



**EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN
ESP**

Unidad Centro de Excelencia Técnica Normalización
y Laboratorios

GM-05

Guía Metodológica: Cálculo de transformadores y cuadros de carga

EPM-UCET-NYL-GM-05

Septiembre 2019

Elaboración, Revisión y Aprobación

Actividad	Tema	Nombre
Elaboró	Guía Metodológica: Cálculo de transformadores y cuadros de carga	Consultoría Colombiana S.A
	Revisó	José Daniel Acosta Moreno
	Aprobó	Mónica Rueda Aguilar

Requeridores

Destinatario	Cargo	No. de Copias
Johan Sebastián Higuera Higuera	Profesional Gestión Proyectos e Ingeniería	1
Gabriel Jaime Romero Choperena	Profesional Gestión Proyectos e Ingeniería	1

Revisiones

Revisión	Fecha dd/mm/aaaa	Descripción de la revisión
01	29/09/2019	Versión inicial

© Copyright: Empresas Públicas de Medellín ESP. No está permitida su reproducción por ningún medio impreso, fotostático, electrónico o similar, sin la previa autorización escrita del titular de los derechos reservados.

CONTENIDO

1	OBJETO	6
2	ALCANCE.....	7
3	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	8
4	DEFINICIONES	9
5	GENERALIDADES	10
6	ANÁLISIS DE LA CARGA.....	12
6.1	DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LA CARGA.....	12
6.2	CARACTERIZACIÓN DE LAS CARGAS	13
6.3	ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA	15
6.3.1	Determinación de la Demanda Máxima	17
6.3.2	Crecimiento de la Demanda.....	18
7	DIMENSIONAMIENTO DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN	20
7.1	DIMENSIONAMIENTO DE TRANSFORMADORES PARA USUARIOS RESIDENCIALES	20
7.2	DIMENSIONAMIENTO DE TRANSFORMADORES CON PROPÓSITOS PARTICULARES.....	20
7.3	TENSIONES DE SERVICIO PARA USUARIOS FINALES	21
8	ANÁLISIS Y CONSTRUCCIÓN DE CUADROS DE CARGA	23
9	ANEXOS.....	25
	ANEXO A EJEMPLOS DE APLICACIÓN	25

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de cargas	12
Tabla 2 Factor K de transformadores.....	21
Tabla 3 Tensiones de servicio en nivel I	21
Tabla 4 Tensiones de servicio en nivel II	22
Tabla 5 Tensiones de servicio en nivel III	22
Tabla 6 Ejemplo cuadro de cargas de una instalación	23
Tabla 7 Ejemplo cuadro de cargas de varias instalaciones	24
Tabla 8 Ejemplo cuadro de cargas con locales comerciales	24
Tabla 9 Ejemplo de selección de potencia de los usuarios	25
Tabla 10 Ejemplo cálculos de estimación de demanda.....	26
Tabla 11 Cuadro de cargas tablero general de distribución (Industrial).....	28
Tabla 12 Factores de demanda Tabla 220-11 NTC 2050 [2].....	28
Tabla 13 Dimensionamiento del transformador (Industrial)	29
Tabla 14 Cuadro de cargas del transformador (Industrial)	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de procesos para el cálculo de transformadores.....	11
Figura 2 Curva de carga diaria [1].....	14
Figura 3 Curva de duración de carga diaria [1]	15



1 OBJETO

Establecer el procedimiento para el dimensionamiento de transformadores en sistemas de distribución del Grupo EPM, así como la elaboración y análisis de sus respectivos cuadros de carga.

2 ALCANCE

El alcance de esta guía incluye el dimensionamiento de transformadores de distribución en sus diferentes usos: residencial, comercial e industrial, considerando criterios como el factor de potencia, el porcentaje de pérdidas y el contenido de armónicos. Adicionalmente se presenta la metodología para la construcción de los respectivos cuadros de carga.

3 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

- [1] Ramirez Castaño S., Redes de distribución de energía, Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, 1995.
- [2] ICONTEC, Norma Técnica Colombiana 2050, Código Eléctrico Colombiano, 25 de noviembre de 1998.
- [3] Ministerio de Minas y Energía, Resolución No 90708, Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIÉ), Bogotá Colombia, 30 de agosto de 2013.
- [4] Unidad de Planeación Minero Energética, Subdirección demanda, Proyección de la demanda de energía eléctrica y potencia máxima en Colombia, 2016.
- [5] IEEE, Std 519-2014 Recommended practice and requirements for harmonic control in electric power systems, IEEE Standards, 2014.
- [6] Electric Utility Engineering Reference Book, Westinghouse Electric Corporation, Electric Utility Engineering Department, 1959.

4 DEFINICIONES

Armónicos: son tensiones o corrientes sinusoidales con frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental, es decir aquella a la cual el sistema de alimentación está diseñado para operar. Por ejemplo, en un sistema a 60 Hz el armónico de orden 3, también conocido como tercer armónico, es 180 Hz [5].

Carga instalada: es la suma de todas las potencias nominales continuas de los aparatos de consumo conectados a un sistema o a parte de este [1].

Curva de carga: representación gráfica del consumo de la potencia activa, medida en intervalos de tiempo en un periodo específico [1].

Demanda: cantidad de potencia que un consumidor utiliza en cualquier momento (variable en el tiempo) [1].

Demanda máxima: corresponde a la mayor carga que se presenta en un sistema en un período de trabajo previamente establecido [1].

Factor de potencia: es la relación entre la potencia activa y la potencia aparente [1].

Operador de Red (OR): empresa de servicios públicos encargada de la planeación, la expansión y las inversiones, operación y mantenimiento de todo o parte de un Sistema de Transmisión Regional o un Sistema de Distribución Local.

Zona rural: se caracteriza por la disposición dispersa de viviendas y explotaciones agropecuarias existentes en ella. No cuenta con un trazado o nomenclatura de calles, carreteras, avenidas, y demás. Tampoco dispone, por lo general, de servicios públicos y otro tipo de facilidades propias de las áreas urbanas.

Zona urbana: se caracteriza por estar conformada por conjuntos de edificaciones y estructuras contiguas agrupadas en manzanas, las cuales están delimitadas por calles, carreras o avenidas, principalmente. Cuenta por lo general, con una dotación de servicios esenciales tales como acueducto, alcantarillado, energía eléctrica, hospitales y colegios, entre otros. En esta categoría están incluidas las ciudades capitales y las cabeceras municipales restantes.

5 GENERALIDADES

El correcto dimensionamiento de un transformador de distribución debe considerar factores tanto técnicos como económicos, que permitan tomar la mejor decisión según el tipo de carga a alimentar, incluyendo directa y/o indirectamente los costos asociados a la inversión y a la operación.

En el contexto de esta guía se consideran como transformadores de distribución eléctrica, aquellos con tensiones de operación iguales o inferiores a 57 kV, tanto monofásicos como trifásicos, para los cuales se establece un marco metodológico que guíe la selección de estos equipos de un modo integral.

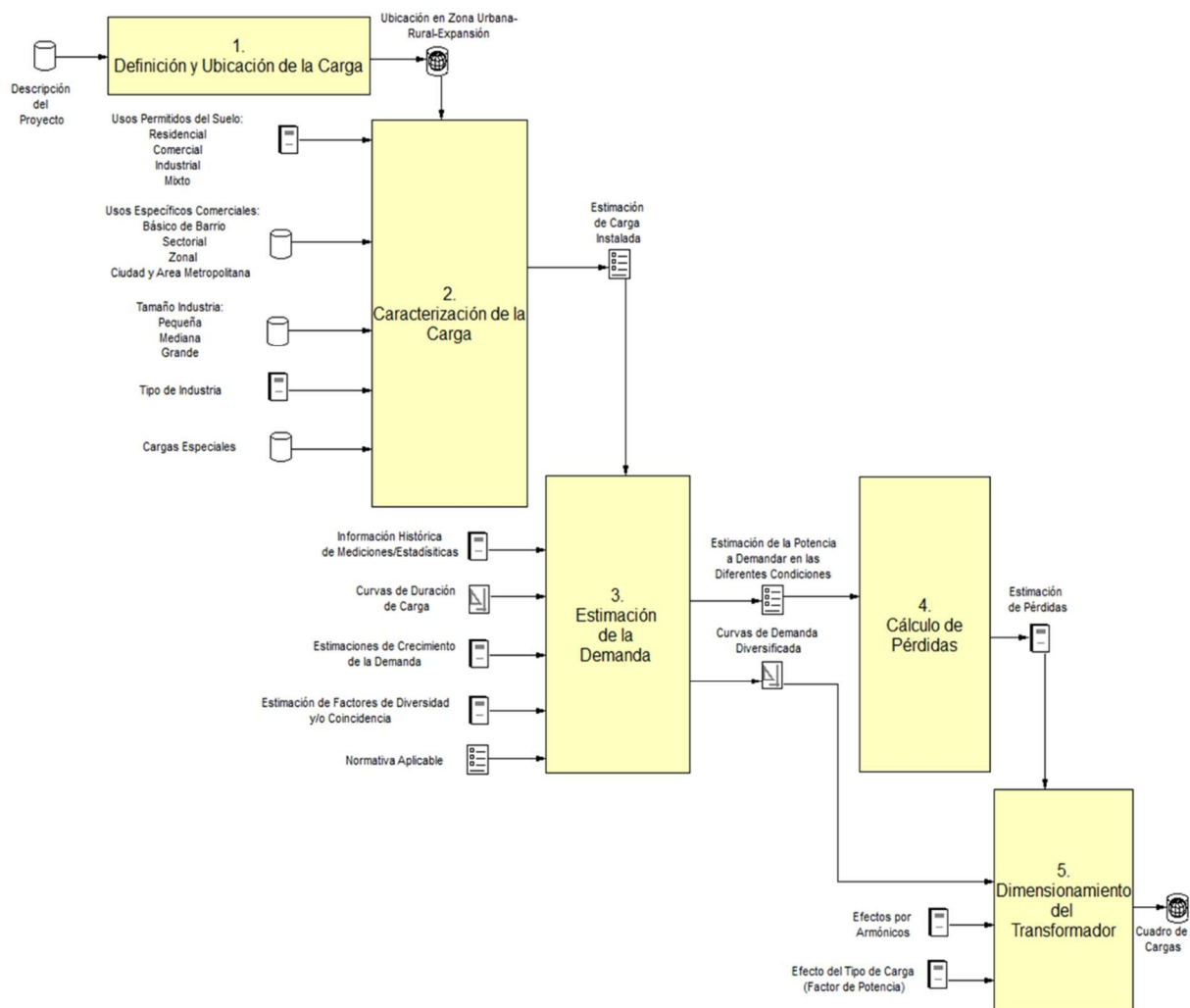
En general, el proceso de selección o dimensionamiento de un transformador inicia con el análisis de la carga, dado que no tiene el mismo comportamiento una carga residencial o una industrial o una carga ubicada en zona urbana o en zona rural. Adicionalmente, el comportamiento de la carga no será el mismo si se tiene un transformador que alimenta de forma exclusiva cargas residenciales, comerciales y/o industriales, al comportamiento de un transformador de uso general que alimenta diferentes tipos de cargas.

De esta forma, definir la carga, caracterizarla y estimar su comportamiento futuro, constituyen los principales insumos para el dimensionamiento de los transformadores. Otros datos de entrada complementarios corresponden al nivel de pérdidas de energía y el efecto de los armónicos en el transformador que pueden generar cierto tipo de cargas.

Una vez se tiene la caracterización de la carga, esta se resume por medio de tablas que consignan los datos de mayor interés y que constituyen lo que se denomina cuadros de cargas.

En la Figura 1 se presenta el diagrama de procesos que se deben desarrollar para el cálculo de transformadores.

Figura 1 Diagrama de procesos para el cálculo de transformadores



6 ANALISIS DE LA CARGA

6.1 DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LA CARGA

En el contexto de los sistemas de distribución, se considera la carga como la potencia eléctrica requerida (en Voltamperios o Vatios según sea el caso) para el funcionamiento de uno o varios equipos eléctricos y que debe ser transportada a través de las redes hasta los usuarios finales. En la Tabla 1 se presenta la clasificación de las cargas de acuerdo con los criterios expresados en el Electric Utility Engineering Reference Book [6].

Tabla 1 Clasificación de cargas

Forma de clasificación	Clasificación
1. Ambiente o localización geográfica	a. Centro Urbano b. Urbano c. Suburbano d. Rural
2. Tipo de establecimiento de consumidores	a. Residencial b. Comercial c. Industrial
3. Dependencia sobre el servicio eléctrico	a. Crítica b. Emergencia c. Normal
4. Efectos de otras cargas y sistemas de diseño y operación	a. Transitoria b. Estado estable
5. Tarifa de servicio eléctrico por zonas	a. Residencial b. Iluminación comercial c. Potencia comercial d. Industrial
6. Consideraciones especiales	a. Automatización y otros procesos críticos en las que cualquier interrupción de servicio puede ser costosa b. Cargas sensibles a la tensión

Estos tipos de carga, vistos desde la fuente, se presentan a nivel de comportamiento eléctrico como:

- **Cargas de impedancia constante:** corresponde esencialmente a cargas resistivas donde la potencia depende del cuadrado de la tensión, como las cargas residenciales asociadas a resistencias, calentadores, motores pequeños de electrodomésticos y alumbrado residencial.
- **Cargas de corriente constante:** corresponde esencialmente a cargas de tipo comercial, donde la potencia depende de forma proporcional a la tensión, como las cargas comerciales básicas hasta las grandes infraestructuras de la ciudad como centros comerciales, deportivos y recintos de eventos, entre otros.

- **Cargas de potencia constante:** corresponde a cargas de tipo industrial, con muchos motores, donde la potencia permanece constante frente a la variación de tensión y es la corriente la que se comporta de forma inversamente proporcional a esta variación.

Así mismo, la naturaleza de las cargas define los tipos de redes de distribución, pudiéndose clasificar de la siguiente forma [1]:

- **Cargas residenciales urbanas:** comprenden edificios de apartamentos, condominios, urbanizaciones y barrios. Son cargas fundamentalmente resistivas (con factor de potencia mayor a 0,9), presentan curvas de demanda con variaciones considerables en el tiempo y hábitos de consumo diferenciados por estrato.
- **Cargas residenciales rurales:** son usuarios ubicados fuera del casco urbano de un municipio que presentan una fuerte dispersión espacial. Tienen asociadas cargas fundamentalmente resistivas (con factor de potencia mayor a 0,9), con variaciones de demanda considerables en el tiempo.
- **Cargas comerciales:** son cargas como comercios o edificios de oficinas ubicadas principalmente en áreas urbanas. Pueden incluir un componente inductivo considerable y presentar distorsión armónica. Suelen presentar curvas de demanda con dos estados claramente definidos (son más uniformes que las cargas residenciales).
- **Cargas industriales:** se caracterizan por tener un mayor componente de energía reactiva debido al uso de máquinas eléctricas, por lo que se debe dar especial atención a la corrección del factor de potencia para controlar el consumo de potencia reactiva. Presenta curvas de demandas uniformes.
- **Cargas de alumbrado público:** son cargas con un componente armónico considerable y presentan una curva de demanda bastante uniforme.
- **Cargas mixtas:** se combinan en un mismo transformador la alimentación de los diferentes tipos de carga.

6.2 CARACTERIZACIÓN DE LAS CARGAS

Las características de las cargas son las que influyen en el diseño de los sistemas de distribución, ya que dependiendo del comportamiento de los usuarios se establecen las condiciones de diseño como el porcentaje de la carga instalada que efectivamente se va a requerir en potencia demandada. De esta forma, se definen los siguientes conceptos asociados a la carga:

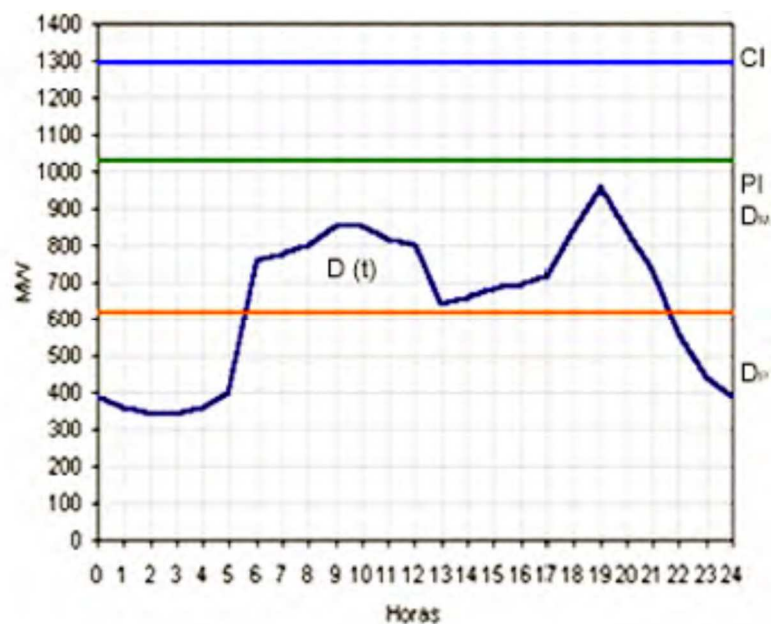
- **Densidad de carga:** corresponde a la cantidad de carga instalada sobre una superficie específica (kVA/m^2) y en el caso de las redes de distribución, este concepto se asume como la cantidad de potencia activa (kW) por cada 100 metros de línea para suministrar el servicio [1].

- **Factor de carga:** corresponde a la relación entre la carga promedio en cierto período de tiempo y la carga pico durante este período de tiempo. Este factor indica el grado con que la carga pico se sostiene en el intervalo de tiempo considerado.

$$FCarga = \frac{\text{Carga promedio (kVA)}}{\text{Carga pico (kVA)}} \quad \text{Ecuación 1}$$

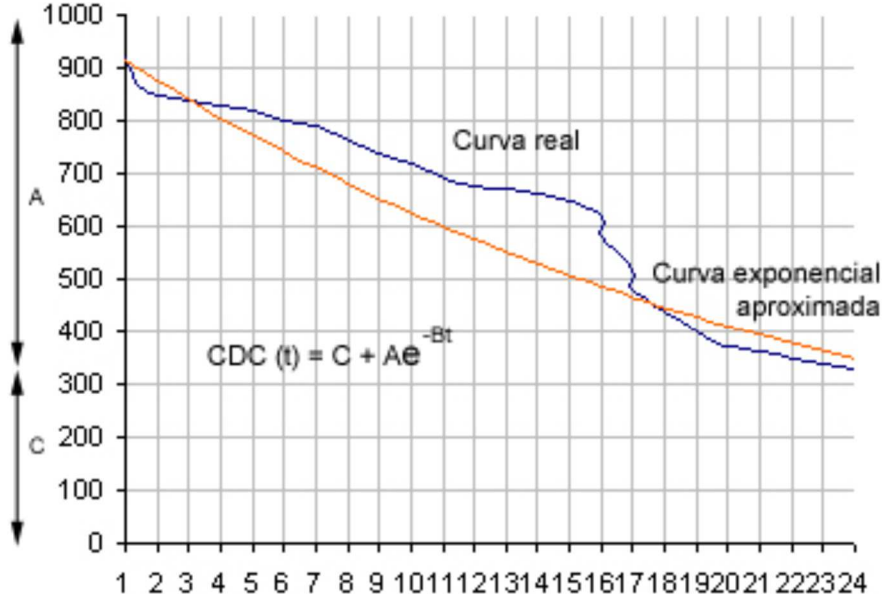
- **Curva de carga:** corresponde a la gráfica del comportamiento de la carga durante diferentes intervalos de interés; por ejemplo, una curva de carga diaria como se presenta en la Figura 2.

Figura 2 Curva de carga diaria [1]



- **Curva de duración de carga:** a partir de las curvas de carga se obtienen las curvas de duración de carga, que permiten identificar la duración de cada valor de demanda promediada en un intervalo (ver Figura 3). Para un período de un día típico si se considera que el ciclo diario es similar, se tendrá una curva de duración de carga que puede extenderse a un período de tiempo mayor; por ejemplo, a un año.

Figura 3 Curva de duración de carga diaria [1]



Con la curva de duración de carga, se introduce un concepto básico para el diseño de las redes de distribución que corresponde a la demanda. Normalmente las redes y equipos de distribución no se dimensionan para el total de la carga instalada, o sea la suma de las potencias nominales de los equipos conectados a un sistema eléctrico, sino para la potencia eléctrica máxima y por lo tanto se debe estimar la demanda máxima que va a ser consumida por los usuarios.

6.3 ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA

Para el dimensionamiento del sistema eléctrico es importante calcular correctamente el mayor valor de la carga que va a ser consumida en un período determinado y este valor corresponderá a la demanda máxima. En condiciones de demanda máxima se debe verificar el valor de la potencia máxima, la máxima caída de tensión en el sistema y las pérdidas de energía y potencia.

A continuación, se definen los siguientes factores requeridos para el cálculo de las demandas estimadas para los diferentes tipos de usuarios que pueden ser alimentados por un sistema de distribución eléctrica del Grupo EPM.

- **Factor de demanda:** Es la relación entre la demanda máxima del sistema y la carga total conectada al sistema. Este factor indica el grado con el que toda la carga conectada se opera simultáneamente.

$$FDemanda = \frac{\text{Demanda máxima (kW)}}{\text{Carga total conectada (kW)}} \quad \text{Ecuación 2}$$

El factor de demanda se considera en el diseño de instalaciones, con el fin de determinar la demanda máxima esperada para un usuario que permitirá calcular el transformador, si es exclusivo, o la demanda máxima individual a aportar en la suma de un grupo de usuarios.

- **Factor de utilización:** es la relación entre la demanda máxima del sistema y la capacidad nominal del sistema. Este factor indica el grado al que un sistema se está utilizando con respecto a su capacidad.

$$F_{\text{Utilización}} = \frac{\text{Demanda máxima (kW)}}{\text{Capacida total (kW)}} \quad \text{Ecuación 3}$$

- **Factor de carga:** se define como la razón entre la demanda promedio en un intervalo de tiempo dado y la demanda máxima observada en el mismo intervalo de tiempo. Indica el grado al cual el pico de la carga es sostenido durante el periodo. Si este factor es 1, la demanda máxima se mantiene constante y si el factor de carga es alto (por ejemplo 0,9) indica que la curva de carga tiene baja variaciones. Por otra parte, si el factor de carga es bajo (por ejemplo 0,2) la curva de carga tiene amplias variaciones con picos y valles pronunciados. Este último caso implica un uso ineficiente de la red de distribución.

$$F_{\text{Carga}} = \frac{\text{Carga promedio (kVA)}}{\text{Carga pico (kVA)}} \quad \text{Ecuación 4}$$

- **Factor de Diversidad (Fd):** es la relación entre la suma de las demandas máximas individuales de un grupo de cargas y la demanda máxima coincidente. El factor de diversidad es mayor que 1.

$$F_d = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Demanda máxima individual (Di) (kVA)}}{\text{Demanda máxima coincidente (Dm) (kVA)}} \quad \text{Ecuación 5}$$

El factor de diversidad se considera cuando se está estimando la demanda máxima para un grupo de cargas y se basa en el concepto que el mayor valor de potencia demandada por varios usuarios no se puede asumir como la suma de sus demandas máximas individuales, ya que es poco probable que todos los usuarios coincidan en el tiempo al registrar su demanda máxima individual.

Esta demanda coincidente es también denominada demanda diversificada y tiene bastante relevancia en el dimensionamiento del sistema de distribución (transformador) ya que corresponde a la suma de las contribuciones de las demandas individuales en la demanda máxima del grupo de usuarios.

Por medio de factor de diversidad se puede establecer la curva de demanda máxima diversificada, donde se verifica que a mayor número de usuarios la demanda máxima disminuye debido a la menor probabilidad de que las demandas máximas individuales de cada usuario coincidan en el tiempo.

- **Diversidad de carga (Ld):** es la diferencia entre la suma de la demanda máxima de dos o más cargas individuales y la demanda máxima de la carga total.

$$L_d = \sum_{i=1}^n D_i \text{ (kVA)} - D_m \text{ (kVA)} \quad \text{Ecuación 6}$$

- **Factor de coincidencia o simultaneidad (Fs):** Es la relación entre la máxima demanda total coincidente de un grupo de cargas y la suma de las demandas máximas de las cargas individuales consideradas en el mismo punto de suministro.

$$F_s = \frac{\text{Demanda máxima coincidente (Dm) (kVA)}}{\sum_{i=1}^n \text{Demanda máxima individual (Di) (kVA)}} \quad \text{Ecuación 7}$$

6.3.1 Determinación de la Demanda Máxima

En general, para cada tipo de carga se debe considerar los ciclos operativos o de funcionamiento para poder determinar la demanda máxima unitaria.

Para la generalidad de los usuarios residenciales, comerciales o industriales, en la determinación de la carga de diseño se tomará como referencia lo establecido por la norma NTC 2050 [2], en las secciones que se citan a continuación y sus complementos:

- 220-13 Cargas de tomacorrientes en edificaciones que no sean de viviendas
- 220-14 Motores
- 220-15 Calefacción eléctrica fija de ambiente
- 220-16 Cargas para pequeños electrodomésticos, planchado y lavandería en pequeñas unidades de vivienda
- 220-17 Carga para artefactos en unidades de vivienda
- 220-18 Secadoras eléctricas de ropa en unidades de vivienda
- 220-19 Estufas eléctricas y otros artefactos de cocina en unidades de vivienda
- 220-20 Equipos de cocinas en edificaciones no residenciales
- 220-21 Cargas no coincidentes

En resumen, las cargas de alumbrado y tomas general, pequeños electrodomésticos, y demás aparatos serán establecidas de acuerdo con lo prescrito en la Norma NTC 2050 en su Sección 220 y por medio del cálculo de las potencias máximas resultantes para cada una se obtendrá la demanda máxima para la instalación.

- **Caso 1: Carga residencial**

En el caso de múltiples unidades de vivienda, la demanda máxima se determina a partir de las curvas o tablas de demanda diversificada, las cuales se encuentran en el documento RA8-009 Norma técnica: curvas de demanda diversificada Grupo EPM.

Estas tablas de demanda diversificada para usuarios residenciales del Grupo EPM, se construyeron a partir del estudio de caracterización de la carga de energía eléctrica del Valle de Aburrá, realizado por EPM en el año 2008, el estudio de caracterización de la carga de energía eléctrica de Regional Antioquia, realizado por EPM en el año 2012, y el estudio de caracterización de la carga de energía eléctrica de las filiales CHEC, EDEQ, ESSA y CENS, realizado por EPM en el año 2012.

- **Caso 2: Carga comercial o industrial**

El proceso en general es similar al descrito para los usuarios residenciales, dado que se debe contabilizar todas las cargas proyectadas en la instalación, tanto los inherentes al proceso de producción y/o servicio, como las generales de iluminación y tomas. A partir de los ciclos típicos de operación de cada negocio, se debe calcular la demanda máxima esperada.

Los ciclos de operación de cada instalación permiten determinar las cargas continuas y no continuas. Para una instalación de tipo comercial, por ejemplo, las primeras se relacionan con alumbrado general, vitrinas, anuncios luminosos, y las segundas con tomacorrientes. Para el cálculo de las cargas se deben considerar los criterios establecidos en el artículo 220-3 de la NTC 2050 [2].

Si se tiene más de un usuario comercial o industrial asociado al mismo transformador, se debe diversificar la demanda para establecer la demanda máxima asociada al transformador. Con este objeto se debe analizar información relevante sobre el comportamiento histórico de cargas similares a las cargas de diseño. Por ejemplo, en el caso de cocinas comerciales se puede recurrir a la tabla 220-20 de la NTC 2050 [2], donde a partir de 3 equipos de cocinas, la carga ya no se considera al 100% sino entre el 90% y el 65%, según el número de equipos.

6.3.2 Crecimiento de la Demanda

El correcto dimensionamiento de los equipos de un sistema de distribución, en este caso los transformadores, depende no solamente de la adecuada estimación de la demanda que va a alimentar en el presente sino también en el futuro con el objeto de evitar la subestimación y/o la sobrestimación de la misma.

La tasa de crecimiento de la demanda en redes de distribución es diferente para cada clase de carga; por ejemplo, un nuevo usuario industrial significa un crecimiento mayor de la demanda que el crecimiento vegetativo esperado para una carga residencial. Por lo tanto, para estimar crecimientos de demanda diferentes al vegetativo, asociados a cargas industriales y comerciales, se recomienda usar herramientas como datos históricos y/o estadísticas de instalaciones similares, a los cuales se les deberán aplicar criterios de extrapolación para determinar la tasa de crecimiento esperado de la demanda asociada a la carga de interés.

No obstante, en ausencia de datos estadísticos, es necesario determinar una tasa de crecimiento geométrico de la demanda, considerando aspectos como:

- Crecimiento demográfico.
- Fenómenos climáticos.
- Aumento en el consumo por mejoramiento del nivel de vida.
- Proyecciones macroeconómicas.
- Desarrollos previsibles a nivel industrial, comercial, turístico, agropecuario, entre otros.

Normalmente el Operador de Red (OR) proporcionará su estimación sobre el crecimiento vegetativo de la demanda (tasa de crecimiento r) y a partir de la expresión para la tasa de

crecimiento geométrico de la demanda se puede calcular la demanda proyectada para el año n , de la siguiente forma:

$$r = \sqrt[n]{\frac{D_n}{D_o}} - 1 \quad \text{Ecuación 8}$$

$$D_n = (1 + r)^n * D_o \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

r : tasa de crecimiento de la demanda

D_o : demanda actual

D_n : demanda proyectada a n años

El periodo de proyección (n) es típicamente de cinco años en el caso de transformadores de distribución.

7 DIMENSIONAMIENTO DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN

Para dimensionar correctamente un transformador se deben considerar los conceptos descritos en el capítulo de caracterización de la carga; es decir, los tipos de consumidores (demanda de potencia), su comportamiento en el tiempo (hábitos de consumo) y el número de usuarios que harán uso de la red al mismo tiempo (coincidencia), de manera que se pueda calcular de forma óptima un transformador considerando los aspectos técnicos y económicos.

7.1 DIMENSIONAMIENTO DE TRANSFORMADORES PARA USUARIOS RESIDENCIALES

En general, el procedimiento a aplicar para el dimensionamiento de transformadores para usuarios residenciales es el siguiente:

1. Selección del punto de ubicación del transformador, que en lo posible debe estar próximo a la carga a alimentar.
2. Dimensionamiento de la carga, de acuerdo con el número de usuarios y el estrato socioeconómico. El cálculo de la demanda máxima diversificada de la carga se realiza a partir de las curvas o tablas de demanda diversificada de la norma RA8-009 del Grupo EPM.
3. Dimensionamiento de cargas adicionales correspondientes a las cargas de servicios comunes y las cargas especiales (alumbrado público, locales comerciales, entre otros), para las cuales se debe calcular la demanda máxima atendiendo los criterios establecidos en la NTC 2050 y el numeral 6.3.1 de esta guía.
4. Cálculo de la potencia total ($S_{\text{máxima}}$) requerida por medio de la siguiente expresión:

$$S_{\text{máxima}} = S_{\text{usuarios resid}} + S_{\text{areas comunes}} + S_{\text{alumbrado pub}} + S_{\text{sector comercial}} \quad \text{Ecuación 10}$$

5. Dimensionamiento del transformador considerando la tasa de crecimiento:

$$S_{\text{transformador}} \geq S_{\text{máxima}} * (1 + r)^n \quad \text{Ecuación 11}$$

7.2 DIMENSIONAMIENTO DE TRANSFORMADORES CON PROPÓSITOS PARTICULARES

El dimensionamiento de transformadores con propósitos particulares; por ejemplo, para alimentar cargas comerciales importantes, cargas industriales o alumbrado público sigue un procedimiento similar al explicado en el numeral 7.1, exceptuando la caracterización de la carga. En este caso se deben determinar los factores de utilización, carga y/o demanda con base en los ciclos operativos propios de cada instalación, que permita estimar la potencia máxima que debe alimentar el transformador.

Para el cálculo del transformador en estos casos, más que un crecimiento vegetativo de la demanda, se debe considerar una reserva en la capacidad del transformador, normalmente

entre el 20% y el 30%, con el fin de contemplar las eventuales ampliaciones en la carga eléctrica de las instalaciones.

Adicionalmente, para ciertas cargas especiales es importante considerar el efecto que las corrientes con distorsión armónica tienen en el transformador. De esta forma, es necesario considerar en las especificaciones técnicas del transformador el factor K, el cual es un indicador de la capacidad que tiene el transformador para soportar corrientes con distorsión armónica. En la Tabla 2 se presentan los valores de K para diferentes porcentajes de distorsión armónica de corriente.

Tabla 2 Factor K de transformadores

THD (%)	Factor K
<5 %	1
< 35%	4
< 50 %	7
< 75 %	13
< 100%	20

7.3 TENSIONES DE SERVICIO PARA USUARIOS FINALES

Las tensiones disponibles en el Grupo EPM para la conexión de los usuarios finales se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3 Tensiones de servicio en nivel I

		EPM	CHEC	CENS	EDEQ	ESSA
Residenciales	Bifásico trifilar o monofásico	240/120	120 240/120	120 240/120	120 240/120	120 240/120
	Trifásico	220/127	208/120 220/127	220/127	220/127	220/127
Alumbrado público	Exclusivo	380/220	380/220	380/220	380/220	380/220
	Mixtos	240/120	208/120 220/127	220/127	220/127	220/127
Comercial e industrial	Exclusivo	240/120 220/127 440/254 480/277	240/120 220/127 440/254 480/277	240/120 220/127 440/254 480/277	240/120 220/127 440/254 480/277	240/120 220/127 440/254 480/277

Tabla 4 Tensiones de servicio en nivel II

		EPM	CHEC	CENS	EDEQ	ESSA
Comercial e industrial	Exclusivo	13,2 kV 7,62kV	13,2 kV 7,62 kV	13,2 kV 7,62kV	13,2 kV	13,2 kV

Tabla 5 Tensiones de servicio en nivel III

		EPM	CHEC	CENS	EDEQ	ESSA
Comercial e industrial	Exclusivo	44 kV	33 kV	34,5 kV	33 kV	34,5 kV

8 ANÁLISIS Y CONSTRUCCIÓN DE CUADROS DE CARGA

Los cuadros de cargas corresponden a un arreglo en forma de tabla de las cargas eléctricas asociadas a una instalación o un proyecto. El cuadro de carga debe incluir la descripción de las cargas a alimentar y los datos técnicos asociados a la totalidad de los transformadores o tableros de distribución. De esta forma, se debe presentar en forma tabulada todos los datos del diagrama unifilar asociados a las cargas y sus fuentes.

El caso más sencillo de un cuadro de cargas corresponde a una instalación eléctrica de una vivienda o domicilio que solo tenga un tablero de circuitos. En este cuadro de cargas se debe consignar mínimo la siguiente información:

- Nombre o descripción del circuito
- Potencia instalada por circuito
- Factor de potencia
- Corriente nominal
- Regulación de tensión
- Corriente nominal de dispositivos de protección

En los proyectos con mayor nivel de complejidad, el cuadro de carga se debe agrupar por transformadores, tableros de distribución o tableros de alimentadores, entre otros, hasta presentar la información más relevante de las cargas y sus respectivas fuentes, incluyendo el tipo de carga (residencial, comercial, industrial o alumbrado público), el estrato socioeconómico, el porcentaje de carga de los transformadores, la potencia nominal de los transformadores, la potencia total del proyecto, la regulación de tensión y potencia instalada por instalación.

En la Tabla 6, Tabla 7 y Tabla 8 se presentan ejemplos de cuadros de carga.

Tabla 6 Ejemplo cuadro de cargas de una instalación

Cuadro de cargas						
Transformador N°	Capacidad nominal (kVA)	No. de instalaciones	Potencia por instalación (kVA)	Potencia total (kVA)	% Carga	% Regulación
1	112,5	1	112,5	112,5	100	0,21

Tabla 7 Ejemplo cuadro de cargas de varias instalaciones

Cuadro de cargas							
Transformador N°	Capacidad nominal (kVA)	No. de instalaciones	Potencia individual (kVA)	Potencia por instalación (kVA)	Potencia total (kVA)	% Carga	% Regulación
1	300	Torre 1: 60 Aptos 1 S.C.	0,6915	56,4	282,17	94	2,3
		Torre 2: 61 Aptos 1 S.C.	0,6915	57,09			1,82
		Torre 3: 62 Aptos 1 S.C.	0,6915	57,78			1,83
		Torre 4: 70 Aptos 1 S.C.	0,6915	63,3			2,5
		Servicios Generales		47,6			0,1

Tabla 8 Ejemplo cuadro de cargas con locales comerciales

Cuadro de cargas								
Transformador N°	Capacidad nominal (kVA)	No. de instalaciones	Potencia individual (kVA)	Potencia por instalación (kVA)	Factor de diversidad (kVA)	Demanda diversificada (kVA)	% Carga	% Regulación
3	500	10 locales	10	410	0,8	451,75	90,36	1,24
		8 locales	15					
		3 locales	20					
		1 local	30					
		2 locales	50					
		1 ssc 1	165	165	0,75			
4	800	1 oficina piso 4	40	960	0,7	765,75	95,72	1,56
		1 oficina piso 4	20					
		1 oficina piso 5	60					
		1 oficina piso 6	60					
		1 oficina piso 7	60					
		1 oficina piso 8	60					
		1 oficina piso 9	60					
		1 oficina piso 10	60					
		1 oficina piso 11	60					
		1 oficina piso 12	60					
		1 oficina piso 13	60					
		1 oficina piso 14	60					
		1 oficina piso 15	60					
		1 oficina piso 16	60					
		1 oficina piso 17	60					
		1 oficina piso 18	60					
		1 oficina piso 19	60					
		1 ssc 2	125	125	0,75			

9 ANEXOS

ANEXO A EJEMPLOS DE APLICACIÓN

• Usuarios residenciales

Se requiere dimensionar el transformador de distribución para una comunidad de 32 usuarios estrato 1, ubicado en un municipio del departamento de Antioquia. Incluye una red de alumbrado público con tecnología led de 36 W x 20 unidades.

De acuerdo con la norma EPM RA8-009 se selecciona la potencia por usuario y los totales para los 32 usuarios (ver Tabla 9). Posteriormente, se realiza el procedimiento de dimensionamiento del transformador y los resultados obtenidos se detallan en la Tabla 10.

Tabla 9 Ejemplo de selección de potencia de los usuarios

Tabla 1 Usuario Residencial EPM - Estratos 1 y 2

Usuarios	kVA por usuario	kVA Totales	kVA trafo 1Ø	% de Uso 1Ø	kVA trafo 3Ø	% de Uso 3Ø
1	3,20	3,198	5	64%	15	21%
2	1,91	3,821	5	76%	15	25%
3	1,48	4,444	5	89%	15	30%
4	1,27	5,067	10	51%	15	34%
5	1,14	5,689	10	57%	15	38%
6	1,05	6,312	10	63%	15	42%
7	0,99	6,935	10	69%	15	46%
8	0,94	7,558	10	76%	15	50%
9	0,91	8,181	10	82%	15	55%
10	0,88	8,804	10	88%	15	59%
11	0,86	9,427	10	94%	15	63%
12	0,84	10,050	15	67%	15	67%
13	0,82	10,673	15	71%	15	71%
14	0,81	11,296	15	75%	15	75%
15	0,79	11,918	15	79%	15	79%
16	0,78	12,541	15	84%	15	84%
17	0,77	13,164	15	88%	15	88%
18	0,77	13,787	15	92%	15	92%
19	0,76	14,410	15	96%	15	96%
20	0,75	15,033	25	60%	30	50%
21	0,75	15,656	25	63%	30	52%
22	0,74	16,279	25	65%	30	54%
23	0,73	16,902	25	68%	30	56%
24	0,73	17,525	25	70%	30	58%
25	0,73	18,147	25	73%	30	60%
26	0,72	18,770	25	75%	30	63%
27	0,72	19,393	25	78%	30	65%
28	0,71	20,016	25	80%	30	67%
29	0,71	20,639	25	83%	30	69%
30	0,71	21,262	25	85%	30	71%
31	0,71	21,885	25	88%	30	73%
32	0,70	22,508	25	90%	30	75%
33	0,70	23,131	25	93%	30	77%

Tabla 10 Ejemplo cálculos de estimación de demanda

No	Descripción	Potencia (kVA)	Observaciones
1	Potencia de los 32 usuarios, estrato 1, municipio urbano de Antioquia	22,508	Potencia total de los 32 usuarios, estrato 1, según curva de demanda máxima diversificada
2	Servicios comunes	0	
3	Alumbrado publico	0,72	Potencia de las 20 luminarias de 36 W con un factor de demanda de 1
4	Cargas especiales	0	
5	Total demanda máxima	23,228	Sumatoria de ítems 1, 2, 3 y 4

Para la proyección de demanda a 5 años se aplica la Ecuación 9 y se considera un crecimiento vegetativo de la demanda del 3,1%, así:

$$D_n = 23,228 * (1 + 3,1\%)^5 = 27,06 \text{ kVA}$$

De acuerdo con la expresión anterior, la demanda máxima proyectada a cinco años es de 27,06 kVA. Por consiguiente, la capacidad comercial del transformador seleccionado es de 30 kVA monofásico.

• Usuarios Industriales

Se va a dimensionar el transformador para una instalación industrial con los siguientes datos de diseño:

- Área de la edificación: 150 m² (50 m² para oficinas y 100 m² para industria).
- La iluminación se debe ajustar a los requerimientos normativos de la NTC 2050 y el RETILAP.
- El proceso de manufactura requiere de 1 motor de 10 kVA (480-277 V) trifásico. Sin embargo, el propietario de la fábrica pide que se instalen 2 máquinas para operar en momentos de alto requerimiento de producto.
- Se requiere 1 circuito exclusivo de 20 A para equipos especiales.
- La edificación cuenta con 2 oficinas con capacidad para 4 puestos de trabajo.
- Se requiere instalar un sistema de energía ininterrumpida (UPS) para satisfacer la demanda de los motores.
- No se espera crecimiento de carga durante la vida útil de la instalación.
- Tensión primaria: 13,2 kV.

El procedimiento inicial consiste en realizar la estimación de la carga. Por tratarse de una instalación industrial se tienen varios requerimientos particulares adicionales a los requisitos de la Norma Técnica Colombiana (NTC- 2050).

La potencia para iluminación se estima a partir de la tabla 220-3 de la NTC 2050 y las áreas dadas para zona, de la siguiente forma:

$$\text{Iluminación oficinas} = 38 [VA/m^2] * 50 [m^2]$$

$$\text{Iluminación oficinas} = 1900 VA$$

$$\text{Iluminación industria} = 22 [VA/m^2] * 100 [m^2]$$

$$\text{Iluminación industria} = 2200 VA$$

Debido a que se conoce el número de equipos que se instalarán en las oficinas a criterio del diseñador se estima el número de tomacorrientes. De acuerdo con la norma NTC 2050 se estiman 180 VA por salida de tomacorriente.

$$\text{Salidas tomacorrientes oficina} = 180 [VA] * 6$$

$$\text{Salidas tomacorrientes oficina} = 1080 VA$$

$$\text{Salidas tomacorrientes industria} = 180 [VA] * 4$$

$$\text{Salidas tomacorrientes industria} = 720 VA$$

Finalmente se consideran las cargas requeridas para el caso particular de la instalación.

$$\text{Motores} = 20000 VA$$

$$\text{Circuito exclusivo} = 2400 VA$$

Con la carga demandada se procede a realizar los cuadros de cargas en los que se deben incluir los factores de demanda para dimensionar el transformador. Debido a que se va a instalar un transformador de uso exclusivo no se aplican factores de diversidad.

La corriente para el conductor (capacidad nominal del circuito) se calcula con los lineamientos del artículo 220-3 (a) y 430-24 de la NTC 2050.

En la Tabla 11 se presenta el cuadro de cargas del tablero general de distribución (TD-01) para la instalación industrial.

Tabla 11 Cuadro de cargas tablero general de distribución (Industrial)

TABLERO GENERAL DE DISTRIBUCION TD-01 (INDUSTRIAL)									
Circuito	Carga	Tensión (V)	Potencia demandada (VA)	Corriente nominal (A)	Corriente para conductor (A)	Protección	Cable	Regulación	THDi
1	Tomas e iluminación oficinas	120	2980	24,83	31,04	1x30	10 AWG	1,80%	N/A
2	Iluminación fabrica	120	2200	18,33	22,92	1X20	12 AWG	1,20%	N/A
3	Tomas industria	120	720	6,00	6,00	1X15	12 AWG	0,03%	N/A
4	Exclusivo	120	2400	20,00	25,00	1X20	12 AWG	1,56%	N/A
5	UPS (motores)	480	20000	24,06	27,06	1X30	10 AWG	1,60%	10%

De acuerdo con el numeral 220-13 de la NTC 2050 el factor de demanda se toma de la Tabla 220-11 de la misma norma (ver Tabla 12). Para los motores no se contempla factor de demanda porque se considera que operan simultáneamente durante picos de trabajo.

Tabla 12 Factores de demanda Tabla 220-11 NTC 2050 [2]

Tipo de ocupación	Parte de la carga de alumbrado a la que se aplica el factor de demanda (VA)	Factor de demanda %
Unidades de vivienda	Primeros 3000 o menos	100
	De 3001 a 120000	35
Hospitales*	A partir de 120000	25
	Primeros 50000 o menos	40
	A partir de 50000	20
Hoteles y moteles, incluidos bloques de apartamentos sin cocina *	Primeros 20000 o menos	50
	De 20001 a 100000	40
	A partir de 100000	30
Depósitos Todos los demás	Primeros 12500 o menos	100
	A partir de 12500	50
	VA totales	100

* Los factores de demanda de esta Tabla no se aplican a la carga calculada de los alimentadores a las zonas de hospitales, hoteles y moteles en las que es posible que se deba utilizar toda la iluminación al mismo tiempo, como quirófanos, comedores y salas de baile.

Con esta información se dimensiona el transformador (ver Tabla 13) y se construye el respectivo cuadro de cargas.

Tabla 13 Dimensionamiento del transformador (Industrial)

Carga	Tensión (V)	Potencia demandada (VA)	Demanda máxima (VA)
Tomas e iluminación	120	8300	4855
UPS (motores)	480	20000	20000
Reserva (30%)			7457
Demanda máxima total			32312
Capacidad comercial			45000

En la Tabla 14 se presenta el cuadro de cargas del transformador para la instalación industrial.

Tabla 14 Cuadro de cargas del transformador (Industrial)

Cuadro de Cargas Transformador (Industrial)							
Transformador N°	Capacidad nominal (kVA)	No. de instalaciones	Demanda por instalación (kVA)	Demanda total (kVA)	% Carga	% Regulación	% THD
1	45	1	32,312	32,312	71,8	0,25	8

El THD se encuentra con los lineamientos presentados en el documento GM-13 Guía Metodológica: Análisis de calidad de la potencia redes de distribución.

A partir del cuadro de cargas del tablero general de distribución, se evidencia que la única fuente armónica es la UPS de los motores. De acuerdo con la Tabla 2 para una distorsión en corriente de 8% se requiere de un transformador con $K=4$.

Por lo tanto, la especificación del transformador para la instalación industrial es:

Transformador trifásico
 13,2 / 0,48-0,277 kV
 45 kVA
 $K=4$