

CAPITULO 8

LOS CABLES DE CONECCION

MATERIAL CONDUCTOR OPTIMO

El cable de conexión representa el componente indispensable para el transporte de la energía eléctrica entre los diferentes bloques que integran un sistema FV. Resulta inevitable que parte de esta energía se pierda en forma de calor, ya que la resistencia eléctrica de un conductor nunca es nula. El material más indicado para la fabricación de un cable conductor representa un compromiso entre un bajo valor de resistividad y el costo del mismo. El cobre ofrece hoy día la mejor solución. La información contenida en este capítulo está dada para este tipo de material.

RESISTENCIA DE UN CONDUCTOR

La resistencia eléctrica de un material conductor está dada por la expresión:

$$R = (\rho \cdot L) / A \quad (1)$$

donde ρ (rho) representa el valor de resistividad lineal ($\Omega \cdot m$), L es el largo del conductor (m), y A es el área de la sección del mismo (m^2). El valor de ρ depende de dos variables: el material conductor y la temperatura de trabajo que éste alcanza. La expresión (1) indica que para un dado material conductor y temperatura (ρ constante), si el valor del área A permanece constante, el valor de la resistencia aumenta con su longitud. De igual manera puede deducirse que si ρ y L permanecen fijos, la resistencia del conductor se reduce si el área de su sección aumenta. La mayoría de los cables utilizados en instalaciones eléctricas tienen una sección circular. Cuando el área del conductor aumenta, también lo hace su diámetro. Por lo tanto, para una dada longitud, un aumento en el diámetro significa una menor caída de voltaje en el cable (menores pérdidas de energía), pero un mayor costo (más volumen por unidad de longitud).

NORMA AWG

La dependencia entre el diámetro y el área del conductor permite establecer un método de clasificación para los cables. A determinados diámetros se les asigna un número en una escala arbitraria, al que se conoce como el calibre del conductor. Esta escala se la conoce como el AWG (*American Wire Gauge*, calibre americano para conductores), y es utilizada dentro y fuera de los EEUU.

El rango de calibres para nuestra aplicación comienza con el calibre 4/0 (4 ceros), al que corresponde el mayor diámetro. El número de ceros disminuye hasta alcanzar el valor 1/0. A partir de este valor el calibre del cable está asociado a un valor numérico creciente (2, 4, 6, etc). Es importante recordar que para estos calibres el diámetro del conductor se **reduce** cuando el valor numérico asignado **aumenta**. Para nuestra aplicación el máximo valor numérico que se utiliza es el 16, ya que la resistencia

CAPITULO 8- LOS CABLES DE CONECCION

eléctrica por unidad de longitud resulta excesiva para calibres superiores a este valor. Los calibres 4/0 y 3/0 son raramente usados, pues son difíciles de instalar, tienen un elevado peso por unidad de longitud y un costo muy elevado.

DIAMETROS RELATIVOS

La Figura 8.1 muestra, en forma comparativa, los diámetros de varios de los calibres AWG. Las características eléctricas y mecánicas de los mismos están resumidas en la Tabla 8.7, al final de este capítulo. El diámetro en mm especificado para cada calibre corresponde al del conductor *sin aislación alguna*. Los valores resistivos, ohms por cada 100m, corresponden al valor de ese calibre *a una temperatura de 25°C*.

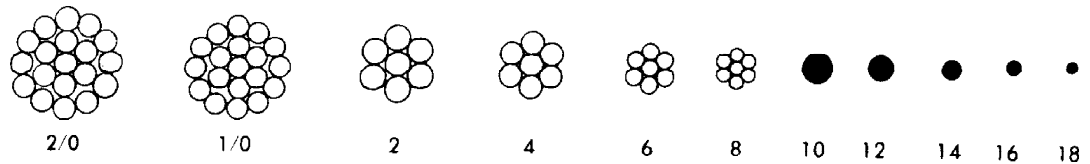


Fig. 8.1- Diámetros Relativos de Varios Calibres AWG

CONDUCTOR SOLIDO Y MULTI-ALAMBRE

Existen dos tipos de conductores: el de un solo alambre (*wire*, en inglés) y el multialambre (*cable*, en inglés). Los calibres de mayor diámetro no pueden tener un solo conductor pues su rigidez los haría poco prácticos. Es por ello que los cables con calibres entre el 8 y el 4/0 son fabricados usando varios alambres de menor diámetro, los que son retorcidos suavemente para que conserven una estructura unificada. La Figura 8.2 muestra estos dos tipos. Dos cables de un calibre, conectados en paralelo, es otro recurso práctico para incrementar el área efectiva de conducción.

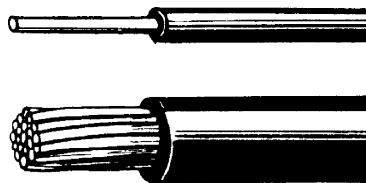


Fig. 8.2- Conductor Sólido y Multialambre

La norma define, para cada calibre, el valor de la corriente máxima, en amperes, que es permitido por el código eléctrico de los EEUU (*ampacity*, en inglés). Este valor no debe ser sobrepasado, por razones de seguridad (excesiva disipación de calor).

AMPERAJE MAXIMO

Los cables usados en instalaciones eléctricas tienen, salvo raras excepciones, una cobertura exterior que provee aislación eléctrica y resistencia mecánica al conductor. El material usado en la cobertura exterior es muy importante, pues determina el uso del mismo. Distintos tipos de cubiertas permiten enterrar el cable bajo tierra, usarlo en lugares con alta humedad y/o temperatura, o volverlos resistentes a ciertas sustancias químicas o a la radiación ultravioleta. Para identificar las distintas aplicaciones se usan letras, las que representan la abreviación de palabras en inglés. Estas letras se imprimen a intervalos especificados por las normas, a lo largo de la cubierta exterior.

**TIPOS
NM Y NMC**

Para uso interno, como es el caso dentro de las casas, se usa el tipo NM (*Non-Metallic*, cobertura no metálica). Este tipo de cable tiene una cobertura de plástico que envuelve a dos o tres conductores. Cuando hay tres cables bajo la misma cobertura, dos de ellos tienen aislación, mientras que el tercero es un alambre desnudo.

En los EEUU el cable de tres conductores tipo NM se lo conoce, popularmente, como cable ROMEX. Como estos cables son comúnmente usados en circuitos de CA, uno de los cables tiene aislación de color negro, el otro blanca. Estos dos colores conforman con la norma estadounidense para el cable vivo y el neutral, respectivamente (Apéndice I). El cable desnudo se lo usa como conexión de tierra. Una variación de este cable es el tipo NMC, el que es diseñado con una cobertura que resiste la humedad. El tipo NM necesita de un ambiente de baja humedad. La Figura 8.3 muestra la estructura física de un cable NM con tres conductores.

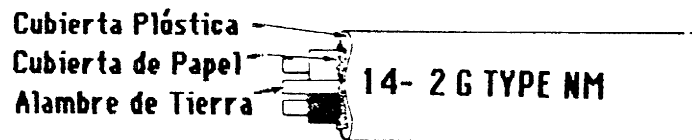


Fig. 8.3- Cable Tipo NM o NMC

**MARCAS
ADICIONALES**

El cable de la Figura 8.3 muestra marcas adicionales impresas en la cobertura plástica. En particular, el número 14 corresponde al calibre AWG de cada uno de los conductores, y la marca 2 G significa que dos de los conductores tienen aislación, mientras que el tercero es un alambre desnudo para conexión a tierra (*Ground*, en inglés). Otra leyenda que suele ser impresa en la cubierta es el valor del voltaje máximo de trabajo.

Para uso exterior se ofrecen dos tipos: el USE (*Underground Service Entrance*, servicio de entrada bajo tierra) y el UF (*Underground Feeder*, alimentador bajo tierra). El código eléctrico americano exige que un cable UF, de ser enterrado, tenga fusibles de protección en el lugar donde se inyecta la potencia eléctrica. Ambos tipos de cable pueden ser enterrados, evitándose el uso de postes de sujeción. Estos cables pueden adquirirse como cable de un solo conductor o en una estructura similar a la usada por el tipo NM, donde se agrupan dos o más conductores dentro de la cubierta exterior, dependiendo del calibre. La Figura 8.4 muestra un cable del tipo USE con un solo conductor.



Fig. 8.4- Cable Tipo USE

Cables del tipo THW (*Temperature-Humidity-Weather*, temperatura, humedad, clima) sirven para uso a alta temperatura (expuestos al sol) o en lugares con alto nivel de humedad ambiente. El tipo TH es similar, pero no es aconsejable en lugares con alta humedad ambiente. Algunas versiones tienen el recubrimiento aislante resistente a la radiación ultravioleta, retardando el deterioro de la cobertura aislante. Pueden utilizarse en aplicaciones exteriores, pero no pueden ser enterrados directamente en el suelo como los tipos USE o UF.

CAPITULO 8- LOS CABLES DE CONECCION

RESISTENCIA Y TEMPERATURA Hemos visto que el valor de la resistividad (ρ) depende de la temperatura de trabajo del conductor. El valor de la resistencia eléctrica de un cable conductor a una temperatura superior a los 25°C está dada por la expresión:

$$R_t = R_{25} \times (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

donde R_t es la resistencia a la temperatura t , α es un coeficiente de proporcionalidad cuyo valor, para el cobre, es 0,00043 1/°C, y ΔT es la cantidad de grados que la temperatura de trabajo del conductor supera los 25°C. Esta fórmula nos dice que por cada 10°C que sube la temperatura sobre la ambiente, el valor de la resistencia se incrementa en un 4,3 %. El amperaje máximo especificado para un determinado calibre disminuye con la temperatura, como lo muestra la Tabla 8.5. El nuevo valor se obtiene multiplicando el valor para 25°C por el coeficiente dado en la Tabla 8.5.

Tabla 8.5- Coeficiente de Reducción del Amperaje Máximo

TEMPER. Grados C	TIPO DE CABLE		TEMPER. Grados C	TIPO DE CABLE	
	UF	USE, THW TW		UF	USE, THW TW
26 - 30	0,93	0,93	41 - 45	0,66	0,76
31 - 35	0,84	0,87	46 - 50	0,54	0,69
36 - 40	0,76	0,81	51 - 55	0,38	0,62

PERDIDAS DE POTENCIA Un circuito activo (corriente circulando) sufre una pérdida de potencia en los cables que interconectan el sistema. Para un determinado valor de la corriente de carga, esta pérdida es proporcional a la caída de voltaje en los mismos (Apéndice I). Como se verá más adelante, durante el proceso de diseño del sistema se estima la pérdida porcentual de potencia que éste sufrirá. Esto equivale a estimar el mismo valor porcentual para la caída de voltaje. Usando este concepto, los Srs. John Davey y Windy Dankoff dedujeron una fórmula que permite calcular un llamado “Índice de Caída de Voltaje” (ICV) que puede ser utilizado para determinar el calibre adecuado del cable a usarse. El artículo original fué publicado en la revista Home Power (#14, págs 32 y 33). Con la autorización de sus autores, daremos la descripción del método de cálculo. El valor del ICV está dado por la expresión:

$$ICV = \frac{A \times D}{\%CV \times V_{nom.}} \times 3,281$$

Donde A es el número de amperes en el circuito, D es la distancia (en una sola dirección) entre los dos puntos a conectarse, $\%CV$ es el porcentaje de caída de voltaje y V_{nom} es el valor nominal del voltaje del sistema.

El factor 3,281 debe ser usado si la distancia se mide en metros. Si la distancia es en pies (ft) no debe ser considerado.

La tabla 8.6 relaciona los valores del ICV con los calibres de los cables.

Tabla 8.6- Relación entre el ICV y el AWG

Calibre AWG	ICV	Calibre AWG	ICV
4/0	99	6	12
3/0	78	8	8
2/0	62	10	5
1/0	49	12	3
2	31	14	2
4	20	16	1

EJEMPLO

Veamos un ejemplo, donde los valores son los siguientes: A = 5A; D = 12 m, %CV = 2% y Vnom = 12V. El valor del coeficiente ICV resultará ser:

$$ICV = (5 \times 12 \times 3,281) / (2 \times 12) = 196,86 / 24 = 8,20$$

Vemos que el valor más cercano en la tabla es 8, el que corresponde a un calibre AWG8. La Tabla 8.7 muestra que el valor numérico del calibre se incrementa (cable de menor diámetro) cuando el ICV disminuye. Si en lugar de 12V el sistema fuere de 24V, el ICV se reduciría a la mitad, pudiéndose usar un AWG10 con holgura. Cuando el valor del ICV tiene un valor intermedio entre dos dados en la Tabla, **siempre elija el calibre de mayor diámetro.**

VERIFICACION

El coeficiente ICV no contempla ninguna corrección por aumento de temperatura en el conductor. Sus valores corresponden a una temperatura de trabajo de 25°C. En general, esto no constituye un problema, pues la elección del calibre es lo suficientemente amplia como para compensar por esta omisión.

Si desea verificar la selección, puede calcular la potencia disipada en el cable a mayor temperatura, siguiendo los pasos dados en el Apéndice I.

TABLA 8.7- Cables de Cobre a 25 C

Calibre AWG No	Resistencia W/100 m	Amperaje Máximo (A)*			Dimensiones	
		TIPO DE CABLE			Diám. mm	Area cm ²
		UF	USE, THW TW, THWN	NM		
4/0	0,01669	211	248		13,412	1,4129
3/0	0,02106	178	216		11,921	1,1161
2/0	0,02660	157	189		10,608	0,8839
1/0	0,03346	135	162		9,462	0,7032
2	0,05314	103	124		7,419	0,4322
4	0,08497	76	92		5,874	0,2710
6	0,1345	59	70		4,710	0,1742
8	0,2101	43	54		3,268	0,0839
10	0,3339	32	32	30	2,580	0,0523
12	0,5314	22	22	20	2,047	0,0329
14	0,8432	16	16	15	1,621	0,0206

NOTAS:

* Estos valores contemplan hasta 3 conductores por envoltura.

Obsérvese que para valores de resistencia de menos de $0,1\Omega / 100\text{ m}$, el valor está dado con cinco (5) cifras decimales, para mayor precisión.

La máxima temperatura de trabajo para los tipos USE y TH es 75°C .

La máxima temperatura de trabajo para el tipo UF es 60°C .