
Estimación de la demanda de instalaciones eléctricas

Demand estimation of the installations electric

Dr. C. Roberto Regalado Martínez*

<robertorm@ucpejv.edu.cu> <https://orcid.org/0000-0001-6637-0045>

Lic. Roberto Regalado Ravelo**

<robertorr@ucpejv.edu.cu> <https://orcid.org/0000-0003-0350-7686>

* y **Universidad de Ciencias Pedagógicas Enrique José Varona, La Habana, Cuba.

RESUMEN

El trabajo facilitó el análisis y comprensión del tema de Cargas Eléctricas y Estimación de la Demanda de la asignatura Suministro Eléctrico Industrial por medio de una tabla de cargas confeccionada en una plantilla de Microsoft Excel, respaldada por una metodología de cálculo que facilita la estimación de la demanda en instalaciones eléctricas para una correcta selección del servicio eléctrico de la misma y la selección de grupos electrógenos de respaldo o emergencia. Por otra parte, su análisis y estudio, obliga al estudiante a profundizar en el comportamiento de los equipos dentro del sistema eléctrico, interactuar con los datos, horarios y tiempos de funcionamiento de cada uno con el fin de reducir el consumo.

Palabras clave: Estimación de la demanda Cargas eléctricas Potencia activa y reactiva

ABSTRACT

The work facilitated the analysis and understanding of the topic of Electric Loads and Demand Estimation of the Industrial Electric Supply subject by means of a Load Table made in a Microsoft Excel template, supported by a calculation methodology that facilitates the estimation of the Demand in electrical installations for a correct selection of the electrical service of the same and the selection of backup or emergency generators. On the other hand, its analysis and study forces the student to delve into the behavior of the equipment within the electrical system, interact with the data, schedules and operating times of each one in order to reduce consumption.

Keywords:



INTRODUCCIÓN

En la actualidad, debido al empleo de formas no presenciales de impartir las clases y tratando de facilitar la buena asimilación y comprensión de los conocimientos por los alumnos se buscan métodos más representativos e ilustrativos que mejoren la eficiencia de la comunicación.

En la disciplina de Suministro Eléctrico Industrial de la carrera de Licenciatura en Educación Eléctrica de la Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad de Ciencias Pedagógicas Enrique José Varona, La Habana, Cuba, se imparte la asignatura de del mismo nombre, en la que se imparte el tema de Cargas Eléctricas y Estimación de la Demanda, en el cuál se le debe explicar al alumno todo lo relacionado con los tipos de cargas eléctricas, así como la estimación de la demanda con el objetivo de realizar una buena selección del servicio eléctrico o de grupos electrógenos.

Existe amplia literatura sobre el tema, reflejado en las referencias bibliográficas y que se han tenido en cuenta, conjuntamente con la experiencia en la proyección de sistemas eléctricos navales, industriales y domésticos para la realización del trabajo, que de manera sencilla describe los principales aspectos a tener en cuenta para estimar la demanda de una instalación.

Para la proyección de sistemas eléctricos industriales o residenciales, es necesario tener presente varios aspectos con el objetivo 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 cálculo¹.

En cualquier instalación industrial, doméstica o de otro tipo, hay determinados grupos de consumidores que trabajan en un momento dado, por ejemplo, en una vivienda típica, por el día, generalmente no se conectan los equipos de clima y pocos dispositivos de alumbrado, sin embargo en la noche, ambos funcionan de manera continua, en una fábrica por el día, cuando arranca la cadena de producción, el consumo es elevado, ya que la mayoría de los

dispositivos están en funcionamiento, sin embargo, fuera de la jornada laboral, solo se conectan algunos dispositivos ⁴. Esto hace que la diferencia entre un horario y otro sea bien marcada en cuanto a la potencia demandada, seleccionando así los regímenes de trabajo, los cuáles pueden ser tantos como notable sea la potencia demandada por cada uno de ellos. Para su ejecución se realizó un amplio estudio bibliográfico acerca del tema, así como la experiencia y resultados obtenidos en el diseño y proyección de sistemas eléctricos de embarcaciones, algunas instalaciones industriales y domésticas.

El trabajo consiste en el cálculo de la demanda de instalaciones partiendo del estudio detallado de los consumidores y su comportamiento dentro del sistema, partiendo de su potencia nominal, potencia demandada de la red, tiempo de trabajo y de pausa de cada uno, así como los grupos de equipos iguales, si trabajan simultáneamente o no, por ejemplo, en una industria generalmente, por seguridad se doblan los equipos, de manera tal que trabajan uno u otro, si trabajan de manera continua (alumbrado, ventilación, equipos de cadenas de producción) o en períodos cortos de tiempo (como los sistemas neumáticos de bombeo, elevadores, hornos microwave), otros que su comportamiento es cíclico (equipos de clima y refrigeración). Mientras mejor se pueda describir el comportamiento de los consumidores dentro de la instalación, mucho más precisos serán los resultados².

DESARROLLO

Teniendo en cuenta los aspectos anteriores, se determinan todos los consumidores de la instalación y se van organizando en un cuadro de cálculo o tabla de cargas (Anexo 1), con el fin de facilitar y organizar el estudio. Esta tabla tiene incluido todo el procedimiento de cálculo descrito más adelante. Se rellenan los datos iniciales de los consumidores y se van obteniendo resultados parciales hasta llegar a las potencias totales de cada régimen de trabajo. De ésta manera se puede obtener de forma interactiva y analítica los valores de demanda de la instalación en estudio ³.

A continuación, se describe cada magnitud, forma de calcularla y la secuencia o procedimiento de cálculo de la demanda.

Potencia nominal (P_N):

Es la potencia que aparece en la chapa o en el pasaporte del consumidor expresada en kW o en kVA. Para los motores eléctricos, corresponde a la potencia que entrega en su eje y para

otros consumidores eléctricos, es la potencia que consumen de la red eléctrica, ya sea en kW o kVA a tensión nominal.

Potencia nominal reactiva(Q_N):

Es la potencia reactiva demandada por él, desde el circuito (signo +), o devuelta al circuito (signo -) a tensión nominal.

Potencia instalada (P_i):

Se determina en función del régimen de trabajo según las fórmulas siguientes:

a) para receptores de régimen continuo

$$P_i = P_N \quad (\text{motores}$$

$$\text{y resistencias) } \quad (1.1) \quad P_i = S_N \cdot \cos \varphi$$

$$(\text{transformadores) } \quad (1.2)$$

b) para receptores de régimen intermitente

$$P_i = P_N \cdot \sqrt{\frac{t_p - t_t}{t_t}} \quad (\text{motores y resistencias) } \quad (1.3)$$

$$P_i = S_N \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{\frac{t_p - t_t}{t_t}}$$

$$(1.4) \text{ c) para un grupo}$$

de receptores eléctricos

$$P_i = \sum_1^n P_i$$

(1.5) donde

P_i : potencia instalada del receptor o grupo de receptores

S_N : potencia nominal aparente en kVA

$\cos \varphi$: factor de potencia del receptor

t_t : tiempo de funcionamiento del receptor

t_p : tiempo de pausa del receptor

n : número de receptores eléctricos iguales del grupo

Los grupos de receptores monofásicos (1Φ) conectados a tensión de fase y de línea, uniformemente distribuidos entre las tres fases del circuito trifásico se consideran en los cálculos como receptores trifásicos de la misma potencia total (4), o sea:

$$P_{i\ 3\Phi} = \sum_{i=1}^{n_1} P_i \quad 1\Phi$$

(1.6) donde

$P_{i\ 3\Phi}$: potencia instalada equivalente en kW del grupo de receptores monofásicos

$P_{i\ 1\Phi}$: potencia instalada de los receptores monofásicos en kW

n : número de receptores eléctricos del grupo

Si la suma de potencias instaladas en cada fase no sobrepasa el 15% entre la de mayor y menor carga, se consideran cargas uniformemente distribuidas y la potencia de cada receptor se calcula como se explicó con anterioridad.

Si el desbalance entre las fases de mayor y menor carga excede el 15 %, las cargas monofásicas no se encuentran uniformemente distribuidas y se puede, calcular de manera práctica, con bastante exactitud la potencia trifásica equivalente de la manera siguiente:

Cuando todos los receptores monofásicos se conectan a la tensión de fase o al de línea

$$P_{i\ 3\Phi} = 3 \sum_{i=1}^n P_i \quad 1\Phi_{max}$$

(1.7) donde

$\sum_{i=1}^n P_i \quad 1\Phi_{max}$: suma de las potencias instaladas de la fase más cargada en kW

n : número de receptores en la fase más cargada

Cuando los receptores monofásicos están en conexión mezclada, en que una parte está conectada a tensión de fase y la otra a la de línea, se determina la potencia instalada de cada fase sumando las potencias instaladas de las cargas a tensión de fase (conexión fase a neutro) y de las cargas a tensión de línea (conexión fase a fase) referidas a la fase dada. Por ejemplo, la potencia instalada activa de los receptores monofásicos conectados entre las fases "A" y "B", "A" y "C", y entre la fase "A" y el neutro, referidas a la fase "A". El factor de potencia de éstos consumidores monofásicos, influyen en la potencia activa y reactiva de cada fase y está considerado en el coeficiente de referencia para cada fase ($p(ab)_{a, b, c}$; $q(ab)_{a, b, c}$) tabulados en el Anexo 2 (4). De ésta manera, la potencia total instalada en cada fase se determina por:

$$P_{i\ A} = \sum_{i=1}^{n_1} P_{i\ A-B} \cdot p(ab)_a + \sum_{i=1}^{n_2} P_{i\ A-C} \cdot p(ac)_a + \sum_{i=1}^{n_3} P_{i\ A-0}$$

(1.8) donde

$P_{i\ A}$: potencia total instalada de la fase "A" en kW

$\sum_1^{n1} P_{iA-B}$, $\sum_1^{n2} P_{iA-C}$: suma de las potencias instaladas de los receptores monofásicos conectados a la tensión de línea entre las fases "AB" y "AC" respectivamente, en kW

$\sum_1^{n3} P_{iA-0}$: suma de las potencias instaladas de los receptores monofásicos conectados a la tensión de la fase "A", en kW $p(ab)_a$, $p(ac)_a$: coeficientes de referencia para la fase "A" que tiene en cuenta la influencia del factor de potencia de las cargas conectadas a esa fase (Anexo 2)

La referencia de la potencia instalada activa de los receptores monofásicos a las fases "B" y "C" se realiza igual que para la fase "A".

De los valores obtenidos se determina la potencia instalada activa de la fase más cargada P_i $1\Phi_{max}$.

La potencia instalada trifásica equivalente se determina entonces por la expresión (1.7).

En forma análoga se determina la potencia reactiva equivalente de receptores monofásicos en circuitos trifásicos.

Coefficiente de utilización (k_u)

El coeficiente de utilización k_u es el índice fundamental para el cálculo de la carga. Como norma, al igual que la potencia consumida de la red (P_{Red}) y la nominal (P_N), este coeficiente se refiere al turno de máxima carga (5). Puede ser determinado de la siguiente forma:

$$k_u = \frac{P_{Red}}{P_N}$$

(1.9)

donde

k_u : coeficiente de utilización

P_{Red} : potencia consumida de la red, en kW

k_U : coeficiente de utilización de la potencia instalada

Coefficiente de carga (k_c)

Para un receptor se define el coeficiente de carga de la potencia activa k_c como la relación entre su potencia absorbida de la red durante el tiempo de conexión y su potencia nominal durante el tiempo del turno de máxima carga (5), o sea:

$$k_c = \frac{P_{Red} \cdot t_t}{P_N \cdot t_c} = \frac{k_U \cdot t_c}{t_t} \quad (1.10)$$

donde

P_{Red} : potencia consumida de la red, en kW

t_c : tiempo de conexión del equipo en minutos

t_t : tiempo de trabajo

Coefficiente de simultaneidad de los equipos (k_s)

Se define el coeficiente de simultaneidad de los equipos (k_s) como la posibilidad de conexión simultánea de equipos iguales características que trabajan en un mismo régimen dado y su función es ser uno de respaldo del otro (generalmente consumidores doblados en el sistema, para garantizar la vitalidad de la operación, típico en cadenas productivas, talleres y otros). Se

calcula como el inverso de la cantidad de consumidores o equipos iguales: $k_s = \frac{1}{n}$
(1.11)

donde

n : número de consumidores iguales que trabajan en el mismo régimen

Potencia consumida (P_C y Q_C)

Es la potencia que se consume por un receptor o un grupo de receptores. Las potencias activa (P_m) y reactiva (Q_m) en cada régimen de trabajo son las magnitudes fundamentales para el cálculo de las cargas de grupos de receptores. El turno de máxima carga es el de mayor consumo de energía eléctrica por parte del receptor o grupo de receptores del taller o de la empresa en su conjunto (normalmente el turno diurno), para los días típicos.

En las condiciones de explotación, las cargas consumidas dependen de la carga conectada al consumidor o grupo de consumidores (k_C), si son un grupo de consumidores iguales, depende, además, de la posibilidad de conexión simultánea de ellos (k_s) y se calculan con la ayuda de las expresiones siguientes:

$$P_C = k_C \cdot k_s \cdot P_i \quad (1.12)$$

$$Q_C = P_C \cdot \tan\phi \quad (1.13)$$

Coefficiente de simultaneidad del régimen de trabajo ($k_{SRég}$)

Se define el coeficiente de simultaneidad del régimen ($k_{SRég}$) está dado por la posibilidad de ocurrencia de el mismo:

$$k_{SRég} = \frac{t_r}{t_{tc}} \quad (1.14)$$

donde

t_r : tiempo de ocurrencia del régimen

t_{tc} : tiempo total del ciclo de trabajo

Potencia media consumida ($P_{m\Sigma}$ y $Q_{m\Sigma}$)

La potencia activa ($P_{m\Sigma}$) y reactiva ($Q_{m\Sigma}$), son la suma de potencias de todos los consumidores de cada régimen de trabajo, (permanente y de corta duración).

$$P_{m(perm)} = P_{m\Sigma(c. durac.)} \cdot k_{SReg} \quad (1.15)$$

$$Q_{m(perm)} = Q_{m\Sigma(c. durac.)} \cdot k_{SReg} \quad (1.16)$$

$$P_{m(c. durac.)} = P_{m\Sigma(c. durac.)} \cdot k_{SReg} \quad (1.17)$$

$$Q_{m(c. durac.)} = Q_{m\Sigma(c. durac.)} \cdot k_{SReg} \quad (1.18)$$

donde

$P_{m(perm)}$, $Q_{m(perm)}$: sumatoria de potencias activas y reactivas que trabajan permanentemente, en kW y kVAr respectivamente

$P_{m(c. dur.)}$, $Q_{m(c. durac.)}$: sumatoria de potencias activas y reactivas que trabajan en régimen de corta duración, en kW y kVAr respectivamente

$$P_{m\Sigma(perm)}, Q_{m\Sigma(perm)}: \sum_1^{n_1} P_{m\Sigma(perm.)}, \sum_1^{n_1} Q_{m\Sigma(perm.)}$$

$P_{m\Sigma(c. durac.)}$, $Q_{m\Sigma(c. durac.)}$: $\sum_1^{n_1} P_{m\Sigma(c. durac.)}$, $\sum_1^{n_1} Q_{m\Sigma(c. durac.)}$ k_{SReg} : coeficiente de simultaneidad del régimen

Potencia total consumida (P_T y Q_T)

La potencia total consumida está dada por sumatoria de potencias activas y reactivas que operan en todos los regímenes de trabajo.

$$P_T = P_{m(perm.)} + P_{m(c.durac.)} \quad (1.19)$$

$$QT = Qm(\text{perm.}) + Qm(\text{c.durac.})$$

$$(1.20) S_T = \sqrt{P_T^2 + Q_T^2}$$

(1.21)

$$\cos\varphi(\text{cál.}) = \frac{P_T}{S_T}$$

(1.22)

donde

P_T , Q_T : potencia activa y reactiva totales, en kW y kVA respectivamente $\cos\varphi(\text{cál.})$: factor de potencia calculado para el régimen de mayor demanda

Para seleccionar la potencia del servicio se tiene en cuenta el factor de potencia de cálculo, si éste es mayor de 0,9, se selecciona por la potencia activa del régimen de mayor consumo, si es menor, por la potencia aparente, siempre teniendo en cuenta la posibilidad del aumento de cargas a corto plazo producto de nuevas inversiones, modernización de instalaciones, entre otras (k_m), este coeficiente generalmente se le puede asignar valores entre 0,1 y 0,2. También debe tenerse en cuenta la pérdidas en las líneas por la distancia a que pueda estar el servicio, se puede asumir un 5 % de pérdidas en las líneas (6), por lo que su coeficiente (k_p) tomaría valor de 1,05.

$$PS = k_m \cdot k_p \cdot P_T(\text{máx.carga})$$

(1.23)

$$SS = k_m \cdot k_p \cdot S_T(\text{máx.carga})$$

(1.24) donde

$P_{T(\text{máx.carga})}$: potencia total del régimen de mayor consumo

P_S , S_S : potencia total activa o aparente del régimen de mayor consumo k_m : coeficiente de modernización de la instalación k_p : coeficiente de pérdidas en las líneas

Si se estuviera seleccionando un grupo electrógeno de respaldo total de la instalación, la selección se realiza de igual manera, pero comparando el factor de potencia de cálculo con el del generador, además se debe tener en cuenta que el respaldo de potencia de un grupo electrógeno está dado por la potencia del motor diésel, que aunque generalmente se selecciona entre un 20 a un 25 % mayor, su respuesta a incrementos bruscos de potencia no es como la de la red eléctrica y puede causar averías o desconexión de la carga. Por esta razón se tiene en cuenta un coeficiente de respaldo o seguridad del generador (k_{sg}), además,

si hay grandes diferencias de potencia entre los principales regímenes de la instalación, se debe valorar el respaldo con más de un grupo electrógeno, con el objetivo de buscar una mayor eficiencia, entonces la potencia se selecciona:

$$P_{GE} = \frac{k_{SG} \cdot km \cdot kp \cdot P_{T(máx.carga)}}{n_G} \quad (1.25)$$

$$S_{GE} = \frac{k_{SG} \cdot km \cdot kp \cdot S_{T(máx.carga)}}{n_G} \quad (1.26)$$

donde n_G : número de grupos electrógenos de respaldo k_{SG} : coeficiente de respaldo o seguridad del generador. Para trabajar con la tabla de cargas se hace de la siguiente manera:

Primeramente, se realiza un listado de los consumidores que integran el sistema eléctrico en estudio, de acuerdo a su comportamiento se separan en 2 grupos, los que trabajan de forma continua y los que trabajan por lapsos de tiempo. Pueden añadirse otros grupos de trabajo donde el comportamiento de los receptores eléctricos sea diferente a los ilustrados en el ejemplo. Una vez definidos los esto se seleccionan los regímenes de trabajo, que también pueden ser varios, en dependencia del conjunto de equipos que funcionen en un período de tiempo dado, seguidamente se procede al completamiento de la tabla. En la parte superior (roja y azul), en las 2 primeras columnas se colocan el número de orden y nombre de los consumidores. Después se rellenan los datos iniciales, cantidad de consumidores del mismo tipo o iguales, la potencia que consumen de la red, su potencia nominal, si trabajan en corta duración, los tiempos de conexión y de trabajo total del régimen en minutos, la eficiencia y factor de potencia de cada uno. Si los aspectos anteriores son escritos correctamente, la tabla se completa presentando los resultados de potencias consumida activa y reactiva de cada equipo, sus sumatorias de potencias y las potencias totales teniendo en cuenta la posibilidad de ocurrencia de cada régimen de trabajo. Como resultado final se obtienen los valores de potencias activa, reactiva y aparente, además el factor de potencia de cálculo, magnitudes necesarias para la estimación de la demanda de la instalación en estudio (7), según lo explicado en la metodología presentada con anterioridad.

CONCLUSIONES

Utilizando la tabla de cargas, se obtiene de forma interactiva y analítica los valores de demanda de la instalación en estudio.

El análisis y estudio de la tabla de cargas obliga al estudiante a profundizar en el comportamiento de los equipos dentro del sistema eléctrico, interactuar con los datos, horarios y tiempos de funcionamiento de cada uno con el fin de reducir el consumo.

Este método puede emplearse en la determinación de la potencia necesaria para seleccionar grupos electrógenos de respaldo de instalaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 Martínez Martínez, M. 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.

2 Segura Flores M. Diseño y cálculo de la instalación eléctrica de un polígono residencial [Trabajo de diploma]. Universidad Politécnica de Cartagena; 2013.

3 Alejos J. Diseño de sistemas eléctricos. Instituto Nicaragüense de Energía.

4 González A, Borges D, Martínez M. Métodos de estimación de la demanda en sistemas eléctricos de baja tensión. Universidad de Camagüey: diciembre 2017.

BIBLIOGRAFÍA

Comité Electrotécnico Cubano. Reglamento Electrotécnico Cubano. Cuba: Edición 2; 2017.

Fedorov A A, Rodríguez López E. Suministro eléctrico en empresas industriales. Cuba: Editorial Pueblo y Educación; 1985.

Schneider Electric. Guía de diseño de instalaciones eléctricas. España: 2008

6		2.00	1.50	2.00	20.00	1.00	0.85	0.90	0.75	4.00	1.94	0.04	1.00	0.15	0.07	0.04	0.50	0.08	0.04
7		5.00	3.60	4.00	20.00	10.00	0.85	0.90	0.90	20.00	9.69	0.45	1.00	9.00	4.36	0.45	0.20	1.80	0.87
8		1.00	5.20	6.00	5.00	4.00	0.85	0.90	0.87	6.00	2.91	0.69	1.00	4.16	2.01	0.69	1.00	4.16	2.01
9		1.00	7.90	8.00	6.00	1.00	0.85	0.90	0.99	8.00	3.87	0.16	1.00	1.32	0.64	0.16	1.00	1.32	0.64
10		1.00	9.00	10.00	50.00	40.00	0.85	0.90	0.90	10.00	4.84	0.72	1.00	7.20	3.49	0.72	1.00	7.20	3.49

Pm $\Sigma(\text{perm.})$	Suma de potencias permanentes											48.00	23.25			24.00	11.62		
Pm $\Sigma(\text{c.durac})$	Suma de potencias corta duración											21.83	10.57			14.55	7.05		
Pm (perm.)	Pm(perm.)· k SReg	ks REG 0.42 día =												20.00	9.69			10.00	4.84
Pm (c.durac.)	Pm(c.durac.)· k SReg	ks REG 0.58 noche =												12.73	6.17			8.49	4.11
P T, Q T	Potencias totales											32.73	15.85			18.49	8.95		
S T	Potencia aparente total											36.37				20.54			
cosϕ(cál.)	Factor de potencia de cálculo											0.90				0.90			

Anexo 2

Coeficientes de referencia para cada fase

Notación de los coeficientes	Factor de potencia de la carga monofásica conectada entre las fases ab, bc o ca.							
	0.40	0.50	0.60	0.65	0.70	0.80	0.90	1.00
p(ab)a, p(bc)b, p(ca)c	1.17	1.00	0.89	0.84	0.80	0.72	0.64	0.50
p(ab)b, p(bc)c, p(ca)a	-0.17	0.00	0.11	0.16	0.20	0.28	0.36	0.50
q(ab)a, q(bc)b, q(ca)c	0.86	0.58	0.38	0.30	0.22	0.09	-0.05	-0.29
q(ab)b, q(bc)c, q(ca)c	1.44	1.16	0.96	0.88	0.80	0.67	0.53	0.29

Recibido: 14 de mayo de 2021

Aceptado: 30 de junio de 2021

El (los) autor(es) de este artículo declara(n) que:

Este trabajo es original e inédito, no ha sido enviado a otra revista o soporte para su publicación.

Está(n) conforme(s) con las prácticas de comunicación de Ciencia Abierta.

Ha(n) participado en la organización, diseño y realización, así como en la interpretación de los resultados. Luego de la revisión del trabajo, su publicación en la revista Pedagogía Profesional.

NO HAY NINGUN CONFLICTO DE INTERÉS con otras personas o entidades.