



DOCUMENTO DE TRABAJO

**CONVERGENCIA DE CRITERIOS DE DISEÑO
DE REDES DE BAJA TENSIÓN Y
CENTROS DE TRANSFORMACIÓN**

**GERENCIA DE PROCESOS TÉCNICOS
LÍNEA DE NEGOCIO DE DISTRIBUCIÓN REGIONAL
ENERO 2002**



DOCUMENTO DE TRABAJO

CONVERGENCIA DE CRITERIOS DE DISEÑO DE REDES DE BAJA TENSIÓN Y CENTROS DE TRANSFORMACIÓN

Preparada por: Subgerencia Ingeniería y Obras AT GERENCIA PROCESOS TÉCNICOS LNDR - CHILECTRA	Empresas Participantes: CERJ – Gerencia de Ingeniería CHILECTRA S.A. – Subgerencia Planif. e Ing. CODENSA S.A.E.S.P. – Gerencia de Distribución COELCE – Subgerencia de Ingeniería EDELNOR S.A.A. – Gerencia Técnica EDESUR S.A. – Dirección de Distribución	Emitida por: Subgerencia de Ingeniería y de Obras en AT. GERENCIA DE PROCESOS TÉCNICOS LÍNEA DE NEGOCIO DE DIST. REGIONAL
Editada : 01 de septiembre de 2001 Revisada : 31 de enero de 2002		



INDICE

1. RESUMEN.....	6
2. INTRODUCCIÓN.	8
3. OBJETIVOS.	8
4. ALCANCES.	9
5. DEFINICIONES.	9
6. CONSIDERACIONES	12
7. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE BT DE LAS EMPRESAS.	13
8. REDES AÉREAS DE BT.	14
8.1. APLICACIÓN	14
8.2. CLASIFICACIÓN.	14
8.2.1. Sectores Urbanos	14
8.2.2. Sectores Rurales.....	15
8.3. CENTROS DE TRANSFORMACIÓN.	16
8.3.1. Tipos de Transformadores	16
8.3.2. Selección y Explotación de Transformadores.	16
8.3.3. Respaldo.....	17
8.3.4. Instalación.....	18
8.3.5. Protección	18
8.3.5.1. Sobrecarga.....	18
8.3.5.2. Cortocircuito	19
8.3.5.3. Sobretensión	19
8.3.5.4. Puesta a tierra	19
8.4. CIRCUITOS DE BT.....	19
8.4.1. Selección de Conductores	19
8.4.2. Cantidad de Circuitos, por Transformador.	20
8.4.3. Longitud de Circuitos	21
8.4.4. Respaldo.....	21
8.4.5. Criterios de Riesgo Técnico.....	21



8.4.5.1. Separación entre circuitos.....	21
8.4.5.2. Regulación de Tensión.....	22
8.4.6. Protección	22
8.4.6.1. Cortocircuitos.....	22
8.4.6.2. Puestas a Tierra.....	23
8.4.6.3. Sobretensiones	23
8.5. ACOMETIDA.	23
8.5.1. Conductores	23
8.5.2. Protección	23
9. REDES SUBTERRÁNEAS DE BT.....	24
9.1. APLICACIÓN	24
9.2. CLASIFICACIÓN.	24
9.3. CENTROS DE TRANSFORMACIÓN.	25
9.3.1. Tipos de Transformadores	25
9.3.2. Selección y Explotación de Transformadores.	26
9.3.3. Respaldo.....	27
9.3.4. Instalación.....	27
9.3.5. Protección	28
9.3.5.1. Sobrecarga.....	28
9.3.5.2. Cortocircuito	28
9.3.5.3. Puesta a tierra	28
9.4. CIRCUITOS DE BT.....	28
9.4.1. Selección de Conductores	28
9.4.2. Cantidad de Circuitos, por Transformador.	29
9.4.3. Instalación	30
9.4.4. Longitud de Circuitos	30
9.4.5. Criterios de Riesgo Técnico.....	30
9.4.5.1. Separación entre circuitos.	30
9.4.5.2. Regulación de Tensión.....	30
9.4.6. Protección	31
9.4.6.1. Cortocircuitos.....	31
9.4.6.2. Puestas a Tierra.....	31
9.5. ACOMETIDA.	32
9.5.1. Conductores	32



9.5.2. Protección	32
ANEXO 1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS CABLES DE BT	33
ANEXO 2. CRITERIO TÉCNICO–ECONÓMICO DE SELECCIÓN DE CONDUCTORES PARA LAS REDES DE BT.....	35



1. RESUMEN

Dado el dinamismo y crecimiento de las redes de baja tensión, en general, son la que tienen menor atención, por lo que los beneficios posibles de obtener son mayores.

Con este objetivo se busca reviousar, analizar y estudiar todos los conceptos y criterios que deben emplearse en todos los nuevos diseños de redes de baja tensión y centros de transformación MT/BT de las empresas distribuidoras del Grupo Enersis.

Muchas son las características que diferencian a los sistemas secundarios de distribución de las empresas. Considerando que los diseños deben aplicar a todas ellas y ser la mejor solución para cada cual, se indican criterios generales y modelos básicos a emplear para todas ellas.

Se analizan de forma separada las redes aéreas y subterráneas de baja tensión, tomando en cuenta que estas últimas sólo se presentarán en zonas en las cuales las exigencias urbanísticas o las restricciones técnicas lo requieran.

Sin embargo, para cada uno de los tipos de red indicados, se hará una clasificación de acuerdo a los valores de densidad de carga que tenga el sector correspondiente, permitiendo diferenciar los diseños que deben aplicar en sectores urbanos o rurales, según legislación local.

De acuerdo a las características de los consumos, dado por su clasificación, se establecen criterios de explotación, instalación, protección, respaldo y riesgo técnico que deberán aplicar tanto a los centros de transformación como a las redes de baja tensión.

Dentro de los criterios de explotación se destaca:

1. El uso de transformadores con sobrecarga en condiciones normales de operación, excepto en redes subterráneas de alta y muy alta densidad de carga en las cuales se admitirá sobrecargas para estos en condiciones de emergencia. Los valores de sobrecarga dependerán de las recomendaciones indicadas en la normativa de fabricación.
2. Se plantean las variables a considerar y la forma de evaluar técnica e económicamente los valores para los factores de carga iniciales y los valores de sobrecarga máxima a aplicar en los transformadores de distribución.
3. Definición de las secciones de los conductores mediante un criterio de evaluación a mínimo VAC (Valor Actualizado de Costos) durante la vida útil de los cables. En este caso existe una plantilla que permite determinar la solución más rentable en cada caso, de acuerdo al método planteado en el Anexo 2.

En lo que se refiere a respaldo ante contingencias en la red de baja tensión, se considerará que por diseño, este se podrá presentar sólo en redes subterráneas de alta y muy alta densidad, por la magnitud de las cargas afectadas, por los tiempos de reparación asociados y por las exigencias de calidad de suministro existentes. No obstante, bajo determinadas condiciones de operación las redes tendrán la capacidad de entregar respaldo.

Respecto de la instalación y/o construcción de centros de transformación y redes de baja tensión se deberá tener presente una serie de condiciones, las cuales deberán respetar la seguridad y las políticas medioambientales definidas por cada empresa.



Se define adicionalmente el tipo de protección que requieren tener las redes y los transformadores, de acuerdo a las clasificaciones estipuladas.

En general, los transformadores contarán con protección contra sobrecargas, en aquellos sectores en los cuales no exista un seguimiento del sistema de distribución secundario, protección contra cortocircuitos en el lado de media tensión, protección contra sobretensiones para aquellas redes insertas en sectores con niveles cerámicos elevados. Las redes de baja tensión, por su parte, contarán con protección contra cortocircuitos en la salida de cada uno de los circuitos, y a lo largo de la red en aquellas redes subterráneas ubicadas en sectores de elevada densidad de carga y con elevadas exigencias de calidad de suministro.

Finalmente, dentro de los criterios de riesgo técnico, destaca la definición de las distancias de seguridad mínimas necesarias en los tendidos de cables aéreos y subterráneos y los valores de regulación de tensión que aplicarán en las redes de baja tensión. Para este último caso en particular se establece que los transformadores tendrán tensión nominal en los bornes de baja tensión.

Basado en todos los criterios y consideraciones para los centros de transformación y las redes de BT indicados anteriormente, se plantea la necesidad de obtener modelos que permitan definir la cantidad de circuitos que debe salir desde cada centro de transformación y la longitud que debe tener cada uno de ellos.

La suma de todos los criterios, conceptos, modelos y estudios, deberá permitir obtener, en el mediano y largo plazo, beneficios importantes provenientes de la explotación de los sistemas de distribución de baja tensión.



2. INTRODUCCIÓN.

Las redes de baja tensión (BT), generalmente, suelen recibir menor atención y estudios dentro de un sistema de distribución. Sin embargo, son las redes que tienen un mayor dinamismo, presentan el mayor porcentaje de pérdidas por potencia transmitida y son las que, en sectores urbanos, poseen la mayor cantidad de redes.

Considerando lo anterior y la menor atención depositada en el sistema de distribución de BT, la probabilidad de hacer inversiones inadecuadas es mayor. Por lo tanto, mediante la realización de estudios y análisis técnico-económicos de las redes de BT y el equipamiento asociado se pueden obtener una cantidad de beneficios importante.

Es por todo ello que este documento indica los principales aspectos que deben considerarse en los nuevos diseños de las redes de baja tensión y centros de transformación, y corresponde al resultado del proceso de "Convergencia de Criterios de Diseño", realizado al interior de las empresas distribuidoras de energía eléctrica del Grupo Enersis.

En la preparación de estos criterios y consideraciones participaron especialistas de cada una de las empresas de distribución del Grupo Enersis, los cuales entregaron el conocimiento y la experiencia de las diferencias que presenta la explotación del sistema de distribución de BT de cada una de las compañías, permitiendo obtener un conjunto de recomendaciones, las cuales se indican a lo largo del documento.

Entre las empresas que conforman el grupo Enersis existe una gran diversidad de legislaciones y culturas diferentes, por lo que las soluciones implementadas con buenos resultados en una empresa, no necesariamente son la mejor solución para el resto de las empresas. Sin embargo, considerando que los problemas existentes en cada una de las empresas son similares, se espera que las soluciones que se apliquen sean también similares.

Es por esto la importancia de definir criterios generales que sean aplicables a todas las empresas del grupo Enersis y que permitan, mediante la realización de estudios, obtener la mejor solución que debe aplicar en cada caso.

Finalmente, cualquier modificación o sugerencia por conceptos técnicos, administrativos o legales, deberá ser enviada a la L.N.D.R. para su análisis y discusión dentro del grupo técnico de las Empresas participantes de este documento.

3. OBJETIVOS.

El principal objetivo es optimizar las inversiones que realizan cada una de las empresas en los sistemas de distribución de BT, teniendo especial interés en la calidad de suministro eléctrico que se entrega a los clientes.

Los criterios, métodos, y modelos de evaluación a emplear por cada una de las empresas, al igual que las variables a utilizar, serán iguales entre si. No obstante, considerando las diferencias entre las empresas, descritas en el capítulo 6, las soluciones a desarrollar por cada una podrán ser



diferentes y deberán representar en cada caso la mejor alternativa técnica y económica en forma individual.

Establecer las etapas y requisitos mínimos necesarios que se deben cumplir en todo diseño de las redes de baja tensión y centros de transformación futuros.

Por lo tanto, este documento define los criterios generales que deberán ser empleados en la búsqueda de soluciones y en el planteamiento de los métodos de análisis necesarios.

4. ALCANCES.

Se indicarán todos los aspectos que deben ser considerados al momento de diseñar nuevas redes de distribución de baja tensión y nuevos centros de transformación en las empresas del Grupo Enersis.

Se distinguen claramente dos tipos de redes de baja tensión, aéreas y subterráneas. En zonas en las cuales exista diferencia importante en costos entre ambas alternativas, se privilegiará la construcción de redes aéreas; las redes subterráneas, en tanto, sólo se diseñaran en zonas donde no exista factibilidad técnica para la construcción de líneas aéreas y/o en zonas en donde las disposiciones urbanísticas así lo requieran (de acuerdo a lo estipulado en el capítulo 9). En casos de presentarse un requerimiento de desarrollo subterráneo, se deberá indicar al solicitante la diferencia en costos entre ambas alternativas.

Existe en la actualidad la creciente tendencia de parte de los Municipios (Prefeituras) a solicitar el diseño de determinadas sectores de la ciudad en forma subterránea, basados en la apariencia estética que presentan las redes aéreas.

Es por ello, que no sólo debemos preocuparnos de la función que cumplen las redes, sino que también debemos preocuparnos de que las instalaciones armonicen con el entorno en el cual son insertas. Sin embargo, esta condición depende directamente de las políticas medioambientales de cada empresa y, por lo tanto, la decisión del uso de este criterio dependerá de la evaluación que realice cada empresa, entre el aumento de inversión y la reducción de las imposiciones urbanísticas.

5. DEFINICIONES.

Acometida:

Conexión eléctrica de los clientes a la red de distribución de energía eléctrica.

Aguas arriba, aguas abajo:

Aplica a redes operadas radialmente, donde siempre existe un único camino eléctrico desde cualquier punto de la red hacia la fuente. El sentido "arriba" o "abajo" dice relación con que si se recorren las redes e instalaciones hacia la fuente o hacia los finales de línea, respectivamente.

Andén o Paseo:

Vía dedicada para la circulación de personas.

Baja tensión (BT):

Tensión nominal menor a 1 [kV], monofásico o trifásico.



Calidad de suministro:

Conjunto de índices o variables, con valores límites indicados por la autoridad respectiva, que buscan definir la calidad de la entrega de energía a los clientes finales

Carga:

Cantidad de kilowatts que son transportados o entregados por un determinado equipo eléctrico.

Cable preensamblado o prereunido:

Son cables compuestos de varios conductores aislados independientes, colocados helicoidalmente. Utiliza un mensajero que puede ser un conductor de aleación de aluminio o de cobre y que sirve además como conductor de neutro.

Centro de transformación (CCTT):

Conjunto formado por: protección MT, transformador de distribución y cuadro de baja tensión.

Demanda máxima:

Es la potencia eléctrica máxima que se presenta en un sistema o instalación durante un período de tiempo específico, expresada en kilovatios (kW).

Derivaciones:

Tramo de la red, que transporta un porcentaje menor de carga, que se deriva de la troncal.

Factor de carga:

Es la relación entre la demanda máxima y la potencia nominal de un equipo.

Factor de demanda:

Es la relación entre la potencia media y la potencia máxima. Indica la simultaneidad en el uso de la carga total conectada por cada consumidor.

Factor de diversidad:

Es la relación entre las sumas de las demandas máximas de los consumidores individuales a la demanda máxima simultánea de todo el grupo durante el período de tiempo particular.

Factor de potencia:

Relación entre kilovatios y kilovoltamperios, del mismo sistema eléctrico o parte de él.

Media tensión:

Tensión nominal mayor o igual a 1 [kV] y menor a 36 [kV]

Operación, operar:

Maniobras de la red eléctrica. Traspaso de carga.

Seccionamiento, seccionar:

División de la red producto de la instalación de un equipo en forma serie, con capacidad de apertura de corriente de carga.

Sistema de distribución de BT:

Conjunto de elementos utilizados para la transformación y el transporte de energía eléctrica, de baja tensión, hasta el punto de entrega del cliente.

Sobrecarga:

Cantidad de carga adicional, sobre el valor nominal, que puede ser extraída o transportada por un determinado equipo.



Sección:

Área transversal de cada conductor.

Tasa de actualización:

Factor definido al interior de cada Empresa que permite traer a valor presente flujos económicos futuros. Refleja el retorno de inversión esperado por los accionistas de la Empresa.

Troncal:

Tramo estructural de la red que transporta el mayor porcentaje de carga.

VAC (Valor Actualizado de Costos):

Corresponde al valor presente del flujo de costos de inversión y operación, durante el período evaluación de un determinado proyecto



6. CONSIDERACIONES

Las diferencias existentes en las características de los sistemas de baja tensión, entre las empresas del grupo Enersis, están motivadas básicamente por la diversidad de legislación y cultura de los países presentes y por la diferencia que presentan los desarrollos de los sistemas de distribución de BT de las empresas.

Las principales desigualdades que se pueden rescatar radican en los siguientes conceptos:

- Voltaje nominal y frecuencia del suministro
- Rangos de voltaje permitidos
- Índices de calidad
- Precios de los materiales y equipos
- Tasa de actualización
- Horizontes de evaluación.
- Tasas de crecimiento.
- Precios de Energía y Potencia.
- Densidades de carga típicas.
- Hábitos de Consumo
- Legislación y reglamentación del sector eléctrico.
- Hurto.
- Vandalismo.
- Políticas medioambientales y
- Políticas de mantenimiento



7. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE BT DE LAS EMPRESAS.

Dentro de las principales diferencias entre los sistemas de distribución de BT de las empresas se encuentran las tensiones nominales de suministro, las cuales se señalan en la Tabla 1.

Sobre estos valores las legislaciones exigen caídas y elevaciones máximas de tensión, en los clientes finales de la red de BT, que difieren según la legislación local. En la Tabla 2 se indican los valores permitidos de tensión en los usuarios.

Tabla 1: Valores nominales de tensión de suministro en redes de BT

Cerj	Coelce	Codensa	Chilectra	Edelnor	Edesur
220/127	380/220	120/240	400/231	380/220	380/220
380/220		120/208			

Tabla 2: Rangos máximos de variación de la tensión en redes de BT

Cerj	Coelce	Codensa	Chilectra¹		Edelnor		Edesur		
			Urbano	Rural	Urbano	Rural	Subterránea	Aérea	Rural
+5%	+5%	+5%	+7.5%	+15%	+5%	+7.5%	+5%	+8%	+10%
-7.5%	-7.5%	-10%	-7.5%	-15%	-5%	-7.5%	-5%	-8%	-10%

¹ Los valores de Tensión deberán estar en el rango indicado durante el 95% del tiempo durante siete días consecutivos



8. REDES AÉREAS DE BT.

8.1. APLICACIÓN

Las redes aéreas se aplicarán en todo el sistema de distribución de BT de la empresa, salvo los casos indicados en el capítulo 9.1.

Tomando en cuenta la clasificación realizada en el capítulo 8.2, en aquellas redes ubicadas en sectores de alta contaminación, se deberán buscar alternativas tecnológicas para los materiales empleados; sin embargo, aplicarán los criterios de diseño correspondientes para líneas aéreas.

8.2. CLASIFICACIÓN.

Existen legislaciones de algunos países en las cuales se hace una diferencia para redes que se encuentran en los sectores urbanos o rurales de las áreas de concesión de las empresas, tanto en los índices de interrupción como los niveles de tensión.

Considerando las diferencias en calidad de suministro que impone la legislación local de cada una de las empresas, los criterios de diseño para las redes de BT y los CCTT deberán incorporar esta diferenciación en los modelos y análisis planteados.

En empresas en los cuales no se haga una diferencia explícita en la legislación local entre sectores urbanos o rurales, pero sí se consideren, por parte de la autoridad, diferencias de calidad de suministro en los sistemas de distribución de BT, se deberá considerar la clasificación de sectores (rural y urbano) que tenga definida la propia empresa para su área de influencia.

La diferencia en tiempos de acceso a los diferentes sectores del área de influencia de la compañías, será una variable más a incorporar en los modelos que se empleen, pero en ningún caso representarán una clasificación diferente para las instalaciones.

8.2.1. Sectores Urbanos

En los sectores definidos como urbanos, existen diversos tipos de consumo, residenciales, comerciales e industriales, los cuales pueden requerir esquemas de suministro diferentes.

Con el propósito de definir los distintos esquemas de suministro a utilizar, se diferenciarán las redes de BT de acuerdo al nivel de densidad de carga del sector en estudio, como se indica en la Tabla 3.

Los criterio, métodos y modelos a aplicar dependerán exclusivamente de la clasificación empleada, por lo tanto, se podrán presentar diferencias en éstos de acuerdo al tipo de clasificación del sistema de distribución de BT en consideración.



Tabla 3: Clasificación de las redes aéreas urbanas de BT

CLASIFICACIÓN	Densidades de Carga [MVA / km ²]					
	Cerj	Chilectra	Codensa	Coelce	Edelnor	Edesur
Sector Urbano						
<i>Muy alta densidad</i>	2	2	---	2	2	---
<i>Alta densidad</i>	2	2	>20	2	2	<5
<i>Media densidad</i>	2	2	>10	2	2	<3
<i>Baja densidad</i>	2	2	>3	2	2	<1.5

8.2.2. Sectores Rurales.

Los sectores rurales corresponden a zonas en las cuales las densidades de carga son bajas y el acceso a esos sectores requiere de bastante tiempo. Por lo tanto, estos sectores generalmente tienen límites, para los índices de calidad de suministro y para el rango admisible de variación de tensión, superiores a los definidos para las redes urbanas.

Adicionalmente, considerando la existencia de pequeños poblados, en las zonas rurales del área de concesión de las empresas, en los cuales existe una concentración de viviendas generalmente de bajo consumo, y la existencia de parcelas, en donde pueden coexistir viviendas de bajo y alto consumo muy distantes entre sí; se distinguirán sistemas de distribución de BT rurales de baja densidad y muy baja densidad de carga, según lo indicado en la Tabla 4.

Esta clasificación permite, considerando la legislación vigente en cada empresa, diferenciar sectores poblados ubicados en sectores rurales de aquellos sectores poblados ubicados en zonas urbanas. En caso que la legislación no contemple una clara diferencia entre ambos tipos de sectores, en lo referente a calidad de suministro, la clasificación de baja densidad de carga rural será equivalente a la de baja densidad de carga urbana.

Tabla 4: Clasificación de las redes aéreas rurales de BT

	Densidades de Carga [MVA / km ²]					
	Cerj	Chilectra	Codensa	Coelce	Edelnor	Edesur
Sector Rural						
<i>Baja densidad</i>	3	3	<3	3	3	<1.5
<i>Muy baja densidad</i>	3	3	>3 y <10	3	3	<0.5

² Los valores de densidad de carga a aplicar están en proceso de revisión.

³ Los valores de densidad de carga a aplicar están en proceso de revisión.



8.3. CENTROS DE TRANSFORMACIÓN.

8.3.1. Tipos de Transformadores

Los transformadores a utilizar en las redes aéreas de BT serán aquellos con aislamiento en aceite. Las características de estos transformadores se encuentran definidas en la especificación corporativa de compra E-MT-0009.

Las capacidades de transformación estandarizadas para cada una de las empresas serán las indicadas en la Tabla.5.

En sectores urbanos de media, alta y muy alta densidad se utilizarán sólo transformadores trifásicos, mientras que en sectores urbanos de baja densidad y en sectores rurales se podrán utilizar transformadores monofásicos o bifásicos.

Tabla.5: Potencias de transformación estandarizadas para redes aéreas.

Transformadores	Cerj	Chilectra	Codensa	Coelce	Edelnor	Edesur
<i>Monofásicos</i>	---	---	10, 15 y 25	5, 10 y 15	---	5, 10 y 16
<i>Bifásicos</i>	10, 15 y 25	5, 10 y 15	---	5, 10 y 15	25	---
<i>Trifásicos</i>	15, 35, 45, 75 y 112.5	15, 30, 45, 75, 150, 300 y 500	15, 30, 45, 75, 112.5 y 150, 225 y 300	15, 30, 45, 75, 112.5, 150, 225 y 300	50, 100, 160, 250, 400 y 630	25, 40, 63, 100, 200, 315, 500 y 800

8.3.2. Selección y Explotación de Transformadores.

La selección de la potencia nominal del transformador a utilizar se realizará considerando un factor de carga inicial de los transformadores de 80%.

El valor de la sobrecarga dependerá exclusivamente de las condiciones ambientales del lugar de instalación, la temperatura máxima permitida en los devanados, pérdida de vida útil admitida, de los valores de precarga presentes antes de la sobrecarga y el tiempo de duración de la misma.

Operar los transformadores a una capacidad máxima de un 100% de la capacidad nominal del equipos, se traduce en que gran parte del día (de acuerdo a las curvas de carga de los consumos conectados) el transformador opera a una potencia inferior a la de diseño.

Por otra parte, los transformadores trifásicos indicados en el capítulo 8.3.1 están especificados bajo la normativa IEC, por lo que su fabricación deberá cumplir todos los requisitos indicados en ésta. En particular, la IEC 60354 define que los valores de sobrecarga a admitir por los transformadores deberán ser los que resulten de aplicar la formulación indicadas en ésta. Como



ejemplo, si se considera un transformador operando a una carga previa de 90% de la potencia nominal, en un ambiente con temperatura media de 30°C y que el diseño del transformador soporta una elevación de temperatura superficial del aceite (a potencia nominal) de 60°C; el equipo es capaz de soportar una sobrecarga de 125% (sobre el valor nominal) durante 2 horas, sin sobrepasar la temperatura máxima de 140°C en los enrollados y sin pérdida de vida útil adicional.

Por lo tanto se establece que los transformadores a ser instalados en redes aéreas admitirán una sobrecarga, la cual deberá cumplir con las restricciones de no superar la temperatura de 140 °C en el punto más caliente de la bobina (Hot Spot), evitando de esta forma la pérdida de las características dieléctricas del aceite, y de no superar una pérdida de vida útil en el transformador superior a 1 día por día. El valor de sobrecarga resultante, de la aplicación del modelo que propone la norma bajo estas condiciones, corresponde al límite técnico del equipo.

Adicionalmente, en la evaluación del factor de carga inicial y final con el cual debe operar los transformadores, se deben incorporar las variables económicas (tasas de crecimiento, tasas de actualización, costos de inversión y operación, vida útil del equipo, pérdida de vida útil y costos de reemplazo por aumento de capacidad) tales que permitan determinar la conveniencia de cargar los transformadores por sobre su capacidad nominal de diseño.

Se tendrá en cuenta para la evaluación de sobrecarga en los transformadores, el incremento en los costos de mantenimiento que se pueden producir producto del envejecimiento de los materiales aislantes al interior del equipo.

Para controlar los valores de sobrecarga, que resulten de los modelos anteriormente indicados, se requerirá de un método de seguimiento al parque de transformadores, el cual puede ser mediante protección del transformador (ver capítulo 8.3.5.1), vigilando la red por medio de muestras aleatorias en forma constante o una herramienta con la asociación cliente–red.

8.3.3. Respaldo.

En redes aéreas los tiempos asociados al traslado hasta el sector afectado por una falla, la identificación la misma y la desconexión del sector afectado, son comparables con los tiempos requeridos para la reparación de la falla.

Adicionalmente, el entregar respaldo entre transformadores sugiere tiempos adicionales de reparación de la falla, por cuanto se deben operar, por parte de la guardia de emergencia los equipos correspondientes para levantar el sector afectado, previo a reparar la falla.

Por lo tanto, los transformadores insertos en sistemas de distribución de BT estrictamente aéreos no deberán considerar una capacidad adicional para respaldar las redes asociadas a transformadores vecinos.

En sectores en los cuales los índices de calidad de suministro sean muy elevados la solución pasa por reducir las fallas y no por reducir los tiempos asociados a las fallas, en cuyo caso se deberá buscar una solución particular en cada caso.



8.3.4. Instalación.

En la instalación de los transformadores de distribución se deberán cumplirse las siguientes consideraciones:

- No serán instalados en los cruces de calles y/o andenes. Se debe dejar una franja de seguridad o distancia mínima desde la intersección de los límites de propiedad, a objeto de minimizar la probabilidad de choque accidental sobre la estructura que soporta el transformador.
- Acorde a las normativas nacionales o municipales, entre las cuales se pueden encontrar:
 - ✓ Distancia mínima respecto de gasolineras, Hospitales, Colegios o servicios de utilidad pública en general.
 - ✓ Distancia a la fachada de los domicilios particulares
 - ✓ Altura sobre el suelo.
- Acorde a las políticas medioambientales utilizadas por cada empresa.
- Fácil acceso para mantenimiento y reemplazo.

8.3.5. Protección

Considerando el alto precio que tienen los transformadores y el impacto en los clientes, se deberán considerar protecciones para los transformadores, para fallas internas del equipo, caída de rayos y/o para la sobrecarga a las cuales se puedan ver expuestos.

8.3.5.1. Sobrecarga

Considerando que ante la utilización de más de un circuito de salida desde el transformador la protección que este pueda tener frente a las sobrecarga es mínima, se deberán utilizar fusibles individuales en el lado de MT o de BT del transformador, que garantice la efectiva limitación contra sobrecargas de este equipo.

La instalación de fusibles de protección contra sobrecarga debe entregar beneficios adicionales, al permitir la mejor explotación del parque de transformadores v/s el costo asociado a la protección. Sin embargo, se deberá analizar la conveniencia de ésta en aquellas empresas en las cuales existe un seguimiento constante de los transformadores mediante muestreo aleatorio o a través de aplicaciones de asociación de clientes con la red.

La capacidad de los fusibles dependerá exclusivamente de la potencia nominal del transformador y el valor de sobrecarga para el cual se desea proteger. Sin embargo, los fusibles protegen capacidades discretas de corrientes, por lo que la protección de sobrecarga estará dada por las alternativas presentes en el mercado, debiendo escogerse aquel fusible de capacidad inmediatamente inferior a la máxima determinada según lo indicado en el capítulo 8.3.2.



Se deja en discusión el sistema de protección contra sobrecargas a emplear, entre los cuales se encuentran:

- Fusible general en BT (tipo GTR)
- Fusible dual
- Disyuntores térmicos en BT

8.3.5.2. Cortocircuito

De acuerdo a los criterios de diseño de las redes de media tensión, todas las cargas deberán ir conectadas mediante protecciones fusibles a la red primaria de distribución. Esta protección deberá proteger el transformador y aislar la red de BT asociada a éste, frente a cortocircuitos en los terminales y/o fallas internas del transformador.

8.3.5.3. Sobretenión

En zonas en las cuales los niveles cerámicos son elevados (sobre 50 días de tormenta por año), se instalarán pararrayos en todos los transformadores. En sistemas en los cuales estos niveles son cero, no se instalarán pararrayos en los transformadores de distribución.

8.3.5.4. Puesta a tierra

Todos los transformadores deberán llevar conectado a tierra el neutro, la carcasa y los pararrayos (ver capítulo 8.3.5.3), procurando mantener una resistencia de puesta a tierra lo más baja posible, cumpliendo con las reglamentaciones locales de cada una de las empresas.

8.4. CIRCUITOS DE BT.

Dada la creciente concentración de población que puedan presentar algunos sectores urbanos, cada vez resulta más importante aprovechar de la mejor forma posible los espacios públicos y privados que existan.

En particular, en aquellas zonas en las cuales no sea posible la instalación de estructuras de apoyo para las redes (distancias de seguridad exigidas), se deberá evaluar la instalación de circuitos de baja tensión sobre las fachadas de los domicilios, los cuales deberán estar en armonía con el entorno y cumplir las condiciones de seguridad necesarias.

8.4.1. Selección de Conductores

El conductor a utilizar será el preensamblado de aluminio o de cobre, este último en zonas en las cuales la contaminación salina lo justifique.

En el Anexo 1 se indican las capacidades de corriente nominales y la caída de tensión asociada, las demás características técnicas de estos cables se encuentran en la especificación corporativa de compra E-BT-0002

La sección de los cables a utilizar dependerá de la potencia a transportar. Se propone el empleo de un criterio técnico-económico, indicado en el Anexo 2, que permita definir las secciones y material del conductor más eficientes a instalar en cada caso.



Este modelo evalúa el mínimo valor actualizado de costos (VAC) de un conductor operando en condiciones normales de carga, para lo cual valoriza la inversión inicial y las pérdidas ocurridas durante el período de utilización del conductor (vida útil)

De acuerdo al resultado que entregue el estudio de las secciones de los conductores, la cantidad de secciones a emplear para las redes troncales y las derivaciones serán a lo más dos, una sección para las redes definidas como troncal y otra para las definidas como derivaciones.

Si se considera que un conductor de la red de BT tiene a lo menos una longitud de $\frac{1}{2}$ a 1 cuadra, la corriente diversificada del conjunto de clientes que se alimentan representa un valor mínimo de corriente que transportan los cables de las redes de BT. Este valor permitirá definir la sección inferior que debe ser empleada de acuerdo a las curvas de mínimo VAC resultantes del modelo.

Las secciones determinadas deberán permitir a lo menos un aumento de potencia del transformador correspondiente, sin hacer modificaciones a la red de baja tensión.

Si consideramos el dinamismo de las redes de BT, se debe evaluar el beneficio de utilizar sólo una sección para toda la red BT, evitando de esa forma los costos por los refuerzos, la reducción de las pérdidas durante el ciclo de operación v/s el aumento en los costos de inversión iniciales por la mayor sección del conductor.

8.4.2. Cantidad de Circuitos, por Transformador.

La cantidad de circuitos de red de baja tensión a derivar del transformador dependerá de la densidad de carga del sector urbano o rural abastecido, la caída de tensión máxima permitida, la potencia del transformador y el tipo de conductor utilizado.

La cantidad máxima de circuitos dependerá exclusivamente de:

- Las pérdidas técnicas
- Las interrupciones o los índices de calidad (menor cantidad de clientes o kVA afectados por falla)
- Los valores de caídas de tensión.
- Costos de inversión, operación y mantenimiento asociados.
- Las políticas medioambientales, dado el impacto visual que produce una concentración de circuitos en un punto.
- Las disposiciones constructivas que se adopten
- La cantidad de circuitos soportados por los postes (tensiones de templado de los conductores y tensiones máximas soportadas por las estructuras).
- Las distancias de seguridad asociadas, ver capítulo 8.4.5.1.

Por lo tanto, no se definirán a priori restricciones a la cantidad de circuitos de salida por cada centro de transformación.

Se plantea un modelo simplificado en el cual se concluye la conveniencia del uso del mayor número de circuitos posibles en la reducción de las pérdidas, ver ecuación (1):



$$Pérd = \frac{3 * R * L * I_{Nom.Trafo}^2}{(\#Circ)^2} \quad (1)$$

8.4.3. Longitud de Circuitos

La longitud máxima de cada uno de los circuitos depende de los índices de calidad de servicio a los clientes (a mayor longitud, mayor probabilidad de falla), la carga máxima a soportar por las redes sin hacer modificaciones y de la máxima caída de tensión permitida en las redes aéreas de BT (indicadas en la Tabla 6).

La máxima caída de tensión permitida, indicados en la Tabla 6 del capítulo 8.4.5.2, corresponde a los valores máximos permitidos de caída de tensión en las redes de BT. Si consideramos lo indicado en el capítulo 8.4.1 respecto de que los cables deben permitir a lo menos un aumento de potencia del transformador, se tiene que la longitud de los circuitos será tal que permita que los valores de caída de tensión se alcanzarán, para condiciones de demanda máxima, sólo al final del período de la segunda etapa de transformación, considerando que la red se mantiene inalterada en igual período.

8.4.4. Respaldo.

Considerando lo indicado en el capítulo 8.3.3 y que los tiempos asociados a la identificación y reparación de la falla son similares, por diseño las redes no contemplaran una capacidad adicional para entregar respaldo a circuitos vecinos pertenecientes al mismo transformador o al transformador vecino.

Por otra parte, el costo que tienen las pérdidas hace que sea más económico invertir en secciones mayores desde un principio (ver 8.4.1) que operar las redes con altas pérdidas con lo que se obtiene que los conductores, en general, operan a una capacidad de carga inferior a la nominal.

Por lo tanto, considerando el bajo uso de los conductores, el factor de diversidad y el factor de carga de los consumos, las redes operarán con una capacidad inferior a la nominal o máxima permitida, con lo cual se podrá entregar respaldo a redes colindantes si las condiciones de operación de las redes de BT así lo permiten.

8.4.5. Criterios de Riesgo Técnico

Los sectores de red, asociados a cada uno de los circuitos del centro de transformación, no entregarán respaldo a los circuitos pertenecientes al mismo u otro centro de transformación.

8.4.5.1. Separación entre circuitos.

Considerando que la distancia de seguridad, para los circuitos conformados por cable preensamblado es inferior a los requeridos para los conductores desnudos, se podrán instalar a lo menos dos circuitos de baja tensión, en cables preensamblado, por cada estructura de soporte.

Las distancias entre circuitos que se deberán respetar corresponderán a las indicadas en la normativa local de cada empresa. En caso de no existir deberán ser revisadas conforme a los avances que presente la fabricación de los materiales para la construcción de redes BT.



8.4.5.2. Regulación de Tensión

La tensión admitida en los clientes, conectados a las redes de BT, depende de las legislaciones de cada uno de los países.

Considerando la existencia de cambiadores de TAP en los transformadores, que permiten absorber las caídas de tensión producidas en la red de MT y la asociada a la impedancia del transformador, se considerará que en los bornes de BT del transformador habrá voltaje nominal.

Adicionalmente, dado que la caída de tensión promedio en las acometidas es de un 0.6%, respecto de la tensión nominal, se tiene que los valores máximos de caída de tensión admitidos en las redes de BT serán los indicados en la Tabla 6.

Estos valores de caída de tensión no podrán alcanzarse mientras la red de baja tensión permanezca inalterada. El horizonte dependerá exclusivamente del criterios de planificación adoptado. Sin embargo, por lo expuesto en el capítulo 8.4.1, la caída de tensión en los conductores deberán permitir a lo menos un aumento de potencia para el transformador.

Tabla 6: Máxima caída de tensión admisible en redes Aéreas de BT.

	Cerj	Chilectra⁴	Codensa	Coelce	Edelnor	Edesur
Sectores Urbanos	-6.9%	-6.9%	-9.4%	-6.9%	-4.4%	-7.4%
Sectores Rurales	-6.9%	-14.4%	-9.4%	-6.9%	-6.9%	-9.4%

8.4.6. Protección

8.4.6.1. Cortocircuitos

Todos los circuitos llevarán protección a la salida del centro de transformación. Esta protección podrá ser mediante disyuntores o elementos fusibles y tiene como función el evitar la caída completa del transformador frente a una falla aguas abajo del circuito, dejando sin servicio sólo la carga conectada al circuito afectado.

La protección empleada deberá estar diseñada para que proteja al conductor aguas abajo frente a un cortocircuito provocado en la red de baja tensión. En ningún caso se instalarán protecciones contra sobrecargas, debido a la poca coordinación existente al proteger contra sobrecargas un transformador cuando existen más de 2 circuitos, a la continua operación de la red (producto del crecimiento no uniforme de los sectores abastecidos por cada centro de transformación) y a la utilización de los conductores en capacidades inferiores a las nominales (ver capítulo 8.4.1).

No se instalarán elementos de protección en la red, dado que la incorporación de más equipos en la red no reduce considerablemente los índices de calidad del sector, motivado por las bajas

⁴ Este valor debe observarse en el transcurso de 7 días continuos, durante a lo menos el 95% del tiempo.



densidades de carga presentes en las redes aéreas y en que los tiempos asociados a la reparación de una falla son relativamente cortos.

8.4.6.2. Puestas a Tierra

Se deberá realizar una puesta a tierra del conductor de neutro cada 200 metros y en los finales de línea. La resistencia de puesta a tierra deberá ser lo más baja posible y deberá responder a las exigencias reglamentarias locales.

8.4.6.3. Sobretensiones

Las redes de BT ubicadas en sectores con un nivel cerámico muy elevado podrán utilizar pararrayos, lo que deberá tener una evaluación técnico-económica.

Los demás sistemas, en los cuales el nivel cerámico es bajo, no se instalarán pararrayos en las redes de BT.

8.5. ACOMETIDA.

8.5.1. Conductores

Todas las acometidas serán realizadas con conductor concéntrico y la sección a emplear deberá determinarse empleando el modelos de selección de conductores indicado en el Anexo 2.

8.5.2. Protección

Cada cliente deberá tener asociada una protección, que proteja la red frente a las fallas producidas al interior de la propiedad del cliente.



9. REDES SUBTERRÁNEAS DE BT.

9.1. APLICACIÓN

Debido a los altos costos de desarrollo de las redes subterráneas, éstas sólo serán construidas en:

- Sectores en los cuales existan restricciones técnicas, tales como la no factibilidad técnica para la construcción de redes aéreas por la alta densidad de carga (sectores urbanos de alto desarrollo) o por la polución muy elevada que puede presentarse en algunos sectores.
- Sectores en donde las disposiciones urbanísticas así lo requieran.
- Sectores con desarrollo subterráneo anterior, impulsado por particulares o Municipios, independiente de la clasificación o densidad de carga del sector.

Aquellas redes de BT definidas como mixtas (parte en aéreo y parte en subterráneo) deberán ser tratadas en forma independiente

En lugares de alta contaminación, se deberá analizar, como una alternativa más, el diseño de la red en forma subterránea, comparándolo con las diferentes soluciones presentes en el mercado (materiales de aislamiento y tipo de conectores entre otros) para la construcción de redes aéreas en zonas que presentan un alto grado de polución.

En sectores en los cuales los índices de calidad sean muy elevados respecto de lo dispuesto en la legislación, se podrá evaluar la alternativa de red subterránea, considerando que si bien las fallas en redes subterráneas tienen una menor probabilidad de ocurrencia, los tiempos asociados a la reparación de la falla son bastante mayores.

Se deberán considerar las condiciones de impacto ambiental, definidos por los organismos responsables de cada empresa, para efectos de definir el equipamiento que puede ser instalado en cada ocasión en las redes subterráneas de BT.

9.2. CLASIFICACIÓN.

Considerando las alternativas para redes subterráneas, planteadas en el capítulo anterior (9.1), los criterios de diseño deberán contemplar diferentes alternativas para la construcción de las redes subterráneas, de acuerdo a los valores de densidad de carga de los sectores en estudio. Por lo tanto, considerando que estas opciones pueden requerir de esquemas de distribución diferentes, se distinguirán las redes subterráneas de acuerdo a la clasificación mostrada en la Tabla 7.



Tabla 7: Clasificación de las redes subterráneas de BT

CLASIFICACIÓN	Densidades de Carga [MVA / km ²]					
	Cerj	Chilectra	Codensa	Coelce	Edelnor	Edesur
<i>Muy alta densidad</i>	5	5	5	5	5	>20
<i>Alta densidad</i>	5	5	5	5	5	<20
<i>Media densidad</i>	5	5	5	5	5	Nuevas Urbanizaciones

9.3. CENTROS DE TRANSFORMACIÓN.

9.3.1. Tipos de Transformadores

Los transformadores a utilizar en las redes subterráneas de BT serán aquellos con aislamiento en aceite, que permitan su instalación a nivel de superficie o bajo el andén.

La instalación de transformadores de la compañías al interior de la propiedad de terceros requiere en general un gran número de medidas de seguridad en torno a evitar accidentes producto de la falla en el transformador. En estas ocasiones, se deberá comparar la alternativa de utilizar transformadores con aislamiento en seco o con siliconas.

Adicionalmente, en aquellas empresas en las cuales existan exigencias medioambientales estrictas se podrá evaluar la alternativa de emplear transformadores con aislamiento seco o silicona, en la vía pública.

Las capacidades de transformación estandarizadas para cada una de las empresas serán las indicadas en la Tabla.8.

⁵ Los valores de densidad de carga a aplicar están en proceso de revisión.



Tabla.8: Potencias de transformación estandarizadas para redes subterráneas.

Transformadores Trifásicos	Cerj	Chilectra	Codensa	Coelce	Edelnor	Edesur
<i>Aceite</i>	---	150, 300, 500, 750 y 1000	225, 300, 400, 500, 630, 750 y 800	---	---	200, 315,500, 800, 1000 y 1250
<i>Secos</i>	---	---	150, 225, 300, 400 y 500	---	---	---
<i>Silicona</i>	---	---	150, 225, 300, 400 y 500	---	---	---

9.3.2. Selección y Explotación de Transformadores.

La selección de la potencia nominal del transformador se realizará considerando un factor de carga inicial de los transformadores de acuerdo a la clasificación de las redes indicada en el capítulo 9.2. Se considerará un factor de carga inicial de 70% para redes clasificadas como alta y muy alta densidad, y un 80% de carga inicial para redes clasificadas como media densidad.

En redes subterráneas clasificadas como muy alta y alta densidad de carga, el transformador se explotará en sobrecarga sólo en condiciones de emergencia, mientras que para sectores clasificados como media densidad de carga se aplicarán valores de sobrecarga. En ambos casos, el valor de la sobrecarga máxima permitida (en condiciones normales o de emergencia) corresponderá al resultado de aplicar el método indicado en la norma IEC 60354 (corrigiendo los valores de temperatura ambiente en bóvedas), con las restricciones de que los valores de sobrecarga máximos deberán evitar, pérdida de vida útil adicional a un día por día y, deteriorar el aislamiento del equipo al superar los 140 °C en el punto más caliente del devanado o bobina del transformador.

Al igual que en el caso de las redes aéreas (ver capítulo 8.3.2), la normativa de fabricación entrega el límite técnico de sobrecarga en transformadores, no obstante, se deberán evaluar económicamente los valores para la carga inicial y sobrecarga máxima admitida en los transformadores.

Para evitar superar los valores de sobrecarga determinados, se debe contar con un sistema que garantice no superar en forma constante estos valores. Este puede estar dado por un seguimiento de muestreo aleatorio del parque de transformadores, por la instalación de equipos de protección (ver capítulo 9.3.5.1) o con la asociación cliente-red.



9.3.3. Respaldo

La capacidad de respaldo disponible en las redes subterráneas de BT deberá ser evaluada de acuerdo a la conveniencia de ésta frente a fallas en el transformador o los circuitos de BT. El escenario de evaluación deberá considerar:

- Costos
 - ✓ Equipos de maniobra a ser empleados para los traspasos de carga y las extensiones de red necesarias para conectar cada uno de los circuitos de BT con los circuitos vecinos, pertenecientes a otro transformador.
 - ✓ Menor potencia de uso en el transformador, debido al margen de potencia reservado para condiciones de emergencia. Se adelanta inversión de aumento de potencia debido a la pérdidas de la sobrecarga que puede tener el transformador en forma constante (sólo se deja para los casos de emergencia)
- Beneficios.
 - ✓ Menor pago de compensaciones, producto de una menor carga afectada durante la reparación de la falla y menores tiempos de clientes afectados.

De acuerdo a lo señalado en el capítulo anterior, los transformadores sólo serán sobrecargados, en condiciones normales de carga, en sectores clasificados como de media densidad (capítulo 9.2). Por lo tanto, dejar una capacidad de respaldo por diseño para los transformadores sólo podrá presentarse en las clasificaciones de alta y muy alta densidad.

9.3.4. Instalación.

En zonas expuestas de ser inundadas el equipamiento a ser instalado, en esquemas bajo el nivel del suelo, deberá estar especificado para evitar la ocurrencia de fallas en MT. Adicionalmente, se deberá asociar la apertura del transformador cuando se alcance un determinado nivel de agua.

La instalación de transformadores al interior de la propiedad de terceros deberá cumplir con todas las disposiciones de seguridad exigidas en cada empresa y las que sean necesarias para evitar posibles fallas y accidentes en el transformador y los circuitos de BT asociados. En el capítulo 9.3.1 se indican las alternativas de transformadores factibles de utilizar, lo cual definirá las obras civiles necesarias de ejecutar para garantizar dicha seguridad.

En la instalación de centros de transformación subterráneos se deberá rescatar a lo menos las siguientes condiciones:

- Rejillas de ventilación, para reducir las temperaturas y permitir la evacuación de gases que se producen al interior de las cámaras.
- Sistema de recolección de aceite, en empresas en las cuales las políticas medioambientales consideren el reciclado de desechos.
- Sistema de evacuación de agua, mediante drenaje o bombas, en aquellos sectores en los cuales existe una alta probabilidad de acumulación de agua.
- Espacios de seguridad mínimos requeridos para el trabajo de operación y/o mantenimiento de los centros de transformación.



- Espacios y accesos necesarios para la instalación y retiro de los transformadores.
- Vías de ingreso y escape para las personas.
- Sistema equipotencial alrededor de los centros de transformación (ver capítulo 9.3.5.3).

9.3.5. Protección

Considerando el alto precio que tienen los transformadores y el impacto en los clientes, se deberán considerar protecciones para los transformadores, para fallas internas del equipo y para la sobrecarga a las cuales se puedan ver expuestos.

9.3.5.1. Sobrecarga

Considerando que ante la utilización de más de un circuito de salida desde el transformador, la protección que estos puedan tener frente a las sobrecarga es mínima, se utilizará una protección específica contra sobrecarga en el lado de MT o de BT. La capacidad de operación de este equipo dependerá exclusivamente de la potencia nominal del transformador y de las alternativas existentes en el mercado, debido a lo discreto de las capacidades de corriente con las cuales operan.

9.3.5.2. Cortocircuito

Frente a la posibilidad de fallas internas o fallas en los terminales del transformador, se instalarán fusibles de protección contra cortocircuitos, en el lado de media tensión, en cada uno de los transformadores.

9.3.5.3. Puesta a tierra

Todos los transformadores deberán llevar conectado a tierra el neutro y la carcasa, procurando mantener una resistencia de puesta a tierra lo más baja posible, de acuerdo a la reglamentación local de cada empresa.

Se deberá garantizar un sistema equipotencial en los terrenos alrededor de los centros de transformación, para evitar accidentes a las personas.

9.4. CIRCUITOS DE BT.

La existencia de más de un circuito subterráneo de red BT, directamente enterrada frente a los predios o terrenos de los clientes, dificulta la pesquisa de fallas, toma mayor tiempo discriminar que arranques pertenece a cada circuito y en que fase está empalmado cada cliente para efectos de identificar el punto de falla.

9.4.1. Selección de Conductores

El conductor a utilizar podrá ser el unipolar de cobre aislado, cuyas características de corriente nominales y de caída de tensión asociada, se encuentran en el Anexo 1. Las demás características técnicas de estos cables se encuentran en la especificación técnica corporativa de compra E-BT-0001.



Edesur en la actualidad utiliza conductores de aluminio. Esta alternativa será analizada por todas las empresas, en torno a definir técnica y económicamente cual debe ser el material de los conductores a utilizar en las redes subterráneas de BT.

La sección de los cables a utilizar dependerá de la potencia a transportar. Se propone el empleo de un criterio técnico–económico, indicado en el Anexo 2, que permita definir las secciones más eficientes a instalar en cada una de las empresas.

De acuerdo al resultado que entregue el estudio de las secciones de los conductores, la cantidad de secciones a utilizar para las redes troncales y las derivaciones serán a lo más dos, una sección para las redes definidas como troncal y otra para las definidas como derivaciones.

Al igual que lo indicado en el capítulo 8.4.1 (del caso aéreo), se considera que las redes de BT tienen a lo menos una longitud de $\frac{1}{2}$ a 1 cuadra. Si además consideramos las altas densidades de carga presentes en estos sectores, se tiene que los conductores de secciones menores, resultantes del estudio, no serán aplicables a las redes subterráneas de BT, por la corriente inicial muy baja que requieren para ser rentables en el largo plazo (período de evaluación).

Adicionalmente, si consideramos el dinamismo de las redes de BT, se deberá evaluar el beneficio de utilizar sólo una sección para toda la red BT, evitando de esa forma los costos por los refuerzos y la reducción de las pérdidas durante el ciclo de operación v/s el aumento en los costos de inversión iniciales por la mayor sección del conductor.

Sólo en tramos de red en los cuales no exista factibilidad de que ésta sea prolongada (calles sin salida o callejón) y con tasas de crecimiento baja, se podrá emplear una sección menor.

Las secciones determinadas deberán permitir a lo menos un aumento de potencia del transformador correspondiente, sin hacer modificaciones a la red de baja tensión.

9.4.2. Cantidad de Circuitos, por Transformador.

La cantidad de circuitos de red de baja tensión a derivar del transformador dependerá de la densidad de carga del sector urbano abastecido, la caída de tensión máxima permitida, la potencia del transformador y el tipo de conductor utilizado.

El modelo para determinar la cantidad de circuitos de salida desde un centro de transformación será el mismo que el indicado en el capítulo 8.4.2, para las redes aéreas. Las variables a analizar para el caso subterráneo serán las siguientes:

- Las pérdidas técnicas
- Las interrupciones o los índices de calidad (menor cantidad de clientes o kVA afectados por falla)
- Los valores de caídas de tensión.
- Costos de inversión y operación asociados.
- Las disposiciones constructivas que se adopten
- Reglamentaciones municipales para rotura de andenes.
- Las distancias de seguridad asociadas, ver capítulo 9.4.5.1.



La cantidad máxima de circuitos dependerá exclusivamente de las disposiciones constructivas que se adopten por lo que no se definirán, a priori, restricciones a la cantidad de circuitos de salida por cada centro de transformación.

9.4.3. Instalación

Las cables de la red de baja tensión irán de preferencia directamente enterrada, salvo en los cruces de calle, avenidas o paseos importantes, en las cuales se instalarán en ductos. En las uniones o empalmes de estos cables no se requerirá de la instalación de puntos de inspección.

En redes entubadas se deberá instalar una camarilla de inspección en cada unión de los cables que se realice, debido a que son éstas las que presentan mayor probabilidad de falla en un cable y dada la dificultad que presenta la tubería para reparar el o los conductores afectados por la falta.

En derivaciones a clientes, la instalación de camarillas de inspección beneficia el proceso de corte y reposición frente a facturas impagas o hurto de energía.

9.4.4. Longitud de Circuitos

La longitud máxima de cada uno de los circuitos dependerá de la caída de tensión de los cables empleados para las redes troncales y las derivaciones, la carga máxima a soportar por las redes sin hacer modificaciones a la red y de la máxima caída de tensión permitida en los clientes finales.

Para determinar la longitud máxima de los circuitos se deberá emplear el mismo método utilizado en el caso de las redes aéreas. Se considerarán los valores indicados en la Tabla 9 como la caída de tensión máximos permitidos en la red subterránea de BT, la cual deberá alcanzarse hasta el final del período en el cual la red se mantiene inalterada, que a lo menos deberá corresponder al final del periodo de la segunda etapa de transformación.

9.4.5. Criterios de Riesgo Técnico

Los sectores de red, asociados a cada uno de los circuitos del centro de transformación, podrán entregar respaldo a los circuitos vecinos, pertenecientes al mismo u otro centro de transformación, de acuerdo a los niveles de calidad de servicio exigidos.

9.4.5.1. Separación entre circuitos.

Si la red es en tierra se buscará que la distancia entre circuitos paralelos sea aquella que garantice que la falla en uno de ellos no afecte al vecino. En casos de requerir una distancia muy grande de separación entre los conductores, se deberá evaluar la conveniencia de intercalar un ladrillo o bloque de concreto. Estas distancias deberán estar acordes con las legislaciones locales y los compromisos adquiridos con las demás empresas de servicios.

El agrupamiento de los cables deberá ser considerado, una vez definido, para determinar la capacidad de transporte de los conductores empleados.

9.4.5.2. Regulación de Tensión

La tensión admitida en los clientes ,conectados a las redes de BT, depende de las legislaciones de cada uno de los países.



Al igual que para el caso aéreo, los transformadores permiten absorber mediante Taps las caídas de tensión en la red de MT y las internas del transformador. Por lo tanto, se considerará para el cálculo de la longitud de circuitos que los circuitos tienen voltaje nominal en la cabecera (lado BT del transformador).

Las caídas de tensión en las acometidas son variadas, sin embargo, se considerará, como valor promedio, que la caída de tensión en estas acometidas será de 0.5%, debido a las mayores secciones empleadas.

Los valores máximos de caída de tensión admitidos en las redes subterráneas de BT serán los indicados en la Tabla 9. Estos valores corresponden a descontar 0.5% de los valores de caída de tensión máxima admitida en clientes finales ubicados en sectores urbanos.

Estos valores de caída de tensión no podrán alcanzarse mientras la red de baja tensión permanezca inalterada. El horizonte dependerá exclusivamente del criterio de planificación adoptado. Sin embargo, por lo expuesto en el capítulo 9.4.1, la caída de tensión en los conductores deberán permitir a lo menos un aumento de potencia para el transformador.

Tabla 9: Máxima caída de tensión admisible en redes subterráneas de BT.

Cerj	Chilectra	Codensa	Coelce	Edelnor	Edesur
-7%	-7%	-9.5%	-7%	-4.5%	-7.5%

9.4.6. Protección

9.4.6.1. Cortocircuitos

Todos los circuitos llevarán protección a la salida del centro de transformación. Esta protección podrá ser mediante disyuntores o elementos fusibles.

La protección empleada deberá ser tal que proteja al conductor aguas abajo frente a un cortocircuito provocado en la red de baja tensión. En ningún caso se instalarán protecciones contra sobrecargas en los circuitos, debido a la poca coordinación presente, al proteger contra sobrecargas un transformador, cuando existen más de 2 circuitos, y por la continua operación de la red producto del crecimiento no uniforme de los sectores abastecidos por cada centro de transformación.

En zonas de elevada densidad de carga y con exigencias de calidad de servicio elevadas, se podrán instalar elementos de protección en la red de baja tensión, adicionales a los considerados en la cabecera del circuito. En caso que sea necesario, estas protecciones serán instaladas en los cambios de sección de los cables (en las derivaciones), al pasar de la red troncal a las derivaciones. Se podrán instalar 2 o más protecciones en las redes, en la medida que exista coordinación entre estas.

9.4.6.2. Puestas a Tierra

Se instalará un sistema de puesta a tierra en toda cámara de acceso a equipamiento o red de BT y en todo fin de red. El valor de la impedancia de puesta a tierra deberá ser lo menor posible y dependerán de la legislación local de cada Empresa.



Cada vez que las disposiciones constructivas lo permitan, se buscará mantener una continuidad entre las diferentes tierras de neutro de los T/D.

9.5. ACOMETIDA.

La existencia de camarilla en las derivaciones a los clientes beneficia el proceso de corte y reposición de acometidas (hurto y/o facturas impagas).

9.5.1. Conductores

El tipo de cable a utilizar dependerá de la acometida que se realice, el valor de la potencia a transmitir y si el consumo es de tipo monofásico o trifásico.

La selección de la sección o calibre del conductor se determinará mediante el criterio indicado en el Anexo 2.

9.5.2. Protección

Todo cliente deberá llevar una protección interna.



ANEXO 1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS CABLES DE BT

Las características del cable preensamblado de aluminio, preensamblado de cobre y monopolar aislado de cobre, a ser empleados para los efectos de este documento, se indican en las tablas mostradas a continuación.

Tabla 10: Características del cable preensamblado de aluminio.

TIPO DE CABLE							
Sección nominal de conductores de fase mm ²	16	25	35	50	70	95	150
Sección nominal de conductor neutro mm ²	25	50	50	50	50	50	70
Tensión nominal (V)	600	600	600	600	600	600	600
CONDUCTOR DE FASE							
Material del conductor	Aluminio Puro H19	Aluminio Puro H19	Aluminio Puro H19	Aluminio Puro H19	Aluminio Puro H19	Aluminio Puro H19	Aluminio Puro H19
Área (mm ²)	16	25	35	50	70	95	150
Resistencia óhmica máxima a 20°C	1.763	1.161	0.874	0.607	0.428	0.32	0.227
Corriente admisible, aire 40°C (A)	69	83	98	121	150	188	270
Diámetro aislado (mm)	7.42	8.70	10.16	12.11	13.16	14.96	18.98

Tabla 11: Características del cable preensamblado de cobre.

TIPO DE CABLE/ TYPE OF CABLE								
Sección nominal de conductores de fase mm ²	10	16	25	35	70	95	120	185
Sección nominal de conductor neutro mm ²	10	16	25	50	50	50	95	150
Tensión nominal (V)	600	600	600	600	600	600	600	600
CONDUCTOR DE FASE								
Material del conductor	Cobre blando	Cobre blando	Cobre blando	Cobre blando	Cobre blando	Cobre blando	Cobre blando	Cobre blando
Área (mm ²)	10	16	25	35	70	95	120	185
Resistencia óhmica máxima a 20°C	1.83	1.15	0.718	0.529	0.270	0.195	0.15	0.10
Corriente admisible, aire 40°C (A)	66	88	105	124	196	245	312	408
Diámetro aislado (mm)	6.05	7.05	8.3	10.16	13.16	14.96	16.92	19.96



Tabla 12: Características del cable monopolar aislado de cobre.

DESCRIPCIÓN		CARACTERÍSTICAS SOLICITADAS POR SECCIÓN (mm ²)														
	UN.	1,5	2,5	6	10	16	25	35	70	95	120	150	185	240	500	800
Forma y tipo		Cobre	Cobre	Cobre	Cobre	Cobre	Cobre	Cobre	Cobre	Cobre	Cobre	Cobre	Cobre	Cobre	Cobre	Cobre
Diámetro máx	mm	1.38	1.78	2.9	3.7	4.5	5.9	7.0	9.9	11.6	13.1	14.3	16.0	18.7	26.4	33.8
Resistencia eléctrica	Ω	14.48	8.87	3.08	1.83	1.38	0.727	0.524	0.268	0.193	0.153	0.124	0.099	0.075	0.037	0.022
Intensidad máx. admisible	A	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
Intensidad máx. en emergencia (5 second)	A	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)

Notas:

- (1) Intensidad según IEC 287 para configuración trifásica horizontal enterrada a 1 m, distancia entre centros de 10 cm. Resistividad del terreno 100 °C cm / W. Temperatura del terreno de 20 °C.



ANEXO 2. CRITERIO TÉCNICO–ECONÓMICO DE SELECCIÓN DE CONDUCTORES PARA LAS REDES DE BT.

Este apartado propone una metodología que permita definir las secciones que resultan más económicas desde el punto de vista mínimo valor actualizado de costos (VAC), considerando la inversión inicial y los costos de operación (en condiciones normales de carga) que tienen los conductores a lo largo de un determinado período de evaluación (vida útil)

La metodología propuesta aplica para todos los tipos de conductores y niveles de voltaje en los cuales estos sean empleados, debiendo modificarse las variables en análisis según el escenario de tensión en el cual serán empleados. Para cada uno de estos escenarios, permite adicionalmente comparar el beneficio de utilizar diferentes tecnologías de cables.

Por lo tanto, considerando sólo los costos de inversión y de operación de un conductor, esta metodología entrega el tipo de conductor y las secciones que resultan más rentables en el largo plazo. Cabe destacar, que cualquier beneficio adicional que entregue una determinada tecnología de conductores sobre otro deberá ser analizada en forma separada para comparar sus ventajas económicas. Sin embargo, para el mismo tipo de conductor puede emplearse esta metodología para determinar las secciones que resultan más económicas para las realidades de cada empresa.

A2.1. CONSIDERACIONES

A continuación se indican los principales aspectos a tener en cuenta para desarrollar el modelo, los cuales son los que afectan directamente el resultado final de este estudio.

- Tasa de crecimiento:
- Factor de carga de las pérdidas:
Relación entre las pérdidas de potencia promedio y las pérdidas de potencia máxima.
- Factor de carga.
- Precio de la energía y la potencia.
- Costos de construcción, por tipo de conductor y por kilómetro.
- Período de evaluación.
- Sección, ampacidad y resistencia de los conductores.
- Tasa de actualización.

Los conductores serán operados hasta un porcentaje de su capacidad, que puede ir de 50% a 100% de su capacidad térmica. Luego de alcanzar el valor máximo permitido, los conductores se mantienen operando bajo esa carga, sin considerar inversiones adicionales para disminuirla o para reemplazar el conductor por otro de mayor sección.

Se asume una distribución equivalente trifásica equilibrada

El factor de carga de las pérdidas depende de la curva de carga de cada sistema. Por lo tanto, se deberá considerar un factor de carga de las pérdidas calculado por cada empresa. Una metodología práctica de cálculo es:



- Determinación de curva de duración de demanda
- Expresar curva en forma unitaria. Normalizar (dividir cada valor por la demanda máxima).
- Elevar al cuadrado la magnitud de porcentaje de carga
- Determinar el área bajo la curva de duración cuadrática normalizada. Esta área reflejará el factor de carga de las pérdidas
- Otros métodos de cálculo expresan este factor en función del factor de carga (F_c).

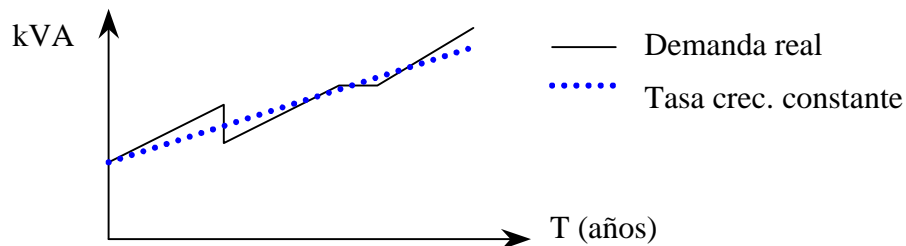
La tasa de crecimiento se considera constante durante el período de evaluación de los conductores.

A medida que las redes van alcanzando los valores de corriente térmica del conductor o los valores de caída de tensión máximas permitidas por legislación, los circuitos de BT liberan parte de la carga, con lo cual, la demanda real de las redes de BT tiene saltos discretos a lo largo del tiempo (ver Ilustración 1).

Por lo tanto, para ajustar el modelo lo más posible a la realidad, se debe realizar una sensibilización de los resultados respecto de las tasas de crecimiento.

Sin embargo, las redes de BT van cambiando sus niveles de carga a lo largo de los años, producto de la división que se hace para la entrada de nuevas redes que permiten bajar la carga del circuito inicial

Ilustración 1: Demanda real en redes de BT v/s aproximación mediante crecimiento constante.



A2.2. MODELO

Tomando en cuenta que no existen beneficios adicionales de los conductores, y que se requiere de estos para transportar la carga, el modelo contempla un criterio de mínimo Valor Actualizado de Costos (VAC)

Como se mencionó anteriormente, los costos de un conductor están relacionados con la inversión inicial necesaria y la operación durante el periodo de evaluación que se considere suficiente.

A2.2.1. Costos de Inversión.

Corresponde al costo por kilómetro de instalar una sección de una determinada tecnología de cable. Se deben considerar, entre otros, costos tales como ferretería, postes, obras civiles y mano de obra.



Esta definición permite diferenciar entre secciones y/o tipo de conductores que requieren de altos costos de montaje para adaptar las redes actuales, sin dejar beneficios adicionales.

Por lo tanto, el costo de inversión será:

$$C_{Inv} = C_{km} \quad (1)$$

donde:

C_{Inv} = Costo de la inversión inicial [US\$]

C_{km} = Costo promedio de construcción, para una determinada sección y tipo de conductor, por unidad de longitud [US\$]

La unidad de longitud que se considere puede ser cualquiera, sólo se deben tener precaución en considerar tanto los costos de inversión como las pérdidas de acuerdo a la base escogida.

A2.2.2. Costos de Operación.

Corresponde al costo de las pérdidas producto de la corriente que transporta el conductor. Este costo dependerá exclusivamente del precio de la energía y de la potencia que exista, del factor de carga, del factor de carga de las pérdidas y la corriente que transporta el conductor.

El costo de operación estará dado por la suma de los costos por potencia y por energía:

$$C_{Oper} = \left[\left(3 \times \langle I \rangle^2 \times R \right) \times \left(\langle 12 \times F_c \times P \rangle + \langle F_{cp} \times E \times 8760 \rangle \right) \right] \quad (2)$$

donde:

C_{Oper} = Costos de operación del conductor en el primer año [US\$]

I = Corriente inicial por el conductor [Amperios]

R = Resistencia eléctrica del conductor [ohm]

F_c = Factor de coincidencia para la potencia.

P = Precio de la potencia [US\$]

F_{cp} = Factor de carga de las pérdidas.

E = Precio de la energía [US\$]

Llevando a valor presente los costos de cada año y aplicando una tasa de crecimiento constante a la corriente, se tiene finalmente la ecuación (3).

$$C_{Oper} = \frac{\sum_{i=1}^N \left[\left(3 \times \left\langle I * \left(1 + \frac{t_c}{100} \right)^{(i-1)} \right\rangle^2 \times R \right) \times \left(\langle 12 \times F_c \times P \rangle + \langle F_{cp} \times E \times 8760 \rangle \right) \right]}{(1 + t_a)^i} \quad (3)$$

donde:



- N = Período de evaluación [años]
 t_c = Tasa de crecimiento por año de la corriente [%]
 t_A = Tasa de actualización [%]

La suma de las ecuaciones (1) y (3) entrega el costo final del conductor por unidad de longitud, inversión más operación, para una determinada corriente inicial I , según se indica en la ecuación (4).

$$S = C_{km} + \sum_{i=1}^N \left[\frac{\left(3 \times \left\langle I * \left(1 + \frac{t_c}{100} \right)^{(i-1)} \right\rangle^2 \times R \right) \times \left(\langle F_c \times P \rangle + \langle F_{cp} \times E \times 8760 \rangle \right)}{(1+t_a)^i} \right] \quad (4)$$

Dado que se considera que no existen trabajos asociados para la ampliación de la capacidad de transporte del conductor, se define que si la corriente que transporta alcanza un porcentaje D (definido en forma previa) de la capacidad térmica del conductor, este permanece operando, hasta el final del período de evaluación, con una corriente igual a $D \times I_{Term}$

A2.3. RESULTADOS

Para cada valor de corriente inicial del conductor se obtiene un valor S en US\$, que representa el costo de operar un conductor de una determinada sección. Si colocamos este valor en un gráfico de Costos v/s Corriente obtendremos un punto en el gráfico.

Determinando, para cada valor de corriente inicial, un costo total para una determina sección de conductor, obtenemos una curva de costos como se muestra en la Ilustración 2. Repitiendo este proceso para cada una de las secciones de un determinado tipo de conductor, obtenemos una curva de costos como se muestra en la Ilustración 3.

Ilustración 2: Curva de costos para una sección de conductor

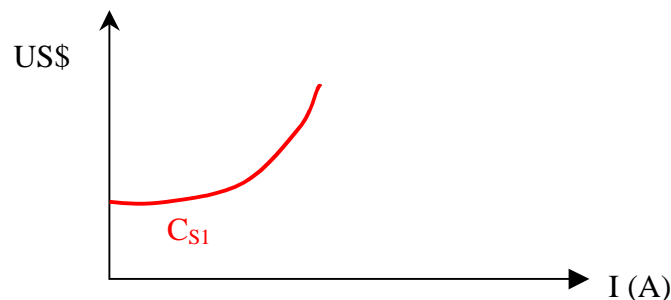
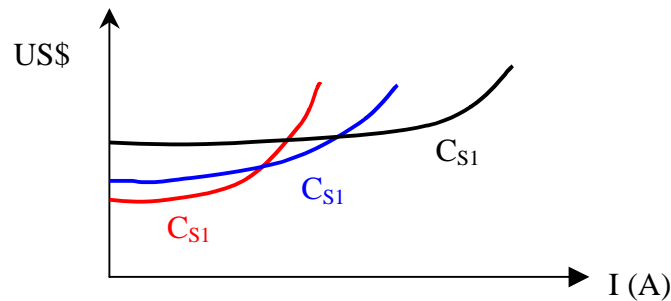




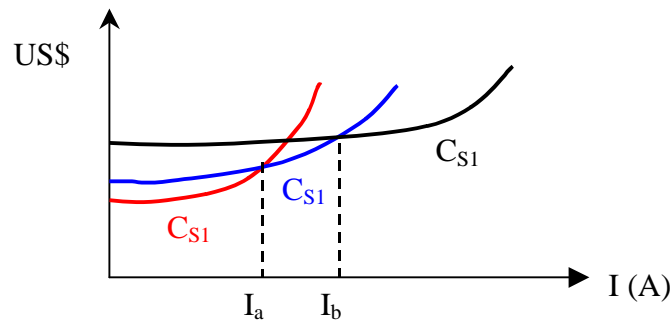
Ilustración 3: Curva de costos para un grupo de secciones de un conductor



A2.4. CONCLUSIONES

De acuerdo al criterio de mínimo VAC se puede observar que cada sección tiene un rango de corrientes en los cuales su uso resulta más rentable en el largo plazo. Por lo tanto, de acuerdo a lo que se aprecia del Ilustración 4, la sección 1 resulta más económico en el rango $[0 - I_a]$, la sección 2 en el rango $[I_a - I_b]$ y la sección 3 en el rango I_b - hasta su capacidad térmica.

Ilustración 4: Rango de corrientes óptimo para cada sección de conductor



La diferencia entre los costos de inversión iniciales determinará la cercanía de los puntos iniciales del gráfico y hará más o menos relevante el costo de las pérdidas, las cuales junto con la tasa de crecimiento determinan la pendiente que tienen las curvas.

Cabe destacar que el modelo entrega los costos de operación de los conductores evaluados, e indica cuales son los que durante su ciclo de operación presentan el mínimo de los valores actualizados de costos, con lo cual la cantidad de secciones de resultado son variadas. Sin embargo, considerando el dinamismo de las redes de BT, se debe evaluar la alternativa de utilizar sólo una sección para las redes BT, evitando de esa forma los costos asociados a los refuerzos de algunos tramos de la red, con el beneficio adicional de operar con menores pérdidas, en comparación con el aumento de la inversión inicial en el cable.