normas de uso interno.

Sin embargo, en lo que respecta a los calibres óptimos que se debería utilizar para las troncales y laterales, no ha existido un consenso ni tampoco justificaciones técnicas detalladas que permitan establecer claramente cuales son los calibres y capacidades que se deberían de considerar en los nuevos proyectos.

Asimismo, después de la publicación de la Norma Técnica de Calidad del Servicio Eléctrico - NTCSE, en Octubre de 1997, las empresas concesionarias elaboraron sus planes de inversiones a efectos de determinar las magnitudes reales de sus parámetros de calidad, la manera de reducirlos y el estado de su sistema de protección y maniobra. Como resultado de dichos planes, se realizaron grandes inversiones en el reforzamiento de sus redes, protección de subestaciones y en equipos de protección y maniobra.

Sin embargo, sobre la problemática de sus sistemas de protección y maniobra, se ensayaron múltiples soluciones tal que en la actualidad las empresas cuentan con una diversidad de equipos de distintos fabricantes y distintas tecnologías. Por tal motivo, se hace necesario establecer los criterios mínimos que se deben considerar en la selección y ubicación del equipo de protección y maniobra.

El análisis de la estructura topológica, cubre ambos aspectos del sistema en media tensión, la red y el sistema de protección y maniobra, contribuyendo al mejoramiento de

la calidad del servicio hacia los clientes finales, mejorando su calidad de vida y optimizando las inversiones de las empresas concesionarias.

El informe tiene por objetivo determinar las mejores alternativas técnicas y económicas de estructuras topológicas de alimentadores en media tensión, incluyendo la red aérea, red subterránea y el sistema de protección y maniobra; estableciendo calibres óptimos de conductores y cables subterráneos y optimizando el tipo, cantidad y ubicación de los equipos de protección y maniobra.

El análisis y los resultados del estudio están limitados a los alimentadores en media tensión de las empresas de distribución eléctrica pertenecientes al sector típico 1. Sin embargo, los criterios y procedimientos seguidos pueden aplicarse a la red de media tensión de otras empresas concesionarias, de diferente sector típico.

El informe cubre los siguientes aspectos:

- **Desarrollo de alternativas topológicas.** Se determinan las mejores alternativas técnicas del sistema de protección y maniobra, así como las alternativas de red y las capacidades y alcances máximos de los alimentadores aéreos y subterráneos.
- **Evaluación económica de las alternativas topológicas.** Para cada tipo de red, las mejores alternativas serán aquellas de menor costo total en red y equipos de protección y maniobra, considerando inversión inicial, costos de mantenimiento, costos asociados a pérdidas de potencia y energía y costos asociados a la calidad del servicio, como resultado de análisis de confiabilidad sobre los alimentadores y considerando criterios y procedimientos establecidos en la NTCSE.

Para el desarrollo de las alternativas topológicas el informe cubre los siguientes aspectos en forma consecutiva:

- Zonificación del mercado de acuerdo a densidades de carga, urbana, urbana rural y su aplicación en la selección del tipo de red aérea, subterránea y mixta.
- Alternativas de protección y maniobra en alimentadores aéreos y subterráneos. Se establecerán teniendo en cuenta la operatividad y la continuidad del suministro (frecuencia y duración de las interrupciones).
- Capacidad de cables subterráneos y conductores aéreos. Determinada por la capacidad admisible de los conductores aéreos y cables subterráneos de la troncal. A su vez, la capacidad admisible depende de condiciones ambientales, tipo de carga, número de sistemas de cables unipolares a la salida de la SET y de la reserva necesaria cuando el alimentador, bajo condiciones de emergencia, asuma parte de la carga de un alimentador adyacente con servicio interrumpido.
- Alternativas topológicas. Se realiza el diseño del alimentador troncal, laterales, enlaces y alcances máximos, realizando:

- Diseño de la capacidad del alimentador troncal.
- Diseño de la capacidad de los laterales.
- Diseño de la capacidad de los enlaces.
- Diseño del alcance máximo del alimentador troncal y de los laterales.

Para la evaluación económica de las alternativas topológicas se desarrolla lo siguiente:

- Diseño de modelos topológicos. Considerando que toda evaluación de alternativas debe realizarse bajo las mismas condiciones, en el informe se diseñan modelos de red en media tensión aérea y subterránea, considerando las características propias de las concesionarias del sector típico 1. Asimismo, en función de las alternativas, se elaboran los modelos del sistema de protección y maniobra aplicados a los modelos de red permitiendo determinar el modelo óptimo de alimentador.

- Evaluación de la red MT. Optimizando el costo total asociado a la red, que involucra costo de inversión, mantenimiento y pérdidas técnicas de potencia y energía.

- La inversión inicial de cada alternativa se determina en función de las longitudes de red y cantidades de equipos de protección y maniobra del alimentador modelo. Los costos unitarios directos de red aérea, subterránea y equipos de protección y maniobra se calculan utilizando cantidades y costos Osinerg.

El costo de mantenimiento de red de cada alternativa se considera como un porcentaje de la inversión inicial.

Además, el costo por pérdidas de potencia y energía se calcula para cada año de evaluación y depende de la potencia de envío del alimentador, de las longitudes de la red, la sección del conductor o cable de troncales y laterales y del modelo de distribución de carga. Para estos efectos se consideran los costos de potencia y energía en barra emitidos por el ente regulador.

- Evaluación del sistema de protección y maniobra. Considerando inversión en los equipos de protección y maniobra, compensaciones por interrupciones del servicio y parámetros de confiabilidad SAIFI y SAIDI (Número de interrupciones anuales por cliente y Tiempo total sin servicio al año por cliente).

Los costos asociados a compensaciones se calculan según las consideraciones, parámetros y formulas establecidas en el numeral 6.1 de la NTCSE.

Para estos efectos, el procedimiento requiere como dato dos indicadores de calidad: Número de interrupciones por cliente y duración total de las interrupciones. Estos parámetros son determinados a través de cálculos de confiabilidad efectuados sobre los modelos completos de alimentadores, incluyendo red y sistema de protección y maniobra.

CAPITULO I
CRITERIOS Y CONSIDERACIONES DE DISEÑO DE ALIMENTADORES AEREOS Y
SUBTERRANEOS

1.1. Zonificación del mercado y tipo de red

El ente regulador Osinerg-Gart establece en su informe GDE-2001-045 "Proceso de cálculo de las tarifas de distribución eléctrica" de diciembre del 2001, la zonificación del mercado eléctrico del sector típico 1, ver Tabla 1.1. Asimismo, de acuerdo a la zonificación del mercado, en el mismo documento se señalan las instalaciones de media tensión adaptadas para cada zona mencionada, ver Tabla 1.2.

Tabla 1.1 Zonificación del mercado

Zona	Rango de Densidad de Carga MW/km ²
Urbano-Muy alta densidad	$\delta > 4.00$
Urbano-Alta densidad 1	$4.00 \geq \delta > 2.50$
Urbano-Alta densidad 2	$2.50 \geq \delta > 1.50$
Urbano-Media densidad	$1.50 > \delta \geq 0.25$
Urbano rural-Baja densidad	$\delta < 0.25$

Tabla 1.2 Tipo de instalación por zonificación

Zona	Tipo de Red de Media Tensión	Tipo Subestación		
		Convencional	Compacta	Aérea
Urbano-Muy alta densidad	Subterránea	A nivel y subterránea	Pedestal y bóveda	-
Urbano-Alta densidad 1	Subterránea	A nivel y subterránea	Pedestal y bóveda	-
Urbano-Alta densidad 2	Aérea	-	-	Monoposte y Biposte
Urbano-Media densidad	Aérea	-	-	Monoposte y Biposte
Urbano rural-Baja densidad	Aérea	-	-	Monoposte y Biposte

El tipo de instalación por zonificación permite concluir los siguientes tipos de red:

- Red de media tensión subterránea: Topología para densidades de carga mayores a 2.5 MW/km^2 .
- Red de media tensión aérea: Topología para densidades de carga menores a 2.5 MW/km^2 .
- Red de media tensión mixta: Topología para densidades de carga mayores a 2.5 MW/km^2 (zona urbana de alta densidad) para las cuales sea necesario utilizar red aérea y subterránea.

1.2. Alternativas de equipos de protección y maniobra

1.2.1. Equipos de protección y maniobra para alimentadores subterráneos

La filosofía del sistema de protección tiene en cuenta los tipos de fallas más comunes en la red.

En red subterránea la mayoría de fallas son por envejecimiento del cable lo que ocasiona a su vez fallas a tierra y cortocircuitos. En menor medida se tienen las fallas por descargas en terminales y empalmes.

En el sistema 22,9 kV, la corriente de falla retorna por el neutro aterrado, por lo tanto su magnitud es fácilmente detectable por las funciones de falla a tierra no direccionales, pudiendo prescindir de la función de protección direccional de sobrecorriente a tierra en las salidas de los alimentadores.

En cuanto a la selección de los equipos de maniobra se tienen en cuenta criterios de operación y mantenimiento.

Ambos sistemas, de protección y maniobra, se eligen con el objetivo de dar confiabilidad al sistema, facilidades de operación y sobre todo reducción de los tiempos de reposición del servicio. La elección final de la mejor alternativa tendrá en cuenta aquellas que cumpliendo con los criterios técnicos a su vez sean los mas económicos.

a. A la salida de la subestación de transformación - SET

La Tabla 1.3 presenta los equipos de protección y maniobra a ser considerados en la celda de salida de la subestación de transformación – SET.

Tabla 1.3 Equipos en la celda de salida de la SET

Ítem	Tipo de celda	Equipos	Componentes / Funcionalidad
1	Celda de salida del alimentador	Interruptor automático tripolar con rele de protección.	<p>Interruptor de potencia</p> <p>Rele Multifunción (control, medición, protección, autosupervisión y comunicación) con funciones de protección:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 27: Subtensión • 46: Corriente de fase inversa o balance de fases (secuencia negativa) • 50: Sobrecorriente instantánea • 51: Sobrecorriente temporizado • 50N: Sobrecorriente a tierra instantáneo • 51N: Sobrecorriente a tierra temporizado • 59: Sobretensión • 79: Control de recierre y bloqueo automático del interruptor • 81: Por rango de Variación de frecuencia

b. En las subestaciones convencionales

La Tabla 1.4 presenta los equipos de protección y maniobra a ser considerados en las celdas de las subestaciones convencionales del alimentador.

Tabla 1.4 Equipos en las celdas de subestaciones convencionales

Ítem	Tipo de celda	Equipos	Componentes / Funcionalidad
1	Celda de llegada de troncal	Seccionador bajo carga para interior	Sin fusible
2	Celda de salida de troncal	Interruptor automático tripolar con rele de protección.	Interruptor de potencia
			Rele Multifunción (control, medición, protección, autosupervisión y comunicación) con funciones de protección: <ul style="list-style-type: none"> • 50: Sobrecorriente instantánea • 51: Sobrecorriente temporizada. • 50N: Sobrecorriente a tierra instantáneo. • 51N: Sobrecorriente a tierra temporizado.
3	Celda de derivación a lateral	Seccionador fusible de potencia	Con fusible limitador de corriente tipo interior de 100 y 125 A de corriente nominal
		Interruptor automático tripolar con rele de protección.	Interruptor de potencia Rele Multifunción (control, medición, protección, autosupervisión y comunicación) con funciones de protección: <ul style="list-style-type: none"> • 50: Sobrecorriente instantánea • 51: Sobrecorriente temporizada. • 50N: Sobrecorriente a tierra instantáneo. • 51N: Sobrecorriente a tierra temporizado.
4	Celda de cliente	Seccionador fusible de potencia	Con fusible limitador de corriente tipo interior
		Interruptor automático tripolar con rele de protección.	Interruptor de potencia Rele Multifunción (control, medición, protección, autosupervisión y comunicación) con funciones de protección: <ul style="list-style-type: none"> • 50: Sobrecorriente instantánea • 51: Sobrecorriente temporizada. • 50N: Sobrecorriente a tierra instantáneo. • 51N: Sobrecorriente a tierra temporizado.
5	Celda de transformador	Fusible Seccionador Unipolar	Fusible limitador de corriente clase E
6	Celda de Enlace	Seccionador bajo carga para interior	Sin fusible

1.2.2. Equipos de protección y maniobra para alimentadores aéreos

En red aérea predominan las fallas a tierra debido a descargas superficiales por falta de mantenimiento, falsos contactos o líneas caídas. Un menor porcentaje se deben a falta de tensión en una fase por apertura de cuello muerto por corrosión y una mínima cantidad de fallas por cortocircuitos debido al contacto entre fases.

Al igual que en los alimentadores subterráneos, los equipos de protección y maniobra se eligen con el fin de dar confiabilidad al sistema, facilidades de operación y sobre todo reducción de los tiempos de reposición del servicio.

Topológicamente los alimentadores aéreos tiene la siguiente configuración: En la salida de la SET la troncal inicia con cable subterráneo. A través de un empalme subterráneo-aéreo continua en tramo aéreo hasta la llegada a un punto de protección y maniobra determinado por un Recloser con caja de control y funciones de protección alternativas.

En consecuencia la relación de los diferentes equipos de protección y maniobra se establece según su ubicación en la troncal, en los circuitos laterales o en las subestaciones de distribución.

a. A la salida de la subestación de transformación - SET

La Tabla 1.5 presenta los equipos de protección y maniobra a ser considerados en la celda de salida de la subestación de transformación – SET.

Tabla 1.5 Equipos en la celda de salida de la SET

Ítem	Tipo de celda	Equipos	Componentes / Funcionalidad
1	Celda de salida del alimentador	Interruptor automático tripolar con rele de protección.	<p>Interruptor de potencia</p> <p>Rele Multifunción (control, medición, protección, autosupervisión y comunicación) con funciones de protección:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 27: Subtensión • 46: Corriente de fase inversa o balance de fases (secuencia negativa) • 50: Sobrecorriente instantánea • 51: Sobrecorriente temporizada • 50N: Sobrecorriente a tierra instantáneo • 51N: Sobrecorriente a tierra temporizado • 59: Sobretensión • 79: Control de recierre y bloqueo automático del interruptor • 81: Por rango de Variación de frecuencia.

b. Protección en la troncal

La Tabla 1.6 presenta los equipos de protección y maniobra a ser considerados para la protección y maniobra en todos los tramos de la troncal.

Tabla 1.6 Equipos para protección y maniobra en los tramos de la troncal

Ítem	Ubicación en la troncal	Equipos	Componentes / Funcionalidad
1	Centro de la troncal del alimentador	Recloser tripolar con caja de control y relé de protección. El Recloser debe coordinación con el rele del alimentador principal	Recloser
			Caja de control Relé Multifunción (control, medición, protección, autosupervisión y comunicación) con las funciones: <ul style="list-style-type: none"> • 50: Sobrecorriente instantánea • 51: Sobrecorriente temporizada • 50N: Sobrecorriente a tierra instantáneo • 51N: Sobrecorriente a tierra
2	Inicio del circuito lateral	Fusibles seccionadores unipolares (Cut-out)	Con Fusible tipo K (uso limitado por la potencia del lateral)
		Recloser tripolar con caja de control y relé de protección. El Recloser debe coordinación con el rele del alimentador principal	Inicio del lateral dependiendo de la potencia, previo a un PMI
			Recloser
			Caja de control Relé Multifunción (control, medición, protección, autosupervisión y comunicación) con las funciones: <ul style="list-style-type: none"> • 50: Sobrecorriente instantánea • 51: Sobrecorriente temporizada. • 50N: Sobrecorriente a tierra instantáneo. • 51N: Sobrecorriente a tierra
		Seccionalizador	En coordinación con los ciclos de interrupción del recloser ubicado en el Centro
		Seccionador bajo carga para exterior	En PDS Para fines operativos y mantenimiento
3	Tramos intermedios del alimentador troncal	Seccionador bajo carga para exterior	Para fines operativos y mantenimiento
4	Enlace	Seccionador bajo carga para exterior	Para transferencia de carga
		Fusibles seccionadores unipolares (Cut-out)	Seccionador unipolar aéreo para visualización de apertura Con fusible s tipo K, en PDS Para transferencia de carga

1.3. Capacidad de cables subterráneos y conductores aéreos de media tensión

1.3.1. Capacidad de cables subterráneos

Para la determinación de las alternativas de cables subterráneos se consideran las secciones y capacidades normalizadas para el cable N2XSY. Los valores de capacidad de potencia (MVA) son calculados con la ecuación:

$$S = \sqrt{3}xV_n xI_n \quad (1.1)$$

Donde:

S : Capacidad de Potencia o potencia aparente, en MVA

V_n : Tensión nominal, en kV

I_n Capacidad de corriente para condiciones nominales o para condiciones de operación en emergencia, en kA.

La capacidad del cable subterráneo está directamente relacionada con el factor de carga F_C , el cual refleja el comportamiento de la máxima demanda del sistema.

En los alimentadores el comportamiento del factor de carga esta asociado a dos grandes grupos, relacionados al tipo de carga y la magnitud del factor de carga. A cada tipo se le denominara tipo de alimentador AL y se agrupan según la Tabla 1.7, la cual refleja los factores de carga de una empresa de distribución del Sector Típico 1.

Tabla 1.7 Factor de carga por tipo de alimentador

Tipo AL	Descripción	F_C		
		Variación	Promedio	Asumido
1	Comercial Liviana Residencial Media Redes extensas Residencial Alta Comercial Pesada Residencial-Comercial Residencial Baja	0.59 – 0.74	0.67	0.75
2	Industrial Pesada Industrial Liviana Residencial-Industrial	0.75 – 0.82	0.79	1.00

Si bien es cierto los alimentadores pertenecientes al tipo 2 tienen un F_C promedio 0.79; sin embargo los datos indican la existencia de alimentadores que pueden llegar a un F_C cercano a la unidad. Por eso es que se asume un F_C 1.00 con el fin de prever esta situación crítica.

Para los alimentadores del tipo 1 se asumen un F_C igual a 0.75 por que individualmente algunos alimentadores pertenecientes a este grupo pueden tener un F_C cercano a 0.75. Asimismo, las capacidades de los cables subterráneos normalizados también están referidas a un F_C de 0.75 y 1.00.

Por lo tanto, los alimentadores se dividen en dos tipos, en función de los cuales se presentarán y evaluarán las alternativas topológicas:

- Alimentadores tipo 1 (Tipo AL 1), con $F_C = 0.75$
- Alimentadores tipo 2 (Tipo AL 2), con $F_C = 1.00$

a. A la salida de la SET

A la salida de una SET es común más de dos sistemas trifásicos de cables unipolares, por tal motivo es necesario corregir las capacidades nominales aplicando factores de corrección por agrupamiento.

La Tabla 1.8 presenta las capacidades de los cables subterráneos N2XSY para un $F_c = 0.75$ y 1.00 , y corregidos por el factor de agrupamiento 0.73 para 03 sistemas de cables unipolares dispuestos horizontalmente y con aislamiento termoplástico. El factor de corrección se obtiene de la tabla 2-XXXIV del código nacional de electricidad tomo IV.

A la salida de la SET sólo se consideran las secciones alternativas de 120 y 240 mm².

Tabla 1.8 Capacidad del cable N2XSY a la salida de la SET

Sección Nominal (mm ²)	F _c = 0.75		F _c = 1.00	
	Sistemas de agrupamiento			
	3			
	Factor de Corrección (f _c)			
	0.73			
	Capacidad de Corriente (A)	Capacidad de potencia (MVA)	Capacidad de Corriente (A)	Capacidad de potencia (MVA)
120	234	9.3	228	9.1
240	330	13.1	304	12.1

b. En los laterales

Cada lateral utiliza un sistema de cables unipolares N2XSY dispuestos horizontalmente, por lo que sus capacidades no se corrigen.

Se consideran preliminarmente las secciones de 50 y 70 mm², las alternativas finales se determinarán cuando se calculen las capacidades de los laterales.

La Tabla 1.9 presenta las capacidades del cable subterráneo N2XSY en los laterales.

Tabla 1.9 Capacidad del cable N2XSY en los laterales

Sección Nominal (mm ²)	F _c = 0.75		F _c = 1.00	
	Capacidad de corriente (A)	Capacidad de potencia (MVA)	Capacidad de corriente (A)	Capacidad de potencia (MVA)
50	198	7.9	194	7.7
70	240	9.5	235	9.3

c. En condiciones de emergencia

Se consideran condiciones de emergencia cuando el cable debe operar a corrientes y temperaturas superiores a las de operación normal durante cortos periodos de tiempo y a determinados intervalos anuales. La temperatura máxima en condiciones de emergencia del cable N2XSY es de 130°C .

La capacidad del cable en condiciones de emergencia depende del factor de sobrecarga (f_{sc}) el cual se aplica sobre la corriente en condiciones normales de operación corregida o no dependiendo de la cantidad de sistemas unipolares.

A su vez, el factor de sobrecarga depende de la temperatura del medio ambiente, de las temperaturas máxima de operación y de emergencia y sobre todo del tiempo de sobrecarga.

Los fabricantes señalan que la sobrecarga en los cables no debe superar el 19% para un tiempo máximo de 2 horas. Sin embargo para efectos del presente informe el f_{sc} será calculado utilizando la ecuación aproximada válida para un periodo de sobrecarga no mayor a 2 horas.

$$I_{sc} = I_n \times f_{sc} \quad (1.2)$$

$$f_{sc} = \sqrt{\frac{(T_o - T_a) \times R}{(T_c - T_a) \times R_o}} \quad (1.3)$$

Donde:

- I_n : Valor de la corriente nominal en condiciones normales de operación. En caso exista mas de un sistema de cables unipolares, I_n debe ser la corriente corregida.
- I_{sc} : Valor de la corriente en condiciones de emergencia.
- f_{sc} : Factor de sobrecarga
- T_o : Temperatura máxima de emergencia del conductor, 130 °C
- T_c : Temperatura máxima de operación normal del conductor, 90 °C
- T_a : Temperatura del medio ambiente, 25°C
- R : Factor de corrección de la resistencia del conductor a la temperatura máxima de operación normal, 1.275.
- R_o : Factor de corrección de la resistencia del conductor a la temperatura máxima de emergencia, 1.4322.

Aplicando la ecuación 1.3, se obtiene que el factor de sobrecarga f_{sc} en condiciones de emergencia para un periodo de sobrecarga máximo de 2 horas, es 1.20.

Aplicando este valor, obtenemos las magnitudes de las capacidades de los cables para condiciones de emergencia tanto para la troncal a la salida de la SET (capacidad corregida, Tabla 1.10) así como para los laterales (capacidad no corregida, Tabla 1.11).

Tabla 1.10 Capacidad no corregida del cable N2XSY en condiciones de emergencia

Sección Nominal (mm ²)	F _c = 0.75		F _c = 1.00	
	Capacidad de Corriente (A)	Capacidad de potencia (MVA)	Capacidad de Corriente (A)	Capacidad de potencia (MVA)
50	238	9.4	233	9.2
70	288	11.4	282	11.2
120	384	15.2	376	14.9
240	542	21.5	500	19.8

Tabla 1.11 Capacidad corregida del cable N2XSY en condiciones de emergencia

Sección Nominal (mm ²)	F _c = 0.75		F _c = 1.00	
	Sistemas de agrupamiento			
	3			
	Factor de Corrección (fc)			
	0.73			
	Capacidad de Corriente (A)	Capacidad de potencia (MVA)	Capacidad de Corriente (A)	Capacidad de potencia (MVA)
50	173	6.9	170	6.7
70	175	6.9	172	6.8
120	280	11.1	274	10.9
240	396	15.7	365	14.5

1.3.2. Capacidad de conductores aéreos

Se consideran conductores de aleación de aluminio con secciones de 70mm² a 240mm². La Tabla 1.12 muestra la capacidad del conductor de aleación de aluminio en condiciones normales de operación.

Tabla 1.12 Capacidad del conductor de aleación de aluminio en condiciones normales de operación

Sección Nominal (mm ²)	Capacidad de corriente (A)	Capacidad de potencia en 22,9 kV (MVA)
70	201	8.0
120	284	11.3
185	405	16.1
240	472	18.7

a. En Condiciones de Emergencia

La Tabla 1.13 muestra la capacidad del conductor de aleación de aluminio en condiciones de emergencia, por un periodo máximo de 2 horas.

Tabla 1.13 Capacidad del conductor de aleación de aluminio en condiciones de emergencia

Sección Nominal (mm ²)	Capacidad de corriente (A)	Capacidad de potencia en 22,9 kV (MVA)
70	250	9.9
120	355	14.1
185	488	19.4
240	562	22.3

1.4. Alternativas de cables subterráneos y conductores aéreos

1.4.1. Consideraciones de diseño de los cables y/o conductores

Para el diseño de las alternativas de cables subterráneos y conductores aéreos se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

a. Capacidad del alimentador troncal

Es la potencia o corriente máxima que puede circular por el alimentador troncal en condiciones normales de operación y sirve para calcular la capacidad de los laterales y de los enlaces.

La capacidad del alimentador está limitada por la capacidad del cable subterráneo a la salida de la SET y el porcentaje de reserva, el cual debe ser menor o igual a la máxima carga que puede asumir del alimentador adyacente bajo condiciones de emergencia.

La situación crítica se presenta cuando el alimentador adyacente tiene que salir de servicio y con el fin de disminuir el número de interrupciones y tiempo de reposición del servicio se debe transferir su carga a los alimentadores adyacentes a través de los enlaces.

Asimismo, para el caso de red aérea, se considera que la salida se realiza con cable subterráneo con factor de agrupamiento para 03 sistemas de cables. Por tanto, la capacidad del alimentador troncal aéreo será la misma que para un alimentador troncal subterráneo de una sección equivalente.

Esta equivalencia se realiza bajo el criterio que la capacidad en condiciones de emergencia del conductor aéreo de la troncal debe ser mayor o igual a la capacidad en condiciones de emergencia de la troncal subterránea equivalente.

Es decir, comparamos la tabla 1.13 con las tablas de máxima demanda en condiciones de emergencia del alimentador troncal subterráneo del mismo nivel de tensión.

Luego:

$$S_t = S_{OPC} \quad (1.4)$$

$$S_e = (S_t + S_r) x f_{sa} \quad (1.5)$$

Donde:

S_t : Capacidad del alimentador troncal.

S_{OPC} : Capacidad corregida del cable a condiciones normales de operación. En red aérea se refiere a la sección del cable subterráneo equivalente.

S_e : Capacidad máxima en condiciones de emergencia del alimentador troncal y no debe superar la capacidad en condiciones de emergencia del cable subterráneo elegido como alimentador troncal.

S_r : Capacidad de reserva.

f_{sa} : Factor de simultaneidad del alimentador respecto a la SET.

Para efectos del presente informe se considera que los alimentadores adyacentes tienen la misma capacidad (igual S_t) y que pueden asumir hasta el 1/3 (33,3%) de la carga de un alimentador adyacente:

$$S_r = P\%S_t \quad (1.6)$$

Donde $P\%$ será 33,3%.

Si relacionamos las ecuaciones 1.5 y 1.6 podemos obtener la capacidad del alimentador troncal con la capacidad de asumir el 33,3% de la carga del alimentador adyacente.

$$S_t = \frac{S_e}{\left(1 + \frac{P}{100}\right) x f_{sa}} \quad (1.7)$$

Tal que $S_e \leq S_{en}$

Donde:

S_e : Capacidad corregida en condiciones de emergencia del cable subterráneo.

Es importante diferenciar entre la capacidad del alimentador troncal y la capacidad del conductor o cable en condiciones normales de operación. Mientras la primera define la máxima corriente o potencia que puede proporcionar el alimentador, la segunda

determina cuanta corriente o potencia puede circular a través del conductor o cable sin reducir su vida útil.

b. Capacidad de los laterales

Es la potencia o corriente máxima que puede circular por los laterales del alimentador en condiciones normales de operación y sirve para calcular la máxima carga que puede conectarse en cada lateral.

La capacidad de un lateral está limitada por la capacidad del alimentador troncal, su ubicación en el alimentador troncal, por el número de puntos de derivación de laterales (PDL) y por el factor de simultaneidad de los laterales respecto al alimentador troncal. Se asume que de cada PDL parten 2 laterales.

El informe tiene en cuenta dos modelos de distribución de carga: Modelo de distribución triangular y modelo de distribución uniforme. El primero se utiliza para determinar la capacidad de los laterales subterráneos y el alcance máximo de sus troncales. El segundo se utiliza para determinar la capacidad de los laterales y alcance máximo de sus troncales aéreas.

En el caso de alimentadores subterráneos, debido al menor número de PDLs y con el fin de evitar intersección entre las áreas de servicio de los laterales, su capacidad se modela tal que sea proporcional a la distancia desde su PDL hasta la SET. A esta distribución la denominamos "distribución triangular de cargas". Esto permite que la cantidad de cargas conectas a un lateral sea mayor conforme nos alejamos de la SET.

La topología planteada esta preparado para asumir ambos tipos de distribución de carga. Asimismo, dado el mayor número de PDLs y la relativa facilidad de distribuir las cargas entre los laterales en los alimentadores aéreos, es que se considera una distribución uniforme de cargas en la troncal (igual capacidad de laterales).

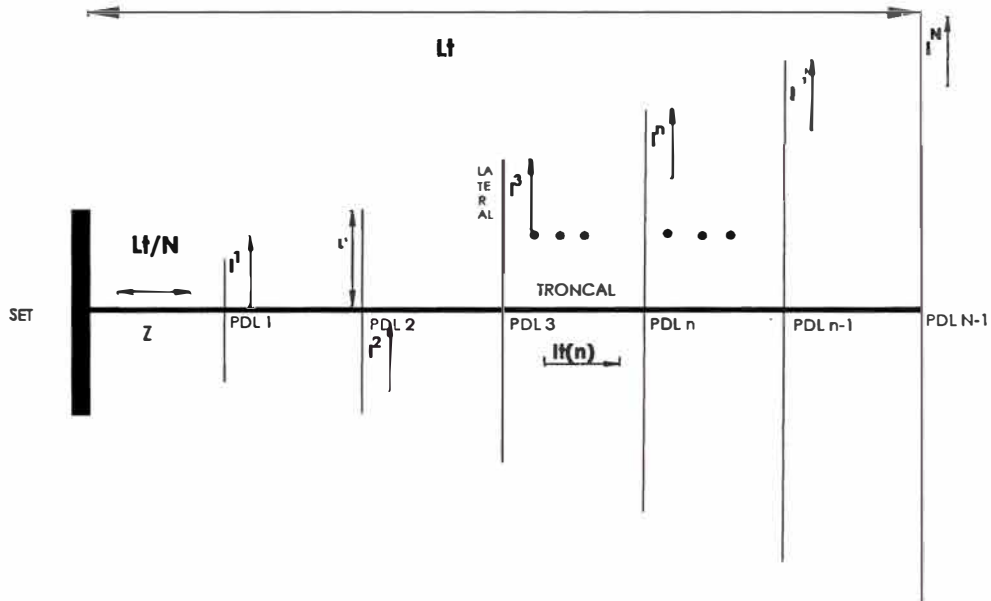


Fig. 1.1 Distribución triangular de cargas

Ecuación para la capacidad del lateral que sale del PDL n en una Distribución Triangular de Cargas:

$$S_l = \frac{Stxn}{Nx(N+1)xF_{sl}} \quad (1.8)$$

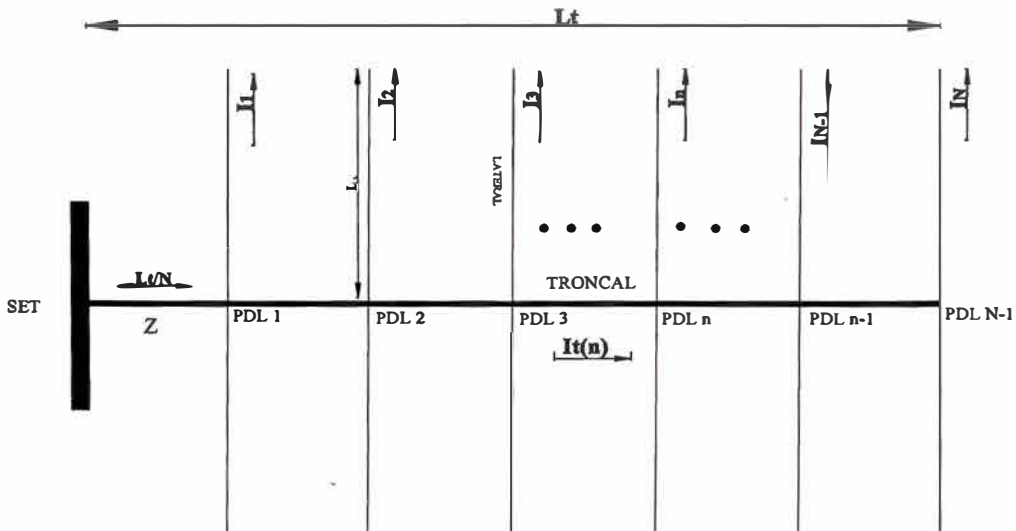


Fig. 1.2 Distribución Uniforme de cargas

Ecuación para la capacidad del lateral en una Distribución Uniforme de Cargas:

$$S_l = \frac{St}{2xNx F_{sl}} \quad (1.9)$$

Donde:

S_l : Capacidad del lateral.

S_t : Capacidad del alimentador troncal.

N : Número de puntos de derivación de laterales.

F_{st} : Factor de simultaneidad de los laterales respecto al alimentador troncal.

Es importante diferenciar entre la capacidad del lateral y la capacidad del conductor o cable en condiciones normales de operación. Mientras la primera define la máxima corriente o potencia que puede circular por el lateral y representa la máxima demanda coincidente simultánea de las cargas conectados a los laterales, la segunda determina cuanta corriente o potencia puede circular a través del conductor o cable sin reducir su vida útil.

Para determinar cuantas subestaciones pueden alimentarse de cada lateral, primero se calcula la máxima demanda no coincidente, la cual representa la suma de las máximas demandas de las cargas conectadas al lateral.

$$S_{ld} = \frac{S_l}{F_{st}} \quad (1.10)$$

Donde:

S_{ld} : Máxima demanda diversificada

F_{st} : Factor de simultaneidad respecto al lateral.

Es decir, aun cuando la capacidad del conductor pueda ser mayor, en cada lateral del alimentador no deberá circular mas carga que la calculada según ecuación 1.8, y no deberá conectarse mas carga que la calculada con la ecuación 1.10, de lo contrario se reducirá la capacidad de reserva del alimentador troncal.

Por ultimo, para seleccionar el conductor que será instalado en los laterales, se deberá elegir aquel conductor cuya capacidad en condiciones normales de operación sea mayor o igual a S_l , sin considerar factor de corrección por agrupamiento (Tablas 1.9 y 1.12).

c. Capacidad de los enlaces

Es la máxima potencia o corriente que circulará por los enlaces del alimentador cuando se transfiera carga al alimentador adyacente en condiciones de emergencia.

La capacidad de los enlaces será igual a la capacidad de reserva del alimentador troncal. Para elegir el conductor que será utilizado como enlace basta comparar la capacidad del enlace determinada con la ecuación 1.11 con las capacidades en condiciones normales de operación de cada conductor.

$$Sen = Sr = P\% \times St \quad (1.11)$$

Donde:

$$P\% = \frac{1}{3}(33,3\%)$$

Sen : Capacidad del enlace.

d. Alcance máximo del alimentador troncal y de los laterales

El alcance máximo está en función de la máxima caída de tensión, 5% normalizado por el Código Nacional de Electricidad - Suministro. Para efectos del presente estudio se considera una caída máxima de 4% para el alimentador troncal y 1% para los laterales.

A su vez, la caída de tensión depende de la impedancia unitaria de la línea, la longitud de la troncal o lateral y de la corriente bajo condiciones normales de operación.

d.1. Alcance máximo del alimentador troncal

La longitud máxima de la troncal subterránea se calcula para un modelo de distribución triangular de cargas (Ecuación 1.12) y para troncales aéreas se utiliza un modelo de distribución uniforme (Ecuación 1.13).

$$Lt = \frac{\Delta Tx V_n}{Stx Zx \left(\frac{2}{3} + \frac{1}{N} \right)} \quad (1.12)$$

$$Lt = \frac{2\Delta Tx N x V_n}{Stx Zx (N + 1)} \quad (1.13)$$

Donde:

Lt : Alcance máximo del alimentador troncal en km.

ΔT : Máxima caída de tensión en el alimentador troncal en kV asumida en 4% de la tensión nominal del sistema.

V_n : Tensión nominal del sistema en kV.

S_t : Capacidad del alimentador troncal en MVA en condiciones normales de operación.

Z : Impedancia unitaria de la troncal en ohm/km.

N : Número de puntos de derivación de laterales.

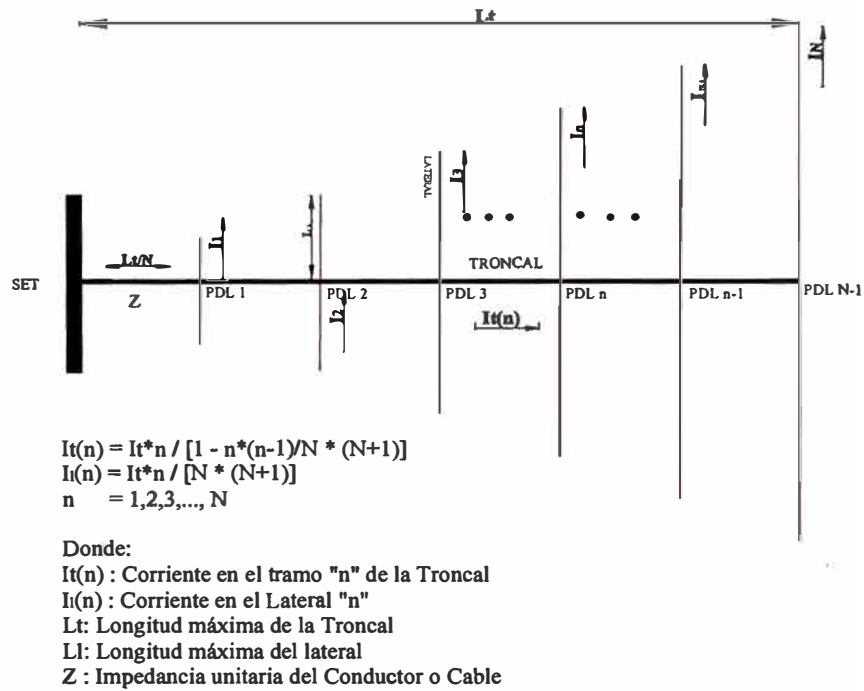
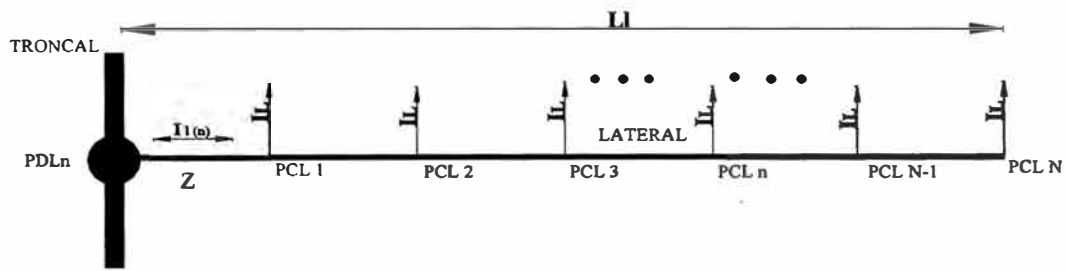


Fig. 1.3 Longitud máxima de la troncal para una distribución de carga triangular

d.2. Alcance máximo de los laterales



$$n = 1, 2, 3, \dots, N$$

Donde:

$I(n)$: Corriente en el Lateral "n"

I_L : Corriente de Carga (Todas las cargas iguales)

L_l : Longitud máxima del lateral

Z : Impedancia unitaria del Conductor o Cable del Lateral

PDL_n : Punto de Derivación del Lateral "n"

PCL : Punto de Concentración de Carga

L_l : Longitud Maxima del Lateral

Fig. 1.4 Distribución de cargas uniforme en el lateral y concentradas en PCL

Se asume distribución de carga uniforme y ubicada en los Puntos de Concentración de Carga (PCL).

$$L_i = \frac{2\Delta L x N x V_n}{S_i x Z_i x (N + 1)} \quad (1.14)$$

Donde:

L_i : Alcance máximo del lateral en km.

ΔL : Máxima caída de tensión en el lateral en kV asumida en 1% de la tensión nominal del sistema.

V_n : Tensión nominal del sistema en kV.

S_i : Capacidad del lateral en MVA bajo condiciones normales de operación.

Z : Impedancia unitaria del lateral en ohm/km.

N : Número de puntos de concentración de carga

e. Parámetros de Diseño

A excepción del factor de carga, el cual se diferencia por tipo de alimentador, se consideran los mismos parámetros de diseño para los tres tipos de red (aérea, subterránea y mixta).

- F_C para tipo AL 1 : 0,75
- F_C para tipo AL 2 : 1,0
- Factor de corrección por agrupamiento de 3 sistemas : 0.73
- F_S del alimentador troncal respecto a la SET : 0,924
- F_S del lateral respecto al alimentador troncal : 0,914
- Porcentaje de reserva : 33,3%
- Número de PDLs en red subterránea para tipo AL 1 : 3
- Número de PDLs en red subterránea para tipo AL 2 : 2
- Número de PDLs en red aérea para tipo AL 1 : 6
- Número de PDLs en red aérea para tipo AL 2 : 4
- Número de Puntos de Concentración de Carga (PCL) en los laterales: 02 PCLs para todos los tipos.

El Factor de Simultaneidad del alimentador respecto a la SET (F_{sa}) considerado en el diseño, es el promedio de los F_{sa} de todas las SETs.

A su vez, para cada SET el F_{sa} se calculó relacionando la MD de la SET y la suma de MD de todos sus alimentadores.

El Factor de Simultaneidad del lateral respecto a la troncal (F_{sl}) es el promedio de los F_{sl} de todos los alimentadores típicos.

Cada F_{sl} se calculó relacionando la MD del alimentador y la suma de MD de todas las Subestaciones de Distribución y Clientes en MT.

Los valores de factores de simultaneidad considerados en el diseño, son los máximos valores obtenidos para las 11 y 19 horas respectivamente y se calcularon según datos de empresas del sector típico 1.

1.4.2. Alimentadores Tipo AL 1

a. Alternativas de cables subterráneos

a.1. Diseño de la capacidad del alimentador troncal

Se plantean como alternativas para la troncal:

- Una sola sección de 120 mm²
- Una sola sección de 240 mm²
- Una sección de 240 mm² el primer medio tramo y 120 mm² en el segunda tramo.

Las Tablas 1.14 y 1.15 presentan las capacidades de corriente y potencia para los alimentadores troncales en condiciones normales de operación y en condiciones de emergencia respectivamente.

Tabla 1.14 Capacidad del alimentador troncal subterráneo en condiciones normales de operación

Sección Nominal (mm ²)	Capacidad de corriente (A)	Capacidad de potencia (MVA)
	$F_c \leq 0.75$	$F_c \leq 0.75$
120	228	9.0
240	321	12.7
240-120	321	12.7

Tabla 1.15 Capacidad del alimentador troncal subterráneo en condiciones de emergencia

Sección Nominal (mm ²)	Capacidad de corriente (A)	Capacidad de potencia (MVA)
	$F_c \leq 0.75$	$F_c \leq 0.75$
120	280	11.1
240	396	15.7
240-120	396	15.7

a.2. Diseño de la capacidad de los laterales

La Tabla 1.16 presenta las capacidades para los dos laterales ubicados en el último PDL, en función de la capacidad del alimentador troncal y el número de PDLs.

Nótese que la máxima capacidad del lateral será de 4.65 MVA para una troncal de 240 mm² y 2 PDLs. Según la Tabla 1.9 la capacidad a condiciones normales de operación del cable de 50 mm² para un F_c de 0.75 es de 7.9 MVA mucho mayor al valor requerido. Por tanto se plantea como única alternativa para los laterales el cable N2XSY de 50 mm² de sección.

Tabla 1.16 Capacidad del alimentador lateral subterráneo

Sección Nominal Troncal (mm ²)	Capacidad de potencia en la troncal (MVA)	Capacidad (MVA)	
		Numero de PDL	
		FC ≤ 0.75	FC > 0.75
120	8.2	2	3
240	11.6	2	3
240-120	11.3	2	3

a.3. Diseño de la capacidad de los enlaces

La Tabla 1.17 presenta las capacidades para el enlace en función de la capacidad del alimentador troncal para reserva del 33,3%.

Nótese que la máxima capacidad del enlace será de 4.78 MVA para una troncal de 240 mm². De acuerdo a la Tabla 1.9 el cable de 50 mm² con una capacidad en condiciones normales de operación de 7.9 MVA cubre el requerimiento de la capacidad del enlace. Sin embargo, por efectos de menor caída de tensión, también consideraremos como alternativa la sección de 70 mm².

Por tanto se plantean como alternativas para los enlaces las secciones de 50 mm² y 70 mm².

Tabla 1.17 Capacidad del enlace subterráneo

Sección Nominal Troncal (mm ²)	Capacidad del enlace (MVA)
120	3.38
240	4.78
240-120	4.78

a.4. Diseño del alcance máximo del alimentador troncal

La Tabla 1.18 muestra los alcances que podría tener el alimentador troncal, dependiendo de la sección del cable troncal y del número de PDLs.

Tabla 1.18 Alcance máximo del alimentador troncal

Sección Nominal Troncal (mm ²)	Capacidad de potencia en la troncal (MVA)	Alcance Máximo para del alimentador troncal (km)	
		Numero de Puntos de Derivación de Laterales (PDL)	
		FC ≤ 0,75	FC > 0,75
120	9.0	2	3
240	12.7	2	3
240-120	12.7	2	3

a.5. Diseño del alcance máximo de los laterales

La Tabla 1.19 muestra las longitudes máximas que podrían tener los laterales de 50 mm² ubicados en el último PDL para diversas secciones alternativas del alimentador troncal.

Tabla 1.19 Alcance máximo de los laterales

Sección Nominal Troncal	Alcance Máximo para los laterales de 50 mm ² (km)	
(mm ²)	Numero de Puntos de Derivación de Laterales (PDL)	
	2	3
120	3.8	5.0
240	2.7	3.5
240-120	2.7	3.5

b. Alternativa de conductores aéreos

Estos alimentadores pueden instalarse en zonas de baja densidad, donde se requiere brindar servicio a clientes relativamente alejados del centro de carga. En estos alimentadores el diseño preponderante es por alcance máximo (caída de tensión) y no por carga concentrada como es el caso de los alimentadores tipo AL 2 ($F_C = 1,0$), por tanto se asume una capacidad de 6 MVA (con 06 PDLs) para los alimentadores (la máxima capacidad en alimentadores aéreos) a efectos de calcular la capacidad de los laterales y los alcances máximos de la troncal y laterales, aun cuando por diseño los alimentadores pueden brindar hasta 12.7 MVA.

b.1. Diseño de la capacidad del alimentador troncal

La capacidad del alimentador troncal está limitada por la capacidad del tramo de cable subterráneo a la salida de la SET. Por tanto la capacidad del alimentador troncal aéreo puede ser la misma que para una troncal subterránea y de sección equivalente tal como se indica en Tabla 1.20. Las secciones equivalentes se establecen comparando las capacidades en condiciones de emergencia del conductor aéreo y la máxima demanda en los alimentadores subterráneos en condiciones de emergencia.

Tabla 1.20 Secciones del cable N2XSY equivalentes al conductor de aleación de aluminio

Sección Nominal troncal aérea (mm ²)	Sección Nominal Equivalente de troncal subterránea N2XSY (mm ²)
120	120
185	240
240	240
185 – 120	240
240 – 120	240
240 – 185	240
240– 85-120	240

Se plantean 07 alternativas para la troncal aérea:

- Una sola sección de 120 mm².
- Una sola sección de 185 mm².
- Una sola sección de 240 mm².
- Una sección de 185 mm² hasta la mitad y 120 mm² en la segunda mitad.
- Una sección de 240 mm² hasta la mitad y 120 mm² en la segunda mitad.
- Una sección de 240 mm² hasta la mitad y 185 mm² en la segunda mitad.
- Tres tramos iguales de 240, 185 y 120 mm² respectivamente. Cada tramo igual a la tercera parte de la longitud total de la troncal.

La Tablas 1.21 y 1.22 presentan las capacidades para los alimentadores troncales aéreos con salida de cable subterráneo, en condiciones normales de operación y en condiciones de emergencia respectivamente.

Tabla 1.21 Capacidad del alimentador troncal aéreo en condiciones normales de operación

Sección Nominal troncal aérea (mm ²)	Equivalente Sección Nominal Cable N2XSY salida troncal (mm ²)	Capacidad de corriente de diseño (A)	Capacidad de potencia de diseño (MVA)	Capacidad de potencia asumido (MVA)
120	120	228	9.0	6.0
185	240	321	12.7	6.0
240	240	321	12.7	6.0
185-120	240	321	12.7	6.0
240-120	240	321	12.7	6.0
240-185	240	321	12.7	6.0
240-185-120	240	321	12.7	6.0

Tabla 1.22 Capacidad del alimentador troncal aéreo en condiciones de emergencia

Sección Nominal troncal aérea (mm ²)	Equivalente Sección Nominal Cable N2XSY salida troncal (mm ²)	Capacidad de corriente de diseño (A)	Capacidad de potencia de diseño (MVA)	Capacidad de potencia de emergencia en función de Capacidad asumida (MVA)
120	120	280	11.1	5.1
185	240	396	15.7	7.4
240	240	396	15.7	7.4
185-120	240	280	11.1	7.4
240-120	240	396	15.7	7.4
240-185	240	396	15.7	7.4
240-185-120	240	396	15.7	7.4

b.2. Diseño de la capacidad de los laterales

Las Tablas 1.23 y 1.24 presentan las capacidades para los laterales en función de la capacidad del alimentador troncal y el número de PDLs. De cada PDL salen 2 laterales.

Nótese que la máxima capacidad del lateral será de 3.5 MVA para una troncal de 240 mm² y dos PDLs. Comparando este valor con la Tabla 1.12 notamos que la capacidad para la sección de 70 mm² es de 8.0 MVA.

Por tanto, se plantea como única alternativa para los laterales la sección de 70 mm².

Tabla 1.23 Capacidad de diseño del alimentador lateral aéreo

Sección Nominal Troncal (mm ²)	Capacidad de potencia en la troncal (MVA)	Capacidad por lateral en función del número de Puntos de Derivación de Lateral - PDL (Dos Laterales por PDL) (MVA)				
		Numero de PDL				
		2	3	4	5	6
120	4.1	1.12	0.75	0.56	0.45	0.37
185	12.7	3.49	2.32	1.74	1.39	1.16
240	12.7	3.49	2.32	1.74	1.39	1.16
185-120	12.7	3.49	2.32	1.74	1.39	1.16
240-120	12.7	3.49	2.32	1.74	1.39	1.16
240-185	12.7	3.49	2.32	1.74	1.39	1.16
240-185-120	12.7	3.49	2.32	1.74	1.39	1.16

Tabla 1.24 Capacidad del alimentador lateral aéreo

Sección Nominal Troncal (mm ²)	Capacidad de potencia en la troncal (MVA)	Capacidad por lateral en función del número de Puntos de Derivación de Lateral - PDL (Dos Laterales por PDL) (MVA)				
		Numero de PDL				
		2	3	4	5	6
120	4.1	1.12	0.75	0.56	0.45	0.37
185	6.0	1.64	1.09	0.82	0.66	0.55
240	6.0	1.64	1.09	0.82	0.66	0.55
185-120	6.0	1.64	1.09	0.82	0.66	0.55
240-120	6.0	1.64	1.09	0.82	0.66	0.55
240-185	6.0	1.64	1.09	0.82	0.66	0.55
240-185-120	6.0	1.64	1.09	0.82	0.66	0.55

b.3. Diseño de la capacidad de los enlaces

La Tabla 1.25 presenta las capacidades para los enlaces en función de la capacidad del alimentador troncal para capacidad de reserva de 33,3%.

Nótese que la máxima capacidad del enlace será de 4.2 MVA para una troncal de 240 mm² y comparando con la Tabla 1.12 en donde el conductor de 70 mm² tiene una capacidad en de 8.0 MVA. Entonces esta sección es suficiente para ser usado como conductor de enlace, pero por efecto de caída de tensión también se considera la sección de 120 mm².

Tabla 1.25 Capacidad del enlace aéreo

Sección Nominal de Troncal aérea (mm ²)	Capacidad del enlace de diseño (MVA)	Capacidad del enlace en Función de Capacidad Asumido (MVA)
120	3.01	1.37
185	4.25	2.00
240	4.25	2.00
185-120	4.25	2.00
240-120	4.25	2.00
240-185	4.25	2.00
240-185-120	4.25	2.00

b.4. Diseño del alcance máximo del alimentador troncal

La Tabla 1.26 presenta las longitudes máximas que tendría la troncal aérea, dependiendo de la sección de la Troncal, del número de PDLs y para una capacidad asumida en la troncal de 6 MVA. La Tabla 1.27 presenta los alcances máximos de diseño al considerar la capacidad máxima del alimentador troncal.

Tabla 1.26 Alcance máximo de diseño del alimentador troncal

Sección Nominal Troncal aérea (mm ²)	Capacidad de potencia salida de troncal (MVA)	Alcance Máximo para del alimentador troncal (km)				
		Numero de PDL				
		2	3	4	5	6
120	9.0	6.5	7.4	7.9	8.2	8.4
185	12.7	5.3	6.0	6.4	6.7	6.8
240	12.7	5.8	6.5	6.9	7.2	7.4
185-120	12.7	5.0	5.6	5.9	6.2	6.4
240-120	12.7	5.1	5.8	6.2	6.4	6.6
240-185	12.7	5.5	6.2	6.6	6.9	7.1
240-185-120	12.7	5.2	5.8	6.2	6.5	6.7

Tabla 1.27 Alcance máximo del alimentador troncal en función de la capacidad asumida

Sección Nominal Troncal aérea (mm ²)	Capacidad de potencia salida de troncal (MVA)	Alcance Máximo para del alimentador troncal (km)				
		Numero de PDL				
		2	3	4	5	6
120	5.6	7.6	8.5	9.1	9.5	9.8
185	4.1	14.4	16.2	17.3	18.0	18.5
240	6.0	11.3	12.7	13.6	14.2	14.6
185-120	6.0	12.2	13.8	14.7	15.3	15.7
240-120	6.0	10.5	11.8	12.6	13.2	13.5
240-185	6.0	10.9	12.3	13.1	13.6	14.0
240-185-120	6.0	11.8	13.2	14.1	14.7	15.1

b.5. Diseño del alcance máximo de los laterales

La Tabla 1.28 muestra las longitudes máximas que podrían tener los laterales de 70 mm² para diversas secciones alternativas del alimentador troncal y para una capacidad asumida en la troncal de 6 MVA. La Tabla 1.29 presenta los alcances máximos que tendrían los laterales para la capacidad de diseño del alimentador troncal y los laterales.

Tabla 1.28 Alcance máximo de los laterales aéreos de 70 mm²

Sección Nominal (mm ²)	Alcance (km)				
	Numero de PDL				
	2	3	4	5	6
120	1.9	2.9	3.9	4.8	5.8
185	1.4	2.0	2.7	3.4	4.1
240	1.4	2.0	2.7	3.4	4.1
185-120	1.4	2.0	2.7	3.4	4.1
240-120	1.4	2.0	2.7	3.4	4.1
240-185	1.4	2.0	2.7	3.4	4.1
240-185-120	1.4	2.0	2.7	3.4	4.1

Tabla 1.29 Alcance máximo de los laterales aéreos de 70 mm² en función de la capacidad asumida

Sección Nominal (mm ²)	Alcance (km)				
	Numero de PDL				
	2	3	4	5	6
120	4.2	6.4	8.5	10.6	12.7
185	2.9	4.4	5.8	7.3	8.7
240	2.9	4.4	5.8	7.3	8.7
185-120	2.9	4.4	5.8	7.3	8.7
240-120	2.9	4.4	5.8	7.3	8.7
240-185	2.9	4.4	5.8	7.3	8.7
240-185-120	2.9	4.4	5.8	7.3	8.7

1.4.3. Alimentadores Tipo AL 2

a. Alternativas de cables subterráneos

a.1. Diseño de la capacidad del alimentador troncal.

Se plantean como alternativas para la troncal:

- Una sola sección de 120 mm²
- Una sola sección de 240 mm²
- Una sección de 240 mm² hasta la mitad y 120 mm² en la segunda mitad.

La Tablas 1.30 y 1.31 presentan las capacidades de corriente y potencia para los alimentadores troncales en condiciones normales de operación y en condiciones de emergencia respectivamente.

Tabla 1.30 Capacidad del alimentador troncal subterráneo en condiciones normales de operación

Sección Nominal (mm ²)	Capacidad de corriente (A)	Capacidad de potencia (MVA)
	F _c = 1.0	F _c = 1.0
120	223	8.8
240	297	11.8
240-120	297	11.8

Tabla 1.31 Capacidad del alimentador troncal subterráneo en condiciones de emergencia

Sección Nominal (mm ²)	Capacidad de corriente (A)	Capacidad de potencia (MVA)
	F _c = 1.0	F _c = 1.0
120	274	10.9
240	365	14.5
240-120	365	14.5

a.2. Diseño de la capacidad de los laterales

La Tabla 1.32 presenta las capacidades para los dos laterales ubicados en el último PDL, en función de la capacidad del alimentador troncal y el número de PDLs.

La máxima capacidad del lateral será de 4.3 MVA para una troncal de 240 mm² y dos PDLs, comparando con la Tabla 1.9 vemos que la capacidad para la mínima sección de 50 mm² para un $F_c = 1.0$ es de 7.7 MVA, mayor al valor requerido.

Por tanto se plantea como única alternativa para los laterales el cable N2XSY de 50 mm² de sección.

Tabla 1.32 Capacidad del alimentador lateral subterráneo

Sección Nominal Troncal (mm ²)	Capacidad de potencia en la troncal (MVA)	Capacidad (MVA)	
		Numero de PDL	
		FC ≤ 0,75	
120	8.8	2	3
240	11.8	3.2	2.4
240-120	11.8	4.3	3.2

a.3. Diseño de la capacidad de los enlaces

La Tabla 1.33 presenta las capacidades para el enlace en función de la capacidad del alimentador troncal para reserva del 33,3%.

La máxima capacidad del enlace será de 4.4 MVA para una troncal de 240 mm² y reserva del 33,3%. De acuerdo a la Tabla 1.9 el cable de 50 mm² con una capacidad en condiciones normales de 7.7 MVA es suficiente. Sin embargo, por efectos de menor caída de tensión, también consideraremos como alternativa la sección de 70 mm².

Por tanto se plantean como alternativas para los enlaces las secciones de 50 mm² y 70 mm².

Tabla 1.33 Capacidad del enlace subterráneo

Sección Nominal Troncal (mm ²)	Capacidad del enlace (MVA)
120	3.3
240	4.4
240-120	4.4

a.4. Diseño del alcance máximo del alimentador troncal

La Tabla 1.34 muestra los alcances que podría tener el alimentador troncal, dependiendo de la sección del cable troncal y del número de PDLs.

Tabla 1.34 Alcance máximo del alimentador troncal

Sección Nominal Troncal (mm ²)	Capacidad de potencia en la troncal (MVA) FC = 1.0	Alcance Máximo para del alimentador troncal (km)	
		Numero de Puntos de Derivación de Laterales (PDL)	
		2	3
120	8.8	10.1	11.4
240	11.8	9.9	11.1
240-120	11.8	8.6	9.7

a.5. Diseño del alcance máximo de los laterales

La Tabla 1.35 muestra las longitudes máximas que podrían tener los laterales de N2XSY de 50 mm² ubicados en el último PDL para diversas secciones alternativas del alimentador troncal

Tabla 1.35 Alcance máximo de los laterales

Sección Nominal Troncal (mm ²)	Alcance Máximo para los laterales de 50 mm ² (km)	
	Numero de Puntos de Derivación de Laterales (PDL)	
	2	3
120	3.8	5.1
240	2.9	3.8
240-120	2.9	3.8

b. Alternativas de conductores aéreos

Estos alimentadores pueden instalarse en zonas de media densidad, donde se requiere brindar servicio a clientes relativamente cercanos a los centros de carga. En estos casos el diseño por carga concentrada (04 PDLs) es preponderante respecto al diseño por alcance máximo.

b.1. Diseño de la capacidad del alimentador troncal.

La capacidad del alimentador troncal está limitada por la capacidad del tramo de cable subterráneo a la salida de la SET. Por tanto la capacidad del alimentador troncal aéreo será la misma que para una troncal subterránea y de sección equivalente tal como se indica en Tabla 1.36. Las secciones equivalentes se establecen comparando las capacidades en condiciones de emergencia del conductor aéreo y la máxima demanda en los alimentadores subterráneos en condiciones de emergencia, cuando asume el 33,3 % de la carga del alimentador adyacente.

Tabla 1.36 Secciones del N2XSY equivalentes al conductor aéreo de aleación de aluminio

Sección Nominal troncal aérea (mm ²)	Sección Nominal Equivalente de troncal subterránea N2XSY (mm ²)
120	120
185	240
240	240
240 – 120	240
240 – 185	240

Se plantean como alternativas para la troncal:

- Una sola sección de 120 mm²
- Una sola sección de 185 mm²
- Una sola sección de 240 mm²
- Una sección de 185 mm² hasta la mitad y 120 mm² en la segunda mitad.
- Una sección de 240 mm² hasta la mitad y 120 mm² en la segunda mitad.
- Una sección de 240 mm² hasta la mitad y 185 mm² en la segunda mitad.
- Tres tramos iguales de 240, 185 y 120 mm² respectivamente. Cada tramo igual a la tercera parte de la longitud total de la troncal.

Las Tablas 1.37 y 1.38 presentan las capacidades para los alimentadores troncales aéreos con salida de cable subterráneo en condiciones normales de operación y en condiciones de emergencia respectivamente.

Tabla 1.37 Capacidad del alimentador troncal aéreo en condiciones normales de operación

Sección Nominal troncal aérea (mm ²)	Equivalente Sección Nominal Cable N2XSY salida troncal (mm ²)	Capacidad de corriente (A)	Capacidad de potencia (MVA)
120	120	223	8.8
185	240	297	11.8
240	240	297	11.8
185-120	240	297	11.8
240-120	240	297	11.8
240-185	240	297	11.8
240-185-120	240	297	11.8

Tabla 1.38 Capacidad del alimentador troncal aéreo en condiciones de emergencia

Sección Nominal troncal aérea (mm ²)	Equivalente Sección Nominal Cable N2XSY salida troncal (mm ²)	Capacidad de corriente (A)	Capacidad de potencia (MVA)
120	120	274	10.9
185	240	365	14.5
240	240	365	14.5
185-120	240	365	14.5
240-120	240	365	14.5
240-185	240	365	14.5
240-185-120	240	365	14.5

b.2. Diseño de la capacidad de los laterales

La Tabla 1.39 presenta las capacidades para los laterales en función de la capacidad del alimentador troncal y de PDLs, de cada PDL salen 2 laterales.

Nótese que la máxima capacidad del lateral será de 3.44 MVA para una troncal de 240 mm² y dos PDLs. Comparando este valor con los de la Tabla 1.12 vemos que la capacidad para la sección de 70 mm² es de 8.0 MVA.

Por tanto, se plantea como única alternativa para los laterales en sección de 70 mm².

Tabla 1.39 Capacidad del alimentador lateral aéreo

Sección Nominal Troncal (mm ²)	Capacidad de potencia en la troncal (MVA)	Capacidad por lateral en función del número de Puntos de Derivación de Lateral - PDL (Dos Laterales por PDL) (MVA)		
		Numero de PDL		
		2	3	4
120	8.8	2.41	1.61	1.21
185	11.8	3.22	2.14	1.61
240	11.8	3.22	2.14	1.61
185-120	11.8	3.22	2.14	1.61
240-120	11.8	3.22	2.14	1.61
240-185	11.8	3.22	2.14	1.61
240-185-120	11.8	3.22	2.14	1.61

b.3. Diseño de la capacidad de los enlaces

La Tabla 1.40 presenta las capacidades para los enlaces en función de la capacidad del alimentador troncal para capacidad de reserva de 33%.

Nótese que la máxima capacidad del enlace será de 5.58 MVA para una troncal de 240 mm² y comparando con la Tabla 1.12 vemos que el conductor de 70 mm² tiene una capacidad en de 8.0 MVA, suficiente para ser usado como conductor de enlace, pero por efecto de caída de tensión también se considera la sección de 120 mm².

Tabla 1.40 Capacidad del enlace aéreo

Sección Nominal de Troncal aérea (mm ²)	Capacidad del enlace (MVA)
120	2.94
185	3.92
240	3.92
185-120	3.92
240-120	3.92
240-185	3.92
240-185-120	3.92

b.4. Diseño del alcance máximo del alimentador troncal

La Tabla 1.41 presenta las longitudes máximas que tendría la troncal aérea dependiendo de la sección de la troncal y del número de PDLs.

Tabla 1.41 Alcance máximo del alimentador troncal

Sección Nominal Troncal aérea (mm ²)	Capacidad de potencia salida de troncal (MVA)	Alcance Máximo para del alimentador troncal (km)		
		Numero de PDL		
		2	3	4
120	8.8	6.7	7.5	8.0
185	11.8	5.8	6.5	6.9
240	11.8	6.2	7.0	7.5
185-120	11.8	5.4	6.0	6.4
240-120	11.8	5.6	6.3	6.7
240-185	11.8	6.0	6.7	7.2
240-185-120	11.8	5.6	6.3	6.8

b.5. Diseño del alcance máximo de los laterales

La Tabla 1.42 muestra las longitudes máximas que podrían tener los laterales de 70 mm² para diversas secciones alternativas del alimentador troncal.

Tabla 1.42 Alcance máximo de los laterales aéreos de 70 mm²

Sección Nominal (mm ²)	Alcance (km)		
	Numero de PDL		
	2	3	4
120	2.0	3.0	3.9
185	1.5	2.2	3.0
240	1.5	2.2	3.0
185-120	1.5	2.2	3.0
240-120	1.5	2.2	3.0
240-185	1.5	2.2	3.0
240-185-120	1.5	2.2	3.0

CAPITULO II

ALTERNATIVAS TOPOLOGICAS DE ALIMENTADORES AEREOS Y SUBTERRANEOS DEL SECTOR TIPICO 1

2.1. Descripción de alternativas de topología radial en alimentadores primarios

La topología más simple y menos costosa de alimentador primario es el alimentador tal como se muestra en figura 2.1. El alimentador principal o troncal se ramifica en varios laterales primarios los cuales a su vez se separan en sublaterales para servir a los clientes a través de subestaciones de distribución ubicadas en los centros de carga. En general, el alimentador principal es trifásico y los laterales pueden ser trifásicos o monofásicos dependiendo de los tipos cargas y de la potencia requerida.

La magnitud de la corriente es mayor en la troncal y disminuye continuamente conforme nos acercamos al final del alimentador (laterales y sublaterales). Una consecuencia directa de lo anterior es que las secciones de los conductores del alimentador pueden reducirse continuamente. Sin embargo, esta reducción de sección está restringida por la regulación de tensión, es decir, no deben superarse los límites térmicos de los conductores y respetarse las tolerancias máximas en la variación de tensión primaria.

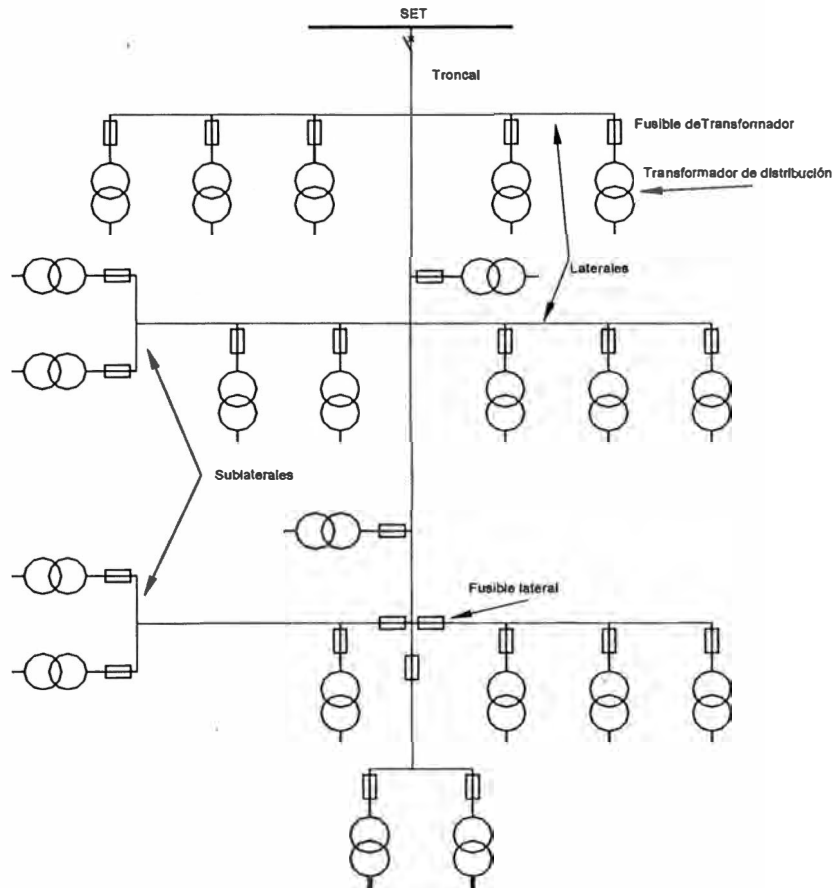


Fig. 2.1 Tipo de alimentador radial

La anterior configuración puede modificarse para incluir enlaces y dispositivos de seccionalización, lo que provee rápida restauración del servicio a los clientes al desconectar las secciones bajo falla del alimentador o conectando parte de su carga sin servicio hacia alimentadores adyacentes. Los enlaces pueden efectuarse entre alimentadores pertenecientes a una misma SET o a diferentes SETs.

En la figura 2.2 también puede notarse una característica importante que debe tenerse en cuenta; cada alimentador tiene un área específica a la cual brinda servicio y solamente habrá intersección entre alimentadores mientras dure la transferencia de carga por razones de emergencia.

Esta topología es la más próxima a los alimentadores del sector típico 1 y es la que se tomará como base para los tres tipos de red:

- Red subterránea. Red primaria netamente subterránea.
- Red aérea. Red primaria netamente aérea.
- Red aérea con subestaciones convencionales.

Para cada tipo de red, la diferencia se establecerá por el tipo de conductor o cable y por los equipos de protección y maniobra o seccionamiento.

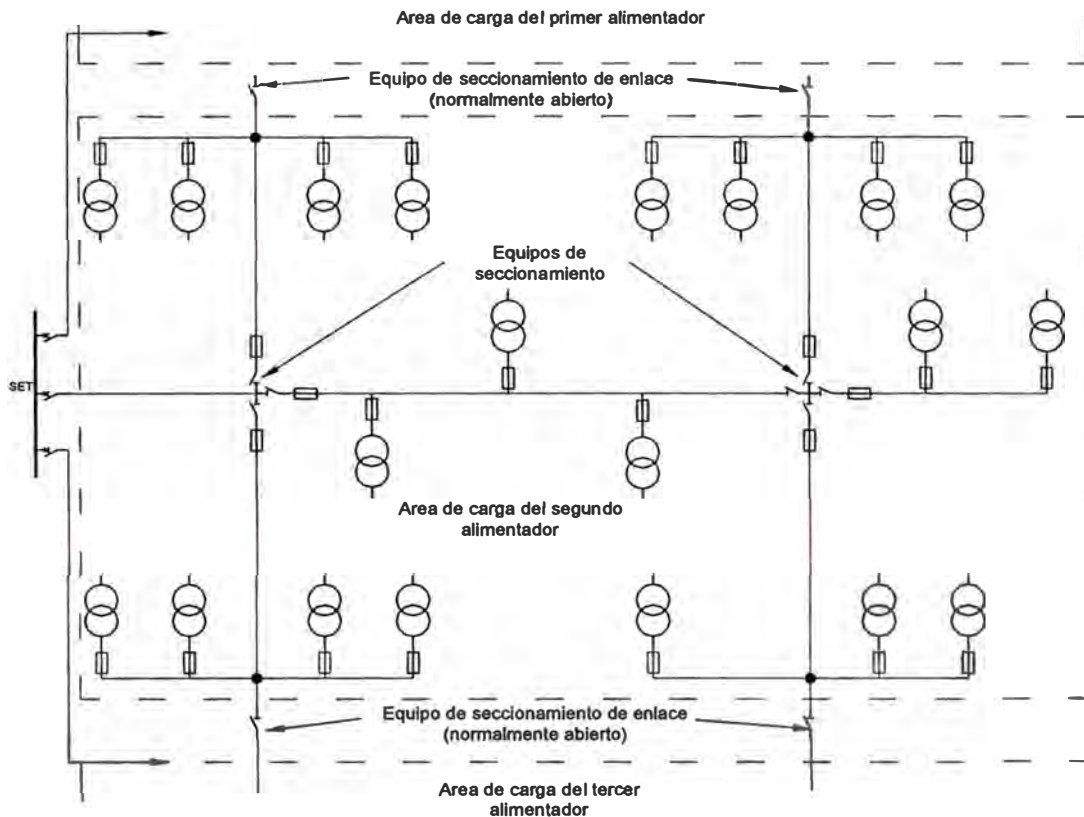


Fig. 2.2 Tipo de alimentador radial con enlaces y equipos de seccionamiento

2.2. Alimentadores Tipo AL 1

2.2.1. Alternativas topológicas para red subterránea

El alimentador troncal y los laterales serán de cable seco unipolar N2XSY de las siguientes secciones alternativas:

- Una sola sección de 120 mm²
- Una sola sección de 240 mm²
- Una sección de 240 mm² hasta la mitad y 120 mm² en la segunda mitad.

La Tabla 2.1 presenta las alternativas topológicas para la red subterránea con cable N2XSY.

Tabla 2.1 Alternativas topológicas para red subterránea con cable N2XSY

	ALTERNATIVA		
	1	2	3
Alimentador troncal			
1. Sección conductor (mm ²)	120	240	240-120
2. Capacidad (MVA)	9.0	12.7	12.7
3. Capacidad de reserva (MVA)	3.0	4.2	4.2
4. Alcance máximo (km)	11.2	10.2	8.9
5. Numero de PDLs	3	3	3
6. Numero máximo de subestaciones convencionales	3	3	3
Lateral			
1. Sección conductor (mm ²)	50	50	50
2. Numero de laterales	6	6	6
3. Capacidad distribución uniforme (MVA)	1.65	2.32	2.32
4. Capacidad ultimo lateral distribución triangular (MVA)	2.47	3.49	3.49
5. MD no coincidente (*)	Capacidad/f _{sl} (**)	Capacidad/f _{sl} (**)	Capacidad/f _{sl} (**)
6. Alcance máximo distribución uniforme (km):			
50 mm ² :	7.5	5.3	5.3
7. Alcance máximo ultimo lateral distribución triangular (km):			
50 mm ² :	5.0	3.5	3.5
Enlace			
1. Sección conductor (mm ²)	50 y 70	50 y 70	50 y 70
2. Numero de enlaces	2	2	2
3. Capacidad (MVA)	3.0	4.2	4.2

(*) Carga no coincidente: Suma de máximas demandas de las cargas conectadas a cada lateral. Se utiliza para dimensionar las subestaciones.

(**) f_{sl}: Factor de simultaneidad respecto al lateral.

2.2.2. Alternativas topológicas para red aérea

El alimentador troncal inicia con un tramo de cable subterráneo hasta un punto de subida donde empalma con el conductor aéreo del alimentador troncal.

El tramo subterráneo será de cable N2XSY y el conductor aéreo del alimentador troncal será de aleación de aluminio con las siguientes secciones alternativas.

- Una sola sección de 120 mm²
- Una sola sección de 185 mm²
- Una sola sección de 240 mm²
- Una sección de 185 mm² hasta la mitad y 120 mm² en la segunda mitad.
- Una sección de 240 mm² hasta la mitad y 120 mm² en la segunda mitad.
- Una sección de 240 mm² hasta la mitad y 185 mm² en la segunda mitad.
- Tres tramos iguales de 240, 185 y 120 mm² respectivamente. Cada tramo igual a la tercera parte de la longitud total de la troncal.

La Tabla 2.2 presenta las alternativas topológicas para red aérea con conductor desnudo de aleación de aluminio.

Tabla 2.2 Alternativas topológicas para red aérea con conductor desnudo de aleación de aluminio

	ALTERNATIVA						
	1	2	3	4	5	6	7
Alimentador troncal							
1. Sección conductor (mm ²)	120	185	240	185-120	240-120	240-185	240-185-120
2. Capacidad (MVA)	4.1	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
3. Capacidad de reserva (MVA)	1.4	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
4. Alcance máximo (km)	18.5	14.6	15.7	13.5	14.0	15.1	14.2
5. Numero de PDLs	6	6	6	6	6	6	6
Lateral							
1. Sección conductor (mm ²)	70	70	70	70	70	70	70
2. Numero de laterales	12	12	12	12	12	12	12
3. Capacidad distribución uniforme (MVA)	0.37	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
4. Capacidad ultimo lateral distribución triangular (MVA)	0.64	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
5. MD no coincidente (*)	Capacidad / f_{sl} (**)	Capacidad / f_{sl} (**)	Capacidad / f_{sl} (**)	Capacidad / f_{sl} (**)	Capacidad / f_{sl} (**)	Capacidad / f_{sl} (**)	Capacidad / f_{sl} (**)
6. Alcance máximo distribución uniforme (km):							
70 mm ² :	12.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7
7. Alcance máximo ultimo lateral distribución triangular (km):							
70 mm ² :	7.4	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
Enlace							
1. Sección conductor (mm ²)	70	70	70	70	70	70	70
2. Numero de enlaces	2	2	2	2	2	2	2
3. Capacidad (MVA)	1.4	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

(*) Carga no coincidente: Suma de máximas demandas de las cargas conectadas a cada lateral. Se utiliza para dimensionar las subestaciones.

(**) f_{sl} : Factor de simultaneidad respecto al lateral.

2.2.3. Red aérea con subestaciones convencionales

Las alternativas de alimentador troncal, laterales, enlaces y alcances máximas serán las misma que para la red aérea propiamente considerando en cada PDL la ubicación de una subestación convencional lo que involucra a su vez diferentes equipos de protección y maniobra cuyas alternativas se presentan en este informe.

2.3. Alimentadores Tipo AL 2

2.3.1. Alternativas topológicas para red subterránea

El alimentador troncal y los laterales serán de cable seco unipolar N2XSY de las siguientes secciones alternativas:

- Una sola sección de 120 mm²
- Una sola sección de 240 mm²
- Una sección de 240 mm² hasta la mitad y 120 mm² en la segunda mitad.

La Tabla 2.3 presenta las alternativas topológicas para la red subterránea con cable N2XSY.

Tabla 2.3 Alternativas topológicas para red subterránea con cable N2XSY

	ALTERNATIVA		
	1	2	3
Alimentador troncal			
1. Sección conductor (mm ²)	120	240	240-120
2. Capacidad (MVA)	8.8	11.8	11.8
3. Capacidad de reserva (MVA)	2.9	3.9	3.9
4. Alcance máximo (km)	10.1	9.9	8.6
5. Numero de PDLs	2	2	2
6. Numero máximo de subestaciones convencionales	2	2	2
7. Numero de PDLs			
Lateral			
1. Sección conductor (mm ²)	50	50	50
2. Numero de laterales	4	4	4
3. Capacidad distribución uniforme (MVA)	2.41	3.22	3.22
4. Capacidad ultimo lateral distribución triangular (MVA)	3.22	4.29	4.29
5. MD no coincidente (*)	Capacidad/f _{sl} (**)	Capacidad/f _{sl} (**)	Capacidad/f _{sl} (**)
6. Alcance máximo distribución uniforme (km): 50 mm ² :	5.1	3.8	3.8
7. Alcance máximo ultimo lateral distribución triangular (km): 50 mm ² :	3.8	2.9	2.9
Enlace			
1. Sección conductor (mm ²)	50 y 70	50 y 70	50 y 70
2. Numero de enlaces	2	2	2
3. Capacidad (MVA):	2.9	3.9	3.9

(*) Carga no coincidente: Suma de máximas demandas de las cargas conectadas a cada lateral. Se utiliza para dimensionar las subestaciones.

(**) f_{sl}: Factor de simultaneidad respecto al lateral.

2.3.2. Alternativas topológicas para red aérea

El alimentador troncal inicia con un tramo de cable subterráneo hasta un punto de subida donde empalma con el conductor aéreo del alimentador troncal.

El tramo subterráneo será de cable N2XS_Y y el conductor aéreo del alimentador troncal será de aleación de aluminio con las siguientes secciones alternativas:

- Una sola sección de 120 mm²
- Una sola sección de 185 mm²
- Una sola sección de 240 mm²
- Una sección de 185 mm² hasta la mitad y 120 mm² en la segunda mitad.
- Una sección de 240 mm² hasta la mitad y 120 mm² en la segunda mitad.
- Una sección de 240 mm² hasta la mitad y 185 mm² en la segunda mitad.
- Tres tramos iguales de 240, 185 y 120 mm² respectivamente. Cada tramo igual a la tercera parte de la longitud total de la troncal.

La Tabla 2.4 presenta las alternativas topológicas para red aérea con conductor desnudo de aleación de aluminio.

Tabla 2.4 Alternativas topológicas para red aérea con conductor desnudo de aleación de aluminio

	ALTERNATIVA						
	1	2	3	4	5	6	7
Alimentador troncal							
1. Sección Conductor (mm ²)	120	185	240	185-120	240-120	240-185	240-185-120
2. Capacidad (MVA)	8.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8
3. Capacidad de reserva (MVA)	2.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9
4. Alcance máximo (km)	8.0	6.9	7.5	6.4	6.7	7.2	6.8
5. Numero de PDLs	4	4	4	4	4	4	4
Lateral							
1. Sección conductor (mm ²)	70	70	70	70	70	70	70
2. Numero de laterales	8	8	8	8	8	8	8
3. Capacidad distribución uniforme (MVA)	1.21	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61
4. Capacidad ultimo lateral distribución triangular (MVA)	1.93	2.57	2.57	2.57	2.57	2.57	2.57
5. MD no coincidente (*)	Capacidad $f_{sl}^{(**)}$	Capacidad $f_{sl}^{(**)}$	Capacidad $f_{sl}^{(**)}$	Capacidad $f_{sl}^{(**)}$	Capacidad $f_{sl}^{(**)}$	Capacidad $f_{sl}^{(**)}$	Capacidad $f_{sl}^{(**)}$
6. Alcance máximo distribución uniforme (km):							
70 mm ² :	3.9	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
7. Alcance máximo ultimo lateral distribución triangular (km):							
70 mm ² :	2.5	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
Enlace							
1. Sección conductor (mm ²)	70	70	70	70	70	70	70
2. Numero de enlaces	2	2	2	2	2	2	2
3. Capacidad (MVA)	2.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9

(*) Carga no coincidente: Suma de máximas demandas de las cargas conectadas a cada lateral. Se utiliza para dimensionar las subestaciones.

(**) f_{sl} : Factor de simultaneidad respecto al lateral.

2.3.3. Red aérea con subestaciones convencionales

Las alternativas de alimentador troncal, laterales, enlaces y alcances máximas serán las misma que para la red aérea propiamente considerando en cada PDL la ubicación de una subestación convencional lo que involucra a su vez diferentes equipos de protección y maniobra cuyas alternativas se presentan en el presente informe.

CAPITULO III

EVALUACION ECONOMICA DE ALTERNATIVAS TOPOLOGICAS

3.1. Introducción

En el Capítulo II se determinaron las alternativas topológicas por tipo de red, aérea y subterránea, para cada tipo de alimentador AL 1 y AL 2.

Considerando que toda evaluación de alternativas debe realizarse bajo las mismas condiciones, en el presente capítulo se diseñan modelos de red aérea y subterránea en función de las características propias de los sistemas del sector típico 1, y la evaluación económica se realizara en dos partes: Evaluación de red y evaluación del sistema de protección y maniobra.

Para realizar la evaluación sólo de la red, se asigna un costo total a cada alternativa de red topológica, siendo la mejor aquella de menor costo total.

Este costo está asociado a la inversión inicial en red, costo de mantenimiento y costo por pérdidas técnicas de potencia y energía.

La inversión inicial de cada alternativa se determina en función de las cantidades de red del alimentador modelo y costos unitarios. Los costos unitarios directos de la red aérea y subterránea corresponden a los costos de la empresa de distribución del sector típico 1.

El costo de mantenimiento se considera como un porcentaje del costo de inversión inicial. Además, el costo asociado a las pérdidas técnicas de potencia y energía se calcula para cada año del periodo de evaluación y dependen de la potencia de envío a la salida del alimentador, de la longitud de red, la sección del conductor o cable de troncales y laterales y del modelo de distribución de carga.

Para la evaluación del sistema de protección y maniobra se asigna un costo total a cada alternativa, siendo la alternativa óptima aquella de menor costo total. Este costo es la suma de la inversión inicial en EP&M, costo de mantenimiento y costo de compensación por interrupciones del servicio.

La inversión inicial de cada alternativa se determina en función de las cantidades de EP&M del sistema modelo y costos unitarios. Los costos unitarios directos de EP&M,

fueron calculados según costos de materiales, mano de obra y transporte de la empresa de distribución.

El costo de mantenimiento se considera como un porcentaje del costo de inversión inicial. Los costos asociados a compensaciones y energía no suministrada (ENS) se calculan según las consideraciones, parámetros y formulas establecidas en el numeral 6.1 de la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos. Asimismo, la ENS se determina del análisis de confiabilidad realizado para cada alternativa de sistema de protección.

3.2. Enfoque y metodología de trabajo

Dada una serie de alternativas se puede determinar el costo total de cada alternativa utilizando la ecuación 3.1.

$$CT_i = Cl_i + VAN_CM_i + VAN_CPTP \& E_i + VAN_CIN_i \quad (3.1)$$

Donde:

- CT_i : Costo Total asociado a la alternativa i.
- Cl_i : Costo de Inversión Inicial de la alternativa i.
- VAN_CM_i : Valor Actual Neto del Costo de Mantenimiento de la alternativa i.
- $VAN_CPTP \& E_i$: Valor Actual Neto del Costo por Pérdidas Técnicas de Potencia y Energía de la alternativa.
- VAN_CIN_i : Valor Actual Neto de la Compensación por Interrupción del servicio de la alternativa i.

$$MejorAlternativa = Min(CT_i) \quad (3.2)$$

Previamente sería necesario aplicar a cada alternativa de red todas las alternativas de protección y maniobra, ampliando cada alternativa en varias subalternativas.

Sin embargo, aplicando el principio que toda evaluación debe realizarse sometiendo las alternativas a las mismas condiciones, para cada tipo de alimentador (AL 1 y AL 2), para cada tipo de red (aéreo y subterráneo) es necesario definir un modelo de red y analizar cada alternativa topológica bajo este modelo.

Dos parámetros del modelo que tienen implicancia directa en los sistemas de protección y maniobra (SP&M) son el nivel de tensión y potencia de envío a la salida del alimentador. Con el nivel de tensión se define el nivel básico de aislamiento (BIL) de todo

los equipos de protección y maniobra (EP&M) mientras que la potencia o corriente de máxima demanda en el alimentador es importante para definir su corriente nominal.

Otro parámetro importante, especialmente para los interruptores, es la potencia o corriente de cortocircuito de la red, cuyo cálculo depende de las impedancias de la red y por tanto de la sección de los conductores o cables. Sin embargo, los valores de potencia o corriente de cortocircuito nominales de los equipos ya se encuentran estandarizados por el IEC, IEEE, ANSI y por los fabricantes.

Es decir, al aplicar el mismo modelo de red a un grupo de alternativas, la elección de los EP&M es indiferente de la sección del conductor o cable del alimentador, salvo algunos materiales accesorios cuyo costo es marginal respecto al costo de inversión del equipo.

Por lo tanto, como las alternativas de red dependen fundamentalmente de la sección del conductor o cable subterráneo de la troncal, podemos realizar la evaluación en dos etapas. En la primera etapa se realiza la evaluación económica sólo de la red considerando sus costos de inversión inicial, mantenimiento y costo por pérdidas técnicas de potencia y energía, a cuya suma llamaremos Costo Total en Red. La mejor alternativa será aquella con el menor Costo Total en Red.

En la segunda etapa se generan sub-alternativas aplicando las alternativas de protección y maniobra a la alternativa topológica ganadora, considerando costos de inversión inicial, costos de mantenimiento de los EP&M y el costo asociado a la compensación por interrupciones del servicio. A la suma de los tres costos denominaremos Costo Total en Sistemas de Protección y la mejor alternativa para el SP&M será aquella de menor Costo Total en Sistemas de Protección.

$$CTR_i = CI_i(Re d) + VAN_CM_i(Re d) + VAN_CPTP \& E_i(Re d) \quad (3.3)$$

$$CTSP_i = CI_i(EP \& M) + VAN_CM_i(EP \& M) + VAN_Comp_i \quad (3.4)$$

Donde:

- CTR_i y $CTSP_i$: Costo Total en Red y Sistemas de Protección de la alternativa i.
- $CI_i(Re d)$ y $CI_i(EP \& M)$: Costo de Inversión Inicial en Red y equipos de Protección y Maniobra, respectivamente, de la alternativa i.
- $VAN_CM_i(Re d)$: Valor Actual Neto del Costo de Mantenimiento sólo de Red, de la alternativa i
- $VAN_CM_i(EP \& M)$: Valor Actual Neto del Costo de Mantenimiento sólo de Equipos de Protección y Maniobra de la alternativa i.

$VAN_{CPTP\&E_i(Red)}$: Valor Actual Neto del Costo por Pérdidas Técnicas de Potencia y Energía de la alternativa i.

VAN_{Comp_i} : Valor Actual Neto de la Compensación por Interrupción del servicio de la alternativa i.

$$Mejor_Alternativa_Red = Min(CostoTotal\ Red) \quad (3.5)$$

$$Mejor_Alternativa_Proteccion\&Maniobra = Min(CostoTotalSistema\ Proteccion) \quad (3.6)$$

3.3. Parámetros de evaluación

Los modelos tienen en cuenta parámetros topológicos tales como el nivel de tensión, tipo de red y longitud de troncales y laterales. Además, se consideran los dos modelos de distribución de cargas y los parámetros relacionados con la carga como la potencia inicial de envío, la tasa de crecimiento de la demanda, factor de carga, factor de pérdidas y factor de simultaneidad.

A su vez, las magnitudes de los parámetros dependen del tipo de red y tipo de alimentador a excepción de los parámetros económicos y aquellos relacionados a la calidad del servicio, los cuales son igualmente aplicables a todas las alternativas.

Los siguientes parámetros son aplicables a los dos tipos de red aérea y subterránea:

3.3.1. Parámetros topológicos

a. Alimentador troncal

Sección del conductor o cable (resistencia, reactancia e impedancia).

Longitud: La evaluación se realiza para el alcance máximo teórico calculado en el capítulo II.

Número de Puntos de Derivación de Lateral o PDL: Depende del tipo de tipo de alimentador, tipo de red y nivel de tensión.

b. Laterales

Sección del conductor o cable (resistencia, reactancia e impedancia).

Longitud: Alcance máximo teórico calculado en el capítulo II.

Numero de laterales por PDL: Indica la cantidad de laterales que derivan de cada PDL de la Troncal.

Numero de puntos de concentración de carga: Indica la cantidad y ubicación de los puntos en el lateral y que concentran toda su carga distribuida incluyendo clientes BT y MT.

3.3.2. Parámetros del sistema

Nivel de tensión: 22,9 kV.

Porcentaje de reserva: Es la carga adicional que puede asumir del alimentador adyacente vía un enlace auxiliar, en condiciones de máxima demanda, sin sobrepasar la magnitud de la corriente o potencia de emergencia del conductor o cable del alimentador. Se considera una reserva del 33,3% o 1/3 de la máxima carga del alimentador.

3.3.3. Parámetros relacionados a la carga

Potencia inicial de envío: Porcentaje de la potencia máxima del alimentador de la alternativa de menor sección.

Tasa de crecimiento de la carga: Se consideran dos escenarios, de mediano y alto crecimiento inicial de carga. En el primer escenario la tasa de crecimiento inicial es igual al crecimiento promedio anual de la energía a clientes regulados de la empresa de distribución durante el periodo 94 – 2002. En el segundo escenario se duplica el crecimiento inicial con el fin de analizar el efecto de un crecimiento de carga más agresivo.

Modelo de distribución de carga: En las troncales se consideran los modelos uniforme y triangular. En los laterales la carga se concentra en dos subestaciones de distribución ubicadas en el punto medio y final del lateral.

Porcentaje de concentración de carga en troncales y laterales: Se obtiene como resultado del análisis estadístico de la Base de Datos de máximas demandas de todas las subestaciones y clientes MT de los alimentadores típicos de la empresa de distribución.

Numero promedio de clientes BT en troncales y laterales.

Numero promedio de clientes MT en troncales y laterales.

Ambos parámetros se obtienen del análisis estadístico de la Base de Datos del número de clientes BT y MT de los alimentadores típicos.

Factor de carga del alimentador (Fc): 0,75 para alimentadores tipo AL 1 y 1,0 para alimentadores AL 2.

Factor de pérdidas (Fp): Se utiliza la ecuación de F.H.Buller y P.A.Wodrow que permite calcular en forma aproximada el factor de pérdidas del alimentador conociendo su factor de carga. El Fp se utiliza para calcular las pérdidas técnicas de energía.

Factor de simultaneidad entre alimentadores (Fs): Se utiliza el valor obtenido en el análisis del presente informe (Ver Anexo E) y se aplica el mismo valor a los dos tipos de alimentadores. El Fs es útil durante la evaluación de las alternativas de enlaces auxiliares.

Factor de simultaneidad entre laterales (Fs): Se utiliza el valor obtenido en el análisis del presente informe (Ver Anexo E) y se aplica el mismo valor en la evaluación de los dos tipos de alimentadores. Este Fs se utiliza para determinar la MD en los laterales, partiendo de la MD de la troncal.

Factor de participación en hora punta.

Factor de participación en hora fuera de punta.

Ambos factores sirven para calcular el costo promedio de la energía en barra, el cual es la suma ponderada de los costos de energía en hora punta y fuera de punta. Los factores de ponderación son los factores de participación.

Para cada tipo de alimentador AL 1 y AL 2, los factores se calculan de la curva de carga diaria acumulada de todos los alimentadores típicos pertenecientes a cada tipo. Según Osinerg, el intervalo de hora punta inicia a las 18 horas y concluye a las 23 horas.

3.3.4. Parámetros relacionados a la calidad del servicio

Máxima caída de tensión en operación normal: 5% según la regla 017.D del Código Nacional de Electricidad - CNE Suministro 2001.

Número de interrupciones por cliente y duración total ponderada de interrupciones por cliente: Los valores referenciales aplicables a los alimentadores de la empresa de distribución se obtienen de los cálculos de confiabilidad aplicados a los modelos de red y sistemas de protección. Asimismo, las tolerancias admitidas son establecidas en el numeral 6.1.4 de la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE) incluyendo las últimas modificaciones a octubre del 2003.

Tasas de falla y tiempos de reposición del servicio de red aérea, subterránea y de los EP&M: Para la red se utilizan estadística de la empresa de distribución del periodo 98-99 y para los equipos de protección y maniobra se consideran los datos del estándar IEEE ST 493-1997.

3.3.5. Parámetros económicos

Periodo de evaluación: Igual al tiempo de vida útil de la red.

Costos unitarios de inversión en red y equipos de protección y maniobra: Serán los costos utilizados en la empresas de distribución a octubre del año 2003.

Costos mantenimiento en red: porcentaje de la inversión inicial y se diferencia para red aérea y subterránea.

El costo de mantenimiento representa el 2,5% de la inversión inicial en red aérea y 1,5% en red subterránea. Este porcentaje es un valor representativo de los costos típicos en operaciones de mantenimiento predictivo y correctivo, en frío y en caliente, de las instalaciones eléctricas MT de la empresa de distribución.

Sin embargo, con el fin de evaluar el efecto del costo de mantenimiento en los resultados finales, se realizó el análisis de sensibilidad del Costo Total en Red, variando el porcentaje de Mantenimiento desde el 0% hasta 10%.

Los resultados permiten concluir que el orden de mérito de las alternativas de red no varía. Es decir, al incrementar la proporción de los Costos de Mantenimiento desde 0% a 10%, el Menor Costo Total siempre corresponde a la misma alternativa.

Tasa anual de retorno de inversión (TIR): El mismo valor considerado en el art. 79 de la Ley de Concesiones Eléctricas (12%). La tasa de retorno se utiliza para el cálculo del valor presente (VAN) del flujo de costos de pérdidas de potencia y energía, costos anuales de mantenimiento y compensaciones anuales.

Tarifa en barra de potencia: Precio de potencia en barra en subestación base Lima a noviembre del 2003 (Dato Osinerg). Esta tarifa se utiliza para el cálculo del costo de pérdidas anuales de potencia.

Tarifa en barra de energía en hora punta y fuera de punta: Precios de energía en barra en subestación base Lima a noviembre del 2003 (Dato Osinerg). La tarifa de energía es útil para el cálculo de las pérdidas anuales de energía.

Si consideramos los parámetros “longitud” de troncales y laterales y “tasa de crecimiento de la carga” se concluye que la evaluación económica de la red y sistema de protección, se realizarán para cuatro casos tal como se resume en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Casos de evaluación

Casos	Crecimiento de carga	Alcances de troncales y lateral
Primer caso	Primer escenario: mediano crecimiento inicial (7,4%)	Alcances teóricos máximos de diseño
Segundo caso	Primer escenario: mediano crecimiento inicial (7,4%)	Alcances reales según información de la empresa de distribución
Tercer caso	Segundo escenario: alto crecimiento inicial (15%)	Alcances teóricos máximos de diseño
Cuarto caso	Segundo escenario: alto crecimiento inicial (15%)	Alcances reales según información de la empresa de distribución

Es decir, para determinar las mejores alternativas de red y SP&M en red aérea y subterránea, para los dos tipos de alimentadores AL 1 y AL 2, se aplica a cada una de las

alternativas los cuatro casos mencionados, cada uno de ellos con todos los parámetros descritos anteriormente.

3.4. Diseño de modelos topológicos

En general, los modelos consideran a la troncal con una sección que depende de la alternativa y una distribución de carga uniforme o triangular en las troncales pero concentradas en un número limitado de PDLs (un lateral por PDL). En los laterales la carga se concentra por igual en dos puntos, a la mitad y al final del lateral.

Debemos resaltar que el modelo tradicional de distribución uniforme de cargas considera un número muy grande de PDLs, lo que equivale a concentrar la carga a $\frac{1}{2}$ de la longitud total de la troncal para el cálculo de la caída de tensión y a $\frac{1}{3}$ de la longitud para el cálculo de las pérdidas de potencia y energía.

Similarmemente, el modelo tradicional de distribución de carga triangular considera un número muy grande de PDLs, lo que equivale a concentrar toda la carga a $\frac{2}{3}$ y $\frac{8}{15}$ de longitud total de la troncal para evaluar la caída de tensión y pérdidas de potencia y energía respectivamente.

Sin embargo, de acuerdo a las tablas de alternativas topológicas planteadas en el capítulo II existirán como máximo 06 PDLs, lo que hacen poco aplicables los modelo tradicionales. Por tal motivo, se han deducido las ecuaciones para el cálculo de la caída de tensión y pérdidas técnicas de potencia y energía. Estas ecuaciones dependen del número de PDLs en la troncal o puntos de concentración de carga en los laterales (dos puntos).

Asimismo, el análisis estadístico de los datos de máxima demanda de subestaciones y clientes en los alimentadores típicos de la empresa de distribución permite establecer los siguientes porcentajes aproximados de concentración de carga dados en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Concentración de carga por tipo de alimentador

Tipo Alimentador	Tipo Red	Nivel Tensión	Concentración de carga Alimentador		Concentración de carga Lateral	
			Troncal	Lateral	BT	MT
AL 1	Aérea	22,9 kV	0%	100%	82%	18%
	Subterránea	22,9 kV	22%	78%	82%	18%
AL 2	Aérea	22,9 kV	0%	100%	64%	36%
	Subterránea	22,9 kV	22%	78%	64%	36%

Los modelos topológicos de red se presentan en el Anexo K.

3.5. Procedimiento de evaluación del sistema de protección y maniobra

Para cada tipo de alimentador se consideran modelos de topología de protección y maniobra y se realiza el cálculo de confiabilidad para cada año del horizonte de evaluación. El detalle de los modelos de sistemas de protección y maniobra se presenta en Anexo L.

El costo total por compensación (VAN_Comp) se obtiene sumando los valores presentes de las compensaciones anuales.

A su vez, las compensaciones anuales se obtienen sumando las dos compensaciones semestrales obtenidas del cálculo de confiabilidad. El efecto del mantenimiento total en el alimentador se establece considerando una interrupción total en el alimentador de una duración media de 5 horas, que suma a la cantidad total de interrupciones por cliente y a la duración total acumulada del alimentador durante el primer semestre.

El costo total en sistemas de protección será la suma de la inversión en equipos de protección y maniobra, costo de mantenimiento y el VAN de las compensaciones. El cálculo se repite para cada tipo de red.

Para efectos del cálculo de confiabilidad todos los elementos del alimentador (Red y EP&M) se modelan como tramos (ver Anexo M). Cada tramo tiene un punto inicial, punto final y tipo (red, equipo de protección, seccionamiento, subestación o cliente).

Para cada tramo se requieren los siguientes datos:

Tramo Red

Tipo de red: aérea o subterránea.

Longitud de red: en las troncales, la longitud de cada tramo será igual a la longitud total de la troncal entre el número de PDLs. En el caso de laterales se tendrán dos tramos con una longitud igual a la mitad de la longitud total del lateral.

Tramo Equipo de Protección

Tipo: Puede ser un Interruptor de potencia, Cut-Out, Seccionador de Potencia con fusible limitador o Recloser.

Tramo Equipo de seccionamiento

Tipo: Puede ser un Seccionador unipolar interior o intemperie.

Tramo conector terminal tipo codo: Instalado en las subestaciones compactas.

Tramo subestación de distribución

Tipo: Aérea, compacta y convencional.

Máxima demanda.

Factor de carga.

Numero de clientes BT y MT: Para el cálculo de parámetros de confiabilidad como SAIFI y SAIDI

Cada subestación se subdivide en subtramos cuyo numero depende del tipo de SE (Aérea, Convencional y Compacta).

- Subestaciones aéreas, tienen dos subtramos: Tramo Cut-Out para la protección del transformador y tramo transformador.
- Subestaciones compactas, tienen cuatro subtramos: Tramo conector codo a la llegada del tramo red subterránea, tramo fusible limitador para la protección de transformador compacto, tramo transformador y tramo conector codo a la salida del tramo red subterránea.
- Subestaciones convencionales, tienen cuatro subtramos: tramo fusible limitador para la protección del transformador convencional, tramo transformador, tramo fusible lateral convencional, tramo empalme de salida.

Los valores de las tasas de falla y tiempos de reposición de la red se obtuvieron de las estadísticas de interrupción del servicio de la empresa de distribución del periodo 99 y para los equipos de protección y maniobra se consideran los datos del estándar IEEE ST 493-1997.

3.6. Ecuaciones aplicables

Las siguientes ecuaciones son aplicables a troncales y laterales aéreos y subterráneos de una sola sección con distribución de carga uniforme o triangular. En el caso de las alternativas con troncales de dos o tres secciones, las ecuaciones deben aplicarse a cada tramo de una misma sección.

3.6.1. Caída de tensión

Las ecuaciones 3.7 y 3.8 son válidas para calcular la caída de tensión en troncales y laterales del alimentador.

La caída de tensión crítica o máxima será igual a la caída de tensión en toda la troncal más la caída de tensión en el último lateral. Este valor no deberá sobrepasar el 5% de tolerancia.

$$\Delta V(kV) = \left[\frac{S_s * Z * (N + 1) * L}{2N * V_N} \right] \quad (3.7)$$

$$\Delta V(kV) = \left[\frac{S_S * Z * \left(\frac{2}{3} + \frac{1}{N}\right) * L}{V_N} \right] \quad (3.8)$$

Donde:

- ΔV : Es la caída de tensión en la troncal o lateral, kV.
 S_S : Es la Potencia a la salida de la SET o del PDL, MVA.
 V_N : Tensión nominal del sistema, kV.
 Z : Impedancia unitaria del conductor o cable subterráneo, ohm/km.
 L : Longitud de la troncal o lateral, km.
 N : Número de puntos de concentración de carga en la troncal o lateral. En el caso de la troncal depende de la alternativa, pero en los laterales sólo se consideran dos puntos de concentración de carga

3.6.2. Pérdidas de potencia

Utilizando las ecuaciones 3.9 y 3.10 se calculan las pérdidas de potencia en la troncal y en cualesquier lateral del alimentador.

$$\Delta P = \left[\frac{S_S^2 * R * L}{V_N^2} \right] \left[\frac{2N^2 + 3N + 1}{6N^2} \right] \quad (3.9)$$

$$\Delta P = \left[\frac{2S_S^2 * R * L}{15V_N^2} \right] \left[\frac{(2N^2 + 2N + 1)(2N + 1)}{N^2(N + 1)} \right] \quad (3.10)$$

Donde:

- ΔP : Pérdida de potencia, MW.
 R : Resistencia efectiva a la temperatura máxima de operación del conductor aéreo de la troncal o lateral, ohm/km.

La pérdida de potencia total será igual a la suma de las pérdidas de potencia en la troncal más las pérdidas de potencia en todos los laterales.

Si el alimentador estuviera operando a plena carga, las ecuaciones 3.9 y 3.10 proporcionan las potencias máximas perdidas en troncales o laterales.

3.6.3. Pérdidas de energía

Las pérdidas de potencia calculadas según ecuaciones 3.9 y 3.10 se deben al efecto Joule y se originan por la disipación de calor en las resistencias de los conductores de las troncales o laterales. Además, estas pérdidas son proporcionales al cuadrado de la corriente, la cual varía de acuerdo al ciclo de carga horario.

La figura 3.1 muestra claramente que la curva de pérdidas de potencia se comporta de manera similar a la curva de carga horaria y por tanto dependen del comportamiento de las cargas de los clientes.

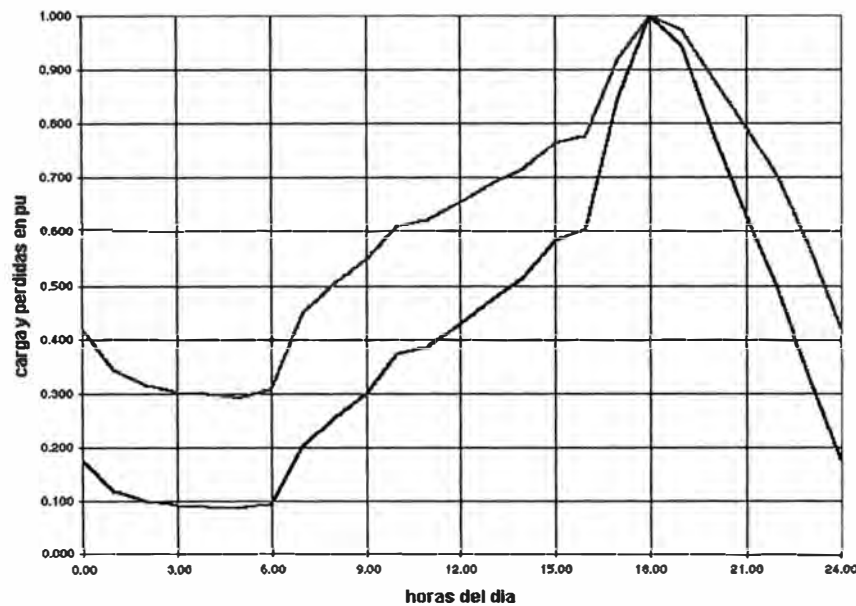


Fig. 3.1 Relación entre las curvas de carga y de pérdidas de potencia

Por lo tanto, la energía perdida también varía en forma similar, siendo el área bajo la curva de pérdidas de potencia igual a la energía total perdida.

Sin embargo, para efectos del diseño de alimentadores desde el punto de vista del planeamiento eléctrico, las pérdidas de energía se calculan en función de las pérdidas máximas de potencia y el factor de pérdidas. El factor de pérdidas relaciona las pérdidas de energía reales con las pérdidas máximas de energía. Las pérdidas de energía máxima se producen cuando el alimentador opera a plena carga durante todo el periodo de evaluación.

$$F_p = \frac{\text{Energía Total Perdida (en un periodo)}}{\text{Energía Máxima Perdida (en un periodo)}} = \frac{\text{Potencia Media de Pérdida}}{\text{Potencia Máxima de Pérdida}} \quad (3.11)$$

A su vez, como las pérdidas de potencia se comportan de manera similar a la curva de demanda horaria, existe una relación entre el factor de pérdidas y el factor de carga.

Los norteamericanos F.H.Buller y P.A.Wodrow, en base a información estadística encontraron la fórmula empírica de la ecuación 3.12, que permite calcular en forma aproximada el factor de pérdidas conociendo el factor de carga. Esta ecuación se aplica a una red urbana y es de uso generalizado en los Estados Unidos.

$$F_p = 0,3F_C + 0,7F_C^2 \quad (3.12)$$

Finalmente, las pérdidas de energía pueden calcularse según la ecuación 3.13 utilizando los resultados de las ecuaciones 3.9, 3.10 y 3.12.

$$\Delta E = \Delta P_{\max} * F_p * N_H \quad (3.13)$$

Donde:

ΔE : Pérdidas de energía durante el periodo N_H , MWH

ΔP : Potencia máxima perdida durante el periodo N_H en MW, ecuaciones 3.9 y 3.10

F_p : Factor de pérdidas, ecuación 3.12

N_H : Número de horas del periodo, 8760 horas/año.

3.6.4. Costo por pérdidas técnicas de potencia y energía – CPTP&E

$$CPTP \& E_j = \Delta P_{\max_j} * PPB * 12 + \Delta E_j * PMEB \quad (3.14)$$

Donde:

$CPTP \& E_j$: Costo por Pérdidas Técnicas de Potencia y Energía en la troncal o lateral durante el año j, \$US/año

ΔP_{\max_j} : Potencia máxima perdida en la troncal o lateral durante el año j en kW, ecuaciones 3.9 y 3.10

ΔE_j : Energía perdida en la troncal o lateral durante el año j en kWh, ecuación 3.13

PPB : Precio de la potencia en barra de Lima, \$US / kW-mes

$PMEB$: Precio medio de la energía en barra de Lima, \$US / kWh

Para el cálculo de PPB y PMEB ver “parámetros económicos” del Anexo N.

3.7. Evaluación de las alternativas de red

La evaluación económica de la red considera costo de inversión inicial, mantenimiento y costo por pérdidas técnicas de potencia y energía, a cuya suma llamaremos Costo Total en Red. La mejor alternativa será aquella con el menor Costo Total en Red.

Tal como se resume en la Tabla 3.1, la evaluación de la red se realiza para cuatro casos que dependen del escenario de crecimiento de carga y de los alcances de troncales y laterales. Sin embargo, en la presente sección sólo se presenta en detalle la evaluación del primer caso. Esta elección se realizó a efectos de elegir alternativas que cumplan con las máximas capacidades y alcances de diseño determinadas en la primera etapa del estudio.

Sin embargo, las alternativas óptimas tienen que estar necesariamente adaptadas a las necesidades topológicas, de máxima demanda, manejo de inventario y minimización de costos totales de la empresa.

A efectos de cumplir con los objetivos planteados, las alternativas elegidas tienen que ser óptimas también para los casos en que se consideran longitudes medias reales y crecimiento de carga inicial más agresivo, abarcando de esta manera los casos reales en los cuales los alimentadores asumen inicialmente grandes volúmenes de carga desde el inicio de su vida útil tal que al tercer año pueden estar con un factor de utilización del 70%. En el estudio se simula este efecto duplicando el crecimiento de carga.

Por lo tanto, las alternativas óptimas se eligen complementando los resultados de la evaluación según las condiciones del primer caso con las condiciones de los otros tres casos.

La tasa de crecimiento inicial, considerada en el primer caso es de 7,4% y es igual a la tasa de crecimiento de la curva de regresión lineal del crecimiento de la demanda anual de energía de clientes regulados de la empresa de distribución, durante el periodo 1994 – 2002 (Ver Anexo O).

Los alcances máximos de troncales y laterales se obtuvieron siguiendo el procedimiento descrito en el capítulo II. Los alcances máximos considerados en los modelos de red corresponden a las alternativas de menor sección tanto para red aérea así como para red subterránea.

Se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

➤ Carga de salida

Al año cero los alimentadores tienen una carga de salida equivalente al 50% de la máxima capacidad del alimentador referencial, hasta alcanzar el 100% antes de su vida útil, dependiendo de la tasa de crecimiento de la carga.

A partir del año que el alimentador de menor sección alcanza la máxima capacidad referencial, las cargas adicionales deberían transferirse a otros alimentadores adyacentes. En el caso de los alimentadores de mayor sección aún tendrán capacidad para asumir cargas adicionales tal como se verá en análisis posteriores.

Para todos los casos, el alimentador referencial será aquel de menor sección (120 mm²) con el fin de no penalizarlo respecto a las alternativas de mayor sección. Si el referencial es el alimentador de mayor sección (240 mm²) la carga inicial de salida será mayor y en el transcurso del periodo de evaluación (25 años) los alimentadores de menor sección alcanzarán su máxima capacidad antes que aquel, brindándole una ventaja competitiva.

➤ **Tasa de crecimiento**

La Tabla 3.3. muestra los escenarios de crecimiento de carga. El primer caso considera un escenario según el cual la tasa de crecimiento durante los primeros 9 años será de 7,4% y en los siguientes 4 años 3%. Al año 13 el alimentador habrá alcanzado el 100% de la máxima capacidad del alimentador referencial y por tanto se considera un crecimiento de carga nulo.

Tabla 3.3 Primer escenario de crecimiento de carga

Periodo (años)	Tasa de crecimiento	Carga de salida
0 - 9	7,4%	50% - 88%
9 - 13	3,0%	>88% - 100%
13 - 25	0%	100%

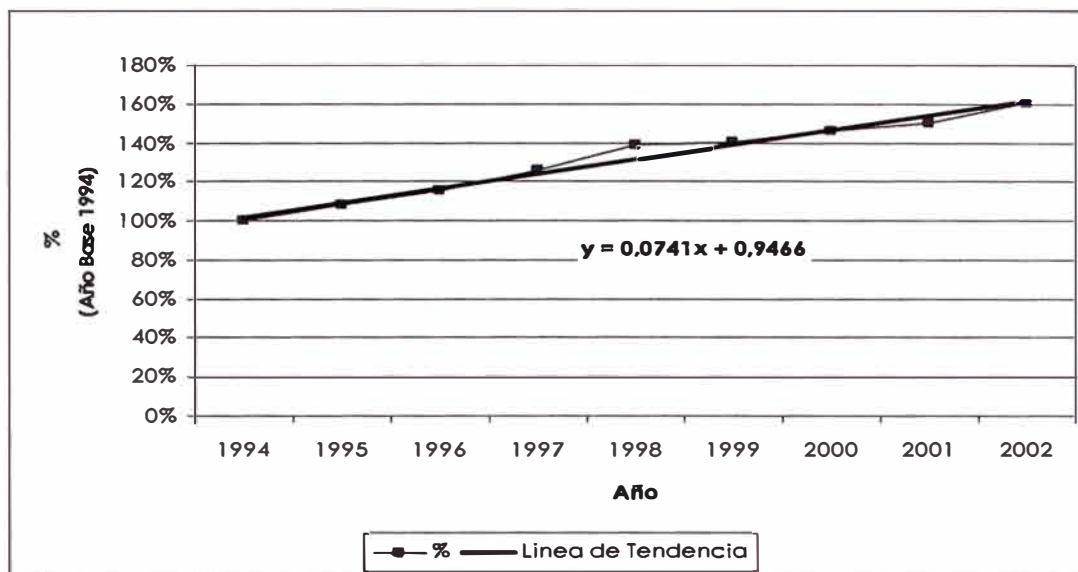


Fig. 3.2 Demanda de energía clientes regulados empresa de distribución

➤ Alcances máximos

Se obtuvieron siguiendo el procedimiento descrito en la sección 1.4.1, bajo las siguientes consideraciones:

- Corresponden a los alcances máximos del alimentador referencial (menor sección 120 mm²).
- Se considera un modelo de distribución de carga triangular.
- Un lateral por PDL.
- Carga a la salida del alimentador igual a la máxima capacidad del alimentador referencial.

Para los alimentadores aéreos del tipo AL 1 se asume una capacidad máxima de 6 MVA por considerar que en su diseño primarán criterios de alcance y no de capacidad, dado que se instalarían en zonas urbano-rurales o rurales donde las cargas son pequeñas o medianas y dispersas, por tanto los centros de cargas se encontrarán relativamente mas alejados.

Sin embargo, se asume que en el diseño de los alimentadores aéreos del tipo AL 2 primarán criterios de capacidad porque se instalarían en zonas urbanas de mediana densidad donde los centros de cargas se encuentran más cercanos. Por tanto, su capacidad tope será su máxima potencia de diseño e igual a 11.8 MVA.

La Tabla 3.4 presenta los alcances máximos por tipo de alimentadores AL 1 y AL 2.

Tabla 3.4 Alcances máximos de alimentadores

Descripción	Tipo Red	Alcance km	
		AL 1	AL 2
Troncal	Aéreo	13.5	5.7
	Subterráneo	11.6	10.6
Lateral	Aéreo	3.9	1.3
	Subterráneo	2.6	2.0

Los alcances máximos tienen una relación inversamente proporcional con la impedancia de la red. Las impedancias de los conductores aéreos duplican a las impedancias de los cables subterráneos, por ello los alcances máximos en troncales aéreas son casi el 50 % de las troncales subterráneas.

➤ Criterio de evaluación

La mejor alternativa será aquella con el menor Costo Total en red calculado según ecuación 3.3 y que se transcribe en ecuación 3.15. Esta ecuación se aplica a los dos grupos de alternativas: Alternativas con distribución de carga uniforme y alternativas con distribución de carga triangular.

$$CTR_i = CI_i(\text{Red}) + VAN_CM_i(\text{Red}) + VAN_CPTP \& E_i(\text{Red}) \quad (3.15)$$

Donde:

CTR_i : Costo Total en Red de la alternativa i.

$CI_i(\text{Red})$: Costo de Inversión Inicial en Red.

$VAN_CM_i(\text{Red})$: Valor Actual Neto del Costo de Mantenimiento sólo de Red, de la alternativa i

$VAN_CPTP\&E_i(\text{Red})$: Valor Actual Neto del Costo por Pérdidas Técnicas de Potencia y Energía.

Sin embargo, como resultado de aplicar la ecuación 3.15 la diferencia del costo total entre las alternativas de cada grupo es mínima (una banda máxima de 1% en distribución uniforme y 2% en distribución triangular) y eventualmente puede elegirse cualesquiera de ellas.

Considerando este hecho, se aplica un **segundo criterio** de selección, que consiste en elegir aquellas alternativas que requieran menor variedad de secciones en la troncal. Este criterio se sustenta en lo siguiente:

Permite reducir el costo unitario de los conductores al realizar mayores compras para una sección determinada. Para considerar este efecto, se realiza el análisis

de sensibilidad asumiendo dos reducciones de 5% y 10% en el costo unitario del conductor o cable sólo de aquellas alternativas que utilizan una sola sección en su troncal. Esta reducción puede tener un impacto de hasta 6% en el costo de Inversión, lo que a su vez redonda en el Costo Total (Inversión, Mantenimiento y Pérdidas).

La Tabla 3.5 presenta el impacto del costo de conductor en los costos de inversión.

Tabla 3.5 Impacto del costo de conductor en los costos de inversión

Descripción	Reducción en costo del conductor o cable %/km	
	5%	10%
	Impacto en costo de inversión (*) %/km	
Red aérea conductor de aleación de aluminio 3x120, 3x185 y 3x240 mm ²	1,10%	2,20%
Red subterránea cable N2XSY 3-1x120 y 3-1x240 mm ²	3,00%	6,00%

(*) Estos resultados se obtuvieron del análisis del efecto del costo del conductor o cable en el costo de Inversión de red aérea y subterránea en la empresa de distribución.

De los cálculos de alcances máximos, la longitud total en laterales es de dos a cuatro veces la longitud de la troncal. así mismo, el costo de pérdidas incurridas en los laterales puede representar hasta el 32 % de las pérdidas en el alimentador. Además, para un tipo de red, una de las características más importantes del alimentador es la sección del conductor o cable de la troncal.

Por tales motivos, el análisis de sensibilidad se ha realizado separando los costos de la red en troncales y laterales.

- Reduce el costo asociado a partes sobrantes de conductores de diferentes secciones después de la ejecución de proyectos.
- Reduce la probabilidad de falla por efecto de sobretensiones tipo rayo. En efecto, cuando las ondas de sobretensión de este tipo pasan de un conductor a otro de menor sección ocurre el fenómeno de reflexión de onda. Esta onda reflejada se suma a la onda viajera incidente y en casos críticos se puede duplicar el valor pico de la onda de sobretensión, aumentando la posibilidad de descargas. La probabilidad de ocurrencia de este fenómeno se reduce al considerar la menor cantidad de secciones.
- En el caso de las alternativas de una sola sección, brindan el beneficio adicional, de estar preparada, como red, para eventuales funcionamientos en anillo.

El **tercer criterio** de selección está relacionado a la capacidad del alimentador para operar con los dos tipos de distribución de carga: Uniforme y triangular.

Si elegimos la mejor alternativa en función del grupo con distribución de carga uniforme, tendríamos la ventaja de elegir alimentadores de menor calibre con menor inversión inicial, pero no estarían preparados ante la eventualidad de servir a cargas cuya distribución geográfica obligue a ubicar gran parte de las mismas aguas abajo del PDL central.

Por el contrario, si elegimos la mejor alternativa desde el grupo con distribución de carga triangular, el alimentador requerirá un incremento en la inversión inicial, pero estará preparado para cualesquier tipo de distribución de carga en su troncal. En el caso de alimentadores aéreos, existe una diferencia de 1% a 2% entre las mejores alternativas de ambos grupos. En alimentadores subterráneos no se requiere mayor inversión porque la mejor alternativa es la misma para ambos tipos de distribución de carga.

Es decir, en alimentadores aéreos se justifica la elección de la mejor alternativa considerando una distribución de carga triangular porque sólo se requiere un pequeño incremento en la inversión inicial (1% a 2%). En alimentadores subterráneos, si bien se requiere mayor incremento en la inversión (7%), sin embargo es necesario que estos alimentadores ya estén preparados para alimentar cargas con distribución triangular, porque por su naturaleza es más difícil y costoso hacer redistribución de carga.

El **cuarto criterio** de selección consiste en elegir aquellas alternativas que permitan la mayor capacidad del alimentador.

Por lo tanto, la elección se realiza aplicando los siguientes cuatro criterios en orden de prioridad hasta encontrar la mejor alternativa.

- Primer criterio: Menor costo total en red (inversión inicial, costo de mantenimiento y costo asociado a las pérdidas técnicas de potencia y energía) en una banda de 1-2% de variación en el costo total.
- Segundo criterio: Menor diversidad de secciones, eligiendo las dos mejores alternativas después del análisis de sensibilidad.
- Tercer criterio: Distribución de carga triangular, tal que el alimentador esté preparado para la operación con cualesquier tipo de distribución de carga.
- Cuarto Criterio: Capacidad.

3.7.1. Evaluación de alimentadores del tipo AL 1

Los alimentadores del tipo AL 1 serán aquellos con un Factor de Carga menor o cercano a 0,75, como los alimentadores con carga predominante del tipo comercial liviana y pesada, residencial baja, media y alta, redes extensas y residencial-comerciales.

a. Parámetros aplicables

a.1. Parámetros por tipo de red

La Tabla 3.6 presenta los parámetros por tipo de red para el alimentador AL 1.

Tabla 3.6 Parámetros por tipo de red para alimentador AL 1

Descripción	Un	Red Aérea	Red Subterránea
Potencia de Transferencia	%	33,3%	33,3%
Potencia Inicial de Envío	%	50%	50%
Máxima Caída Tensión Operación Normal	%	5%	5%
Factor de Carga L1	Un	0,750	0,750
Factor de Perdidas L1	Un	0,619	0,619
Factor de Simultaneidad Laterales	Un	0,914	0,914
Factor de Simultaneidad entre Troncales	Un	0,924	0,924

a.2. Parámetros por nivel de tensión

La Tabla 3.7 presenta los parámetros por nivel de tensión para alimentador AL 1.

Tabla 3.7 Parámetros por nivel de tensión para alimentador AL 1

	Alimentadores tipo AL 1	
	Red aérea	Red subterránea
Alimentador troncal		
Nivel de Tensión	22,9	22,9
Potencia Inicial de Envío	2,05	4,5
Potencia Final Primer periodo	3,63	8,0
Potencia Tope	4,1	9
Año Tope (100% Potencia tope)	13	13
Sección Conductor (mm ²):	120, 185, 240	120, 240
Longitud (km)	13,5	11,6
Numero de PDLs	6	3
Lateral		
Sección Conductor (mm ²):	70	50
Longitud (km)	3,9	2,6
Numero de laterales	6	3
Numero de puntos de concentración de carga	2	2

a.3. Longitud de Red

La Tabla 3.8 presenta la longitud máxima total de la red en alimentador AL 1.

Tabla 3.8 Longitud máxima total en red AL 1

	Alimentadores tipo AL 1	
	Red aérea	Red subterránea
Longitud total troncal (km)	13,5	11,6
Longitud cada lateral (km)	3,9	2,6
Numero de laterales	6	3
Longitud total lateral (km)	23,4	7,8
Total de red (km)	36,9	19,4

b. Evaluación en red aérea media tensión AL 1

El conductor del alimentador troncal y de los laterales será de aleación de aluminio con las secciones alternativas planteadas en la Tabla 3.9.

Conjugando las alternativas de troncal (07) y laterales (02) se establecen las siguientes 14 alternativas:

Tabla 3.9 Alternativas en red aérea AL 1

Ítem	Alternativa
1	Troncal (120 mm ²) _ lateral (70 mm ²)
2	Troncal (120 mm ²) _ lateral (120 mm ²)
3	Troncal (185 mm ²) _ lateral (70 mm ²)
4	Troncal (185 mm ²) _ lateral (120 mm ²)
5	Troncal (240 mm ²) _ lateral (70 mm ²)
6	Troncal (240 mm ²) _ lateral (120 mm ²)
7	Troncal (185-120 mm ²) _ lateral (70 mm ²)
8	Troncal (185-120 mm ²) _ lateral (120 mm ²)
9	Troncal (240-120 mm ²) _ lateral (70 mm ²)
10	Troncal (240-120 mm ²) _ lateral (120 mm ²)
11	Troncal (240-185 mm ²) _ lateral (70 mm ²)
12	Troncal (240-185 mm ²) _ lateral (120 mm ²)
13	Troncal (240-185-120 mm ²) _ lateral (70 mm ²)
14	Troncal (240-185-120 mm ²) _ lateral (120 mm ²)

b.1. Inversión inicial

La Tabla 3.10 muestra los resultados ordenados de menor a mayor costo de inversión inicial.

Tabla 3.10 Inversión inicial red aérea AL 1

Orden	Alternativa	Costo (US\$)	(%)
1	Troncal (120 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$489 168	100,00%
2	Troncal (185-120 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$498 956	102,00%
3	Troncal (240-185-120 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$508 878	104,00%
4	Troncal (240-120 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$508 946	104,00%
5	Troncal (185 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$508 743	104,00%
6	Troncal (240-185 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$518 733	106,00%
7	Troncal (240 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$528 723	108,10%
8	Troncal (120 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$539 478	110,30%
9	Troncal (185-120 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$549 266	112,30%
10	Troncal (240-185-120 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$559 188	114,30%
11	Troncal (240-120 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$559 256	114,30%
12	Troncal (185 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$559 053	114,30%
13	Troncal (240-185 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$569 043	116,30%
14	Troncal (240 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$579 033	118,40%

b.2. Costos de mantenimiento

El Tabla 3.11 muestra los resultados ordenados de menor a mayor VAN (Valor Actual Neto) de los costos de mantenimiento durante los 25 años de evaluación.

Tabla 3.11 Costos de mantenimiento red aérea media tensión AL 1

Orden	Alternativa	VAN Mantenimiento (US\$)	(%)
1	Troncal (120 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$95 915	100,0%
2	Troncal (185-120 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$97 834	102,0%
3	Troncal (185 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$99 754	104,0%
4	Troncal (240-185-120 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$99 780	104,0%
5	Troncal (240-120 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$99 793	104,0%
6	Troncal (240-185 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$101 712	106,0%
7	Troncal (240 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$103 671	108,1%
8	Troncal (120 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$105 780	110,3%
9	Troncal (185-120 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$107 699	112,3%
10	Troncal (185 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$109 618	114,3%
11	Troncal (240-185-120 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$109 645	114,3%
12	Troncal (240-120 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$109 658	114,3%
13	Troncal (240-185 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$111 577	116,3%
14	Troncal (240 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$113 536	118,4%

El costo de mantenimiento representa el 2,5% de la inversión inicial en red aérea. Este porcentaje es un valor representativo de los costos típicos en operaciones de mantenimiento predictivo y correctivo, en frío y en caliente, de las instalaciones eléctricas de la empresa de distribución.

b.3. Costos por pérdidas técnicas de potencia y energía – PTP&E

Las Tablas 3.12 y 3.13 muestran los valores actuales netos - VAN de los costos por pérdidas de potencia y energía incurridos durante los 25 años de evaluación.

Los valores demuestran que al pasar de un modelo de distribución de carga triangular a un modelo de distribuciones uniforme, los costos por pérdidas técnicas se incrementan en promedio 40%. A su vez, como las pérdidas representan en promedio el 10% del costo total, el incremento de pérdidas representa en términos reales, un incremento del 4% en el costo total. Asimismo, este porcentaje, equivaldría a un 5% de incremento en el costo de inversión, dado que el costo de inversión representa en promedio el 75% del costo total.

Esto significa que para alcanzar el equilibrio entre inversión y costo de pérdidas al optar por un modelo de carga triangular manteniendo el mismo nivel de pérdidas del modelo uniforme, es necesario elegir conductores de mayor sección con una resistencia menor en 40% y cuyo costo de inversión no sea mayor al 5%.

Tabla 3.12 Costo PTP&E de red aérea AL 1 distribución uniforme

Orden	Alternativa	VAN Perdidas (US\$)	(%)
1	Troncal (240 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$40 250	100,0%
2	Troncal (240-185 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$42 157	104,7%
3	Troncal (240 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$44 973	111,7%
4	Troncal (240-120 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$45 467	113,0%
5	Troncal (240-185-120 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$45 518	113,1%
6	Troncal (240-185 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$46 879	116,5%
7	Troncal (240-120 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$50 190	124,7%
8	Troncal (240-185-120 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$50 241	124,8%
9	Troncal (185 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$52 643	130,8%
10	Troncal (185-120 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$55 954	139,0%
11	Troncal (185 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$57 366	142,5%
12	Troncal (185-120 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$60 676	150,7%
13	Troncal (120 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$74 160	184,2%
14	Troncal (120 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$78 882	196,0%

Tabla 3.13 Costo PTP&E de red aérea AL 1 distribución triangular

Orden	Alternativa	VAN Perdidas (US\$)	(%)
1	Troncal (240 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$54 984	100,0%
2	Troncal (240-185 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$59 230	107,7%
3	Troncal (240 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$60 830	110,6%
4	Troncal (240-185 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$65 077	118,4%
5	Troncal (240-185-120 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$65 863	119,8%
6	Troncal (240-120 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$66 604	121,1%
7	Troncal (240-185-120 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$71 709	130,4%
8	Troncal (185 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$72 182	131,3%
9	Troncal (240-120 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$72 450	131,8%
10	Troncal (185 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$78 029	141,9%
11	Troncal (185-120 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$79 555	144,7%
12	Troncal (185-120 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$85 402	155,3%
13	Troncal (120 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$102 041	185,6%
14	Troncal (120 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$107 888	196,2%

b.4. Costo Total en Red

La Tabla 3.14 muestra el Primer Costo Total de las alternativas de alimentadores aéreos del tipo AL 1 para una distribución de carga uniforme.

La Tabla 3.15 presenta los valores para las mismas alternativas de alimentadores pero con distribución de carga triangular.

El Costo Total es la suma de la Inversión inicial, VAN del Costo de Mantenimiento y VAN del Costo por Perdidas Técnicas de Potencia y Energía durante los 25 años de evaluación.

Tabla 3.14 Primer costo total red aérea AL 1 distribución uniforme

Orden	Alternativa	Primer costo total (US\$)	(%)
1	Troncal (185-120 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$657 466	100,0%
2	Troncal (240-185-120 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$658 899	100,2%
3	Troncal (240-120 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$658 928	100,2%
4	Troncal (120 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$663 965	101,0%
5	Troncal (185 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$665 862	101,3%
6	Troncal (240-185 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$667 325	101,5%
7	Troncal (240 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$677 367	103,0%
8	Troncal (185-120 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$712 918	108,4%
9	Troncal (240-185-120 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$714 351	108,7%
10	Troncal (240-120 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$714 381	108,7%
11	Troncal (120 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$719 418	109,4%
12	Troncal (185 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$721 315	109,7%
13	Troncal (240-185 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$722 777	109,9%
14	Troncal (240 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$732 819	111,5%

Tabla 3.15 Primer costo total red aérea AL 1 distribución triangular

Orden	Alternativa	Primer costo total (US\$)	(%)
1	Troncal (240-185-120 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$680 367	100,0%
2	Troncal (240-120 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$681 189	100,1%
3	Troncal (185-120 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$682 192	100,3%
4	Troncal (240-185 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$685 522	100,8%
5	Troncal (185 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$686 525	100,9%
6	Troncal (120 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$692 971	101,9%
7	Troncal (240 mm ²) _ lateral (70 mm ²)	\$693 224	101,9%
8	Troncal (240-185-120 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$734 695	108,0%
9	Troncal (240-120 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$735 517	108,1%
10	Troncal (185-120 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$736 520	108,3%
11	Troncal (240-185 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$739 850	108,7%
12	Troncal (185 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$740 853	108,9%
13	Troncal (120 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$747 299	109,8%
14	Troncal (240 mm ²) _ lateral (120 mm ²)	\$747 552	109,9%

b.5. Selección de la mejor alternativa

- **Primer Criterio:** Menor costo total en red.

Se consideran aquellas alternativas con el menor costo total. Como la diferencia de costos es mínima, se han seleccionado las alternativas con costos totales cuya diferencia fluctúa en una banda de 1 y 2%. Por lo tanto:

Mejores alternativas para distribución de carga uniforme

TRONCAL (185-120 mm²) _ LATERAL (70 mm²)

TRONCAL (240-185-120 mm²) _ LATERAL (70 mm²)

Mejores alternativas para distribución de carga triangular

- TRONCAL (240-185-120 mm²) _ LATERAL (70 mm²)

- TRONCAL (240-120 mm²) _ LATERAL (70 mm²)

- **Segundo Criterio:** Menor diversidad de secciones.

Análisis de Sensibilidad

Se efectúa con el fin de obtener el impacto de la reducción del costo del conductor en el costo de inversión y por tanto en el costo. Los costos totales se han dividido en costos totales en troncales y costos totales en laterales. La Tabla 3.16 presenta el análisis de sensibilidad de los costos totales en alimentadores con distribución de carga uniforme y la Tabla 3.17 con distribución de carga triangular. Puede verse que al pasar de un grupo a otro es necesario optar por alternativas con troncales de mayor sección.

Si bien es cierto esto requiere incrementar los costos de inversión, los resultados indican que esto se compensa con la reducción del costo de pérdidas.

Finalmente, los resultados demuestran que el conductor de 70 mm² es la mejor alternativa técnica económica para ser utilizados en los laterales de los alimentadores aéreos.

Tabla 3.16 Sensibilidad costo total red aérea AL 1 distribución uniforme

Orden	Sección troncal	Costo total (US\$) (*)			Relación costo total (US\$) (**)		
		Reducción en costo conductor			Reducción en costo conductor		
		0%	5%	10%	0%	5%	10%
1	Troncal (185-120 mm ²)	\$297 889	\$297 889	\$297 889	100,0%	100,0%	100,4%
2	Troncal (240-185-120 mm ²)	\$299 322	\$299 322	\$299 322	100,5%	100,5%	100,9%
3	Troncal (240-120 mm ²)	\$299 351	\$299 351	\$299 351	100,5%	100,5%	100,9%
4	Troncal (120 mm ²)	\$304 388	\$301 792	\$296 655	102,2%	101,3%	100,0%
5	Troncal (185 mm ²)	\$306 285	\$303 431	\$297 785	102,8%	101,9%	100,4%
6	Troncal (240-185 mm ²)	\$307 748	\$307 748	\$307 748	103,3%	103,3%	103,7%
7	Troncal (240 mm ²)	\$317 790	\$314 673	\$308 507	106,7%	105,6%	104,0%
Orden	Sección lateral						
1	Lateral (70 mm ²)	\$359 577			100,0%		
2	Lateral (120 mm ²)	\$415 029			115,4%		

(*) Costo Total = Inversión, mantenimiento y pérdidas

(**) Costo Total / Costo total mínimo

Tabla 3.17 Sensibilidad costo total red aérea AL 1 distribución triangular

Orden	Sección troncal	Costo total (US\$) (*)			Relación costo total (US\$) (**)		
		Reducción en costo conductor			Reducción en costo conductor		
		0%	5%	10%	0%	5%	10%
1	Troncal (240-185-120 mm ²)	\$318 275	\$318 275	\$318 275	100,0%	100,0%	100,7%
2	Troncal (240-120 mm ²)	\$319 097	\$319 097	\$319 097	100,3%	100,3%	101,0%
3	Troncal (185-120 mm ²)	\$320 100	\$320 100	\$320 100	100,6%	100,6%	101,3%
4	Troncal (240-185 mm ²)	\$323 430	\$323 430	\$323 430	101,6%	101,6%	102,4%
5	Troncal (185 mm ²)	\$324 433	\$321 579	\$315 933	101,9%	101,0%	100,0%
6	Troncal (120 mm ²)	\$330 879	\$328 282	\$323 146	104,0%	103,1%	102,3%
7	Troncal (240 mm ²)	\$331 132	\$328 015	\$321 849	104,0%	103,1%	101,9%
Orden	Sección lateral						
1	Lateral (70 mm ²)	\$362 092			100,0%		
2	Lateral (120 mm ²)	\$416 420			115,0%		

Mejores alternativas para distribución de carga uniforme

- TRONCAL (185-120 mm²)
- TRONCAL (240-120 mm²)

Mejores alternativas para distribución de carga triangular

- TRONCAL (240-120 mm²)
- TRONCAL (185-120 mm²)

Las alternativas se han elegido de menor a mayor costo total con reducciones del 5%.

- **Tercer Criterio:** Distribución de Carga

Considerando que la mejor alternativa de alimentador debe de estar preparada para suministrar energía a zonas con distribución de carga uniforme y triangular, que además presente una aceptable relación Costo/Beneficio:

TRONCAL (240-120 mm²) y TRONCAL (185–120)

Es decir, si por economía de escala sólo se consigue una reducción de 5% en el costo del conductor de las alternativas de una sola sección, aun son rentables las alternativas con troncales de dos secciones 240-120 mm² y 185-120 mm². Es decir, desde la salida del alimentador hasta el tercer PDL con conductores de aleación de aluminio de 240 mm² o 185 mm². Desde allí hasta el último PDL con conductores de aleación de aluminio de 120 mm².

- **Cuarto Criterio:** Capacidad

Ambas alternativas tienen la máxima capacidad de diseño de 12 MVA. Esta capacidad es suficiente para cubrir la máxima demanda actual de los alimentadores.

b.6. Mejor Alternativa

Troncal: De dos secciones, los tres primeros tramos con 240 mm² o 185 mm² y los tres restantes con 120 mm².

Laterales: Conductor de aleación de aluminio de 70 mm².

El análisis de las curvas costo total vs. año de evaluación, demuestran que los costos de pérdidas tienen importancia a partir del año 10. Por ejemplo, para distribución de carga uniforme, inicialmente la mejor alternativa es aquella de 120 mm² por requerir menor inversión. A medida que pasan los años el valor actual del costo de pérdidas se torna importante, tal que a partir del año 11 (año de cruce) el costo total de la alternativa de 185-120 mm² es menor que la alternativa de 120 mm², seguida muy de cerca por la alternativa 240-185-120 mm².

En el modelo de distribución triangular, las pérdidas se incrementan en 35% y por tanto su costo se torna importante mucho más pronto. Esto explica el movimiento del punto de cruce hacia el noveno año. Asimismo, estas curvas demuestran que a partir de ese año, la alternativa con troncal 185-120 mm² es más rentable que aquella de 120 mm² (de menor inversión inicial) y recién a partir del año 16 es marginalmente desplazada por aquella de tres secciones 240-185-120 mm², seguida muy de cerca por la alternativa 240-120 mm². Considerando el pequeño margen de diferencia y los criterios de evaluación es que se consideran como alternativas óptimas aquellas de 240-120 mm² y 185-120 mm².

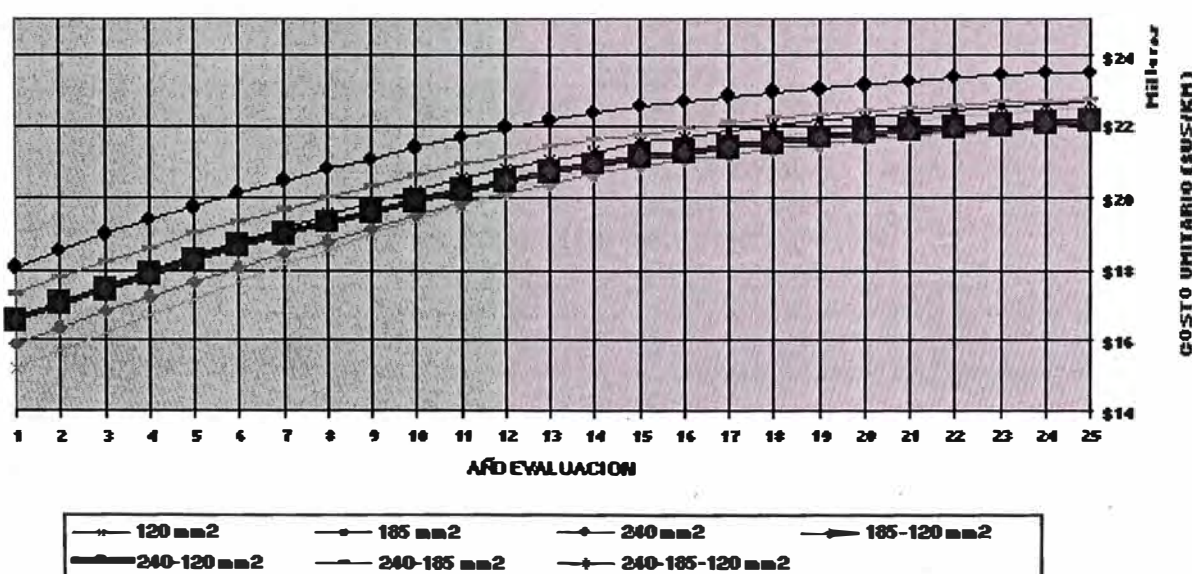


Fig. 3.3 Evolución de los costos totales por kilómetro de troncal red aérea 22,9 kV distribución de carga uniforme

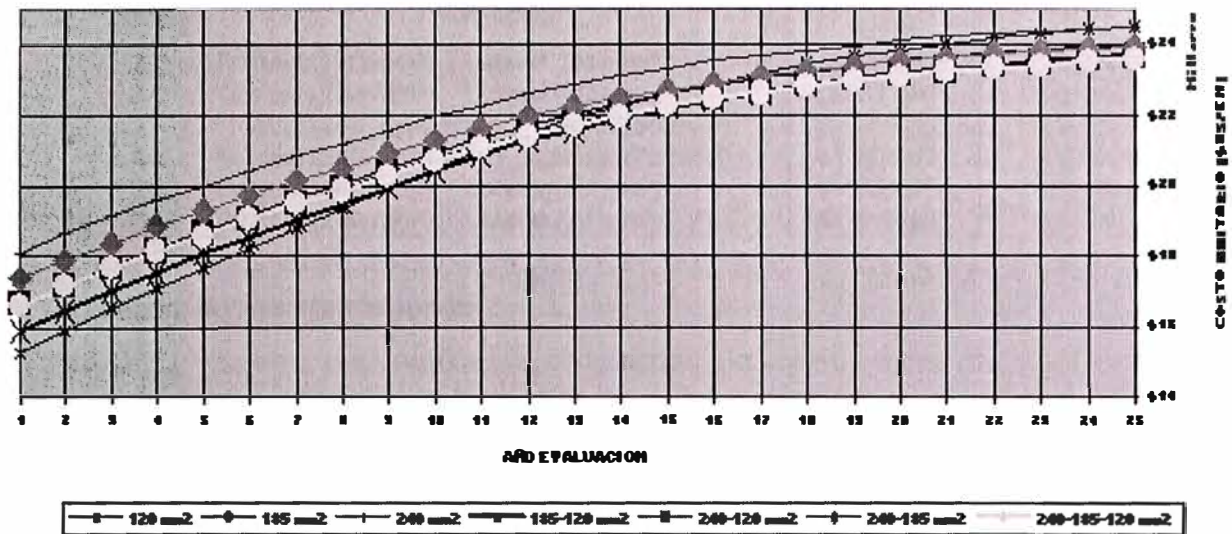


Fig. 3.4 Evolución de los costos totales por kilómetro de troncal red aérea 22,9 kV distribución de carga triangular

c. Evaluación en red subterránea AL 1

El conductor subterráneo de los alimentadores troncales será del tipo N2XSY con conductor de cobre. En los laterales se instalarán cables del mismo tipo con las secciones alternativas de 50 y 70 mm².

Conjugando las alternativas de troncales y laterales se establecen las alternativas de la Tabla 3.18.

Tabla 3.18 Alternativas en red subterránea 22,9 kV AL 1

Ítem	Alternativa
1	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)
2	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)
3	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)
4	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)
5	Troncal (240 - 120 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)
6	Troncal (240 - 120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)

c.1. Inversión inicial

El Tabla 3.19 muestra los resultados ordenados de menor a mayor costo de inversión inicial.

Tabla 3.19 Inversión inicial red subterránea 22,9 kV AL 1

Orden	Alternativa	Costo (US\$)	(%)
1	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)	\$896 742	100,0%
2	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$931 686	103,9%
3	Troncal (240 - 120 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)	\$1 019 857	113,7%
4	Troncal (240 - 120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$1 054 801	117,6%
5	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)	\$1 081 414	120,6%
6	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$1 116 358	124,5%

c.2. Costos de mantenimiento

La Tabla 3.20 muestra los resultados ordenados de menor a mayor VAN (valor actual neto) de los costos de mantenimiento durante los 25 años de evaluación.

Tabla 3.20 Costos de mantenimiento red subterránea 22,9 kV AL 1

Orden	Alternativa	VAN mantenimiento (US\$)	(%)
1	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)	\$105 499	100,0%
2	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$109 610	103,9%
3	Troncal (240 - 120 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)	\$119 983	113,7%
4	Troncal (240 - 120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$124 094	117,6%
5	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)	\$127 225	120,6%
6	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$131 336	124,5%

El costo de mantenimiento representa el 1,5% de la inversión inicial de la red subterránea.

c.3. Costos por pérdidas técnicas de potencia y energía – PTP&E

Las Tablas 3.21 y 3.22 muestran los valores actuales netos - VAN de los costos por pérdidas de potencia y energía incurridos durante los 25 años de evaluación.

Tabla 3.21 Costo PTP&E red subterránea 22,9 kV AL 1 distribución uniforme

Orden	Alternativa	VAN perdidas (US\$)	(%)
1	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$127,893	100.0%
2	Troncal (240 - 120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$135,525	106.0%
3	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)	\$138,602	108.4%
4	Troncal (240 - 120 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)	\$146,233	114.3%
5	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$234,731	183.5%
6	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)	\$245,440	191.9%

Tabla 3.22 Costo PTP&E red subterránea 22,9 kV AL 1 distribución triangular

Orden	Alternativa	VAN pérdidas (US\$)	(%)
1	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$157 851	100,0%
2	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)	\$170 345	107,9%
3	Troncal (240 - 120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$175 022	110,9%
4	Troncal (240 - 120 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)	\$187 515	118,8%
5	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$291 399	184,6%
6	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)	\$303 892	192,5%

Los costos totales por pérdidas técnicas de potencia se obtuvieron sumando los valores actuales de los costos anuales en pérdidas durante la vida útil de la red.

c.4. Costo total en red

La Tabla 3.23 muestra el costo total en red de las alternativas de alimentadores subterráneos del tipo AL 1 para una distribución de carga uniforme.

La Tabla 3.24 presenta los costos para las mismas alternativas de alimentadores pero con distribución de carga triangular.

Tabla 3.23 Costo total en red subterránea AL 1 distribución uniforme

Orden	Alternativa	Costo total red (US\$)	(%)
1	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)	\$1 247 681	100,0%
2	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$1 276 028	102,3%
3	Troncal (240 - 120 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)	\$1 286 073	103,1%
4	Troncal (240 - 120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$1 314 420	105,3%
5	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)	\$1 347 241	108,0%
6	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$1 375 588	110,3%

Tabla 3.24 Costo total en red subterránea AL 1 distribución triangular

Orden	Alternativa	Costo total red (US\$)	(%)
1	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)	\$1 306 133	100,0%
2	Troncal (240 - 120 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)	\$1 327 355	101,6%
3	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$1 332 695	102,0%
4	Troncal (240 - 120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$1 353 917	103,7%
5	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)	\$1 378 984	105,6%
6	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$1 405 546	107,6%

El costo total en red es la suma de la Inversión inicial, VAN del costo de mantenimiento y VAN del costo por pérdidas técnicas de potencia y energía durante los 25 años de evaluación.

La mejor alternativa será elegida de entre dos grupos: El grupo de alternativas con distribución de carga uniforme y el grupo con distribución de carga triangular.

c.5. Selección de la mejor alternativa

- **Primer Criterio:** Menor costo total en red.

Se consideran aquellas alternativas con el menor costo total cuya diferencia fluctúa en una banda de 1 – 2 %. Por lo tanto:

Mejores alternativas para distribución de carga uniforme

- TRONCAL(120 mm²)_LATERAL(50 mm²)
- TRONCAL(120 mm²)_LATERAL(70 mm²)

Mejores alternativas para distribución de carga triangular

- TRONCAL(120 mm²)_LATERAL(50 mm²)
- TRONCAL(240 - 120 mm²)_LATERAL(50 mm²)
- TRONCAL(120 mm²)_LATERAL(70 mm²)

- **Segundo Criterio:** Menor diversidad de secciones

Análisis de Sensibilidad

Se realiza con el fin de obtener el impacto de la reducción del costo del conductor en el costo de inversión y por tanto en el costo. Los costos totales se han dividido en costos totales en troncales y costos totales en laterales. La Tabla 3.25 presenta el análisis de sensibilidad de los costos totales en alimentadores con distribución de carga uniforme y la Tabla 3.26 con distribución de carga triangular. Puede verse que al pasar de un grupo a otro es necesario optar por alternativas con troncales de mayor sección.

Tabla 3.25 Sensibilidad costo total red subterránea AL 1 distribución uniforme

Orden	Sección troncal	Costo total (US\$) (*)			Relación costo total (US\$) (**)		
		Reducción en costo conductor			Reducción en costo conductor		
		0%	5%	10%	0%	5%	10%
1	Troncal (120 mm ²)	\$825 463	\$807 015	\$788 568	100,0%	100,0%	100,0%
2	Troncal (240-120 mm ²)	\$863 855	\$863 855	\$863 855	104,7%	107,0%	109,5%
3	Troncal (240 mm ²)	\$925 023	\$900 383	\$875 744	112,1%	111,6%	111,1%
Orden	Sección lateral						
1	Lateral (50 mm ²)	\$422 219			100,0%		
2	Lateral (70 mm ²)	\$450 565			106,7%		

(*) Costo Total = Inversión, Mantenimiento y Pérdidas

(**) Costo Total / Costo Total Mínimo

Tabla 3.26 Sensibilidad costo total red subterránea AL 1 distribución triangular

		Costo total (US\$) (*)			Relación costo total (US\$) (**)		
		Reducción en costo conductor			Reducción en costo conductor		
Orden	Sección troncal	0%	5%	10%	0%	5%	10%
1	Troncal (120 mm ²)	\$878 099	\$859 652	\$841 204	100,0%	100,0%	100,0%
2	Troncal (240-120 mm ²)	\$899 321	\$899 321	\$899 321	102,4%	104,6%	106,9%
3	Troncal (240 mm ²)	\$950 950	\$926 310	\$901 671	108,3%	107,8%	107,2%
Orden	Sección lateral						
1	Lateral (50 mm ²)	\$428 034			100,0%		
2	Lateral (70 mm ²)	\$454 596			106,2%		

Los resultados demuestran que el cable de 50 mm² es la mejor alternativa para ser utilizados en los laterales de los alimentadores subterráneos AL 1. Esta alternativa requiere menor inversión inicial, aproximadamente 9% menor que 70 mm². En el caso de una distribución de carga triangular, el último lateral tendrá una capacidad de diseño de 5 MVA con un alcance máximo de 2,6 km.

Mejores alternativas para distribución de carga uniforme

TRONCAL(120 mm²)

Mejores alternativas para distribución de carga triangular

TRONCAL(120 mm²)

Las alternativas se han elegido de menor a mayor costo total con una reducción de 5% en el costo de conductor.

c.6. Mejor Alternativa

Troncal: Cable N2XSJY de 120 mm² desde la salida del alimentador hasta el último PDL.

Laterales: Cable N2XSJY de 50 mm².

Las curvas de evolución para ambos modelos de distribución de carga demuestran que durante toda la vida útil de la red subterránea siempre es más rentable utilizar cables N2XSJY de 120 mm².

Además, las curvas indican que el costo total (inversión, mantenimiento y costo de pérdidas) por kilómetro de troncal de N2XSJY 120 mm² cuesta aproximadamente 71 mil dólares, cuando sus cargas están distribuidas uniformemente. Sin embargo, cuando las cargas se distribuyen en forma triangular, se incrementan los costos de pérdidas en aproximadamente \$US 4,5 mil por kilómetro haciendo un total de casi \$US 76 mil por kilómetro de troncal.

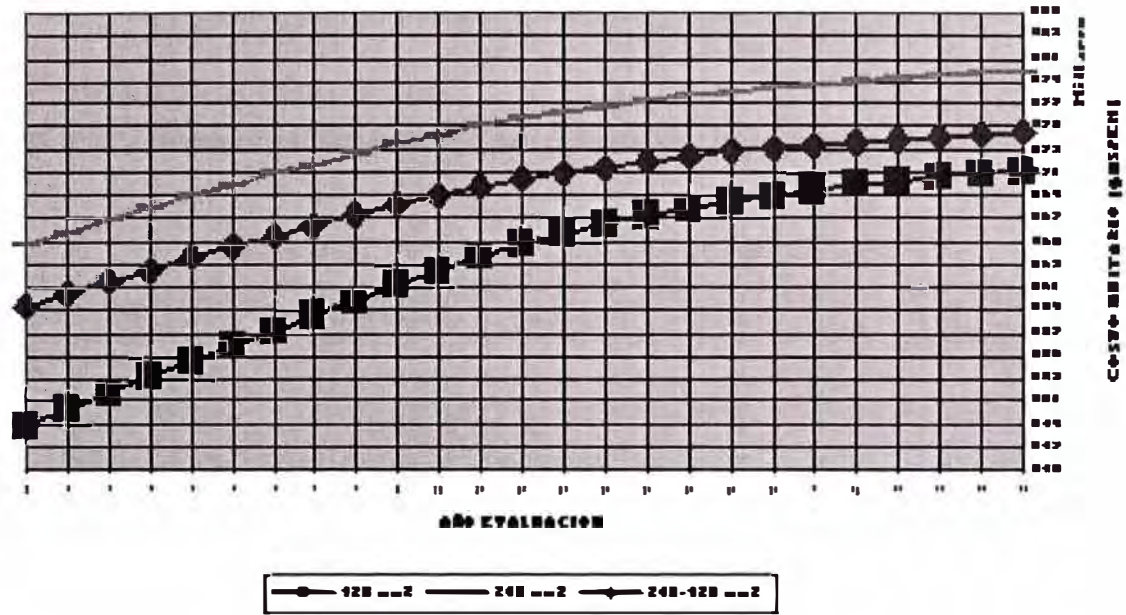


Fig. 3.5 Evolución de los costos totales por kilómetro de troncal red subterránea 22,9 kV distribución de carga uniforme

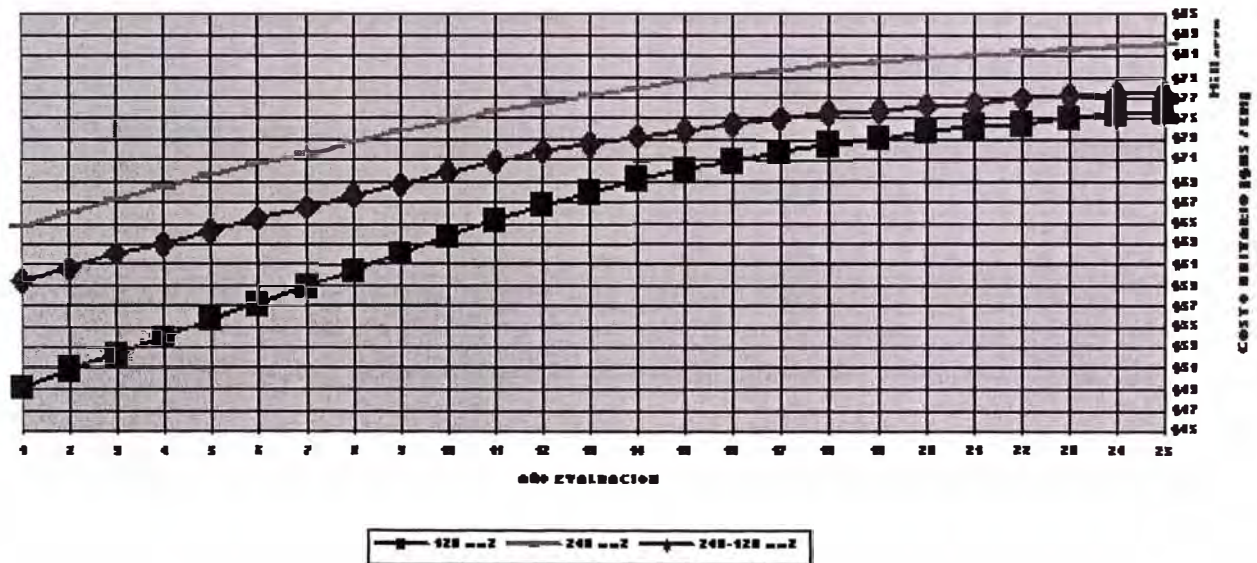


Tabla 3.6 Evolución de los costos totales por kilómetro de troncal red subterránea 22,9 kV distribución de carga triangular

3.7.2. Evaluación de alimentadores del tipo AL 2

Los alimentadores del tipo AL 2 serán aquellos alimentadores con carga industrial pesada, industrial liviana y residencial-industrial, con un factor de carga menor o cercano a 1.0.

a. Parámetros aplicables

a.1. Parámetros por tipo de red

La Tabla 3.27 presenta los parámetros por tipo de red para el alimentador AL 2.

Tabla 3.27 Parámetros por tipo de red para AL 2

Descripción	Un	Red aérea	Red subterránea
Potencia de Transferencia	%	33,3%	33,3%
Potencia Inicial de Envío	%	50%	50%
Máxima Caída Tensión Operación Normal	%	5%	5%
Máxima Caída Tensión Operación Emergencia	%	10%	10%
Factor de Carga AL 2	Un	1,0	1,0
Factor de Perdidas AL 2	Un	1,0	1,0
Factor de Simultaneidad Laterales	Un	0,914	0,914
Factor de Simultaneidad entre Troncales	Un	0,924	0,924

a.2. Parámetros por nivel de tensión

La Tabla 3.28 presenta los parámetros por tipo de red para el alimentador AL 2.

Tabla 3.28 Parámetros por nivel de tensión para AL 2

	Alimentadores tipo AL 2	
	Red aérea	Red subterránea
Alimentador troncal		
Nivel de tensión	22,9	22,9
Potencia inicial de envío	4,4	4,4
Potencia final primer periodo	7,79	7,8
Potencia tope	8,8	8,8
Año tope (100% Potencia tope)	13	13
Sección conductor (mm ²):	Toda alternativa	Toda alternativa
Longitud (km)	5,7	10,6
Numero de PDLs	4	2
Lateral		
Sección conductor (mm ²):	70	50
Longitud (km)	1,3	2,0
Numero de laterales	4	2
Numero de puntos de concentración de carga	2	2

a.3. Longitud de Red

Las longitudes totales en red se presentan en la Tabla 3.29.

Tabla 3.29 Longitud máxima total en red AL 2

	Alimentadores tipo AL 2			
	Red aérea		Red subterránea	
Long total troncal (km)	2,3	5,7	4,2	10,6
Long cada lateral (km)	1,2	1,3	1,3	2
Num laterales	4,0	4	3	2
Long total lateral (km)	4,8	5,2	3,9	4
Total red (km)	7,1	10,9	8,1	14,6

b. Evaluación en red aérea de media tensión 22,9 kV AL 2

El conductor aéreo del alimentador troncal será de aleación de aluminio. Los conductores de los laterales serán de aleación de aluminio con las secciones alternativas de 70 y 120 mm².

Conjugando las alternativas de troncal y laterales se establecen las alternativas de la Tabla 3.30.

Tabla 3.30 Alternativas en red aérea 22,9 kV AL 2

Ítem	Alternativa
1	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)
2	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)
3	Troncal (185 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)
4	Troncal (185 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)
5	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)
6	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)
7	Troncal (185-120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)
8	Troncal (185-120 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)
9	Troncal (240-120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)
10	Troncal (240-120 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)
11	Troncal (240-185 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)
12	Troncal (240-185 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)
13	Troncal (240-185-120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)
14	Troncal (240-185-120 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)

b.1. Inversión inicial

El Tabla 3.31 muestra los resultados ordenados de menor a mayor costo de inversión inicial.

Tabla 3.31 Inversión inicial red aérea 22,9 kV AL 2

Orden	Alternativa	Costo (US\$)	(%)
1	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$148 178	100,0%
2	Troncal (185-120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$152 311	102,8%
3	Troncal (185 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$156 443	105,6%
4	Troncal (240-120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$156 529	105,6%
5	Troncal (240-185-120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$158 595	107,0%
6	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$159 358	107,5%
7	Troncal (240-185 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$160 661	108,4%
8	Troncal (185-120 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$163 491	110,3%
9	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$164 879	111,3%
10	Troncal (185 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$167 623	113,1%
11	Troncal (240-120 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$167 709	113,2%
12	Troncal (240-185-120 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$169 775	114,6%
13	Troncal (240-185 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$171 841	116,0%
14	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$176 059	118,8%

b.2. Costos de mantenimiento

La Tabla 3.32 muestra los resultados ordenados de menor a mayor VAN (valor actual neto) de los costos anuales de mantenimiento durante los 25 años de evaluación.

Tabla 3.32 Costos de mantenimiento red aérea 22,9 kV AL 2

Orden	Alternativa	VAN mantenimiento (US\$)	(%)
1	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$29 055	100,0%
2	Troncal (185-120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$29 865	102,8%
3	Troncal (185 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$30 675	105,6%
4	Troncal (240-120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$30 692	105,6%
5	Troncal (240-185-120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$31 097	107,0%
6	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$31 247	107,5%
7	Troncal (240-185 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$31 502	108,4%
8	Troncal (185-120 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$32 057	110,3%
9	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$32 329	111,3%
10	Troncal (185 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$32 867	113,1%
11	Troncal (240-120 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$32 884	113,2%
12	Troncal (240-185-120 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$33 289	114,6%
13	Troncal (240-185 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$33 694	116,0%
14	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$34 521	118,8%

El costo de mantenimiento representa el 2,5% de la inversión inicial en red aérea.

b.3. Costos por pérdidas técnicas de potencia y energía – PTP&E

Las Tablas 3.33 y 3.34 muestran los valores actuales netos - VAN de los costos por pérdidas de potencia y energía incurridos durante los 25 años de evaluación.

Tabla 3.33 Costo PTP&E red aérea 22,9 kV AL 2 distribución uniforme

Orden	Alternativa	VAN perdidas (US\$)	(%)
1	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$103 215	100,0%
2	Troncal (240-185 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$108 463	105,1%
3	Troncal (240-185-120 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$110 285	106,8%
4	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$115 985	112,4%
5	Troncal (240-120 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$117 573	113,9%
6	Troncal (240-185 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$121 232	117,5%
7	Troncal (240-185-120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$123 054	119,2%
8	Troncal (240-120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$130 343	126,3%
9	Troncal (185 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$134 701	130,5%
10	Troncal (185-120 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$143 812	139,3%
11	Troncal (185 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$147 470	142,9%
12	Troncal (185-120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$156 581	151,7%
13	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$189 365	183,5%
14	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$202 135	195,8%

Tabla 3.34 Costo PTP&E red aérea 22,9 kV AL 2 distribución triangular

Orden	Alternativa	VAN perdidas (US\$)	(%)
1	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$133 649	100,0%
2	Troncal (240-185 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$144 564	108,2%
3	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$148 972	111,5%
4	Troncal (240-185-120 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$149 229	111,7%
5	Troncal (240-185 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$159 888	119,6%
6	Troncal (240-120 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$163 514	122,3%
7	Troncal (240-185-120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$164 552	123,1%
8	Troncal (185 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$174 958	130,9%
9	Troncal (240-120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$178 838	133,8%
10	Troncal (185 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$190 282	142,4%
11	Troncal (185-120 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$193 909	145,1%
12	Troncal (185-120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$209 232	156,6%
13	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$246 678	184,6%
14	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$262 001	196,0%

Los costos totales por pérdidas técnicas de potencia se obtuvieron sumando los valores actuales de los costos anuales en pérdidas durante los 25 años de la vida útil de la red.

b.4. Costo total en red

La Tabla 3.35 muestra el primer costo total de las alternativas de alimentadores aéreos en 22,9 kV del tipo AL 2 para una distribución de carga uniforme.

La Tabla 3.36 presenta los valores para las mismas alternativas de alimentadores pero con distribución de carga triangular.

Tabla 3.35 Primer costo total red aérea 22,9 kV AL 2 distribución uniforme

Orden	Alternativa	Primer costo total (US\$)	(%)
1	Troncal (240-185-120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$312 746	100,0%
2	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$313 193	100,1%
3	Troncal (240-185-120 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$313 349	100,2%
4	Troncal (240-185 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$313 395	100,2%
5	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$313 795	100,3%
6	Troncal (240-185 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$313 998	100,4%
7	Troncal (240-120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$317 563	101,5%
8	Troncal (240-120 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$318 166	101,7%
9	Troncal (185 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$334 588	107,0%
10	Troncal (185 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$335 191	107,2%
11	Troncal (185-120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$338 756	108,3%
12	Troncal (185-120 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$339 359	108,5%
13	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$379 367	121,3%
14	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$379 970	121,5%

Tabla 3.36 Primer costo total red aérea 22,9 kV AL 2 distribución triangular

Orden	Alternativa	Primer costo total (US\$)	(%)
1	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$344 230	100,0%
2	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$346 181	100,6%
3	Troncal (240-185 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$350 100	101,7%
4	Troncal (240-185 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$352 051	102,3%
5	Troncal (240-185-120 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$352 293	102,3%
6	Troncal (240-185-120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$354 244	102,9%
7	Troncal (240-120 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$364 107	105,8%
8	Troncal (240-120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$366 058	106,3%
9	Troncal (185 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$375 449	109,1%
10	Troncal (185 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$377 400	109,6%
11	Troncal (185-120 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$389 456	113,1%
12	Troncal (185-120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$391 407	113,7%
13	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (120 mm ²)	\$437 283	127,0%
14	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$439 234	127,6%

El costo total es la suma de la inversión inicial, VAN del costo de mantenimiento y VAN del costo por pérdidas técnicas de potencia y energía durante los 25 años de evaluación.

b.5. Selección de la mejor alternativa

- **Primer Criterio:** Menor costo total en red.

Se consideran aquellas alternativas con el menor costo total. Como la diferencia de costos es mínima, se han seleccionado las alternativas con costos totales cuya diferencia fluctúa en una banda de 1 y 2%. Por lo tanto:

Mejores alternativas para distribución de carga uniforme

- TRONCAL(240-185-120 mm²)_LATERAL(70 mm²)
- TRONCAL(240-185-120 mm²)_LATERAL(120 mm²)
- TRONCAL(240 mm²)_LATERAL(70 mm²)

Mejores alternativas para distribución de carga triangular

- TRONCAL(240 mm²)_LATERAL(120 mm²)
- TRONCAL(240 mm²)_LATERAL(70 mm²)
- TRONCAL(240-185-120 mm²)_LATERAL(120 mm²)

- **Segundo Criterio:** Menor diversidad de secciones

Análisis de Sensibilidad

Se efectúa con el fin de obtener el impacto de la reducción del costo del conductor en el costo de inversión y por tanto en el costo. Los costos totales se han dividido en costos totales en troncales y costos totales en laterales. La Tabla 3.37 presenta el análisis de sensibilidad de los costos totales en alimentadores con distribución de carga uniforme y la Tabla 3.38 con distribución de carga triangular. Puede verse que al pasar de un grupo a otro es necesario optar por alternativas con troncales de mayor sección.

Si bien es cierto esto requiere incrementar los costos de inversión, los resultados indican que esto se compensa con la reducción del costo de pérdidas.

Tabla 3.37 Sensibilidad costo total red aérea 22,9 kV AL 2 distribución uniforme

Orden	Sección troncal	Costo total (US\$) (*)			Relación costo total (US\$) (**)		
		Reducción en costo conductor			Reducción en costo conductor		
		0%	5%	10%	0%	5%	10%
1	Troncal (240-185-120 mm ²)	\$206 623	\$206 623	\$206 623	100,0%	100,4%	101,1%
2	Troncal (240 mm ²)	\$207 069	\$205 753	\$204 437	100,2%	100,0%	100,0%
3	Troncal (240-185 mm ²)	\$207 272	\$207 272	\$207 272	100,3%	100,7%	101,4%
4	Troncal (240-120 mm ²)	\$211 440	\$211 440	\$211 440	102,3%	102,8%	103,4%
5	Troncal (185 mm ²)	\$228 465	\$227 260	\$226 055	110,6%	110,5%	110,6%
6	Troncal (185-120 mm ²)	\$232 633	\$232 633	\$232 633	112,6%	113,1%	113,8%
7	Troncal (120 mm ²)	\$273 244	\$272 147	\$271 051	132,2%	132,3%	132,6%
Orden	Sección lateral						
1	Lateral (70 mm ²)	\$106 123			100,0%		
2	Lateral (120 mm ²)	\$106 726			100,60%		

(*) Costo Total = Inversión, Mantenimiento y Pérdidas

(**) Costo Total / Costo Total Mínimo

Tabla 3.38 Sensibilidad costo total red aérea 22,9 kV AL 2 distribución triangular

Orden	Sección troncal	Costo total (US\$) (*)			Relación costo total (US\$) (**)		
		Reducción en costo conductor			Reducción en costo conductor		
		0%	5%	10%	0%	5%	10%
1	Troncal (240 mm ²)	\$234 344	\$233 028	\$231 712	100,0%	100,0%	100,0%
2	Troncal (240-185 mm ²)	\$240 214	\$240 214	\$240 214	102,5%	103,1%	103,7%
3	Troncal (240-185-120 mm ²)	\$242 408	\$242 408	\$242 408	103,4%	104,0%	104,6%
4	Troncal (240-120 mm ²)	\$254 222	\$254 222	\$254 222	108,5%	109,1%	109,7%
5	Troncal (185 mm ²)	\$265 564	\$264 358	\$263 153	113,3%	113,4%	113,6%
6	Troncal (185-120 mm ²)	\$279 571	\$279 571	\$279 571	119,3%	120,0%	120,7%
7	Troncal (120 mm ²)	\$327 398	\$326 301	\$325 205	139,7%	140,0%	140,3%
Orden	Sección lateral						
1	Lateral (70 mm ²)	\$111 836			101,8%		
2	Lateral (120 mm ²)	\$109 885			100,0%		

Mejores alternativas para distribución de carga uniforme

- TRONCAL(240 mm²)
- TRONCAL(240-185 mm²)
- TRONCAL(240-120 mm²)

Mejores alternativas para distribución de carga triangular

TRONCAL(240 mm²)

Las alternativas de troncal se han elegido de menor a mayor costo total con reducciones de 5% en el caso de distribución uniforme y para la distribución de carga triangular, el análisis sólo corrobora los resultados preliminares de que la mejor alternativa es una troncal de 240 mm².

Respecto a la mejor alternativa de conductor para los laterales, los dos cuadros anteriores demuestran que en alimentadores con distribución de carga uniforme es suficiente el conductor de 70 mm². Sin embargo, cuando se requiere brindar mas carga hacia los laterales ubicados hacia la cola del alimentador es necesario utilizar conductores de 120 mm², cuyo valor actual de sus costos durante toda su vida útil es 1,8%.

Sin embargo la curva de evolución de costos demuestra que durante los primeros 17 a 18 años un lateral de aleación de aluminio de 70 mm² es más rentable que el de 120 mm², el cual se vuelve rentable durante los 7 años siguientes pero con una diferencia marginal que apenas le permite una diferencia neta de 1,8%.

Teniendo en cuenta que en 22,9 kV, el costo de inversión en laterales de 70 mm² es menor en 14% al mismo costo de inversión con sección de 120 mm², la mejor alternativa de lateral es un conductor de aluminio de 70 mm².

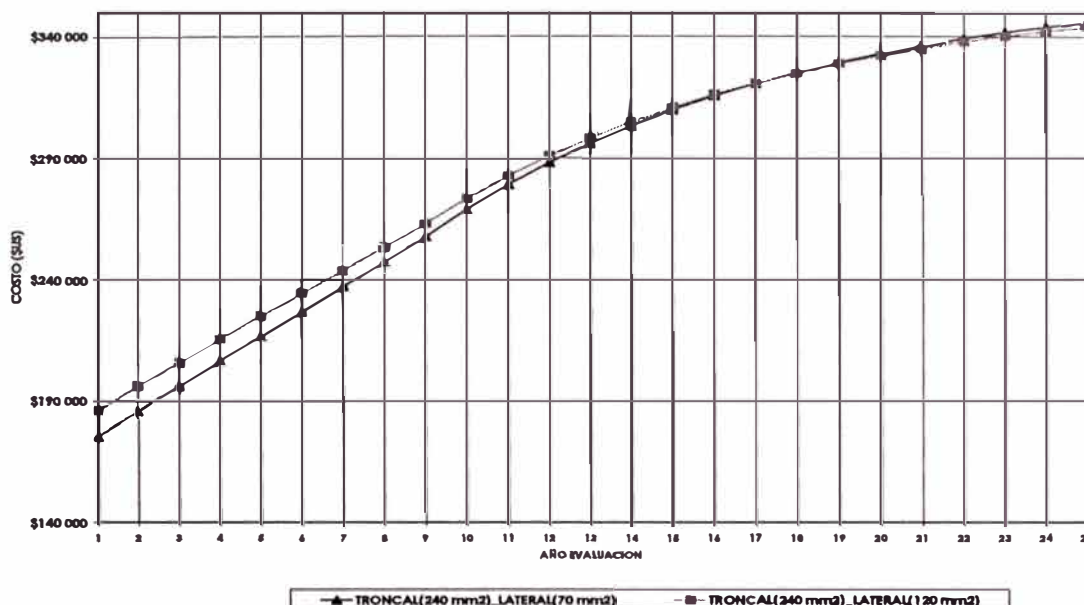


Fig. 3.7 Evolución de los costos totales red aérea 22,9 kV AL 2 alternativas troncal 240 mm² con laterales de 70 y 120 mm²

- **Tercer Criterio:** Distribución de carga

Considerando que la mejor alternativa de alimentador debe de estar preparada para suministrar energía a zonas con distribución de carga uniforme y triangular, que además presente una aceptable relación Costo/Beneficio:

TRONCAL (240 mm²)

- **Cuarto Criterio:** Capacidad

Los alimentadores de aleación de aluminio de 240 mm² tienen una máxima capacidad de diseño de 6 MVA y si tenemos en cuenta que la máxima demanda promedio actual puede llegar hasta 4,4 MVA, esta capacidad es suficiente.

b.6. Mejor Alternativa

Troncal: Conductor de aleación de aluminio de 240 mm².

Laterales: Conductor de aleación de aluminio de 70 mm².

c. Evaluación en red subterránea AL 2

El conductor subterráneo de los alimentadores troncales será del tipo N2XSY con conductor de cobre. En los laterales se instalarán cables del mismo tipo con las secciones alternativas de 50 y 70 mm².

Conjugando las alternativas de troncales y laterales se establecen las alternativas de la Tabla 3.39.

Tabla 3.39 Alternativas en red subterránea 22,9 kV AL 2

Ítem	Alternativa
1	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)
2	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)
3	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)
4	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)
5	Troncal (240 - 120 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)
6	Troncal (240 - 120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)

c.1. Inversión inicial

La Tabla 3.40 muestra los resultados ordenados de menor a mayor costo de inversión inicial.

Tabla 3.40 Inversión inicial red subterránea 22,9 kV AL 2

Orden	Alternativa	Costo (US\$)	(%)
1	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)	\$680 478	100,0%
2	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$698 398	102,6%
3	Troncal (240 - 120 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)	\$764 854	112,4%
4	Troncal (240 - 120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$782 774	115,0%
5	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)	\$849 230	124,8%
6	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$867 150	127,4%

c.2. Costos de mantenimiento

La Tabla 3.41 muestra los resultados ordenados de menor a mayor VAN (valor actual neto) de los costos anuales de mantenimiento durante los 25 años de evaluación.

Tabla 3.41 Costos de mantenimiento red subterránea 22,9 kV AL 2

Orden	Alternativa	VAN mantenimiento (US\$)	(%)
1	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)	\$80 056	100,0%
2	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$82 164	102,6%
3	Troncal (240 - 120 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)	\$89 983	112,4%
4	Troncal (240 - 120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$92 091	115,0%
5	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)	\$99 909	124,8%
6	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$102 018	127,4%

El costo de mantenimiento representa el 1,5% de la inversión inicial de la red subterránea.

c.3. Costos por pérdidas técnicas de potencia y energía – PTP&E

Las Tablas 3.42 y 3.43 muestran los valores actuales netos - VAN de los costos por pérdidas de potencia y energía incurridos durante los 25 años de evaluación.

Tabla 3.42 Costo PTP&E red subterránea 22,9 kV AL 2 distribución uniforme

Orden	Alternativa	VAN perdidas (US\$)	(%)
1	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$159 524	100,0%
2	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)	\$173 392	108,7%
3	Troncal (240 - 120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$185 939	116,6%
4	Troncal (240 - 120 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)	\$199 806	125,3%
5	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$291 597	182,8%
6	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)	\$305 465	191,5%

Tabla 3.43 Costo PTP&E red subterránea 22,9 kV AL 2 distribución triangular

Orden	Alternativa	VAN perdidas (US\$)	(%)
1	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$182 947	100,0%
2	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)	\$198 356	108,4%
3	Troncal (240 - 120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$229 906	125,7%
4	Troncal (240 - 120 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)	\$245 315	134,1%
5	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$335 565	183,4%
6	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)	\$350 973	191,8%

Los costos totales por pérdidas técnicas de potencia se obtuvieron sumando los valores actuales de los costos anuales en pérdidas durante los 25 años de la vida útil de la red.

c.4. Costo total en red

La Tabla 3.44 muestra el costo total en red de las alternativas de alimentadores subterráneos en 22,9 kV del tipo AL 2 para una distribución de carga uniforme.

La Tabla 3.45 presenta los costos para las mismas alternativas de alimentadores pero con distribución de carga triangular.

Tabla 3.44 Costo total en red subterránea 22,9 kV AL 2 distribución uniforme

Orden	Alternativa	Costo total red (US\$)	(%)
1	Troncal (240 - 120 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)	\$1 054 643	100,0%
2	Troncal (240 - 120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$1 060 804	100,6%
3	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)	\$1 065 999	101,1%
4	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$1 072 160	101,7%
5	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)	\$1 122 531	106,4%
6	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$1 128 692	107,0%

Tabla 3.45 Costo total en red subterránea 22,9 kV AL 2 distribución triangular

Orden	Alternativa	Costo total en red (US\$)	(%)
1	Troncal (240 - 120 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)	\$1 100 152	100,0%
2	Troncal (240 - 120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$1 104 771	100,4%
3	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)	\$1 111 508	101,0%
4	Troncal (120 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$1 116 127	101,5%
5	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (50 mm ²)	\$1 147 495	104,3%
6	Troncal (240 mm ²) _ Lateral (70 mm ²)	\$1 152 114	104,7%

El costo total en red es la suma de la inversión inicial, VAN del costo de mantenimiento y VAN del costo por pérdidas técnicas de potencia y energía durante los 25 años de evaluación.

La mejor alternativa será elegida de entre dos grupos: El grupo de alternativas con distribución de carga uniforme y el grupo con distribución de carga triangular.

c.5. Selección de la mejor alternativa

- **Primer Criterio:** Menor costo total en red.

Se consideran aquellas alternativas con el menor Costo Total cuya diferencia fluctúa en una banda de 1 %. Por lo tanto:

Mejores alternativas para distribución de carga uniforme

- TRONCAL(240 - 120 mm²)_LATERAL(50 mm²)
- TRONCAL(240 - 120 mm²)_LATERAL(70 mm²)

Mejores alternativas para distribución de carga triangular

- TRONCAL(240 - 120 mm²)_LATERAL(50 mm²)
- TRONCAL(240 - 120 mm²)_LATERAL(70 mm²)

- **Segundo Criterio:** Menor diversidad de secciones

Análisis de Sensibilidad

Se realiza con el fin de obtener el impacto de la reducción del costo del conductor en el costo de inversión y por tanto en el costo. Los costos totales se han dividido en costos totales en troncales y costos totales en laterales. La Tabla 3.46 presenta el análisis de sensibilidad de los costos totales en alimentadores con distribución de carga uniforme y la Tabla 3.47 con distribución de carga triangular. Puede verse que al pasar de un grupo a otro es necesario optar por alternativas con troncales de mayor sección.

Tabla 3.46 Sensibilidad costo total red subterránea 22,9 kV AL 2 distribución uniforme

Orden	Sección troncal	Costo total (US\$) (*)			Relación costo total (US\$) (**)		
		Reducción en costo conductor			Reducción en costo conductor		
		0%	5%	10%	0%	5%	10%
1	Troncal (240-120 mm ²)	\$810 828	\$810 828	\$810 828	100,0%	101%	103%
2	Troncal (120 mm ²)	\$822 184	\$805 326	\$788 469	101,4%	100%	100%
3	Troncal (240 mm ²)	\$878 716	\$856 200	\$833 685	108,4%	106%	106%
Orden	Sección lateral						
1	Lateral (50 mm ²)	\$243 816			100,0%		
2	Lateral (70 mm ²)	\$249 976			102,5%		

(*) Costo Total = Inversión, Mantenimiento y Pérdidas

(**) Costo Total / Costo Total Mínimo

Tabla 3.47 Sensibilidad costo total red subterránea 22,9 kV AL 2 distribución triangular

Orden	Sección troncal	Costo total (US\$) (*)			Relación costo total (US\$) (**)		
		Reducción en costo conductor			Reducción en costo conductor		
		0%	5%	10%	0%	5%	10%
1	Troncal (240-120 mm ²)	\$851 315	\$851 315	\$851 315	100,0%	101%	103%
2	Troncal (120 mm ²)	\$862 671	\$845 814	\$828 957	101,3%	100%	100%
3	Troncal (240 mm ²)	\$898 658	\$876 143	\$853 628	105,6%	104%	103%
Orden	Sección lateral						
1	Lateral (50 mm ²)	\$248 836			100,0%		
2	Lateral (70 mm ²)	\$253 456			101,9%		

Los resultados demuestran que el cable de 50 mm² es la mejor alternativa para ser utilizados en los laterales de los alimentadores. Esta alternativa tiene la ventaja adicional de tener un costo de inversión 10% menor que de 70 mm² de sección y con un alcance de 2 km puede transmitir hasta 6.6 MVA de potencia.

Mejores alternativas para distribución de carga uniforme

- TRONCAL(240-120 mm²)
- TRONCAL(120 mm²)

Mejores alternativas para distribución de carga triangular

- TRONCAL(240-120 mm²)
- TRONCAL(120 mm²)

Las alternativas se han elegido de menor a mayor costo total con una reducción de 5% en el costo de conductor.

- **Tercer Criterio:** Distribución de carga

Tal como se desprende de los resultados previos, ambas alternativas de sección de cable N2XSY para las troncales pueden trabajar en zonas con los dos tipos de distribución de carga.

- **Cuarto Criterio: Capacidad**

Los alimentadores en 22,9 kV con cable de 120 mm² podrán tener 8,8 MVA de capacidad y el último lateral del alimentador con distribución de carga triangular puede brindar hasta 6,6 MVA con un alcance máximo de 2 km en el caso de utilizar cables de 50 mm².

Asimismo, la alternativa 240-120 mm² brinda una capacidad de 12 MVA, casi 40% que la de 120 mm² y es ideal para zonas de alta densidad de carga y con proyecciones de máximo consumo de clientes de media tensión. Asimismo esta alternativa brinda un alcance máximo de 10 km en la troncal y de 2 km en un lateral de 50 mm² a plena carga.

c.6. Mejor Alternativa

Troncal: Cable N2XSY con dos secciones alternativas, 240-120 mm² y 120 mm².

Laterales: Cable N2XSY de 50 mm².

Si bien es cierto la alternativa de alimentador TRONCAL(240 - 120 mm²)_LATERAL(50 mm²) tiene el menor costo total, sin embargo la diferencia sobre la alternativa TRONCAL(120 mm²)_LATERAL(50 mm²) es de sólo 1%, requiriendo ésta menor inversión inicial. Del análisis de las curvas de evolución en el tiempo del costo total de las alternativas, podemos ver que la alternativa TRONCAL(120 mm²)_LATERAL(50 mm²) es la más rentable durante casi 20 años y que recién a partir de este año hasta el final de su vida útil es que la alternativa TRONCAL(240 - 120 mm²)_LATERAL(50 mm²) se hace más rentable. Ello explica el pequeño margen de diferencia entre los VAN de ambas alternativas.

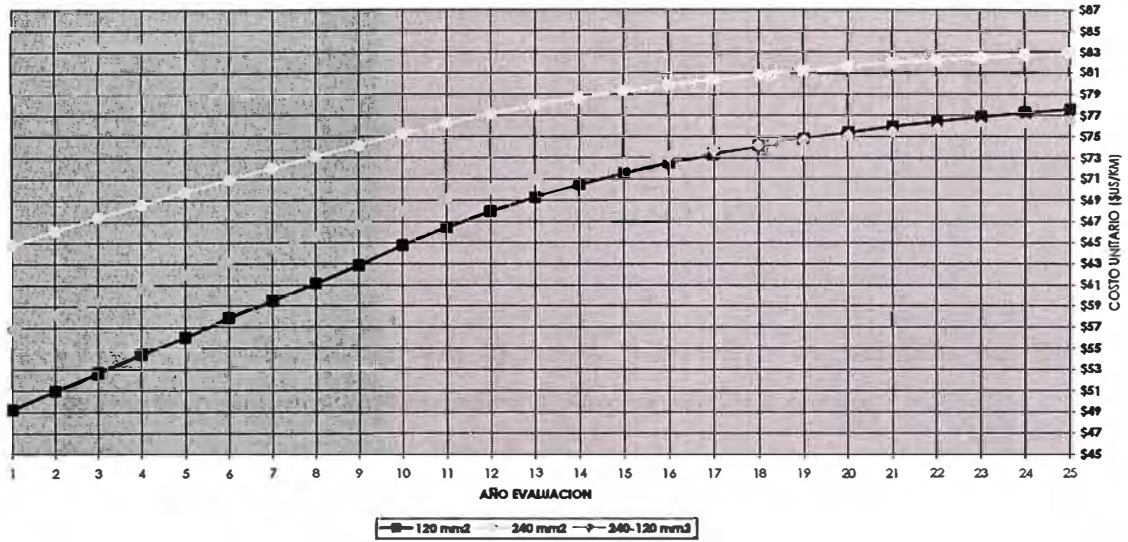


Fig. 3.8 Evolución de los costos totales por kilómetro de troncal red subterránea 22,9 kV distribución de carga uniforme

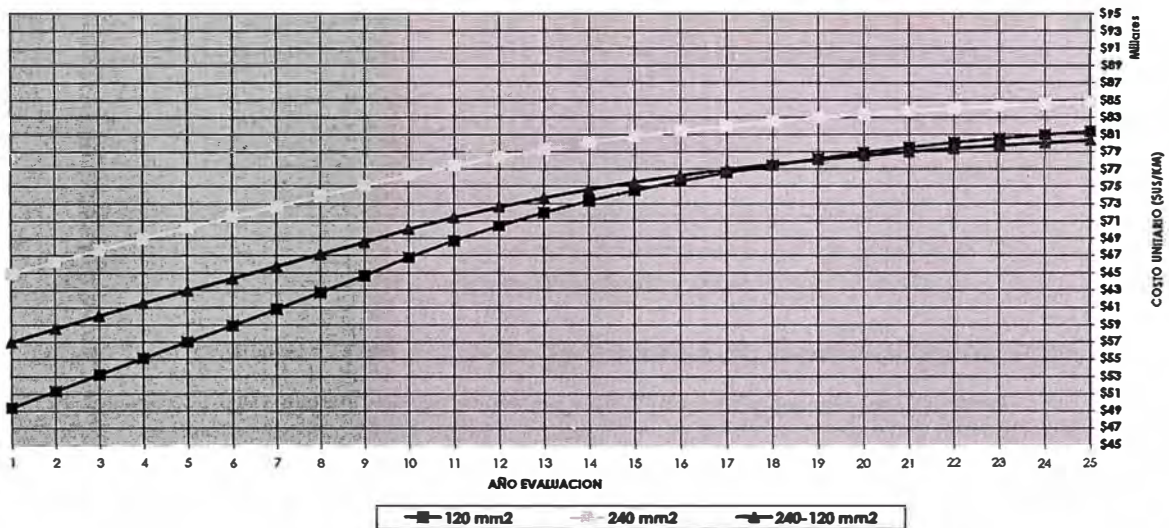


Fig. 3.9 Evolución de los costos totales por kilómetro de troncal red subterránea 22,9 kV distribución de carga triangular

3.8. Determinación de alternativas óptimas de red

La selección de alternativas óptimas se realizará en función de las mejores alternativas de conductores y cables subterráneos determinadas previamente en el numeral 3.7.

La Tabla 3.48 resume las mejores alternativas de secciones para troncales y laterales en red aérea para los dos tipos de alimentadores.

Tabla 3.48 Resumen de mejores alternativas de alimentadores aéreos

	Red aérea	
	AL 1	AL 2
Alternativas de troncal		
240 mm ²		x
240-120 mm ²	x	
185-120 mm ²	x	
Alternativas de lateral		
70 mm ²	x	x

De la Tabla 3.48 se desprende que la mejor alternativa de sección de conductor de aleación de aluminio para los alimentadores aéreos en 22,9 kV es:

- Troncales: Sección uniforme de 240 mm².
- Laterales: Sección uniforme de 70 mm².

La Tabla 3.49 presenta las mejores alternativas de secciones para los alimentadores subterráneos en 22, 9 kV.

Tabla 3.49 Resumen de mejores alternativas de alimentadores subterráneos

	Red subterránea	
	AL 1	AL 2
Alternativas de troncal		
240-120 mm ²		x
120 mm ²	x	x
Alternativas de lateral		
70 mm ²		
50 mm ²	x	x

De la Tabla 3.49 se tienen 2 alternativas de laterales 50 mm² y 70 mm². Para el sistema 22,9 kV la inversión del cable de 50 mm² es 10% menor que el de 70 mm².

Además, considerando el caso crítico de un alimentador en 22,9 kV con troncal 240-120 mm², con una potencia de diseño de 12 MVA y con dos laterales, cada lateral suministraría mas de 6 MVA. En estas condiciones de operación, el alcance máximo del lateral con cable de 50 mm² sería de 2 km.

Del análisis previo se desprende que las mejores alternativas de secciones de cables para troncales y laterales subterráneas en 22,9 kV para ambos tipos de alimentadores serán:

- Troncales: Los dos primero tramos con cable N2XSY de 240 mm² y los restantes con cable de 120 mm².
- Laterales: Sección uniforme con cable N2XSY de 50 mm².

3.8.1. Resumen de resultados alternativas de red

Las Tablas 3.50, 3.51 y 3.52 resumen los resultados de la coordinación de los resultados de la evaluación de alternativas para los dos tipos de alimentadores AL 1 y AL 2.

Respecto a las secciones de conductores y cables subterráneos son las mismas para ambos tipos de alimentadores y con respecto a las capacidades y alcances máximos se diferencian por tipo de alimentador

a. Red aérea

Tabla 3.50 Resumen de alternativas de red aérea

Descripción		22,9 kv
Troncal		
1. Sección conductor		240 mm ²
2. Capacidad	AL 1: AL 2:	6 MVA 12 MVA
3. Capacidad de reserva	AL 1: AL 2:	2 MVA (*) 4 MVA
4. Alcance máximo carga uniforme	AL 1: AL 2:	16,5 km 7,8 km
5. Alcance máximo carga triangular	AL 1: AL 2:	11,5 km 5,3 km
6. Numero de PDLs	AL 1: AL 2:	6 4
Lateral		
1. Sección conductor		70 mm ²
2. Numero de laterales	AL 1: AL 2:	6 4
3. Capacidad distribución uniforme	AL 1: AL 2:	1100 kVA 3200 kVA
4. Capacidad ultimo lateral distribución triangular	AL 1: AL 2:	1900 kVA 5200 kVA
5. Alcance máximo distribución uniforme	AL 1: AL 2:	4,5 km 1,5 km
6. Alcance máximo ultimo lateral distribución triangular	AL 1: AL 2:	2,6 km 1,0 km
Enlace		
1 Sección conductor		70 mm ²
2. Numero de enlaces		3
3. Capacidad de transferencia máxima	AL 1: AL 2:	2 MVA 4 MVA

b. Red subterránea

Tabla 3.51 Resumen de alternativas de red subterránea AL 1

Descripción		22,9 KV
Troncal		
1. Sección cable	Troncal 1: Troncal 2: Troncal 3: Troncal 4:	240 mm ² 240 mm ² 120 mm ² -
2. Capacidad		13 MVA
3. Capacidad de reserva		4,3 MVA
4. Alcance máximo carga triangular		9,3 km
5. Numero de PDLs		3
Lateral		
1. Sección cable		50 mm ²
2. Numero de laterales		3
3. Capacidad distribución uniforme		4600 kVA
4. Capacidad ultimo lateral distribución triangular		7100 kVA
5. Alcance máximo ultimo lateral distribución uniforme		2,8 km
6. Alcance máximo ultimo lateral distribución triangular		1,8 km
Enlace		
1 Sección conductor		50 mm ²
2. Numero de enlaces		3
3. Capacidad		4,3 MVA

Tabla 3.52 Resumen de alternativas de red subterránea AL 2

Descripción		22,9 KV
Troncal		
1. Sección cable	Troncal 1: Troncal 2: Troncal 3:	240 mm ² 120 mm ² -
2. Capacidad		12 MVA
3. Capacidad de reserva		4 MVA
4. Alcance máximo carga triangular		9 km
5. Numero de PDLs		2
Lateral		
1. Sección cable		50 mm ²
2. Numero de laterales		2
3. Capacidad distribución uniforme		6500 kVA
4. Capacidad ultimo lateral distribución triangular		8700 kVA
5. Alcance máximo ultimo lateral distribución uniforme		2,0 km
6. Alcance máximo ultimo lateral distribución triangular		1,5 km
Enlace		
1 Sección conductor		50 mm ²
2. Numero de enlaces		2
3. Capacidad		4 MVA

3.9. Determinación de las alternativas de equipos de protección y maniobra.

La evaluación se realiza en función de los costos de inversión en los equipos de protección y maniobra y en las compensaciones por interrupciones del servicio a clientes en BT (subestaciones de distribución) y clientes de media tensión.

Los resultados se complementan con el análisis de los índices de confiabilidad obtenidos después de ejecutar los cálculos de confiabilidad sobre las alternativas de protección y maniobra de los alimentadores modelos.

Como resultado de la evaluación se determinan:

- Tipos de Equipos de Protección y Maniobra (EP&M).
- Cantidad óptima de EP&M.
- Ubicación óptima de EP&M.

Considerando las características y necesidades propias del sistema de distribución de media tensión.

3.9.1. Descripción del sistema de distribución de media tensión 22.9kV

En este sistema los transformadores de la SET tienen la relación 60/22,9 kV con la conexión delta/estrella.

Si la resistencia de conexión del neutro a tierra del transformador es menor que la reactancia homopolar, las corrientes homopolares retornarán por él cerrando el circuito. Es por ello que las corrientes de falla no retornan por los otros alimentadores (como si ocurre en los sistemas aislados) y por tanto no se requiere de una protección que mida direccionalidad puesto que la corriente de falla sólo retorna por el alimentador en falla.

En la red subterránea las corrientes de falla son relativamente altas porque la resistencia de falla será menor al encontrarse el conductor a más de un metro de profundidad y en contacto directo con tierra. Asimismo en la red aérea, al producirse la caída de un conductor pueden hacerlo sobre asfalto o terreno seco o cuya primera capa puede ser pedregoso originando un valor alto de la resistencia de falla. Además, la reactancia homopolar subterránea es mucho menor que la aérea.

Por lo tanto, en el sistema 22,9 kV para detectar las sobrecorrientes a tierra o corrientes homopolares sólo son necesarias las siguientes funciones de protección:

- Celda de salida del alimentador aéreo o subterráneo: 50N/51N
- Troncales y laterales aéreas: 50N/51N.
- Troncales y laterales subterráneas: 50N/51N.

3.9.2. Consideraciones de evaluación

El criterio general para evaluar las alternativas de protección y maniobra es minimizar el costo total asociado a las compensaciones e inversión. Es decir, se trata de llegar a un punto de equilibrio entre el costo de inversión en equipos de protección y maniobra y el beneficio que estos representan al reducir las compensaciones. Asimismo, se considera

de manera fundamental el efecto favorable o no que puedan tener sobre los parámetros de confiabilidad.

Los costos asociados a compensaciones se calculan según las consideraciones, parámetros y formulas establecidas en el numeral 6.1 de la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos.

$$\text{Compensaciones} = e * E * \text{ENS} \quad (3.16)$$

Donde:

- e Compensación unitaria por incumplimiento con la calidad de suministro, 0,35 US\$/kWh.
- E Factor que depende de los indicadores de calidad.
- ENS Energía teórica no suministrada.

$$E = \left[1 + \frac{(N - N')}{N'} + \frac{(D - D')}{D'} \right] \quad (3.17)$$

Los parámetros N' y D' representan los límites tolerables del número y duración total de las interrupciones por cliente por semestre, ver Tabla 3.53. Los parámetros N y D representan las magnitudes reales.

Tabla 3.53 Tolerancias de interrupciones según NTCSE

Parámetro	Tolerancia MT	Tolerancia BT
N' (interrupciones/cliente-semestre)	4	6
D' (horas/cliente-semestre)	7	10

En el presente informe, los parámetros N, D y ENS se obtiene como resultado del cálculo de confiabilidad sobre cada modelo total de alimentador (Red y EP&M).

A su vez, el cálculo de confiabilidad depende de las siguientes variables:

- **Tasas de falla y tiempo de reposición del servicio en red aérea y subterránea**, según estadísticas de fallas de la red de media tensión de la empresa de distribución del año 1999.
- **Tasas de falla y tiempos de reposición de los equipos de protección y maniobra**, según estándar IEEE ST 493-1997.

La relación completa de equipos con sus respectivas tasas de fallas y tiempo de reposición se presentan en el Anexo P.

- **Porcentajes de falla por cortocircuito y fallas a tierra** (corrientes homopolares), con el fin de determinar el efecto sobre la confiabilidad y por tanto sobre las compensaciones, de las fallas por sobrecorriente y falla a tierra. Según el tipo de falla, se simula el comportamiento de los equipos de protección y maniobra, obteniéndose como resultado final los parámetros consolidados de energía no suministrada, número y duración de las interrupciones por efecto de ambos tipos de fallas.

La Tabla 3.54 muestra los porcentajes de fallas por tipo de falla y tipo de red.

Tabla 3.54 Porcentaje de fallas

Tipo de falla	Red aérea	Red subterránea
Cortocircuito	70%	80%
Homopolares	30%	20%

- **Concentración de carga**, Se obtiene como resultado del análisis estadístico de la base de datos de máximas demandas de todas las subestaciones y clientes de media tensión de los alimentadores típicos de la empresa de distribución.

Se refiere a los porcentajes de concentración de carga en troncales y laterales, y permite determinar, cuanta carga del alimentador se concentra en los laterales y cuanta carga se concentra en los troncales. De esta manera, se obtiene la carga promedio en subestaciones aéreas o compactas (ubicadas en los laterales), subestaciones convencionales (ubicadas en las troncales). A su vez con los datos de carga total y número de clientes en media tensión se obtiene la carga promedio por cliente de media tensión.

La Tabla 3.55 muestra la concentración de carga por tipo de alimentador.

Tabla 3.55 Concentración de carga por tipo de alimentador

Tipo alimentador	Tipo red	Nivel tensión	Concentración de carga alimentador		Concentración de carga lateral	
			Troncal	Lateral	BT	MT
AL 1	Aérea	22,9 kV	0%	100%	82%	18%
	Subterránea	22,9 kV	22%	78%	82%	18%
AL 2	Aérea	22,9 kV	0%	100%	64%	36%
	Subterránea	22,9 kV	22%	78%	64%	36%

- **Número de clientes:** Número promedio de clientes de baja tensión en troncales y laterales. Numero promedio de clientes de media tensión en troncales y laterales.

Ambos parámetros se obtienen del análisis estadístico de la Base de Datos del número de clientes baja tensión y media tensión de los alimentadores típicos de la empresa de distribución.

La Tabla 3.56 presenta el número promedio de clientes por tipo de red.

Tabla 3.56 Numero promedio de clientes en alimentadores

Descripción	Red aérea	Red subterránea
Promedio de clientes (BT y MT) en troncal		1233
Promedio de clientes BT en lateral	3240	3544
Promedio de clientes MT en lateral	7	7

- **Parámetros de confiabilidad**

Dentro del grupo de parámetros de confiabilidad, a efectos del presente informe tienen relevancia los parámetros SAIFI y SAIDI.

SAIFI Es el número de interrupciones por cliente por año.

SAIDI Tiempo total de interrupciones por cliente por año.

3.9.3. Modelos de sistemas de protección y maniobra en red aérea

La evaluación de alternativas de protección y maniobra se realiza ejecutando cálculos de confiabilidad según procedimientos IEEE sobre modelos de alimentadores aéreos y subterráneos adaptados a la realidad de la empresa de distribución. Estos modelos totales incluyen los modelos de sistemas de protección y maniobra aplicados sobre los modelos de red.

Se plantean dos casos, para cada uno de los cuales se han elaborado modelos de protección y maniobra.

➤ **Primer caso**

Consiste en ubicar un equipo de protección y maniobra (EP&M) en la salida de cada troncal del alimentador hasta encontrar la cantidad y ubicación óptima.

Dada la filosofía actual de protección de los laterales aéreos, en la salida de los laterales se ubican fusibles seccionadores unipolares (cut-out). Sin embargo, el EP&M puede ser un recloser o un interruptor de potencia con relé de protección multifunción en celda exterior para red mixta.

Para la detección de corrientes homopolares, el relé contará con la función 50N/51N (sobrecorriente a tierra no direccional).

➤ **Segundo caso**

Consiste en reemplazar a la salida de cada lateral los cut-out por EP&M, los cuales pueden ser reconectores tripolares o para red mixta seccionadores de potencia con fusible y relé de falla a tierra no direccional 50N/51N (SPFR-ND) en 22,9 kV.

El primer caso proporciona el impacto de utilizar sólo cut-out en los laterales, los cuales no despejan fallas homopolares sino el EP&M ubicado aguas arriba. Asimismo proporcionará la influencia en las compensaciones y parámetros de confiabilidad de la correcta ubicación de los EP&M, en las troncales, permitiendo determinar cuantos EP&M son necesarios ubicar. El segundo caso permitirá determinar la influencia de despejar no sólo las sobrecorrientes de fases sino también las fallas homopolares en los laterales al ubicar reconectores o SPFR.

a. Modelos del primer caso: Cut-Out en laterales y EP&M en troncales

En el modelo base el alimentador aéreo sólo tiene instalado un interruptor en la celda de salida del alimentador. No existen equipos de protección y maniobra en las salidas de troncales y laterales. En el modelo 1, sólo se agregan cut-out en la salida de los laterales y en los siguientes modelos se agrega uno a uno un EP&M en la salida de cada troncal hasta llegar al modelo 6 que cuenta en todas las salidas de sus troncales con EP&M. Los modelos 7 y 8 son variantes que permiten evaluar el impacto de colocar sólo un EP&M en la troncal central y en las dos troncales intermedias respectivamente.

La Tabla 3.57 presenta los modelos de sistemas de protección y maniobra de red aérea del caso 1.

Tabla 3.57 Modelos de sistemas de protección y maniobra de red aérea - caso 1

Modelo	Descripción
Modelo Base	Sólo interruptor en troncal 1
Modelo 1	Base + cut-out en laterales
Modelo 2	Base + cut-out en laterales + Interruptor troncal 1,2
Modelo 3	Base + cut-out en laterales + Interruptor troncal 1,2,3
Modelo 4	Base + cut-out en laterales + Interruptor troncal 1,2,3,4
Modelo 5	Base + cut-out en laterales + Interruptor troncal 1,2,3,4,5
Modelo 6	Base + cut-out en laterales + Interruptor troncal 1,2,3,4,5,6
Modelo 7	Base + cut-out en laterales + Interruptor troncal 1,4
Modelo 8	Base + cut-out en laterales + Interruptor troncal 1,3,5

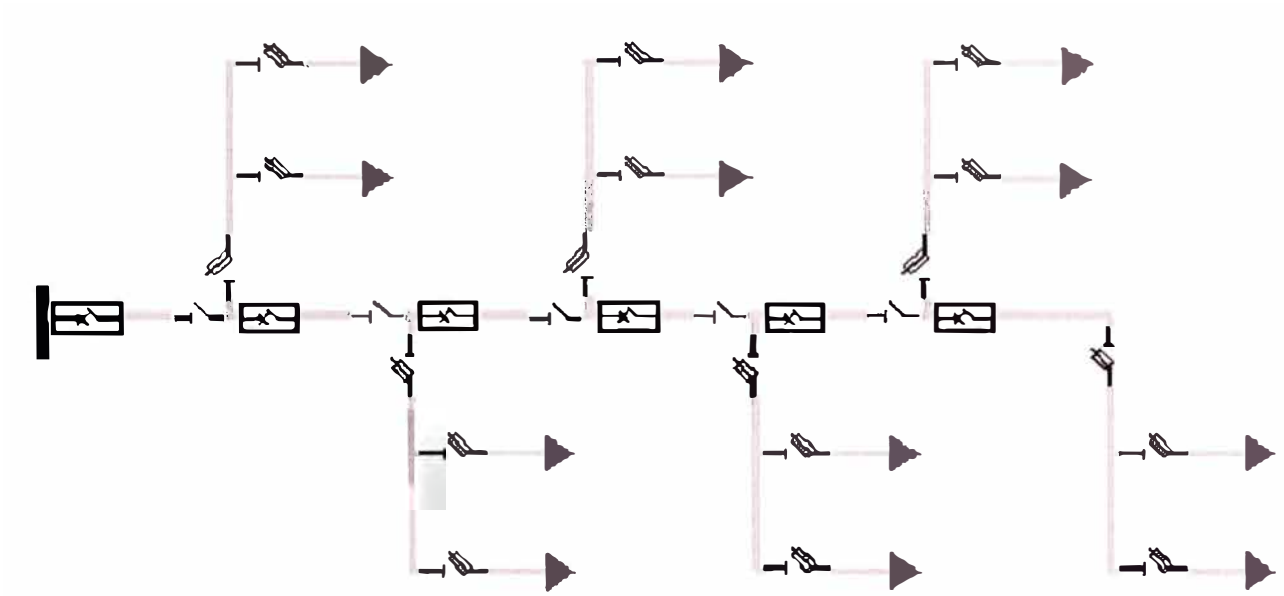


Fig. 3.10 Modelo topológico general del sistema de protección y maniobra - caso 1

b. Modelos del segundo caso: EP&M en troncales y laterales

Tienen la misma configuración que para el primer caso, excepto que los cut-outs a la salida de los laterales han sido reemplazados por EP&M con reconectores tripolares o seccionadores de potencia con fusible y relé de falla a tierra (SPFR).

La Tabla 3.58 presenta los modelos de sistemas de protección y maniobra de red aérea del caso 2.

Tabla 3.58 Modelos de sistemas de protección y maniobra de red aérea - caso 2

Modelo	Descripción
Modelo Base	Sólo Interruptor Troncal 1
Modelo 1	Base + EP&M en Laterales
Modelo 2	Base + EP&M en Laterales + Interruptor Troncal 1,2
Modelo 3	Base + EP&M en Laterales + Interruptor Troncal 1,2,3
Modelo 4	Base + EP&M en Laterales + Interruptor Troncal 1,2,3,4
Modelo 5	Base + EP&M en Laterales + Interruptor Troncal 1,2,3,4,5
Modelo 6	Base + EP&M en Laterales + Interruptor Troncal 1,2,3,4,5,6
Modelo 7	Base + EP&M en Laterales + Interruptor Troncal 1,4
Modelo 8	Base + EP&M en Laterales + Interruptor Troncal 1,3,5

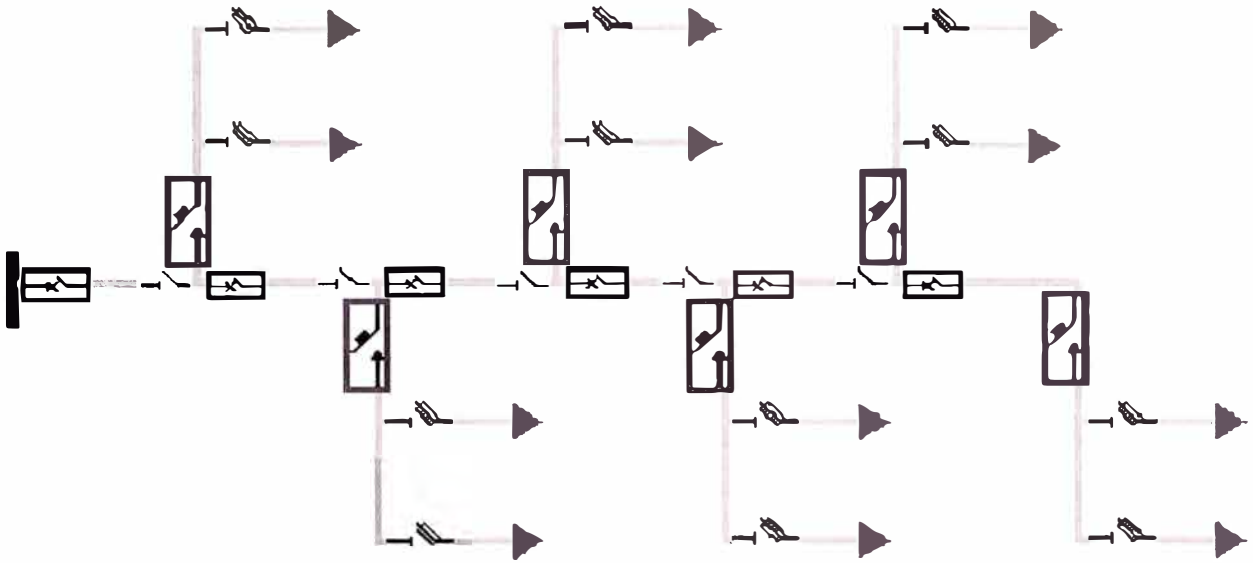


Fig. 3.11 Modelo topológico general del sistema de protección y maniobra - caso 2

3.9.4. Modelos de sistemas de protección y maniobra en red subterránea

Se plantean tres casos:

➤ Primer caso

Consiste en ubicar en la salida de todos los laterales un SPFR y ubicar secuencialmente un equipo de protección y maniobra (EP&M) en la celda de salida de cada troncal del alimentador, hasta encontrar el modelo óptimo. El EP&M es un interruptor de potencia con relé de protección multifunción (el cual debe contar con todas las funciones de protección necesarias).

El relé multifunción del SPFR contará con las funciones 50N/51N (sobrecorriente a tierra no direccional) que permiten detectar corrientes de cortocircuito y homopolares.

➤ Segundo caso

Partiendo del modelo óptimo, se reemplazan uno a uno los SPFR por seccionadores de potencia con fusible sin relé de protección de falla a tierra (SPF).

En el último modelo todas las celdas de salidas de las troncales cuentan con interruptores de potencia y todas las celdas de salida del lateral cuentan con SPF.

Debido a la funcionalidad de los SPF, en los modelos sólo son factibles despejar fallas por cortocircuito, pero las fallas homopolares son detectadas y despejadas por el EP&M ubicado aguas arriba, dejando sin servicio a todos los laterales ubicados aguas abajo del EP&M.

➤ Tercer caso

Se procede de manera similar que en el primer caso pero los SPFR son reemplazados por Seccionadores de Potencia sin fusible y relé (SP), utilizados sólo para efectos de maniobra. En estas condiciones no es posible despejar fallas de ningún tipo.

a. Modelos del primer caso: SPFR en laterales y EP&M en troncales

En el modelo base sólo existe un interruptor en la celda de salida del alimentador. No existen equipos de protección y maniobra en las salidas de troncales y laterales. En el modelo 1, se agregan SPFR en la salida de los laterales y en los siguientes modelos se agrega secuencialmente un EP&M en la salida de cada troncal. En el modelo 5 se ubica un EP&M en el centro del alimentador.

La Tabla 3.59 presenta los modelos de sistemas de protección y maniobra de red subterránea - caso 1.

Tabla 3.59 Modelos de sistemas de protección y maniobra de red subterránea - caso 1

Modelo	Descripción
Modelo Base	Sólo Interruptor Troncal 1
Modelo 1	Base + SPFR en Laterales
Modelo 2	Base + SPFR en Laterales + Interruptor Troncal 1,2
Modelo 3	Base + SPFR en Laterales + Interruptor Troncal 1,2,3
Modelo 4	Base + SPFR en Laterales + Interruptor Troncal 1,2,3,4
Modelo 5	Base + SPFR en Laterales + Interruptor Troncal 1,3

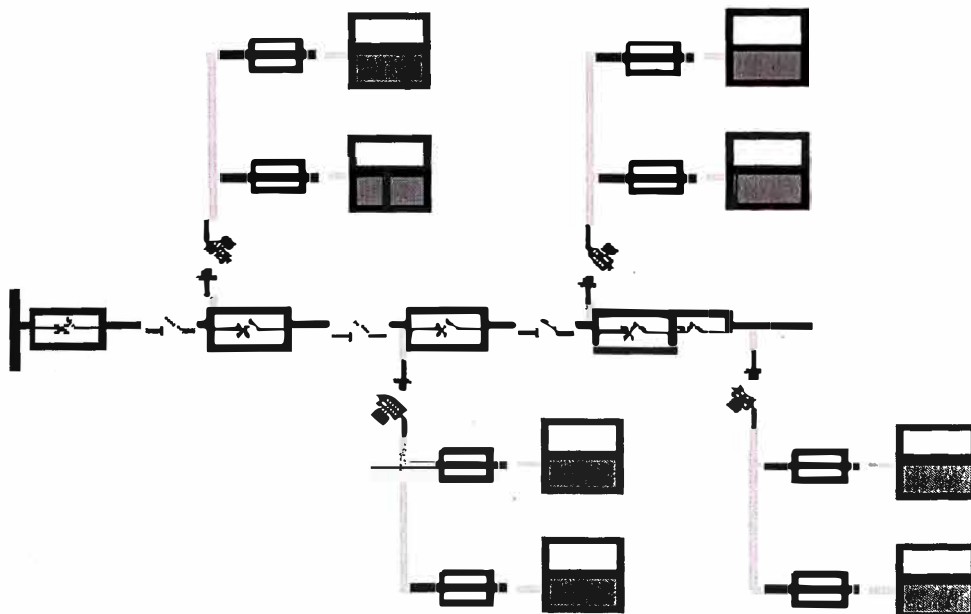


Fig. 3.12 Modelo topológico general del sistema de protección y maniobra red subterránea - caso 1

b. Modelos del segundo caso: SPF en laterales y EP&M en troncales

Partiendo del modelo óptimo, se reemplazan uno a uno los SPFR por Seccionadores de Potencia con Fusible sin relé de protección de falla a tierra (SPF).

La Tabla 3.60 presenta los modelos de sistemas de protección y maniobra de red subterránea - caso 2.

Tabla 3.60 Modelos de sistemas de protección y maniobra de red subterránea - caso 2

Modelo	Descripción
Modelo Base	4 Interruptor Troncal + SPFR en Laterales
Modelo 1	Base + Cambio SPFR x SP Lateral 1
Modelo 2	Base + Cambio SPFR x SP Lateral 1,2
Modelo 3	Base + Cambio SPFR x SP Lateral 1,2,3
Modelo 4	Base + Cambio SPFR x SP Lateral 1,2,3,4

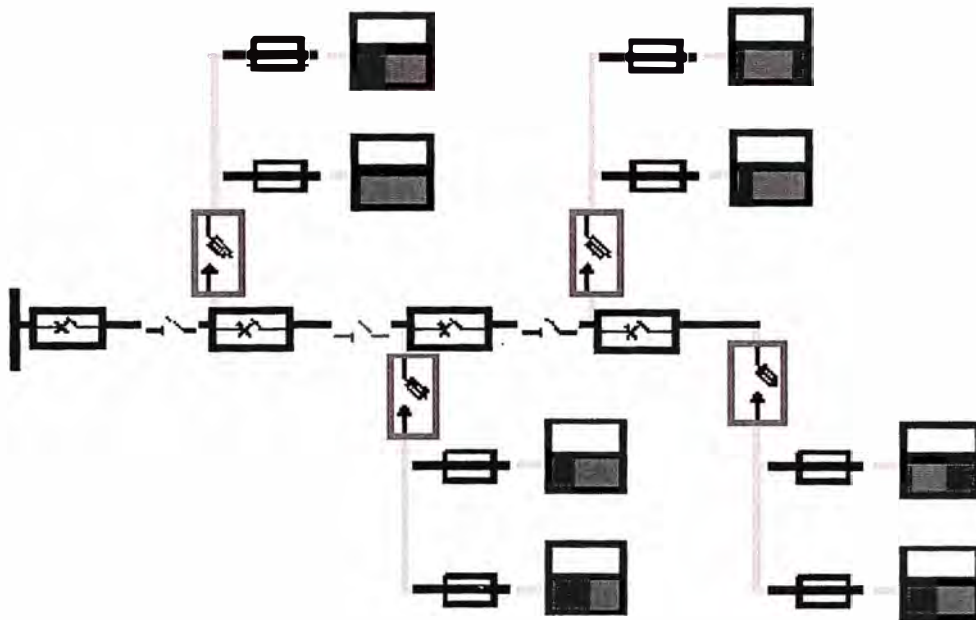


Fig. 3.13 Modelo topológico general del sistema de protección y maniobra red subterránea - caso 2

c. Modelos del tercer caso: SP en laterales y EP&M en troncales

Partiendo del modelo óptimo, se reemplazan uno a uno los SPFR por Seccionadores de Potencia sin Fusible ni relé de protección de falla a tierra (SP).

La Tabla 3.61 presenta los modelos de sistemas de protección y maniobra de red subterránea - caso 3.

Tabla 3.61 Modelos de sistemas de protección y maniobra de red subterránea - caso 3

Modelo	Descripción
Modelo Base	4 Interruptor Troncal + SPFR en Laterales
Modelo 1	Base + Cambio SP x SP Lateral 1
Modelo 2	Base + Cambio SP x SP Lateral 1,2
Modelo 3	Base + Cambio SP x SP Lateral 1,2,3
Modelo 4	Base + Cambio SP x SP Lateral 1,2,3,4
Modelo 5	4 Interruptor Troncal + SP en Laterales

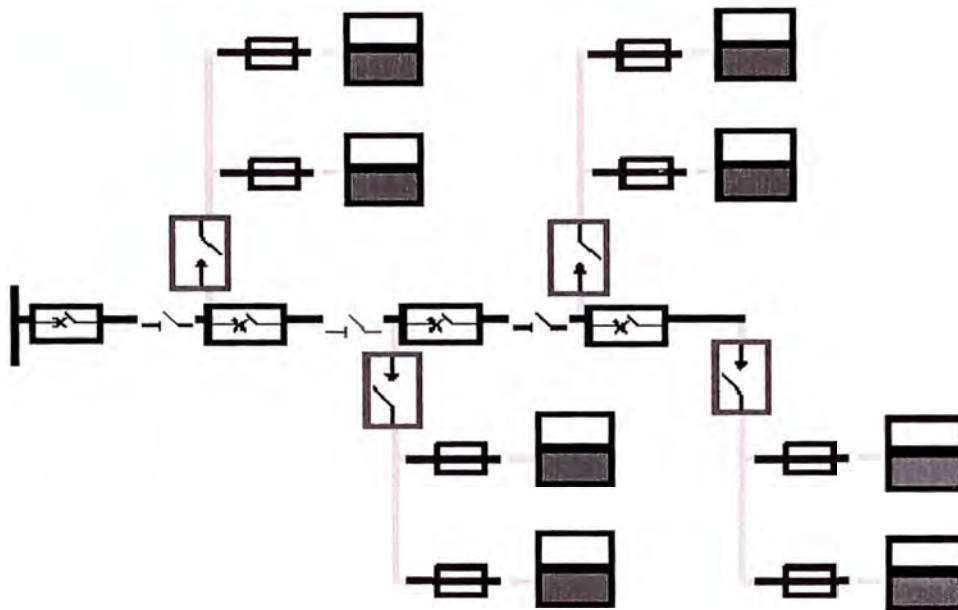


Fig. 3.14 Modelo topológico general del sistema de protección y maniobra red subterránea - caso 3

3.9.5. Evaluación de los equipos de protección y maniobra en red aérea 22,9 kV

Los valores de las compensaciones y parámetros de confiabilidad obtenidos deben considerarse referencialmente porque este sistema es relativamente nuevo en las empresas de distribución y no existen datos históricos que permitan su comparación con valores reales. Al respecto, se aclara que la tasa de falla y tiempo de reposición asumidos corresponden a los valores obtenidos de las estadísticas de la red de media tensión de la empresa de distribución del periodo 99.

De los costos totales

Del análisis de los costos totales, se concluye que el modelo 6 de sistema de protección y maniobra, es la mejor alternativa económica.

Es decir, el mínimo costo total, se consigue instalando EP&M en la salida de todas las troncales y laterales.

El EP&M de la troncal puede ser un recloser tripolar electrónico o un interruptor de potencia tripolar, dependiendo si el alimentador es netamente aéreo o mixto.

El interruptor de potencia se instala en celdas de salida de troncales o celdas exteriores de protección y seccionamiento (CEPS). En cambio, el recloser es de tipo exterior y se instala en estructuras aéreas de madera o concreto y en subestaciones de media tensión del tipo exterior.

Asimismo, el EP&M ubicado a la salida de los laterales puede ser un cut-out (primer caso), un reconectador o un SPFR en red mixta (segundo caso). Mientras el Cut-Out protege la red sólo ante sobrecorrientes de cortocircuito, el reconectador y el SPFR pueden inclusive detectar y despejar fallas por sobrecorrientes homopolares, limitando la zona de falla aguas abajo del PDL.

Respecto a las implicancias del sistema de media tensión 22,9 kV en el SPF, ver Anexo Q.

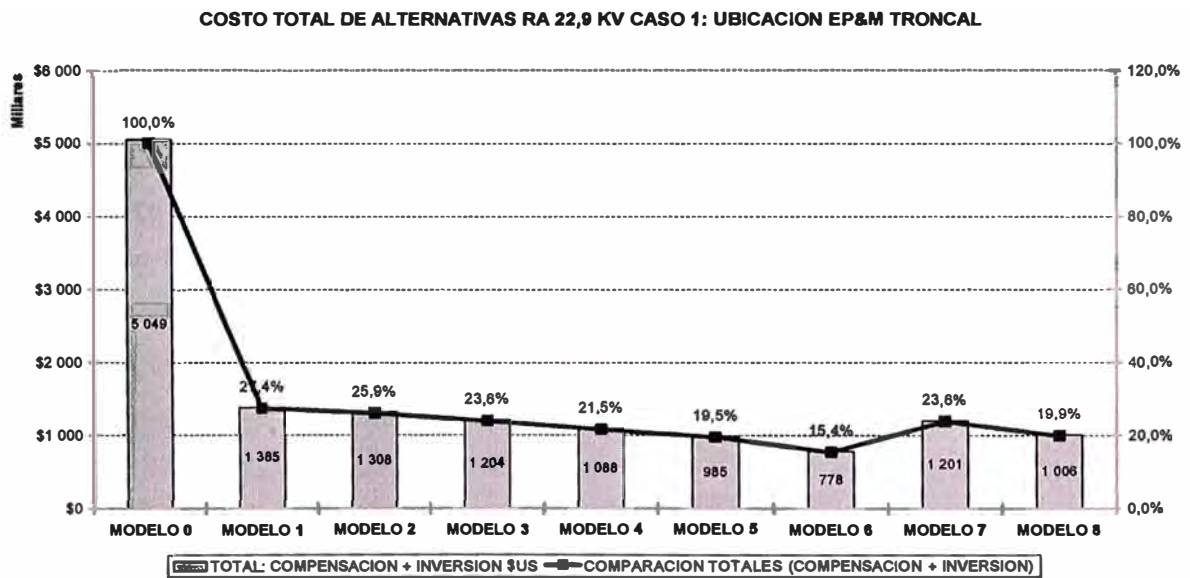


Fig. 3.15 Costo Total de alternativas de red aérea 22.9 kV – caso 1 : Ubicación EP&M Troncal

COSTO TOTAL DE ALTERNATIVAS RA 22,9 KV CASO 2: UBICACION EP&M TRONCAL

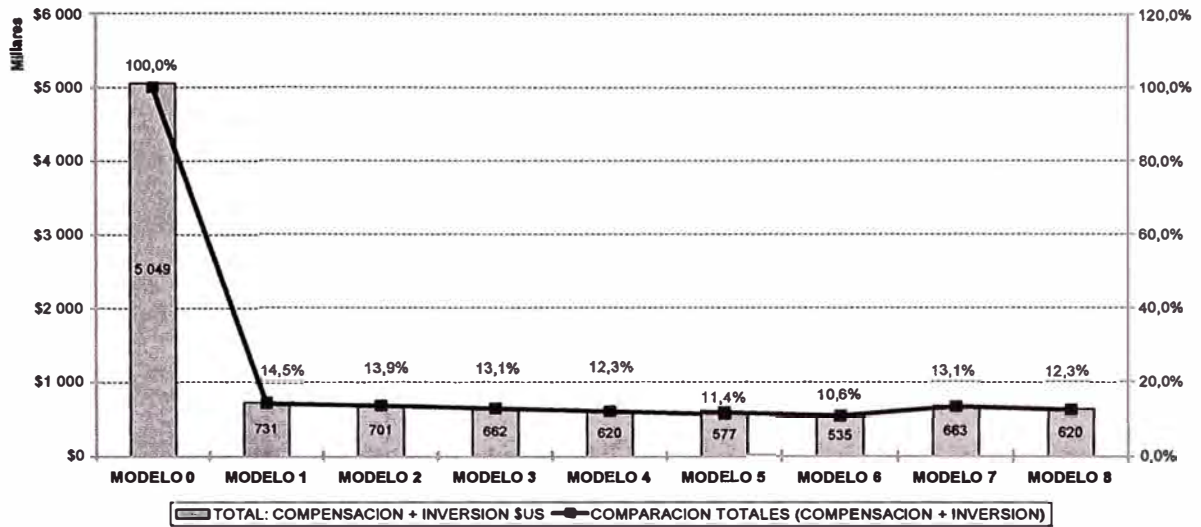


Fig. 3.16 Costo Total de alternativas de red aérea 22.9 kV – caso 2 : Ubicación EP&M Troncal

Los resultados también permiten establecer que el uso del EP&M en los laterales aéreos en 22,9 kV reduce las compensaciones (ver gráficos siguientes) lo suficiente como para compensar el incremento de las inversiones, respecto a la alternativa con cut-out. Esta aseveración puede comprobarse comparando los costos totales de las alternativas óptimas (modelo 6) de ambos casos.

Asimismo, en ambos casos los años de rentabilidad de las alternativas son menores a 3 años.

Como los resultados de las compensaciones son referenciales, se espera que con menores niveles de interrupciones, estas disminuyan lo suficiente como para hacer poco rentables los modelos de protección y maniobra. Sin embargo, aun con reducciones significativas en las compensaciones, estos modelos siguen siendo rentables.

La Tabla 3.62 presenta la comparación que comprueba la rentabilidad de las inversiones de los modelos propuestos.

Tabla 3.62 Comparación de la rentabilidad de las inversiones de los modelos propuestos

	Compensación Primer año \$mil US (*)	VAN Compensación (25 años vida útil) \$mil US	Inversión 22,9 kV	Comparación % (**)
Modelo Óptimo Caso 1	17	192	72	38%
Modelo Óptimo Caso 2	15	165	90	55%

(*) La compensación anual depende de la energía no suministrada, la cual a su vez depende de la proyección de máxima demanda anual del alimentador.

(**) (Inversión 22,9 kV) / (VAN Compensación).

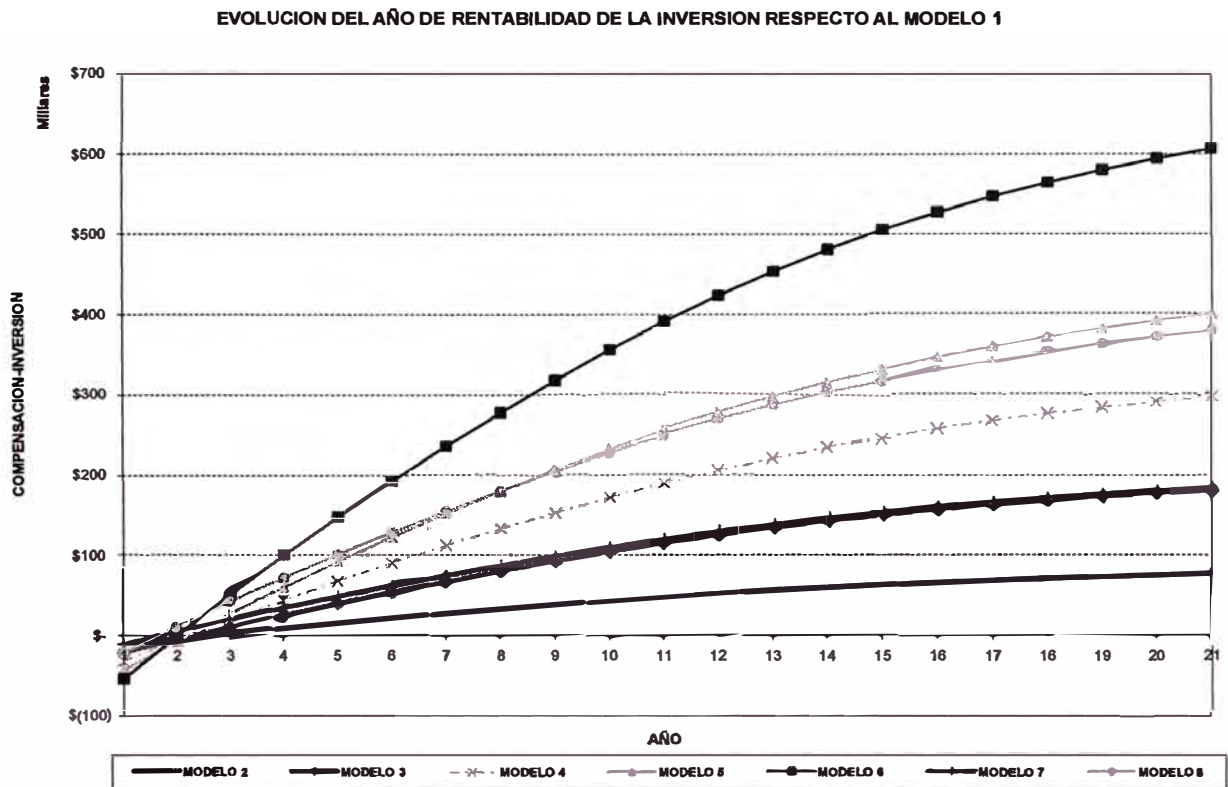


Fig. 3.17 Evolución del año de rentabilidad de la inversión respecto al modelo 1

De las compensaciones y costos de inversión

Los gráficos comparativos entre las compensaciones anuales e inversión inicial en EP&M en todos los alimentadores modelos, indican que el mayor impacto en la reducción de las compensaciones se consigue protegiendo la salida de los laterales.

Si comparamos las compensaciones de los modelos 1 y 0 (modelo Base), vemos que las compensaciones se reducen a la cuarta parte con sólo instalar Cut-Out en las salidas de los laterales y a la séptima parte en el caso del EP&M. Asimismo, la instalación de EP&M en las troncales reduce significativamente las compensaciones, de tal manera que en el modelo 6 (EP&M en todas las troncales) las compensaciones se han reducido entre 5% y 13% respecto al modelo base.

Respecto al modelo que considera sólo dos EP&M en el alimentador, los resultados indican que si bien las compensaciones anuales se incrementan en más del 30% respecto al modelo óptimo (modelo 7/ modelo 6), sin embargo la inversión se reduce entre el 50% y 60%.

El mismo comportamiento se observa en el modelo 8, en el cual se ubican tres EP&M, en la salida del alimentador y en la tercera y quinta troncal. Para este modelo, las compensaciones se incrementan en más del 20% pero la inversión se reduce en 40%.

Asimismo, ambos modelos (7 y 8) requieren la misma inversión que los modelos 2 y 3 pero implican menores costos de compensación, lo que demuestra la importancia de ubicar adecuadamente los EP&M.

Este resultado puede ser muy útil en la toma de decisiones respecto a la ubicación de los EP&M en planes de inversión por etapas. Es decir, el centro del alimentador es la ubicación óptima de un EP&M y cuando se desean instalar dos EP&M, las mejores ubicaciones serán los dos tramos intermedios alternos del alimentador.

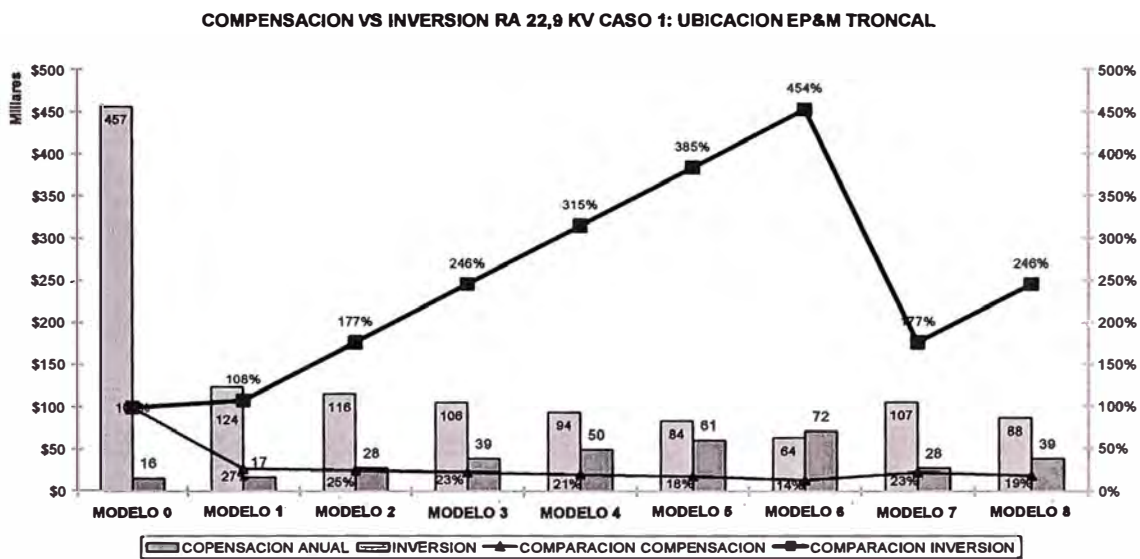


Fig. 3.18 Compensación vs. inversión en red aérea 22.9 kv caso 1 : Ubicación EP&M troncal

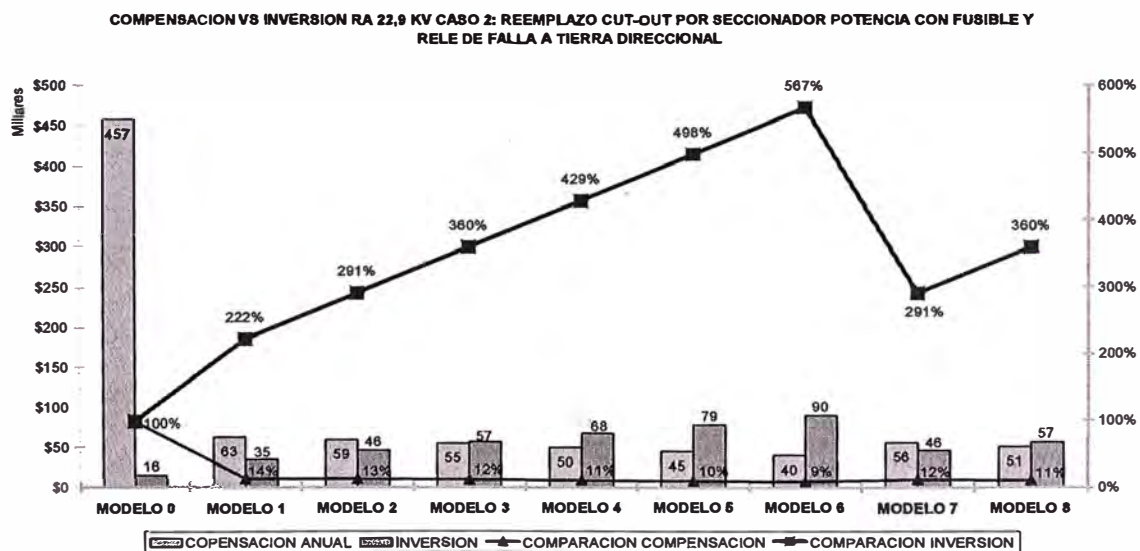


Fig. 3.18 Compensación vs. inversión en red aérea 22.9 kv caso 2 : Reemplazo de cut-out por seccionador de potencia con fusible de rele de protección de falla a tierra

De los parámetros de confiabilidad

El análisis de los parámetros de confiabilidad de los 8 modelos de Sistemas de Protección y Maniobra, permite obtener resultados respecto al impacto de la cantidad y ubicación de los EP&M.

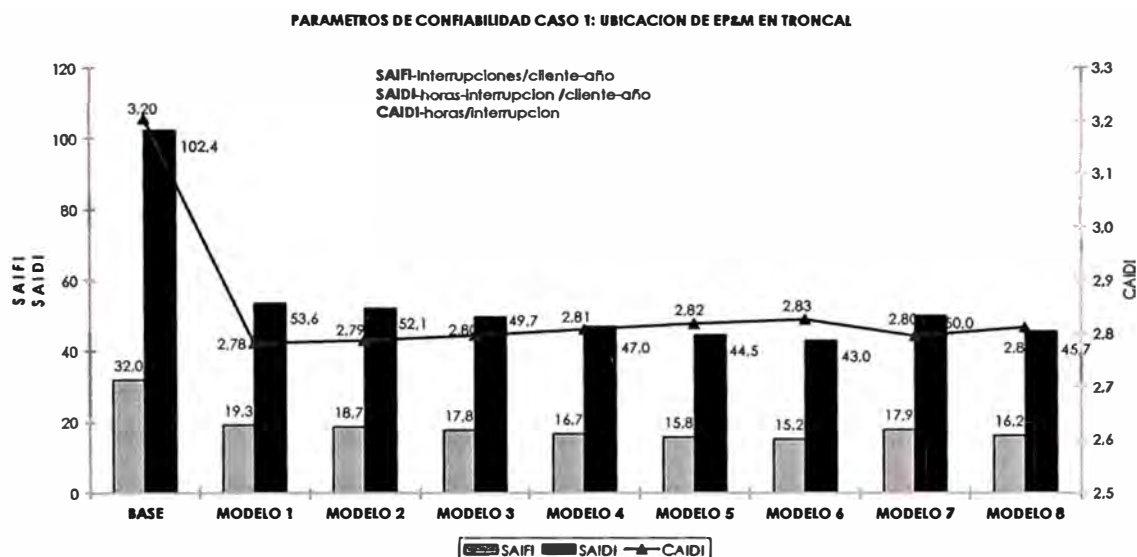


Fig. 3.18 Parámetros de confiabilidad caso 1 : Ubicación de EP&M en troncal

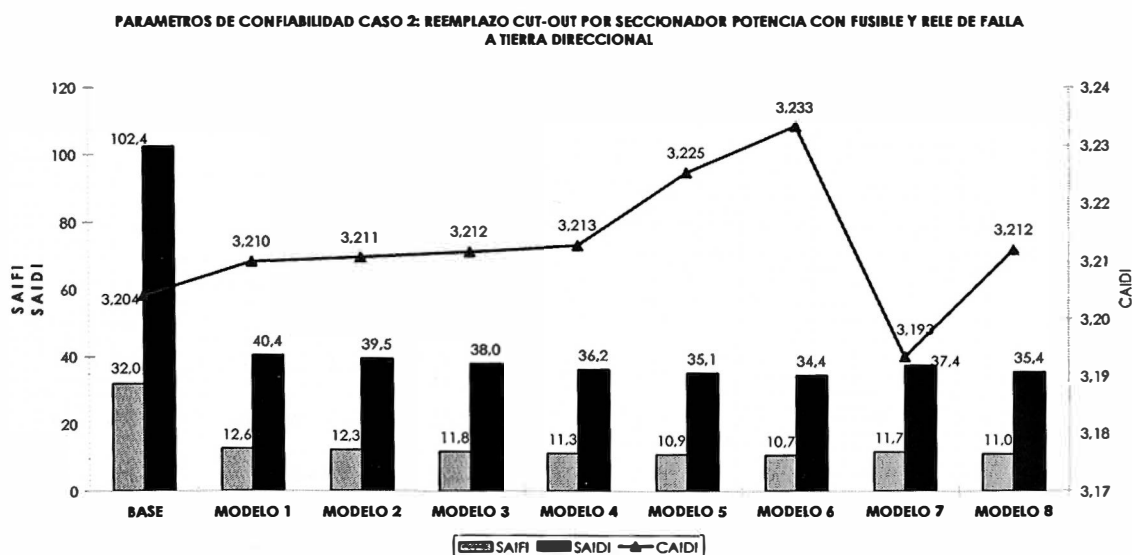


Fig. 3.18 Parámetros de confiabilidad caso 2 : Reemplazo de cut-out por seccionador de potencia con fusible y rele de protección de falla a tierra.

Los resultados confirman la importancia de proteger los laterales. Es decir, no sólo reducen significativamente las compensaciones, sino que además mejoran sustancialmente los parámetros de confiabilidad.

El equipamiento con EP&M en las troncales afina los resultados y a la vez implica cambios significativos en el sistema. Esto resalta la importancia de determinar la ubicación y cantidades óptimas de los EP&M, a medida que aumentan las cargas del sistema. Es decir, a mayores cargas, mayores serán los requerimientos de confiabilidad hasta encontrar el óptimo entre inversión y confiabilidad, lo cual a su vez tiene implicancia en las compensaciones y los indicadores de calidad.

En el caso de la red aérea de 22,9 kV, el óptimo es el modelo 6, que implica instalar EP&M en la salida de todas las troncales y también EP&M en todos los laterales.

Por ejemplo, en el modelo base (modelo 0) en el cual sólo se considera el interruptor a la salida del alimentador, es probable que ocurran más de 18 interrupciones anuales por cliente y más de 60 horas acumuladas durante un año sin servicio eléctrico. Sin embargo, sólo protegiendo las salidas de todos los laterales ante fallas por sobrecorriente de cortocircuito con cut-out o SPFR, el número de interrupciones por cliente se reduciría entre 40% y 60% (11 y 7 fallas-año/cliente) y las horas acumuladas en aproximadamente 60% (24 a 25 horas-año/cliente).

Asimismo, los resultados también indican que el modelo 6 es óptimo en términos económicos y de confiabilidad, puesto que tiene los mejores parámetros de confiabilidad.

En la Tabla 3.63 se comparan las magnitudes de los parámetros de confiabilidad obtenidos en el presente estudio y de algunos países de la región y Europa. Los valores máximos del modelo óptimo de la empresa de distribución se refieren al caso 1 (cut-out en laterales) y los mínimos corresponden al modelo óptimo del caso 2 (SPFR en laterales).

Se precisa que los parámetros de confiabilidad son relativamente altos porque se están considerando tasas de falla de red aérea y subterránea según estadísticas de la empresa de distribución del año 99. Sin embargo, es muy probable que los niveles actuales sean muchos menores debido a la menor magnitud de las tasas de falla. En efecto, reduciendo la tasa de falla y el tiempo de reposición en 50%, el SAIDI se reduce a la tercera parte y el SAIFI a la mitad, tal como se muestra en la última fila de la Tabla 3.63.

Tabla 3.63 Comparación de parámetros de confiabilidad

	SAIDI Promedio	SAIDI Máximo	SAIDI Mínimo	SAIFI Promedio	SAIFI Máximo	SAIFI Mínimo
Argentina (1997) *	14,87	23,14	8,88	9,72	11,4	8,16
Gran Bretaña (1998) *	1,59	3,7	0,75	0,85	1,55	0,38
California (1998) *	2,0	3,0	0,8	1,86	2,7	1,3
Illinois (1998) *	6,08	10,0	1,35	2,0	2,84	0,66
Washington (1997) *	1,62	4,47	0,72	1,76	8,3	0,21
Panamá (2000) **	15,79	27,5	7,99	8,32	11,3	5,29
Empresa de distribución (Modelo óptimo) ***		22,5	21,0		9,2	6,0
Empresa de distribución (Modelo Óptimo) ****			7,130			3,427

* Fuente: Latin American University Research on Infrastructure Network, LAURIN

** Anuario estadístico 2001 Ente Regulador, clientes del sector urbano

*** Máximos: Modelo óptimo empresa de distribución caso 1 (cut-out en laterales), Mínimos: Modelo óptimo empresa de distribución caso 2 (SPFR en laterales)

**** Estos valores corresponderían a los parámetros de confiabilidad si consideramos el 50% del valor de la tasa de falla y tiempo de reposición del año 1999 aplicado sobre el modelo óptimo del caso 2.

3.9.6. Evaluación de equipos de protección y maniobra en red subterránea 22,9 kV

De los costos totales

En red subterránea 22.9 kV el modelo óptimo es aquel que considera la protección de todas las salidas de troncales y laterales (modelo 3). Este modelo involucra los siguientes equipos:

- EP&M en todas las celdas de salida de troncales.
- SPFR en las celdas de salida de todos los laterales.

Donde:

EP&M : Equipo de Protección y Maniobra y estará compuesto por el interruptor de potencia, relé multifunción con las funciones de protección por sobrecorriente de fases (50/51) y sobrecorriente a tierra (50N/51N) como mínimo y los transformadores de tensión y corriente correspondientes.

SPFR : Seccionador Fusible de Potencia con relé multifunción con la función de protección por sobrecorriente a tierra (50N/51N) como mínimo. Sin embargo, tal como se describe en Anexo Q, mientras no se establezcan cuales son los niveles de las corrientes de falla a tierra en este sistema, se recomienda utilizar interruptores de potencia y el relé debe contar además con la función de sobrecorriente de fases 50/51. Desde el punto de vista de las compensaciones y confiabilidad, prácticamente no existen variaciones, sin embargo, la inversión se incrementaría aproximadamente en \$ US 5000 por lateral.

El Tabla 3.64 resume los costos totales de los modelos con el equipamiento completo de los tres casos considerados. Los resultados revelan que el incremento en las inversiones para la protección de todos los laterales con SPFR (modelo óptimo) es compensado por las reducciones en las probables compensaciones.

Tabla 3.64 Comparación de costos totales

Caso	Modelo	Descripción	VAN Compensación US\$mil (*)	Inversión US\$mil	Costo total US\$mil
Caso 1	Modelo 3 (modelo optimo)	Interruptor en salida de todas las troncales y SPFR en salida todos los laterales	\$322,8	\$56,9	\$379,7
Caso 2	Modelo 3	Interruptor en salida de todas las troncales y SPF en salida todos los laterales	\$333,3	\$49,0	\$382,3
Caso 3	Modelo 3	Interruptor en salida de todas las troncales y SP en salida todos los laterales	\$401,0	\$48,6	\$449,6

- SPFR : Seccionador Fusible de Potencia con Rele de multifunción con función de falla a tierra

- SPF : Seccionador Fusible de Potencia sin Rele de protección.

- SP : Seccionador de Potencia, sin fusible ni Relé de protección.

(*) Durante 20 años de vida útil

De las compensaciones y costos de inversión

Los gráficos comparativos de las compensaciones anuales con la inversión inicial en EP&M en los alimentadores modelos, indican que el mayor impacto en la reducción de las compensaciones se consigue protegiendo la salida de los laterales.

Si comparamos las compensaciones de los modelos 1 y 0 (modelo Base), las compensaciones se reducen en 40% con sólo instalar SPFR en las celdas de salida de todos los laterales. Esta reducción es mucho menor que para red aérea, debido en parte a la menor tasa de falla (casi la tercera parte) a pesar de que el tiempo de salida es mayor (casi 70%).

En red subterránea los resultados que resultan de ubicar un EP&M en el punto central del alimentador (modelo 5), son más significativos que en red aérea.

De los resultados, las compensaciones anuales en el modelo 5 se incrementan en sólo 1% respecto al modelo óptimo mientras la inversión se reduce aproximadamente en 15%, lo que significa que la instalación de un EP&M en el centro del alimentador, sólo se incrementaría el valor actual neto de las compensaciones en \$US 3000, pero la inversión inicial se reduciría en \$US 8000. Considerando el costo de las celdas y de los accesorios el ahorro sería más significativo.

Sin embargo, este ahorro es insignificante si tenemos en cuenta las desventajas de este modelo en cuanto a las operaciones reales de maniobra y mantenimiento.

Estas desventajas son cubiertas totalmente por el modelo óptimo (modelo 3) el cual permite segmentar los alimentadores durante las maniobras de transferencia de carga y durante operaciones de mantenimiento. Ambas operaciones son mucho más importantes en redes subterráneas en 22,9 kV en donde existen pocos puntos de donde segmentar el alimentador, siendo menos factible si sólo contamos con un EP&M.

Por lo tanto, la instalación indiscriminada de EP&M no reduce sustancialmente la confiabilidad del sistema ni tampoco las compensaciones, y para efectos de toma de decisiones deben determinarse previamente:

- Cantidad Óptima de EP&M
- Ubicación Óptimas de los EP&M

Ambas variables pueden determinarse mediante análisis de confiabilidad sólo con las alternativas técnicamente correctas y afinando los resultados con las consideraciones de mantenimiento y maniobra.

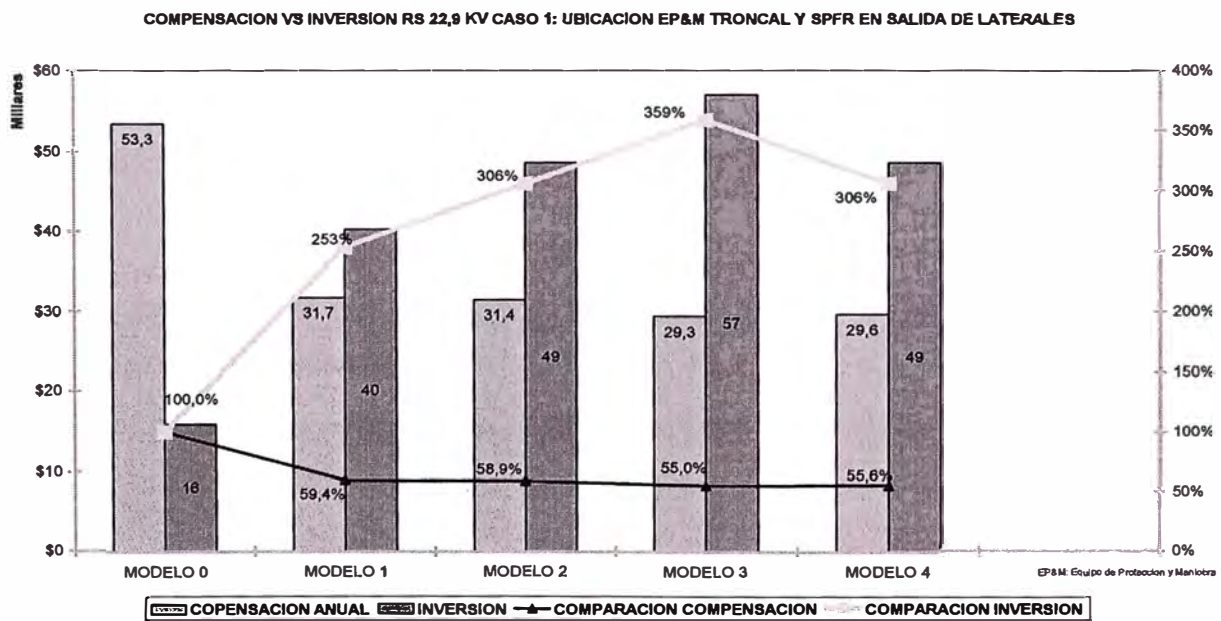


Fig. 3.19 Compensación vs inversión en red subterránea 22.9 kV caso 1 : Ubicación EP&M troncal y SPFR en salida de laterales

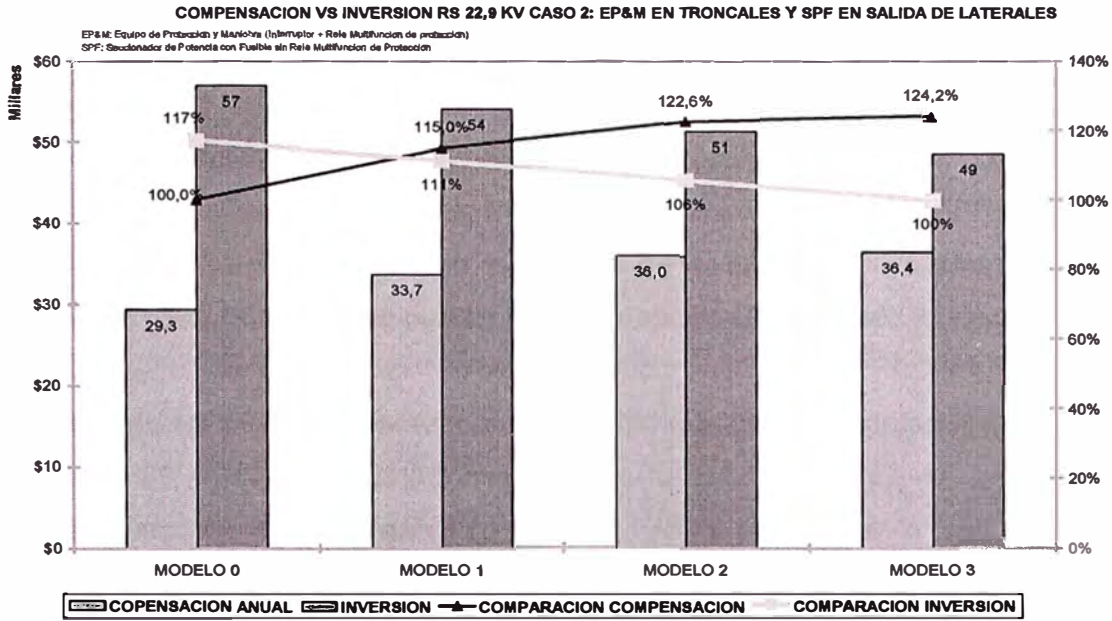


Fig. 3.20 Compensación vs inversión en red subterránea 22.9 kV caso 2 : EP&M troncales y SPF en salida de laterales

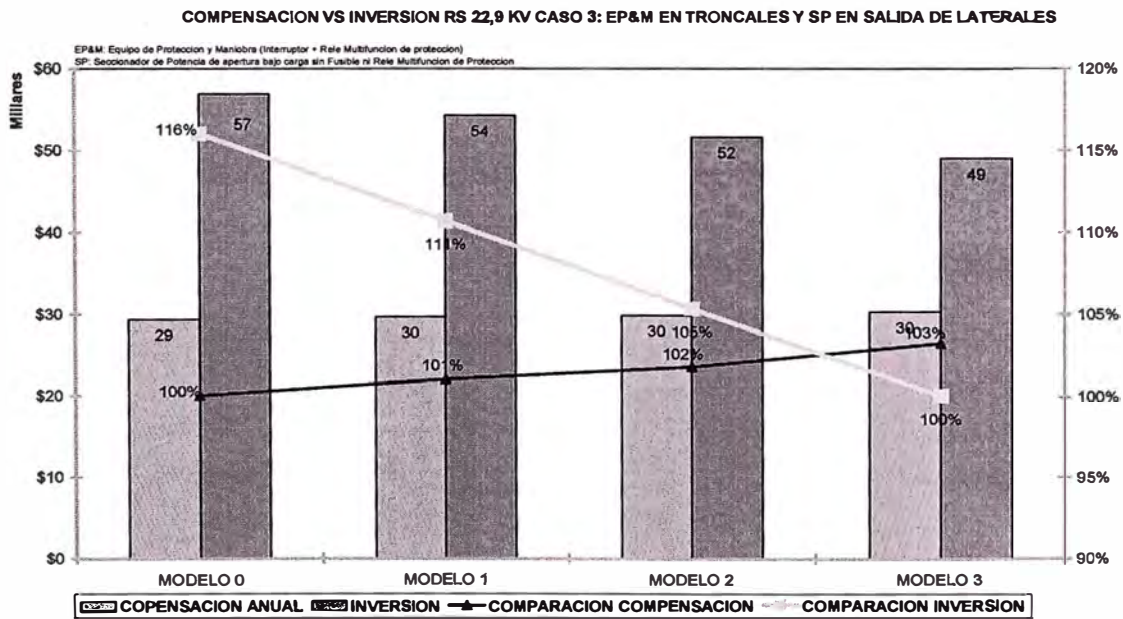


Fig. 3.21 Compensación vs inversión en red subterránea 22.9 kV caso 3 : EP&M troncales y SP en salida de laterales

De los parámetros de confiabilidad

Del análisis de los costos totales se estableció el modelo óptimo desde el punto de vista económico. Asimismo, este modelo (modelo 3) tiene los mejores índices de confiabilidad

y por tanto, implica menores interrupciones del servicio (SAIFI) y menor tiempo total de interrupción (SAIDI) por cliente y por año.

Además, si comparamos los índices SAIDI y SAIFI del modelo óptimo con el modelo 3 del caso 2, casi no existe variación en dichos indicadores, lo que implica que desde el punto de vista de la confiabilidad, es casi indiferente utilizar SPFR o sólo SPF, debido a que en redes subterráneas la mayoría de fallas son de naturaleza permanente y que las fallas transitorias, gran parte de las cuales son homopolares, son menos frecuentes que en red aérea.

Sin embargo, en los modelos del caso 3, en los cuales se modelan los reemplazos de los SPFR por SP (Sólo Seccionadores de apertura bajo carga), el parámetro SAIDI se incrementa en más de dos puntos (de 17,4 a 19,6) y el parámetro SAIFI se incrementa en 0,8 puntos (de 5,0 a 5,8). Es decir, cada cliente tendría adicionalmente dos interrupciones por año y casi una hora adicional de interrupción anual.

Por lo tanto, la instalación sólo de seccionadores de potencia interior (sin fusible) en la salida de los laterales, no ofrece ninguna ventaja y por el contrario conlleva incrementos apreciables en los parámetros de confiabilidad y en las compensaciones, reduciendo significativamente la calidad del servicio.

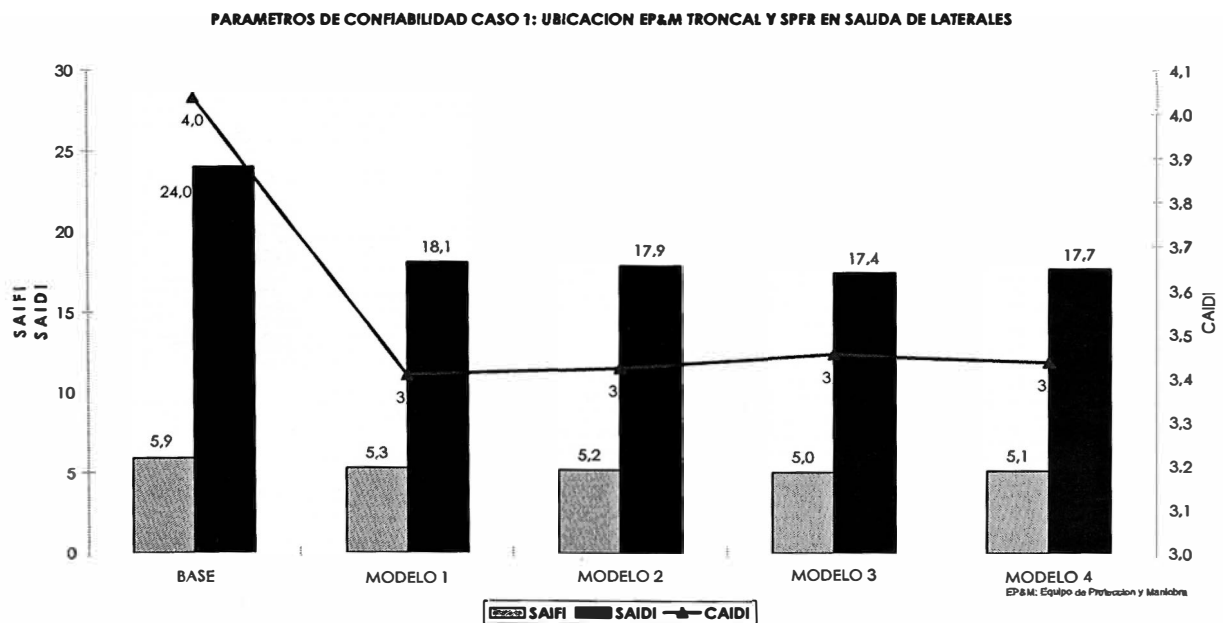


Fig. 3.22 Parámetros de confiabilidad caso 1 : Ubicación EP&M troncal y SPFR en salida de laterales

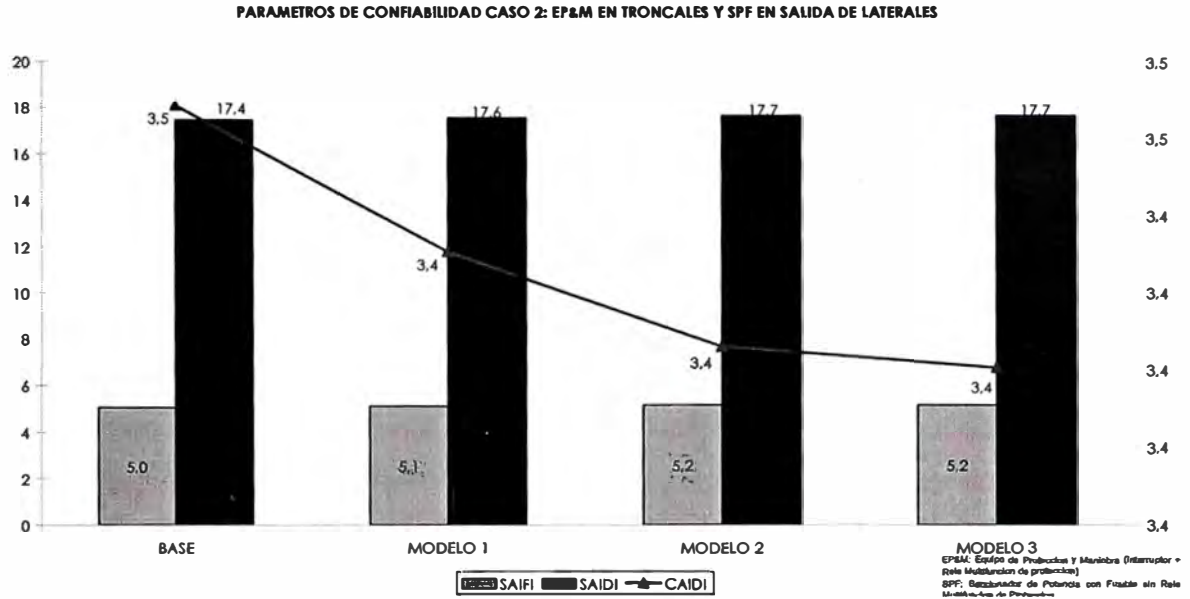


Fig. 3.23 Parámetros de confiabilidad caso 2 : EP&M troncales y SPF en salida de laterales

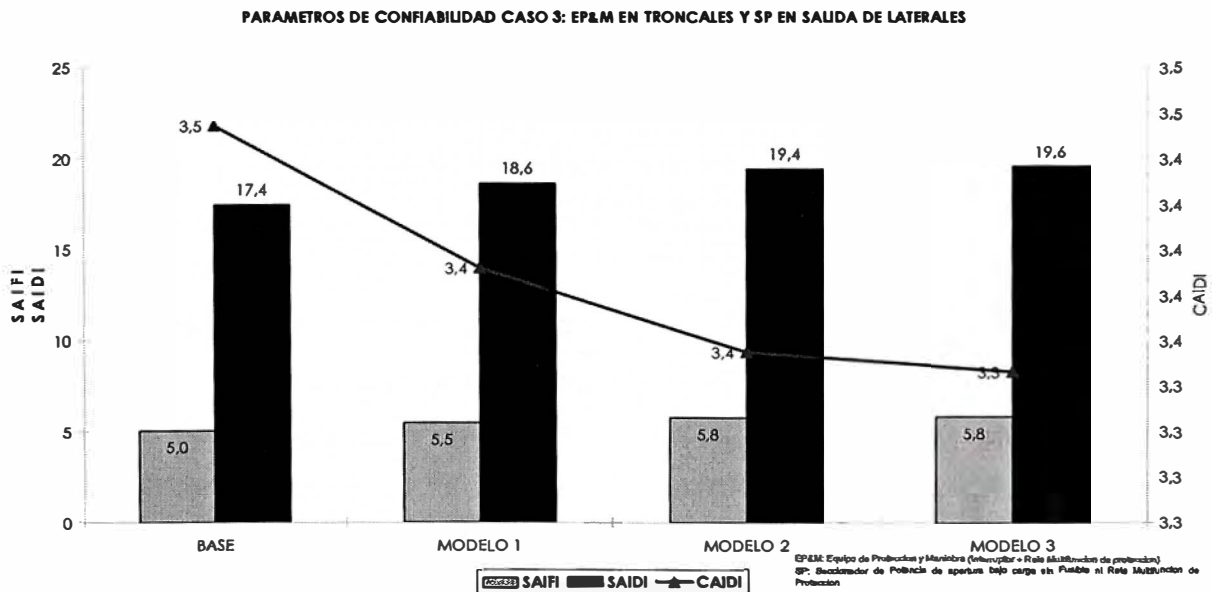


Fig. 3.24 Parámetros de confiabilidad caso 3 : EP&M troncales y SP en salida de laterales

3.9.7. Análisis de los resultados de los modelos de protección y maniobra

A continuación se describen los resultados obtenidos del análisis de confiabilidad sobre los modelos de protección y maniobra considerando las compensaciones por interrupción del servicio, inversión en equipos de protección y maniobra (EP&M) y calidad del servicio (parámetros de confiabilidad SAIDI y SAIFI).

De las compensaciones en red aérea

- En el modelo 1 con protección sólo por sobrecorriente de los laterales con fusibles seccionadores unipolares (cut-out), las compensaciones están en el rango aproximado de 20% - 25% respecto a las compensaciones del modelo base, el cual considera EP&M sólo en la salida del alimentador y sin protección de los laterales.
- Asimismo, al considerar EP&M en todas las salidas de las troncales para su protección ante fallas por sobrecorriente y fallas monofásicas a tierra (corrientes homopolares), en el modelo resultante las compensaciones se reducen casi a la mitad respecto a las compensaciones del modelo 1.
- Si además, en vez del cut-out se ubican EP&M en todas las salidas de los laterales con protección adicional por corrientes homopolares, las compensaciones anteriores se reducen aproximadamente en 20%.
- En cambio, la ubicación de EP&M sólo en el centro del alimentador modelo, la reducción de las compensaciones está en el rango de 7% a 15% respecto al modelo 1.
- En la salida de las troncales, los EP&M recomendables son reconectores tripolares e interruptores de potencia tripolares (red mixta). En la salida de los laterales, los EP&M recomendables son reconectores tripolares y seccionadores fusibles de potencia con relé de falla a tierra (SPFR) para red mixta. Ambos equipos brindan protección por sobrecorriente de fases y sobrecorriente a tierra por falla a tierra monofásica.

De las compensaciones en red subterránea

- Al igual que en red aérea, en el modelo 1 sólo con protección de los laterales ante fallas por sobrecorriente y fallas monofásicas a tierra con equipos SPFR, las compensaciones están en el rango aproximado de 20% - 25% respecto a las compensaciones del modelo base, el cual considera EP&M sólo en la salida del alimentador y sin protección de los laterales.
- Si además consideramos EP&M en todas las salidas de las troncales para su protección ante fallas por sobrecorriente y fallas monofásicas a tierra, en el modelo resultante las compensaciones se reducen hasta en 8% respecto a las compensaciones del modelo 1.
- En cambio, la ubicación de EP&M sólo en el centro del alimentador modelo, reduce las compensaciones sólo en 6%.
- En el modelo que reemplaza los SPFR por seccionadores fusibles sin relé de protección (SPF) en las salidas de los laterales, las compensaciones se incrementan

aproximadamente en 5%. En este caso el SPF actuará ante sobrecorrientes de fase y no cuando se presenten fallas monofásicas a tierra.

De los parámetros de confiabilidad

- Con los niveles de fallas considerados y el modelo óptimo de configuración de alimentadores aéreos en 22,9 KV, los clientes tendrían 15 interrupciones con 43 horas sin servicio al año.
- En el modelo que considera EP&M en vez de Cut-Out para la maniobra y protección en los laterales, el número de interrupciones al año por cliente (SAIFI) y el tiempo de interrupción por cliente al año (SAIDI) se reducen en 40% y 5% respectivamente.
- Del resultado anterior, se deduce que la ubicación de EP&M en los laterales, al despejar también las fallas homopolares y evitar la actuación del EP&M de la troncal aguas arriba, tiene mas incidencia en la reducción del número de interrupciones que en el tiempo de interrupción.
- En los modelos Subterráneos, los parámetros de confiabilidad son mejores que en los modelos de red aérea. Los parámetros SAIFI y SAIDI son el 55% y 80% de sus similares de red aérea. Es decir, en red subterránea con su configuración óptima, cada cliente tendría como máximo 5 interrupciones y 17 horas sin servicio por año.
- En el modelo que no considera el uso del relé junto al Seccionador Fusible de Potencia (SPF) en los laterales subterráneos, el SAIDI se incrementa solo en 1%. En cambio, al usar Seccionadores de Potencia sin Fusible, los parámetros SAIDI y SAIFI se incrementan aproximadamente en 18%.
- El número y tiempo probables de interrupciones del servicio anuales por cliente son mayores a medida que se incrementan las longitudes de troncales y laterales.
- Por lo tanto, los parámetros de confiabilidad también limitan los alcances máximos de las Troncales y Laterales.
- Por ejemplo, incrementar en 10% la longitud de la troncal, equivale a incrementar en 12% el parámetro SAIFI. Asimismo, el parámetro SAIDI, se incrementa en 17%.
- El nivel optimo de confiabilidad y compensación se obtiene ubicando Equipos de protección y Maniobra - EP&M en las salidas de todas las troncales.
- En una implementación por etapas de los EP&M se debe dar preferencia a su instalación en las troncales intermedias.
- De la evolución de los parámetros de confiabilidad, los modelos de protección y maniobra subterráneos con mayor desempeño son aquellos con EP&M en las celdas de salida de laterales.

3.9.8. Resumen: Alternativas de protección y maniobra

a. Alimentadores aéreos 22,9 kV

- Celda de Salida del Alimentador:
 - Maniobra
 - Interruptor Tripolar de Potencia
 - Protección
 - Relé Multifunción (control, medición, protección, autosupervisión y comunicación) con funciones de protección mínimas:
 - ✓ 27: Subtensión
 - ✓ 46: Corriente de fase inversa o balance de fases (secuencia negativa).
 - ✓ 50: Sobrecorriente instantánea
 - ✓ 51: Sobrecorriente temporizada.
 - ✓ 50N: Sobrecorriente a tierra instantáneo.
 - ✓ 51N: Sobrecorriente a tierra temporizado.
 - ✓ 59: Sobretensión
 - ✓ 59N: Sobretensión Homopolar
 - ✓ 79: Control de recierre y bloqueo automático del
 - ✓ 81: Por rango de Variación de frecuencia.
 - Equipos complementarios mínimos:
 - Transformadores de Corriente de protección y medición
 - Transformador Toroidal para Corriente Homopolar
 - Cargador de batería
 - Banco de baterías
- Salida de troncales
 - Maniobra
 - Alternativa recomendada: Reconectador Tripolar Automático (Recloser) con Control Electrónico.
 - Red Mixta: Interruptor Tripolar de Potencia en Celda Exterior de Protección y Seccionamiento.
 - Protección
 - Relé Multifunción (control, medición, protección, autosupervisión y comunicación) con funciones de protección mínimas:
 - ✓ 50/51: Sobrecorriente de Fase (sólo para el reconectador).

- ✓ 50N/51N: Sobrecorriente a tierra.
- Equipos complementarios:
 - Transformadores de Corriente de protección y medición
 - Transformador Toroidal para Corriente Homopolar
 - Cargador de batería
 - Banco de baterías
- Lateral
 - Maniobra
 - Alternativa recomendada: Reconectador Tripolar Automático (Recloser) con Control Electrónico. (Ver Anexo R)
 - Para red aérea mixta: Seccionador Fusible de Potencia Tripolar con Fusible Limitador de Corriente - SPF y Relé de protección para laterales con alta ocurrencia de fallas monofásicas a tierra en Celda Exterior.
 - Fusible Seccionador Unipolar Aéreo (Cut-Out) con Fusible de Expulsión.
 - Protección
 - Relé Multifunción (control, medición, protección, autosupervisión y comunicación) con funciones de protección mínimas:
 - ✓ 50/51: Sobrecorriente de fases (sólo para el reconectador).
 - ✓ 50N/51N: Sobrecorriente a Tierra.
 - Equipos complementarios:
 - Transformador de corriente Toroidal
 - Cargador de batería
 - Banco de baterías

b. Alimentadores subterráneos 22,9 kV

- Celda de Salida del Alimentador:
 - Maniobra
 - Interruptor de potencia tripolar
 - Protección
 - Relé Multifunción (control, medición, protección, autosupervisión y comunicación) con funciones de protección mínimas:
 - ✓ 27: Subtensión
 - ✓ 46: Corriente de fase inversa o balance de fases (secuencia negativa).
 - ✓ 50: Sobrecorriente instantánea

- ✓ 51: Sobrecorriente temporizada.
- ✓ 50N: Sobrecorriente a tierra instantáneo.
- ✓ 51N: Sobrecorriente a tierra temporizado.
- ✓ 59: Sobretensión
- ✓ 59N: Sobretensión Homopolar
- ✓ 79: Control de recierre y bloqueo automático del
- ✓ 81: Por rango de Variación de frecuencia.
- Equipos complementarios:
 - Transformadores de Corriente de protección y medición
 - Transformador Toroidal para Corriente Homopolar
 - Cargador de batería
 - Banco de baterías
- Celda de salida de troncales
 - Maniobra
 - Interruptor de potencia tripolar
 - Protección
 - Relé Multifunción (control, medición, protección, autosupervisión y comunicación) con funciones de protección:
 - ✓ 50/51: Sobrecorriente de Fase
 - ✓ 50/51 N: Sobrecorriente a Tierra
 - Equipos complementarios:
 - Transformadores de Corriente de protección y medición
 - Transformador Toroidal para Corriente Homopolar
 - Cargador de batería
 - Banco de baterías
- Lateral
 - Maniobra
 - (*) Seccionador de Potencia con Fusible y Relé de protección.
 - Interruptor de potencia tripolar

(*) Respecto a la factibilidad de esta alternativa ver nota 3 de 5.8.9.2. C

(*) Respecto a las consideraciones de selección del equipo ver nota 4 de 5.8.9.3. C
 - Protección
 - Relé Multifunción (control, medición, protección, autosupervisión y comunicación) con funciones de protección:
 - ✓ 50/51N: Sobrecorriente a Tierra

✓ 50/51: Sobrecorriente de fases (sólo para la alternativa de Interruptor de Potencia Tripolar)

- Equipos complementarios:

- Transformador de corriente Toroidal
- Cargador de batería
- Banco de baterías

Con el Interruptor como alternativa se requiere adicionalmente:

- Transformadores de Corriente de fases

CONCLUSIONES

1. Los resultados del análisis estadístico de las curvas horarias y factores de carga de todos los alimentadores, se concluye que es factible agruparlos, según el comportamiento de su carga, en dos tipos de alimentadores.

El primer tipo, denominado AL 1, corresponde a los alimentadores que tienen un Factor de Carga menor o cercano a 0,75. A este grupo pertenecen los alimentadores con carga predominante del tipo comercial liviana y pesada, residencial baja, media y alta, redes extensas y residencial-comerciales. A este grupo pertenecen el 79% de alimentadores de la empresa que a su vez representan el 82% de su máxima demanda.

Los alimentadores con carga industrial pesada, industrial liviana y residencial-industrial pertenecerían al segundo tipo denominado AL 2, con un Factor de carga mayor a 0,75. Este tipo agrupa el 21% de alimentadores de la empresa, con el 18% de la máxima demanda.

2. La capacidad máxima del alimentador troncal está limitada por la capacidad de sobrecarga en condiciones de emergencia del cable subterráneo a la salida de la SET y por la capacidad de reserva en condiciones de máxima demanda, cuando asuma parte de la carga del alimentador adyacente.
3. Los cálculos indican que los cables subterráneos N2XSY pueden sobrecargarse hasta un 20% por encima de su capacidad en operación normal durante un periodo no mayor de 2 horas.
4. Par efectos del estudio los alimentadores se diseñaron para que tengan la capacidad de asumir en condiciones de emergencia hasta el 33,3% (1/3) de la máxima carga del alimentador adyacente y por un periodo no mayor de dos horas (máximo tiempo para una sobrecarga del 120%).

5. Considerando los resultados 3 y 4, la capacidad máxima del alimentador troncal o la corriente admisible será el 97% de la capacidad en operación normal del cable subterráneo a la salida de la SET.
6. A su vez, la capacidad en operación normal del cable subterráneo se obtiene aplicando el factor de corrección por agrupamiento a las capacidades en operación normal. En el estudio se consideró que la salida de la SET se realizaba con tres sistemas de cables subterráneos cuyo factor de agrupamiento es 0.73, válido para cables unipolares con aislamiento termoplástico en disposición horizontal.
7. Entonces, la capacidad máxima en operación normal de los alimentadores será el 71% ($97\% \times 0,73$) de la capacidad en operación normal no corregida del cable subterráneo instalado a la salida de la SET. Es decir, si los alimentadores son diseñados al 71% estarán en capacidad de asumir hasta 1/3 de la carga máxima del alimentador adyacente durante 02 horas y en condiciones de máxima demanda.
8. En caso uno de los alimentadores tenga que salir de servicio, será factible transferir el 100% de su carga hacia los alimentadores adyacentes a través de tres enlaces auxiliares, aun en condiciones de máxima demanda hasta por un periodo de dos horas.
9. Las alternativas topológicas de los alimentadores aéreos consideran un modelo de distribución de carga uniforme y concentrada en los Puntos de Derivación de Lateral (PDL).

En los alimentadores subterráneos se considera un modelo de carga triangular, según el cual las cargas concentradas en los PDL crecen conforme nos alejamos de la SET.

El número de PDLs depende del tipo de alimentador (AL1 o AL2) y del tipo de red (ver Tabla 1 siguiente).

Tabla 1 Cantidad de PDLs por tipo de alimentador

Tipo Alimentador	Tipo Red	Nivel Tensión	Numero PDLs
AL 1	Aérea	22,9 kV	6
	Subterránea	22,9 kV	3
AL 2	Aérea	22,9 kV	4
	Subterránea	22,9 kV	2

10. Existen hasta 07 alternativas de troncal para alimentadores aéreos en 22,9 kV, y considerando laterales de 70 mm² y 120 mm² hacen un total de 14 alternativas. Ver Tabla 2 siguiente.

Tabla 2 Alternativas para red aérea en 22,9 kV

Ítem	Alternativa
1	TRONCAL(120 mm ²)_LATERAL(70 mm ²)
2	TRONCAL(120 mm ²)_LATERAL(120 mm ²)
3	TRONCAL(185 mm ²)_LATERAL(70 mm ²)
4	TRONCAL(185 mm ²)_LATERAL(120 mm ²)
5	TRONCAL(240 mm ²)_LATERAL(70 mm ²)
6	TRONCAL(240 mm ²)_LATERAL(120 mm ²)
7	TRONCAL(185-120 mm ²)_LATERAL(70 mm ²)
8	TRONCAL(185-120 mm ²)_LATERAL(120 mm ²)
9	TRONCAL(240-120 mm ²)_LATERAL(70 mm ²)
10	TRONCAL(240-120 mm ²)_LATERAL(120 mm ²)
11	TRONCAL(240-185 mm ²)_LATERAL(70 mm ²)
12	TRONCAL(240-185 mm ²)_LATERAL(120 mm ²)
13	TRONCAL(240-185-120 mm ²)_LATERAL(70 mm ²)
14	TRONCAL(240-185-120 mm ²)_LATERAL(120 mm ²)

11. Para la Red Subterránea en 22,9 kV existen 03 alternativas de troncal, y considerando laterales de 50 mm² y 70 mm² hacen un total de 6 alternativas. Ver Tabla 3 siguiente.

Tabla 3 Alternativas para red subterránea en 22,9 kV

Ítem	Alternativa
1	TRONCAL(120 mm ²)_LATERAL(50 mm ²)
2	TRONCAL(120 mm ²)_LATERAL(70 mm ²)
3	TRONCAL(240 mm ²)_LATERAL(50 mm ²)
4	TRONCAL(240 mm ²)_LATERAL(70 mm ²)
5	TRONCAL(240 - 120 mm ²)_LATERAL(50 mm ²)
6	TRONCAL(240 - 120 mm ²)_LATERAL(70 mm ²)

12. Para la transferencia de carga entre alimentadores adyacentes se utilizarán tres enlaces auxiliares de una sola sección y normalmente abiertos. Cada enlace tendrá la suficiente capacidad para asumir hasta la tercera parte de la carga máxima del alimentador adyacente.
13. La capacidad máxima de los alimentadores tipo AL 1 subterráneos en 22.9 kV será de 12,7 MVA. Sin embargo, para red aérea se asume una capacidad máxima de 6 MVA por considerar que en el diseño de alimentadores AL 1 en 22,9 kV priman criterios de alcance y no de capacidad, dado que se instalarán en zonas rurales o urbano-rurales donde los centros de cargas se encuentran mas alejados.
14. La capacidad máxima de los alimentadores tipo AL 2 aéreos y subterráneos en 22,9 kV será de 11,8 MVA. En este caso se asume que los alimentadores aéreos en 22,9

kV se instalaran en zonas urbanas de mediana densidad donde los centros de cargas se encuentran más cercanos, primando el criterio de capacidad.

15. Las alternativas óptimas de red, se inclinan hacia conductores y cables subterráneos de mayor sección, a pesar de que se han tomado como referencia los modelos de alimentadores con menor calibre (120 mm²).
16. En red aérea MT en 22, 9 kV, la mejor alternativa es un alimentador con troncales de sección uniforme de aleación de aluminio de 240 mm². Asimismo, la sección óptima para los laterales aéreos de aleación de aluminio es de 70 mm².
17. En red subterránea MT en 22,9 kV, la mejor alternativa técnica económica es un alimentador con troncales que utilizan las secciones de 240 mm² y 120 mm² de cable subterráneo del tipo N2XSY con aislamiento reticulado XLPE. Además, la mejor alternativa de cable N2XSY para los laterales es la sección de 50mm². Se recomienda para las dos primeras troncales, la sección de 240 mm² y para las siguientes la sección de 120 mm².
18. Cuando las cargas se distribuyen hacia los últimos laterales (distribución triangular), los costos por pérdidas técnicas pueden incrementarse en casi 40%. Asimismo, del costo asociado a las pérdidas totales, entre el 60% y 70% corresponden a pérdidas en troncales y el resto a pérdidas en los laterales.
19. Desde el punto de vista de la calidad del servicio (parámetros de confiabilidad SAIDI y SAIFI), compensaciones (según NTCSE) e inversión en Equipamiento, el modelo óptimo es aquel que requiere Equipos de Protección y Maniobra (EP&M) en la salida de todas las troncales y laterales de alimentadores aéreos y subterráneos.
20. En las salidas de troncales aéreas, se recomienda como EP&M Reconectores Tripolares. Asimismo, dentro de un plan de inversiones, se recomienda en una primera etapa la instalación del EP&M en el centro del alimentador troncal, lo que permite separar al alimentador en dos zonas de protección aguas arriba y aguas abajo del equipo, mejorando la confiabilidad del sistema
21. En las salidas de troncales subterráneas, se recomienda como EP&M Interruptor de Potencia Tripolar Relé Multifunción.
22. En las salidas de los laterales aéreos aun es una buena alternativa el uso de Fusibles Seccionadores Unipolares (Cut-Out), a pesar que sólo brindan protección ante sobrecorrientes de fase (cortocircuito) pero no ante fallas a tierra, puesto que del análisis de los modelos se desprende que reducen las compensaciones entre 4 y 5 veces respecto al modelo con simples seccionadores unipolares.
Sin embargo, del análisis de los modelos de Protección y Maniobra se desprende que es mucho mejor instalar en la salida del lateral un EP&M que detecte y actúe

también ante fallas homopolares, las cuales son mayores en red aérea, mejorando de esta manera los índices de confiabilidad y reduciendo las compensaciones entre 40% y 50% respecto al modelo con Cut-Out. En este caso, se recomienda como EP&M Reconectores Tripolares.

En las salidas de los laterales subterráneos, como EP&M se recomiendan Interruptores de Potencia Tripolar y Relé Multifunción con las funciones: Sobrecorriente de fases (50/51) y sobrecorriente a tierra no direccional (50N y 51N).

23. La instalación de Reconectores o SPF con relé de falla a tierra es más importante en aquellos laterales con elevadas frecuencias de interrupciones.
24. En el modelo con EP&M (Reconectores) en vez de Cut-Out para la maniobra y protección en los laterales aéreos, se reduce el número y el tiempo de interrupción anuales por cliente en 40% y 5% respectivamente.
25. Del resultado anterior se deduce que la ubicación de EP&M en los laterales, al despejar también las fallas homopolares y evitar la actuación del EP&M de la troncal aguas arriba, tiene mas incidencia en la reducción del número de interrupciones que en el tiempo de interrupción.
26. En los modelos Subterráneos, el número y el tiempo de interrupción anuales por cliente son menores que en red Aérea. Aproximadamente el 55% y 80% respectivamente.
27. En el modelo que considera el uso del Seccionador Fusible de Potencia sin relé de protección (SPF) en los laterales subterráneos, el SAIDI se incrementa solo en 1%. En cambio, al usar Seccionadores de Potencia sin Fusible, los parámetros SAIDI y SAIFI se incrementan aproximadamente en 18%.
28. Los parámetros de confiabilidad también limitan los alcances máximos de troncales y laterales. Por ejemplo, incrementar en 10% la longitud de la troncal, equivale a incrementar en 12% el parámetro SAIFI. Asimismo, el parámetro SAIDI, se incrementa en 17%.
29. De la evolución de los parámetros de confiabilidad, los modelos de protección y maniobra subterráneos con mayor desempeño son aquellos con EP&M en las celdas de salida de sus laterales.

ANEXOS

ANEXO A
CAPACIDADES NORMALIZADAS DE CONDUCTORES Y CABLES

ANEXO A
CAPACIDADES NORMALIZADAS DE CONDUCTORES Y CABLES

Capacidad del cable seco de media tensión N2XSY 22,9 kV en condiciones normales de operación

Sección Nominal (mm ²)	Capacidad de corriente (A)			Capacidad de potencia (MVA)		
	FC = 1	FC ≤ 0,75	FC ≤ 0,6	FC = 1	FC ≤ 0,75	FC ≤ 0,6
50	194	198	202	7.7	7.9	8.0
70	235	240	246	9.3	9.5	9.8
120	313	320	328	12.4	12.7	13.0
240	417	452	462	16.5	17.9	18.3

Capacidad del conductor de aleación de aluminio en condiciones normales de operación

Sección Nominal (mm ²)	Capacidad de corriente (A)	Capacidad de potencia en 22,9 kV (MVA)
70	201	8.0
120	284	11.3
185	405	16.1
240 (*)	472	18.7

Capacidad del conductor de aleación de aluminio en condiciones de emergencia
(máximo 02 horas por día)

Sección Nominal (mm ²)	Capacidad de corriente (A)	Capacidad de potencia en 22,9 kV (MVA)
70	250	9.9
120	355	14.1
185	488	19.4
240	562	22.3

ANEXO B
CAPACIDADES CORREGIDAS POR AGRUPAMIENTO DE CABLES
SUBTERRÁNEOS UNIPOLARES N2XSY EN CONDICIONES NORMALES DE
OPERACIÓN

**Capacidades corregidas por agrupamiento de cables subterráneos unipolares N2XSY
22,9 kV en condiciones normales de operación**

Sección Nominal (mm ²)	02 sistemas de cables						03 sistemas de cables					
	fc = 0.82						fc = 0.73					
	Capacidad de corriente (A)			Capacidad de potencia (MVA)			Capacidad de corriente (A)			Capacidad de potencia (MVA)		
	FC = 1	FC ≤ 0,75	FC ≤ 0,6	FC = 1	FC ≤ 0,75	FC ≤ 0,6	FC = 1	FC ≤ 0,75	FC ≤ 0,6	FC = 1	FC ≤ 0,75	FC ≤ 0,6
50	159	162	166	6.3	6.4	6.6	142	145	147	5.6	5.7	5.8
70	193	197	202	7.6	7.8	8.0	172	175	180	6.8	6.9	7.1
120	257	262	269	10.2	10.4	10.7	228	234	239	9.1	9.3	9.5
240	342	371	379	13.6	14.7	15.0	304	330	337	12.1	13.1	13.4

Sección Nominal (mm ²)	04 sistemas de cables						05 sistemas de cables					
	fc = 0.68						fc = 0.65					
	Capacidad de corriente (A)			Capacidad de potencia (MVA)			Capacidad de corriente (A)			Capacidad de potencia (MVA)		
	FC = 1	FC ≤ 0,75	FC ≤ 0,6	FC = 1	FC ≤ 0,75	FC ≤ 0,6	FC = 1	FC ≤ 0,75	FC ≤ 0,6	FC = 1	FC ≤ 0,75	FC ≤ 0,6
50	132	135	137	5.2	5.3	5.4	126	129	131	5.0	5.1	5.2
70	160	163	167	6.3	6.5	6.6	153	156	160	6.1	6.2	6.3
120	213	218	223	8.4	8.6	8.8	203	208	213	8.1	8.3	8.5
240	284	307	314	11.2	12.2	12.5	271	294	300	10.8	11.7	11.9

Resumen

Sección Nominal (mm ²)	Capacidad de potencia para un Fc = 0,75 (MVA)							Capacidad de potencia para un Fc = 1,0 (MVA)						
	Sistemas de agrupamiento							Sistemas de agrupamiento						
	2	3	4	5	6	8	10	2	3	4	5	6	8	10
	Factor de Corrección (fc) para diferentes sistemas de agrupamiento							Factor de Corrección (fc) para diferentes sistemas de agrupamiento						
	0.82	0.73	0.68	0.65	0.62	0.58	0.56	0.82	0.73	0.68	0.65	0.62	0.58	0.56
50	6.4	5.7	5.3	5.1	4.9	4.6	4.4	6.3	5.6	5.2	5.0	4.8	4.5	4.3
70	7.8	6.9	6.5	6.2	5.9	5.5	5.3	7.6	6.8	6.3	6.1	5.8	5.4	5.2
120	10.4	9.3	8.6	8.3	7.9	7.4	7.1	10.2	9.1	8.4	8.1	7.7	7.2	7.0
240	14.7	13.1	12.2	11.7	11.1	10.4	10.0	13.6	12.1	11.2	10.8	10.3	9.6	9.3

ANEXO C
CAPACIDADES CORREGIDAS POR AGRUPAMIENTO DE CABLES
SUBTERRÁNEOS UNIPOLARES N2XSY 22,9 KV EN CONDICIONES DE
EMERGENCIA
(MÁXIMO 02 HORAS)

Capacidades corregidas por agrupamiento de cables subterráneos unipolares N2XSY
22,9 kV en condiciones de emergencia considerando un factor de sobrecarga de 1.20
calculado en ítem 3.4.4
(máximo 02 horas)

Sección Nominal (mm ²)	02 sistemas de cables						03 sistemas de cables					
	fc = 0.82						fc = 0.73					
	Capacidad de corriente (A)			Capacidad de potencia (MVA)			Capacidad de corriente (A)			Capacidad de potencia (MVA)		
	FC = 1	FC ≤ 0,75	FC ≤ 0,6	FC = 1	FC ≤ 0,75	FC ≤ 0,6	FC = 1	FC ≤ 0,75	FC ≤ 0,6	FC = 1	FC ≤ 0,75	FC ≤ 0,6
50	191	195	199	7.6	7.7	7.9	170	173	177	6.7	6.9	7.0
70	193	197	202	7.6	7.8	8.0	172	175	180	6.8	6.9	7.1
120	308	315	323	12.2	12.5	12.8	274	280	287	10.9	11.1	11.4
240	410	445	455	16.3	17.6	18.0	365	396	405	14.5	15.7	16.1

Sección Nominal (mm ²)	04 sistemas de cables						05 sistemas de cables					
	fc = 0.68						fc = 0.65					
	Capacidad de corriente (A)			Capacidad de potencia (MVA)			Capacidad de corriente (A)			Capacidad de potencia (MVA)		
	FC = 1	FC ≤ 0,75	FC ≤ 0,6	FC = 1	FC ≤ 0,75	FC ≤ 0,6	FC = 1	FC ≤ 0,75	FC ≤ 0,6	FC = 1	FC ≤ 0,75	FC ≤ 0,6
50	158	162	165	6.3	6.4	6.5	151	154	158	6.0	6.1	6.2
70	160	163	167	6.3	6.5	6.6	153	156	160	6.1	6.2	6.3
120	255	261	268	10.1	10.4	10.6	244	250	256	9.7	9.9	10.1
240	340	369	377	13.5	14.6	15.0	325	353	360	12.9	14.0	14.3

Resumen

Sección Nominal (mm ²)	Capacidad de potencia para un Fc = 0,75 (MVA)							Capacidad de potencia para un Fc = 1,0 (MVA)						
	Sistemas de agrupamiento							Sistemas de agrupamiento						
	2	3	4	5	6	8	10	2	3	4	5	6	8	10
	Factor de Corrección (fc) para diferentes sistemas de agrupamiento							Factor de Corrección (fc) para diferentes sistemas de agrupamiento						
	0.82	0.73	0.68	0.65	0.62	0.58	0.56	0.82	0.73	0.68	0.65	0.62	0.58	0.56
50	7.7	6.9	6.4	6.1	5.8	5.5	5.3	7.6	6.7	6.7	6.0	5.7	5.4	5.2
70	7.8	6.9	6.5	6.2	5.9	5.5	5.3	7.6	6.8	6.8	6.1	5.8	5.4	5.2
120	12.5	11.1	10.4	9.9	9.4	8.8	8.5	12.2	10.9	10.9	9.7	9.2	8.6	8.3
240	17.6	15.7	14.6	14.0	13.3	12.5	12.0	16.3	14.5	14.5	12.9	12.3	11.5	11.1

ANEXO D
FACTOR DE CARGA

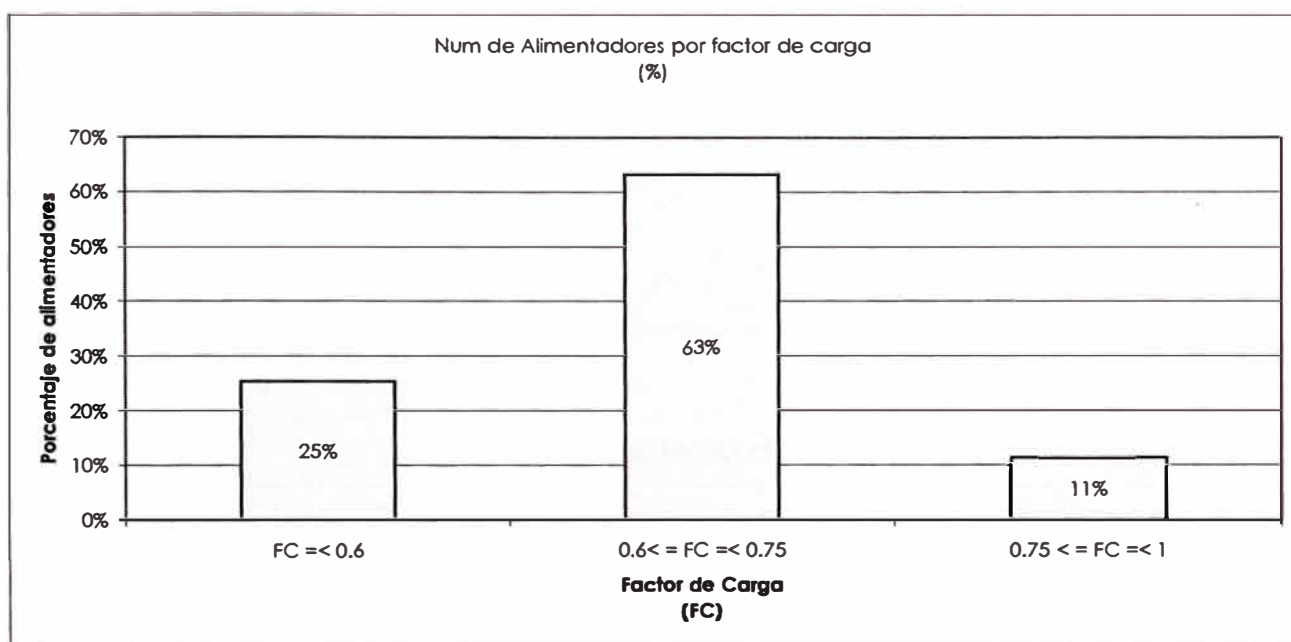


Fig. 1 Relación entre el factor de carga y el número de alimentadores

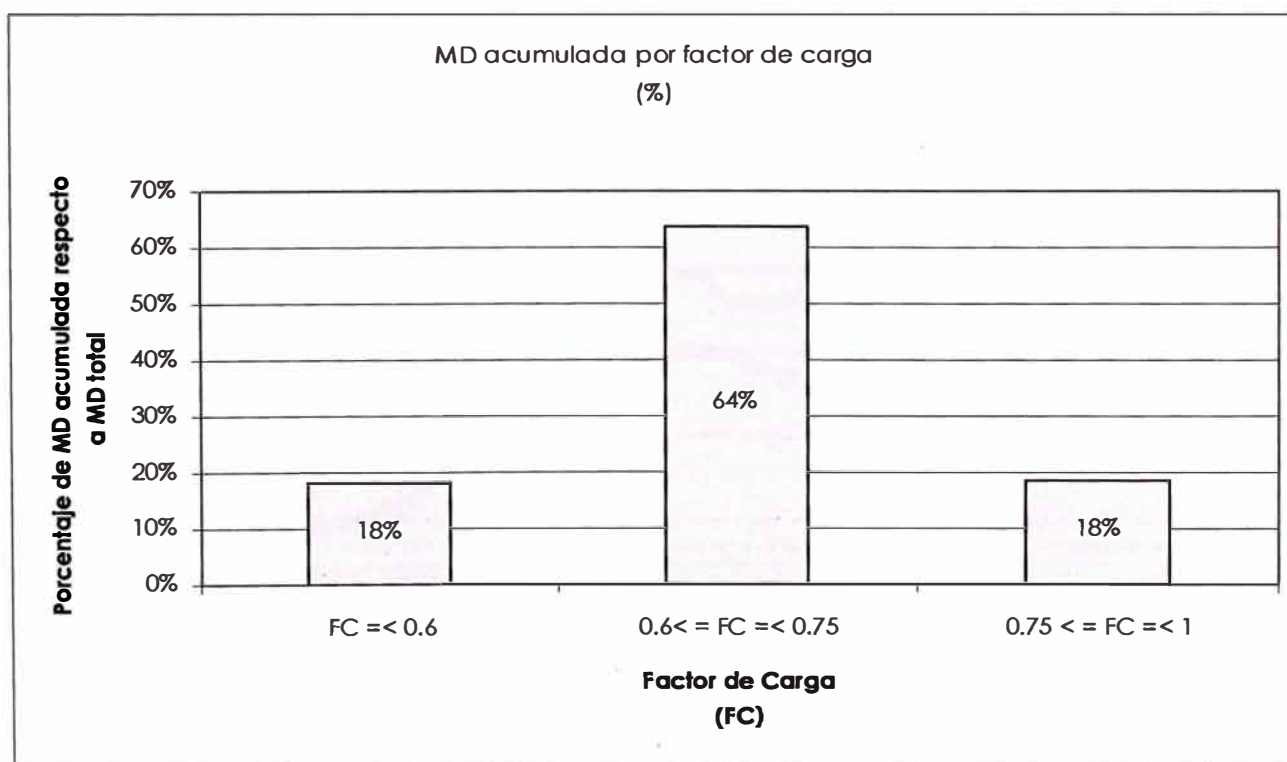


Fig. 2 Relación entre el factor de carga y máxima demanda de los alimentadores

Resumen de factores de carga por tipo de carga

Tipo carga	Fc
Industria Pesada	0.821
Residencial-Industrial	0.806
Industria Liviana	0.751
Comercial Liviana	0.743
Residencial Media	0.705
Redes extensas	0.704
Residencial Alta	0.700
Comercial Pesada	0.671
Residencial-Comercial	0.603
Residencial Baja	0.591

Consolidado del factor de carga

Tipo AL	Descripción	Fc		
		Variación	Promedio	Asumido
1	Comercial Liviana Residencial Media Redes extensas Residencial Alta Comercial Pesada Residencial-Comercial Residencial Baja	0,59 – 0,74	0,67	0,75
2	Industrial Pesada Industrial Liviana Residencial-Industrial	0,75 – 0,82	0,79	1,0

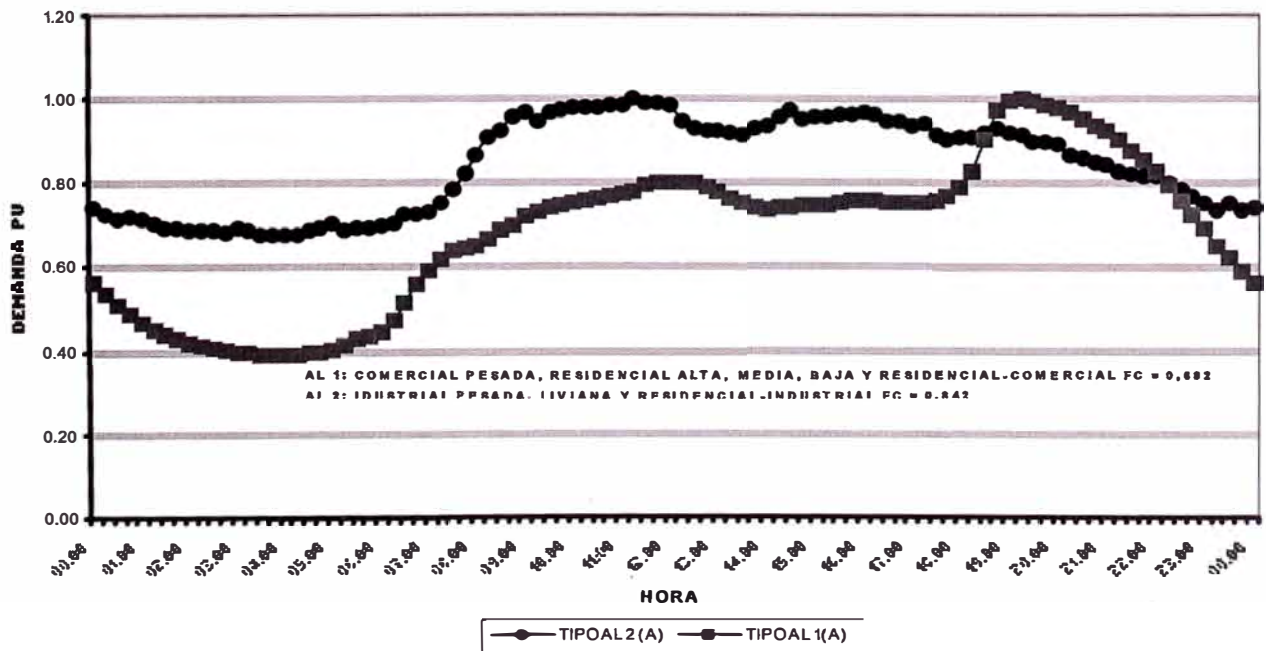


Fig. 3 Diagrama de carga típico por tipo de alimentador

ANEXO E
FACTOR DE SIMULTANEIDAD

Consolidado del factor de simultaneidad promedio en la troncal

Tipo AL	Descripción	Fs 11H Promedio	Fs 19H Promedio
1	Comercial Liviana Residencial Media Redes extensas Residencial Alta Comercial Pesada Residencial-Comercial Residencial Baja	0.924	0.778
2	Industrial Pesada Industrial Liviana Residencial-Industrial	0.921	0.892

Consolidado del factor de simultaneidad en los laterales

Tipo AL	Descripción	Fs Promedio
1	Comercial Liviana Residencial Media Redes extensas Residencial Alta Comercial Pesada Residencial-Comercial Residencial Baja	0,961
2	Industrial Pesada Industrial Liviana Residencial-Industrial	0,855

ANEXO F
NÚMERO PROMEDIO DE SUBESTACIONES EN UN ALIMENTADOR

Consolidado del número promedio de subestaciones en un alimentador

Tipo AL	Descripción	Tipo de subestación					St (PDL)
		G	A	C	S		
1	Comercial Liviana Residencial Media Redes extensas Residencial Alta Comercial Pesada Residencial-Comercial Residencial Baja	43,1	29,7	11,8	5,0	3,6	
2	Industrial Pesada Industrial Liviana Residencial-Industrial	18,1	8,2	7,5	3,8	3,1	

Donde:

- G** : Total General de Subestaciones en el alimentador
- A** : Subestaciones aéreas totales en el alimentador
- C** : Subestaciones compactas totales en el alimentador
- S** : Subestaciones convencionales totales en el alimentador
- St** : Subestaciones convencionales sólo en la troncal e igual al número de PDLs
- PDL** Punto de Derivación de Laterales o Puntos de Concentración de Cargas

ANEXO G
MÁXIMA DEMANDA PROMEDIO DE UN LATERAL

Calculo de la máxima demanda promedio en un lateral

Tipo AL	(1) MD Prom Clientes (kVA)	(2) MD Prom SED (kVA)	(3) Numero Prom Clientes	(4) Numero Prom SED	(5) MD Prom Al (kVA)	(6) Numero Prom PDL	(7) MD Prom PDL (kVA)	MD Prom Lateral (kVA)
1	132	89	7.3	43.2	4808	3.6	1336	668
2	312	119	12.8	18.1	6148	3.1	1983	992

Donde:

- Tipo AL 1 : Comercial Liviana
Residencial Media
Redes extensas
Residencial Alta
Comercial Pesada
Residencial-Comercial
Residencial Baja
- Tipo AL 2 : Industria Pesada
Residencial-Industrial
Industria Liviana
- MD Prom Clientes : Máxima Demanda Promedio de clientes MT
- MD Prom SED : Máxima Demanda Promedio de las Subestaciones de Distribución (A,C,S)
- Numero Prom Clientes : Número promedio de clientes MT en un alimentador
- Numero Prom SED : Número promedio de subestaciones de distribución en un alimentador
- MD Prom Al : Máxima Demanda Promedio en un alimentador
= (1)x(3)+ (2)x(4)
- Numero Prom PDL : Número promedio de Puntos de Derivación de Lateral (datos estadísticos de alimentadores típicos)
- MD Prom PDL : Máxima Demanda Promedio concentrada en un PDL
= (5)/(6)
- MD Prom Lateral : Máxima Demanda Promedio en un Lateral (2 laterales por PDL)
= (7)/2

ANEXO H
PARÁMETROS FÍSICOS Y ELÉCTRICOS DE CONDUCTORES AÉREOS Y CABLES
SUBTERRÁNEOS

Parámetros físicos de cables N2XSY 22.9 kV

Sección (mm ²)	Diámetro Conductor (mm)	Espesor Aislamiento (mm)	Diámetro sobre el aislamiento (mm)	Espesor PVC (mm)	Diámetro Exterior (mm)
50	8,7	8,0	25,5	2,0	32,2
70	10,5	8,0	27,3	2,2	34,3
120	14,0	8,0	30,7	2,2	37,8
240	20,0	8,0	36,6	2,4	44,1

Parámetros eléctricos de cable N2XSY 22.9 kV

Sección Nominal (mm ²)	R 20 °C ohm/km	Re ohm/km	X ohm/km	Z ohm/km
50	0.387	0.493	0.276	0.565
70	0.268	0.342	0.264	0.432
120	0.153	0.195	0.244	0.312
240	0.075	0.096	0.221	0.241

Donde:

R20 : Resistencia a corriente continua a 20 °C

Re : Resistencia efectiva a la temperatura máxima de operación

X : Reactancia inductiva

Z : Impedancia equivalente

Parámetros eléctricos conductor aéreo Aleación de Aluminio

Sección Nominal (mm ²)	r (mm)	R 20 °C ohm/km	Re ohm/km	X ohm/km	Z ohm/km
70	5.3	0.510	0.583	0.446	0.734
120	7.0	0.282	0.323	0.424	0.533
185	8.8	0.184	0.221	0.407	0.463
240	10.0	0.142	0.162	0.397	0.429

Donde:

r : Radio del conductor (mm)

R20 : Resistencia a corriente continua a 20 °C

Re : Resistencia efectiva a la temperatura máxima de operación

X : Reactancia inductiva

DMG : = 1512, Distancia media geométrica (mm) calculada para estructura típica de alineamiento tipo suspensión en formación vertical, L = 1,2 m.

Z : Impedancia equivalente

ANEXO I
CAPACIDAD NOMINAL DE CABLES UNIPOLARES

Capacidad de carga del cable unipolar tendido bajo tierra

$$I_n = \sqrt{\frac{\Delta T_n * 10^5}{R_{ef} * (S'_{kn} + S_{En})}} \quad (1.1)$$

Donde:

- ΔT_n : Elevación Máxima de Temperatura del cable bajo condiciones de servicio nominales, 90 ° C
- R_{ef} : Resistencia efectiva del conductor a la temperatura de servicio nominal, Ω/km (Dato del fabricante).
- S'_{kn} : Resistencia Térmica aparente del cable en condiciones nominales, $^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm}/\text{W}$ (Dato del fabricante).
- S_{En} : Resistencia térmica del suelo en condiciones nominales.

Consideraciones:

- ΔT_n : Puede calcularse considerando las temperaturas del terreno (T_t) y la temperatura máxima en condiciones normales de operación o Temperatura máxima de servicio (T_{max}).

$$\Delta T_n = T_{max} - T_t \quad (1.2)$$

$$R_{ef} = R_s + \Delta R \quad (1.3)$$

$$S_{En} = (\sigma_E / 2\pi) * \text{Ln} (4h / D) \quad (1.4)$$

Donde:

- R_s : Resistencia DC a la temperatura de servicio, Ω/km (puede considerarse la temperatura máxima de servicio), Anexo H.
- ΔR : Resistencia adicional del conductor debida a las pérdidas de la corriente alterna en función de la intensidad originadas por los efectos periféricos y de proximidad (efecto Skin), por corrientes inductivas y de foucault en la armadura metálica del cable, Ω/km .
- σ_E : Resistividad del terreno, $150 \text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm}/\text{W}$
- H : Profundidad del Terreno, 120 cm en 22,9 kV.
- D : Diámetro exterior del cable, cm.(Anexo H).

ANEXO K
MODELOS TOPOLÓGICOS DE RED

1 Red aérea AL 1

1.1 Red Aérea 22,9 kV Distribución de Carga Uniforme

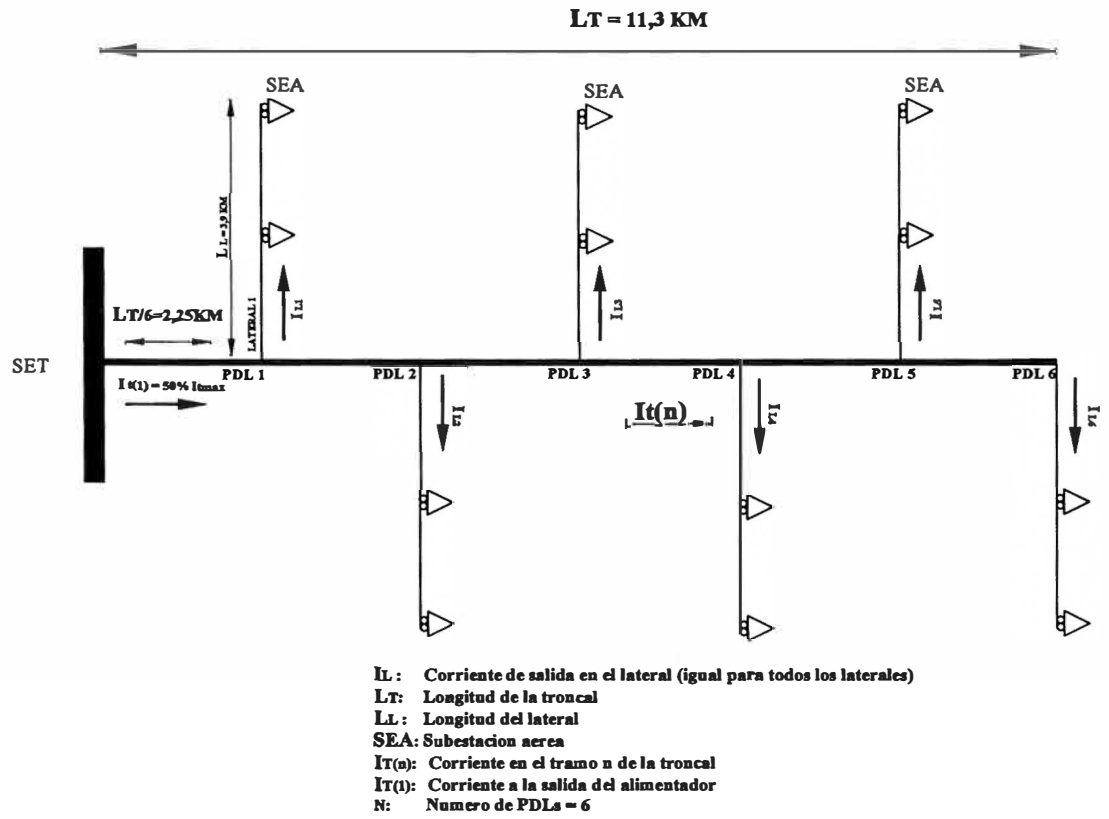


Fig. K1 Modelo topológico distribución carga uniforme red aérea 22,9 kV AL 1

1.2 Red Aérea 22,9 kV Distribución de Carga Triangular

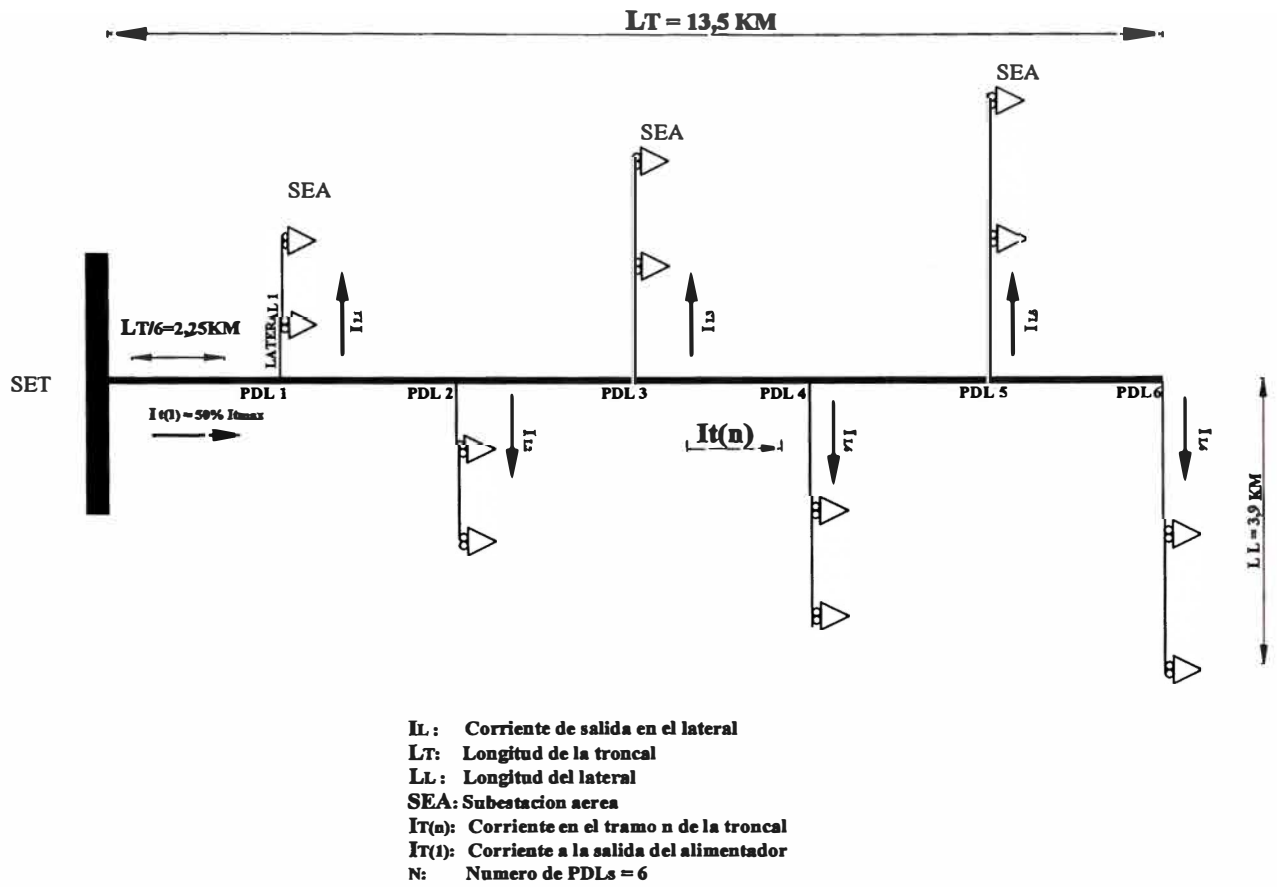


Fig. K2 Modelo topológico distribución carga triangular red aérea 22,9 kV AL 1

2 Red aérea AL 2

2.1 Red Aérea 22,9 kV Distribución de Carga Uniforme

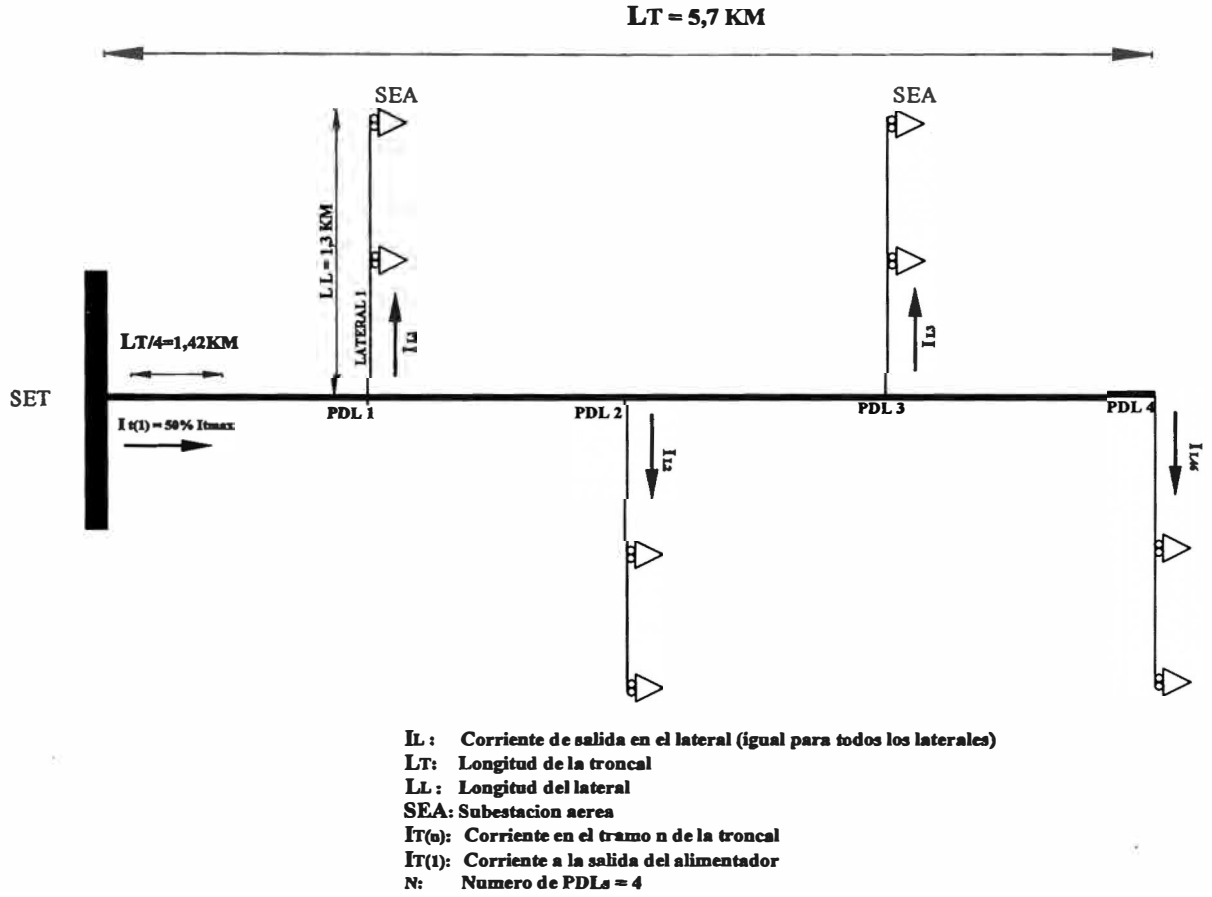


Fig. K3 Modelo topológico distribución carga uniforme red aérea 22,9 kV AL 2

2.2 Red Aérea 22,9 kV Distribución de Carga Triangular

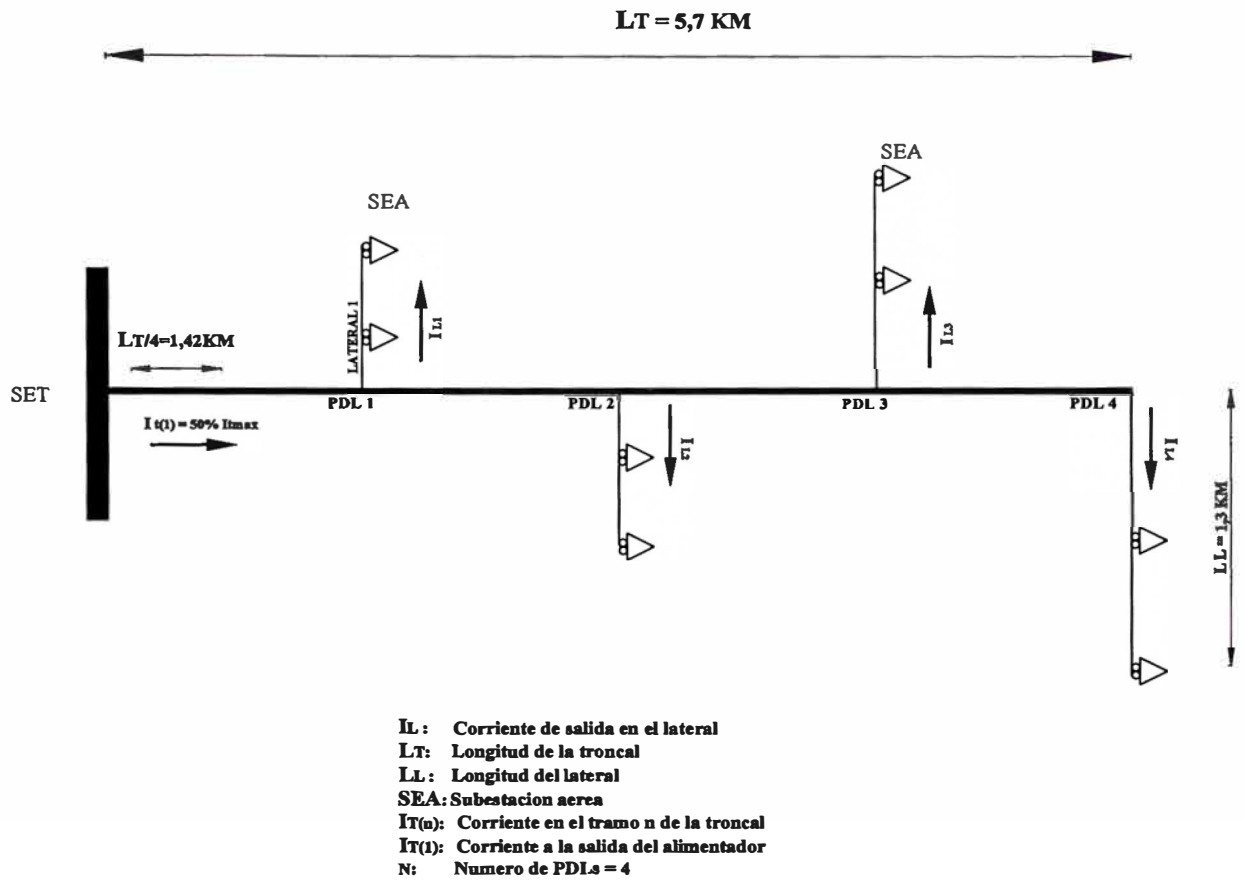
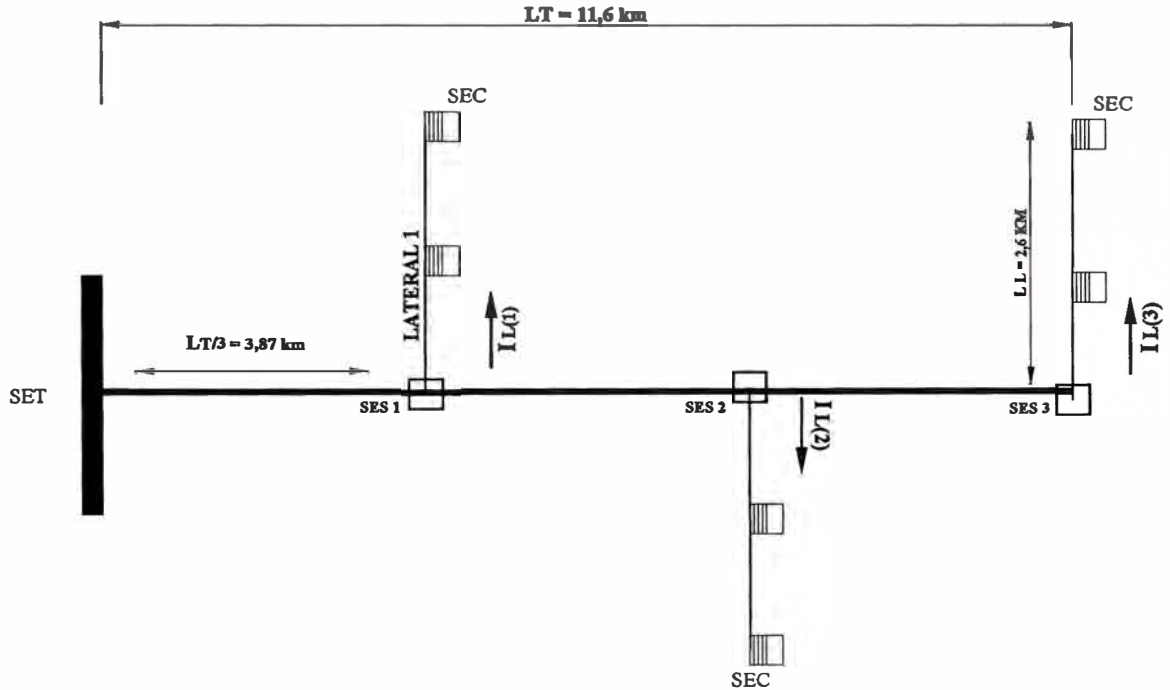


Fig. K4 Modelo topológico distribución carga triangular red aérea 22,9 kV AL 2

3 Red subterránea AL 1

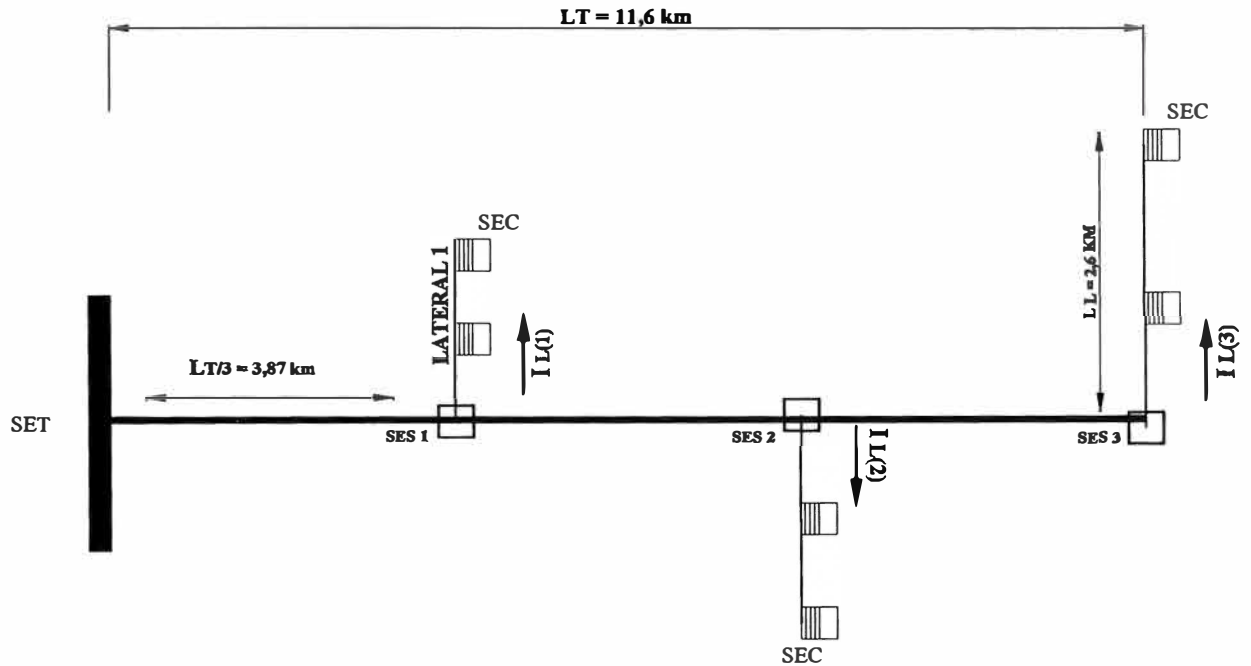
3.1 Red Subterránea 22,9 kV Distribución de Carga Uniforme



- IL(n)** : Corriente de salida en los lateral que salen del SES n
LT : Longitud de la troncal
LL : Longitud del lateral
SEC : Subestacion compacta
SES : Subestacion convencional
IT(n) : Corriente en el tramo n de la troncal
N : Numero de PDLs o SESs = 3

Fig. K5 Modelo topológico distribución carga uniforme red aérea 22,9 kV AL 1

3.2 Red Subterránea 22,9 kV Distribución de Carga Triangular



- $IL(n)$** : Corriente de salida en los lateral que salen del SES n
LT : Longitud de la troncal
LL : Longitud del lateral
SEC : Subestacion compacta
SES : Subestacion convencional
 $IT(n)$: Corriente en el tramo n de la troncal
N : Numero de PDLs o SESs = 3

Fig. K6 Modelo topológico distribución carga triangular red aérea 22,9 kV AL 1

4 Red Subterránea AL 2

4.1 Red Subterránea 22,9 kV Distribución de Carga Uniforme

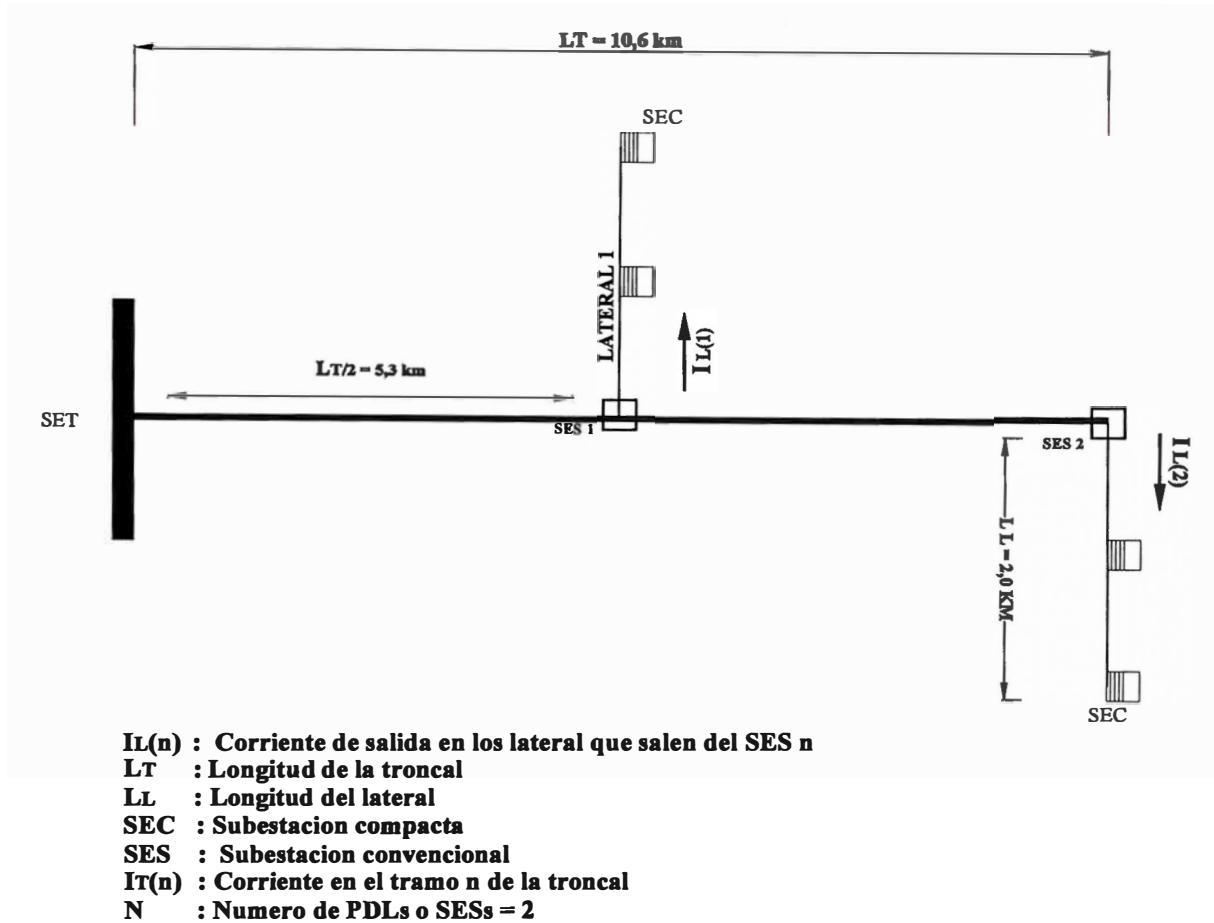
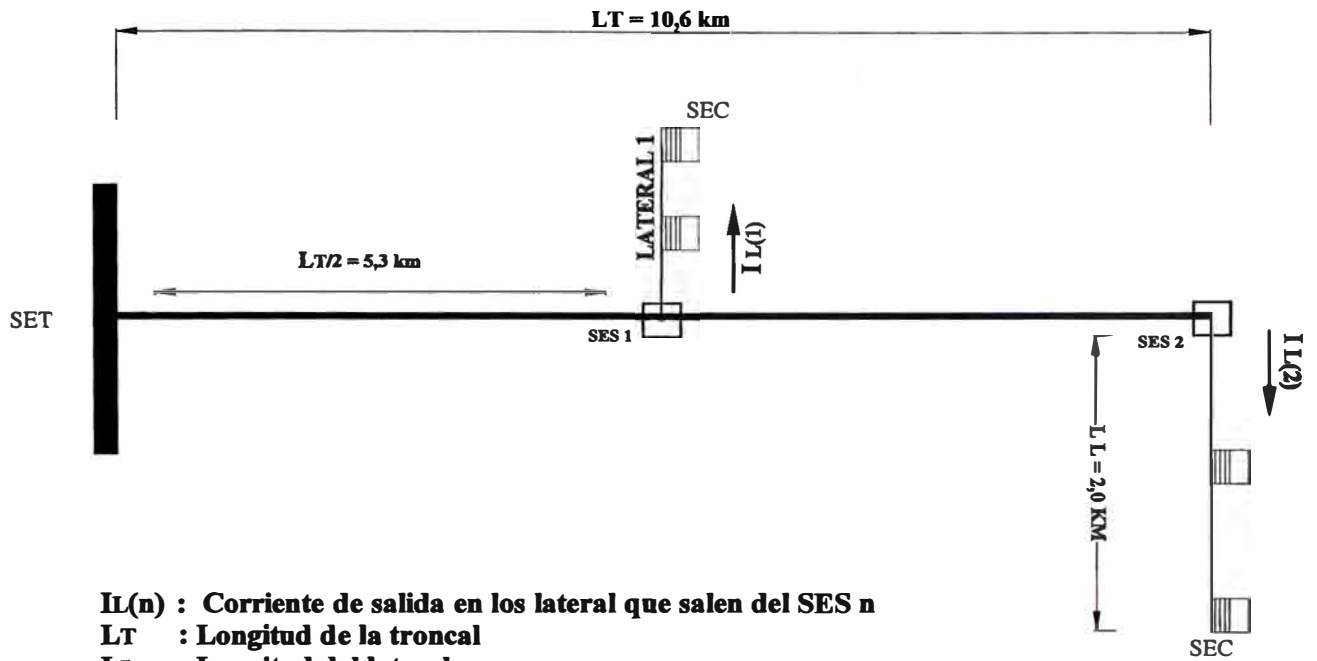


Fig. K7 Modelo topológico distribución carga uniforme red aérea 22,9 kV AL 2

4.2 Red Subterránea 22,9 kV Distribución de Carga Triangular



- $I_L(n)$:** Corriente de salida en los lateral que salen del SES n
- LT :** Longitud de la troncal
- LL :** Longitud del lateral
- SEC :** Subestacion compacta
- SES :** Subestacion convencional
- $I_T(n)$:** Corriente en el tramo n de la troncal
- N :** Numero de PDLs o SESs = 2

Fig. K8 Modelo topológico distribución carga triangular red aérea 22,9 kV AL 2

ANEXO L
MODELOS TOPOLÓGICOS DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN Y MANIOBRA

1. Red Aérea

Se plantean dos modelos básicos:

- EP&M en troncales que se adicionan secuencialmente en la salida de cada troncal y Fusibles Seccionadores Unipolares Aéreos (Cut-Out) en las salidas de todos los laterales para protección y maniobra sin carga.

Los Cut-Out actúan ante sobrecorrientes por cortocircuito más no ante fallas a tierra o corrientes homopolares

El EP&M será un Recloser tripolar (incluye control electrónico, relé multifunción de protección, cargador rectificador de baterías, transformador de tensión para alimentación auxiliar, transformadores de corriente y sensores de tensión). Las funciones de protección y los equipos complementarios

- EP&M en troncales que se adicionan secuencialmente y Seccionadores Fusibles de Potencia con Relé de Protección por sobrecorriente a tierra (SPFR) en las salidas de todos los laterales para protección y maniobra bajo carga.

Mientras el seccionador sirve para maniobras bajo carga, el fusible limitador de corriente protegerá a los laterales ante fallas por cortocircuito y el relé de protección por sobrecorrientes de falla a tierra o corrientes homopolares detectará y ordenará la apertura del seccionador.

A su vez, para el sistema 10 kV, el relé multifunción debe contar con la función 67N y para el sistema 22,9 kV no es necesaria la direccionalidad a tierra y bastarán las funciones 50N/51N.

El uso del SPFR es muy factible en la red 10 kV neutro aislado. Sin embargo, en 22,9 kV con neutro aterrado se presentan limitaciones que deben considerarse previamente a la instalación de este equipo.

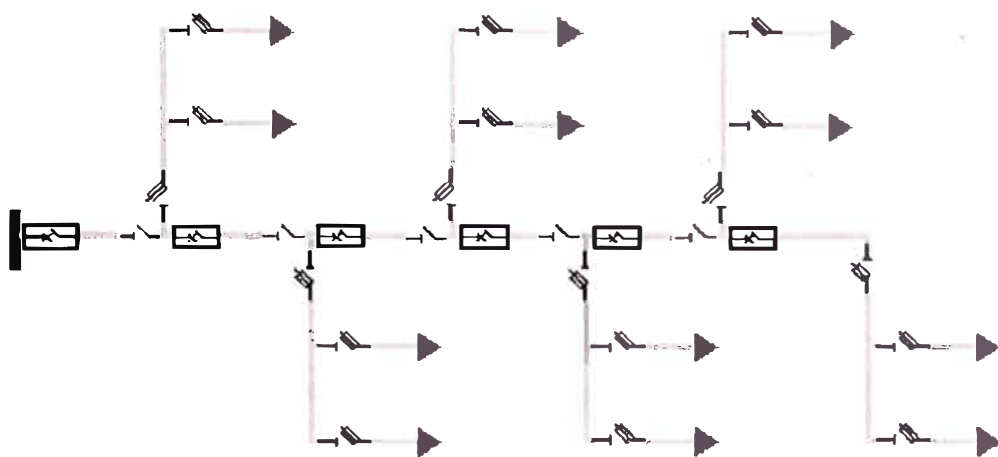


Fig. L1 Red Aérea Primer Modelo: Cut-Out en salida de Laterales y EP&M en salida de troncales

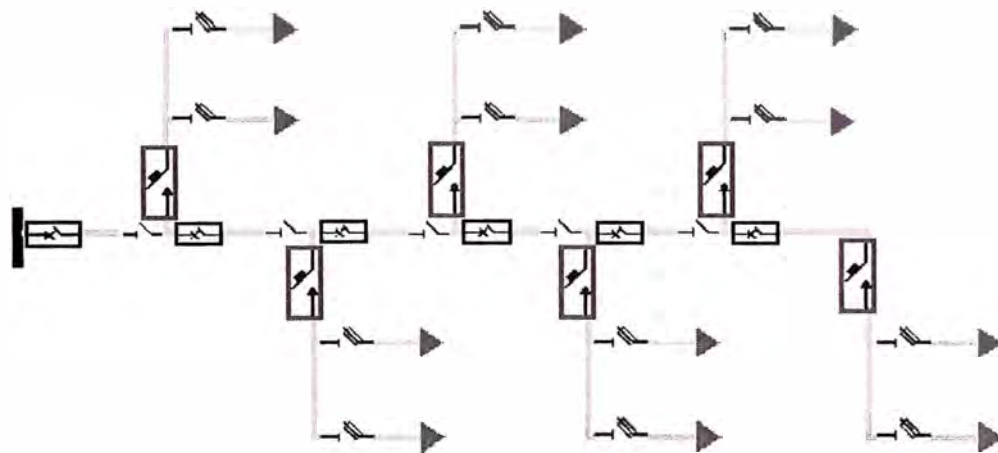


Fig. L2 Red Aérea Segundo Modelo: SPFR en salida de Laterales y EP&M en salida de troncales

2. Red Subterránea

Se plantean tres modelos básicos:

- EP&M en troncales que se adicionan secuencialmente en la salida de cada troncal y Seccionadores Fusibles de Potencia con Relé de Protección por sobrecorriente a tierra (SPFR) en las salidas de todos los laterales para protección y maniobra bajo carga.

Mientras el seccionador sirve para maniobras bajo carga, el fusible limitador de corriente protegerá a los laterales ante fallas por cortocircuito y el relé de protección por sobrecorrientes de falla a tierra o corrientes homopolares detectará y ordenará la apertura del seccionador.

A su vez, para el sistema 10 kV, el relé multifunción debe contar con la función 67N y para el sistema 22,9 kV no es necesaria la direccionalidad a tierra y bastarán las funciones 50N/51N.

El uso del SPFR es muy factible en la red 10 kV neutro aislado. Sin embargo, en 22,9 kV con neutro aterrado se presentan limitaciones que deben considerarse previamente a la instalación de este equipo.

- En base al modelo óptimo del primer caso, se intercambian secuencialmente lo SPFR por Seccionadores Fusibles de Potencia sin Relé de Protección por sobrecorriente a tierra (SPF) en las salidas de todos los laterales.

El seccionador sirve para maniobras bajo carga, el fusible limitador de corriente protegerá a los laterales ante fallas por cortocircuito y debido a la ausencia del relé de protección por sobrecorrientes de falla a tierra no será factible despejar las fallas de este tipo y deberá hacerlo el EP&M ubicado en la salida de la troncal aguas arriba.

- En base al modelo óptimo del primer caso, se intercambian secuencialmente lo SPFR por Seccionadores de Potencia (SP) en las salidas de todos los laterales.

El seccionador de potencia sólo sirve para maniobras bajo carga sin protección ante fallas de cualesquier tipo en el lateral.

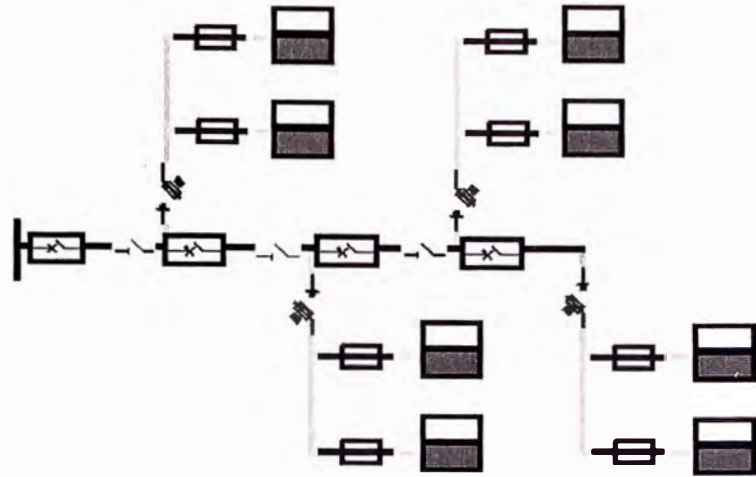


Fig. L3 Modelo Topológico General del Sistema de Protección y Maniobra RS: Caso 1

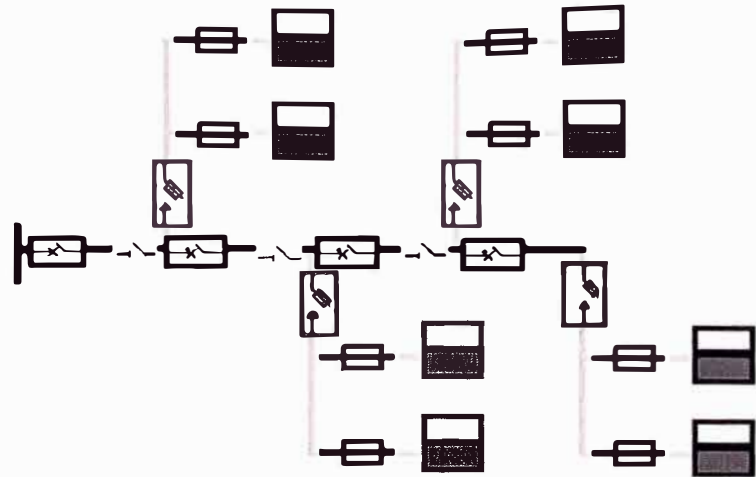


Fig. L4 Modelo Topológico General del Sistema de Protección y Maniobra RS: Caso 2

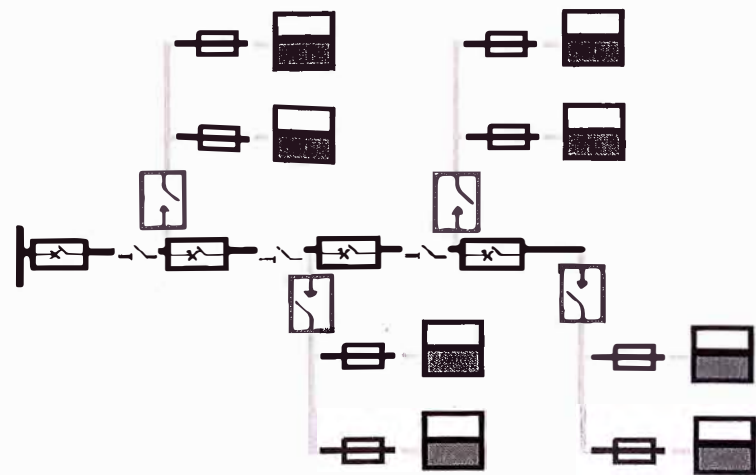


Fig. L5 Modelo Topológico General del Sistema de Protección y Maniobra RS: Caso 3

ANEXO M
MODELO DE CONDUCTORES, CABLES Y EP&M

1. Descripción

Para el tratamiento computacional se determinaron variables y configuraciones de los equipos y subestaciones.

Los alimentadores se definen y declaran por tramos. Cada tramo es una entidad definida por sus nodos de inicio (NI) y fin (NF) y por su tipo (conductor, equipo de protección, de maniobra, transformador). Dependiendo de su tipo, a cada tramo se asocia una tasa de falla(λ) y tiempo de reparación(r).

Para el cálculo de los indicadores de confiabilidad de un alimentador radial, es necesario identificar unívocamente a cada tramo y para ello no deberán existir dos tramos iguales.

La declaración de datos se realiza radialmente, siempre alejándose de la subestación de Transformación (SET) y teniendo en cuenta la siguiente definición:

2. Definición de Tramos

2.1. Conductores (CW)



Fig. M1 Esquema Tramo Conductor

Los conductores se definen por sus nodos de inicio y fin y por su tipo

Tabla M1 Nodos del Tramo Conductor

DESCRIPCIÓN	NI	NF	TIPO
Conductor	1652T	1567T	CW

Adicionalmente es necesario definir el tipo de conductor y su longitud en kilómetros

Cuando existen empalmes, la declaración se realiza respetando el orden previo de numeración

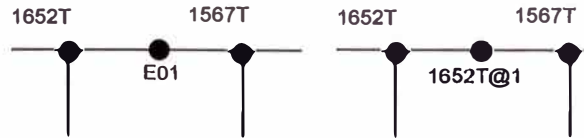


Fig. M2 Esquema Tramo Conductor con Empalmes

Tabla M2 Nodos del Tramo Conductor con Empalmes

NI	NF	TIPO	DESCRIPCIÓN
1652T	1652T@1	CW	Conductor
1652T@1	1652T@2	CW	Conductor

En el caso de equipos de protección o maniobra en serie con los tramos de conductor se tiene la siguiente declaración:

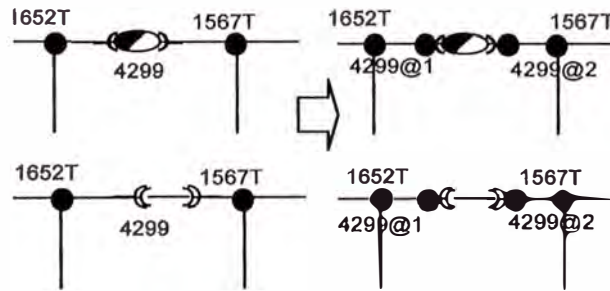


Fig. M3 Esquema Tramos Mixtos

Tabla M3 Nodos del Tramo Mixto

DESCRIPCIÓN	NI	NF	TIPO
Conductor	1652T	4299@1	CW
Cut Out o Seccionador	4299@1	4299@2	CP o SX
Conductor	4299@2	1567T	CW

2.2. Subestaciones Aéreas (A)

Las subestaciones aéreas pueden estar ubicadas lateralmente o al final de un circuito. En el primer caso se considera que la subestación estará compuesta de tres tramos, los cuales consideran un tramo de conductor, un equipo de protección (cut-out) y el transformador de distribución. En el segundo caso sólo se consideran dos tramos, el equipo de protección y el transformador de distribución.

Subestaciones Aéreas Laterales

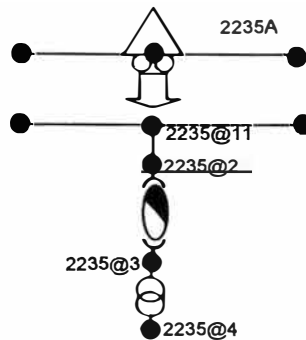


Fig. M4 Esquema Tramos Subestación aérea en Ubicación Lateral

Tabla M4 Nodos del Tramo Subestación aérea en Ubicación Lateral

DESCRIPCIÓN	NI	NF	TIPO
Conductor	2235@1	2235@2	CW
Cut Out	2235@2	2235@3	CP
Transformador de Distribución	2235@3	2235@4	OE

Subestaciones Aéreas de Fin de Línea

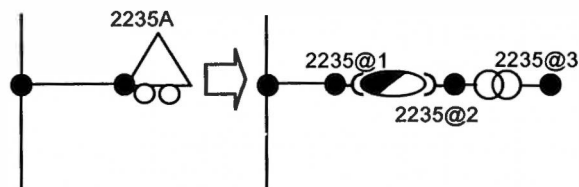


Fig. M5 Esquema Tramos Subestación aérea en Ubicación Fin de Línea

Tabla M5 Nodos del Tramo Subestación aérea en Ubicación Fin de Línea

DESCRIPCIÓN	NI	NF	TIPO
Cut Out	2235@1	2235@2	CP4
Transformador de Distribución	2235@2	2235@3	OE1

2.3. Subestaciones Compactas (C)

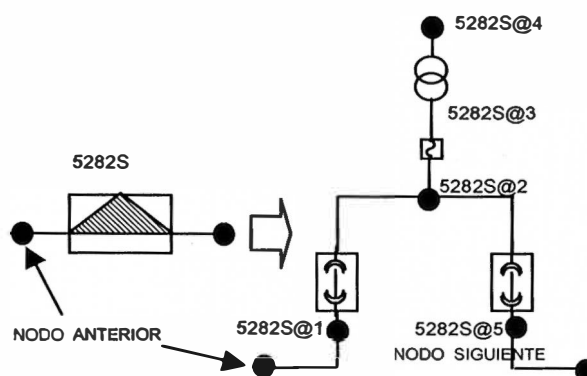


Fig. M6 Esquema Tramos Subestación Compacta

En la subestación compacta se definen, en general, cuatro tramos. Dos de seccionamiento, uno de protección al transformador de distribución ubicado en la S.E. y el transformador en sí.

Tabla M6 Nodos del Tramo Subestación Compacta

DESCRIPCIÓN	NI	NF	TIPO
Conector codo	5282@1	5282@2	SX2
Fusible Transformador Compacta	2235@2	5282@3	CP7
Transformador de distribución	5282@3	5282@4	OE1
Conector codo	5282@2	5282@5	SX2

En el caso de una subestación Compacta ubicada en final de circuito, sólo son necesarios los tres primeros tramos.

2.4. Subestaciones Convencionales (S)

En la subestaciones convencionales se definen, para el primer circuito de salida, cinco tramos. Tres tramos que representan al transformador ubicado en la S.E, y dos tramos previos a la salida del circuito, uno de protección y otro que representa el empalme de salida.

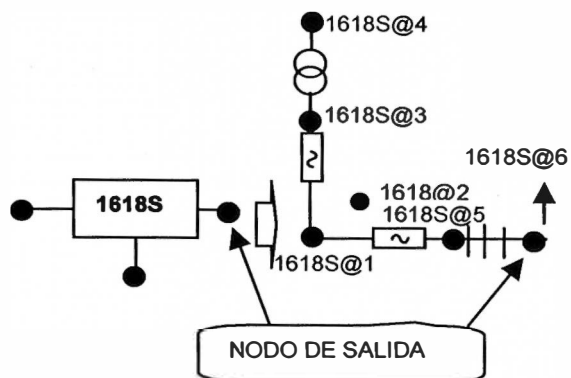


Fig. M7 Esquema Tramos Subestación Convencional

Tabla M7 Nodos del Tramo Subestación Convencional

DESCRIPCIÓN	NI	NF	TIPO
Conductor	1618@1	1618@2	CW
Fusible protección transformador	1618@2	1618@3	CP8
Transformador de distribución	1618@3	1618@4	OE1
Fusible Lateral Convencional	1618@1	1618@5	CP10
Empalme de salida	1618@5	1618@6	OE4

Para las salidas de los subsiguientes circuitos que salen de la convencional, sólo se consideran los dos últimos tramos, respetando el orden correlativo (1618@6, 1618@7, 1618@8).

ANEXO N
PARAMETROS ECONOMICOS

a. Periodos de Evaluación

Igual al tiempo de vida útil de la red.

- Red aérea: 25 años
- Red subterránea: 25 años
- Equipos de Protección y Maniobra: 20 años

b. Costos Unitarios de Inversión

Costos unitarios de inversión en red

Igual a los costos unitarios directos en red utilizados en la empresa de distribución a octubre del año 2003.

Tabla N1 Costos Directos de Inversión en Red Aérea

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CU (\$US/km)
1	RED AÉREA CONDUCTOR DE AA O SÍMIL. 3x70 mm ² , 10 kV	km	12470
2	RED AÉREA CONDUCTOR DE AA O SÍMIL. 3x120 mm ² , 10 kV	km	14620
3	RED AÉREA CONDUCTOR DE AA O SÍMIL. 3x185 mm ² , 10 kV	km	16070
4	RED AÉREA ALEACIÓN DE ALUMINIO, 3x240 mm ² , 10 kV	km	17550
5	RED AÉREA CONDUCTOR DE AA O SÍMIL. 3x70 mm ² , 22.9 KV	km	15870
6	RED AÉREA CONDUCTOR DE AA O SÍMIL. 3x120 mm ² , 22.9 KV	km	18020
7	RED AÉREA ALEACIÓN DE ALUMINIO, 3x185 mm ² , 22.9 kV	km	19380
8	RED AÉREA ALEACIÓN DE ALUMINIO, 3x240 mm ² , 22.9 kV	km	20620
9	RED AÉREA CONDUCTOR DE AA O SÍMIL. 3x70 mm ² , 10 kV	km	12470

Tabla N2 Costos Directos de Inversión en Red Subterránea

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CU (\$US/km)
1	RED SUBTERRÁNEA CABLE N2XSY 3-1x25 mm ² , 10 kV	km	33920
2	RED SUBTERRÁNEA CABLE N2XSY 3-1x50 mm ² , 10 kV	km	39190
3	RED SUBTERRÁNEA CABLE N2XSY 3-1x70 mm ² , 10 kV	km	39540
4	RED SUBTERRÁNEA CABLE N2XSY 3-1x120 mm ² , 10 kV	km	42100
5	RED SUBTERRÁNEA CABLE N2XSY 3-1x240 mm ² , 10 kV	km	55810
6	RED SUBTERRÁNEA CABLE N2XSY 3-1x50 mm ² , 22,9 KV	km	44430
7	RED SUBTERRÁNEA CABLE N2XSY 3-1x70 mm ² , 22,9 KV	km	48910
8	RED SUBTERRÁNEA CABLE N2XSY 3-1x120 mm ² , 22,9 KV	km	47430
9	RED SUBTERRÁNEA CABLE N2XSY 3-1x240 mm ² , 22,9 KV	km	63350

Equipos de protección y maniobra

Se calcularon en función de los costos utilizados en la empresa de distribución a octubre del año 2003.

Costos de mantenimiento en red y equipos de protección y maniobra

Es un porcentaje de la inversión.

- Red aérea: 2.5%
- Red subterránea: 1.5%
- Equipos de protección y maniobra: 1.0%

Tasa anual de retorno de inversión (TIR):

12% anual, el mismo valor considerado en el Art. 79 de la Ley de Concesiones Eléctricas (12%). La tasa de retorno se utiliza para el cálculo del valor presente (VAN) del flujo de costos de pérdidas de potencia y energía, costos anuales de mantenimiento y compensaciones anuales.

Tarifas en Barra

- **Precio de potencia en barra- PPB:** Precio de potencia en barra en subestación base Lima a noviembre del 2003 (Dato Osinerg). Esta tarifa se utiliza para el cálculo del costo por pérdidas anuales de potencia.
- **Precio de energía en barra en hora punta - PEBP:** Precio de energía en barra en hora punta de subestación base Lima a noviembre del 2003 (Dato Osinerg).
- **Precio de energía en barra en hora fuera de punta - PEBF:** Precios de energía en barra en hora fuera de punta en subestación base Lima a noviembre del 2003 (Dato Osinerg).

Los precios de energía en barra en punta y fuera de punta sirven para el cálculo del Precio Medio de la Energía en Barra usando ecuación Ec. N1.

- **Precio medio de energía en barra - PMEB:** Para el cálculo del costo de las pérdidas anuales de energía.

$$PMEB = PEBP * FPHP + PEBF * FFPF \quad (\text{Ec. N1})$$

Donde:

FPHP: Es el Factor de Participación en Hora Punta

FFPF: Es el Factor de Participación en Hora Fuera de Punta

Tabla N3 Precios en Barra

DESCRIPCIÓN PRECIO	UNIDAD	CU	FUENTE
Precio de potencia en barra- PPB	\$US /kW- mes	9,174	Osinerg Nov 2003
Precio de energía en barra en hora punta - PEBP	\$US/kwh	0,0317	Osinerg Nov 2003
Precio de energía en barra en hora fuera de punta - PEBF	\$US/kwh	0,0216	Osinerg Nov 2003
Precio medio de energía en barra – PMEB Alimentadores AL 1	\$US/kwh	0,0245	Ec. N1
Precio medio de energía en barra – PMEB Alimentadores AL 2	\$US/kwh	0,0239	Ec. N1

ANEXO O
TASA DE CRECIMIENTO DE LA CARGA

Se consideran dos escenarios, de mediano y alto crecimiento inicial de carga. En el primer escenario la tasa de crecimiento inicial es igual al crecimiento promedio anual de la energía a clientes regulados en la empresa de distribución durante el periodo 94 – 2002. En el segundo escenario se duplica el crecimiento inicial con el fin de analizar el efecto de un crecimiento de carga más agresivo.

a. Primer Escenario

Tabla O1 Tasas de Crecimiento de Carga – Primer Escenario

DESCRIPCIÓN	Un	Red Aérea	Red Subterránea
CRECIMIENTO INICIAL	%	7,4%	7,4%
CRECIMIENTO MEDIO	%	3%	3%
CRECIMIENTO FINAL	%	0%	0%
PRIMER PERIODO	AÑOS	9	9
SEGUNDO PERIODO	AÑOS	4	4
TERCER PERIODO	AÑOS </td <td>12</td> <td>12</td>	12	12

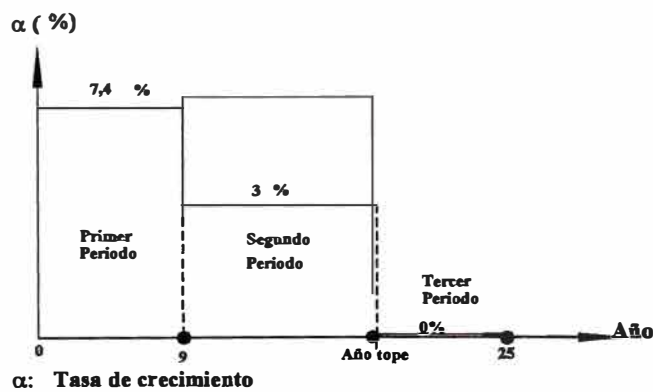


Fig. O1 Comportamiento de la Tasa de Crecimiento de la Demanda

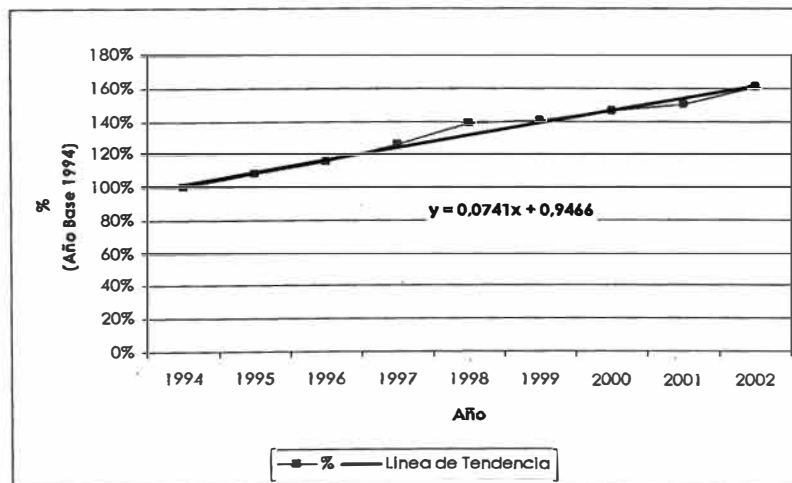


Fig. O2 Demanda de Energía Clientes Regulados de la Empresa de Distribución

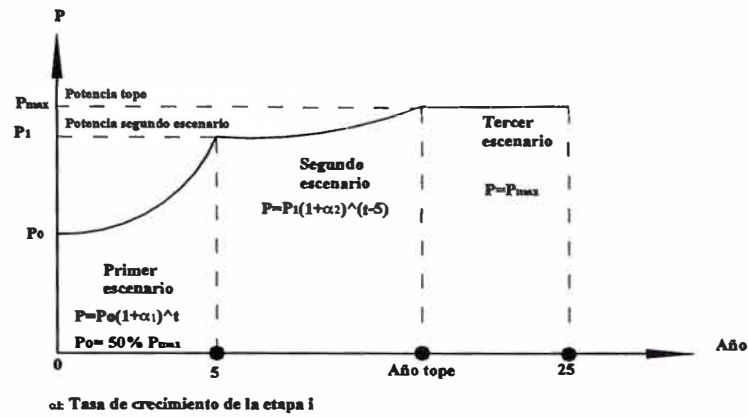


Fig. O3 Comportamiento de la Demanda durante los Tres Periodos

b. Segundo Escenario

Tabla O2 Tasas de Crecimiento de Carga – Segundo Escenario

DESCRIPCIÓN	Un	Red Aérea	Red Subterránea
CRECIMIENTO INICIAL	%	15,0%	15,0%
CRECIMIENTO MEDIO	%	5%	5%
CRECIMIENTO FINAL	%	0%	0%
PRIMER PERIODO	AÑOS	5	5
SEGUNDO PERIODO	AÑOS	2	2
TERCER PERIODO	AÑOS	18	18

ANEXO P
TASAS DE FALLA Y TIEMPOS DE REPOSICIÓN DEL SERVICIO

Las Tasas de falla y tiempos de reposición del servicio en red aérea, subterránea y de los EP&M se presentan en Cuadro A.20. Para la red se utilizan estadística de la empresa de distribución del periodo 99 y para los equipos de protección y maniobra se consideran los datos del estándar IEEE ST 493-1997.

Tabla P1 Tasas de Falla y Tiempos de Reposición en Red y EP&M

TIPO (*)	DESCRIPCIÓN	Tasa de Falla (*)	Tiempo de Reposición (Horas)
RA	RED AÉREA DE M.T.	1,5478	3,20
RS	RED SUBTERRÁNEA DE M.T.	0,5042	5,40
CP4	FUSIBLE SECCIONADOR AÉREO (CUT OUT)	0,8560	1,82
CP5	RECONECTADOR EN 10 KV.	0,0176	5,50
CP7	FUSIBLE	0,7147	1,30
CP10	SECCIONADOR DE POTENCIA EXTERIOR SIN FUSIBLE	0,0061	3,10
CP9	SECCIONADOR DE POTENCIA INTERIOR CON FUSIBLE	0,0061	3,10
CP14	INTERRUPTOR MT	0,0036	5,20
CP15	INTERRUPTOR AUTOMÁTICO VACÍO M.T.	0,0036	5,20
OE1	TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN (HASTA 15 KV TODOS LOS TAMAÑOS)	0,0620	24,00
OE4	TERMINAL DE CABLE	0,0042	11,0
SX	SECCIONADOR UNIPOLAR INTERIOR	0,0017	2,00
SX1	SECCIONADOR UNIPOLAR INTEMPERIE	0,0018	2,00
SX2	CONECTOR TERMINAL TIPO CODO 10 KV.	0,1156	3,00

Nota:

(*) En red la tasa de falla se expresa en fallas/año-km y en EP&M en fallas/año.

ANEXO Q
IMPLICANCIAS DEL SISTEMA MT 22,9 KV NEUTRO ATERRADO EN EL
SECCIONADOR FUSIBLE DE POTENCIA

Como resultado del análisis de los modelos alternativos de Protección y Maniobra para el sistema de media tensión de la empresa de distribución, se determinó la conveniencia de utilizar Equipos de Protección y Maniobra (EP&M) en todos los laterales subterráneos.

Los EP&M recomendados son Seccionadores Fusibles de Potencia (SPF) con Relé Multifunción (SPFR) con la función de protección por sobrecorriente de fase a tierra 50N/51N.

Esta alternativa es perfectamente factible en el sistema MT 10 kV con neutro aislado, en donde las corrientes de falla a tierra monofásica difícilmente alcanzan la corriente nominal del seccionador debido principalmente a que la resistencia de falla tiene un valor muy elevado. Por ejemplo, un suelo de asfalto tiene una resistencia de falla aproximada de 150 ohm, lo que equivale a una corriente de falla de 10 A. Esta corriente sumada a la corriente de carga típica de un lateral subterráneo es mucho menor que los 400 A de corriente nominal de un SPF típico. En estas condiciones, la apertura del equipo por orden el relé de protección no tendría inconveniente alguno.

Sin embargo, en el sistema 22,9 kV con neutro aterrado, debido a que la resistencia de falla es muy pequeña y la tensión de fase es mas del doble, la corriente de falla a tierra monofásica será mucho mayor que en el sistema 10 kV. Esta situación es más notoria en sistemas subterráneos.

En este caso, la magnitud de la corriente de falla puede estar en tres rangos que serán determinantes al momento de optar por un SPFR. Si la magnitud de la corriente de falla es mayor que la corriente de fusión del fusible limitador de corriente, este fundirá, actuando el indicador de fusión y ordenando la apertura de las tres fases del Seccionador. Si la corriente es menor que la corriente de fusión y menor que la corriente nominal del SPF, la función de falla a tierra del relé se activará ordenando la apertura del equipo. Sin embargo, si la corriente es menor que la corriente de fusión pero mayor que la corriente nominal del SPF, el relé detectará y ordenará la apertura de las tres fases, con probables fallas en el equipo.

Por lo tanto, se recomienda realizar una evaluación de los niveles de falla a tierra monofásica en sistemas 22,9 kV con neutro aterrado, considerando el tipo de red (aérea y subterránea) y el tipo de terreno. Lo último es importante porque las corrientes de falla a tierra son muy sensibles a la magnitud de la resistividad del terreno.

ANEXO R
EVALUACIÓN DEL RECONECTADOR FRENTE AL INTERRUPTOR TRIPOLAR DE
POTENCIA TIPO INTERIOR MT

A continuación se presentan las conclusiones del estudio de la evaluación técnica económica de dos elementos de maniobra con medición, control y protección integrado, para determinar sus ventajas y deficiencias comparativas. Ellos son: el interruptor de potencia en celda y el reconectador tipo exterior.

El estudio fue realizado por el Área de Distribución y Comercialización de la empresa Colombiana CODENSA S.A ESP y presentada en el seminario internacional sobre "Automatización de Redes de Distribución de Energía Eléctrica y Centros de Control" organizado por la Comisión de Integración Energética Regional – CIER.

Tal como se desprende de las conclusiones: Técnicamente, el reconectador cumple con todos los requerimientos eléctricos solicitados para el interruptor dentro de las normas técnicas. Existen factores técnicos similares entre los dos tipos de equipos tales como el nivel de tensión, frecuencia, corriente nominal, corriente de cortocircuito, velocidad de operación, volumen, nivel básico de aislamiento, número de operaciones garantizadas y cámara de extinción de arco.

Sin embargo, el reconectador tiene un menor costo que un interruptor en celda metalclad (Nota: un equivalente para su instalación en red aérea). Asimismo, cuenta con mayor número de operaciones antes de mantenimiento y por tanto una mejor relación beneficio/costo.

Conclusiones y recomendaciones

- Técnicamente, el reconectador cumple con todos los requerimientos eléctricos solicitados para el interruptor dentro de las normas técnicas. Existen factores técnicos similares entre los dos tipos de equipos (interruptores y reconectores) tales como nivel de tensión, frecuencia, corriente nominal, corriente de cortocircuito, velocidad de operación, área de terreno utilizada, nivel básico de aislamiento, número de operaciones garantizadas y cámara de extinción de arco.
- De acuerdo con los precios FOB, para 34.5 kV una celda metalclad con interruptor tiene un costo aproximado de US\$50.000; adquirir un reconectador alrededor de los US\$14.000, genera un ahorro aproximado de US\$36.000 (72%) por unidad. Para 11.4 kV, las celdas con interruptores tienen un costo de aproximadamente US\$34.000; al adquirir reconectores alrededor de los US\$12.000, el ahorro es de US\$22.000 (64.7%) por unidad. El reconectador es sustancialmente más económico.
- De acuerdo con las normas técnicas para reconectores e interruptores, distintas para ambos tipos de equipos, el primero supera ampliamente al segundo en cuanto a número de operaciones antes de mantenimiento, ya que al 50% y al 100% de la capacidad máxima, el reconectador debe operar 224 y 79 veces contra 11 y 6 que

ejecuta el interruptor. Además, tanto interruptores como reconectores actualmente utilizan el mismo medio de extinción de arco: el vacío.

- Los costos de las labores de mantenimiento de un reconector oscilan entre US\$536 y US\$650 por intervención y para un interruptor entre US\$1.400 y US\$1.500.
- Comparando los dos tipos de equipos, los números de maniobras sin carga garantizadas por el fabricante son similares, mínimo 10.000 operaciones, pero las inspecciones dependen de otros factores tales como el valor de la corriente de falla, la contaminación ambiental, interferencia de terceros y problemas de orden público. El reconector genera ahorros por mantenimiento sustancialmente superiores que usando interruptores en celda metalclad, por dos razones fundamentales: el ciclo de número de operaciones bajo falla para mantenimiento es de 1:10 (muy superior) y el costo individual de mantenimiento es de 5:1 (muy inferior).
- Para el ejemplo de una subestación tipo (AT/MT), para un horizonte de tiempo de siete (7) años, utilizando reconectores MT se logra un ahorro alrededor de los Col\$ 290 millones que corresponde al 86% con respecto a los mismos costos de mantenimiento de interruptores. Además, teniendo en cuenta toda la inversión en MT, inversión inicial y costos de mantenimiento utilizando reconectores se obtiene un ahorro cercano a los Col\$ 5.500 millones, es decir, el 68% con respecto a las mismas inversiones utilizando interruptores.
- De acuerdo con todo lo anterior, utilizando reconectores se pueden mejorar las configuraciones en media tensión, generando ahorros sustanciales para la compañía distribuidora. Si en media tensión se considera una configuración de dos filas con barraje principal y transferencia y con interruptores de acople entre los barrajes principales, utilizar reconectores significa sencillamente duplicar la magnitud de los ahorros, tanto en la inversión inicial, como en los costos de mantenimiento.
- Finalmente, tanto el reconector como el interruptor tienen múltiples ventajas, pero por su menor costo de inversión y mantenimiento, además de las capacidades técnicas, el reconector ofrece una relación beneficio/costo mucho mayor.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Electric Utility Engineers, "Electric Utility Engineering Reference Book – Volume 3 Distribution Systems", Westinghouse Electric Corporation – USA, 1959.
- [2] Turan Gonen, "Electric Power Distribution System", USA, 1992.
- [3] Informe OSINERG-GART-GDE-2001-045, "Proceso de calculo de las tarifas de distribución eléctrica", Lima, Diciembre del 2001.
- [4] Normas IEC y ASTM referidas a conductores desnudos, cables subterráneos, transformadores de distribución MT/BT y equipos de protección y maniobra.
- [5] Normas y paper IEEE referidos al planeamiento de sistemas de distribución eléctrica, sistemas de protección y confiabilidad.
- [6] Código Nacional de Electricidad – Suministro, Perú, Junio 2001.
- [7] Código de Electricidad del Perú – Tomo IV, Perú.
- [8] Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos-NTCSE, Perú.