



Métodos de estimación de la demanda en sistemas eléctricos de baja tensión

Alfredo González
Davel Borges
Mario Martínez

Recibido: Octubre del 2007
Aprobado: Diciembre del 2007

Resumen / Abstract

El desarrollo de los sistemas de suministro eléctrico de baja tensión constituye una medida fundamental para el progreso industrial de cualquier país, y en este aspecto el costo de las inversiones resulta en muchos casos determinante. En la actualidad, donde el cuidado del medio ambiente es vital para toda la especie humana, se debe realizar un análisis más exacto y objetivo para lograr con menos gastos, sistemas más seguros y confiables. En este trabajo se exponen algunos de los métodos más utilizados para la proyección de instalaciones de fuerza. Finalmente se presenta un análisis crítico de los mismos y la solución de un ejemplo de aplicación a través de varios de estos.

Palabras clave: Estimado de la demanda eléctrica, determinación de las potencias de cálculo

The development of the low tension electric systems is a fundamental measure for the industrial progress of any country, and in this aspect the cost of the investments is in many decisive cases. At the present time where the care of the environment is vital for the whole human species, we should make a more exact analysis and objective to achieve surer and more reliable systems, with fewer expenses. In this work we expose some of the methods more used for the projection of the low tension electric systems. Finally we present a critical analysis of the same ones and the solution of an application example through several of these.

Key words: Demand estimate, determination of calculation powers

INTRODUCCIÓN

Para la proyección de sistemas eléctricos industriales, es necesario tener presente varios aspectos en aras de lograr una adecuada solución técnica, que permitan en condiciones de explotación, la menor inversión económica. Es fundamental un análisis adecuado de las cargas de que estará compuesto el sistema, sus regímenes de trabajo, la categoría del proceso productivo o de servicio, entre otros importantes aspectos. La carga que toma en cuenta todos los factores anteriores y que se espera consuman los receptores individuales o grupos de receptores se le denomina carga de cálculo,¹ definiéndose en términos de potencia activa como:

$$P_C = \sqrt{3} \ V_N \ I_C \ \cos\varphi_C \quad \dots(1)$$

La obtención de una óptima potencia de cálculo debe de hacer más económica una inversión, debido a la utilización de menos capacidad en los transformadores, canalizaciones, conductores y protecciones más pequeñas y de menor costo, ya que en su determinación actual prevalece el sobredimensionamiento.

DESARROLLO

Métodos de estimación de la carga de cálculo

Todos los métodos de estimación de la carga tienen por objetivo hallar la potencia de cálculo para el sistema tratado y esta sería la potencia óptima de trabajo para la instalación, en la cual los parámetros técnico-económicos son más favorables al sistema y permite que sus receptores trabajen de la forma más

eficiente. Seguidamente se muestra algunos métodos, para la determinación de la potencia de cálculo, empleados en la proyección de sistemas eléctricos de baja tensión.

Estimación de la potencia de cálculo usando la potencia nominal

La potencia nominal de un receptor eléctrico es la potencia máxima a la cual puede trabajar este, en el régimen de trabajo establecido por el fabricante, a tensión y frecuencia nominal, sin que se produzca un aumento de temperatura superior a la permisible. Esta potencia se especifica en la chapa o pasaporte del equipo. Para el caso de los motores es la potencia que se entrega en el eje y para otros consumidores eléctricos es la potencia que se consume de la red eléctrica y siempre está referida a la carga del régimen continuo de trabajo.

En este método se asume la potencia de cálculo igual a la potencia nominal del receptor:²

$$P_C = P_n \quad \dots(2)$$

$$Q_C = Q_n \quad \dots(3)$$

Debe tenerse en consideración que en el caso de los motores eléctricos la potencia demandada de la red se puede determinar a partir de la potencia de pasaporte, conociendo la eficiencia del motor.

Sin hacer un análisis profundo, es evidente que la mayor ventaja de este método de cálculo es la sencillez y rapidez en la obtención de los resultados.

A su vez, resulta claro que un sistema calculado de esta forma será sobredimensionado, ya que todos los receptores no trabajarán con su carga nominal, ni al mismo tiempo, por lo que se obtendrá un sistema poco eficiente y mucho más costoso.

Estimación de la potencia de cálculo usando la potencia nominal y el coeficiente de carga

Este método consiste en multiplicar las potencias nominales que forman el sistema por un factor de carga que varía según el tipo de receptor.³

Para motores:

$$P_{CM} = K_C P_{Mayor} + \Sigma P_n \quad \dots(4)$$

$$K_C = 1,25$$

donde:

P_{Mayor} : Potencia nominal del motor mayor (kW).

ΣP_n : Suma de todas las potencias nominales del resto de los motores (kW).

P_{CM} : Potencia de cálculo para motores (kW).

Para alumbrado de descarga se tiene:

$$P_{CA} = K_C P_D + P_I \quad \dots(5)$$

$$K_C = 1,8$$

donde:

P_D : Potencia nominal de alumbrado de descarga.

P_I : Potencia nominal de alumbrado incandescente.

P_{CA} : Potencia de cálculo para alumbrado.

La potencia de cálculo de la instalación será:

$$P_C = P_{CM} + P_{CA} \quad \dots(6)$$

La aplicación de este método es rápida y sencilla, pero la sobreestimación de la potencia de cálculo, tanto para motores como para alumbrado de descarga es su mayor desventaja.

Este método ha sido tradicionalmente utilizado con fines comerciales ya que los resultados que aporta inciden en un mayor costo de los elementos del sistema, a la vez que incrementan la seguridad de operación.

Estimación de la potencia de cálculo usando la potencia nominal y el coeficiente de demanda

El factor de demanda es la relación entre la potencia de cálculo y la potencia nominal conectada al sistema o parte del sistema considerado, y depende del régimen de trabajo de los receptores y del número de estos.⁴

$$P_C = K_{da} P_N \quad \dots(7)$$

donde:

K_{da} : Coeficiente de demanda de potencia activa.

Normalmente los coeficientes de demanda se determinan a partir de la experiencia en la explotación de receptores y grupo de receptores de un determinado sistema y se encuentran tabulados en los manuales especializados. Este coeficiente depende del tipo de industria o centro de servicio, tecnología de producción, grado de automatización, modo de explotación, etcétera.

Es evidente la sencillez del método, lo que hace que su aplicación resulte rápida. Las ecuaciones son simples operaciones de suma y multiplicación, lo que representa un gran ahorro de tiempo en cálculos y una mayor productividad de los proyectistas.

La mayor desventaja es la estimación por parte del especialista de valores de este factor cuando no aparece tabulado, que en el caso más común se traduce en sobredimensionamiento excesivo de capacidad en transformadores, canalizaciones, alimentadores y protecciones. Este método es el más

usado actualmente en Cuba, para la estimación de la demanda en receptores individuales, por parte de las empresas de proyecto.

Estimación de la potencia de cálculo usando la potencia nominal, el coeficiente de demanda y el de diversidad

Este método consiste en aplicar a un sistema, además del coeficiente de demanda (K_{da}), un factor llamado de diversidad (K_{div}), que toma en cuenta la posibilidad de ocurrencia, al mismo tiempo, de las cargas de cálculo en los diferentes nodos que forman el sistema de suministro.

donde:

K_{div} : Factor de diversidad.

Aplicando el factor de demanda y de diversidad se obtiene la potencia de cálculo para un nodo:

$$PC = \frac{K_{da} P_n}{K_{div}} \quad \dots(8)$$

Este método utiliza coeficientes determinados como resultado del trabajo de experimentación de gráficos de carga del sistema de suministro en explotación. Resulta sencillo y rápido, posee la gran ventaja que hace un análisis del desplazamiento de la carga de cálculo en el tiempo, pero su exactitud depende de la validez de los factores que se apliquen.⁵

Actualmente, es el método empleado para la proyección de grupos de receptores en la Empresa de Proyectos de Obras de Ingeniería y Arquitectura No. 11 (EPIA-11) de la provincia de Camagüey.

Estimación de la potencia de cálculo para edificios de apartamentos aplicando el factor de simultaneidad

Este método preestablece el grado de electrificación de las viviendas, de acuerdo con las necesidades de los servicios eléctricos de ellas. Los servicios que se pueden cubrir en cada vivienda, con los distintos grados de electrificación aparecen en la tabla 1.

Tabla 1
Límites de aplicación para cada grado de electrificación

Grados de electrificación	Límites de aplicación (m ²)
Mínimo (3 000 W)	80
Medio (5 000 W)	150
Elevado (8 000 W)	200

Los coeficientes de simultaneidad vienen dados en la tabla 2 y su aplicación dará la potencia de cálculo para el conjunto de apartamentos.

Tabla 2
Valores del coeficiente de simultaneidad

Número de abonados	Electrificación mínima y media	Electrificación elevada y especial
2 a 4	1,0	0,8
5 a 15	0,8	0,7
16 a 25	0,6	0,5
más de 25	0,5	0,4

Con la tabla 1 se establece la potencia nominal del conjunto de apartamentos y con la tabla 2 se determina la potencia de cálculo (P_v) de estos.

Comúnmente un edificio de apartamentos tiene otros servicios de índole general, como son ascensores, alumbrado general, etc. La potencia de estos servicios se añadirá a la calculada para los apartamentos y si existiesen otros locales y oficinas, se agregaría también teniendo presente las siguientes consideraciones:

Se calcularán sobre la base de 100 W/m²

La potencia de cálculo del sistema será:

$$P_c = P_v + P_g + P_L \quad \dots(9)$$

donde:

P_v : Potencia de apartamentos.

P_g : Potencia de servicios generales.

P_L : Potencia para locales y oficinas.

Este método tiene el inconveniente de que asigna a priori demandas máximas fijas a los departamentos sin tomar en cuenta su tamaño,⁶ por lo que los resultados son aproximados, recomendando el uso del mismo para la etapa de anteproyecto de edificaciones para viviendas.

Estimación de la potencia de cálculo usando la potencia media y el coeficiente de forma K_f

El coeficiente de forma del gráfico individual o de grupo de cargas, es la relación de corriente mediocuadrática (o potencia) del receptor o grupo de estos durante determinado período, a su valor medio durante igual período de tiempo.

La potencia de cálculo para un grupo de receptores es:

$$P_c = K_{fa} P_{mM} \quad \dots(10)$$

donde:

K_{fa} : Coeficiente de forma de potencia activa para el grupo.

P_{mM} : Potencia activa media del grupo más cargado.

Este método se recomienda para determinar la carga de cálculo en las barras de baja tensión de las subestaciones transformadoras, en la que los gráficos de carga son uniformes, estando K_{fa} entre 1,0-1,2. Normalmente el coeficiente de forma es estable si la productividad de la empresa es bastante constante.

Para las empresas que trabajan arrítmicamente el coeficiente de forma se debe determinar durante los días típicos.

Estimación de la potencia de cálculo usando la potencia media, el coeficiente de máximo K_m y el de no coincidencia de máximo K_{nc}

La carga de cálculo estará definida para circuitos balanceados y desbalanceados por la ecuación:

$$P_c = K_{ma} P_{3\phi mc} K_{nca} \quad \dots(11)$$

donde:

K_{ma} : Coeficiente de máximo de activa.

$P_{3\phi mc}$: Potencia trifásica media convencional.

K_{nca} : Coeficiente de no coincidencia de máximos de activa.

Este método tiene como principal desventaja lo dificultoso de su aplicación, pero sin duda es un procedimiento muy bien elaborado, que toma en cuenta el tipo de sistema, el régimen de trabajo de sus receptores, los desplazamientos de las cargas en el tiempo y la cantidad de receptores que lo forman. Ha sido empleado con buenos resultados en la estimación de la demanda en nodos tanto de entidades productivas como de servicios, por parte de empresas de proyecto.⁷ Actualmente es el método empleado para grupos de receptores en el Instituto de Proyectos del Ministerio del Azúcar (IPROYAZ) de la provincia de Camagüey.

Estimación de la potencia de cálculo usando el coeficiente de llenado K_{lla}

El coeficiente de llenado del gráfico de cargas de potencia activa (K_{lla}) es la relación de la potencia activa media a la potencia máxima, durante un período de tiempo:

$$K_{lla} = \frac{P_m}{P_M} \quad \dots(12)$$

El período de tiempo se considera igual a la duración del turno más cargado.

Asumiendo que la potencia máxima P_M es igual a la potencia de cálculo P_c , el coeficiente de llenado del gráfico (K_{lla}) es la magnitud inversa del coeficiente de máximo.

$$K_{lla} = \frac{P_m}{P_c} = \frac{1}{K_{ma}} \quad \dots(13)$$

donde:

K_{lla} : Coeficiente de llenado de potencia activa.

K_{ma} : Coeficiente de máximo de potencia activa.

P_m : Potencia media activa.

El coeficiente de llenado generalmente se refiere a los gráficos de cargas de grupo, igual que el coeficiente de máximo. Expresiones similares pueden ser determinadas para los coeficientes de llenado de los gráficos de cargas de potencia reactiva y de corriente.

Estimación de la potencia de cálculo usando índices específicos de la producción

Este método es aplicable cuando existe una relación entre la demanda y el gasto específico de la energía eléctrica por unidad de producción, en sistemas de suministro en los cuales sus receptores poseen gráficos individuales y de grupos que no cambian o cambian poco en el turno más cargado, y la carga de cálculo se toma igual a la medida de este turno.¹ En este caso se determina la potencia media por el gasto específico de energía eléctrica por unidad de producción durante el período de tiempo dado.

$$P_c = P_{mM} = \frac{V_{mM} e_{ae}}{T_{mM}} \quad \dots(14)$$

donde:

P_{mM} : Potencia activa media del turno más cargado.

e_{ae} : Gasto específico de energía eléctrica por unidad de producción.

V_{mM} : Volumen de producción, elaborado durante el turno (productividad de la instalación).

T_{mM} : Duración del turno más cargado.

El inconveniente principal de este método radica en la necesidad de conocer de antemano el gasto específico de electricidad de la instalación, lo que limita su uso.

Estimación de la potencia de cálculo por el método estadístico

Por este método, la carga de cálculo de un grupo de receptores se determina por dos índices principales: La potencia media (P_T) y la desviación medio cuadrática (σ_T),¹ usando la ecuación:

$$P_{CT} = P_T \pm \beta \sigma_T \quad \dots(15)$$

donde:

β : Multiplicidad de la medida de dispersión.

Las características fundamentales del método estadístico de determinación de las cargas de cálculo muestran que la metodología estadístico-probabilística es capaz de resolver, aceptablemente, el conjunto de problemas del cálculo de las cargas eléctricas, pero su profundo peso matemático lo hace ser poco usado por los especialistas. Este método fue utilizado con éxito en la antigua URSS.

Estimación de la potencia de cálculo por el método de los dos miembros.

En un inicio este método fue aplicado para encontrar la potencia de cálculo en naves de producción y talleres dedicados a la elaboración de metales, pero más tarde se empezó su aplicación para otros tipos de grupos de receptores eléctricos que tienen igual régimen de trabajo.

La ecuación fundamental a la que están sujetos un grupo de receptores eléctricos de igual régimen de trabajo⁸ es:

$$P_C = c P_m + b P_n \quad \dots(16)$$

donde:

P_m : Carga instalada de varios receptores m de un grupo característico. El subíndice m indica el número de receptores mayores que deben tenerse en cuenta en los cálculos.

P_n : Carga instalada de todos los receptores n de un grupo característico.

c y b: Coeficientes que dependen del régimen de trabajo.

La dificultad del método precisamente radica en la necesidad del conocimiento de los factores del régimen de trabajo.

Análisis crítico de los métodos de estimación de la carga de cálculo

El estudio de los métodos analizados permite llegar a las conclusiones siguientes:

- No existe un método único recomendado.
- El empleo de uno u otro método responde a un caso concreto y a la experiencia desarrollada por el proyectista.
- En sentido general, cuando se proyectan sistemas desbalanceados el valor de la carga de cálculo se

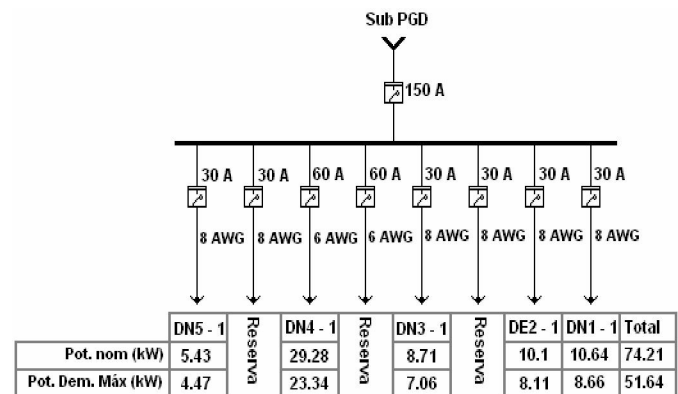
aleja de la realidad al no considerar la potencia de asimetría.

- Algunos de los métodos asumen coeficientes empíricos que introducen errores. Esto trae como consecuencia el sobrediseño de las instalaciones proyectadas.

Todas las deficiencias anteriores son el resultado de la no aplicación de una teoría unificada de la potencia eléctrica que permita analizar cada tipo de sistema eléctrico con un razonamiento y herramientas matemáticas similares.⁹

Ejemplo de aplicación de los métodos de estimación de la carga de cálculo

A manera de ejemplo se seleccionó el proyecto eléctrico de la pizarra general de fuerza del Bloque de Servicios Médicos del Hospital Provincial "Antonio Luaces Iraola" de la provincia de Ciego de Ávila.² Ver figura 1.



Esquema en bloques del hardware del sistema.

1

Para la determinación de la carga de cálculo fueron aplicados de forma simultánea los métodos siguientes:

- Usando la potencia nominal.
- Usando la potencia nominal y el coeficiente de demanda.
- Usando la potencia nominal por el coeficiente de demanda y de diversidad.
- Usando la potencia media y el coeficiente de forma.
- Usando la potencia media, coeficiente de máximo y coeficiente de no coincidencia de máximo.
- Por el método estadístico.

A partir de un analizador de redes se determinó la carga real de la pizarra objeto de proyección.

Los otros métodos no fueron empleados por no ajustarse al diseño o no contar con los coeficientes necesarios para su aplicación (tabla 3).

Comparando este resultado con cada uno de los métodos aplicados, resultó el método de la potencia media, el coeficiente de máximo y el coeficiente de

no coincidencia de máximo el más favorable para la determinación de la potencia de cálculo para este tipo de instalación, ya que analiza de forma más integral las características del sistema, considerando la cantidad de receptores que lo forman, su coincidencia en el tiempo y la naturaleza de las cargas del mismo.

Tabla 3			
Método empleado	Pc (kW)		
Potencia nominal	74,21		
Potencia nominal y coef. de demanda	37,32		
Potencia nominal por coef. de demanda y de diversidad	24,88		
Potencia media y coef. de forma	27,87		
Potencia media, coef. de máximo y de no coincidencia de máximo	27,35		
Método estadístico	28,30		
Proyecto original	51,64		
Mediciones con un analizador de redes en un día característico	Potencia activa media	Potencia activa máxima	Potencia activa mínima
	4,644	6,310	2,961

Pese a que se obtienen mejores resultados de potencia activa aplicando los coeficientes de demanda y de diversidad, esto es producto de la limitada carga de esta sección.

En un hospital la potencia de cálculo está en dependencia de varios factores que la hacen aumentar o disminuir, como son:

- Estación del año. La mayor carga en un hospital es la climatización y en el período caluroso, este equipamiento es usado en mucha mayor medida, trabajando de forma más intensa. Datos de la OBE permiten afirmar que en el período comprendido junio-julio-agosto, la demanda máxima es entre un 12-15 % mayor, que en los meses de diciembre-enero-febrero.
- Ocupación hospitalaria. Esta depende de varios factores que de forma directa inciden en que el hospital esté más o menos ocupado en los servicios que brinda, implicando lo anterior que su consumo energético aumente.

De lo anterior se puede decir que la potencia máxima registrada, puede en otras condiciones (época del año y ocupación hospitalaria) aumentar en un valor determinado, haciendo que se acerque más a los resultados calculados por los diferentes métodos.

CONCLUSIONES

Existen numerosos métodos para la estimación de la carga de cálculo. El uso de uno u otro, depende de la aplicación concreta y la experiencia del proyectista o el especialista en cuestión. Por otra parte, las bases de datos con los valores de los coeficientes que caracterizan el comportamiento de la carga (coeficiente de demanda, de forma, de llenado, de utilización, de máximo) que utilizan muchos métodos se encuentran incompletas lo que trae por consecuencia estimaciones erróneas.

Para grupos de receptores el método de la potencia media, el coeficiente de máximo y el coeficiente de no coincidencia de máximo, parece ofrecer con mayor exactitud la carga de cálculo en entidades de tipo hospitalaria.

REFERENCIAS

1. **Feodorov, A. A.:** Suministro eléctrico de empresas industriales, Ed. Mir, URSS, 1982.
2. **Martínez Martínez, Mario:** "Métodos para la determinación de la carga de cálculo en el bloque de servicios médicos de una instalación hospitalaria", Tesis de maestría, Universidad de Camagüey, 2004.
3. **Montañana Romeu, Joaquín:** Aplicaciones industriales de la tecnología eléctrica, Universidad Politécnica de Valencia, 1995 (inédito).
4. **Beeman, D.L.:** Industrial Power Systems Handbook, Ed. McGraw Hill Book, Estados Unidos, 1955.
5. **León Leyva, María del Carmen:** "Metodología de proyecto de instalaciones eléctricas industriales", Trabajo de diploma, Universidad de Camagüey, 2002.
6. **Boletín del Comité Electrotécnico Cubano,** Año 3, Número 1. RNPS 0386, 2000.
7. **Borges Vasconcellos, Davel:** "Sistema automatizado para la selección de sistemas de suministro eléctrico industrial", Trabajo de diploma, Universidad de Camagüey, 1991.
8. **Coego, Reynaldo:** Cálculo de la máxima demanda eléctrica, método de los dos miembros, CECE, 1985.
9. **León Martínez, Vicente:** "Eficiencia en las instalaciones eléctricas. Nuevas definiciones de Potencia", José Giner García (eds.), Mundo electrónico (322), 2001.

AUTORES

Alfredo González Digón

Ingeniero Electricista, Máster en Ingeniería Eléctrica, Asistente, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Camagüey, Camagüey, Cuba
e-mail:alfredo.digon@reduc.edu.cu

Dável Borges Vasconcellos

Ingeniero Electricista, Máster en Ingeniería Eléctrica, Profesor Auxiliar, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Camagüey, Camagüey, Cuba
e-mail:davel.borges@reduc.edu.cu

Mario Martínez Martínez

Ingeniero Electricista, Máster en Ingeniería Eléctrica, Empresa Constructora, Ciego de Ávila, Cuba