

**EVALUACION DE LA SECCIÓN OPTIMA ECONOMICA DE LOS CONDUCTORES ELECTRICOS
 EN EL EDIFICIO PASEO COLON DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
 DE LA UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES (F.I.U.B.A.)**

C.G. Tanides¹, M.J. Cánepa², O.D. Petroni³, J. Rizzone⁴ y H.L. Soibelzon¹
 Grupo Redes y Sistemas Sustentables (GRySS), Departamento de Electrotecnia
 Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, Av. Paseo Colón 850, (1063) Capital Federal
 Tel.: (+54 11) 4343 0891 Ext. 159, Fax: Ext. 365, e mail: ctanide@fi.uba.ar

RESUMEN: Usualmente en las instalaciones de Baja Tensión (BT) los conductores eléctricos se dimensionan a partir de consideraciones térmicas y de máxima caída de tensión admisible para la función que deben cumplir. Esta metodología lleva a seleccionar la mínima sección de conductor que satisfaga los requisitos enunciados de manera tal que, la inversión inicial necesaria para realizar la instalación sea también mínima. En este trabajo se evalúa un enfoque distinto que considera las pérdidas por efecto Joule que se producen en los conductores a lo largo de la vida útil, seleccionando los conductores de forma tal de minimizar el Costo Total disminuyendo las pérdidas y haciendo un uso más racional de la energía. Se sintetiza el resultado de trabajar de esta forma en parte de la instalación del Edificio Paseo Colón de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, encontrándose posibles reducciones del orden del 4,9% en la demanda de potencia y del 1,1% en el consumo energético.

Palabras clave: sector comercial y público, eficiencia energética, instalaciones eléctricas.

INTRODUCCION

El consumo de energía eléctrica en el Sector Comercial y Público de la República Argentina ha sido el de mayor crecimiento en el período 1990-2001 alcanzando el 25,2% de la participación en el Sector Eléctrico del año 2001. Es por este motivo que desde el punto de vista de la sustentabilidad energética resulta relevante la búsqueda de estrategias para racionalizar su uso.

Existe una innumerable cantidad de medidas de uso racional de la energía eléctrica que en forma separada o integrada permiten trabajar este concepto. En la Tabla 1 se presenta un resumen de las distintas posibilidades de mejoras.

Mejora en	Ejemplos
Aparatos de uso final	Motores, lámparas, etc.
Elementos activos asociados	Bombas, ventiladores, balastos para lámparas fluorescentes, etc.
Elementos pasivos asociados	Conductores eléctricos, cañerías, conductos, válvulas, acoplamientos, pinturas claras, aislación de heladeras, etc.
Medidas arquitectónicas	Luz natural, aislación de edificios, calentamiento solar pasivo, películas aislantes en ventanas, etc.
Sistemas de control	Iluminación, aire acondicionado de edificios, velocidad de motores, etc.
Recuperación de energía	Frenado regenerativo en tracción eléctrica.

Tabla 1. Medidas de uso eficiente de la energía eléctrica.

En este contexto se ha comenzado, en trabajos previos, la tarea de caracterizar energéticamente al sector e investigando en los aparatos de uso final y en los elementos asociados al sistema que brinda el servicio energético buscado.

Dentro del ítem elementos pasivos asociados existen mejoras en las instalaciones eléctricas que permiten, a partir de su adecuado dimensionamiento y a su correcta administración, obtener ahorros adicionales. En particular la selección de la sección de los conductores que la constituyen, y los efectos del desbalance de fases sobre las pérdidas son, entre otros temas, las áreas en donde nos encontramos trabajando. Concretamente, en este estudio se avanza sobre el primer aspecto: el de la metodología de selección de la sección de los conductores en las instalaciones de BT dentro de los edificios comerciales y públicos estudiando cuáles serían los beneficios y obstáculos de modificar el procedimiento habitual.

¹ Investigador y profesor, Depto. Electrotecnia, FIUBA

² Ingeniera Electricista, docente auxiliar, FIUBA

³ Profesor, Depto. Electrotecnia, FIUBA; Jefe del Departamento Eléctrica-Eléctronica de la Dirección de Normalización de IRAM

⁴ Estudiante carrera Ingeniería Electricista, Depto. Electrotecnia, FIUBA

Se sabe que en las instalaciones eléctricas de transmisión y distribución de AT y MT, la selección de los conductores queda limitada por un conjunto de cálculos que establece, generalmente, el valor mínimo de la sección. Sintéticamente los factores considerados son: calentamiento debido a la circulación de corriente en condiciones usuales (limitada por una temperatura máxima en el año horizonte), calentamiento debido a la circulación de corriente de cortocircuito, caída de tensión (no debe superar lo normalizado en el año horizonte), efecto corona, sección límite por razones mecánicas (en líneas aéreas existe un mínimo para cada longitud de vano y material y en cables el límite se establece por razones de tracción mecánica), efectos dinámicos debidos a las corrientes de cortocircuito (los esfuerzos dinámicos a que se ven sometidos los cables durante cortocircuitos son particularmente importantes en las barras de tableros de media tensión) y por último, pero no menos importante, la sección económica que minimiza el costo total de la instalación eléctrica a lo largo de su vida útil considerando el costo inicial y el costo de las pérdidas por efecto Joule (JE).

En las instalaciones de BT no es usual considerar en la evaluación la sección económica sino que se acostumbra elegir la mínima sección que cumpla con las consideraciones ya enumeradas —cuando correspondan— minimizando sólo el costo inicial de la obra.

DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

La evaluación de la sección económica del conductor a utilizar en una instalación eléctrica consiste, básicamente, en incorporar el concepto de costo total (CT) que incluye la valoración del costo inicial y el costo de operación de las instalaciones. En este caso el costo de operación está determinado por el costo de las pérdidas (energía y demanda de potencia) por efecto Joule en los cables. Existen diferentes maneras de realizar esta evaluación. Este trabajo se ha basado en la Norma IEC 287-3-2.

El costo total de la instalación y operación del cable durante su vida económica, expresada en valor presente se calcula según lo expresa la Ec. (1).

$$CT = CI + CJ \quad [\$] \quad (1)$$

Siendo: CI : el costo de la longitud instalada del cable y; CJ : el valor presente de pérdidas por efecto Joule durante la vida útil de N años.

El costo inicial (CI), está compuesto por el costo del material y el costo de la mano de obra, mientras que el costo de pérdidas (CJ) está constituido por dos partes a saber: el costo de la energía consumida y el costo de la potencia suministrada debido al efecto Joule. La expresión que permite calcular el CT durante N años, es la siguiente:

$$CT = CI + (Imax)^2 \times R \times l \times Np \times Nc \times ((T \times P) + D) \times \frac{Q}{(1 + i/100)} \quad [\$] \quad (2)$$

Siendo: $Imax$: la carga máxima del cable durante el primer año [A]; l : la longitud del cable [m]; R : la resistencia de corriente alterna por unidad de longitud, incluyendo efectos de proximidad de conductores y pérdidas debido a pantallas y armaduras metálicas [Ω/m]; Np : el número de fases del conductor por circuito; Nc : el número de circuitos llevando el mismo tipo y valor de carga; T : el tiempo equivalente de pérdidas [h/año]; P : el costo de un kWh al correspondiente nivel de tensión [\$/kWh] y; D : el costo de la potencia suministrada por año [\$/kW.año]

El concepto de tiempo denominado “*Tiempo equivalente de pérdidas*” representa el número de horas por año que la corriente máxima necesitaría fluir para producir las mismas pérdidas de energía anuales que la carga actual variable. La norma IEC 853 define matemáticamente este tiempo mediante la siguiente integral:

$$T = \int_0^{8760} \left(\frac{I(t)}{Imax} \right)^2 .dt \quad [h/año] \quad (3)$$

Siendo t : el tiempo [h]; $I(t)$: la carga en función del tiempo [A]; $Imax$: la carga máxima del cable durante el primer año [A].

El coeficiente Q de la Ec. (2) dependerá de una tasa de actualización denominada r (ver Ec. (4)) que a su vez depende del incremento de la carga anual (a), del incremento del costo de la energía por año durante la vida útil de la instalación (b), y de la tasa de descuento (i). Como el costo de las pérdidas durante el primer año depende del cuadrado de la carga máxima anual del año base ($Imax$), y del costo de la energía (P), la tasa de actualización, r , que toma en cuenta la tasa de descuento, i , sin incluir el efecto de la inflación, resulta ser la mostrada en la Ec. (5).

$$Q = \sum_{n=1}^{n=N} (r^{n-1}) = \frac{(1 - r^N)}{(1 - r)} \quad (4)$$

$$r = \frac{(1 + a/100)^2 \times (1 + b/100)}{(1 + i/100)} \quad (5)$$

Todos aquellos datos que permanecen invariables para las distintas secciones de conductores, excepto la corriente de conductor y su resistencia, se agrupan en un coeficiente, F , expresado matemáticamente como lo muestra las Ec. (6) y (7).

$$F = Np \times Nc \times ((T \times P) + D) \times \frac{Q}{(1 + i/100)} \quad [$/kW] \quad (6)$$

$$CT = CI + (Imax)^2 \times R \times l \times F \quad [\$] \quad (7)$$

Genéricamente si se desarrolla el costo total de la instalación para distintos valores de sección de conductor se tendrá que el Costo Total alcanzará un mínimo que es el valor de la sección a adoptar para la instalación. La Figura 1 ilustra esta situación.

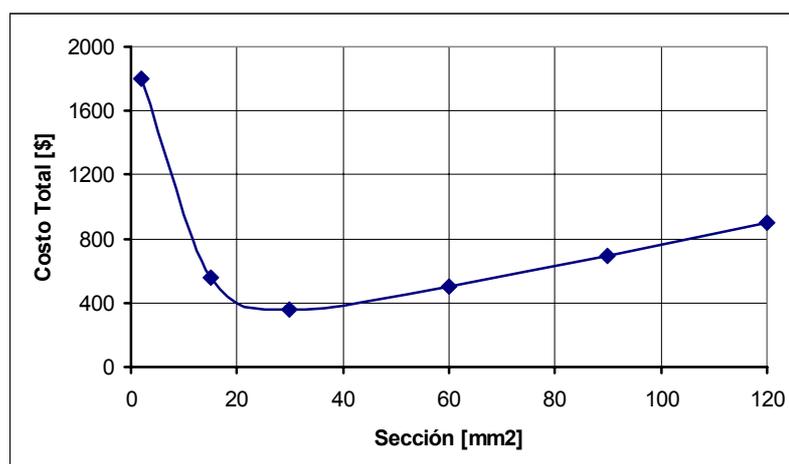


Figura 1. Curva que representa los Costos Totales en pesos durante la vida útil en función de la sección de conductor.

Rango Económico de Corrientes (REC)

En la práctica lo que se dispone no es de un continuo de secciones de conductores sino una serie normalizada. Por ello la Norma IEC 287-3-2 [IEC, 1996] sugiere un procedimiento denominado *Rango Económico de Corrientes (REC)* para minimizar los costos totales de la instalación que establece un rango de corrientes, para cada sección de conductor. Las secciones determinadas por este método son generalmente mayores que la sección seleccionada a partir del *Método Convencional (MC)*.

El método está basado en que los costos totales, CT , del recorrido de conductor a instalar con la sección mayor siguiente resultarán menores debido a que el menor costo de pérdidas, CJ , compensará el aumento en el costo inicial para un valor límite de corriente. Igualando las ecuaciones de CT para ambas secciones y despejando la corriente puede definirse entonces un valor denominado "*Límite superior $I_{máx}$* " que corresponde al límite superior de corriente que hace que disminuya el CJ al colocar una sección mayor a tal punto que, finalmente, el CT para esta sección resultará igual. Análogamente, se define un valor "*Límite inferior $I_{máx}$* " que corresponde al límite inferior de corriente que hace que aumente el costo de pérdidas al colocar una sección menor, a tal punto que el CT para esta sección resultará igual. Las corrientes límites para cada sección de conductor que definen el *REC*, se expresan en la Ec. (8)

$$\text{Límite superior } I_{\max} = \sqrt{\frac{CI_2 - CI}{F \times l \times (R - R_2)}} \quad [A]; \quad \text{Límite inferior } I_{\max} = \sqrt{\frac{CI - CI_1}{F \times l \times (R_1 - R)}} \quad [A] \quad (8)$$

Donde: CI_2 y CI_1 : son los costos de instalación de la sección mayor y menor respectivamente [\$]; CI : es el costo de instalación de la sección bajo consideración; F : ver Ec. (6); l : es la longitud del tramo [m]; R_2 y R_1 : son las resistencias por unidad de longitud del conductor de sección mayor y menor respectivamente [Ω/m] y; R : es la resistencia por unidad de longitud del conductor bajo consideración [Ω/m]

Por lo tanto, todo conductor tendrá un rango económico de corrientes dado por las condiciones de instalación simbolizadas por los valores de *Límite superior $I_{máx}$* y *Límite inferior $I_{máx}$* . De esta manera, el límite mayor y menor de la corriente económica de cada sección de conductor deberá ser tabulado y usado para seleccionar la sección mas económica para una carga en particular. Es preciso notar que:

- el límite superior de corriente económica de una sección de conductor es el límite inferior de la corriente económica para la sección de conductor que le sigue y;
- el rango económico de corriente establecido es válido sólo para las condiciones de costos de instalación, curva de carga, precios de energía y potencia, y tasas de descuento de crecimiento de la carga y de crecimiento del precio de la energía.

En el dimensionamiento se toman en cuenta otras consideraciones tales como corrientes de falla, caídas de tensión, etc.

CONSIDERACIONES ADICIONALES

Protecciones eléctricas

Un factor adicional a evaluar son las protecciones eléctricas de los tableros, ya que la corriente de cortocircuito a interrumpir se calcula según lo indica la Ec. (9) y dado que la impedancia en serie resultante de los ramales es menor cuando tienen secciones mayores, la I_{cc} puede resultar mayor y deberá recurrirse, en algunos casos, a interruptores con capacidad de ruptura mayor con costos superiores asociados a sus mayores prestaciones.

$$I_{cc} = \frac{U}{\sqrt{3} \times (Z_{red} + Z_1 + Z_2 + \Lambda Z_n)} \quad [A] \quad (9)$$

Siendo: I_{cc} = la corriente de cortocircuito en el punto de estudio [A]; U = la tensión en el punto de estudio (V); Z_{red} = la impedancia de red [Ω]; $Z_{1...n}$ = las impedancias de los ramales 1 ... n respectivamente, [Ω].

Tarifas eléctricas

A su vez, para realizar un cálculo más riguroso es necesario tener en cuenta que para grandes usuarios (potencia máxima demandada >50 kW) la tarifa vigente establece precios diferenciados en dos bandas horarias de potencia: punta (18 a 23 h) y fuera de punta, y tres bandas de consumo de energía: punta (18 a 23h), resto (5 a 18 h) y valle (23 a 5 h). Esta situación complica el cálculo pues deberán segmentarse las curvas de carga por banda y trabajar con cada una de ellas. Por lo tanto la evaluación del término: $TxP + D$ de las ecuaciones (2) y (6) deberá contemplar esta situación.

Otros

Dentro de este análisis no se han considerado las pérdidas en los dieléctricos, ni tenido en cuenta aspectos tales como el mantenimiento, la evaluación del costo de la evacuación del calor generado en los cables que realizan los equipos de aire acondicionado, entre otros.

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA AL EDIFICIO PASEO COLÓN DE LA F.I.U.B.A.

Para avanzar sobre el análisis de esta metodología se trabajó sobre el edificio Paseo Colón de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires (F.I.U.B.A.). Este edificio ocupa una manzana completa y consta de 8 plantas que abarcan una superficie cubierta aproximada de 41.400 m².

Se analizaron los conductores desde el tablero general de BT del edificio hasta los tableros seccionales en cada piso. El edificio consta de 78 paneles seccionales, de los cuales 25 son para fuerza motriz y 53 para iluminación y tomacorrientes. Se dividió al conjunto de tableros en 11 secciones representativas de distintas funciones realizándose una medición de la curva de carga diaria durante un período de una semana en cada uno de ellos con una frecuencia de 3 segundos en los tableros de ascensores y de 3 minutos en el resto de los tableros. La curva anual fue estimada a partir de esta información, auditorías, encuestas y análisis de facturación del edificio con lo cual pudo ser evaluada la corriente máxima (I_{max}) necesaria para realizar los cálculos. En la Figura 2 se ilustra la curva de carga semanal obtenida mediante este procedimiento.

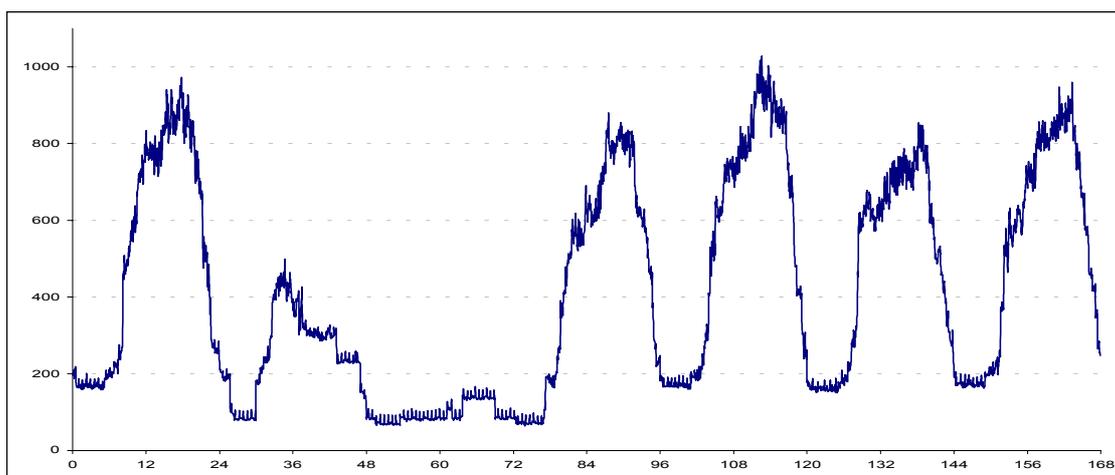


Figura 2. Curva de carga semanal de la Facultad de Ingeniería comenzando desde el viernes hasta el jueves de la semana siguiente (Cánepa y Rizzone, 2002).

Para la evaluación se trabajó con bandas de energía y potencia correspondientes a la tarifa aplicada y se consideró el reemplazo, cuando fue necesario, de los interruptores eléctricos de los tableros seccionales por otros de mayor capacidad de ruptura. El análisis se realizó utilizando una tasa de descuento $i = 11\%$ y una vida útil de la instalación $N = 30$ años.

Resultados obtenidos

Como puede apreciarse, para los valores actuales de precios de potencia y energía y para los tiempos equivalentes de pérdidas (T) hallados en este edificio ubicados entre 400 en el caso de *ascensores* y 3.000 h/año para los tableros de *pasillos y oficina*, el término D es el que prepondera y será sobre el que habrá que tener mayor atención. Los costos de energía se igualan o superan a los de potencia para valores de T iguales o mayores a 5900 h/año. En este sentido, la acción sobre la simultaneidad de las cargas representa la mejor medida. La Tabla 2 muestra algunos valores de T , $T \times P$, y D para las distintas funciones en que se caracterizó la instalación. En el caso de Laboratorios, Aulas y oficinas, Aulas y laboratorios, Oficinas, Biblioteca 2, Aulas, oficinas y pasillos los valores de T resultaron muy próximos y comprendidos entre 500 y 750 h.

En la Tabla 3 se muestran los T mínimos para cada corriente y longitud del tramo del conductor a partir del cual conviene pasar a una sección mayor determinada por el REC. Los cálculos representan una hipótesis desfavorable para la instalación eficiente pues los valores de corriente se eligieron utilizando la condición más adversa que es cuando la corriente se ubica en el mínimo valor dentro del rango de corrientes establecido para una sección por el método convencional MC.

Tableros	T [h/año]	T*P	D	Relación D/(T*P)
Oficinas y pasillos	2992,2	94,5	185	2,0
Biblioteca 1	2112,9	66,7	185	2,8
Hall Central	1395,7	44,1	185	4,2
Ascensores	396,2	12,5	185	14,8

Tabla 2. T obtenidos para los tableros monitoreados en la instalación del edificio Paseo Colón de la F.I.U.B.A.

Imáx [A]	Longitud del ramal [m]				
	10	50	75	100	150
18	650	1200	1200	1500	2450
	(2,5/4)	(4 / 6)	(4 / 6)	(6 / 10)	(10 / 16)
25	600	600	800	1250	4850
	(4 / 6)	(4 / 6)	(6 / 10)	(10 / 16)	(16 / 25)
33	440	440	750	2750	2950
	(6 / 10)	(6 / 10)	(10 / 16)	(16 / 25)	(25 / 35)
44	400	400	1550	1550	1700
	(10 / 16)	(10 / 16)	(16 / 25)	(16 / 25)	(25 / 35)
58	890	890	890	1000	3100
	(16 / 25)	(16 / 25)	(16 / 25)	(25 / 35)	(35 / 50)
89	400	400	400	1300	4500
	(25 / 35)	(25 / 35)	(25 / 35)	(35 / 50)	(70 / 95)

Tabla 3. T mínimo a partir del cual conviene la sección obtenida por el REC. Sección en mm² (Según MC / Según REC)

Puede apreciarse que en el rango de valores típicos de longitud (50 a 100 m) y corriente (25 a 60 A) en este tipo de edificios, los T son inferiores a los encontrados en la práctica. Por lo tanto son potencialmente aptos para aplicar eficiencia. También queda en evidencia que, debido al efecto de la caída de tensión, en la medida que las longitudes de ramales sean largas, el T necesario para justificar el cambio crece, debido a que las secciones de los conductores obtenidos por el MC se aproximan a la sección a la obtenida por el REC.

En la Tabla 4 se resumen los resultados más destacados de aplicar ambos métodos: costos iniciales (CI), costos por pérdidas (CJ), y costos totales (CT) en términos absolutos y relativos.

	Costos	MC	% CT _{MC}	REC	% CT _{REC}	Variación %
CI	Costo material e instalación	US\$ 22.747	22,8%	US\$ 33.536	55,7%	47,4%
	Costo protecciones	US\$ 4.539	4,6%	US\$ 5.377	8,9%	18,5%
CJ	Costo pérdidas por potencia	US\$ 66.026	66,2%	US\$ 19.678	32,7%	-70,2%
	Costo pérdidas por energía	US\$ 6.372	6,4%	US\$ 1.614	2,7%	-74,7%
CT	Costo total	US\$ 99.685	100,0%	US\$ 60.205	100,0%	-39,6%
Δ	Δ CI	43%				
	Δ CJ	- 71%				

Tabla 4. Comparación de costos finales considerando la caída de tensión y las protecciones. (Valores calculados a noviembre 2001)

Se aprecia que el porcentaje de ahorro en el costo total obtenido es de 39,60% optándose por la “sección eficiente” en el 100% de los ramales estudiados. Esto corrobora lo dicho por la norma [IEC, 1996, p.7] que establece “*For the values of the financial and electrical parameters used in this standard, which are not exceptional, the saving in the combined cost of purchase and operation is of the order of 50% (see clause A.6 in annex A).*” El costo de inversión inicial resultaría 43% mayor, sin embargo, este aumento se compensaría con el costo de pérdidas el cual resultaría 71% menor.

En particular, los mayores ahorros se obtuvieron para el caso de los tableros de “oficinas y pasillos” con longitudes que oscilan en los 50 metros aproximadamente y para un tiempo equivalente de pérdidas de 3.000 horas/año, en estos casos los ahorros posibles sobre los costos totales resultaron del 55%.

El aumento en el costo de las protecciones requeridas ha tenido poca importancia relativa en el costo total de la obra (3%). Finalmente la potencia de pérdidas demandada por el MC fue de 36,18 kW representando un 6,5% de la demanda de potencia total. En el caso del método del REC el valor resultante fue de 10,73 kW (1,9%). Para las pérdidas de energía en la instalación el MC arrojó un valor de 33,3 MWh/año constituyendo un 1,4% de la energía total consumida mientras que con el método del REC el valor obtenido fue de 8 MWh/año (0,3%). La Tabla 5 sintetiza estos valores.

	MC	Δ del total %	REC	Δ del total %	Δ %
Potencia [kW]	36,2	6,5%	10,7	1,9%	-4,9%
Energía [MWh]	33,3	1,4%	8,0	0,3%	-1,1%

Tabla 5. Pérdidas de energía y demanda de potencia por efecto Joule a partir del empleo del Método Convencional (MC) y del Rango Económico de Corrientes (REC) en la selección de los conductores del Edificio Paseo Colón de la F.I.U.B.A.

CONCLUSIONES

El ahorro más interesante tanto en términos económicos como en su implicancia para el sistema eléctrico en su totalidad resulta ser el de la disminución de la demanda de potencia que se ubica en el orden del 5%

El sobrecosto de los interruptores eléctricos con mayor capacidad de ruptura no tiene una influencia relevante en los costos totales de la alternativa de "instalación eficiente" representando tan sólo un aumento del orden del 3% en la inversión inicial.

Dados los resultados obtenidos, la utilización de esta metodología de dimensionamiento en las instalaciones eléctricas se justifica en instalaciones nuevas o en reemplazos de instalaciones existentes que deban realizarse por motivos técnicos.

Aún cuando las hipótesis utilizadas son de mínima ya que sólo se está considerando 1 tramo de conductor de la instalación, pues no fueron considerados los tramos que van del transformador de MT/BT al tablero general de BT ni los que van de los tableros seccionales a las cargas, y no se está teniendo en cuenta las pérdidas en los dieléctricos ni el calor que deben evacuar los equipos de aire acondicionado, los ahorros obtenidos resultan significativos. A partir de esto, y para proseguir con la tarea resulta necesario contar con una mejor caracterización de las instalaciones eléctricas en general: secciones de conductores empleadas, longitudes de los tramos, curvas de carga típicas, y particularidades de los distintos subsectores, para poder extrapolar los resultados a todo el Sector Comercial y Público.

ABSTRACT

The main goal of this work is to study the impact of optimising the size of electric conductors within commercial and public buildings in order to minimise electric losses and, at the same time, to reduce electric billing by considering total cost of installing and operating a cable during its economic life. As a consequence, the electric conductor selected, generally, results with a larger cross-sectional area. In this analysis for the computation of total costs it was also considered the influence of taking into account the replacement of electrical overcurrent protections, when necessary, due to the increased short-circuit current resulting from the diminished circuit impedance for larger cables. Finally, the methodology was specifically applied to the Paseo Colón building of the School of Engineering of the University of Buenos Aires. From the study it was determined the convenience of selecting the cable size resulting from optimising total costs. Considering overall energy utilisation of the building, reductions obtained are of 4.9% of the electric power demand and 1.1% on energy consumption.

Keywords: Commercial and public buildings, electric savings, electric installations

REFERENCIAS

- Canepa, M.J. y J. Rizzone, (2002). "Optimización de la sección de los conductores del Edificio Paseo Colón 850 de la FIUBA", monografía del Trabajo Profesional correspondiente a la carrera de Ingeniería Eléctricista, Departamento de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires.
- Canepa, M.J., Rizzone J. y Tanides, C.G. (2002). Estudio de la Norma IEC 287-3-2 para la optimización económica de la sección del cable de potencia. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, ISSN 0329-5184, publicado por la Asociación Argentina de Energía Solar y Ambiente, Vol. 6, 07.05-06.
- International Standard IEC 287-3-2. (1996). Part 3. Sections on operating conditions – Section 2: Economic optimization of power cable size.