

Capacitación en cálculo de Pérdidas Técnicas y No Técnicas en el Sector Eléctrico incluyendo Generación Distribuida

- La Paz, del 3 al 7 de febrero de 2020

Pérdidas Técnicas



estudios energéticos consultores.
GRUPO MERCADOS ENERGÉTICOS CONSULTORES



cooperación
alemana
DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

Implementada por:

giz

Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit 10/21 GmbH

Contenido

- Estados de carga de la Red
- Asignación de cargas
- Cálculo de Pérdidas Técnicas
- Pérdidas Óptimas

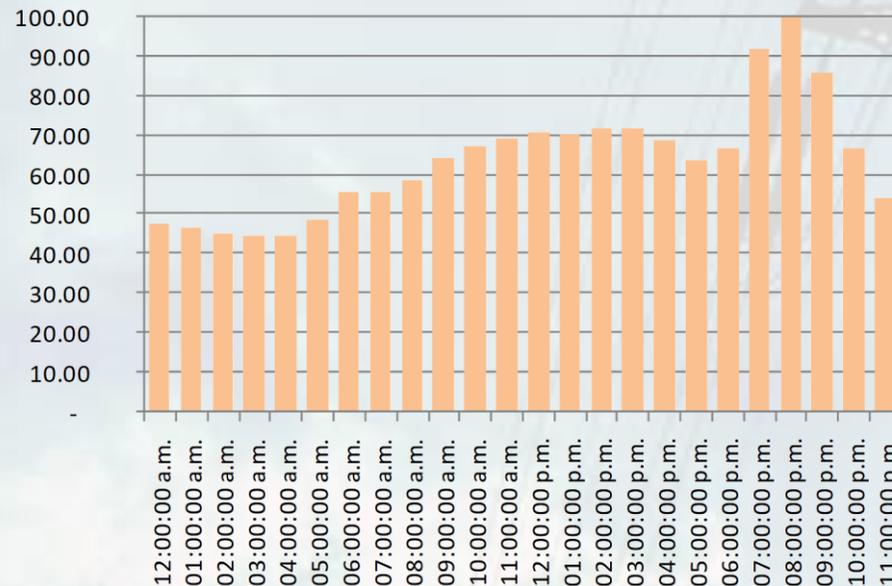
Estados de Carga de la Red

- En aquellos casos en los que la simplicidad de cálculo de las pérdidas técnicas lo permite no se suele recurrir a la consideración de estados de carga, por ejemplo:
 - Transformadores AT/MT, MT/MT y MT/BT
 - Acometidas y Medidores
- En aquellos cálculos que resultan complejos se recurre a la definición de estados de carga, particularmente: **Redes de media y baja tensión.**
 - Los software para estudios de redes eléctricas permiten calcular pérdidas técnicas de potencia.
 - No es factible desde el punto de vista práctico calcular las pérdidas de energía a partir de considerar los estados de carga anuales.
 - A los efectos de mejorar la precisión de los cálculos de las pérdidas de energía se recurre a definir un grupo de estados de carga, típicamente:
 - Estado de carga ALTO
 - Estado de carga MEDIO
 - Estado de carga BAJO

Estados de Carga de la Red

- Se consolidan todos los registros de medición para el año base del estudio, esto es, 24 registros diarios (uno por cada hora) haciendo un total de 8760 registros para cada circuito MT.
- Dichos registros se promedian aritméticamente por hora y se obtiene la curva típica diaria para cada circuito MT.

Curva de carga diaria: Circuito MT

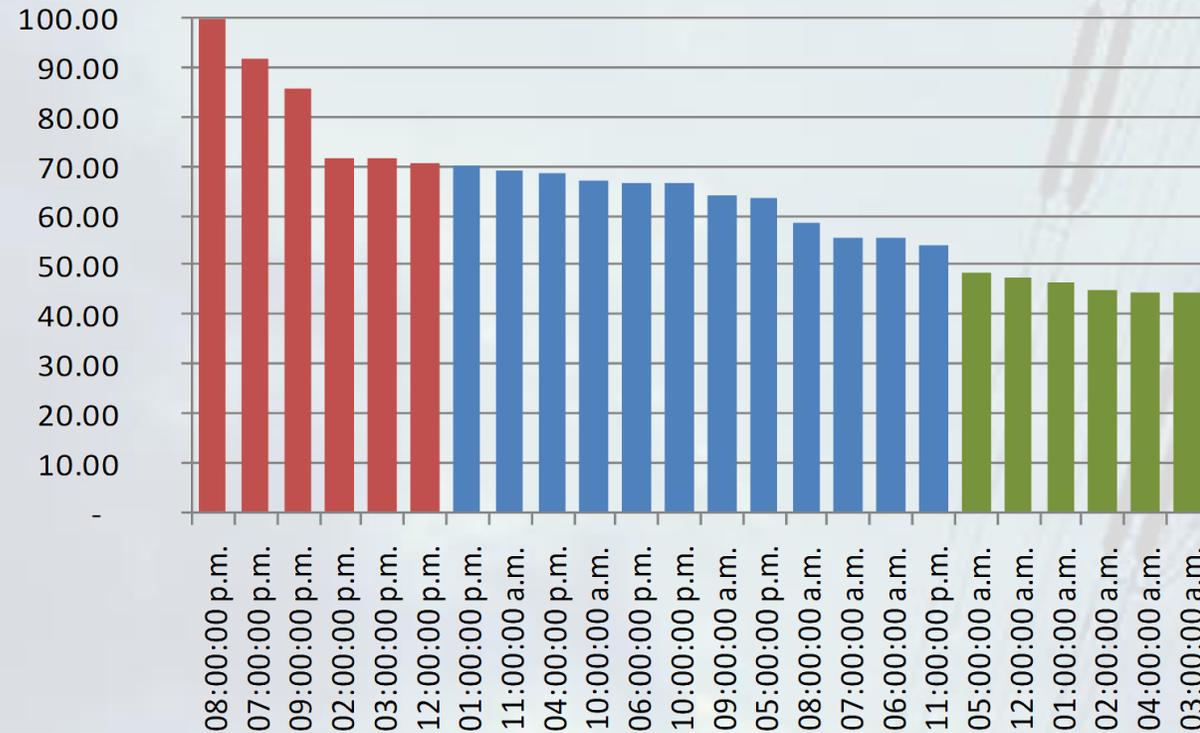


Estados de carga de la Red

- La curva típica diaria de cada circuito MT se ordena de mayor a menor obteniendo la curva monótona.
- Con esta se determina para cada circuito las demandas de los estados de carga Alto, Medio y Bajo, considerando típicamente:
 - Estado de carga ALTO:
 - 6 primeras horas de la curva monótona.
 - Estado de carga MEDIO:
 - siguientes 12 horas de la curva monótona.
 - Estado de carga BAJO:
 - últimas 6 horas de la curva monótona.
- Las horas específicas de los estados de Alta, Media y Baja son variables para cada circuito y dependen únicamente de su curva de diaria típica

Estados de carga de la Red

Curva de potencia monotona: Circuito MT



Hora	Demanda	Estado
08:00:00 p.m.	100	ALTA
07:00:00 p.m.	92	ALTA
09:00:00 p.m.	86	ALTA
02:00:00 p.m.	72	ALTA
03:00:00 p.m.	72	ALTA
12:00:00 p.m.	71	ALTA
01:00:00 p.m.	70	MEDIA
11:00:00 a.m.	69	MEDIA
04:00:00 p.m.	69	MEDIA
10:00:00 a.m.	67	MEDIA
06:00:00 p.m.	67	MEDIA
10:00:00 p.m.	67	MEDIA
09:00:00 a.m.	64	MEDIA
05:00:00 p.m.	64	MEDIA
08:00:00 a.m.	58	MEDIA
07:00:00 a.m.	56	MEDIA
06:00:00 a.m.	56	MEDIA
11:00:00 p.m.	54	MEDIA
05:00:00 a.m.	48	BAJA
12:00:00 a.m.	47	BAJA
01:00:00 a.m.	47	BAJA
02:00:00 a.m.	45	BAJA
04:00:00 a.m.	45	BAJA
03:00:00 a.m.	45	BAJA

Estados de carga de la Red

- Se define un único valor representativo para cada estado de carga, este valor es el promedio aritmético de las demandas en cada estado:

$$Potencia_E = \frac{\sum Potencia_{h,E}}{n}$$

- $Potencia_E$: Potencia representativa de cada estado de carga E
- E : el subíndice E indica el estado de carga que se está analizado, Alta, Media o Baja.
- $Potencia_{h,E}$: es la potencia de cada hora h en el escenario analizado E.
- n: es el número de valores de potencia que se encuentran en el estado de carga analizado.

Estados de carga de la Red

- Estado de carga ALTO

$$Potencia_A = \frac{100 + 92 + 86 + 72 + 72 + 71}{6} = 82$$

- Estado de carga MEDIO

$$Potencia_M = \frac{70 + 69 + 69 + 67 + 67 + 67 + 64 + 64 + 58 + 56 + 56 + 54}{12} = 63.5$$

- Estado de carga BAJO

$$Potencia_B = \frac{48 + 47 + 47 + 45 + 45 + 45}{6} = 46.2$$

Curva de potencia representativa



Estados de carga de la Red

- A partir de la ejecución de estudios de flujos de carga para cada potencia representativa de cada estado, se obtienen las pérdidas correspondientes:
 - Pérdidas Estado de carga ALTO: $P_{Potencia}^{ALTA}$
 - Pérdidas Estado de carga MEDIO: $P_{Potencia}^{MEDIA}$
 - Pérdidas Estado de carga BAJO: $P_{Potencia}^{BAJA}$
- Las pérdidas totales del circuito se obtienen a partir de la siguiente expresión

$$P_{Energia} = P_{Potencia}^{ALTA} \times Hs^{ALTA} + P_{Potencia}^{MEDIA} \times Hs^{MEDIA} + P_{Potencia}^{BAJA} \times Hs^{BAJA}$$

Asignación de cargas

- La asignación de carga se realiza separadamente para cada estado de carga.
- La potencia asignada a un centro de carga se calcula a partir del porcentaje de participación cada centro de carga en cada estado de carga multiplicado por la potencia representativa del circuito MT:

$$Potencia\ asignada_{N,E} = \% \ aporte_{N,E} * Potencia_E$$

- $Potencia\ asignada_{N,E}$: es la potencia asignada al centro de carga N en el estado de carga E.
- $Potencia_E$: es la potencia representativa del circuito MT para el estado de carga E.
- $\% \ aporte_{N,E}$: es el porcentaje de participación de cada centro de carga N respecto a la demanda en la cabecera del circuito MT para cada estado de carga E.

Asignación de cargas

- Donde % aporte_{N,E}:

$$\% \text{ aporte}_{N,E} = \frac{\text{Potencia}_{N,E}}{\sum \text{Potencia}_{N,E}}$$

- $\sum \text{Potencia}_{N,E}$: es la sumatoria de las potencias representativas de todos los nodos de carga del circuito analizado.
- $\text{Potencia}_{N,E}$: es la potencia representativa del nodo N para el estado de carga E (Alta, Media o Baja). Se obtiene a partir del promedio aritmético de las potencias en las horas correspondientes al estado de carga Alta, Media o Baja de la curva monótona del circuito MT:

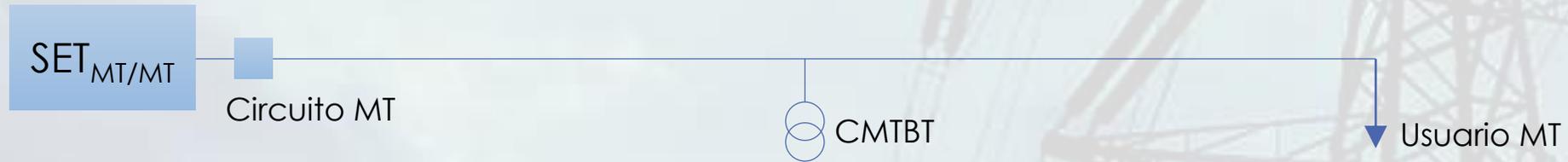
$$\text{Potencia}_{N,E} = \frac{\sum_1^n \text{Potencia}_{h,E,N}}{n}$$

- $\text{Potencia}_{h,E,N}$: es la potencia de cada hora h en el estado de carga analizado E para el nodo de carga N. Las horas h son las horas definidas en la curva monótona del circuito MT para cada estado de carga.
- n: es el número de horas del estado de carga correspondiente (6 horas para Alto, 12 horas para Medio y 6 horas para Bajo).

Asignación de cargas - Ejemplo

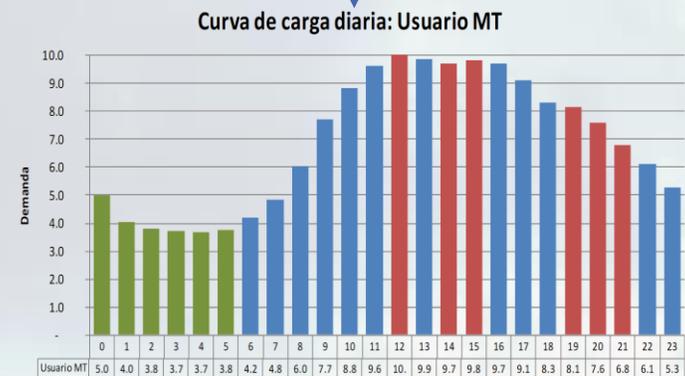
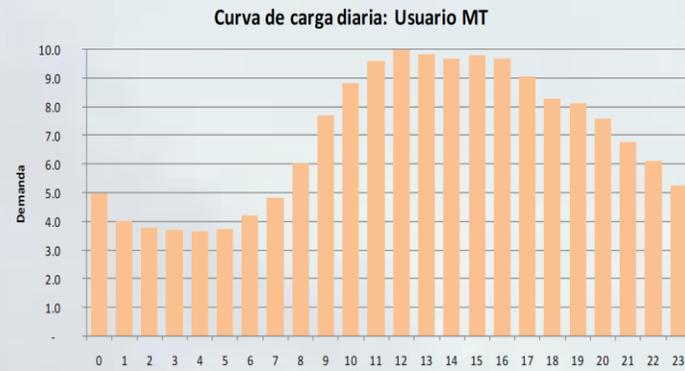
- Las potencias representativas de cada centro de carga son el promedio de las potencias horarias que corresponden a las horas de ALTO, MEDIO Y BAJO definidas para el circuito de MT.
- Los centros de carga de cada circuito de MT corresponden a usuarios de MT y Centros MT/BT. Para ellos la información de demanda está compuesta por 24 registros: una potencia para cada hora (información obtenida del estudio de caracterización de la carga).

Asignación de cargas – Ejemplo



Asignación de Cargas - Ejemplo

- Usuario de MT



Asignación de Horas a Estados de carga del Circuito de MT

Hora	Demanda	Estado
08:00:00 p.m.	100	ALTA
07:00:00 p.m.	92	ALTA
09:00:00 p.m.	86	ALTA
02:00:00 p.m.	72	ALTA
03:00:00 p.m.	72	ALTA
12:00:00 p.m.	71	ALTA
01:00:00 p.m.	70	MEDIA
11:00:00 a.m.	69	MEDIA
04:00:00 p.m.	69	MEDIA
10:00:00 a.m.	67	MEDIA
06:00:00 p.m.	67	MEDIA
10:00:00 p.m.	67	MEDIA
09:00:00 a.m.	64	MEDIA
05:00:00 p.m.	64	MEDIA
08:00:00 a.m.	58	MEDIA
07:00:00 a.m.	56	MEDIA
06:00:00 a.m.	56	MEDIA
11:00:00 p.m.	54	MEDIA
05:00:00 a.m.	48	BAJA
12:00:00 a.m.	47	BAJA
01:00:00 a.m.	47	BAJA
02:00:00 a.m.	45	BAJA
04:00:00 a.m.	45	BAJA
03:00:00 a.m.	45	BAJA

Asignación de cargas – Ejemplo

- Usuario de MT
 - Las potencias representativas para cada estado de carga correspondiente al centro de carga Usuario de MT resultan:
 - Estado de carga ALTO

$$Potencia_{Usuario\ MT,A} = \frac{10 + 9.7 + 9.8 + 8.1 + 7.6 + 6.8}{6} = 8.7$$

- Estado de carga MEDIO

$$Potencia_{Usuario\ MT,M} = \frac{4.2 + 4.8 + 6 + 7.7 + 8.8 + 9.6 + 9.9 + 9.7 + 9.1 + 8.3 + 6.1 + 5.3}{12} = 7.5$$

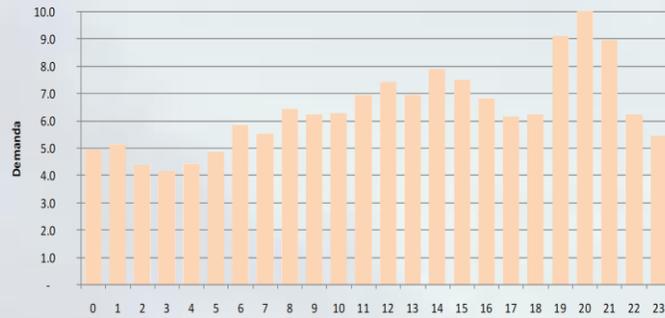
- Estado de carga BAJO

$$Potencia_{Usuario\ MT,B} = \frac{5 + 4 + 3.8 + 3.7 + 3.7 + 3.8}{6} = 4$$

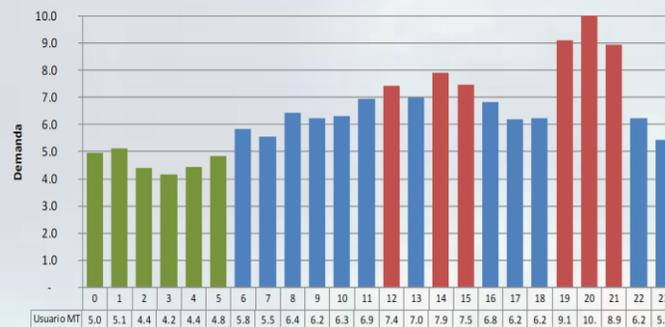
Asignación de cargas – Ejemplo

- Centro de transformación MT/BT (CMTBT)

Curva de carga diaria: CMTBT



Curva de carga diaria: CMTBT



Hora	Demanda	Estado
08:00:00 p.m.	100	ALTA
07:00:00 p.m.	92	ALTA
09:00:00 p.m.	86	ALTA
02:00:00 p.m.	72	ALTA
03:00:00 p.m.	72	ALTA
12:00:00 p.m.	71	ALTA
01:00:00 p.m.	70	MEDIA
11:00:00 a.m.	69	MEDIA
04:00:00 p.m.	69	MEDIA
10:00:00 a.m.	67	MEDIA
06:00:00 p.m.	67	MEDIA
10:00:00 p.m.	67	MEDIA
09:00:00 a.m.	64	MEDIA
05:00:00 p.m.	64	MEDIA
08:00:00 a.m.	58	MEDIA
07:00:00 a.m.	56	MEDIA
06:00:00 a.m.	56	MEDIA
11:00:00 p.m.	54	MEDIA
05:00:00 a.m.	48	BAJA
12:00:00 a.m.	47	BAJA
01:00:00 a.m.	47	BAJA
02:00:00 a.m.	45	BAJA
04:00:00 a.m.	45	BAJA
03:00:00 a.m.	45	BAJA

Asignación de cargas – Ejemplo

- Centro de transformación MT/BT (CMTBT)
 - Las potencias representativas para cada estado de carga correspondiente al centro de carga Usuario de MT resultan:
 - Estado de carga ALTO

$$Potencia_{CMTBT,A} = \frac{7.4 + 7.9 + 7.5 + 9.1 + 10 + 8.9}{6} = 8.5$$

- Estado de carga MEDIO

$$Potencia_{CMTBT,M} = \frac{5.8 + 5.5 + 6.4 + 6.2 + 6.3 + 6.9 + 7 + 6.8 + 6.2 + 6.2 + 6.2 + 5.4}{12} = 6.2$$

- Estado de carga BAJO

$$Potencia_{CMTBT,B} = \frac{5 + 5.1 + 4.4 + 4.2 + 4.4 + 4.8}{6} = 4.7$$

Asignación de cargas – Ejemplo

- Cálculo del porcentaje de participación de cada centro de carga N respecto a la demanda en la cabecera del circuito MT.

- Usuario MT

- Estado de carga ALTO: $\% \text{ aporte}_{\text{UsuarioMT},A} = \frac{8.7}{(8.7+8.5)} = 50.58\%$

- Estado de carga MEDIO: $\% \text{ aporte}_{\text{UsuarioMT},M} = \frac{7.5}{(7.5+6.2)} = 54.75\%$

- Estado de carga BAJO: $\% \text{ aporte}_{\text{UsuarioMT},B} = \frac{4}{(4+4.7)} = 45.98\%$

- CMTBT

- Estado de carga ALTO: $\% \text{ aporte}_{\text{CMTBT},A} = \frac{8.5}{(8.7+8.5)} = 49.42\%$

- Estado de carga MEDIO: $\% \text{ aporte}_{\text{CMTBT},M} = \frac{6.2}{(7.5+6.2)} = 45.26\%$

- Estado de carga BAJO: $\% \text{ aporte}_{\text{CMTBT},B} = \frac{4.7}{(4+4.7)} = 54.02\%$

Asignación de cargas – Ejemplo

- Cálculo de la potencia asignada a un centro de carga
 - Usuario MT
 - Estado de carga ALTO: $Potencia\ asignada_{Usuario\ MT,A} = 50.58\% * 82 = 41.5$
 - Estado de carga MEDIO: $Potencia\ asignada_{Usuario\ MT,M} = 54.74\% * 63.5 = 34.8$
 - Estado de carga BAJO: $Potencia\ asignada_{Usuario\ MT,B} = 45.98\% * 46.2 = 21.2$
 - CMTBT
 - Estado de carga ALTO: $Potencia\ asignada_{CMTBT,A} = 49.42\% * 82 = 40.5$
 - Estado de carga MEDIO: $Potencia\ asignada_{CMTBT,M} = 45.26\% * 63.5 = 28.7$
 - Estado de carga BAJO: $Potencia\ asignada_{CMTB,B} = 54.02\% * 46.2 = 25.0$

Cálculo de Pérdidas Técnicas

- Pérdidas en la red de MT
 - El estudio de las pérdidas técnicas en la red se realiza sobre la totalidad de las instalaciones de la distribuidora.
 - El cálculo de pérdidas se realiza utilizando programas de flujos de carga, representando en ellos no solo líneas, cables y transformadores, sino también reguladores de tensión y capacitores.
 - A partir del perfil de carga diario (obtenido a partir de mediciones reales) de cada alimentador se procede a obtener una curva monótona diaria, y se determinan sobre ésta tres estados de carga representativos, junto con su duración en horas.
 - Para cada alimentador o distribuidor no solo se debe representar la carga de los suministros MT y de centros MTBT directamente conectados, sino que se debe modelar la carga correspondiente a los circuitos “hijos”.
 - Las pérdidas de energía en cada alimentador surgen entonces de la integración de las pérdidas de potencia obtenidas en cada estado por la duración de cada uno de ellos:

$$P_{Energia} = P_{Potencia}^{ALTA} \times HS^{ALTA} + P_{Potencia}^{MEDIA} \times HS^{MEDIA} + P_{Potencia}^{BAJA} \times HS^{BAJA}$$

Cálculo de Pérdidas Técnicas

- Pérdidas en transformadores AT/MT, MT/MT y MT/BT
 - El estudio de las pérdidas de potencia y energía en los transformadores se realiza sobre la totalidad de las máquinas declaradas.
 - Para cada transformador se calculan las pérdidas en el hierro en función del nivel de pérdidas en el hierro y del las horas anuales
 - Para cada transformador se calculan las pérdidas en el cobre a partir del nivel de pérdidas en el cobre y de su demanda:
 - Para cada transformador AT/MT y MT/MT las potencias se obtienen a partir de las mediciones reales que habitualmente se encuentran disponibles (en el caso de mediciones horarias se cuentan con 8760 registros de potencia).
 - Para los transformadores MT/BT las potencias se obtienen a partir de la demanda de los usuarios conectados a cada máquina, del estudio de caracterización de la demanda y del nivel de consumo obtenido de la base de datos comercial.
 - Las pérdidas de energía resultan de integrar las pérdidas de potencia calculadas para todas las horas del año.

Cálculo de Pérdidas Técnicas

- Pérdidas en transformadores AT/MT y MT/MT
 - Las pérdidas de energía en cada punto de transformación se determinan tal como se indica a continuación:
 - $PE_i = (PE_i^{HIERRO} + PE_i^{COBRE})$
 - $PE_i^{HIERRO} = P_{Fe} \times Horas_{Año}$
 - $PE_i^{COBRE} = P_{Cu} \times \left[\sum_{h=1}^{8760} \left(\frac{kVA_i^h}{KVA_{Nominal}} \right)^2 \right]$
 - Donde:
 - P_{Fe} : Pérdidas en el hierro (o vacío) del transformador según valores tabulados
 - P_{Cu} : Pérdidas en cortocircuito (o en el cobre) del transformador según valores tabulados
 - $kVA_{Nominal}$: Potencia nominal del transformador.
 - $Horas_{Año}$: Horas del año.
 - "i": Punto de transformación MT/MT o AT/MT "i".
 - kVA_i^h : Potencia del punto de transformación "i" para la hora h

Cálculo de Pérdidas Técnicas

- Pérdidas en transformadores MT/BT

- Las pérdidas de energía en cada punto de transformación se determinan tal como se indica a continuación:

- $PE_i = (PE_i^{HIERRO} + PE_i^{COBRE})$

- $PE_i^{HIERRO} = P_{Fe} \times Horas_{Año}$

- $PE_i^{COBRE} = Días_{año} \times P_{Cu} \times \left[\sum_{h=1}^{24} \left(\frac{kVA_i^h}{KVA_{Nominal}} \right)^2 \right]$

- Donde:

- P_{Fe} : Pérdidas en el hierro (o vacío) del transformador según valores tabulados
- P_{Cu} : Pérdidas en cortocircuito (o en el cobre) del transformador según valores tabulados
- $kVA_{Nominal}$: Potencia nominal del transformador.
- $Horas_{Año}$: Horas del año.
- $Días_{Año}$: Días del año.
- "i": Punto de transformación MT/BT.
- kVA_i^h : Potencia del punto de transformación "i" para la hora h

Cálculo de Pérdidas Técnicas

- Pérdidas en la red de BT
 - El estudio de las pérdidas técnicas en la red se realiza sobre la totalidad de las instalaciones de la distribuidora, modelando todas las redes de BT asociadas con cada Centro de Transformación MTBT y en forma independiente unos de otros.
 - El cálculo de pérdidas se realiza utilizando programas de flujos de carga.
 - A partir del perfil de carga diario (obtenido a partir de la agregación de las curvas de carga representativas de los usuarios conectados a cada circuito de BT) de cada circuito de BT se procede a obtener una curva monótona diaria, y se determinan sobre ésta tres estados de carga representativos, junto con su duración en horas.
 - Las pérdidas de energía en cada salida de BT surgen entonces de la integración de las pérdidas de potencia obtenidas en cada estado por la duración de cada uno de ellos:

$$P_{Energia} = P_{Potencia}^{ALTA} \times Hs^{ALTA} + P_{Potencia}^{MEDIA} \times Hs^{MEDIA} + P_{Potencia}^{BAJA} \times Hs^{BAJA}$$

Cálculo de Pérdidas Técnicas

- Pérdidas en Acometidas y Medidores
 - Aspectos Generales
 - El cálculo de las pérdidas de energía y potencia en las acometidas y en los medidores de los usuarios se efectúa utilizando:
 - La información de consumos contenida en la base de datos con comercial de los clientes
 - Las curvas típicas de carga representativas del modo de consumo (curvas de caracterización por tarifa)
 - Los parámetros característicos de los conductores de las acometidas, particularmente resistividad.
 - Los parámetros característicos de pérdidas en bobinas voltimétricas y en bobinas amperométricas de los medidores.
 - Las pérdidas de energía en las acometidas y medidores se calculan para cada uno de los clientes informados en la base de datos comercial.

Cálculo de Pérdidas Técnicas

- Pérdidas en Medidores
 - Se calculan las pérdidas en las bobinas voltimétricas y amperométricas de cada medidor, teniendo en cuenta características típicas de estos equipos, y una corriente de paso a partir de la demanda de potencia de cada cliente.
 - La demanda de potencia de cada cliente se calcula con la curva de carga del usuario en función de la tarifa con que cuenta (según el estudio de caracterización) y la energía consumida en el año. Esta curva se conforma con 24 valores horarios y permite asignar para cada hora del día típico promedio un valor de potencia (corriente).

Cálculo de Pérdidas Técnicas

- Pérdidas en Medidores

- Las pérdidas de energía en los medidores resultan:

- $PE_{Medidor} = (PE_i^{VOLT} + PE_i^{AMPER})$

- $PE_i^{VOLT} = P_{volt} \times Horas_{Año}$

- $PE_i^{AMPER} = Horas_{Año} \times P_{Amper} \times \left[\sum_{h=1}^{24} \left(\frac{I_{h,i}}{I_{Nominal,i}} \right)^2 \frac{1}{24} \right]$

- Donde:

- $I_{Nominal,i}$: es la corriente nominal del medidor i
- $I_{h,i}$: es la corriente del medidor i en la hora "h"
- $Horas_{Año}$: Horas del año.
- P_{Amp} : es la pérdida en la bobina amperométrica ya sea del medidor monofásico o del trifásico
- P_{Volt} : es la pérdida en la bobina voltimétrica ya sea del medidor monofásico o del trifásico

Cálculo de Pérdidas Técnicas

- Pérdidas en Acometidas
 - Las pérdidas en las acometidas se determinan en forma similar a las pérdidas de los medidores, en función de la corriente horaria resultante y la resistencia del conductor que acomete al cliente. Se consideran acometidas trifásicas y monofásicas según corresponda.
 - Se calcula con la curva de carga del usuario en función de la tarifa con que cuenta (según el estudio de caracterización) y la energía consumida en el año. Esta curva se conforma con 24 valores horarios y permite asignar para cada hora del día típico promedio un valor de potencia (corriente).

Cálculo de Pérdidas Técnicas

- Pérdidas en Acometidas
 - Las pérdidas de energía en las acometidas monofásicas y trifásicas resultan:

$$PE_{Acometida}^{monofasica} = Horas_{Año} \times R_U \times (2 \times L_{Acometida}) \times \sum_{h=1}^{24} \frac{I_h^2}{24}$$

$$PE_{Acometida}^{trifasica} = Horas_{Año} \times R_U \times (3 \times L_{Acometida}) \times \sum_{h=1}^{24} \frac{I_h^2}{24}$$

- Donde:
 - $L_{Acometida}$: Longitud de la Acometida
 - $Horas_{Año}$: Horas del año.
 - R_U : Resistencia unitaria del conductor asignado a la acometida
 - I_h : es la corriente del medidor a la hora "h"

Cálculo de Pérdidas Técnicas.

- Factores de ajuste de las pérdidas técnicas
 - Red de Media Tensión
 - factor de ajuste por desequilibrio en las corrientes de cada fase de la red MT (solo aplica en caso de correr flujos equilibrados)
 - factor de ajuste por presencia de componentes armónicas en la red MT
 - Sub estaciones MT/MT y MT/BT
 - factor de ajuste por desequilibrio en las corrientes de cada fase del transformador del SED MT/BT. Este factor no aplica a las pérdidas en el hierro.
 - factor de ajuste por presencia de componentes armónicas en el transformador del SED MT/BT
 - factor de ajuste por la no coincidencia de cargas en el transformador del SED MT/BT
 - Red de Baja tensión
 - factor de ajuste por desequilibrio en las corrientes de cada fase de la red BT (solo aplica en caso de correr flujos equilibrados).
 - factor de ajuste por presencia de componentes armónicas en la red BT.
 - factor de ajuste por no coincidencia de cargas en la red BT.

Cálculo de Pérdidas Técnicas

- Factores de ajuste de las pérdidas técnicas
 - Acometidas:
 - factor de ajuste por desequilibrio en las corrientes de cada fase. Solo aplica a clientes con conexión trifásica.
 - factor de ajuste por presencia de componentes armónicas.
 - factor de ajuste por no coincidencia de cargas.
 - Medidores Trifásicos:
 - factor de ajuste por desequilibrio en las corrientes de cada fase. Solo aplica a clientes con conexión trifásica.
 - factor de ajuste por presencia de componentes armónicas.
 - factor de ajuste por no coincidencia de cargas (solo aplica a pérdidas en bobina amperométrica).

Cálculo de Pérdidas Técnicas

- Factores de ajuste de las pérdidas técnicas:
 - Factor de incremento de pérdidas por desequilibrio de corrientes por fase:
 - Solo aplica en caso de considerar cargas equilibradas.
 - En términos generales se verifica la siguiente desigualdad:

$$3 \times R \times I_l^2 \neq R \times (I_r^2 + I_s^2 + I_t^2)$$

- Donde:
 - I_r, I_s, I_t : corrientes de línea de un sistema desequilibrado
 - I_l : corriente de línea en un sistema equilibrado
- El factor de Incremento de Pérdidas por desequilibrio de corrientes por fases que corrige esta situación típicamente se determina de acuerdo con la siguiente expresión:

$$FIP_{DES_FASES} = \frac{(I_r^2 + I_s^2 + I_t^2)}{3 \times I_l^2}$$

Cálculo de Pérdidas Técnicas

- Factores de ajuste de las pérdidas técnicas:
 - Factor de incremento de pérdidas por efecto de corrientes armónicas:
 - El Factor de Incremento de Pérdidas por corrientes armónicas considera el incremento de pérdidas producido por la presencia de armónicas, efecto que normalmente no es considerado en el cálculo de pérdidas dado que la carga se contempla exclusivamente a la frecuencia fundamental.
 - Pérdidas por efecto Joule
 - La expresión utilizada habitualmente para el factor de incremento de pérdidas por efecto de corrientes armónicas es:
$$FIP_{ARMONICAS} = (1 + THD_{Corriente}^2)$$
 - Donde:
 - $THD_{corriente}$: (Total Harmonic Distortion) distorsión harmónica total de la corriente.
 - En algunas experiencias se suele incorporar a la expresión anterior dos factores adicionales:
 - Efecto skin
 - Efecto homopolar, por el efecto en la pérdidas del neutro de las armónicas múltiplo de 3

Cálculo de Pérdidas Técnicas

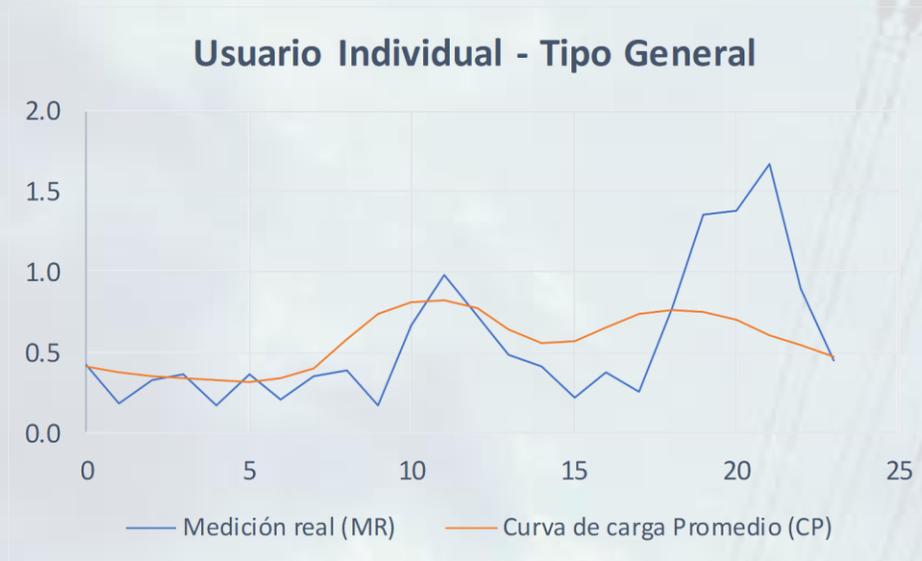
- Factores de ajuste de las pérdidas técnicas:
 - Factor de incremento de pérdidas por efecto de corrientes armónicas:
 - Pérdidas en el hierro (transformadores)
 - La expresión utilizada habitualmente para el factor de incremento de pérdidas por efecto de corrientes armónicas es:
$$FIP_{ARMONICAS} = (1 + THD_{tension})$$
 - Donde:
 - $THD_{tension}$: (Total Harmonic Distortion) distorsión harmónica total de la tensión.

Cálculo de Pérdidas Técnicas

- Factores de ajuste de las pérdidas técnicas:
 - Factor de incremento de pérdidas técnicas por efecto de la no coincidencia de la demanda:
 - La curva representativa de cada categoría tarifaria o la agregación de dichas curvas, no permite reflejar el efecto real, en término de pérdidas técnicas producidas, sobre los transformadores MT/BT, red de BT y acometidas y medidores.
 - Las curvas de carga representativa de cada categoría tarifaria representa el comportamiento conjunto de todos los usuario, por lo que no representa comportamientos individuales, ni comportamientos con niveles de agregación menores, como por ejemplo el caso de transformadores y redes de BT.

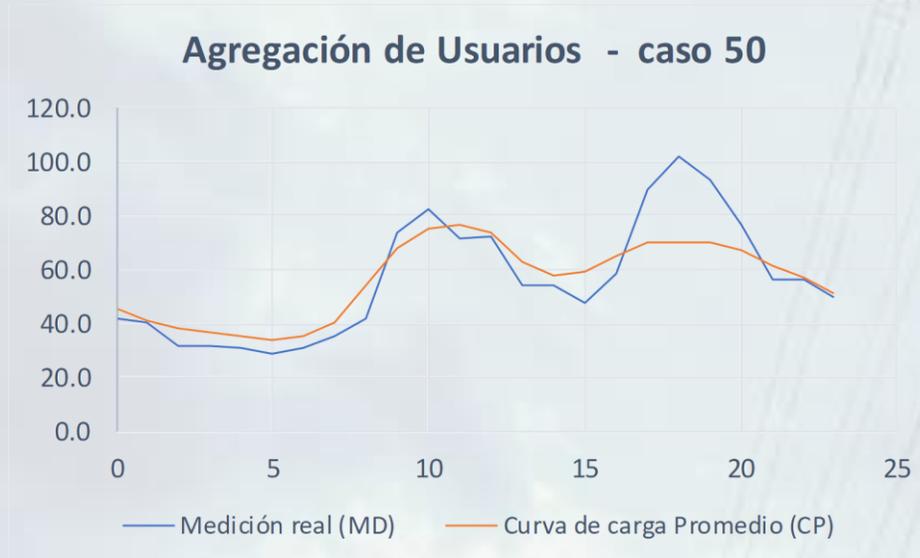
Cálculo de Pérdidas Técnicas

- Factores de ajuste de las pérdidas técnicas:
 - Factor de incremento de pérdidas técnicas por efecto de la no coincidencia de la demanda:
 - Usuario Individual, Tipo General: $FIP_{no-coinc}: 1.39$



Cálculo de Pérdidas Técnicas

- Factores de ajuste de las pérdidas técnicas:
 - Factor de incremento de pérdidas técnicas por efecto de la no coincidencia de la demanda:
 - Usuario Individual, Tipo General: $FIP_{no-coinc}: 1.08$



Pérdidas óptimas

- El proceso descrito corresponde a la determinación de las pérdidas técnicas reales de los sistemas eléctricos.
- En ciertas regulaciones se requiere determinar una red óptima, es decir aquella red que minimiza los costos totales (costos de inversión + costos de operación y mantenimiento + costos de pérdidas):

$$C_T \left[\frac{\$}{\text{año}} \right] = C_I \left[\frac{\$}{\text{año}} \right] + C_{Ex} \left[\frac{\$}{\text{año}} \right] + C_P \left[\frac{\$}{\text{año}} \right]$$

- Donde:
 - CT: Costo total anualizado
 - CI: Costo de inversión anual
 - CEx: Costo de explotación
 - CP: Costo de pérdidas
- El proceso de optimizar instalaciones implica la determinación de la capacidad óptima de cada componente del sistema, de acuerdo a la expresión anterior, y luego determinar los niveles de pérdidas para el sistema optimizado.

Pérdidas óptimas

- El costo de las pérdidas se determina como sigue:

$$C_P \left[\frac{\$}{\text{año}} \right] = C_E \left[\frac{\$}{wh} \right] * 8760 \left[\frac{h}{\text{año}} \right] * P\acute{e}rd[W] * FP$$

- Donde:
 - CP: Costo de la energía de pérdidas
 - CE: Costo de la energía
 - Pérd: Pérdidas producidas en el equipamiento expresadas en [W]
 - FP: Factor de pérdidas

Pérdida óptimas – Ejemplo

- Caso de Línea de MT
 - Expresión del costo total:

$$C_T \left[\frac{\$}{km - \text{año}} \right] = C_I \left[\frac{\$}{km - \text{año}} \right] + C_{Ex} \left[\frac{\$}{km - \text{año}} \right] + C_P \left[\frac{\$}{km - \text{año}} \right]$$

- Expresión del costo de las pérdidas:

$$C_P \left[\frac{US\$}{km - \text{año}} \right] = C_E \left[\frac{US\$}{wh} \right] * 8760 \left[\frac{h}{\text{año}} \right] * 3 * I^2 [A^2] * R \left[\frac{\Omega}{km} \right] * FP$$

- Donde:
 - I: Corriente por el conductor
 - R: Resistencia del conductor.

Pérdida óptimas – Ejemplo

- Caso de línea MT. Resultados obtenidos

