

Rentabilidad de las instalaciones con embarrados de baja tensión

Maximino García Vigil

El artículo revisa los parámetros que determinan el equilibrio entre el coste de la instalación el ahorro energético en transmisiones de energía eléctrica de baja tensión, especialmente en procesos industriales en los que se requieran grandes intensidades

En instalaciones industriales donde el mismo proceso requiera unas grandes intensidades éstas están sujetas a unas pérdidas que básicamente están condicionadas por dos parámetros:

- La resistencia eléctrica del propio material (prácticamente constante).
- El propio flujo eléctrico (intensidad).

El producto de la primera por el cuadrado de la segunda nos determina las pérdidas que se generan en forma de calor:

$$W = R \cdot I^2 \quad (F1)$$

W = la potencia en vatios.

R = resistencia en ohmios.

I = la intensidad en amperios.

Generalmente, los elementos empleados como conductores son el cobre (Cu), y puntualmente, el aluminio (Al), dispuestos en barras según la intensidad a transmitir. Aunque también existen actualmente en el mercado fabricantes que ofrecen el producto en conductores estándar (blindos-barra), que se adaptan prácticamente a todas las necesidades, dando al conductor una protección adecuada además de facilitar su instalación.

En una instalación determinada ade-

cuada a la intensidad I necesaria, nos aparece el parámetro R (resistencia de la instalación).

Para este caso, nuestras pérdidas energéticas serían. $W = R \cdot I^2$. ¿Qué pasaría si, doblando nuestra inversión, instaláramos dos conductores en lugar de uno? La intensidad se dividiría entre los dos conductores y tendríamos las pérdidas siguientes:

$$W = R \cdot (I/2)^2 + R \cdot (I/2)^2 \quad (F2)$$

En este caso, las pérdidas se dividen por la mitad.

La instalación más rentable sería la que lograra equilibrar los costes de instalación y el ahorro energético.

Pérdidas por efecto joule

En las transmisiones de energía eléctrica a baja tensión, las pérdidas principales son debidas directamente al material empleado.

Se puede hacer una distinción significativa dependiendo de si es corriente continua o alterna.

Para la corriente continua, y a 20° C, la resistencia se expresa por:

$$R_{20^\circ C} = R \cdot L/s \quad (F3)$$

Siendo:

R = resistencia del material en $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$

L = longitud del conductor en Km

s = sección efectiva en mm^2

Siendo R para el Cu comercial igual a 17,6 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$. y para el Al, 28,6 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$.

Otro factor a tener en cuenta son las variaciones de temperatura, las cuales afectan sensiblemente la resistencia según:

$$R_{tcc} = R_{20^\circ C} [1 + a \cdot (t - 20^\circ C)] \quad (F4)$$

Donde t es la temperatura y a es igual a 0,0039 para el Cu y 0,0040 para el Al.

Para el caso de corriente alterna, la resistencia sería:

$$R_{ca} = R_{cc} \cdot (1 + X_s + X_p) \quad (F5)$$

Siendo:

Xs incremento de la resistencia debido al efecto Skin.

Xp incremento de la resistencia debido al efecto proximidad.

En los conductores con envolvente metálica, pantalla o armadura, se originan unas corrientes parásitas que generan unas pérdidas adicionales de escasa influencia.



Coste por eliminación de pérdidas energéticas en forma de calor

En nuestras instalaciones (sala eléctrica, centros de distribución, etc.) normalmente nos vemos en la necesidad de eliminar el calor que se genera, que más que molesto para la propia estancia, resulta perjudicial para los equipos instalados.

Veamos de qué forma se puede compensar ese calor:

Existen en la práctica tres formas básicas de eliminación de la energía calorífica (refrigeración).

- Mediante ventilación natural. Se realiza instalando las rejillas de ventilación necesarias, y así se generará una circulación natural del aire mediante convección.

- Mediante ventilación forzada, es decir, instalando ventiladores o extractores que regeneren aire suficiente. Para este caso, el caudal de aire necesario sería:

$$Q = 3,1 \cdot m^3 \cdot ^\circ C / h \cdot W \cdot P(w) / Dt(^{\circ}C) \quad (F6)$$

Siendo:

Q = caudal en m³/h

P = potencia a disipar en w

Dt = diferencia de temperatura en °C (5-7°C)

Aplicando la fórmula F6 para un kw obtenemos los siguientes resultados

(según se tome Dt igual a 5°C o a 7°C), que serían: 620 m³/h a 443 m³/h.

Según las distintas formas constructivas de los ventiladores, el consumo necesario por m³/h de aire, varía aproximadamente entre 0,078 w por m³/h y 0,034 w por m³/h, lo que nos hace tener un consumo de ventilación por kw a disipar que varía entre 48 w a 15 w por kw.

- Mediante equipos de climatización. Este sistema puede ser de distintas variedades según fabricante o filosofía de instalación (bombas de calor, condensadores por aire, etc.). En cualquiera de los casos, el equipo a instalar precisa de un consumo de energía para su funcionamiento.

Dependiendo del sistema empleado o incluso del fabricante, la necesidad energética para compensar un kw varía de 0,48 a 0,55 kw.

Por consiguiente, en una instalación donde tengamos pérdidas en forma de calor, si no queremos que nos aumente la temperatura del local, debemos sumar un coste energético adicional para compensar estas pérdidas, ya sea mediante climatización o ventilación forzada.

Cálculo de la amortización anual para una inversión

En la realización de cualquier instalación,

ésta nos va a suponer unos costes de inversión que, en función de los años previstos de amortización, se traducen en unos costes anuales. La determinación del coste anual de amortización viene determinado por la siguiente expresión:

$$Cc = Cp \cdot r / 100 \quad (F7)$$

Siendo:

Cp = capital a amortizar

r = (p*qⁿ)/(qⁿ-1)

q = (p/100)+1

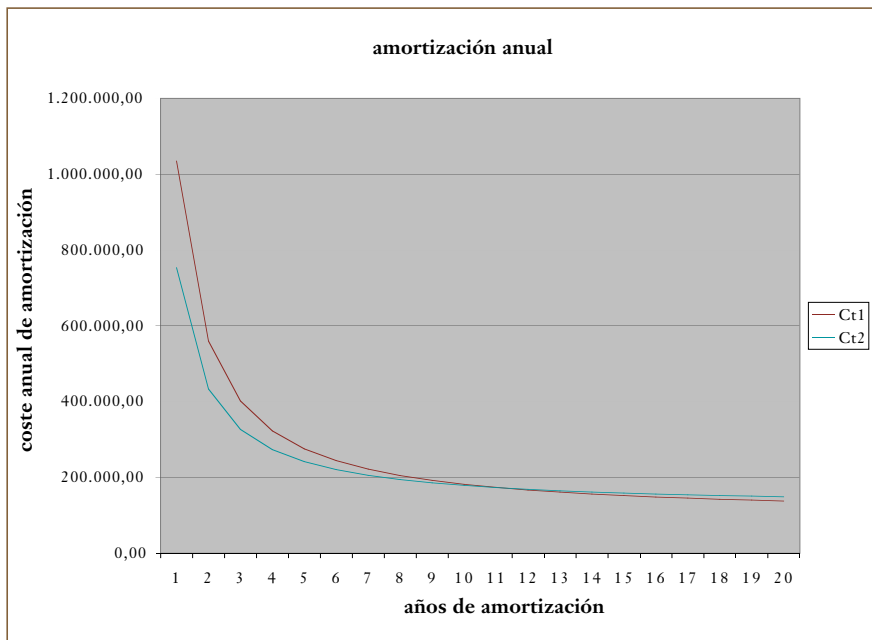
p = interés anual

n = años de amortización de nuestra instalación.

Hay que tener en cuenta, que los años de amortización previstos siempre han de ser inferiores a los años de vida de nuestra instalación.

Cálculo de la instalación más rentable

Supongamos un hipotético proceso industrial donde se precisen grandes intensidades, para lo cual prevemos una instalación a base de embarrados o blindos barra como medio de transporte de la energía eléctrica. Una vez resuelto técnicamente el proyecto de instalación, nos



aparecen unos costes, que en función de los años de amortización previstos, y según la expresión F7 serían:

Ci_1 = coste de la instalación propiamente dicha expresado en coste anual de amortización.

Ccl_1 = coste de la instalación de climatización expresado en coste anual de amortización (bien sea por ventilación o por climatización).

A esta instalación, hay que añadir unos costes adicionales anuales debidos a:

Pérdidas energéticas por rendimiento de la instalación Pw_1 (pérdidas energéticas anuales) y Pcl_1 (pérdidas energéticas por consumo de los equipos de climatización, el consumo anual de los equipos).

Si multiplicamos las expresiones anteriores por el coste del kwh obtendremos:

CPw_1 = coste de las pérdidas energéticas en un año.

$CPcl_1$ = coste de los consumos de equipos de climatización en un año.

Las pérdidas energéticas por rendimiento de la instalación Pw_1 dependen de varios factores:

$$Pw_1 = K_1 * I_{eq}^2 * T \quad (F8)$$

Siendo:

K_1 = la constante propia de la instalación. Es la propia resistencia de los conductores.

I_{eq} = la intensidad térmica equivalente consumida. Depende directamente del factor de servicio de la instalación.

T = tiempo de trabajo de la instalación.

Los consumos energéticos de los equipos de climatización vienen determinados por dos sumandos:

$$Pcl_1 = Pcl_{1I} + Pcl_{1P} \quad (F9)$$

Siendo:

Pcl_{1P} = el consumo energético de los equipos de climatización debido a las pérdidas energéticas Pw_1 .

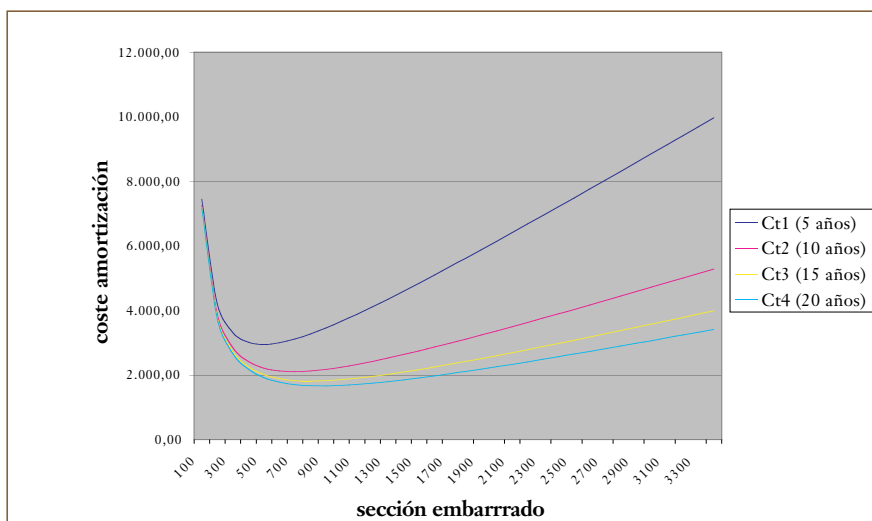
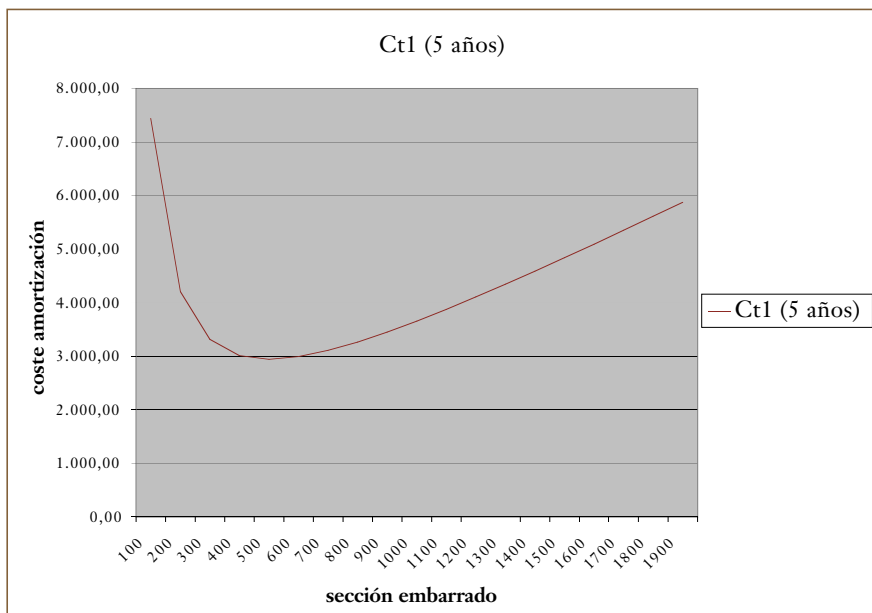
Pcl_{1I} = el consumo energético de los equipos de climatización del resto de la instalación.

Los consumos energéticos Pcl_{1P} son especialmente importantes cuando se opta por un sistema de climatización, sin embargo, no son tan significativos para un sistema de ventilación.

Por consiguiente, podríamos resumir el coste anual de amortización de nuestra instalación en la siguiente expresión.

$$Pt_1 = Ci_1 + Ccl_1 + CPw_1 + CPcl_1 \quad (F10)$$

Supongamos la resolución del problema anterior con un incremento de embarra-



Cálculo de la amortización anual para una inversión.

dos. Tendríamos la siguiente expresión:

$$Pt_2 = Ci_2 + Ccl_2 + CPw_2 + CPcl_2 \quad (F11)$$

En este caso, aparentemente, se trata de una instalación de coste superior:

Ci_2 será superior a Ci_1 .

CPw_2 será inferior a CPw_1 según la expresión F8.

$CPcl_2$ será inferior a $CPcl_1$ según la expresión F9.

Ccl_2 será igual o inferior a Ccl_1 .

Por lo tanto, tendríamos para el primer caso unos costes inferiores en instalación, pero unos costes de pérdidas y consumos de climatización anuales superiores al segundo caso.

Como ejemplo práctico, supongamos dos instalaciones, las dos válidas técnicamente, pero con distintos costes de partida:

– Primera instalación

Coste de instalación 600.000 €.

Coste de equipos de climatización 20.000 €.

Coste anual por pérdidas 60.000 €.

Coste anual por consumos de climatización 30.000 €.

- Coste total de la inversión 620.000 €.

- Coste anual por pérdidas y consumos 90.000 €.

– Segunda instalación

Coste de instalación 900.000 €.

Coste de equipos de climatización 20.000 €.

Coste anual por pérdidas 30.000 €.

Coste anual por consumos de climatización 20.500 €.

- Coste total de la inversión 920.000 €.

- Coste anual por pérdidas y consumos 50.500 €.

Partiendo de las dos instalaciones, y utilizando la expresión F7 tendremos un coste total de amortización anual que sería:

$$Cc_1 = Cp_1 * r / 100 + CPw_1 + CPcl_1$$

para nuestra primera instalación, siendo Cp_1 el coste de la inversión en instalación más el coste de los equipos de climatización.

$$Cc_2 = Cp_2 * r / 100 + CPw_2 + CPcl_2$$

para nuestra segunda instalación, siendo Cp_2 el coste de la inversión en instalación más el coste de los equipos de climatización.

Representando ambas funciones y partiendo de un interés anual p del 7% y de una variación de los años de amortización n de 5 a 20 años, obtenemos las curvas del gráfico N°1 donde se puede apreciar que el coste de amortización anual

es inferior para la segunda instalación a partir de los once primeros años.

Por consiguiente, nuestra segunda instalación resulta más rentable si los años de amortización estimados son superiores a once.

Determinación de la sección más rentable

En el ejemplo anterior, se pudo comprobar cual de las dos instalaciones era más rentable partiendo de una estimación de interés anual. El problema que se nos plantea resulta más complejo, ya que se trata de determinar la instalación más rentable partiendo de unas necesidades iniciales y de unos años de previsión de amortización.

Planteando la ecuación:

$$Cc = Cp * r / 100 + CPw + CPcl \quad (F12)$$

De donde:

Cc = coste de amortización a determinar.

Cp = coste de la instalación, que se compone de dos sumandos: C_{pK} , que corresponde a los costes fijos de la instalación y C_{ps} , que corresponde a los costes dependientes de la sección de los embarrados. Esto se puede resumir en la expresión $C_{ps} = k_s S$.

r depende del interés p estimado y de los años de amortización previstos.

CPw depende de la sección estimada s (resistencia eléctrica), de la intensidad térmica I_e y de una constante que depende del material empleado como conductor K_r , así como del tiempo de trabajo T y del coste estimado del kwh C_{kwh} . Si resumimos la expresión, tendremos: $CPw = KrTC_{kwh} I_e^2 / s$

$CPcl$ = depende en parte de CPw multiplicado por una constante K de valor inferior a 1.

Por consiguiente, podemos replantear la ecuación de la siguiente manera:

$$Cc = (C_{pK} + k_s S) * r / 100 + KrT C_{kwh} I_e^2 / s + KKrT C_{kwh} I_e^2 / s \quad (F13)$$

C_c nos da una función $f(s)$ que depende de la sección s .

La representación de esta función para unos años de amortización $n = 5$ y un interés $p = 7\%$ es la correspondiente al gráfico número 2. Para varios años de amortización podemos consultar el gráfico número 3.

Si queremos determinar el coste mínimo, tenemos que realizar la derivada primera de F13 en función de s y posteriormente, igualarla a cero. Despejando

de la función resultante, obtendremos la sección más rentable.

$$d(Cc) / ds = ks * r / 100 - KrT C_{kwh} I_e^2 / s^2 - KKrT C_{kwh} I_e^2 / s^2 \quad (F14)$$

Igualando a cero la derivada, obtendremos el mínimo.

$$0 = ks * r / 100 - (1 + K) T C_{kwh} K_r I_e^2 / s^2$$

$$ks * r / 100 = (1 + K) T C_{kwh} K_r I_e^2 / s^2$$

$$s = \sqrt{\frac{(1 + K) T C_{kwh} K_r I_e^2}{ks * r / 100}} \quad (F15)$$

La sección determinada puede no corresponder con ninguno de los valores estándar existentes en el mercado. Si se diera el caso, deberíamos optar por el más aproximado.

Conclusión

Aunque este estudio está planteado para instalaciones con embarrados, nos puede surgir el mismo problema (determinar el coste más rentable) en instalaciones de potencia con cables de baja tensión o, yendo más allá, en cualquier tipo de instalación donde exista una transmisión de energía sometida a unas pérdidas que dependen de la propia configuración del medio para transportar el fluido.

Bibliografía

- Siemens. *Power Engineering Guide. Transmission and Distribution.*
- Llorente Antón, M. *Cables Eléctricos Aislados. Descripción y aplicación práctica*
- Soler y Palau. *Catálogo comercial.*
- Moeller. *Canalizaciones eléctricas prefabricadas CK.* C.S. Catálogo comercial.
- Roca & York. *Aire acondicionado.* Catálogo comercial.

AUTOR

Maximino García Vigil

Ingeniero técnico industrial. Entre sus proyectos más significativos están los siguientes: mantenimiento eléctrico de puentes grúa de hasta 380 T de corriente alterna y continua Acería LD III, Ensidesa; mantenimiento eléctrico y mecánico de puentes grúa en la nave de prensas, Zona Franca, Seat Barcelona; mantenimiento eléctrico y mecánico de cadenas transportadoras en la nave de fabricación de motores, Seat Barcelona; mantenimiento eléctrico y mecánico de puentes grúa en la nave de prensas, Martorell, Seat Barcelona; mantenimiento electromecánico de la depuradora de Ripoll; preparación del proyecto eléctrico de ampliación del parque de minerales del puerto Ordaz, Ferrominera del Orinoco, Venezuela; realización de presupuestos y ofertas; montaje de centros de transformación, Auxini; reforma subestación de la azucarera de Benavente, Azucarera Española; remodelación línea electrocincado, Sidmed. En la actualidad realiza anteproyectos y estudios económicos para presupuestos.