Selección del conductor eléctrico

Presentado por

José Alejandro Noy Estrada

Alison Daniela Nuñez Martínez

Director Rolando Andrés Rincón Saravia, MBA

Magíster en Dirección de Empresas

Codirector Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga, PhD, MSc

Doctor en Tecnología - Magíster en Informática Industrial y Automática

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones (E3T)

Bucaramanga

2026

Tabla de contenido

1. Parámetros para la selección del conductor……4

1.1 Conductores evaluados 4

1.2 Capacidad de corriente..... 4

2. Cálculo económico de conductores 5

2.1 Costo Total (CT)..... 5

2.2 Costo de instalación (CI) 6

2.3 Costos de operación y mantenimiento (CM) 6

2.4 Comparación del costo total de los conductores evaluados..... 8

2.5 Paridas de potencia de los conductores..... 9

2.6 Selección técnico-económica del conductor..... 10

Referencias..... 10

Lista de tablas

Tabla 1. Conductores evaluados para la selección....4
Tabla 2. Corriente máxima de fase por ruta....4
Tabla 3. Corriente del conductor por fase....5
Tabla 4. Comparación económica de los conductores evaluados....8
Tabla 9. Perdida de conductores eléctricos....9

Lista de figuras

Figura 1. Grafica Costo inicial, costo operativo y costo total de los cables ……..……..10

1. Parámetros para la selección del conductor

1.1 Conductores evaluados

Las características eléctricas y mecánicas de los conductores ACSR corresponden al catálogo técnico Procables. Los precios unitarios se toman de la Lista de Precios Sugeridos Procables N.° 97, vigente desde el 6 de enero de 2026. [1]

Tabla 1. Conductores evaluados para la selección

Conductor	Diámetro [mm]	R AC 75 °C [Ω/km]	Ampacidad [A]	Icc 1 s [kA]	Masa [kg/km]	Precio [COP/m]
Sparrow 2 AWG	8,0	1,090	184	5,0	135	$ 2.997,00
Raven 1/0 AWG	10,1	0,713	242	8,0	215	$ 4.692,00
Quail 2/0 AWG	11,4	0,581	276	10,0	270	$ 5.923,00
Penguin 4/0 AWG	14,3	0,388	369	16,0	430	$ 9.457,00

El conductor ACSR Sparrow 2 AWG se selecciona como calibre de diseño debido a que cumple los requerimientos eléctricos de la red, presenta una ampacidad de 184 A y una capacidad térmica de cortocircuito de 5 kA durante 1 s, mientras que la corriente máxima de línea calculada es de 3,936 A, lo que representa una utilización de apenas 2,139 % de su capacidad de corriente. Por tanto, el conductor dispone de margen suficiente para la carga proyectada y para las condiciones de cortocircuito consideradas. Utilizar calibres superiores aumentaría la capacidad disponible sin aportar una necesidad técnica adicional para las condiciones de diseño establecidas, por lo que el ACSR Sparrow 2 AWG constituye la alternativa adecuada para el proyecto y cumple con lo establecido por el operador de red de la región, ENERCA.

1.2 Capacidad de corriente

Para realizar el cálculo de corriente, primero se deben identificar las corrientes entre fases.

Tabla 2. Corriente máxima de fase por ruta

Ruta	Corriente [A]

T01	2,9372
T02	2,3871
T03	1,3673
T04	0,8930
T05	0,6812
T06	1,5249
T07	0,7223

Una vez definidas las corrientes de cada ruta, se determina la corriente de diseño del conductor, considerando para media tensión un margen de seguridad del 15 %. [2]

$$I_{cond} = I_{nom} * 1.15 \qquad \text{Ecuación 1}$$

Fuente: ENERCA, Norma de Construcción de Redes de MT y BT, Cap. III, numeral 3.1.1.

Tabla 3. Corriente del conductor por fase

Ruta	Corriente [A]
T01	3, 3778
T02	2, 7452
T03	1, 5724
T04	1, 0269
T05	0, 7834
T06	1, 7536
T07	0, 8306

2. Cálculo económico de conductores

2.1 Costo Total (CT)

El costo total (CT) de un conductor se determina al sumar su costo de instalación (CI) y su costo de mantenimiento y operación proyectado (CM), el cual también se conoce como costo de

pérdidas, dado que abarca los gastos asociados a las pérdidas de energía. El cálculo económico de conductores debe realizarse para los conductores de la red media tensión para el tramo que va desde el punto de conexión del proyecto hasta el sistema de medida. [2]

A continuación, se presenta la formulación y parámetros económicos y eléctricos para tener en cuenta para calcular ambos tipos de costos y se presentará el procedimiento para identificar el conductor más adecuado, considerando que:

$$CT = CI + CM \quad \text{Ecuación 10}$$

Fuente: ENERCA, Norma de Construcción de Redes de MT y BT, Cap. III, numeral 3.1.4.

2.2 Costo de instalación (CI)

El costo de instalación se refiere a los gastos que debe asumir el propietario de una red al colocar equipos o componentes necesarios para soportar, proteger y realizar las canalizaciones o tendido de conductores en una instalación. Este costo se considera un monto fijo que permanece constante a lo largo del tiempo. [2]

$$CI = CIunitario \times l \quad \text{Ecuación 11}$$

Fuente: ENERCA, Norma de Construcción de Redes de MT y BT, Cap. III, numeral 3.1.4.

Donde:

$CIunitario$ = Costo unitario por m asociado a la compra, transporte e instalación de los conductores.

l = Longitud del tramo en m.

$$CI = [(\$\ 7.50400)*(\ 36{,}379)] = \$\ \$272.988.016{,}00$$

2.3 Costos de operación y mantenimiento (CM)

El costo de operación y mantenimiento es aquel que se ve afectado de manera directa por las características y el comportamiento de la carga en un período específico. Para calcular este costo, es fundamental determinar el tiempo de uso de la instalación, el costo del kWh según el tipo de usuario, las pérdidas de energía, el incremento de la carga y la configuración de los conductores, incluyendo su material y número de fases.[2]

Una vez seleccionado el conductor, de tal manera que no supere los valores de pérdidas permitidos, se procede a calcular los costos asociados a las pérdidas por efecto Joule. La Guía Técnica Colombiana (GTC 221) define los costos operativos de la siguiente forma:

$$CM = I^2 \times R \times l \times \text{F} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$F = \frac{N_c*(t*E*p)*Q}{1+i} \quad \text{Ecuación 13}$$

4.

$$Q = \sum_{n=1}^{N} * r^{n-1} \quad \text{Ecuación 14}$$

$$r = \frac{(1+a)^2(1+b)}{1+i} \quad \text{Ecuación 15.}$$

Donde:

I = Carga máxima del conductor durante el primer año.
R = Resistencia nominal del conductor.
l = Longitud del circuito o ramal evaluado.
Nc = Número de circuitos.
t = Tiempo de operación anual (máximo 8760 horas).
E = Costo de un kwh al nivel de tensión en el cual se encuentra la medida.
p = Costo anual de las pérdidas técnicas en el circuito o ramal evaluado.
i = Tasa de descuento.
N = Tiempo de vida útil del proyecto en años.
Q = Coeficiente que tiene en cuenta el aumento de la carga (a), el aumento el costo de la energía (b) a lo largo de N años y la tasa de descuento.
r = Factor de aumento de carga y costo de energía.
a = Aumento anual de la demanda en porcentaje.
b = Aumento anual del costo de la energía.

Fuente: ENERCA, Norma de Construcción de Redes de MT y BT, Cap. III, numeral 3.1.4

- Cálculo de factor de aumento de carga y costo de energía

$$r = \frac{(1 + 0.0252)^2(1 + 0.0300)}{1 + 0.1209} = 0.965801$$

- Coeficiente acumulado de crecimiento y descuento

$$Q = \sum_{n=1}^{45} * 0.965801^{n-1} = 23.1321$$

$$F = \frac{1 * (525.961{,}66) * 23.1321}{1 + 0.1209} = \$\ 109.088{,}56$$

- Costo de operación y mantenimiento

$$CM = (3.936)^2 \times 1.09 \times 14.425 \times 109.088{,}56 = \$\ 26.572.455{,}91$$

- Costo Total

$$CT = \$ \$272.988.016{,}00 + \$ 26.572.455{,}91 = \$299.560.471{,}91$$

2.4 Comparación del costo total de los conductores evaluados

Para realizar la comparación económica de los conductores evaluados se aplica una metodología uniforme, de manera que todas las alternativas sean analizadas bajo las mismas condiciones de longitud, carga y horizonte económico. El costo total de cada conductor se determina como la suma del costo inicial de instalación CI y el costo de operación asociado a las pérdidas eléctricas CM.

Para el cálculo del costo inicial, se toma como referencia el costo unitario instalado del conductor ACSR Sparrow 2 AWG. A partir de este valor se separa el precio propio del conductor del componente asociado a transporte e instalación. La diferencia obtenida se adopta como un costo común de instalación por metro para las demás alternativas, mientras que para cada conductor se conserva su precio unitario de catálogo.

Por otra parte, el costo de operación y mantenimiento se determina a partir de las pérdidas por efecto Joule, utilizando la misma corriente de diseño, longitud del circuito y factor económico para todas las alternativas. La variable que cambia entre conductores es la resistencia eléctrica.

En consecuencia, los conductores de mayor calibre presentan una resistencia menor y, por tanto, un costo de pérdidas inferior. Sin embargo, su costo inicial aumenta debido al mayor precio por metro del conductor. Esta metodología permite comparar de forma homogénea las alternativas y determinar el costo total de cada una.

Debe indicarse que el componente de transporte e instalación utilizado para Raven, Quail y Penguin se adopta como una hipótesis común derivada del valor aplicado al Sparrow.

El costo total de cada alternativa se obtiene sumando el costo inicial asociado al conductor y el costo de pérdidas llevado a valor presente. Los cálculos para las alternativas evaluadas son los siguientes:

Tabla 4. Comparación económica de los conductores evaluados

Conductor	CI unitario [COP/m]	CI [COP]	CM [COP]	CT [COP]
Sparrow 2 AWG	7.504	$272.988.016,00	$26.572.455,91	$299.560.471,91
Raven 1/0 AWG	9.199	$334.650.421,00	$17.381.799,14	$352.032.220,14
Quail 2/0 AWG	10.430	$379.432.970,00	$14.163.850,35	$393.596.820,35
Penguin 4/0 AWG	13.964	$507.996.356,00	$9.458.819,17	$517.455.175,17

El análisis económico evidencia que los conductores de mayor calibre reducen el costo asociado a las pérdidas CM, debido a su menor resistencia eléctrica. Sin embargo, esta reducción no compensa el incremento del costo inicial CI.

El ACSR Sparrow 2 AWG presenta el mayor costo por pérdidas entre las alternativas, pero su menor inversión inicial permite obtener el menor costo total, con $299.560.471,91. Por tanto, dentro de las opciones evaluadas, mantiene la alternativa económicamente más conveniente para las condiciones de carga consideradas.

2.5 Paridas de potencia de los conductores

Al aumentar el calibre del conductor, disminuye su resistencia eléctrica, en consecuencia, se reducen las pérdidas por efecto Joule. Para las mismas condiciones de carga y longitud de la red, el Sparrow 2 AWG presenta las mayores pérdidas, mientras que Raven 1/0 AWG, Quail 2/0 AWG y Penguin 4/0 AWG presentan valores progresivamente menores, a continuación, en la tabla 9 podemos observar estos valores.

Las pérdidas de los demás conductores se obtuvieron tomando como referencia las pérdidas calculadas para el Sparrow 2 AWG, iguales a 100,2705 W. Como para todos los conductores se mantienen las mismas corrientes y longitudes de la red, las pérdidas cambian únicamente en función de la resistencia del conductor.

Se utiliza la relación:

$$P_{perdidas} = P_{Sparrow}\left(\frac{R_{conductor}}{R_{Sparrow}}\right) \quad \text{Ecuación 16}$$

Fuente: elaboración propia con base en ENERCA, Norma de Construcción de Redes de MT y BT, Cap. III, numeral 3.1.3.

Tabla 9. Perdida de conductores eléctricos

Conductor	Pérdidas [W]
Sparrow 2 AWG	100,2705
Raven 1/0 AWG	65,59
Quail 2/0 AWG	53,45
Penguin 4/0 AWG	35,70

El Sparrow 2 AWG presenta las mayores pérdidas, con 100,2705 W, mientras que Raven, Quail y Penguin reducen este valor a 65,59 W, 53,45 W y 35,70 W, respectivamente.

Respecto al Sparrow, la reducción de pérdidas es aproximadamente del 34,59 % para Raven, 46,69 % para Quail y 64,40 % para Penguin.

Aunque las pérdidas de potencia disminuyen a medida que aumenta el calibre del conductor, esta reducción no genera una disminución del costo total del proyecto. En la Tabla 8 se observa que el

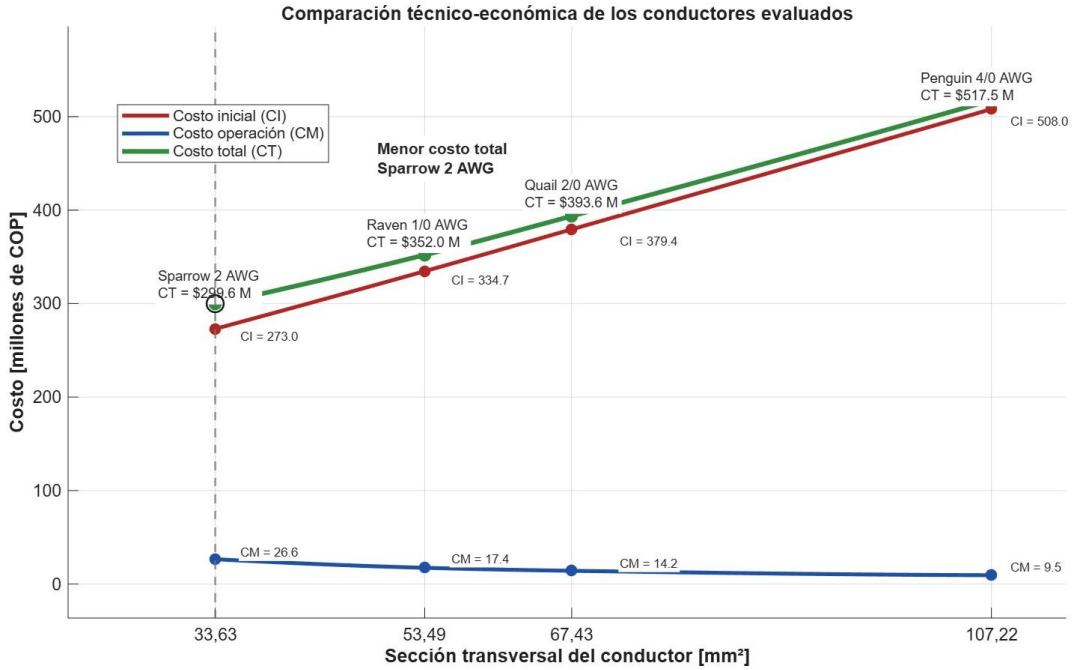
costo total CT aumenta progresivamente desde $299.560.471,91 para el Sparrow 2 AWG hasta $517.455.175,17 para el Penguin 4/0 AWG.

Esto se debe a que la reducción del costo asociado a las pérdidas no compensa el incremento del costo inicial CI de los conductores de mayor calibre. Por esta razón, aunque Raven, Quail y Penguin presentan menores pérdidas eléctricas, su mayor inversión inicial hace que el CT sea superior al correspondiente al Sparrow 2 AWG.

2.6 Selección técnico-económica del conductor

La evaluación de los criterios técnicos y económicos confirma al ACSR Sparrow 2 AWG como la alternativa seleccionada para la red de media tensión. El conductor presenta un desempeño adecuado frente a las condiciones de carga previstas y satisface los criterios eléctricos considerados en el diseño. Si bien el incremento del calibre permite disminuir las pérdidas de potencia, dicha mejora no representa un beneficio suficiente frente al aumento de la inversión requerida. Las alternativas Raven, Quail y Penguin presentan mayores costos totales, por lo que el sobredimensionamiento del conductor no resulta justificable para las condiciones actuales del proyecto. En consecuencia, el Sparrow 2 AWG ofrece la relación más favorable entre desempeño eléctrico, inversión inicial y costo total, permitiendo atender los requerimientos de la red sin incurrir en costos adicionales que no generan una mejora proporcional en la operación. Por estas razones, es el conductor seleccionado para el proyecto.

Figura 1. Grafica Costo inicial, costo operativo y costo total de los cables.



Nota: Grafica realizada por los autores con Matlab.

Referencias

[1] *ACSR (Aluminum Conductor Steel Reinforced) Procables*. (s. f.). https://co.prysmian.com/sites/co.prysmian.com/files/media/documents/FT-ACSR.pdf?utm_source

[2] *CAPÍTULO III REDES ELÉCTRICAS EN MEDIA TENSIÓN NORMA DE CONSTRUCCIÓN DE REDES DE MEDIA y BAJA TENSIÓN ENERCA*. (s. f.). https://www.enerca.com.co/media/b55bliip/nr-mmd-peg-01_capitulo-iii.pdf

[3] *CRITERIOS DE DISEÑO DE LA RED DE ELECTRIFICACIÓN RURAL*. (2019). https://www.essa.com.co/site/Portals/14/Docs/Norma%20tecnica/Adenda%20Rural/NORMA_DE_ELECTRIFICACION_RURAL-NTR-27-12-2019.pdf?utm_source

[4] *Guía Metodológica: Cálculo de conductor económico*. (2019). https://www.cens.com.co/Portals/cens/institucional/Especificaciones/Documentos-en-revision/norma-tecnica/Guias-complementarias-de-dise%C3%B1o-grupo-EPM/GM-01-guia-metodologica-calculo-de-conductor-economico.pdf

[5] *MATLAB Login | MATLAB & Simulink*. (s. f.). https://matlab.mathworks.com/