

Estudio Integral de Tarifas Eléctricas para México

Tarea 1.1.2 – Informe N° 6

Determinación de pérdidas técnicas para redes adaptadas por etapa de suministro para los diferentes SER

Preparado para:



INFORME N° 6: DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS TÉCNICAS PARA REDES ADAPTADAS POR ETAPA DE SUMINISTRO PARA LOS DIFERENTES SER

CONTENIDO

| | |
|--|----------|
| RESÚMEN EJECUTIVO | 4 |
| INFORME | 6 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 6 |
| 2. INFORMACIÓN DISPONIBLE PARA LA OPTIMIZACIÓN | 7 |
| 2.1. <i>Información disponible</i> | 7 |
| 2.2. <i>Subestaciones Transformadoras AT/MT</i> | 9 |
| 2.3. <i>Red de MT</i> | 10 |
| 2.4. <i>Transformadores MT/BT</i> | 11 |
| 2.5. <i>Red BT</i> | 11 |
| 3. CRITERIOS APLICADOS PARA LA DEFINICIÓN DE LAS INSTALACIONES ADAPTADAS | 12 |
| 3.1. <i>Subestaciones AT/MT</i> | 13 |
| 3.2. <i>Redes de MT</i> | 14 |
| 3.3. <i>Equipos de MT</i> | 16 |
| 3.4. <i>Transformadores MT/BT</i> | 17 |
| 3.5. <i>Red de BT</i> | 18 |
| 4. PÉRDIDAS TÉCNICAS RESULTANTES PARA CADA SER | 19 |
| 4.1. <i>Criterios metodológicos y parámetros considerados</i> | 20 |
| 4.2. <i>Pérdidas técnicas por etapa resultantes del modelo</i> | 21 |
| 4.3. <i>Subestaciones AT/MT</i> | 22 |
| 4.4. <i>Red MT</i> | 22 |
| 4.5. <i>Transformador MT/BT</i> | 23 |
| 4.6. <i>Red BT</i> | 24 |
| 5. AJUSTE DE PÉRDIDAS Y VALORES FINALES | 25 |

INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 Esquema simplificado para el modelado de la red de MT | 14 |
| Tabla 1 Resultados de pérdidas por nivel de tensión y SER | 5 |
| Tabla 2 Zonas seleccionadas como SER..... | 9 |
| Tabla 3 Datos de las estaciones transformadoras AT/MT | 9 |
| Tabla 4 Datos de identificación de los circuitos MT | 10 |
| Tabla 5 Datos topológicos de los circuitos MT | 10 |
| Tabla 6 Datos de identificación de los transformadores MT/BT | 11 |
| Tabla 7 Datos de topológicos de la red de BT..... | 11 |
| Tabla 8 Metodología para cada etapa de distribución..... | 12 |
| Tabla 9 Pérdidas técnicas de los SER seleccionados..... | 21 |
| Tabla 10 Resultados de SSEE AT/MT para los SER | 22 |
| Tabla 11 Resultados de la red de MT para los SER | 22 |
| Tabla 12 Resultados de transformadores MT/BT para los SER | 24 |
| Tabla 13 Resultados de la red de BT para los SER | 24 |
| Tabla 14 Resultados por etapa de la red | 25 |
| Tabla 15 Factores de incremento de pérdidas | 25 |
| Tabla 16 Resultados por etapa de la red ajustados | 26 |

GLOSARIO

CFE: Comisión Federal de Electricidad

CRE: Comisión Reguladora de Energía

SENER: Secretaria de Energía

TdR: Términos de Referencia

CMLP: Costo Marginal de Largo Plazo

VRN: Valor de Reposición a Nuevo

AT: Alta Tensión

MT: Media Tensión

BT: Baja Tensión

AP: Alumbrado Público

Transformador AT/MT: Transformador reductor de Alta Tensión a Media Tensión

Transformador MT/BT: Transformador reductor de Media Tensión a Baja Tensión

EETT AT/MT: Estaciones Transformadoras de Alta a Media Tensión

TFO: Transformador

SSEE: Subestaciones Transformadoras

INFORME N°6: DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS TÉCNICAS PARA REDES ADAPTADAS POR ETAPA DE SUMINISTRO PARA LOS DIFERENTES SER

RESÚMEN EJECUTIVO

El presente informe corresponde a la Tarea 1.1.2 “Determinación de las pérdidas técnicas y no técnicas por etapa de suministro” dentro de la cual se requiere calcular las pérdidas técnicas correspondientes a las redes adaptadas a la demanda de manera óptima para cada uno de los SER seleccionados. Esta tarea está asociada a la determinación de las instalaciones adaptadas y cálculo del VRN presentado en el Informe N°21, ya que el módulo de cálculo de pérdidas se encuentra integrado al de optimización.

El nivel de pérdidas obtenido en este estudio para cada SER será el que se considerará en la elaboración del balance de energía y potencia y posteriormente será utilizado para determinar los factores de expansión de pérdidas para el cálculo de ingresos a costo marginal, asociado al Informe N°32 del presente estudio tarifario.

La información de detalle utilizada para la determinación del VRN de las redes adaptadas y cálculo de pérdidas para los SER comprende:

- Subestaciones transformadoras AT/MT
 - Identificación de las SSEE transformadoras AT/MT
 - Capacidad instalada y demanda máxima
 - Cantidad de alimentadores MT conectados
- Red de MT
 - Identificación de los alimentadores MT
 - Usuarios conectados
 - Instalaciones asociadas a la red aérea y subterránea / urbana y rural
- Transformadores MT/BT y Red BT asociada
 - Identificación de los transformadores MT/BT
 - Capacidad instalada
 - Instalaciones de la red de BT asociada a los transformadores

El análisis y determinación de las instalaciones adaptadas a la demanda se realiza considerando Sistemas Eléctricos Representativos (SER) y las características de los niveles de MT y BT en lo que respecta a longitud de red de MT y BT, energía vendida, cantidad y capacidad instalada de transformadores, entre otros. Los SER se determinan de acuerdo a la metodología descrita en el Informe N°14 “Selección de los Sistemas Eléctricos Representativos de distribución”.

El objetivo del presente informe es determinar el nivel de pérdidas técnicas para cada etapa de la red o nivel de suministro y para cada uno de los SER. Las pérdidas técnicas de la etapa de MT comprenden las correspondientes a SSEE AT/MT y las líneas y cables de MT. La etapa de BT comprende las pérdidas técnicas de los transformadores MT/BT y las líneas y cables de BT.

Cabe aclarar que los valores de pérdidas técnicas resultantes corresponden a instalaciones adaptadas a la demanda de manera óptima desde el punto de vista técnico económico, por

lo que los valores obtenidos representan una cota inferior de referencia. Asimismo, dado que para el cálculo de las pérdidas se utilizaron modelos de redes simplificados, es necesario aplicar factores de incremento que consideran los efectos presentes en las redes reales, tales como desbalance de fases, distribución no homogénea de la carga, entre otras.

Como resultado del estudio realizado se obtuvieron los siguientes valores de pérdidas para MT y BT para los SER seleccionados.

Tabla 1 Resultados de pérdidas por nivel de tensión y SER

| División-Zona | Conglomerado | SSEE AT/MT | RED MT | TFO MT/BT | RED BT |
|---------------|------------------|------------|--------|-----------|--------|
| DA-08 | Conglomerado #8 | 0.60% | 0.70% | 1.62% | 1.75% |
| DA-15 | Atípica #5 | 0.17% | 1.47% | 1.49% | 0.51% |
| DB-04 | Conglomerado #5 | 0.52% | 2.44% | 1.60% | 2.23% |
| DB-10 | Conglomerado #7 | 0.23% | 1.00% | 1.58% | 2.34% |
| DB-33 | Atípica #11 | 0.31% | 1.45% | 1.59% | 1.85% |
| DC-14 | Atípica #1 | 0.41% | 1.65% | 1.72% | 1.72% |
| DC-26 | Conglomerado #1 | 0.62% | 2.01% | 1.75% | 3.91% |
| DD-03 | Atípica #2 | 0.41% | 1.01% | 1.62% | 1.56% |
| DD-11 | Atípica #6 | 0.27% | 1.38% | 1.62% | 1.04% |
| DD-12 | Atípica #7 | 0.46% | 1.29% | 1.63% | 0.87% |
| DD-17 | Conglomerado #3 | 0.28% | 0.89% | 1.70% | 1.90% |
| DD-18 | Atípica #8 | 0.35% | 0.86% | 1.69% | 2.38% |
| DF-55 | Atípica #9 | 0.48% | 1.22% | 1.73% | 3.04% |
| DG-81 | Atípica #10 | 0.50% | 0.47% | 1.68% | 3.39% |
| DG-91 | Atípica #12 | 0.63% | 0.37% | 1.71% | 3.78% |
| DJ-01 | Conglomerado #2 | 0.56% | 2.88% | 1.83% | 4.01% |
| DK-04 | Conglomerado #4 | 0.59% | 1.73% | 1.71% | 3.91% |
| DU-03 | Conglomerado #10 | 0.48% | 1.32% | 1.65% | 3.07% |
| DV-05 | Atípica #3 | 0.44% | 1.20% | 1.98% | 3.07% |
| DV-08 | Conglomerado #9 | 0.37% | 2.81% | 1.71% | 3.62% |
| DW-05 | Atípica #4 | 0.30% | 0.98% | 1.62% | 2.23% |
| DX-01 | Conglomerado #11 | 0.23% | 0.39% | 1.66% | 2.82% |
| DX-12 | Conglomerado #6 | 0.64% | 0.73% | 1.75% | 3.29% |

Fuente: resultados de cálculos de MEC del modelo de optimización

Los porcentajes de pérdidas resultantes se aplicarán para cada zona que pertenezca al mismo grupo homogéneo o conglomerado y luego para integrarlas a nivel de región o división se ponderarán por la demanda o energía de cada una de ellas.

INFORME N°6: DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS TÉCNICAS PARA REDES ADAPTADAS POR ETAPA DE SUMINISTRO PARA LOS DIFERENTES SER

INFORME

1. INTRODUCCIÓN

El presente informe corresponde a la Tarea 1.1.2 “Determinación de las pérdidas técnicas y no técnicas por etapa de suministro” dentro de la cual se requiere calcular las pérdidas técnicas correspondientes a las redes adaptadas a la demanda de manera óptima para cada uno de los SER seleccionados. Esta tarea está asociada a la determinación de las instalaciones adaptadas y cálculo del VRN presentado en el informe N°21, ya que el módulo de cálculo de pérdidas se encuentra integrado al de optimización, por lo que su análisis se desarrolla en conjunto.

El nivel de pérdidas obtenido en este estudio para cada SER será el que se considerará en la elaboración del balance de energía y potencia, el cual posteriormente es utilizado para determinar los factores de expansión de pérdidas para el cálculo de ingresos a costo marginal, asociado al Informe N°32 del presente estudio tarifario. Asimismo, la expansión de las pérdidas para CFE y la propuesta para considerarlas en las tarifas teóricas se presentará en el Informe N°7 del presente estudio tarifario.

El objetivo del presente informe es determinar el nivel de pérdidas técnicas para cada etapa de la red o nivel de suministro y para cada uno de los SER. Las pérdidas técnicas de la etapa de MT comprenderán las correspondientes a SSEE AT/MT y las líneas y cables de MT. La etapa de BT comprenderá las pérdidas técnicas de los transformadores MT/BT y las líneas y cables de BT.

La metodología utilizada para la determinación de las pérdidas técnicas de cada SER, se basa en el análisis de las pérdidas técnicas de cada etapa de la red, mediante la aplicación de modelos simplificados que suponen, por ejemplo, redes equilibradas con fases balanceadas y carga uniformemente distribuída, entre otras. Este modelo simplificado está integrado a la determinación de las instalaciones óptimas desde el punto de vista técnico-económico, con lo cual los resultados obtenidos representan una cota inferior para las pérdidas técnicas.

Como se mencionó anteriormente, para el cálculo de las pérdidas se utilizaron modelos de redes simplificados, por lo que resulta necesario aplicar factores de incremento que consideran los efectos presentes en las redes reales, tales como desbalance de fases, distribución no homogénea de la carga, contenido de corrientes armónicas, entre otras.

Como resultado del estudio realizado se obtuvieron las pérdidas para cada SER y por etapa de suministro.

En el documento se presenta el tratamiento de los siguientes puntos

- Información disponible para la optimización
- Criterios aplicados para la definición de las instalaciones adaptadas
- Pérdidas técnicas resultantes para cada SER
- Ajuste de pérdidas y valores finales

Los cuales se detallan a continuación.

2. INFORMACIÓN DISPONIBLE PARA LA OPTIMIZACIÓN

En este capítulo se presenta la información de base utilizada para la optimización de las instalaciones por etapa de suministro, las que aplicando la metodología de optimización para cada caso mediante la adaptación de las mismas a la demanda del año base, definirán los volúmenes de instalaciones para cada SER.

2.1. Información disponible

En virtud de la solicitud de información realizada en el informe N°15, se ha recibido la siguiente información de sustento asociada a las actuales instalaciones de CFE para los SER seleccionados, con el objetivo de la determinación del VRN adaptado a la demanda para el año 2007.

Los archivos enviados son los siguientes:

- Información de las subestaciones AT/MT por división y por zona seleccionada como SER de CFE:
 - Subestaciones.xls
- Información de usuarios de MT por alimentador de MT y por división de CFE para las zonas seleccionadas:
 - 01 Baja California usuarios_DA.xls
 - 03 Norte usuarios_DC.xls
 - 05 Golfo Centro usuarios_DU.xls
 - 07 Jalisco usuarios_gdl.xlsx
 - 07 Jalisco usuarios_DX.xls
 - 08 Centro OCC usuarios_DF.xls
 - 09 Centro Sur usuarios_DG.xls
 - 10 Centro OTE usuarios_DV.xls
 - 11 Oriente usuarios_DJ.xls
 - 12 sureste usuarios_DK.xls
 - 13 Peninsular usuarios_DW.xls
 - Catalogo de Status de Usuarios.xls
- Información de circuitos de MT
 - 01 circuitos de distribución Baja California.xls
 - 02 circuitos de distribución Noroeste.xls
 - 03 circuitos de distribución Norte.xls
 - 04 circuitos de distribución Golfo Norte.xls
 - 05 circuitos de distribución Golfo Centro.xls
 - 07 circuitos de distribución Jalisco.xls
 - 08 circuitos de distribución Centro Occidente.xls
 - 09 circuitos de distribución Centro Sur.xls
 - 10 circuitos de distribución Centro Oriente.xls
 - 11 circuitos de distribución Oriente.xls

-
- 12 circuitos de distribución Sureste.xls
 - 13 circuitos de distribución Peninsular.xls
 - Información de transformadores MT/BT por división y zona:
 - Circuitos y transformadores.xls
 - Reporte de líneas de distribución de BT consideradas en el modulo de pérdidas del SIAD:
 - LINEAS BAJA TENSION.xls
 - Normas técnicas de distribución de CFE:
 - NORMAS DE DISTRIBUCIÓN - CONSTRUCCIÓN - INSTALACIONES AÉREAS EN MEDIA Y BAJA TENSIÓN
 - NORMAS DE DISTRIBUCIÓN-CONSTRUCCIÓN-LÍNEAS SUBTERRÁNEAS
 - Catalogo de precios para las instalaciones de distribución a diciembre de 2007:
 - Catalogo de precios de CFE a Diciembre de 2007
 - Información de pérdidas unitarias en módulos de transformación de AT/MT y MT/BT

La información mencionada corresponde a las zonas de distribución seleccionadas como SER, los cuales comprenden las siguientes divisiones y zonas de CFE:

Tabla 2 Zonas seleccionadas como SER

| División | SER (Zona) | Identificación | ID ZONA | ID DIVISION |
|------------------|------------------------|----------------|-------------|-------------|
| Baja California | Ensenada | Cluster #8 | 08 | DA |
| Baja California | Mexicali | Atípica #5 | 15 | DA |
| Noroeste | Navojoa | Cluster #5 | 04 | DB |
| Noroeste | Culiacán | Cluster #7 | 10 | DB |
| Noroeste | Nogales | Atípica #11 | 33 | DB |
| Norte | Durango | Cluster #1 | 26 | DC |
| Norte | Casas Grandes | Atípica #1 | 14 | DC |
| Golfo Norte | Sabinas | Cluster #3 | 17 | DD |
| Golfo Norte | Nuevo Laredo | Atípica #2 | 03 | DD |
| Golfo Norte | Metropolitana Oriente | Atípica #6 | 11 | DD |
| Golfo Norte | Metropolitana Poniente | Atípica #7 | 12 | DD |
| Golfo Norte | Monclova | Atípica #8 | 18 | DD |
| Golfo Centro | Victoria | Cluster #10 | 03 | DU |
| Jalisco | Tepic | Cluster #6 | 12 | DX |
| Jalisco | Guadalajara | Cluster #11 | 1Z,1Y,1R,1L | DX |
| Centro Occidente | Manzanillo | Atípica #9 | 55 | DF |
| Centro Oriente | Puebla Oriente | Cluster #9 | 08 | DV |
| Centro Oriente | San Martín | Atípica #3 | 05 | DV |
| Centro Sur | Acapulco | Atípica #10 | 81 | DG |
| Centro Sur | Zihuatanejo | Atípica #11 | 91 | DG |
| Oriente | Poza Rica | Cluster #2 | 01 | DJ |
| Sureste | Tuxtla | Cluster #4 | 04 | DK |
| Peninsular | Cd. del Carmen | Atípica #4 | 05 | DW |

Fuente: resultados de la selección de las zonas del análisis de conglomerados

A continuación se describe el contenido de la información recibida para cada uno de los conceptos mencionados anteriormente.

2.2. Subestaciones Transformadoras AT/MT

La información de las estaciones transformadoras de AT/MT contenida en el archivo "Subestaciones.xls" permite identificar los siguientes conceptos para cada una de las subestaciones:

Tabla 3 Datos de las estaciones transformadoras AT/MT

| Campo | Descripción |
|----------|--|
| División | División a la que pertenece la estación transformadora AT/MT |
| Zona | Zona en la que está ubicada la estación transformadora AT/MT |

| | |
|-------------------------------|--|
| ID EETT AT/MT | Nombre de la estación transformadora |
| Arreglo de barras | Identificación del arreglo de barras según normas constructivas de CFE |
| Tensión primaria / secundaria | Tensiones de transformación primaria y secundaria [kV/kV] |
| Capacidad instalada | Capacidad total instalada de la estación transformadora en [MVA]. |
| Cantidad de transformadores | Cantidad de transformadores de la subestación |
| Demanda máxima | Demanda máxima por banco de transformación [MW] |
| Tipo | Urbano o Rural |

Fuente: Formato de la información suministrada por CFE

2.3. Red de MT

La información asociada a los circuitos o alimentadores de MT informada para la determinación del VRN adaptado a la demanda para las zonas seleccionadas como SER, comprende los siguientes campos:

Tabla 4 Datos de identificación de los circuitos MT

| Campo | Descripción |
|-------------------|---|
| División | División a la que pertenece la zona seleccionada como SER |
| Zona | Zona seleccionada como SER |
| Subestación AT/MT | Nombre de la subestación AT/MT a la cual está conectado el circuito de MT |
| Circuito MT | Nombre del circuito de MT |
| Tensión | Tensión de salida del alimentador MT expresada en [kV] |
| Clasificación | Clasificación del circuito MT en urbano/rural |
| Usuarios | Usuarios conectados al circuito MT |
| Demanda máxima | Demanda máxima anual del alimentador MT expresada en [MW] |

Fuente: Formato de la información suministrada por CFE

Tabla 5 Datos topológicos de los circuitos MT

| Campo | Descripción |
|----------------|--|
| Longitud total | Longitud total del alimentador de MT expresada en [km] |
| Longitud aérea | Longitud del alimentador de MT aérea expresada en [km] |

| | |
|-------------------------------|---|
| Longitud subterránea | Longitud del alimentador de MT subterránea expresada en [km] |
| Longitud urbano | Longitud del alimentador de MT en zonas urbanas expresada en [km] |
| Longitud rural | Longitud del alimentador de MT en zonas rurales expresada en [km] |
| Longitud total del troncal | Longitud total del troncal del alimentador de MT expresada en [km] |
| Longitud total de los ramales | Longitud total de los ramales del alimentador de MT expresada en [km] |

Fuente: Formato de la información suministrada por CFE

2.4. Transformadores MT/BT

La información correspondiente a los transformadores de MT/BT que se ha utilizado para la optimización comprende los siguientes campos:

Tabla 6 Datos de identificación de los transformadores MT/BT

| Campo | Descripción |
|--------------|--|
| División | División a la que pertenece la zona seleccionada como SER |
| Zona | Zona seleccionada como SER |
| Subestación | Subestación AT/MT asociada al transformador |
| Circuito MT | Identificación del circuito MT |
| Tipo | Tipo de montaje del transformador MT/BT: Aéreo, Subterráneo, a Nivel |
| Fases | Identificación si el transformador es monofásico o trifásico |
| Relación | Relación de transformación del transformador |
| Capacidad | Potencia nominal del transformador expresada en [kVA] |

Fuente: Formato de la información suministrada por CFE

2.5. Red BT

Los datos asociados a la red de BT corresponden a los presentados en el “reporte de las líneas de distribución consideradas en el modulo de perdidas del SIAD” utilizado por CFE para la determinación de las pérdidas asociadas a la red de BT. En el mismo se identifican para cada transformador los siguientes datos:

Tabla 7 Datos de topológicos de la red de BT

| Campo | Descripción |
|------------------|---|
| ID TFO MT/BT | Identificación del transformador MT/BT |
| Nivel de tensión | Nivel de tensión secundaria del transformador MT/BT |
| Usuarios | Cantidad de usuarios o acometidas conectados a la red de BT asociada al transformador MT/BT |
| Lectura inicial | Lectura del medidor al comienzo del periodo de medición |

| | | |
|---------------------|----|---|
| Lectura final | | Lectura del medidor al finalizar el periodo de medición |
| Factor de carga | | Factor de carga del transformador MT/BT |
| Factor de potencia | de | Factor de potencia del transformador MT/BT |
| Longitud línea | de | Longitud de la línea de BT [km] |
| Longitud acometida | de | Longitud de las acometidas de BT [km] |
| Conductor salida BT | de | Tipo de conductor de la red de BT |

Fuente: Formato de la información suministrada por CFE

3. CRITERIOS APLICADOS PARA LA DEFINICIÓN DE LAS INSTALACIONES ADAPTADAS

Con el objeto de realizar el dimensionamiento de la red adaptada a la demanda, y definidas las tecnologías óptimas para cada etapa de la red, se procede con la optimización de las instalaciones de los SER seleccionados, considerando la información disponible descrita en el punto anterior.

Como resultado del análisis, se obtienen las instalaciones adaptadas a la demanda y los niveles de pérdidas asociados a dichas instalaciones. Para ello se han aplicado diferentes metodologías para la optimización según el tipo de instalación, las cuales se resumen a continuación:

Tabla 8 Metodología para cada etapa de distribución

| Etapa de red | Información de base | Metodología |
|---------------|--|--|
| SSEE AT/MT | Nivel de tensión, capacidad instalada y arreglo de barras de subestaciones AT/MT de cada SER | Análisis y ajuste de la capacidad instalada en función de la energía vendida en MT + BT para cada SER |
| Red MT | Demanda máxima, nivel de tensión, usuarios, longitud de red discriminando zonas urbanas y rurales, aéreas y subterráneas de cada SER | Modelo de flujo de carga simplificado por zonas típicas de distribución urbana-subterránea, urbana-aérea y rural-aérea y asignación de conductor óptimo por rango de corriente definidos en el Informe N°16, con verificación de la caída de tensión |
| Equipos de MT | Topología simplificada de los circuitos de MT | Ubicación de equipos en la red en función de la cantidad de ramales y longitud de troncales y ramales |
| TFO MT/BT | Listado de TFO MT/BT indicándose la capacidad, nivel de tensión, tipo constructivo, conexión y fases para cada SER | Análisis y ajuste de la capacidad instalada de acuerdo a los módulos óptimos definidos en el Informe N°16 |

| | | |
|--------|---|--|
| Red BT | Levantamiento de TFOs MT/BT del modulo SIAD donde se indica la longitud de la red de BT y de las acometidas. Datos de las zonas utilizadas para el análisis de conglomerados. | Modelo de flujo de carga simplificado por módulo de TFO típico y asignación de conductor óptimo por rango de corriente definidos en el Informe N°16, con verificación de la caída de tensión |
|--------|---|--|

Fuente: Características de la información suministrada por CFE y metodología aplicada por MEC

A continuación se describe en detalle el análisis realizado para cada componente de la red de distribución.

3.1. Subestaciones AT/MT

La metodología aplicada para la adaptación de la capacidad instalada de las SSEE AT/MT de las distintas zonas de CFE seleccionadas como SER, consiste en determinar la capacidad necesaria requerida para abastecer la demanda aguas abajo, en función de la energía vendida en los niveles de MT y BT, a las características del consumo, las pérdidas y un determinado nivel de reserva.

En primer lugar se desarrollo un inventario a partir del listado de las SSEE AT/MT para cada SER informado por CFE, donde se identifica el código y nombre de la SSEE, el nivel de tensión al cual está conectada, su capacidad instalada y el arreglo de barras. En el caso de las subestaciones que no fue informado el arreglo de barras se adoptó la configuración tipo 1 correspondiente a "Subestaciones con barra principal en AT y barra principal-barra de transferencia normalizada en MT".

Posteriormente se realiza la verificación de la capacidad instalada comparándola con la que resulta de calcular la capacidad máxima a partir de la energía vendida como se mencionó anteriormente.

La fórmula de aplicación resultante es:

$$SSEE_MVA_Adap = \frac{[EvBT \times (1 + \%PBT) + EvMT] \times (1 + \%PMT)}{8760 \times FC \times FP \times FSim \times FR}$$

Donde,

SSEE_MVA_Adap: Capacidad adaptada a la demanda [MVA]

EvBT: Energía vendida en BT [MWh]

EvMT: Energía vendida en MT [MWh]

%PBT: porcentaje de pérdidas del nivel de BT respecto de la entrada en BT [%]

%PMT: porcentaje de pérdidas del nivel de MT respecto de la entrada en MT [%]

8760: indica las horas del año

FC: Factor de carga del SER

FP: Factor de potencia

FSim: Factor de simultaneidad entre las demandas máximas de las SSEE y la del SER

FR: Factor de reserva¹ de la capacidad instalada

En función de los conceptos expuestos, es necesario aclarar la fuente de la información para mejor comprensión de lo realizado. Los valores de energía vendida en MT y BT utilizados corresponden a los informados por CFE en la tabla de zonas para el análisis de conglomerados. Los porcentajes de pérdidas corresponden al nivel determinado a partir del análisis de optimización, y el cual será reconocido en la tarifa teórica para cada uno de los niveles de tensión de MT y BT.

Por el lado de los factores característicos, el FC surge del cálculo a partir de información de la energía, demanda máxima y pérdidas de cada SER informado por CFE en el listado de zonas para la elaboración del análisis de conglomerados. El factor de simultaneidad se determinó considerando valores límites superior igual a 1 e inferior de 0.6 según la experiencia del consultor. En caso que se superen cualquier límite se procede al ajuste de los módulos de transformación asociados al SER, considerando un factor de simultaneidad igual a 1. El factor de potencia adoptado es de 0.95, y la reserva considerado para las SSEE es del 20% de la capacidad instalada con lo cual el FR adoptado es igual a 0.8.

Como resultado se obtienen la cantidad y capacidad de las SSEE por nivel de tensión y arreglo de barras para los SER, extrapolando los resultados al resto de las zonas considerando los mismos factores que los de su conglomerado.

Los resultados par los SER y su extrapolación se muestran en el capítulo 4 del presente documento.

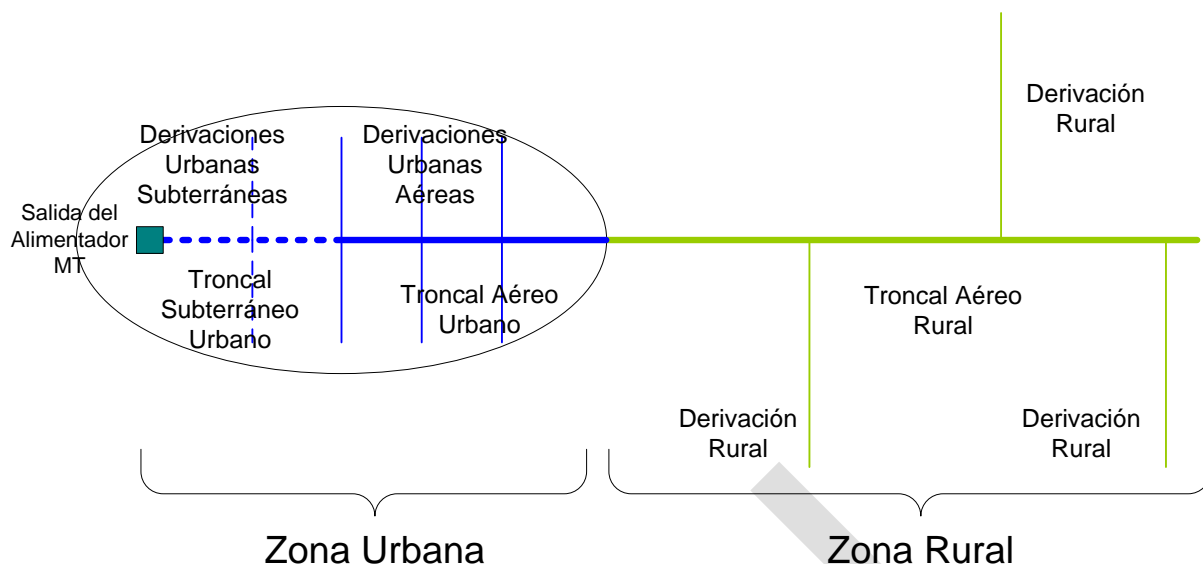
3.2. Redes de MT

Las metodología aplicada para adaptar las redes de MT a la demanda del año base consistió en representar a los circuitos de MT de cada SER mediante un modelo simplificado del tipo espina de pescado, a partir de la información disponible, tanto para las redes de MT aéreas, subterráneas y mixtas (aéreas y subterráneas), y luego realizar un flujo de carga asociado a la demanda máxima del año base para cada uno de los circuitos de MT. El detalle del modelo y las ecuaciones utilizadas se adjunta en el ANEXO I del presente documento.

Como se mencionó anteriormente, el modelo permite representar en forma simplificada a los circuitos de MT, utilizando una configuración de espina de pescado sectorizado, independizando aquellas zonas definidas como urbanas subterráneas, urbanas aéreas y rurales aéreas, de acuerdo a la siguiente figura:

Figura 1 Esquema simplificado para el modelado de la red de MT

¹ También se lo denomina factor de uso de las instalaciones



Fuente: Esquema de red adoptado por MEC

Como resultado del modelado se obtienen las corrientes por cada troncal y ramal del circuito, para posteriormente asignarle a cada uno de ellos, la tecnología técnico-económicamente optimizada presentada en el Informe N°16 del presente estudio tarifario. Además de lo expuesto, el modelo permite verificar que en cada circuito no se supere la caída de tensión máxima admisible la cual fue considerada en 10% a tensión nominal, que permite, teniendo una regulación de 5% en la salida del circuito, la caída máxima permisible de 5%. Estos valores límite se adoptaron considerando las definiciones de las Normas de distribución – construcción – instalaciones aéreas en media y baja tensión – generalidades de CFE, y determinar las pérdidas técnicas de los circuitos, cuyos valores serán utilizados para la definir las pérdidas técnicas eficientes en la tarifa teórica.

Cabe aclarar que en la información base de los circuitos se identificaban dos variables: “es_circuito” y “estado_circuito”. Para el análisis desarrollado se consideraron aquellos en que la variable “es_circuito” es igual a “S” (si) y la variable “estado_circuito” es igual a “O” (operativo) según la clasificación presentada por CFE. Asimismo, se eliminaron los circuitos que presentaban inconsistencias como errores de gran magnitud (longitudes mayores a 300km) o aquellos en los que no se indicaba la longitud total o la demanda máxima.

Desde el punto de vista de la topología, en la información de base se identificaba la longitud total del circuito MT y su detalle por los siguientes conceptos, entendiendo que la suma de cada uno de ellos es igual a la total.

- Urbano / Rural
- Aéreo / Subterráneo
- Troncal / Ramal

En algunos casos no se conseguía que la suma de los conceptos mencionados anteriormente sume la longitud total informada por CFE, por lo tanto se ajustó la información respectando la longitud total y repartiendo dicha longitud guardando las proporciones en lugar de los valores absolutos.

Adicionalmente, se realizaron algunas consideraciones acerca de la topología y de la distribución de la demanda, para poder realizar el modelado simplificado de los circuitos de MT, con el objetivo de simular un flujo de carga, y posteriormente asignar un calibre de conductor técnico-económicamente adaptado a la demanda.

Los conceptos aplicados se enumeran a continuación.

Respecto de la topología del circuito MT

-
- Los circuitos se clasificaron como aéreos, subterráneos o mixtos, considerándolos trifásicos en el nivel de tensión que fueron definidos
 - Si en la información de los circuitos de MT, no se especifica la longitud de troncal y ramal en cada una de las áreas urbanas y rurales, para el modelado de los circuitos se definió una clase de circuitos mixtos, donde el 30% de la longitud total es troncal urbano y el 70% es troncal rural. Esta suposición se sustenta en la experiencia del consultor, cuyos valores se han aplicado en el modelado de redes ideales para los fines tarifarios en regulaciones donde se requiere la determinación de redes optimizadas.
 - Los circuitos clasificados como mixtos puede ser de dos clases:
 - Componente de red urbano subterráneo o aéreo y red rural aérea
 - Componente de red urbano con troncales subterráneos y ramales aéreos sin red rural
 - La longitud del troncal en zonas urbanas se limitó a 5km y en zonas rurales a 30km, el resto se consideró como longitud de ramales. Esta suposición se sustenta en la experiencia del consultor, cuyos valores se han aplicado en el modelado de redes ideales para los fines tarifarios en regulaciones donde se requiere la determinación de redes optimizadas.
 - La cantidad de ramales se determinó considerando 2 ramales cada 500m de troncal en zonas urbanas y 1 ramal cada 2 km de troncal en zonas rurales. Esta suposición se sustenta en la experiencia del consultor, cuyos valores se han aplicado en el modelado de redes ideales para los fines tarifarios en regulaciones donde se requiere la determinación de redes optimizadas.

Respecto de la distribución de la demanda:

- La demanda máxima se distribuye en primera instancia en los dos sectores definidos urbanos y rural, proporcionalmente a la longitud de cada uno ponderado por un factor de 0.5, adoptado por el consultor en base a la experiencia en aplicada en otras regulaciones, por ejemplo Perú, que considera que la zona urbana es de mayor densidad que la rural. Esto representa que la densidad urbana es el doble de la densidad rural.
- La demanda de cada sector se distribuye en forma lineal en los ramales del sector urbano y rural
- La demanda por el troncal resultará de adicionar los aportes de todos los ramales en cada punto

Como resultado de la aplicación del modelo de optimización, se obtienen los volúmenes de conductores optimizados por clase, nivel de tensión y calibres, para cada SER. Estas longitudes de cada clase son utilizadas posteriormente para determinar los porcentajes de cada clase de conductor respecto de la longitud total para cada SER, los cuales se aplicarán como repartidores de la longitud total de los circuitos de MT de cada zona de distribución de CFE informada en la tabla de datos utilizada para el análisis de conglomerados, para finalmente obtener el inventario de cada zona identificando las longitudes por cada clase de conductor optimizado.

Asimismo, se obtendrá el nivel de pérdidas por circuito de MT, el cual será ponderado considerando la demanda de cada circuito para determinar las pérdidas totales de la zona.

3.3. Equipos de MT

En este capítulo se describen las principales hipótesis para la definición de la ubicación de los equipos de protección y maniobra de la red de MT, de acuerdo a las normas

constructivas de CFE y el estado del arte conocido para tal fin. Los equipos que se definirán y ubicarán en la red son los siguientes:

- Interruptores
- Restauradores
- Cortacircuitos fusibles
- Cuchillas seccionadoras

Los interruptores se colocarán a la salida de los circuitos de MT aéreos y subterráneas, los cuales podrán tener la capacidad de ser programados como reconectores, cuando la operación de la SSEE AT/MT y la configuración del circuito así lo permitan. Por lo tanto se computará un interruptor trifásico por circuito de MT. En el caso que se los interruptores se programen como restauradores en la red aérea, se combinarán con seccionadores o cortacircuitos fusibles en los ramales principales.

Los restauradores por su parte, se colocarán en circuitos aéreos rurales de longitud mayor a 5km o circuitos mixtos (urbano y rural) donde el restaurador se colocará en la transición urbano/rural. Este supuesto corresponde a valores utilizados por el consultor, considerados en revisiones tarifarias donde se requiere la definición de instalaciones optimizadas.

Los cortacircuitos fusibles se colocarán en las salidas de los ramales, de manera que cualquier falla en los mismos quede aislada y no se traslade al troncal, con una adecuada coordinación de protecciones. De esta manera, se computará un cortacircuito fusible en cada ramal de la red urbana y rural aérea. Esto significa que habrá 2 cortacircuitos fusibles cada 500 m de troncal urbanos y 1 cortacircuito fusible cada 2km de troncal rural aéreo.

Las cuchillas seccionadoras se utilizaran para aislar eléctricamente a los circuitos de MT y/o tomar carga o respaldar a circuitos vecinos especialmente en las zonas urbanas de mayor densidad de redes. Para la determinación de la cantidad de cuchillas se adoptó que se colocarán una cada 2km de troncal, tanto en redes urbanas como rurales. Este supuesto corresponde a valores utilizados por el consultor, considerados en revisiones tarifarias donde se requiere la definición de instalaciones optimizadas

En el caso de los apartarrayos, está comprobado que los mismos reducen las salidas de servicio de las redes de MT y el daño que provoca la descarga sobre la línea, en el sentido que se transmite a tierra lo antes posible y no permite que la descarga viaje por la línea. Los mismos se prevén colocar en zonas con nivel isocerámico alto, en conjunto con los elementos de operación, seccionamiento y transformación, y en todos aquellos puntos de la línea que lo requieran para la protección contra descargas. Por lo tanto se instalarán un juego de apartarrayos en las salidas de ramales y en troncales rurales con longitud mayor a 5km y en las transiciones de línea aérea a subterránea, de acuerdo a lo especificado en la norma NOM-001-SEDE-2005.

3.4. Transformadores MT/BT

La metodología aplicada para la adaptación de los transformadores de MT/BT a la demanda es similar a la aplicada para las SSEE AT/MT. A partir del inventario de los transformadores MT/BT informado por CFE, se clasificaron por tipo constructivo y se ajustaron los módulos de transformación a los definidos en el Informe N°16 como óptimos desde el punto de vista técnico-económico, y se realizó el listado de transformadores por división-zona para cada tipo.

La información disponible de demanda asociada a los transformadores de MT/BT es la energía vendida en BT informada en las tablas de las zonas utilizadas para el análisis de conglomerados para la determinación de los SER. De esta manera, la adaptación se realizará para cada zona considerando la capacidad instalada expresada en [kVA] y la energía vendida en [kWh], utilizando los factores característicos para expresar una en función de la otra de la siguiente manera:

$$TFOMTBT_MVA_Adap = \frac{EvBT \times (1 + \%PBT)}{8760 \times FC \times FP \times FSim \times FR}$$

Donde,

TFOMTBT_MVA_Adap: Capacidad adaptada a la demanda de los transformadores MT/BT [MVA]

EvBT: Energía vendida en BT [MWh]

%PBT: porcentaje de pérdidas del nivel de BT respecto de la entrada en BT [%]

8760: indica las horas del año

FC: Factor de carga del SER

FP: Factor de potencia

FSim: Factor de simultaneidad entre las demandas máximas de los TFO MT/BT y la del SER

FR: Factor de reserva/Pérdidas equivalentes

El FC utilizado surge del cálculo a partir de información de la energía, demanda máxima y pérdidas de cada SER informado por CFE en el listado de zonas para la elaboración del análisis de conglomerados. El factor de simultaneidad se determinó considerando valores límites superior igual a 1 e inferior de 0.4 según la experiencia del consultor, debido a que los consumos en BT principalmente están asociados a consumo domésticos y comerciales, los cuales tienen sus máximos en punta y fuera de punta respectivamente, de esta manera resulta que la coincidencia o simultaneidad interna de las demandas individuales de los transformadores sea menor que en el caso de las SSEE AT/MT.

En caso que se superen uno u otro límite se procede al ajuste de los módulos de transformación asociados al SER, considerando un factor de simultaneidad igual a 1. El factor de potencia adoptado es de 0.95, y la reserva considerado para los transformadores MT/BT es del 20% con lo cual el FR adoptado es igual a 0.8. Este factor incluye el factor equivalente de pérdidas definido en el Informe N°16, el cual toma en consideración las pérdidas en el periodo de análisis técnico-económico.

Así, para cada SER se obtiene un factor de ajuste mediante el cual se determinan los módulos que son necesarios ajustar para obtener las instalaciones adaptadas a la demanda, las cuales posteriormente se extrapolarán al resto de las zonas considerando los mismos factores que los de su conglomerado o SER representativo.

Los resultados par los SER y su extrapolación se muestran en el capítulo 4 del presente documento.

3.5. Red de BT

La metodología utilizada para obtener la red de BT adaptada se basa en la definición de los porcentajes de clases de redes de BT determinados adoptado para cada módulo de transformación, un rango de longitudes mínimas y máximas para las salidas de circuitos de BT, en función de la capacidad y tipo constructivo de los transformadores.

De esta manera, para cada uno de los módulos se determinó la longitud máxima para una caída de tensión en el extremo del circuito del 3%, utilizando como variables la cantidad de salidas por transformador y la corriente de salida que será función de la capacidad del transformador y de la tensión de salida, expresado según la siguiente fórmula:

$$Isal_f = \frac{kVA_{TFO} \times FU}{Uf \times Nsal}$$

Donde,

Isalf: corriente por salida del circuito de BT expresada en [A]

FU: factor de uso del transformador MT/BT

Uf: tensión de fase expresada en [V]

Nsal: número de salidas de circuitos de BT del transformador

En función de la corriente de salida Isalf se selecciona el conductor de BT óptimo que surge como resultado del análisis de técnico-económico presentado en el Informe N°16 del presente estudio tarifario.

Para determinar la longitud máxima para cada clase de conductor y módulo de transformación, se aplicó un modelo simplificado en el cual se considera que la carga se distribuye uniformemente en la longitud del circuito de BT, adoptando una caída máxima de tensión del 3%. De esta manera la longitud máxima queda expresada de la siguiente manera:

$$L_{\max} = \frac{3\% \times U_f}{\frac{I_{salf}}{2} \times R} \times N_{sal}$$

Donde,

Lmax: longitud máxima para una caída de tensión del 3% [km]

Uf: tensión de fase expresada en [V]

Nsal: número de salidas de circuitos de BT del transformador

Isalf: corriente por salida del circuito de BT expresada en [A]

R: resistencia del conductor [Ohm/km]

El número 2 representa el modelo equivalente de considerar la carga uniformemente distribuida a lo largo de la línea de BT.

El proceso de ajuste de la longitud de la red de BT se realiza aplicando un proceso iterativo mediante el cual se propone una longitud inicial para cada módulo de transformación MT/BT, intermedia entre el valor mínimo y máximo admisible por caída de tensión, y posteriormente se calcula la longitud total de la red de BT para cada SER. Luego, se calcula el porcentaje de apartamiento del cálculo anterior respecto de las cantidades totales informadas de red de BT para cada SER, el cual se aplica a las longitudes unitarias determinadas previamente, de manera que la longitud resultante por SER sea semejante a la informada, obteniéndose así la composición por clase de conductor de la red de BT para cada SER.

Finalmente, se calculan las pérdidas para la longitud unitaria resultante y se determinan las pérdidas totales para cada SER ponderando los porcentajes por las longitudes de la red de BT asociadas a los distintos módulos de transformación considerados.

4. PÉRDIDAS TÉCNICAS RESULTANTES PARA CADA SER

Como resultado de la aplicación de la metodología y criterios adoptados descriptos en el capítulo anterior, se obtiene como uno de los resultados las pérdidas técnicas asociadas a las instalaciones de cada SER las cuales dependen de la demanda y la composición por clase de equipamiento que componen las distintas etapas de la red.

Estas pérdidas técnicas se determinan a través de la aplicación de modelos simplificados, con lo cual es necesario incrementar dichas pérdidas para encontrar un valor adecuado para cada componente mediante la aplicación de factores que consideren las variables presentes en las redes reales del sistema de distribución.

En este capítulo se presentan los valores de pérdidas técnicas para cada SER y componente de la red resultantes de la aplicación del modelo identificando los valores de base utilizados para el cálculo, y su ajuste aplicando los factores de incremento de pérdidas.

4.1. Criterios metodológicos y parámetros considerados

El cálculo de las pérdidas técnicas se realizó mediante la aplicación de distintos criterios en función de la información disponible y de la etapa de la red de distribución analizada.

Para el caso de las redes de MT y BT, las pérdidas se determinaron mediante un cálculo de flujo de carga simplificado, que como se mencionó anteriormente, el circuito de MT se representó mediante un esquema de espina de pescado, identificando sectores de red urbana, rural y mixta, y se definió un parte de la red como troncal y sus ramales asociados. Las pérdidas se determinaron como el cuadrado de la corriente multiplicado por la resistencia de los conductores, considerando que la carga se encuentra uniformemente distribuida a lo largo de los conductores. Las pérdidas en la red de BT se calcularon de manera similar, pero los circuitos de BT se consideraron en forma radial con 1, 2 o 4 salidas por transformador de MT/BT.

Las fórmulas de aplicación para el cálculo de pérdidas de los circuitos de MT para los ramales y troncales, considerando una distribución lineal de la carga a lo largo del conductor resultan, para la potencia de pérdidas en troncales:

$$Pp_{TR} = \frac{I_{maxTR}^2}{3} \times \left(1 + \frac{P_{maxi+1}}{P_{maxi}} + \frac{P_{maxi+1}^2}{P_{maxi}^2} \right) \times L_{TR} \times R_{cond}$$

Donde,

Pp_{TR} : Potencia de pérdidas en troncales [kW]

I_{maxTR} : Corriente máxima del troncal [A]

P_{maxi} : Potencia máxima del sector i [kW]

P_{maxi+1} : Potencia máxima del sector i+1 [kW]

L_{TR} : longitud del tramo [km]

R_{cond} : resistencia del conductor [ohm/km]

La potencia por ramal se determina como:

$$Pp_{RA} = \frac{I_{maxR}^2}{3} \times \frac{L_{RA}}{C_{RA}} \times R_{condMT}$$

Donde,

Pp_{RA} : Potencia de pérdidas en ramal [kW]

I_{maxR} : Corriente máxima del ramal [A]

L_{RA} : longitud total de los ramales [km]

C_{RA} : cantidad de ramales

R_{cond} : resistencia del conductor [ohm/km]

Las pérdidas totales del circuito serán la suma de las pérdidas en los troncales más la de los ramales.

Para calcular las pérdidas técnicas de potencia de la red de BT asociada a cada módulo de transformación, en función de la capacidad instalada, se aplicó la siguiente fórmula:

Transformadores trifásicos:

$$Pp_{BT} = 3 \times \frac{I_{salBT}^2}{3} \times L_{BT} \times R_{condBT}$$

$$I_{salBTf} = \frac{kVA_{inst} \times FU}{\sqrt{3} \times Uf}$$

Transformadores monofásicos:

$$Pp_{BT} = 2 \times \frac{I_{salBT}^2}{3} \times L_{BT} \times R_{condBT}$$

$$I_{salBTf} = \frac{kVA_{inst} \times FU}{Uf}$$

Las pérdidas asociadas a los transformadores AT/MT y MT/BT se determinaron en función de las pérdidas características de los distintos módulos de transformación, a partir de la potencia operada para la cual se adoptó como el 80% de la capacidad instalada. Este valor se sustenta la definición de un valor de factor de uso de las instalaciones en sistemas adaptados a la demanda y optimizados desde el punto de vista técnico-económico, utilizado en otras revisiones tarifarias de Latinoamérica que aplican los conceptos de red ideal para la definición de las instalaciones para el cálculo del VRN.

Las fórmulas de aplicación comprenden:

$$Pp_{TR} = P_h + P_{CU} \times FU^2$$

Donde,

PpTR: pérdidas de potencia en el transformador

P_h = Pérdidas características en el hierro del transformador

P_{CU} = Pérdidas características en el cobre del transformador

FU : factor de uso

El factor de uso se adoptó 0.8 ya que se considera una reserva de la capacidad del 20%.

4.2. Pérdidas técnicas por etapa resultantes del modelo

Como resultado de la aplicación del modelo de optimización de las instalaciones y determinación de las pérdidas asociadas se obtuvieron los siguientes valores de pérdidas promedio para los SER seleccionados:

Tabla 9 Pérdidas técnicas de los SER seleccionados

| Componente de la red de distribución | % Pérdidas | Factor de pérdidas |
|--------------------------------------|--------------|--------------------|
| Subestaciones transformadoras AT/MT | 0.44% | 1.004 |
| Red MT | 0.88% | 1.009 |
| Equipos MT | - | |
| TOTAL MT | 1.33% | 1.013 |
| Transformadores MT/BT | 1.42% | 1.014 |
| Red BT | 2.97% | 1.031 |
| TOTAL BT | 4.38% | 1.046 |
| TOTAL SER DISTRIBUCIÓN | 5.65% | 1.060 |

Fuente: resultados de cálculos de MEC con base en información de CFE

Los porcentajes presentados están expresados respecto de la demanda a la entrada de cada etapa. Por tratarse de pérdidas asociadas a instalaciones optimizadas, y considerando que en la optimización no se supere la referencia de caída de tensión superior al 10%, las pérdidas resultan muy similares para cada clase de instalación.

En el caso de los transformadores tanto de AT/MT como de MT/BT, las mismas se calcularon en función de las pérdidas unitarias de cada módulo, considerando como estado de máxima hasta las reserva del 20% de la potencia instalada.

Las pérdidas técnicas asociadas a las redes de MT presentan mayor variabilidad en los porcentajes, debido que los saltos entre secciones de conductores son discretos, y sobre todo en los conductores de mayor calibre, el rango de corrientes puede variar de 70A hasta 300A, y dado que las pérdidas asociadas varían con el cuadrado de la corriente, los porcentajes de pérdidas respecto de la demanda en la entrada resultan diferentes.

4.3. Subestaciones AT/MT

Los resultados obtenidos para las instalaciones asociadas a las SSEE AT/MT se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 10 Resultados de SSEE AT/MT para los SER

| <i>Subestaciones transformadoras AT/MT</i> | | | |
|--|------------------|-------|-----------------------|
| División-Zona | Conglomerado | MVA | Pérdidas Potencia [%] |
| DA-08 | Conglomerado #8 | 307 | 0.53% |
| DA-15 | Atípica #5 | 1,900 | 0.15% |
| DB-04 | Conglomerado #5 | 318 | 0.45% |
| DB-10 | Conglomerado #7 | 1,028 | 0.20% |
| DB-33 | Atípica #11 | 946 | 0.27% |
| DC-14 | Atípica #1 | 299 | 0.35% |
| DC-26 | Conglomerado #1 | 544 | 0.54% |
| DD-03 | Atípica #2 | 655 | 0.35% |
| DD-11 | Atípica #6 | 2,838 | 0.23% |
| DD-12 | Atípica #7 | 2,130 | 0.40% |
| DD-17 | Conglomerado #3 | 156 | 0.24% |
| DD-18 | Atípica #8 | 1,268 | 0.30% |
| DF-55 | Atípica #9 | 155 | 0.42% |
| DG-81 | Atípica #10 | 606 | 0.44% |
| DG-91 | Atípica #12 | 210 | 0.55% |
| DJ-01 | Conglomerado #2 | 459 | 0.49% |
| DK-04 | Conglomerado #4 | 428 | 0.51% |
| DU-03 | Conglomerado #10 | 339 | 0.42% |
| DV-05 | Atípica #3 | 600 | 0.38% |
| DV-08 | Conglomerado #9 | 700 | 0.32% |
| DW-05 | Atípica #4 | 166 | 0.26% |
| DX-01 | Conglomerado #11 | 2,746 | 0.20% |
| DX-12 | Conglomerado #6 | 198 | 0.56% |

Fuente: resultados de cálculos de MEC con base en información de CFE

4.4. Red MT

Los resultados de pérdidas técnicas obtenidos para las instalaciones asociadas a las redes de MT se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 11 Resultados de la red de MT para los SER

Red MT

| División-Zona | Conglomerado | Longitud [km] | Pérdidas Potencia [%] |
|---------------|------------------|---------------|-----------------------|
| DA-08 | Conglomerado #8 | 1,679 | 0.52% |
| DA-15 | Atípica #5 | 4,674 | 1.09% |
| DB-04 | Conglomerado #5 | 1,358 | 1.81% |
| DB-10 | Conglomerado #7 | 3,938 | 0.75% |
| DB-33 | Atípica #11 | 1,208 | 1.08% |
| DC-14 | Atípica #1 | 988 | 1.23% |
| DC-26 | Conglomerado #1 | 2,398 | 1.49% |
| DD-03 | Atípica #2 | 2,524 | 0.75% |
| DD-11 | Atípica #6 | 3,589 | 1.03% |
| DD-12 | Atípica #7 | 3,180 | 0.96% |
| DD-17 | Conglomerado #3 | 998 | 0.66% |
| DD-18 | Atípica #8 | 1,310 | 0.64% |
| DF-55 | Atípica #9 | 1,239 | 0.91% |
| DG-81 | Atípica #10 | 3,023 | 0.35% |
| DG-91 | Atípica #12 | 1,102 | 0.27% |
| DJ-01 | Conglomerado #2 | 1,316 | 2.14% |
| DK-04 | Conglomerado #4 | 1,436 | 1.29% |
| DU-03 | Conglomerado #10 | 1,160 | 0.98% |
| DV-05 | Atípica #3 | 753 | 0.89% |
| DV-08 | Conglomerado #9 | 1,282 | 2.09% |
| DW-05 | Atípica #4 | 534 | 0.73% |
| DX-01 | Conglomerado #11 | 5,028 | 0.29% |
| DX-12 | Conglomerado #6 | 989 | 0.54% |

Fuente: resultados de cálculos de MEC con base en información de CFE

4.5. Transformador MT/BT

Los resultados obtenidos para las instalaciones asociadas a los transformadores MT/BT se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 12 Resultados de transformadores MT/BT para los SER

Transformadores MT/BT

| División-Zona | Conglomerado | Cantidad | Capacidad instalada [MVA] | Pérdidas Potencia [%] |
|---------------|------------------|----------|---------------------------|-----------------------|
| DA-08 | Conglomerado #8 | 8,785 | 364 | 1.4% |
| DA-15 | Atípica #5 | 25,501 | 1,933 | 1.3% |
| DB-04 | Conglomerado #5 | 6,469 | 290 | 1.4% |
| DB-10 | Conglomerado #7 | 18,974 | 1,007 | 1.4% |
| DB-33 | Atípica #11 | 8,015 | 334 | 1.4% |
| DC-14 | Atípica #1 | 8,740 | 305 | 1.5% |
| DC-26 | Conglomerado #1 | 7,583 | 287 | 1.5% |
| DD-03 | Atípica #2 | 8,736 | 429 | 1.4% |
| DD-11 | Atípica #6 | 27,442 | 1,307 | 1.4% |
| DD-12 | Atípica #7 | 27,462 | 1,452 | 1.4% |
| DD-17 | Conglomerado #3 | 3,775 | 138 | 1.5% |
| DD-18 | Atípica #8 | 6,502 | 265 | 1.5% |
| DF-55 | Atípica #9 | 2,359 | 119 | 1.5% |
| DG-81 | Atípica #10 | 8,334 | 458 | 1.5% |
| DG-91 | Atípica #12 | 3,488 | 158 | 1.5% |
| DJ-01 | Conglomerado #2 | 14,144 | 389 | 1.6% |
| DK-04 | Conglomerado #4 | 8,823 | 352 | 1.5% |
| DU-03 | Conglomerado #10 | 9,446 | 357 | 1.4% |
| DV-05 | Atípica #3 | 2,995 | 84 | 1.7% |
| DV-08 | Conglomerado #9 | 7,233 | 288 | 1.5% |
| DW-05 | Atípica #4 | 2,332 | 96 | 1.4% |
| DX-01 | Conglomerado #11 | 20,367 | 1,288 | 1.4% |
| DX-12 | Conglomerado #6 | 4,463 | 185 | 1.5% |

Fuente: resultados de cálculos de MEC con base en información de CFE

4.6. Red BT

Los resultados obtenidos para las instalaciones asociadas a la red de BT se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 13 Resultados de la red de BT para los SER

Red BT

| División-Zona | Conglomerado | Longitud [km] | Pérdidas Potencia [%] |
|---------------|------------------|---------------|-----------------------|
| DA-08 | Conglomerado #8 | 862 | 1.3% |
| DA-15 | Atípica #5 | 1,083 | 0.4% |
| DB-04 | Conglomerado #5 | 871 | 1.7% |
| DB-10 | Conglomerado #7 | 3,172 | 1.7% |
| DB-33 | Atípica #11 | 811 | 1.4% |
| DC-14 | Atípica #1 | 819 | 1.3% |
| DC-26 | Conglomerado #1 | 4,779 | 2.9% |
| DD-03 | Atípica #2 | 944 | 1.2% |
| DD-11 | Atípica #6 | 2,002 | 0.8% |
| DD-12 | Atípica #7 | 1,722 | 0.6% |
| DD-17 | Conglomerado #3 | 419 | 1.4% |
| DD-18 | Atípica #8 | 1,039 | 1.8% |
| DF-55 | Atípica #9 | 718 | 2.3% |
| DG-81 | Atípica #10 | 2,608 | 2.5% |
| DG-91 | Atípica #12 | 2,101 | 2.8% |
| DJ-01 | Conglomerado #2 | 4,405 | 3.0% |
| DK-04 | Conglomerado #4 | 3,373 | 2.9% |
| DU-03 | Conglomerado #10 | 1,740 | 2.3% |
| DV-05 | Atípica #3 | 892 | 2.3% |
| DV-08 | Conglomerado #9 | 1,814 | 2.7% |
| DW-05 | Atípica #4 | 321 | 1.7% |
| DX-01 | Conglomerado #11 | 6,377 | 2.1% |
| DX-12 | Conglomerado #6 | 1,164 | 2.4% |

Fuente: resultados de cálculos de MEC con base en información de CFE

5. AJUSTE DE PÉRDIDAS Y VALORES FINALES

Como resultado del análisis de las zonas seleccionadas como representativas o SER definidas mediante el análisis de conglomerados, se calculó para cada una de las zonas el porcentaje de pérdidas correspondientes a las etapas de la red adaptada de distribución de CFE, las cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 14 Resultados por etapa de la red

| Componente de la red de distribución | VRN [USD] | Instalaciones [Cant] ó [km] | MVA | % Pérdidas | Factor de pérdidas |
|--------------------------------------|------------------|-----------------------------|--------|--------------|--------------------|
| Subestaciones transformadoras AT/MT | 1,236,301 | 367 | 18,995 | 0.44% | 1.004 |
| Red MT | 1,233,254 | 45,703 | - | 0.91% | 1.009 |
| Equipos MT | 63,531 | | | - | |
| TOTAL MT | 2,533,086 | | | 1.35% | 1.014 |
| Transformadores MT/BT | 766,678 | 241,968 | 11,886 | 1.42% | 1.014 |
| Red BT | 638,846 | 44,036 | - | 2.17% | 1.022 |
| TOTAL BT | 1,405,524 | | | 3.58% | 1.037 |
| TOTAL SER DISTRIBUCIÓN | 3,938,610 | | | 4.89% | 1.051 |

Fuente: resultados de cálculos de MEC con base en información de CFE

El análisis de optimización y adaptación de las instalaciones a la demanda, se desarrolló considerando un modelo simplificado en el cual se adoptaron algunas hipótesis que comprenden cargas balanceadas y fases simétricas y uniformemente distribuidas a lo largo del conductor tanto de la red de MT como de BT, entre otros, lo que hace que las pérdidas calculadas inicialmente deban ser ajustadas mediante factores que consideren las variaciones en estos aspectos del modelo con respecto a la realidad.

Por lo tanto, al momento de computar las pérdidas asociadas a las distintas etapas se considerarán una serie efectos representados por factores que tienden a ajustar las pérdidas obtenidas del modelo, las cuales comprenden:

- Factor de ajuste por asimetría en la distribución de las cargas (FIP_AD)
- Factor de ajuste por asimetría y desbalance de fases (FIP_DB)

Como referencia para la fijación de los valores de los factores de incremento de pérdidas se consideraron los factores reconocidos por el regulador de Perú OSINERMIN, en la última revisión tarifaria², dado que el cálculo del VAD se realiza a partir de la determinación de la red ideal, de manera similar a la que se está aplicando para la determinación del VRN de CFE.

Como resultado se obtuvieron los valores que se detallan en la siguiente tabla, los cuales se aplican en forma diferenciada a las distintas etapas de la red.

Tabla 15 Factores de incremento de pérdidas

| Factores de mayoración de pérdidas | Valor |
|------------------------------------|-------|
| FIP_DB_SSEE AT/MT | 1.15 |
| FIP_AD_RMT | 1.17 |
| FIP_DB_RMT | 1.15 |
| FIP_DB_TFO MT/BT | 1.15 |
| FIP_AD_RBT | 1.17 |
| FIP_DB_RBT | 1.15 |

² <http://www2.osinerg.gob.pe/ProcReg/VAD/VAD2009/PublicacionResolucionVAD.htm>

Estos factores se aplican a las pérdidas resultantes para cada una de las etapas de la red según se detalla en la tabla anterior.

Los valores ajustados considerando los factores de incremento de pérdidas resultan:

Tabla 16 Resultados por etapa de la red ajustados

| Componente de la red de distribución | VRN [USD] | Instalaciones [Cant] ó [km] | MVA | % Pérdidas | Factor de pérdidas |
|---|----------------------|--|------------|-------------------|-------------------------------|
| <i>Subestaciones transformadoras AT/MT</i> | 1,010,194,988 | 367 | 18,995 | 0.51% | 1.005 |
| <i>Red MT</i> | 1,233,253,757 | 45,703 | - | 1.22% | 1.012 |
| <i>Equipos MT</i> | 63,531,419 | | | - | |
| TOTAL MT | 2,306,980,163 | | | 1.73% | 1.018 |
| <i>Transformadores MT/BT</i> | 766,678,182 | 241,968 | 11,886 | 1.63% | 1.017 |
| <i>Red BT</i> | 638,845,597 | 44,036 | - | 2.91% | 1.030 |
| TOTAL BT | 1,405,523,779 | | | 4.54% | 1.048 |
| TOTAL SER DISTRIBUCION | 3,712,503,942 | | | 6.20% | 1.066 |

Estos factores serán considerados en la expansión de las pérdidas y utilizados para la propuesta de pérdidas técnicas para el cálculo de la tarifa teórica, que cuyo detalle se presentará en el Informe N° 7 del presente estudio tarifario.