



CAPITULO 8

CABLES DE CONECCION

Introducción Capítulo 8- CABLES DE CONECCION

Introducción

La selección de los cables de conexión en un sistema de distribución de bajo voltaje (sistema FV), es importante porque:

- ◆ El nivel de la corriente de carga es elevado.
- ◆ Estos cables están expuestos a condiciones ambientales extremas (calor, frío, humedad, rayos ultra-violetas, etc), y, en algunos casos, al ataque de roedores.
- ◆ La caída de voltaje entre la entrada y la salida debe mantenerse baja (entre un 3 y un 4% del valor nominal).

Cuando se instala el cableado de distribución en una casa, la corriente total se divide en varios sectores de carga, de manera que los cables pueden ser dimensionados para corrientes menores que el total dictado por la carga.

Cuando se vinculan los paneles FVs al bloque de carga, la corriente no puede ser dividida, de manera que por estos cables circulará la corriente total del sistema, incluyendo las pérdidas.

En sistemas de 120V de CA, cuando una carga es muy elevada (secadores de ropa o calentadores eléctricos de agua) se tiene el recurso de usar un voltaje más elevado (voltaje entre fases de 208 V), lo que disminuye la demanda de corriente.

Las condiciones ambientales de los cables de distribución domésticos, salvo el calor y la humedad relativa, suelen ser menores que para cables expuestos a la intemperie.

Aspectos del cableado

Aspectos del cableado

El análisis del cableado de un sistema FV comprende dos aspectos diferentes:

- ☞ **Las características físicas del conductor (metal usado, longitud, y superficie de la sección conductora).**
- ☞ **El tipo de aislación requerida por las condiciones de uso.**
- Las características físicas definen la resistencia eléctrica y mecánica del conductor, los diámetros para varios tipos, así como la variación de la resistencia cuando aumenta la temperatura de trabajo.
- El tipo de aislación contempla, para las condiciones ambientales en donde el cable va a ser usado, cual es el material aislante más adecuado.

Resistencia eléctrica

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

$$R (\Omega) = (L \cdot \rho) / S \quad (8.1)$$

donde **L** es la **longitud** del conductor (**m**), **ρ** (**rho**) es la letra griega que representa la **resistividad** del material (**Ω.m**) y **S** la **superficie** de la sección conductora (**mm² = 10⁻⁶ m²**). La expresión (8.1) muestra que la resistencia de un conductor es directamente proporcional al valor de ρ (metal usado), y su longitud, e inversamente proporcional a la superficie de su sección transversal. Cuando el conductor tiene una sección circular, el valor del área varía con el **cuadrado** del diámetro, ya que:

$$S = \pi \cdot r^2 = \pi/4 \cdot D^2 \quad (8.2)$$

donde **r** es el radio y **D** el diámetro de la sección circular ($D = 2 \cdot r$).

El valor de **ρ** depende no sólo del material usado para fabricar el conductor, pero de la temperatura de trabajo del mismo.

Nota: *La gran mayoría de los conductores tienen una sección circular, pero existen asimismo conductores en barra, de sección rectangular o cuadrada.*

La Tabla I proporciona los valores de **ρ** para los cuatro mejores conductores metálicos, a una temperatura de 20°C.

TABLA I
Resistividad en Ω.m a 20°C

METAL	SIMBOLO	RESISTIVIDAD (x 10 ⁻⁸ Ω.m)
Plata	Ag	1,629
Cobre	Cu	1,724
Oro	Au	2,440
Aluminio	Al	2,828

Como el valor del oro y la plata es muy elevado, el cobre y el aluminio son los metales de mayor interés. De la tabla se deduce que el valor de **ρ** a 20°C para el aluminio es 1,64 veces más alto que el del cobre, y de allí que este metal sea el más usado de los dos. Pero la menor resistividad del cobre no es la única característica favorable de este metal, ya que, además:

- ☺ **Es fácil de soldar.**
- ☺ **Tiene un alto valor de tensión mecánica, lo que facilita el proceso de extrusión* usado para fabricar alambres redondos y el tendido de cables entre soportes fijos.**

* *Tirado de una barra a través de varias formas cónicas huecas.*

Su costo, superior al del aluminio, no ha sido un impedimento que restringiera el alto grado de aceptación alcanzado hasta el presente. En este manual las datos publicados son válidos sólo para este tipo de material.

El valor dado por la inversa del valor de ρ representa la **conductividad** del material, la que se mide en Siemens ($\text{Si} = 1/\Omega$). La letra griega σ (sigma) se utiliza para identificar este parámetro, de manera que $1/\rho = \sigma$.

Notas: *En un mercado dominado por el cobre, el uso del aluminio requiere que los contactos de amarre sean tratados para que no se cree una diferencia de voltaje entre el cable (Al) y el terminal (Cu).*

Si estos materiales establecen un contacto directo, se creará un par galvánico, y la presencia de la humedad ambiente establecerá una corriente del ánodo (Cu), al cátodo (Al) la que deteriora al metal con menor potencial galvánico (cátodo de aluminio).*

**Tomando al hidrógeno como referencia ($V=0$), se puede medir el potencial galvánico de varios metales. Este valor, para algunos metales, es positivo (ánodos), y para otros, negativos (cátodos).*

Resistencia vs temperatura

La resistencia de un conductor a temperaturas superiores a los 20°C (R_t) está dada por la expresión:

$$R_t = R_{20} (1 + \alpha \cdot \Delta t) \quad (8.3)$$

donde R_{20} es la resistencia a 20°C , α es el coeficiente de temperatura por grado $^\circ\text{C}$ y Δt es el incremento de temperatura por sobre los 20°C . Para el cobre, el valor de α ($0,0043/\text{C}$) se mantiene constante entre 0 y 100°C .

La expresión (8.3) nos indica que por cada 10°C de aumento en la temperatura del conductor, el producto $\alpha \cdot \Delta t$ se incrementa $0,043$, lo que representa un $4,3\%$ de aumento para el valor inicial de la resistencia.

AWG

En los EEUU al diámetro de un cable conductor se le asigna un número, al que se conoce con la sigla **AWG** (*American Wire Gauge*) que significa calibre de cables americano. Originalmente, esta nomenclatura numérica guardó una relación directa con el número de pases que eran requeridos por la barra de cobre a través del orificio de extrusión, para poder obtener un diámetro determinado. Esto explica porqué los **diámetros mayores** están asociados con los **números más bajos**. Cuando aparecieron calibres superiores al AWG 1, se debió recurrir a la identificación de los mismos usando un número variable de ceros. Se tienen así los cables 0, 00, 000 y 0000, cada uno de ellos con diámetros cada vez mayores. Estos diámetros suelen ser escritos, en forma abreviada, como 1/0, 2/0, 3/0 y 4/0.

Notas: *Muchas de las tablas para cables provienen de los EEUU. En ellas la unidad usada para la longitud es el pie (ft) y el diámetro del conductor suele ser dado en **circular mils** (milésimas circulares).*

Un diámetro de un circular mil corresponde a un conductor cuyo diámetro es de $0,001''$ ($''$ es la abreviación inglesa para la pulgada). Diámetros superiores a 4/0 están dados en Kcircular mils (1.000 mils).

La Figura 8.1 muestra los diámetros relativos (no absolutos) para cables desde el 00 (o 2/0) hasta el número 18.



Figura 8.1- Diámetros relativos para cables desnudos

La Tabla II resume varios de los parámetros eléctricos y dimensiones para cables desnudos de cobre con diámetros entre AWG 18 y 4/0. Los mayores diámetros son alcanzados agrupando conductores de menor diámetro, lo que permite incrementar la flexibilidad del conductor, ya que los conductores externos podrán deslizarse con respecto a los internos cuando el conductor es curvado. Los conductores multi-cables tienen una menor tendencia a cortarse cuando se los flexiona durante el conecionado, y resultan más fáciles de manipular.

Notas: *Tablas originadas en los EEUU dan los valores para una longitud de 100' (donde ' es la abreviación inglesa para el pié).*

Para conocer el valor métrico equivalente lea el Apéndice III.

TABLA II

Calibre AWG	Diam. mm	Area mm ²	Resistencia a 20°C ohm/Km	Tipo
18	1,020	0,823	21,8	Sólido
16	1,290	1,310	13,7	Sólido
14	1,630	2,080	8,6	Sólido
12	2,050	3,310	5,4	Sólido
10	2,590	5,260	3,4	Sólido
8	4,775	8,403	2,2	49/25*
6	5,334	13,575	1,5	133/27*
4	6,257	21,587	0,80	133/25*
2	8,331	34,327	0,50	133/23*
1	9,271	43,282	0,40	133/22*
1/0	11,786	54,581	0,31	133/21*
2/0	12,700	68,858	0,25	133/20*
3/0	12,928	84,286	0,20	259/22*
4/0	15,392	106,289	0,16	259/21*

* Estos tamaños son ofrecidos con otras combinaciones de hilos(número y AWG del "strand").

Alambres y cables

Quando se tiene un solo conductor, se habla del **alambre** de conducción, cuando se tienen varios alambres retorcidos (o paralelos), se habla del **cable** de conducción. Los cables tienen más flexibilidad que los alambres, como ya se indicó, y se venden con o sin aislación (cables desnudos), dependiendo de la aplicación. Por ejemplo el típico cable a tierra nunca lleva aislación. La Figura 8.2 muestra un alambre y un cable, ambos con aislación exterior.



Figura 8.2- Alambre y cable conductor

Debo destacar que los cables son ofrecidos, asimismo, en diámetros pequeños, los que suelen usarse en lugares donde la conexión necesita cierto grado de flexibilidad mecánica. Para estos cables se proporciona no sólo el valor AWG correspondiente a su diámetro, pero dos valores complementarios: la cantidad de alambres usados y el valor del AWG de los mismos. Así, por ejemplo, un cable **AWG 26 - 7/34** alcanza su diámetro (AWG 26) usando siete alambres retorcidos de calibre 34. Cada alambre que forma el cable se llama, en inglés, *strand* (hilo). A un cable de este tipo se lo llama “*stranded cable*”.

Cubertura aislante

Los materiales aislantes que cubren a los conductores no sólo proveen aislación eléctrica, pero proporcionan protección ambiental y resistencia mecánica a la fricción (tirado de cables dentro de un conducto o expansión y contracción con variaciones de temperatura). Al respecto, cuando la protección mecánica debe mejorarse, se usa una capa adicional, la que se conoce, en inglés, como “*jacket*”. Nylon suele ser el material más usado para este propósito.

En aplicaciones industriales la aislación debe, a veces, evitar que salte un arco a través de ella, o proveer una protección ambiental contra la acción corrosiva de sustancias químicas (gasolina, aceites, ácidos). En sistemas FVs de bajo voltaje la protección ambiental es la más importante ya que los cables exteriores estarán expuestos a la radiación solar (rayos ultravioletas) así como a altas o bajas temperaturas y/o humedad ambiente.

De ser posible, entierre el cable, a fin de protegerlos de temperaturas extremas. Para estos casos se requiere una aislación especial, la que se reconoce por las designaciones **UF** (*Underground Feeder*), alimentador bajo tierra o **SEU** (*Service Entrance Underground*), cable de entrada de servicio bajo tierra.

Otro tipo de cable, usado para interconectar las baterías en un banco de reserva, debido a su flexibilidad y ampacidad, es el cable para máquina de soldar eléctrica, el que se ofrece en AWG 4 o 2 (*Battery jumper*).

Marcado de cables

Como era de esperar existen varias marcas de identificación, impresas sobre la superficie aisladora, a intervalos regulares a lo largo del material aislante, que sirven para definir sus propiedades, así como el tipo y número de conductores. Mencionaré las más comunes.

Voltaje máximo

Este valor puede ser dado en volts de CA, CC o CA/CC. El valor de CA corresponde al valor pico de la onda sinusoidal (Apéndice II).

Máxima temperatura

Este valor, dado en general en grados centígrados (°C), representa la máxima temperatura de trabajo que puede soportar el material aislador sin deteriorarse. Este parámetro, en circuitos FVs, es extremadamente importante, como acabo de indicar.

Los cables modernos soportan fácilmente los 90°C, pero el usado para instalaciones hogareñas de 120V, conocido como cable ROMEX, sólo tolera los 60°C. Cuando el cable tiene una aislación que tolera los 105°C se lo marca XHHW (**XHH** = eXtra **H**igh **H**eat), temperatura muy alta.

Material aislante

Con el advenimiento de los materiales plásticos, el algodón impregnado o la goma fueron remplazados por compuestos sintéticos (plásticos), los que ofrecen características especiales, ya sea para resistir agentes corrosivos, altas temperaturas y humedad ambiente, o altos voltajes de aislación.

Para indicar el tipo o propiedad de estos materiales, se utilizan letras que corresponden, en general, a la primera letra de una palabras inglesa asociada con esa característica. Por ejemplo, la letra **T** significa termoplástico (*Thermoplastic*). La Tabla III dá una lista de las más communes.

TABLA III
Tipos de aislaciones

T	<i>(Thermoplastic)</i>	Material termoplástico
H	<i>(Heat resitant)</i>	Resistente al calor (<i>heat</i>).
W	<i>(Weather-resistant)</i>	Resistente a la humedad.
A	<i>(Asbestos)</i>	Asbesto. Este material está prohibido en la actualidad.
M	<i>(Mineral oil)</i>	Resistente a los aceites.
N	<i>(Nylon)</i>	Cubertura exterior de nylon.
NM	<i>(Non-Metalic)</i>	Cubertura exterior de nylon (no metálica).
R	<i>(Rubber)</i>	Goma.
S	<i>(Silicon rubber)</i>	Goma siliconada.
FEP	<i>(Teflon)</i>	FET y TFE representan dos formulaciones del Teflon
TFE	<i>(Teflon)</i>	
PVC	<i>(Polyvinyl Chloride)</i>	Cloruro de polivinilo.
UF/USE	<i>(Underground Feeder/ Underground Service Entrance)</i>	Cables que permiten ser enterrados bajo tierra.

El PVC es sin duda el más usado por su alta resistencia a las temperaturas y voltajes de aislación (600 V/1.500°C, así como a la humedad ambiente.

Nota: *Los negocios especializados en vender componentes y cables para la industria renovable ofrecen cables para altas temperaturas y con protección contra la radiación ultra-violeta.*

Ejemplos de marcaciones

1. La cubierta tiene la marcación **THWN**.

Esto indica que se ha usado un material termoplástico para la cubierta aislante (T), la que es resistente al calor (H) y la humedad ambiente (W) y tiene una cubierta exterior de nylon (N). Los límites de temperatura y humedad están dados en las especificaciones del producto, aunque es común que haya una segunda marcación con el máximo para la temperatura de trabajo.

2. La cubierta tiene la marcación **12/3W/G NM**.

Esto indica que dentro de una aislación no metálica (NM) hay tres cables AWG12 (**12/3**), uno de ellos siendo el de tierra (**W/G**) (*with ground*) el que no tiene aislación.

3. La cubierta tiene la marcación **4/0-3 SEU**.

Esto significa que dentro de la isolation hay tres cables AWG4/0 y que su aislación permite enterrarlo bajo tierra. Usualmente un metro, más hondo si el clima es muy frío, para evitar la zona de congelación.

Corriente máxima: ampacidad

Las tablas para conductores suelen agregar, para cada valor de AWG el de la **ampacidad**, o máximo valor para la corriente que puede circular por el mismo. El lector debe observar que condiciones se han tenido en cuenta al derivar los valores presentados. He observado que algunas tablas no especifican las condiciones de medición, mientras que otras proporcionan valores para un solo conductor al aire libre, lo que no es muy práctico.

Las normas eléctricas de los EEUU definen a la ampacidad como el máximo valor de la corriente que puede sostener el conductor, en forma continua (o con breves intermisiones) sin dañarse. Esta última condición implica que el **límite máximo de temperatura** para la aislación usada nunca es sobrepasado.

La definición dada tiene una consecuencia práctica: la temperatura máxima de la aislación, así como el valor de la temperatura ambiente determinan la ampacidad de un alambre o cable de conducción.

La Tabla IV proporciona los valores de ampacidad para diferentes tipos de cables y aislaciones, para una temperatura ambiente de 30°C, cuando se tienen hasta tres (3) conductores por conducto o dentro de una aislación. La Tabla V muestra el coeficiente de corrección que deberá aplicarse para temperaturas por debajo o superiores a los 30°C. Ambas Tablas están ubicadas al final de este capítulo.

TABLA IV
Valores de Ampacidad a 30°C en Amperes

AWG	Máxima Temperatura de la Aislación		
	60°C	75°C	90°C
	Tipos	Tipos	Tipos
	TW UF	RHW THW THWN XHHW USE	FEP FEPB RHH THHN THWN XHHW
14	20	20	25
12	25	25	30
10	30	35	40
8	40	50	55
6	55	65	75
4	70	85	95
3	85	100	110
2	95	115	130
1	110	130	150
1/0	125	150	170
2/0	145	175	195
3/0	165	200	225
4/0	195	230	260

TABLA V

Rango de Temperatura Ambiente (°C)	Factores de corrección aplicables para cada grupo de aislación de la Tabla IV		
21 - 25	1,08	1,05	1,04
26 - 30	1,00	1,00	1,00
31 - 35	0,91	0,94	0,96
36 - 40	0,82	0,88	0,91
41 - 45	0,71	0,82	0,87
46 - 50	0,58	0,75	0,82
51 - 55	0,41	0,67	0,76
56 - 60	NU	0,58	0,71
61 - 70	NU	0,33	0,58
71 - 80	NU	NU	0,41

NU: No Usable a esta temperatura ambiente