CONDUCTORES ELECTRICOS

PROCOBRE
La Conexión Vital.

Manual Técnico elaborado para
PROCOBRE - CHILE por
PRIEN - Programa de Investigaciones en Energía,
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
Universidad de Chile
Ingeniero Jorge Araya Díaz
Ingeniero francisco Sandoval Ortega

Registro de Propiedad Intelectual
Inscripción N° 127.374
ISBN: 956-7776-08-3

Primera Edición 2001

Nueva de Lyon 096, Of. 305, Providencia, Santiago
Fono: (56-2) 335 3264, Fax: (56-2) 335 3264, anexo 111
www.procobre.org

INDICE

1 ¿QUE ES UN CONDUCTOR ELECTRICO? 2

1.1 Tipos de conductores de cobre 2

1.2 Partes que componen los conductores eléctricos 3
1.2.1 El alma o elemento conductor 3
1.2.2 Características de los aislantes 4
1.2.3 Cubierta protectora 4

1.3 Clasificación de los conductores eléctricos de acuerdo a su aislación y número de hebras 4

1.4 Clasificación de los conductores eléctricos de acuerdo a sus condiciones de empleo 6

2 DIMENSIONAMIENTO DE CONDUCTORES ELECTRICOS 13

2.1 Capacidad de transporte de los conductores 13

2.2 Factores de corrección a la capacidad de transporte 15
2.2.1 Instalaciones al aire libre 16
2.2.2 Instalaciones enterradas 17
2.2.3 Instalaciones de varios cables agrupados 18
2.2.4 Conexión de varios cables en paralelo 23

2.3 Dimensionamiento por caída de voltaje de alimentadores con carga concentrada 23
2.3.1 Relaciones básicas 23
2.3.2 Líneas resistivas puras 23
2.3.3 Líneas cortas inductivas 24

2.4 Efecto de la posición de los conductores en la reactancia total de la línea 24

2.5 Dimensionamiento por caída de tensión en alimentadores con carga distribuída 26
2.5.1 Criterio de la sección constante 26
2.5.2 Criterio de la sección cónica 26

2.6 Dimensionamiento de conductores para motores 27
2.6.1 Circuitos que alimentan un motor 27
2.6.2 Circuitos que alimentan un grupo de motores 28

2.7 Conductores para circuitos de iluminación 29

2.8 Conductor para alimentador que sirve a diferentes cargas 30

2.9 Dimensionamiento de conductores por corriente de cortocircuito 31

2.10 Conductor para neutro de alimentadores 31

3 Consideraciones económicas en la selección de un conductor 33

3.1 Procedimiento para determinar la sección óptima económica de conductores 33

3.2 Utilización de una herramienta computacional para el dimensionamiento óptimo técnico y económico de conductores: Evalsel 2.1 39

4 VERIFICACION DE LAS INSTALACIONES ELECTRICAS 41

4.1 Inspección de la instalación eléctrica 41

4.2 Mediciones y ensayos de la instalación 43

4.3 Mediciones de aislación y puestas en marcha 43
4.3.1 Medición de aislación 43
4.3.2 Medición de la “puesta a tierra” 44
4.3.3 Medición resistencia de pisos 45
4.3.4 Ensayo de polaridades 46
4.3.5 Ensayos de tensión aplicada 46

1. ¿QUE ES UN CONDUCTOR ELECTRICO?

Se aplica este concepto a los cuerpos capaces de conducir o transmitir la electricidad.

Un conductor eléctrico está formado primeramente por el conductor propiamente tal, usualmente de cobre.

Este puede ser alambre, es decir, una sola hebra o un cable formado por varias hebras o alambres retorcidos entre sí.

Los materiales más utilizados en la fabricación de conductores eléctricos son el cobre y el aluminio.

Aunque ambos metales tienen una conductividad eléctrica excelente, el cobre constituye el elemento principal en la fabricación de conductores por sus notables ventajas mecánicas y eléctricas.

El uso de uno u otro material como conductor, dependerá de sus características eléctricas (capacidad para transportar la electricidad), mecánicas (resistencia al desgaste, maleabilidad), del uso específico que se le quiera dar y del costo.

Estas características llevan a preferir al cobre en la elaboración de conductores eléctricos.

El tipo de cobre que se utiliza en la fabricación de conductores es el cobre electrolítico de alta pureza, 99,99%.

Dependiendo del uso que se le vaya a dar, este tipo de cobre se presenta en los siguiente grados de dureza o temple: duro, semi duro y blando o recocido.

1.1 Tipos de conductores de cobre

1.1.1 Cobre de temple duro:

- Conductividad del 97% respecto a la del cobre puro.
- Resistividad de 0,018 $\left(\frac{\Omega mm^2}{m}\right)$ a 20 °C de temperatura.
- Capacidad de ruptura a la carga, oscila entre 37 a 45 Kg/mm^2.

Por esta razón se utiliza en la fabricación de conductores desnudos, para líneas aéreas de transporte de energía eléctrica, donde se exige una buena resistencia mecánica.

1.1.2 Cobre recocido o de temple blando:

- Conductividad del 100%
- Resistividad de 0,01724 $\left(\frac{\Omega mm^2}{m}\right)$ a 20° C de temperatura.
- Carga de ruptura media de 25 kg/mm^2.

Como es dúctil y flexible se utiliza en la fabricación de conductores aislados.

El conductor está identificado en cuanto a su tamaño por un calibre, que puede ser milimétrico y expresarse en mm^2 o americano y expresarse en AWG o MCM con una equivalencia en mm^2.

1.2 Partes que componen los conductores eléctricos

Los conductores eléctricos se componen de tres partes muy diferenciadas:

- El alma o elemento conductor.
- El aislamiento.
- Las cubiertas protectoras.

En este punto nos referimos solamente al "alma" o elemento conductor. Lo referente a la aislación y cubiertas protectoras se tratará específicamente más adelante.

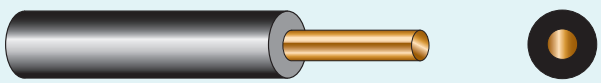
1.2.1 El alma o elemento conductor

Se fabrica en cobre y su objetivo es servir de camino a la energía eléctrica desde las Centrales Generadoras a los centros de distribución (subestaciones, redes y empalmes), para alimentar a los diferentes centros de consumo (industriales, grupos habitacionales, etc.).

De la forma cómo esté constituida esta alma depende la clasificación de los conductores eléctricos. Así tenemos:

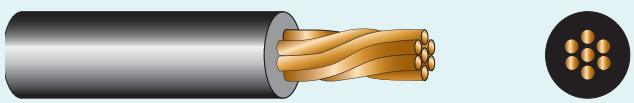
- Según su constitución

Alambre: Conductor eléctrico cuya alma conductora está formada por un solo elemento o hilo conductor.



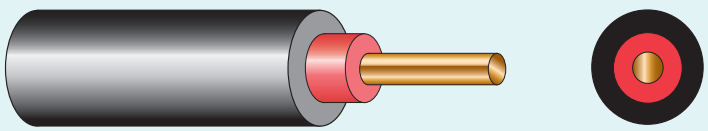
Se emplea en líneas aéreas, como conductor desnudo o aislado, en instalaciones eléctricas a la intemperie, en ductos o directamente sobre aisladores.

Cable: Conductor eléctrico cuya alma conductora está formada por una serie de hilos conductores o alambres de baja sección, lo que le otorga una gran flexibilidad.

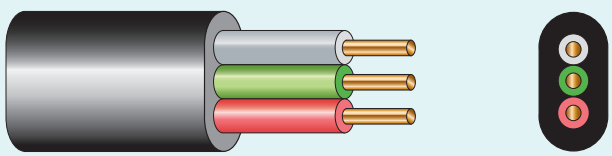


Según número de conductores

Monoconductor: Conductor eléctrico con una sola alma conductora, con aislación y con o sin cubierta protectora.



Multiconductor: Conductor de dos o más almas conductoras aisladas entre sí, envuelta cada una por su respectiva capa de aislación y con una o más cubiertas protectoras comunes.



1.2.2 Características de los aislantes

El objetivo de la aislación en un conductor es evitar que la energía eléctrica que circula por él, entre en contacto con las personas o con objetos, ya sean éstos ductos, artefactos u otros elementos que forman parte de una instalación. Del mismo modo, la aislación debe evitar que conductores de distinto voltaje puedan hacer contacto entre sí.

Los materiales aislantes usados desde sus inicios han sido polímeros, es decir, lo que en química se define como un material o cuerpo químico formado por la unión de muchas moléculas idénticas, para formar una nueva molécula más gruesa.

Antiguamente los aislantes fueron de origen natural, gutapercha y papel. Posteriormente la tecnología los cambió por aislantes artificiales actuales de uso común en la fabricación de conductores eléctricos.

Los diferentes tipos de aislación de los conductores están dados por su comportamiento térmico y mecánico, considerando el medio ambiente y las condiciones de canalización a que se verán sometidos los conductores que ellos protegen, resistencia a los agentes químicos, a los rayos solares, a la humedad, a altas temperaturas, llamas, etc. Entre los materiales usados para la aislación de conductores podemos mencionar el PVC o cloruro de polivinilo, el polietileno o PE, el caucho, la goma, el neoprén y el nylon.

Si el diseño del conductor no considera otro tipo de protección se le denomina aislación integral, porque el aislamiento cumple su función y la de revestimiento a la vez.

Cuando los conductores tienen una protección adicional de un polímero sobre la aislación, esta última se llama revestimiento, chaqueta o cubierta.

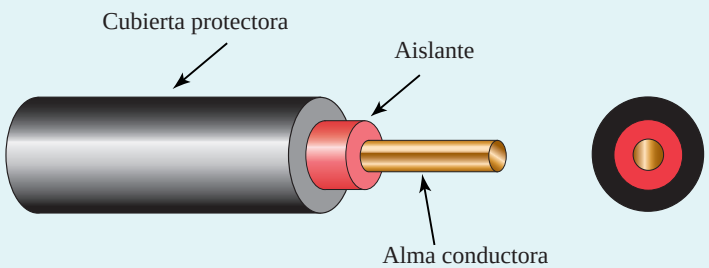
1.2.3 Cubierta Protectora

El objetivo fundamental de esta parte de un conductor, es proteger la integridad de la aislación y del alma conductora contra daños mecánicos, tales como raspaduras, golpes, etc.

Si las protecciones mecánicas son de acero, latón u otro material resistente, a ésta se le denomina “armadura”

La “armadura” puede ser de cinta, alambre o alambres trenzados.

Los conductores también pueden estar dotados de una protección de tipo eléctrico formado por cintas de aluminio o cobre. En el caso que la protección, en vez de cinta esté constituida por alambres de cobre, se le denomina “pantalla” o “blindaje”.



1.3 Clasificación de los conductores eléctricos de acuerdo a su aislación y número de hebras.

La parte más importante de un sistema de alimentación eléctrica está constituida por conductores.

Al proyectar un sistema, ya sea de poder, de control o de información, deben respetarse ciertos parámetros imprescindibles para la especificación de la cablería.

- Voltaje del sistema, tipo (CC o CA), fases y neutro, sistema de potencia, punto central de aterramiento.
- Corriente o potencia a suministrar.
- Temperatura de servicio, temperatura ambiente y resistividad térmica de los conductores.
- Tipo de instalación, dimensiones (profundidad, radios de curvaturas, distancia entre vanos, etc.).
- Sobrecargas o cargas intermitentes.
- Tipo de aislación.
- Cubierta protectora.

Todos estos parámetros están íntimamente ligados al tipo de aislación y a las diferencias constructivas de los conductores eléctricos, lo que permite determinar de acuerdo a estos antecedentes la clase de uso que se les dará.

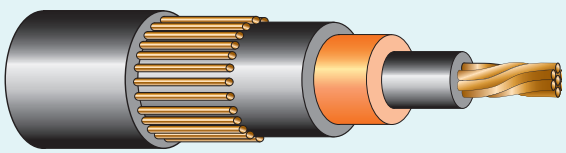
De acuerdo a éstos, podemos clasificar los conductores eléctricos según su aislación, construcción y número de hebras en monoconductores y multiconductores.

Tomando en cuenta su tipo, uso, medio ambiente y consumos que servirán, los conductores eléctricos se clasifican en la siguiente forma:

Conductores para distribución y poder:

- Alambres y cables (N° de hebras: 7 a 61).
- Tensiones de servicio: 0.6 a 35 kV (MT) y 46 a 65 kV (AT).
- Uso: Instalaciones de fuerza y alumbrado (aéreas, subterráneas e interiores).
- Tendido fijo.

Cable armado



Cables armados:

- Cable (N° de hebras: 7 a 37).
- Tensión de servicio: 600 a 35.000 Volts.
- Uso: Instalaciones en minas subterráneas para piques y galerías (ductos, bandejas, aéreas y subterráneas).
- Tendido fijo.

Conductores para control e instrumentación:

- Cable (N° de hebras: 2 a 27).
- Tensión de servicio: 600 Volts.
- Uso: Operación e interconexión en zonas de hornos y altas temperaturas (ductos, bandejas, aéreas o directamente bajo tierra).
- Tendido fijo.

Cordones:

- Cables (N° de hebras: 26 a 104).
- Tensión de servicio: 300 Volts.
- Uso: Para servicio liviano, alimentación a: radios, lámparas, aspiradoras, jugueras, etc. Alimentación a máquinas y equipos eléctricos industriales, aparatos electrodomésticos y calefactores (lavadoras, enceradoras, refrigeradores, estufas, planchas, cocinillas y hornos, etc.).
- Tendido portátil.

Cables portátiles:

- Cables (N° de hebras: 266 a 2.107).
- Tensión de servicio: 1.000 a 5.000 Volts.
- Uso: En soldaduras eléctricas, locomotoras y máquinas de tracción de minas subterráneas. Grúas, palas y perforadoras de uso minero.
- Resistente a: Intemperie, agentes químicos, a la llama y grandes solicitaciones mecánicas como arrastres, cortes e impactos.
- Tendido portátil.

Cables submarinos:

- Cables (N° de hebras: 7 a 37).
- Tensión de servicio: 5 y 15 kV.
- Uso: En zonas bajo agua o totalmente sumergidos, con protección mecánica que los hacen resistentes a corrientes y fondos marinos.
- Tendido fijo.

Cables navales:

- Cables (N°de hebras: 3 a 37).
- Tensión de servicio: 750 Volts.
- Uso: Diseñados para ser instalados en barcos en circuitos de poder, distribución y alumbrado.
- Tendido fijo.

Dentro de la gama de alambres y cables que se fabrican en el país, existen otros tipos, destinados a diferentes usos industriales, como los cables telefónicos, los alambres magnéticos esmaltados para uso en la industria electrónica y en el bobinado de motores de partida y motores de tracción, los cables para conexiones automotrices a baterías y motores de arranque, los cables para parlantes y el alambre para timbres.

1.4. Clasificación de los conductores eléctricos de acuerdo a sus condiciones de empleo.

Para tendidos eléctricos de alta y baja tensión, existen en nuestro país diversos tipos de conductores de cobre, desnudos y aislados, diseñados para responder a distintas necesidades de conducción y a las características del medio en que la instalación prestará sus servicios.

La selección de un conductor debe asegurar una capacidad de transporte de corriente adecuada, una capacidad de soportar corrientes de cortocircuito apropiada, una adecuada resistencia mecánica y un comportamiento acorde con las condiciones ambientales en que operará.

1.4.1 Los conductores de cobre desnudos

Estos son alambres o cables y son utilizados para:

- Líneas aéreas de redes urbanas y suburbanas.
- Tendidos aéreos de alta tensión a la intemperie.
- Líneas aéreas de contacto para ferrocarriles y trolebuses.

1.4.2 Alambres y cables de cobre con aislación

Estos son utilizados en:

- Líneas aéreas de distribución y poder, empalmes, etc.
- Instalaciones interiores de fuerza motriz y alumbrado, ubicadas en ambientes de distintas naturaleza y con diferentes tipos de canalización.
- Tendido aéreos en faenas mineras (tronadura, grúas, perforadoras, etc.).
- Tendidos directamente bajo tierra, bandejas o ductos.
- Minas subterráneas para piques y galerías.
- Control y comando de circuitos eléctricos (subestaciones, industriales, etc.).
- Tendidos eléctricos en zonas de hornos y altas temperaturas.
- Tendidos eléctricos bajo el agua (cable submarino) y en barcos (conductores navales).
- Otros que requieren condiciones de seguridad.

Ante la imposibilidad de insertar en este folleto la totalidad de las tablas que existen, con las características técnicas y las condiciones de uso de los conductores de cobre, tanto desnudos como aislados, entregamos a modo de ejemplo algunas de las más usadas por los profesionales, técnicos y especialistas. Se recomienda solicitar a los productores y fabricantes las especificaciones, para contar con la información necesaria para los proyectos eléctricos.

CONDICIONES DE USO PARA CONDUCTORES AISLADOS CON SECCIONES METRICAS

Características Constructivas	Designación	Condiciones de Uso	Máx. Temp. de Servicio °C	Espesores de Aislación		Tensión de Servicio V	Chaqueta Exterior	Normas de Fabricación y Prueba
				Secc. Nom. mm^2	Espesor mm			
Conductor unipolar, (alambre) aislación de PVC.	NYA	Ambientes secos canalizados en tuberías, bandejas, escalerillas, molduras.	70	1,5 2,5 4 , 6 10 , 16 35 , 70	0,6 0,7 0,8 1,0 1,2 1,4	1000	No tiene	NCH 2019 OF 87 VDE 219, VDE 472 IEC 228 NCH 1476 NCH 360
Conductor unipolar, (alambre o cableado) aislación de PVC.	NSYA	Ambientes secos o húmedos canalizados en tuberías, bandejas, escalerillas, molduras, en tendidos aéreos, a la intemperie en líneas de acometida, fuera del alcance de la mano.	70	1,5 a 6 10 , 16 25 , 35 50 , 70 95 , 120 150 185 240 300 400	1,0 1,2 1,4 1,6 1,8 2,0 2,2 2,4 2,6 2,8	1000	No tiene	NCH 1476, NCH 360 VDE 209, VDE 472 IEC 228
Cable multiconductor con aislación PVC y chaqueta.	NYY	Ambientes secos y húmedos, intemperie sin exposición a rayos solares. Tendidos subterráneos en ductos o directamente en tierra.	70	1,5 410	0,8	1000	PVC	VDE 0271 NCH 360
Cable plano multi-conductor dos o tres alambres. Aislación PVC y chaqueta.	NYIFY TPS	Instalaciones sobrepuestos en ambientes interiores, no necesita ducto: Se usa también en bajadas de acometidas.	70	2x1 a 3x1,5 2x2,5 3x2,5, 2x4 2x8,37 y 2x10	0,8 0,9 1,0	1000	PVC	NCH 2019 OF 87 VDE 209, VDE 472 IEC 228 NCH 360

CONDICIONES DE USO PARA CONDUCTORES AISLADOS CON SECCIONES METRICAS (Continuación)

Características Constructivas	Designación	Condiciones de Uso	Máx. Temp. de Servicio °C	Espesores de Aislación		Tensión de Servicio V	Chaqueta Exterior	Normas de Fabricación y Prueba
				Secc. Nom. mm^2	Espesor mm			
Compuesto termo-plástico no propagador de la llama. Baja emisión de humos, deslizante.	SEGUFLEX NYAF	Ambientes secos, canaliza-dos en tuberías, bandejas, escalerillas, molduras, aisladores sobre estuco.	70	1,5 2,5 4 6	0,6 0,7 0,8 0,8	1000	No tiene	NCH 2019 OF 87 VDE 209, IEC 228 ISO 5659, UL 1581 IEC 332-1, IEC 332-3 Categoría A
Compuesto termo-plástico.	SETP	Acometida domiciliaria.	70	2x4 2x6	1,0 1,0	600	Polietileno	CHILECTRA N∞ 36 Rev 3, IEC 228, NCH 2019, IEC 502 NCH 360
Cable flexible, hilos de cobre blando, aislación y cubierta de PVC retardante a la llama.	HO3VV-F	Cordón flexible de uso indus-trial y electrodomésticos, Cordón portátil de servicio liviano.	70	0,75 1,00	0,53 0,53	300	PVC	VDE 281, Parte 401 NCH 2019 NCH 360
Cable flexible, hilos de cobre blando, aislación cubierta de PVC retardante a la llama.	HO5VV-F	Cordón portátil para uso en talleres e industrias y conexiones flexibles para equipos portátiles.	70	4	0,84	500	PVC	VDE 281, Parte 401 NCH 2019
Cable flexible, hilos de cobre blando, aisla-ción y cubierta de PVC retardante a la llama y resistente a la luz solar.	ST	Cordones de fuerza de exce-lentes características eléc-tricas y mecánicas.	60	1,5 35	0,76 1,52	600	PVC	NCH 2013 UL 62

CONDICIONES DE USO PARA CONDUCTORES AISLADOS CON SECCIONES METRICAS (Continuación)

Características Constructivas	Designación	Condiciones de Uso	Máx. Temp. de Servicio °C	Espesores de Aislación		Tensión de Servicio V	Chaqueta Exterior	Normas de Fabricación y Prueba
				Secc. Nom. mm^2	Espesor mm			
Compuesto termo-plástico no propagador de la llama. Baja emisión de humos, deslizante.	SEGUFLEX NYAF	Ambientes secos, canaliza-dos en tuberías, bandejas, escalerillas, molduras, aisladores sobre estuco.	70	1,5 2,5 4 6	0,6 0,7 0,8 0,8	1000	No tiene	NCH 2019 OF 87 VDE 209, IEC 228 ISO 5659, UL 1581 IEC 332-1, IEC 332-3 Categoría A
Compuesto termo-plástico.	SETP	Acometida domiciliaria.	70	2x4 2x6	1,0 1,0	600	Polietileno	CHILECTRA N∞ 36 Rev 3, IEC 228, NCH 2019, IEC 502 NCH 360
Cable flexible, hilos de cobre blando, aislación y cubierta de PVC retardante a la llama.	HO3VV-F	Cordón flexible de uso indus-trial y electrodomésticos, Cordón portátil de servicio liviano.	70	0,75 1,00	0,53 0,53	300	PVC	VDE 281, Parte 401 NCH 2019 NCH 360
Cable flexible, hilos de cobre blando, aislación cubierta de PVC retardante a la llama.	HO5VV-F	Cordón portátil para uso en talleres e industrias y conexiones flexibles para equipos portátiles.	70	4	0,84	500	PVC	VDE 281, Parte 401 NCH 2019
Cable flexible, hilos de cobre blando, aisla-ción y cubierta de PVC retardante a la llama y resistente a la luz solar.	ST	Cordones de fuerza de exce-lentes características eléc-tricas y mecánicas.	60	1,5 35	0,76 1,52	600	PVC	NCH 2013 UL 62

CONDICIONES DE USO PARA CONDUCTORES AISLADOS CON SECCIONES METRICAS (Continuación)

Características Constructivas	Designación	Condiciones de Uso	Máx. Temp. de Servicio °C	Espesores de Aislación		Tensión de Servicio V	Chaqueta Exterior	Normas de Fabricación y Prueba
				Secc. Nom. mm^2	Espesor mm			
Cordón flexible, aislación y cubierta de elastómeros termoplásticos (TPR).	SE	Cordón industrial y minero para servicio pesado, gran resistencia al impacto y abrasión, excelente flexibilidad a temperatura tan baja como - 75°C, resistente al ozono y luz solar.	105	1,5 35	0,76 152	600	TPR	NCH 2013 UL 62
Cordón flexible. Aislación de goma, cubierta de Neopreno.	SO	Cordón industrial y minero para servicio pesado, gran resistencia al impacto y abrasión, excelente flexibilidad a temperatura baja, resistente al ozono y luz solar.	90	1,5 35	0,76 1,52	600	Neopreno	UL 62 NCH 2013
Cordón flexible. Aislación y cubierta de PVC.	SJT	Cordón servicio liviano en electrodomésticos y equipos de oficina.	60	0,5 1,5	0,76	300	PVC	UL 62 NCH 2013
Cordón flexible. Aislación y cubierta de PVC.	SVT	Cordón flexible para servicio liviano en equipos de oficina y electrodomésticos.	60	0,5 0,82	0,38	300	PVC	NCH 2013 UL 62
Cordón flexible. Aislación y cubierta de elastómeros termoplástico (TPR).	SJE	Cordón servicio liviano en electrodomésticos y equipos de oficina.	60	0,5 1,5	0,76	300	TPR	NCH 2013 UL 62

CONDICIONES DE USO PARA CONDUCTORES AISLADOS CON SECCIONES AWG

Características Constructivas	Designación	Condiciones de Uso	Máx. Temp. de Servicio °C	Espesores de Aislación		Tensión de Servicio V	Chaqueta Exterior	Normas de Fabricación y Prueba
				Secc. Nom. mm^2	Espesor mm			
Conductor unipolar, aislación PVC.	THW	Ambientes secos y húmedos canalizados en tuberías, bandejas, escalerillas, molduras.	75 en ambientes secos y húmedos	2,08 a 5,26 8,37 a 33,6 42,4 a 107 126,7 a 253 304 a 560	1,14 1,52 2,03 2,41 2,79	600	No tiene	NCH 2020 UL 1581
Conductor unipolar, aislación PVC.	THWN	Ambientes secos y húmedos canalizados en tuberías, bandejas, escalerillas, molduras. La cubierta lo hace resistente a la acción de aceites, grasas, ácidos y gasolina.	75 en ambientes secos y húmedos	2,08 a 3,31 5,26 8,37 a 13,3 21,2 a 33,6 42,4 a 107 126,7 a 253 304 a 506	0,38 0,51 0,76 1,02 1,27 1,52 1,78	600	Nylon	NCH 2020 UL 1581
Conductor unipolar, aislación PVC.	THHN	Ambientes secos y húmedos canalizados en tuberías, bandejas, escalerillas, molduras. La cubierta lo hace resistente a la acción de aceites, grasas, ·ácidos y gasolina.	90 en ambiente secos y 75 en ambiente húmedo	2,08 a 3,31 5,26 8,37 a 13,3 21,2 a 33,6 42,4 a 107 126,7 a 253 304 a 506	0,38 0,51 0,76 1,02 1,27 1,52 1,78	600	Nylon	NCH 2020 UL 1581
Conductor cableado, mono o multipolar, aislación y chaqueta de etil vinil acetato.	EVALEX FREETOX	En interiores, tuberías, bandejas, escalerillas, muy retardante a la llama, auto extinguente, se quema sin emitir gases tóxicos ni corrosivos, libre de materias halógenas, indicado para uso en ambientes de trabajo cerrados como minas o túneles, o lugares de reunión de personas, baja emisión de humos.	90	1,5 a 2,5 4 a 16 25 a 35 50 a 70 95 a 120 150 185 240 300 400 500 a 630	0,8 1,0 1,2 1,4 1,6 1,8 2,0 2,2 2,4 2,6 2,8	1000	EVA	IEC 502, IEC 228 ETG 2.233 CHILECTRA K01E01 IEEE 383 Sernageomin 461

CONDICIONES DE USO PARA CONDUCTORES AISLADOS CON SECCIONES AWG (Continuación)

Características Constructivas	Designación	Condiciones de Uso	Máx. Temp. de Servicio °C	Espesores de Aislación		Tensión de Servicio V	Chaqueta Exterior	Normas de Fabricación y Prueba
				Secc. Nom. mm^2	Espesor mm			
Conductor cableado o alambre, aislado o Polietileno.	PW PI	Líneas aéreas a la intemperie	75	8,37 a 21,2 33,6 a 42,4 53,5 a 107	0,76 1,14 1,52		No tiene	ICEA S70 – 547 ANSI C8-35
Conductor unipolar, cableado, aislación Polietileno normal, chaqueta PVC.	TTU	Instalaciones aéreas o subterráneas, en ducto o directamente en tierra o bajo agua interiores canalizados en ductos, bandejas o escalerillas. Ambiente secos, húmedos o mojados.	75	8,37 a 33,6 42,4 a 107 126,7 a 253,4 380 a 506,7	1,14 1,40 1,65 2,03	600	PVC	ICEA 61-402
Conductor multipolar (2, 3 ó 4 conductores por cable) aislación PVC, chaqueta PVC.	TTMU TM	Instalaciones aéreas o subterráneas, en ducto o directamente en tierra o bajo agua interiores canalizados en ductos, bandejas o escalerillas. Ambiente secos, húmedos o mojados.	75	2,08 a 5,26 8,37 a 33,6 42,4 a 107 126,7 a 253,4	1,14 1,52 2,03 2,79	600	PVC	ICEA S61_402
Conductor unipolar, cableado, aislado, Polietileno reticulado chaqueta PVC.	XTU XT	Instalaciones aéreas o subterráneas, en ducto o directamente en tierra o bajo agua interiores canalizados en ductos, bandejas o escalerillas. Ambiente secos, húmedos o mojados.	90	2,08 a 5,26 8,37 a 33,6 42,4 a 107 126,7 a 253,4 380 a 506,7	0,76 1,14 1,40 1,65 2,03	600 1000	PVC	ICEA S66-524 IEC 228, IEC 502
Conductor multipolar (2, 3 ó 4 conductores por cable) aislación Polietileno reticulado chaqueta PVC.	XTMU	Instalaciones aéreas o subterráneas, en ducto o directamente en tierra o bajo agua interiores canalizados en ductos, bandejas o escalerillas. Ambiente secos, húmedos o mojados.	90	2,08 a 5,26 8,37 a 33,6 42,4 a 107 126,7 a 253,4	1,14 1,52 2,03 2,79	600 1000	PVC	ICEA S66-524 IEC 228, IEC 502

CONDICIONES DE USO PARA CONDUCTORES AISLADOS CON SECCIONES AWG (Continuación)

Características Constructivas	Designación	Condiciones de Uso	Máx. Temp. de Servicio °C	Espesores de Aislación		Tensión de Servicio V	Chaqueta Exterior	Normas de Fabricación y Prueba
				Secc. Nom. mm^2	Espesor mm			
Conductor monopolar, alambre o cableado. Aislación Polietileno chaqueta PVC.	PT	Instalaciones aéreas o subterráneas, en ducto o directamente en tierra o bajo agua interiores canalizados en ductos, bandejas o escalerillas. Ambiente secos, húmedos o mojados.	75	8,37 a 33,6 42,4 a 107 126,7 a 253,4 380 a 506,7	1,14 1,40 1,65 2,03	600	PVC	ICEA S61-402
Conductor monopolar, alambre o cableado. Aislación etileno propileno chaqueta neopreno.	USE-RHH	Instalaciones aéreas o subterráneas, en ducto o directamente en tierra o bajo agua interiores canalizados en ductos, bandejas o escalerillas. Ambiente secos, húmedos o mojados.	90	3,31 a 5,26 8,37 a 33,6 42,4 a 107 126,7 a 253,4 380 a 506,7	0,76 1,14 1,40 1,65 2,03	600	Neopreno	S 68-516
Conductor monopolar, alambre o cableado. Aislación etileno propileno chaqueta neopreno.	USE-RHHM	Instalaciones aéreas o subterráneas, en ducto o directamente en tierra o bajo agua interiores canalizados en ductos, bandejas o escalerillas. Ambiente secos, húmedos o mojados.	90	3,31 a 5,26 8,37 a 33,6 42,4 a 107 126,7 a 253,4 380 a 506,7	0,76 1,14 1,40 1,65 2,03	600	Neopreno	S 68-516
Conductor monopolar, alambre o cableado. Aislación etileno propileno chaqueta PVC.	ET	Instalaciones aéreas o subterráneas, en ducto o directamente en tierra o bajo agua interiores canalizados en ductos, bandejas o escalerillas. Ambiente secos, húmedos o mojados.	90	3,31 a 5,26 8,37 a 33,6 42,4 a 107 126,7 a 253,4 380 a 506,7	0,76 1,14 1,40 1,65 2,03	600	PVC	S 68-516
Conductor monopolar, alambre o cableado. Aislación etileno propileno chaqueta neopreno.	EN	Instalaciones aéreas o subterráneas, en ducto o directamente en tierra o bajo agua, interiores canalizados en ductos, bandejas o escalerillas. Ambiente secos, húmedos o mojados.	90	3,31 a 5,26 8,37 a 33,6 42,4 a 107 126,7 a 253,4 380 a 506,7	0,76 1,14 1,40 1,65 2,03	600	Neopreno	S 68-516

2. DIMENSIONAMIENTO DE CONDUCTORES ELECTRICOS

Es frecuente que las instalaciones eléctricas presenten problemas originados por la mala calidad de la energía.

- Variaciones de voltaje.
- Variaciones de frecuencia.
- Señal de tensión con altos contenidos de impurezas.
- Etc.

Estos efectos producen un funcionamiento irregular en los equipos eléctricos y generan pérdidas de energía por calentamiento de los mismo y de los conductores de alimentación.

La norma ANSI/IEEE C57.110-1986, recomienda que los equipos de potencia que deben alimentar cargas no lineales (equipos electrónicos), operen a no más de un 80% de su potencia nominal. Es decir, los sistemas deben calcularse para una potencia del orden del 120% de la potencia de trabajo en régimen efectivo.

Los daños que genera el mal dimensionamiento y mal uso de los conductores en una instalación eléctrica se pueden resumir en:

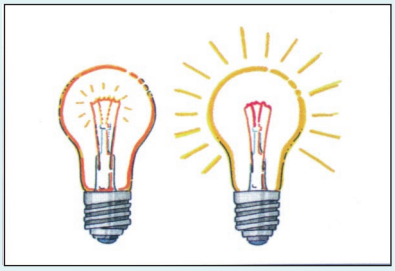
- Cortes de suministro.
- Riesgos de incendio.
- Pérdidas de energía.

Como se puede apreciar, el correcto dimensionamiento de conductores eléctricos tiene una importancia decisiva en la operación eficiente y segura de los sistemas.

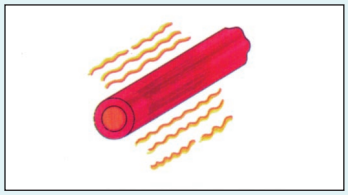
2.1 Capacidad de transporte de los conductores

La corriente eléctrica origina calentamiento en los conductores (efecto Joule: $I^2 \cdot R$). El exceso de temperatura genera dos efectos negativos en los aislantes:

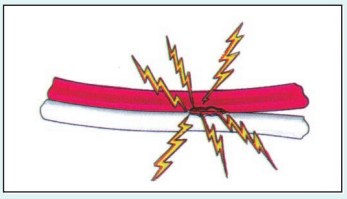
- Disminución de la Resistencia de Aislación.
- Disminución de la Resistencia Mecánica.



Caídas de tensión.



Sobrecalentamiento de las líneas.

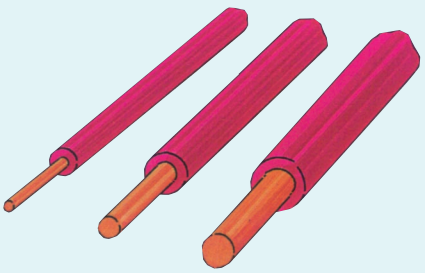


Corto circuito.

Fallas de aislación a tierra.

El servicio operativo de la energía eléctrica y su seguridad dependen directamente de la calidad e integridad de las aislaciones de los conductores.

Las aislaciones deben ser calculadas en relación a la carga de energía eléctrica que transporten los conductores y a la sección o diámetro de los mismos.



Las tablas que se presentan a continuación establecen los límites de corrientes admisibles para diferentes conductores tipos de conductores.

INTENSIDAD DE CORRIENTE ADMISIBLE PARA CONDUCTORES AISLADOS SECCIONES AWG, TEMPERATURA AMBIENTE 30°C

Nominal mm²	AWG	Temperatura de servicio 60°C Tipos TW, UF	75°C Tipos THW, THWN, TTU, TTMU, PT, PW	90°C Tipos THHN, XTU, XTMU, EVA, USE-RHH, USE-RHHM, ET, EN
2,08	14	20	20	25
3,31	12	25	25	30
5,26	10	30	35	40
8,37		40	50	55
13,3	6	55	65	70
21,15	4	70	85	95
26,67	3	85	100	110
33,62	2	95	115	130
42,41	1	110	130	150
53,49	1/0	125	150	170
67,42	2/0	145	175	195
85,01	3/0	165	200	225
107,2	4/0	195	230	260
127	250MCM	215	255	290
152	300MCM	240	285	320
177,3	350MCM	250	310	350
202,7	400MCM	280	355	380
253,4	500MCM	320	380	430
304	600MCM	355	420	475
354,7	700MCM	385	460	520
380	750MCM	400	475	535
405,4	800MCM	410	490	555
456	900MCM	435	520	585
506,7	1000MCM	455	545	615
633,4	1250MCM	495	590	665
750,1	1500MCM	520	625	705
886,7	1750MCM	545	650	735
1013	2000MCM	560	665	750

Fuente: Norma NCH 4/2000 en discusión.

INTENSIDAD MAXIMA PERMISIBLE EN CONDUCTORES TRIPOLARES						
	Instalación al aire Temperatura ambiente 40°C			Instalación enterrada Temperatura terreno 25°C, enterrados a 70 cm, resistividad térmica terreno 1°K • m/W		
Temperatura de servicio	XLPE[a] 90°C	EPR[b] 90°C	PVC[a] 70°C	XLPE[a] 90°C	EPR[b] 90°C	PVC[a] 70°C
Sección nominal mm²						
6	44	43	36	66	64	56
10	61	60	50	88	85	75
16	82	80	65	115	110	97
25	110	105	87	150	140	125
35	135	130	105	180	175	150
50	165	160	130	215	205	180
70	210	220	165	260	250	220
95	260	250	205	310	305	265
120	300	290	240	355	350	305
150	350	335	275	400	390	340
185	400	385	315	450	440	385
240	475	460	370	520	505	445
300	545	520	425	590	565	505
400	645	610	495	665	645	570

Fuente: a) norma UNE 21123
b) norma UNE 21166

2.2 Factores de corrección a la capacidad de transporte.

La capacidad de transporte de los conductores está restringida por su capacidad de disipar la temperatura del medio que los rodea. Para ello, los aislantes no deben sobrepasar la temperatura de servicio de los conductores.

La temperatura ambiente y el número de conductores por ducto son un factor relevante en la capacidad de disipación de la temperatura por parte de los conductores. La capacidad de transporte de los conductores queda consignada a la siguiente expresión:

$$I = fN \cdot fT \cdot It$$

- **I** : Corriente admisible corregida (A)
- **fN** : Factor de corrección por N° de conductores.
- **fT** : Factor de corrección por temperatura.
- **It** : Corriente admisible por sección de conductor según tablas (A).

En la sección siguiente se entregan factores de corrección por temperatura ambiente y canalizaciones.

2.2.1 Instalaciones al aire libre

Como se ha dicho, prácticamente la totalidad de los fabricantes de conductores y los reglamentos recomiendan una corriente máxima admisible, partiendo de la base que el conductor –si trabaja al aire libre- lo hará a una temperatura ambiente de 30°C o 40°C. Las Tablas siguientes muestra los factores que son necesarios emplear cuando la temperatura ambiente es diferente. Se observa que las variaciones de la sección recomendada son extraordinariamente dependientes de la temperatura ambiente.

a) Para temperaturas T inferiores a 40 °C y cables de 70 °C de temperatura máxima de servicio permanente.

T [°C]	10	15	20	25	30	35
Factor	1,41	1,35	1,29	1,22	1,15	1,08

Fuente: Norma UNE 21123, VV-K 0,6 kV fase neutro/1 kV fase fase [1].

b) Para temperaturas T inferiores a 40 °C y cables de 90 °C de temperatura máxima servicio permanente.

T [°C]	10	15	20	25	30	35
Factor	1,26	1,22	1,18	1,14	1,10	1,05

Fuente: Norma UNE 21123, RV 0,6 kV fase neutro/1 kV fase fase. [2]

c) Para temperaturas T superiores a 40 °C y cables de 70 °C de temperatura máxima de servicio permanente.

T [°C]	40	45	50	55	60
Factor	1,00	0,91	0,81	0,71	0,58

Fuente: Norma UNE 21123, VV-K 0,6 kV fase neutro/1 kV fase fase.

d) Para temperaturas T superiores a 40 °C y cables de 90 °C de temperatura máxima de servicio permanente.

T [°C]	40	45	50	55	60
Factor	1,00	0,95	0,90	0,84	0,70

Fuente: Norma UNE 21123, RV 0,6 kV fase neutro/1 kV fase fase.

---

[1] La Norma UNE 21123, VV-K 0,6 kV fase neutro/1 kV fase fase, se aplica a los conductores flexibles, de la Norma UNE 21022, con aislamiento y cubierta de policloruro de vinilo (PVC), fabricado de acuerdo a lo prescrito en la Norma UNE 21123 (IEC 502). La temperatura máxima del conductor de estos cables, en servicio permanente, no deberá exceder los 70 °C.

[2] La Norma UNE 21123, RV 0,6 kV fase neutro/1 kV fase fase, se aplica a los conductores flexibles, de la Norma UNE 21022, aislados con polietileno reticulado (XLPE) y con cubierta de policloruro de vinilo (PVC), fabricado de acuerdo a lo prescrito en la Norma UNE 21123 (IEC 502). La temperatura máxima del conductor de estos cables, en servicio permanente, no deberá exceder los 90 °C.

e) Para temperaturas T superiores a 30 °C.

FACTORES DE CORRECCION POR TEMPERATURA AMBIENTE SECCIONES MILIMETRICAS, TEMPERATURA AMBIENTE 30 °C	
Temperatura Ambiente °C	Factor
Más de 30 hasta 35	0.94
Más de 35 hasta 40	0.87
Más de 40 hasta 45	0.80
Más de 45 hasta 50	0.71
Más de 50 hasta 55	0.62

Fuente: Norma NCH 4/2000 en discusión.

FACTORES DE CORRECCION POR TEMPERATURA AMBIENTE SECCIONES AWG, TEMPERATURA AMBIENTE 30°C		
Temperatura Ambiente °C	Temperatura de Servicio	
	60°C	75°C
Más de 30 hasta 40	0.82	0.88
Más de 40 hasta 45	0.71	0.82
Más de 45 hasta 50	0.58	0.75
Más de 50 hasta 55	0.41	0.67
Más de 55 hasta 60	-	0.58
Más de 60 hasta 70	-	0.35

Fuente: Norma NCH 4/2000 en discusión.

2.2.2 Instalaciones enterradas

En el caso de las instalaciones enterradas son dos los factores que es necesario tomar en cuenta: la temperatura del terreno y la resistividad del terreno. En el caso de la temperatura del terreno, que usualmente se considera 25 °C como referencia, los factores que es necesario considerar para el dimensionamiento correcto de los conductores se señalan en las Tablas siguientes.

a) Para temperaturas inferiores a 25 °C y cables de 70 °C de temperatura máxima de servicio permanente.

T [°C]	10	15	20	25
Factor	1,15	1,10	1,05	1,00

Fuente: Norma UNE 21123, VV-K 0,6 kV fase neutro/1 kV fase fase.

b) Para temperaturas inferiores a 25 °C y cables de 90 °C de temperatura máxima de servicio permanente.

T [°C]	10	15	20	25
Factor	1,11	1,07	1,04	1,00

Fuente: Norma UNE 21123, RV 0,6 kV fase neutro/1 kV fase fase.

c)Para temperaturas T superiores a 25 °C y cables de 70 °C de temperatura máxima de servicio permanente.

T [°C]	30	35	40	45	50
Factor	0,94	0,88	0,81	0,74	0,66

Fuente: Norma UNE 21123, VV-K 0,6 kV fase neutro/1 kV fase fase.

d) Para temperaturas T superiores a 25 °C y cables de 90 °C de temperatura máxima de servicio permanente.

T [°C]	30	35	40	45	50
Factor	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78

Fuente: Norma UNE 21123, RV 0,6 kV fase neutro/1 kV fase fase.

En cuanto a la resistividad del terreno el valor de referencia usualmente empleado es 100 [ºC • cm/W]. La Tabla siguiente muestra los factores que es necesario emplear en el diseño cuando el valor de la resistividad del terreno es diferente al de referencia.

Resistencia térmica del terreno [°C • cm/W]	Factor de corrección Cables unipolares	Cables tripolares
80	1,09	1,07
100	1,00	1,00
120	0,93	0,94
150	0,85	0,87
200	0,75	0,78
250	0,68	0,71

Fuente: Norma UNE 21123, VV-K 0,6 kV fase neutro/1 kV fase fase .

Como orientación, la Norma IEC 287 facilita los valores de la resistividad térmica del suelo señalados en la Tabla siguiente.

Resistencia térmica del terreno [ºC • cm/W]	Estado del suelo	Condiciones atmosféricas
70	Muy húmedo	Muy lluvioso
100	Húmedo	Lluvia frecuente
200	Seco	Lluvia escasa
300	Muy seco	Muy poca lluvia

Fuente: Norma IEC 287.

En caso de duda del valor de la resistividad del terreno, se debe realizar una medición conforme a lo que establece la norma IEEE Standard 442 (Guide for Thermal Resistivity Measurements, 1981).

2.2.3 Instalaciones de varios cables agrupados

Existe una gran cantidad de instalaciones eléctricas en que varios cables trabajan en contacto entre sí o separados a pequeña distancia, tendidos sobre bandejas o agrupados bajo tierra. Evidentemente que el calor disipado por los cables debe ser considerado en el diseño y, para ello, las normas han establecido factores de corrección de la corriente límite que es factible manejar en condiciones seguras.

- Conductores canalizados en tuberías (más de 3 conductores).

Factores de corrección por cantidad de conductores

Cantidad de Conductores	Factor
4 a 6	0,8
7 a 24	0,7
25 a 42	0,6
sobre 42	0,5

Fuente: Norma NCH 4/2000 en discusión.

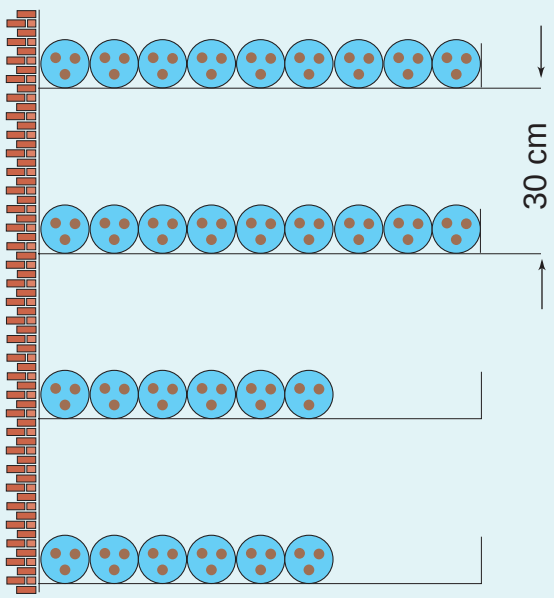
- Cables trifásicos o tres cables unipolares instalados al aire y agrupados.

En el caso de grupos de cables instalados al aire se emplean usualmente bandejas continuas que sirven de apoyo a los conductores. Se distinguen al menos 6 casos.

a) Tendidos en bandejas continuas, en contacto entre sí.

	Factor de corrección Número de cables por bandeja				
Número de Bandejas	1	2	3	6	9
1	0,95	0,84	0,80	0,75	0,73
2	0,95	0,80	0,76	0,71	0,69
3	0,95	0,78	0,74	0,70	0,68
6	0,95	0,76	0,72	0,68	0,66

Fuente: Norma UNE 21123, VV-K 0,6 kV fase neutro/1 kV fase fase (o UNE 21024 [3]).

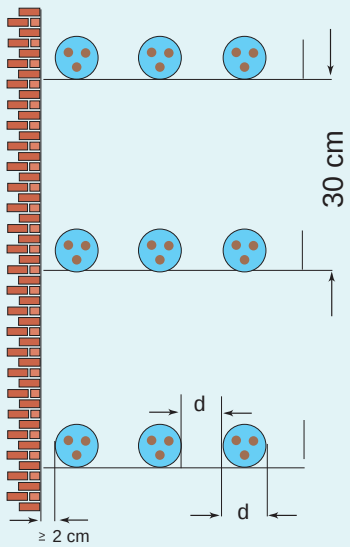


[3] *La Norma UNE 21024-84, se aplica a los cables aislados con papel impregnado de mezcla no migrante y tensiones nominales comprendidas entre 1,8 kV fase neutro / 3 kV fase fase y 26 kV fase neutro / 45 kV fase fase inclusive. Garantizan una temperatura máxima permanente en el conductor de hasta 80 °C para tensiones hasta 18/30 kV.*

b) Tendidos en bandejas continuas, separados un diámetro.

Número de Bandejas	Factor de corrección Número de cables por bandeja 1	2	3	6	9
1	0,95	0,90	0,88	0,85	0,84
2	0,90	0,85	0,83	0,81	0,80
3	0,88	0,83	0,81	0,79	0,78
6	0,86	0,81	0,79	0,77	0,76

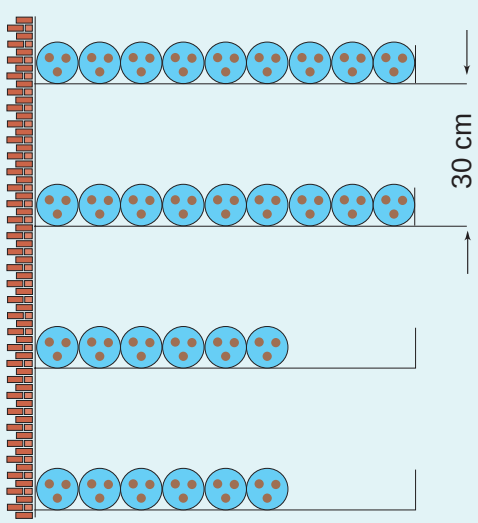
Fuente: Norma UNE 21123, VV-K 0,6 kV fase neutro/1 kV fase fase (o UNE 21024).



c) Tendidos en bandejas perforadas, en contacto entre sí.

Número de Bandejas	Factor de corrección Número de cables por bandeja 1	2	3	6	9
1	0,95	0,84	0,80	0,75	0,73
2	0,95	0,80	0,76	0,71	0,69
3	0,95	0,78	0,74	0,70	0,68
6	0,95	0,76	0,72	0,68	0,66

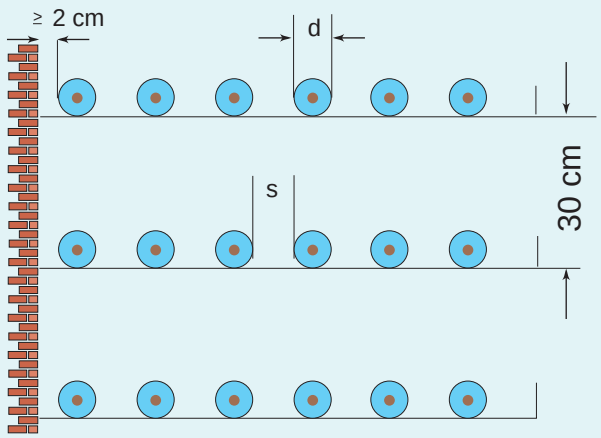
Fuente: Norma UNE 21123, VV-K 0,6 kV fase neutro/1 kV fase fase (o UNE 21024).



d) Tendidos en bandejas perforadas, separados menos de un diámetro.

Número de Bandejas	Factor de corrección Número de cables por bandeja 1	2	3	Más de 3
1	1,00	0,93	0,87	0,83
2	0,89	0,83	0,79	0,75
3	0,80	0,76	0,72	0,69
Más de 3	0,75	0,70	0,66	0,64

Fuente: Norma UNE 21123, VV-K 0,6 kV fase neutro/1 kV fase fase (o UNE 21024)

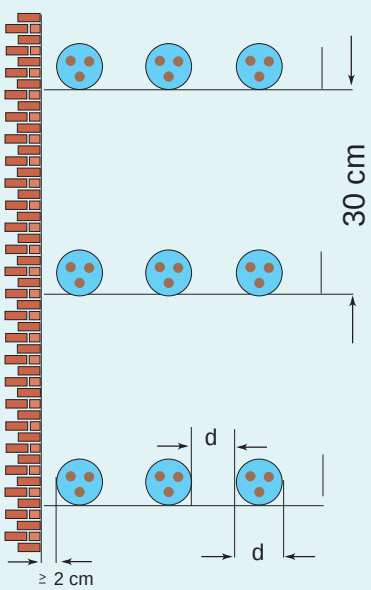


1/4 d < s < d

e) Tendidos en bandejas perforadas, separados un diámetro.

Número de Bandejas	Factor de corrección Número de cables por bandeja 1	2	3	6	9
1	1,00	0,98	0,96	0,93	0,92
2	1,00	0,95	0,93	0,90	0,89
3	1,00	0,94	0,92	0,89	0,88
6	1,00	0,93	0,90	0,87	0,86

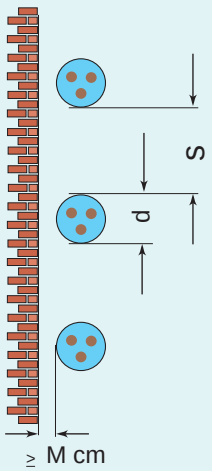
Fuente: Norma UNE 21123, VV-K 0,6 kV fase neutro/1 kV fase fase (o UNE 21024).



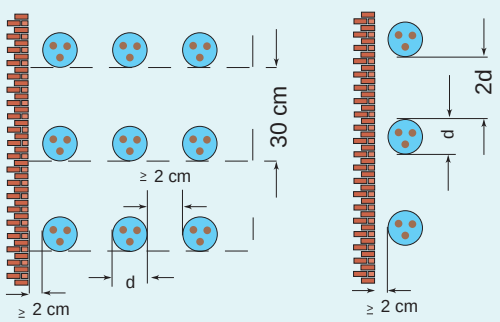
f) Cables dispuestos sobre la pared unos arriba de otros.

Disposición en la pared	Factor de corrección Número de cables 1	2	3	6	9
En contacto entre sí y tocando la pared M=0, s=0	0,85	0,78	0,73	0,68	0,66
Separados entre sí y de la pared en un diámetro M = 2, s = d	1,00	0,93	0,90	0,87	0,86

Fuente: Norma UNE 21123, VV-K 0,6 kV fase neutro/1 kV fase fase .



g) Disposiciones para las que no se necesita factor de corrección (factor de corrección unitario). Norma UNE 21024



- Cables trifásicos o tres cables unipolares agrupados bajo tierra.

a) Cables enterrados en zanjas.

Clase de tendido	Factor de corrección Número de cables en la zanja 2	3	4	5	6
Separados por 7 cm	0,85	0,75	0,68	0,64	0,60
En contacto	0,80	0,70	0,64	0,60	0,56

Fuente: Norma UNE 21123, VV-K 0,6 kV fase neutro/1 kV fase fase (o UNE 21024).

b) Cables enterrados en tubos.

Si el tubo no supera los 15 metros no es necesario aplicar ningún factor de corrección. Por el contrario, en tubos de mayor longitud se sugiere rellenar el tubo con aglomerante de baja resistencia térmica que permita el flujo de calor en forma homogénea hacia el exterior.

	Número de cables en el tubo				
	1	2	3	4	5
Factor de corrección	0,82	0,74	0,70	0,67	0,65

Fuente: Norma UNE 21024.

2.2.4 Conexión de varios cables en paralelo

Cuando se conectan varios cables en paralelo debido a la elevada intensidad de corriente a transportar, esto es cables conectados en ambos extremos a barras comunes, se deberá aplicar un coeficiente corrector adicional, como mínimo, 0,9 para compensar el posible desequilibrio de las intensidades entre los cables conectados a la misma fase (según Norma UNE 21123).

2.3 Dimensionamiento por caída de voltaje de alimentadores con carga concentrada.

2.3.1 Relaciones básicas

Al circular una corriente eléctrica a través de los conductores de una instalación se produce en ellos una caída de tensión que responde a la siguiente expresión:

$$Vp = I \cdot Rc$$

Donde :
Vp: Voltaje de Pérdida (V)
I : Corriente de Carga (A)
Rc: Resistencia de los Conductores (Ω)

La resistencia de un conductor eléctrico, responde a la siguiente expresión, que relaciona sus parámetros físicos y la naturaleza del material conductor:

$$Rc = \frac{2 \cdot \rho \cdot L}{S}$$

Donde :
ρ : Resistividad específica del conductor (Ohm-mm^2/m)(ρ del Cu = 0,018 (Ohm-mm^2/m))
L : Longitud del conductor (m)
S : Sección de conductor (mm^2)

La expresión para determinar la sección del conductor en función del Vp queda finalmente del siguiente modo:

$$S = \frac{2 \cdot \rho \cdot L \cdot I}{Vp}$$

La exigencia con respecto al Vp, establece que la caída de tensión en la línea no debe exceder a un 3% la "Tensión Nominal de Fase"; siempre y cuando la pérdida de voltaje en el punto más favorable de la instalación no exceda a un 5% de la tensión nominal.

2.3.2 Líneas resistivas puras

Se consideran líneas resistivas puras aquellas con una sección inferior a 42mm^2. En ellas se cumple que la parte resistiva es más de 5 veces la reactancia inductiva y, por tanto, la caída de tensión se puede calcular tomando en cuenta sólo el efecto resistivo (R/X > 5). En este caso la sección técnica, calculada a partir de la caída de tensión permitida, para un circuito monofásico será:

$$S = \frac{2 \cdot \rho \cdot L \cdot I \cdot \cos \phi}{Vp}$$

Donde:
L : longitud de la línea [m]
Cosϕ : factor de potencia del consumo

Esta expresión es válida para un factor de potencia mayor o igual a 0,9. En caso contrario es recomendable emplear las relaciones del párrafo 2.3.1, que si bien es inexacta, el único efecto que produce es obtener una sección sobredimensionada que desde el punto de vista de la seguridad de la instalación es más adecuado.

Para un circuito trifásico equilibrado la sección se determina como:

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot \rho \cdot L \cdot I \cdot \cos \phi}{Vp}$$

Donde Vp es la caída tensión máxima permitida (% de la tensión entre fases del circuito)

Ejemplo:
Se requiere alimentar un consumo de alumbrado que está ubicado a 30 metros del punto de alimentación. La corriente es de 15 A, la tensión 220 Volts y el factor de potencia 0,9. Determinar la sección para un conductor de cobre.

Solución:
Primero calculamos Vpa
Vpa = 0,03 • 220 = 6,6 V

Como el conductor es de cobre r = 0,0179 Ωmm^2/m, luego la sección mínima es:

S = 2 • 0,0179 • 30 • 15 • 0,9/6,6 = 2,2 mm^2
Por lo tanto la sección comercial será de 2,5 mm^2.

2.3.3 Líneas cortas inductivas

En este caso la caída de tensión toma en cuenta tanto la resistencia como la reactancia del conductor. La expresión para el cálculo de la caída de tensión es:

$$V = k \cdot I \cdot L \cdot (R \cos \phi + X \operatorname{sen} \phi)$$

donde:

k: $\sqrt{3}$ para circuitos trifásicos y 2 para líneas monofásicas o de corriente continua
I: intensidad de la corriente en A
L: longitud de la línea en km
R y X: resistencia y reactancia de la línea en Ω/km
cosϕ: factor de potencia de la instalación

2.4. Efecto de la posición de los conductores en la reactancia total de la línea

En determinadas ocasiones, debido a la elevada potencia que es necesario transmitir, se precisa utilizar varios cables en paralelo. La inducción y, en consecuencia, la reactancia inductiva de estos cables en paralelo debe ser la misma para todos de modo que la corriente se distribuya uniformemente entre ellos.

Se obtiene una distribución uniforme de la intensidad cuando se utilizan varios cables tripolares en paralelo, puesto que de esta forma se eliminará la influencia inductiva de los otros cables.

En el caso de cables unipolares en paralelo, que estén dispuestos en un plano, si los cables correspondientes a una misma fase están agrupados y tendidos unos juntos a otros se obtiene un coeficiente de inducción muy irregular y un fuerte desequilibrio en la carga de cada cable. Es mejor agrupar los cables por ternas, de tal forma que los cables pertenecientes a una terna estén más próximos entre sí que las ternas.

A continuación se indican unos ejemplos de las posiciones correctas en el caso de tres ternas en paralelo:

Tres ternas en un plano

R1,S1,T1
R1, S1, T1, T2, S2, R2, R3, S3, T3
R3,S3,T3

Tres ternas apiladas

T2,S2,R2

El coeficiente de inducción de los cables conectados en paralelo es prácticamente uniforme si se adopta una disposición de este tipo.

En las tablas siguientes se muestran las reactancias inductivas para cables unipolares y tripolares

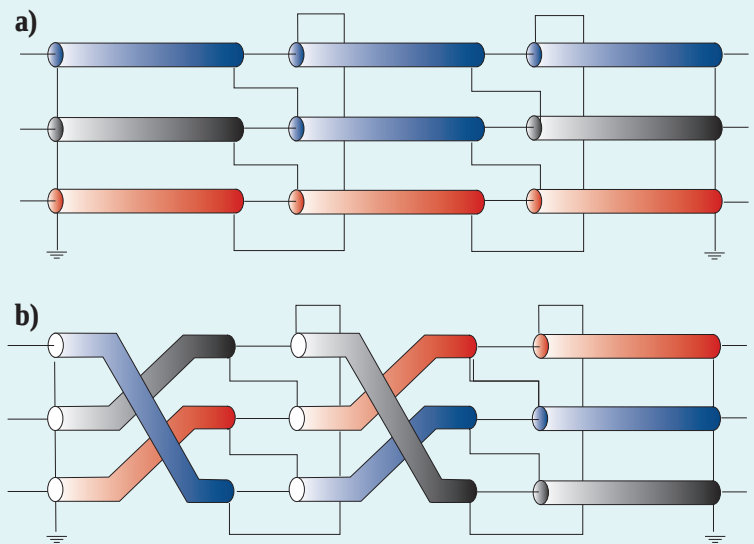
REACTANCIA EN CABLES UNIPOLARES A 50 Hz.
DISPUESTOS EN UN PLANO Y SEPARADOS A 7 cm.

	Reactancias por fase [Ω/km] Tensiones nominales [kV] fase neutro / [kV] entre fases		
Sección nominal [mm²]	6/10	8,7/15	12/20
50	0,224	0,225	0,227
70	0,213	0,215	0,216
95	0,205	0,206	0,208
120	0,198	0,200	0,210
150	0,193	0,195	0,196
185	0,188	0,189	0,190
240	0,180	0,181	0,183
300	0,175	0,176	0,178
400	0,169	0,171	0,172
500	0,163	0,164	0,166
630	0,156	0,157	0,159

REACTANCIA EN CABLES TRIPOLARES A 50 Hz.			
	Reactancias por fase [Ω/km] Tensiones nominales [kV] fase neutro / [kV] entre fases		
Sección nominal [mm²]	6/10	8,7/15 y 12/15	12/20
50	0,095	0,102	0,119
70	0,090	0,096	0,113
95	0,086	0,092	0,108
120	0,084	0,089	0,104
150	0,082	0,087	0,101
185	0,080	0,085	0,098
240	0,077	0,081	0,094
300	0,076	0,080	nd
400	0,074	0,078	nd

De ambas tablas se puede observar que para cables tripolares la reactancia inductiva es considerablemente menor que para cables unipolares considerando misma sección y nivel de tensión. La disposición geométrica de los cables unipolares predomina en la reactancia por fase siendo ésta casi constante para diferentes secciones y niveles de tensión.

Otro método de reducir las corrientes inducidas en las cubiertas metálicas, consiste en interrumpir la continuidad eléctrica de estas protecciones y cruzarlas cíclicamente, o bien trasponer los cables. Los cables unipolares, deben sujetarse a intervalos reducidos, para evitar desplazamientos ocasionados por los esfuerzos electrodinámicos debidos a las corrientes de cortocircuito.



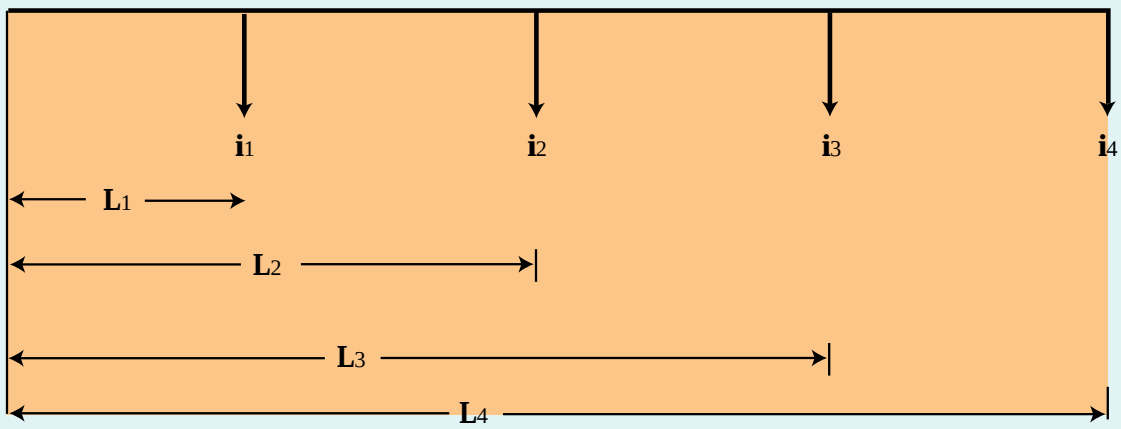
2.5 Dimensionamiento por caída de tensión en alimentadores con carga distribuida

En caso de que las cargas no se encuentren concentradas en un solo punto, sino distribuidas a lo largo de la línea, se pueden presentar dos criterios para el dimensionamiento de la sección del conductor:

- Criterio de la Sección Constante.
- Criterio de la Sección Cónica.

2.5.1 Criterio de la sección constante.

El dimensionamiento de la sección de los conductores, resulta ser constante para toda la extensión del Alimentador; en este caso tendremos:



- $i_1; i_2; i_3; i_4$: Corriente de rama (propia de los consumos asociados al Alimentador) /A)
- $L_1; L_2; L_3; L_4$: Longitud de cada uno de los tramos del Alimentador (m)

La sección para un alimentador monofásico es:

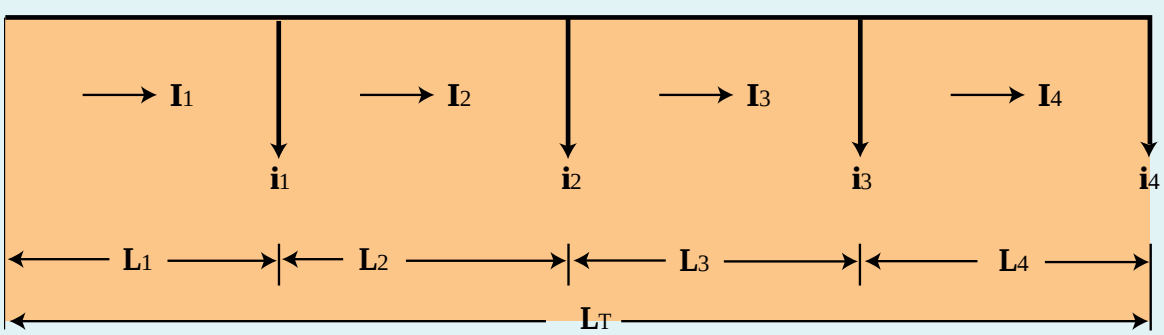
$$S = \frac{2 \cdot \rho}{Vp} \cdot (L_1 \cdot i_1 + L_2 \cdot i_2 + L_3 \cdot i_3 + L_4 \cdot i_4)\ [mm^2]$$

y para uno trifásico:

$$S = \frac{\rho}{Vp} \cdot (L_1 \cdot i_1 + L_2 \cdot i_2 + L_3 \cdot i_3 + L_4 \cdot i_4)\ [mm^2]$$

2.5.2 Criterio de la sección cónica.

Al dimensionar la sección de los conductores, a través de este criterio, la sección del alimentador disminuye a medida que nos alejamos de la alimentación.



En la situación del diagrama se presenta que:

$I_1 = i_1 + i_2 + i_3 + i_4$
$I_2 = i_2 + i_3 + i_4$
$I_3 = i_3 + i_4$
$I_4 = i_4$
$L_T = L_1 + L_2 + L_3 + L_4$ [m]

Para determinar la sección del conductor se debe calcular la densidad de corriente, según las siguientes expresiones:

Alimentador monofásico

$$d = \frac{Vp}{2 \cdot \rho \cdot L_T} \ [A/mm^2]$$

Alimentador trifásico

$$d = \frac{Vp}{\rho \cdot L_T} \ [A/mm^2]$$

Finalmente, para determinar la sección de cada tramo, se utiliza la siguiente ecuación:

$$A_1 = \frac{I_1}{d}\ ;\ A_2 = \frac{I_2}{d}\ ;\ A_3 = \frac{I_3}{d}\ ;\ A_4 = \frac{I_4}{d}$$

Todas las áreas parciales están expresadas en mm^2.

2.6. Dimensionamiento de conductores para motores

2.6.1 Circuitos que alimentan un motor.

Los conductores que se emplean para alimentar un motor se dimensionarán siguiendo el siguiente criterio:

"Los conductores que alimentan un motor deben tener una ampacidad no menor a un 125 % de la corriente a plena carga del motor"

En el caso de motores de múltiples velocidades, la selección del conductor de alimentación se basará en la mayor de las corrientes de placa que presenta dicho motor.

Las excepciones a esta regla son dos. La primera corresponde a motores que son operados por períodos cortos de tiempo, en forma intermitente, en forma periódica y con ciclo de trabajo variable. En este caso la ampacidad de los conductores de alimentación será no menor a la corriente nominal de placa multiplicada por los factores de la tabla siguiente.

Factores de dimensionamiento de alimentación a motores de régimen no permanente.

Servicio	Tiempo de operación 5 minutos de operación	15 minutos de operación	Entre 30 y 60 minutos de operación	Más de 60 minutos de operación
Período corto	1,10	1,20	1,50	Na
Intermitente	0,85	0,85	0,90	1,40
Periódico	0,85	0,90	0,95	1,40
Variable	1,10	1,20	1,50	2,00

Fuente: Norma NCH 4/2000 en discusión.

La segunda excepción corresponde a los motores de corriente continua que son alimentados mediante un equipo rectificador. En este caso los conductores entre el rectificador y el motor deben tener una ampacidad no menor a los siguientes % de la corriente nominal:

- 190 % para rectificadores de media onda
- 150% para rectificadores de onda completa

2.6.2 Circuitos que alimentan un grupo de motores.

Existen dos situaciones a considerar cuando se trata de grupos de motores: que los motores operen en forma continua o que uno o más de ellos lo haga en forma intermitente. Cuando se trata de un grupo de motores de régimen permanente (operación continua), la ampacidad de los conductores que alimentan el grupo debe ser como mínimo igual a la suma de las corrientes nominales de los motores más un 25% de la corriente nominal del motor de mayor potencia perteneciente al grupo.

En el caso que uno o más de los motores del grupo tiene un ciclo de trabajo intermitente o corto, la ampacidad de los conductores se calcula de la siguiente manera:

1. Se suman las corrientes de plena carga de los motores que operan en régimen no permanente, corregidas por los factores de la tabla correspondiente (régimen intermitente).
2. Se suman las corrientes de plena carga de los motores que operan en régimen permanente.
3. Se suma 0,25 de la corriente de plena carga del motor de mayor potencia, corregida por el factor de la tabla de motores de operación intermitente, si el motor trabaja en dicho régimen.

La suma de las corrientes obtenidas en los puntos 1 al 3 define la capacidad de transporte de los conductores que alimentan el grupo.

Consideremos el siguiente ejemplo:
Para una instalación de 380 volts se desea dimensionar un alimentador para 4 motores de inducción de 50, 75, 100 y 125 HP cada uno. El motor de 100 HP tiene un régimen de operación corto de 15 minutos.

Solución:
1. Determinamos las corrientes nominales de cada motor según el catálogo correspondiente
50 HP – 69 A
75 HP – 100 A
100 HP – 138 A
125 HP – 166 A

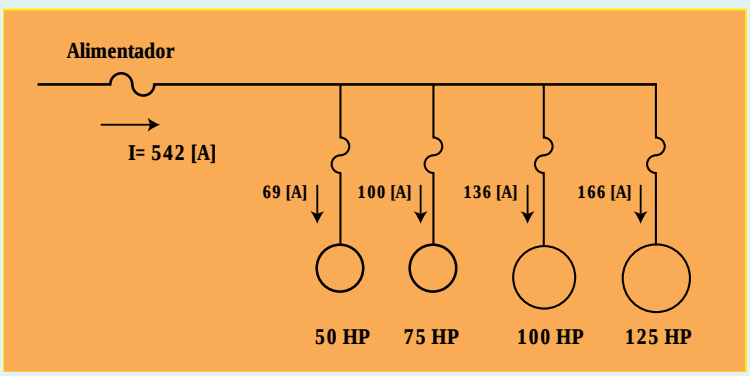
2. Calculamos las corrientes de los motores de régimen no permanente y de régimen permanente
No permanente (motor de 100 HP) : 138 A • 1,2 (factor tabla período corto 15 minutos de operación) = 165,6 A
Permanente : 69 + 100 + 166 = 335 A

3. Multiplicamos por 0,25 la corriente del motor de mayor potencia
Motor de 125 HP : 166 • 0,25 = 41,5 A

4. Sumamos todas las corrientes para obtener la capacidad de transporte mínima del alimentador
Capacidad alimentador = 165,6 + 335 + 41,5 = 542,1 A

2.7. Conductores para circuitos de iluminación

El dimensionamiento de un alimentador para iluminación se basa en la potencia conectada en aparatos de alumbrado. La potencia conectada nos permite determinar la corriente total que demanda la instalación y el número de circuitos normalizados que son necesarios instalar.



En la tabla siguiente se entregan factores para calcular la potencia en alumbrado para diferentes tipos de construcciones.

POTENCIA UNITARIA DE ALUMBRADO INTERIOR	
Tipo de local	Potencia en alumbrado (VA/pie^2)
Auditorios	1
Bancos	3,5
Iglesias	1
Clubs	2
Casas, departamentos	3
Hospitales	2
Hoteles y moteles	2
Escuelas	3
Restaurantes	2
Oficinas	3,5

Fuente: Norma NEC 1993.

Otro punto importante en los circuitos de iluminación es el factor de demanda que incide en la determinación de los alimentadores de alumbrado. En la tabla siguiente se entregan los factores de demanda para alimentadores de alumbrado.

Factores de demanda alimentadores de alumbrado.		
Tipo de consumidor	Potencia sobre la que se aplica el factor de demanda[kW]	Factor de demanda
Casa habitación	Primeros 3,0 Sobre 3,1	1,00 0,35
Hospitales	Primeros 50,0 Sobre 50,1	0,40 0,20
Moteles y hoteles	Primeros 20,0 De 20,1 a 100 Sobre 100,1	0,50 0,40 0,30
Bodegas	Primeros 15,0 Sobre 15,1	1,00 0,50
Otro tipo	Toda la potencia	1,00

Fuente: Norma NCH 4/2000 en discusión.

Cabe señalar que estos factores de demanda no se aplicarán a alimentadores donde se encuentre conectada la totalidad de la carga (iluminación y otros) en forma permanente o esporádica por períodos superiores a 15 minutos.

Veamos un ejemplo.

Consideremos una casa de 150 m^2 para la que se desea dimensionar el alimentador de los circuitos de iluminación.

Solución:
La potencia teórica conectada que tendrá la casa se estima utilizando la potencia unitaria de alumbrado.

Potencia conectada = 3 VA/pie^2 • 150 m^2 • 10,8 pie^2 / m^2 = 4.860 VA = 4,86 kVA

Según la tabla de factores de demanda, una casa con una potencia conectada en alumbrado mayor a 3 kW tiene un factor de demanda de 0,35 para la potencia por sobre el límite mencionado. Suponiendo que los VA coinciden con los kW, tenemos que la potencia que debe soportar el alimentador es:

Potencia alimentador = 3,0 + (4,86 –3,1) • 0,35 = 3,62 kVA

Por lo tanto la corriente del alimentador será:

$I_{alimentador}$ = (1,25 • 3,62 kVA)/0,22 kV = 20,5 A

2.8. Conductor de alimentador que sirve diferentes cargas

El dimensionamiento del conductor de un alimentador que sirve diferentes cargas se basará en la suma de cada una de las corrientes máximas de las cargas conectadas. Estas corrientes máximas se calcularán según el procedimiento definido para cada tipo de carga conectada, es decir, motores, iluminación, etc.

Supongamos que tenemos un grupo de 4 motores de 50 HP, 30 HP y dos de 10 HP de régimen permanente conectados con un circuito de iluminación equivalente a 120 A. El alimentador que sirve estas cargas se determina como sigue:

Se estima la corriente nominal de los motores:

50 HP, 65 A
30 HP, 40 A
10 HP, 14 A

Como son de régimen permanente la carga del circuito de motores se determina sumando un 25% al motor de mayor potencia.

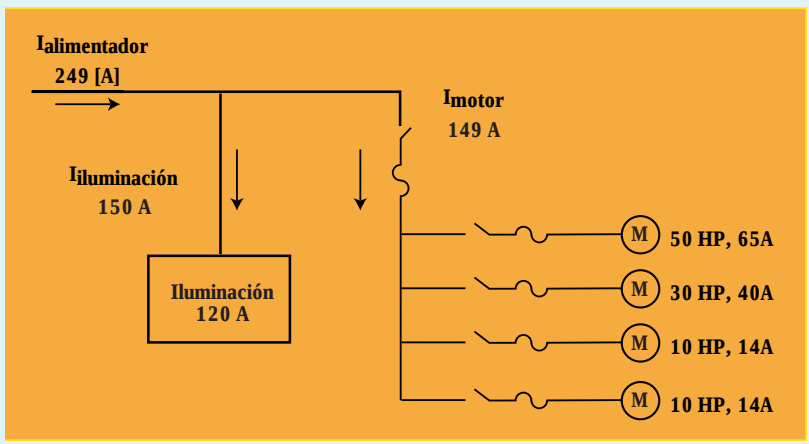
$I_{motores}$ = 1,25 • 65 + 40 + 14 + 14 = 149,3 A

La corriente del circuito de iluminación será:

Iluminación = 1,25 • 120 = 150 A

Luego, la corriente del alimentador será la suma de ambas cargas:

$I_{alimentador}$ = 150 + 149,3 = 249, 3 A



2.9. Dimensionamiento de conductores por corriente de cortocircuito

La intensidad de cortocircuito que puede soportar un cable depende de la temperatura máxima que puede aceptar dicho cable sin sufrir un daño permanente. La expresión que permite calcular la corriente de cortocircuito que es capaz de soportar un cable en función del tiempo de duración de dicho cortocircuito es:

$$I^2_{cc} \bullet t = K^2 \bullet S^2 \bullet \ln\left(\frac{\beta + \theta_F}{\beta + \theta_I}\right)$$

donde:

I_{CC} : corriente de cortocircuito en amperes
t : duración del cortocircuito en segundos
K : constante que depende del material
S : sección del conductor en mm^2
β : constante que depende del material
θ_I : temperatura inicial o de servicio del conductor en °C
θ_F : temperatura final o de cortocircuito en °C

La tabla siguiente muestra los valores para las constantes de la fórmula.

Material	K	β
Cobre	226	234,5
Aluminio	148	228
Plomo	41	230
Acero	78	202

De la expresión anterior se puede determinar la densidad de corriente del conductor en función de la duración del cortocircuito, así para un cable XLPE de cobre, la densidad de corriente que debe soportar para diferentes tiempos de cortocircuito se muestra en la tabla siguiente.

Duración cc (seg)	0,1	0,2	0,3	0,5	1,0	1,5	2,0
Cable de Cu (A/mm^2)	449	318	259	201	142	116	100

Donde:
θ_I= 90 °C
θ_F= 250 °C

Luego se debe elegir un conductor cuya densidad de corriente sea la adecuada para soportar el cortocircuito al que puede estar sometido la instalación.

2.10. Conductor para neutro de alimentadores

En un circuito eléctrico la forma de onda de cada fase del voltaje es casi perfectamente sinusoidal, lo que hace circular corrientes que –a menos que los consumos sean no lineales- son también sinusoidales. Si, además, estos consumos son equilibrados, es decir cada fase del voltaje trifásico alimenta consumos idénticos, las corrientes serán de la misma amplitud y, en ese caso, las corrientes por el neutro serán nulas. De este hecho han tomado ventaja algunos instaladores y han instalado conductores de neutro de una sección equivalente a la mitad de la sección empleada en la fase.

La situación anterior es permitida por normas, en las que es usual leer frases tales como “en los sistemas trifásicos con neutro la sección de este último no deberá ser inferior al 50% de la sección del conductor de la fase”(Norma NCH Elec 4/2000: Instalaciones interiores en baja tensión).

Sin embargo, cuando los consumos no son lineales, es decir hay circuitos electrónicos de control en el sistema como computadores y televisores, circulan corrientes correspondientes a la armónica 3 por las fases las que, aunque sean de

la misma amplitud por cada fase no se anulan sino que se suman. La Norma IEC 555-2 (ver tabla adjunta) establece un límite para la armónica 3 igual a 3,4 miliamp/W.

LIMITE DE NORMA IEC 555-2		
ARMONICA H	LIMITE miliAmp/W	LIMITE Amp
3	3,4	2,30
5	1,9	1,14
7	1,0	0,77
9	0,5	0,40
11	0,35	0,33
13 y más	3,85/n	0,15 • 15/n

Esto significa que la corriente de tercera armónica I_3 permitida es:

$$I_3\ [A] = \frac{3,4}{1000} \bullet P\ [W]$$

P [W] : Potencia del equipo en Watts.

Por otra parte, la corriente fundamental de 50 Hz es:

$$I_1\ [A] = \frac{P\ [W]}{V[V] \bullet \cos\phi}$$

V : Voltaje en Volts.
cos ϕ : Factor de potencia.

Lo anterior implica que, si el Voltaje es 220 Volts y el factor de potencia es unitario,

$$\frac{I_3}{I_1} 100\ [\%] = \frac{3,4}{1000} 220 = 74,8\ [\%]$$

O sea que la Norma IEC 555-2 permite un valor de tercera armónica equivalente a un 74,8% de la fundamental. Cabe hacer notar que mediciones en terreno permiten aseverar que la componente de tercera armónica en equipos computacionales y televisores es incluso superior al 74,8% de la fundamental.

Como se ha dicho, esta componente de tercera armónica se suma en el neutro, de tal modo que cabe esperar que la corriente de neutro sea un 224 % de la fundamental (3 • 74,8=224.4%).

Por tanto, la corriente de neutro puede alcanzar el doble del valor de las corrientes de fase y estar dimensionado para la mitad de la corriente de fase (Fuente: Electrical Design: A Good Practice Guide, Copper Development Association, CDA Publication 123, 1997).

La norma NCH 4/2000 actualmente en discusión en Chile, dice al respecto: "En alimentadores trifásicos que sirvan cargas no lineales tales como alumbrado mediante lámparas de descarga, circuitos de sistemas de procesamiento computacional de datos, controladores de velocidad de motores alternos mediante variadores de frecuencia, partidores suaves o equipos similares en los cuales se generan armónicas que estarán presentes en el conductor neutro, la sección de este conductor deberá ser a lo menos igual a la sección de los conductores de las fases". Si bien especifica una sección de neutro "a lo menos igual" no alerta al usuario de que la corriente puede ser claramente superior a la de fase.

3. CONSIDERACIONES ECONOMICAS EN LA SELECCION DE UN CONDUCTOR

El costo global de una instalación, en lo que se refiere a las líneas eléctricas, debe incluir el costo de inversión inicial C_I y el costo de operación C_{op}.

El costo C_I es creciente (aproximadamente proporcional) con la sección del conductor S_c y el costo C_{op} es inversamente proporcional a S_c. Esto último se debe a que C_{op} considera el costo de la energía que paga el usuario, el que incluye el costo de las pérdidas Joule RI^2 en las líneas de la instalación. Así, para una carga dada (I dada), el costo de operación será mayor mientras mayor sea R; es decir, mientras menor sea la sección S_c. Luego, para reducir C_{op} es necesario incrementar S_c.

La característica creciente de C_I con S_c y decreciente de C_{op} con S_c, origina un mínimo para el costo global $C = C_I + C_{op}$, el que se produce para S_c mayor que la sección que sólo minimiza la inversión (limitada por temperatura y por caída de voltaje).

En esta sección se presentan dos métodos para la selección económica de conductores, el primero es una metodología de cálculo manual simple que indica cuál es el conductor económicamente eficiente para un alimentador, y la segunda es una herramienta computacional, EVALSEL 2.1, que permite el dimensionamiento de alimentadores considerando una gran cantidad de efectos que intervienen en la selección de un conductor.

3.1. Procedimiento para determinar la sección óptima económica de conductores

Este procedimiento consta de dos etapas:

1) Estimar la corriente de la línea en horas de carga máxima, en el primer año de operación de la instalación.
2) Ubicar dicho valor en el rango correspondiente a las tablas denominadas Tablas Base de Secciones Económicas, de donde se obtiene la sección que minimiza el costo global de la línea.

TABLA BASE DE SECCIONES ECONOMICAS
(SECCIONES MILIMETRICAS)

Sección Nominal	Rango de Intensidad de Corriente [Amp]	
mm²	Inferior	Superior
0,75	–	1,5
1	1,5	2
1,50	2	4
2,50	4	6
4	6	9
6	9	14
10	14	23
16	23	37
25	37	54
35	54	77
50	77	108
70	108	149
95	149	195
120	195	245
150	245	305
185	305	385
240	385	491
300	491	634
400	634	818
500	818	-

TABLA BASE DE SECCIONES ECONOMICAS (SECCIONES AWG)			
Sección de Referencia * mm²	Sección Nominal mm²	Rango de Intensidad de Corriente [Amp] Inferior	Superior
0,30	0,32	--	0,7
0,50	0,51	0.7	1
0,80	0,82	1	2
1,30	1,31	2	3
2	2,08	3	5
3,5	3,31	5	8
5,5	5,26	8	12
8,5	8,37	12	19
13	13,3	19	30
21	21,15	30	43
27	26,67	43	54
34	33,62	54	68
42	42,41	68	86
53	53,49	86	109
67	67,42	109	137
85	85,01	137	173
107	107,2	173	211
127	126,5	211	251
152	151,8	251	297
177	177,3	297	344
203	202,7	344	411
253	253,2	411	503
304	303,6	503	595
355	354,7	595	665
380	379,5	665	711
405	405,4	711	779
456	456	779	871
507	506,7	871	1027
663	633,4	1027	1258
760	760,1	1258	1488
887	886,7	1488	1718
1013	1013	1718	-

* Esta sección corresponde a los valores redondeados de las secciones AWG expresados en mm². Se la utilizará para identificar los conductores en proyectos o especificaciones de instalaciones.

Estas tablas fueron construidas considerando ciertos parámetros económicos y de operación de la línea. Si el proyectista emplea otros valores entonces deberá corregir los valores límite de la tablas base para reflejar la situación de su proyecto.

Los parámetros utilizados son los siguientes:

- Horas de uso de la línea al año t_u = 5.000 horas.
- Carga promedio dividida por carga máxima de la línea, durante las horas de uso de la línea (o factor de carga durante las horas de uso de la línea) Fc = 0,75.
- Costo de la energía P = 0,08 u.m./kWh. (*)
- Vida útil de la instalación N = 30 años.
- Crecimiento anual de la carga a = 0,5 %.
- Crecimiento anual del costo de la energía b = 2%.
- Tasa de descuento anual i = 12%.
- Costos de conductores normalizados, por unidad de longitud, los que se indican en las Tablas de costos de conductores. (*)

COSTOS DE CONDUCTORES (SECCIONES MILIMETRICAS)

Sección Nominal mm²	Costo del Conductor u.m./m
0,75	0,09
1	0,12
1,5	0,18
2,5	0,29
4	0,47
6	0,70
10	1,17
16	1,87
25	2,92
35	4,08
50	5,83
70	8,17
95	11,08
120	14,0
150	17,50
185	21,58
240	28,00
300	35,00
400	46,67
500	58,33

u.m. = unidades monetarias

* Los parámetros financieros están expresados en unidades monetarias (u.m.)

COSTOS DE CONDUCTORES (SECCIONES AWG)		
Sección de Referencia mm²	Sección Nominal mm²	Costo del Conductor u.m./m
0,30	0,32	0,04
0,50	0,51	0,06
0,80	0,82	0,09
1,3	1,31	0,15
2	2.08	0,24
3,5	3,31	0,38
5,5	5,26	0,60
8,5	8,37	0,96
13	13,3	1,52
21	21,15	2,42
27	26,67	3,06
34	33,62	3,85
42	42,41	4,86
53	53,49	6,13
67	67,42	7,73
85	85,01	9,74
107	107,2	12,29
127	126,5	14,5
152	151,8	17,40
177	177,3	20,32
203	202,7	23,23
253	253,2	29,02
304	303,6	34,80
355	354,7	40,66
380	379,5	43,50
405	405,4	46,47
456	456	52,27
507	506,7	58,08
633	633,4	72,60
760	760,1	87,13
887	886,7	101,64
1013	1013	116,11

u.m. = unidades monetarias

Ejemplo:

Se desea dimensionar la sección económica de una línea que se ha estimado que tendrá una corriente de 160 A en horas de carga máxima en el primer año de operación.

Solución:

Si consideramos que los parámetros financieros y de operación son los mismos que los del caso base, la sección económica será de 95 mm² (Tabla sección económica, secciones milimétricas).

Si alguno o algunos de los parámetros operacionales y/o financieros del proyecto difieren de los parámetros de referencia, deben corregirse los límites de los rangos de intensidad de corriente de las tablas bases, en la forma indicada a continuación.

· Corrección por factor de carga y horas de uso

Si la curva de carga, caracterizada por el factor de carga durante las horas de uso de la línea (F_c) y las horas de uso al año de la línea (t_u), difiere de la curva de carga de referencia (definida con $F_c = 0{,}75$ y $t_u = 5.000$ horas), los valores límite de intensidad de corriente de las tablas bases deben multiplicarse por un factor de corrección calculado como:

$$f(F_c\ tu) = \frac{47{,}42}{\sqrt{F_c \cdot t_u \cdot \left(0{,}3 + \frac{0{,}7}{8760} \cdot F_c \cdot t_u\right)}}$$

· Corrección por precio de la energía

Si el precio de la energía (P, en u.m./kWh) difiere del valor de referencia supuesto en las Tablas Base (0,08 u.m./kWh), los valores límite de intensidad de corriente de las tablas bases deben multiplicarse por un factor de corrección calculado como:

$$f(P) = \sqrt{\frac{0{,}08}{P}}$$

· Corrección por parámetros financieros

Si los parámetros financieros correspondientes a los años de vida útil de la línea (N), crecimiento porcentual de la carga por año (a), crecimiento porcentual del costo de la energía por año (b) y/o tasa porcentual de descuento anual (i), difieren de los valores de referencia supuestos en las Tablas Base (N = 30 años, a = 0,5%, b = 2%, i = 12%), los valores límite de intensidad de corriente de dichas tablas deben multiplicarse por un factor de corrección calculado como:

con:

$$f(N,a,b,i) = 3{,}1985 \cdot \sqrt{\frac{(1-r) \cdot \left[1 + \frac{i}{100}\right]}{1 + r^N}}$$

$$r = \frac{\left[1 + \frac{a}{100}\right]^2 \cdot \left[1 + \frac{b}{100}\right]}{1 + \frac{i}{100}}$$

Una simplificación para el cálculo de este factor se logra al suponer despreciables a y b ($a \approx 0, b \approx 0$). Esta aproximación no altera significativamente los resultados, y en todo caso se traduce a lo más, en seleccionar una sección mayor en un calibre que el óptimo económico, no poniendo en riesgo en ningún caso la operación de la línea.

· Corrección por costo del conductor

Si los costos por unidad de longitud de los conductores son diferentes a los indicados en las tablas de costos de conductores, los valores límite de intensidad de corriente de las Tablas Bases de secciones económicas deben multiplicarse, para cada sección normalizada, por un factor de corrección calculado como:

$$f(C) = \sqrt{\frac{C}{C_0}}$$

donde C es el costo por unidad de longitud (u.m./m) considerado por el proyectista, para determinada sección normalizada, y C_o es el costo de referencia por unidad de longitud (u.m./m) indicado en las tablas base, para dicha sección normalizada.

El factor de corrección f (C) es el mismo para todas las corrientes, si la razón de costos C/C_o es igual para cualquier sección.

Luego la corrección a las intensidades de referencia supuestos en las tablas bases se obtiene multiplicando sucesivamente los límites originales (I_o) por los respectivos factores de corrección. Es decir:

$$\mathbf{I = I_o \bullet f\,(F_c,\, t_u) \bullet f\,(P) \bullet (N,a,b,i) \bullet f\,(C)}$$

EJEMPLO
Consideremos el mismo caso del ejemplo anterior, pero con unas modificaciones
1) Como la corriente es de 160 A, la sección económica obtenida de la tabla de secciones económicas es 95 mm².
2) Si F_c = 0,65 y t_u = 6.000 horas, se obtiene un factor de corrección:

$$\mathbf{f\,(F_c,t_u) = 0{,}971}$$

3) Si P = 0,06 US$/kWh, se obtiene un factor de corrección.

$$\mathbf{f\,(P) = 1{,}155}$$

4) Si N = 25 años e i = 10% (manteniendo a y b), se obtiene un factor de corrección.

$$\mathbf{f\,(N,i) = 0{,}941}$$

Si los precios de los conductores no cambian, los límites de intensidad de corriente de la Tabla de secciones económicas, deben multiplicarse por el factor de corrección conjunto:

$$\mathbf{f\,(F_c,t_u) \bullet f\,(P) \bullet f\,(N,i) = 0{,}971 \bullet 1{,}155 \bullet 0{,}941 = 1{,}055}$$

Así, para 95 mm², el rango de 149 a 195 A indicado en la Tabla base, debe modificarse a:

149 • 1,055 = 157 A
195 • 1,055 = 206 A

Luego, para la corriente proyectada de 160 A, continúa siendo 95 mm² la sección normalizada económica.

Si para la sección de 95 mm² el costo del conductor es C = 10,0 US$/m (en lugar de C_o = 11,08 u.m./m según la tabla de costos de conductores) y la energía tiene un precio de 0,11US$/kWh, se obtienen los factores de corrección para el rango de corrientes de dicha sección:

f (C) = 0,950
f (P) = 0,853

con lo cual el factor de corrección conjunto sería:

0,971• 0,941 • 0,853 • 0,950 = 0,740

siendo el nuevo rango de corrientes para esta sección (95 mm²):

149 • 0,740 = 110 A
195 • 0,740 = 144 A

Con lo cual la sección económica para 160 A será la inmediatamente superior, es decir 120 mm².

3.2. Utilización de una herramienta computacional para el dimensionamiento de económico de conductores: Evalsel 2.1

Evalsel 2.1 es una herramienta computacional destinada a apoyar el dimensionamiento y selección de conductores eléctricos, incorporando explícitamente el criterio de eficiencia energética, la economía en la operación del sistema diseñado, la seguridad y la calidad de servicio.

De esta forma, se considera como variable física las pérdidas involucradas en la conducción eléctrica, es decir, aquéllas derivadas de la resistencia óhmica del conductor al paso de la corriente. Así, es posible determinar un costo económico asociado a estas pérdida, el que se hace efectivo en un mayor pago por consumo de energía eléctrica.

Como la resistencia es menor, mientras mayor es la sección del conductor, un aumento de dicha sección reduce las pérdidas calóricas, al tiempo que hace subir su precio.

De este modo, el enfoque utilizado incorpora la variable temporal en la elección de la sección de cables eléctricos, considerando el ahorro económico debido a la reducción de pérdidas energéticas involucrado en la elección de una mayor sección, confrontado en un horizonte de tiempo definido, con el costo que representa dicho aumento.

Este instrumento permite escoger adecuadamente la sección del conductor a utilizar en un proyecto de instalación determinado, según parámetros de evaluación técnico-económicos definidos por el propio usuario. Eso contribuye a reducir la factura eléctrica del usuario, así como disminuir los riesgos debido a un inadecuado dimensionamiento de las instalaciones.

Como resultado de la evaluación económica el programa entrega:

- La sección mínima técnica.
- La sección económica eficiente.
- La sección del neutro.
- TIR, TRC y ahorros monetarios de las secciones evaluadas.

Para realizar las evaluaciones, el programa requiere de los siguientes datos:

Condiciones de operación del alimentador

- Potencia máxima.
- Voltaje nominal.
- Factor de carga.
- Factor de potencia.
- Horas mensuales trabajadas.
- Caída de tensión máxima.
- N° de fases.
- Si el alimentador tiene conductor de neutro.
- Si el alimentador energiza motores.

Condiciones de instalación del conductor

- N° de conductores por fase .
- Largo conductor.
- Temperatura ambiente.
- N° de conductores canalizados.

Tarifa eléctrica

Permite al usuario ingresar la tarifa que se aplica a su situación (precio de la energía y potencia).

Contenido de armónicas

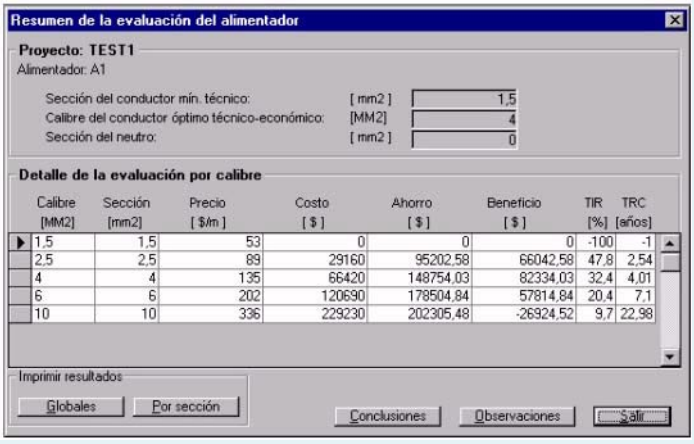
El usuario puede ingresar, sí lo conoce, el contenido de armónicas en el alimentador.
Evaluación económica

- Horizonte de evaluación.
- Tasa de descuento.
- Descuento de venta.
- Tasa interna de retorno mínima.
- Tiempo de recuperación del capital máximo.

Evalsel 2.1 permite realizar la evaluación de alimentadores individuales o de grupos de ellos, generando reportes que es posible imprimir o exportar a planillas de cálculo. Los conductores escogidos para la evaluación de los alimentadores son tomados de bases de datos de diferentes fabricantes de conductores que se encuentran incluidas en el programa.

A continuación se presentan dos ventanas del software. En la primera se muestra el contenido de la base de datos de conductores y en la segunda el resultado de la evaluación económica de un alimentador con sus respectivos parámetros económicos.

Ambiente de base de datos conductores



Resultado de la evaluación de un alimentador

4. VERIFICACION DE LAS INSTALACIONES ELECTRICAS

El control de la calidad de una instalación eléctrica se denomina supervisión eléctrica. La supervisión eléctrica es un proceso que debe estar presente en todas las fases de la ejecución de una obra eléctrica y, especialmente, cuando ésta ha concluido y se entrega para el servicio.

La supervisión eléctrica es una evaluación constante de la calidad y seguridad del trabajo realizado.

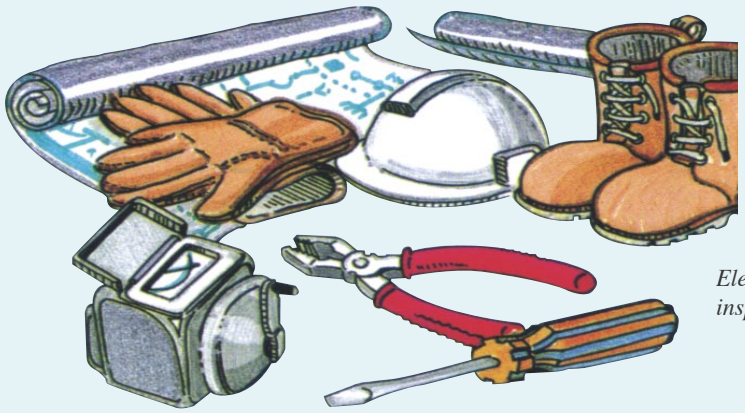
La seguridad de los usuarios de estas instalaciones y de sus bienes es el producto de un trabajo efectuado con idoneidad y ética profesional. Considerando que muchas etapas de una instalación sólo serán conocidas por quienes la ejecuten, es de vital importancia que la labor técnica sea bien realizada.

Las Normas de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) establecen que toda instalación eléctrica, antes de ser puesta en servicio por el usuario, debe ser inspeccionada y sometida a diversas pruebas o ensayos, a fin de verificar que ella ha sido bien realizada y cumple con los estudios y especificaciones inherentes al proyecto. Lo mismo es exigido para las extensiones y modificaciones de instalaciones existentes.

4.1. Inspección de la Instalación Eléctrica

Los técnicos encargados de la supervisión de las instalaciones eléctricas, cuando éstas han finalizado, deberán disponer para su labor de toda la documentación relacionada con la obra eléctrica, esto es:

- Planos definitivos de las instalaciones.
- Esquemas y diagramas eléctricos.
- Tablas, características y especificaciones técnicas de los componentes de la instalación.
- Memoria de cálculo al proyecto.
- Elementos de inspección (escala, herramientas e instrumentos para desarrollar las mediciones finales, como: megger, tester, etc.).



Elementos de inspección

Durante la realización de la inspección y de los ensayos o pruebas a las instalaciones, deben ser tomadas todas las precauciones que garanticen la seguridad de las personas encargadas de la supervisión, como asimismo, las que eviten daños al equipamiento y a la propiedad.

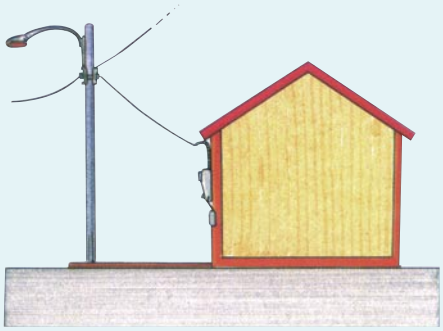
La inspección de las instalaciones, de ser visual, precede a las pruebas finales y es realizada a través de la inspección física de la instalación, esto es, recorriéndola desde el punto de empalme hasta el último elemento de cada circuito de la instalación.

La inspección visual permite hacerse una idea globalizada de la instalación y de las condiciones técnicas de la ejecución, revisando los siguientes aspectos:

Punto de empalme:

Verificar que se encuentren los conductores, tableros, cajas y puestas a tierra especificados en el plano eléctrico.

En este punto se debe verificar además de la posición de los tableros, que el alambrado sea ordenado, la ausencia de suciedad y de rebabas en los ductos, etc.



Empalme

- Tableros de protección:

Verificar las condiciones técnicas de:

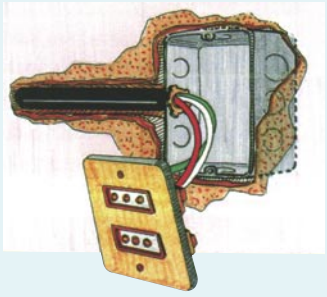
- Estructura de la caja: pintura, terminación y tamaño.
- Ubicación: altura de montaje, fijación y presentación.
- Componentes: protecciones, alambrado, barras, llegada y salida de ductos, boquillas, tuercas, etc.

Tablero de protección

Circuitos:

Al momento de revisarlos se debe verificar:

- El dimensionamiento de líneas: revisar la sección de los conductores.
- Los ductos: sus diámetros y las llegadas a cajas.
- Las cajas de derivación: inspeccionar la continuidad de líneas, el estado mecánico de los conductores, la unión y aislación de las conexiones, el espacio libre, el código de colores, el estado mecánico de los ductos y coplas, la ausencia de rebabas y la limpieza.
- Las cajas de interruptores y enchufes: el largo de los chicotes, el estado mecánico de unión al elemento, la llegada de ductos y la calidad de los dispositivos.
- Las puestas a tierra: al inspeccionar las puestas a tierra hay que verificar la sección de conductores, el código de colores, la calidad de las uniones a la puesta de tierra, la llegada al tablero, y la unión a las barras de tierra de servicio y tierra de protección situadas en el tablero.



Revisión de circuitos

En resumen, la inspección visual y análisis de la documentación entregada, tiene el objeto de verificar si los componentes o elementos permanentemente conectados cumplen las siguientes condiciones:

- Los requisitos de seguridad normalizados por reglamentos legales.
- Materiales correctamente seleccionados e instalados de acuerdo con las disposiciones de las Normas correspondientes; materiales y equipos instalados en buenas condiciones estructurales, es decir, no dañados visiblemente, de modo que puedan funcionar sin falta de la seguridad necesaria.
- Medidas de protección contra choques eléctricos por contacto directo e indirecto.
- Conductores dimensionados adecuadamente y con sus correspondientes dispositivos de protección a las sobrecargas.
- Conductores con sus correspondientes dispositivos de seccionamiento y de comando.
- Accesibles para la operación y mantención de sus instalaciones y elementos.

Inspección visual

4.2. Mediciones y ensayos de la instalación

En esta etapa de la supervisión se recurre al uso de instrumentos para verificar, entre otros detalles, el estado de las aislaciones y puestas a tierra, factores de gran importancia para la seguridad de los usuarios de la instalación eléctrica.

Las Normas prescriben los ensayos indicados a seguir y recomiendan la manera como proceder en su aplicación.

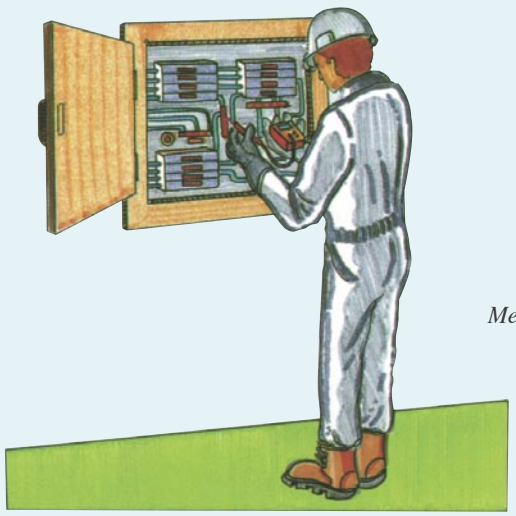
Dentro de los ensayos y mediciones se recomienda considerar las siguientes:

Continuidad de los conductores de las tierras de servicio y de protección y de las conexiones equipotenciales.

- Separación eléctrica de los circuitos.
- Resistencia de aislación de la instalación.
- Resistencia de pisos.
- Medición de la resistencia de los electrodos de la tierra de protección.
- Verificación de las características de los dispositivos de protección contra contactos indirectos y directos.
- Verificación de las características de los dispositivos contra cortocircuito y sobrecargas.
- Verificación de polaridades.
- Ensayos de tensión.
- Ensayos de funcionamiento.

Los ensayos o pruebas antes mencionadas, además de asegurar el correcto funcionamiento de un sistema o circuito eléctrico, están destinados a proteger al operador, evitando que corra el riesgo de quedar sometido a tensiones peligrosas por contacto directo o indirecto.

Por esto es fundamental que se cumplan las Normas que dispone la Superintendencia de Electricidad y Combustibles al respecto.



Mediciones y ensayos

4.3. Mediciones de aislación y puesta en marcha

4.3.1. Medición de aislación

Entre los materiales hay materiales “aislantes” y conductores. Los aislantes perfectos no existen. Los conductores activos de una instalación eléctrica (neutro y fases) deben estar unidos entre sí y con tierra a través de los aislantes que los recubren para controlar dicha imperfección o “corriente de fuga”. Dicha “corriente de fuga” se genera cuando se aplica una tensión entre los conductores por el paso de pequeñas cantidades de corriente a través de los aislantes.

La Norma eléctrica que rige en Chile, establece algunas precisiones sobre los niveles de corriente de fuga permitidos.

Para instalaciones de hasta 100 metros de longitud se acepta que la corriente de fuga en la salida de la protección general, entre un conductor activo (fase y neutro) y tierra, o entre los dos conductores activos, no sea superior a 1 miliampere (mA).

Dicho de otro modo, la resistencia que la aislación opone al paso de la corriente de fuga, o resistencia de aislación mínima, deber ser:

- De 300.000 ohms para la instalación cuya tensión de servicio sea hasta 220 volts.
- Para instalaciones con tensión de servicio superior a 220 volts, se aceptará una resistencia de aislación de 1.000 ohms por cada volt de tensión d servicio, es decir, si la tensión de servicio es de 380 volts, la resistencia de aislación mínima es 380.000 ohms.

Las pruebas o ensayos de aislación que se deben realizar durante la supervisión eléctrica, son:

- Aislación entre cada conductor activo y tierra.
- Aislación entre conductores activos.

Para hacer ambas mediciones, la instalación debe estar en las siguientes condiciones:

- Sin tensión

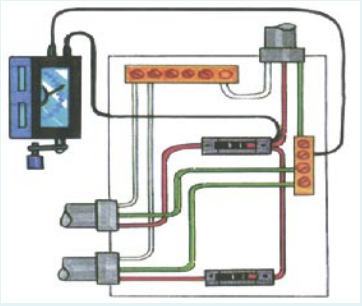
Ningún receptor conectado. Es decir, sin ampolletas en los portalámparas, y sin artefactos conectados a los enchufes.

Los interruptores que controlan a los receptores deben estar conectados, para continuidad eléctrica de la instalación.

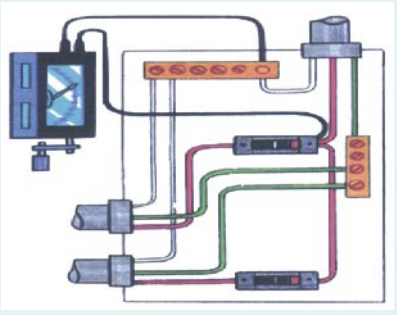
Para realizar la prueba de aislación, se debe contar con un instrumento llamado megger, que mide resistencia de aislación. Posee un generador de corriente continua accionado por medio de una manivela, con tensiones de medida de 500 y 1000 volts.

Para efectuar el ensayo de la medida de resistencia de aislación, se debe conectar el instrumento a la instalación tal como se muestra en la figura, para cada una de las mediciones indicadas anteriormente.

Medidas de aislación entre conductores activos a tierra



Medida de aislación entre conductores activos.



4.3.2. Medición de la “puesta a tierra”

La puesta a tierra de protección debe tener un valor específico, de acuerdo a los requerimientos de las medidas de seguridad contra tensiones por contactos indirectos.

Las mediciones de supervisión eléctrica, para las protecciones contra contactos indirectos, son dos:

1. Medida de la tierra de protección.
2. Medida de tierra para la protección diferencial.

Los objetivos de la “puesta a tierra”, son:

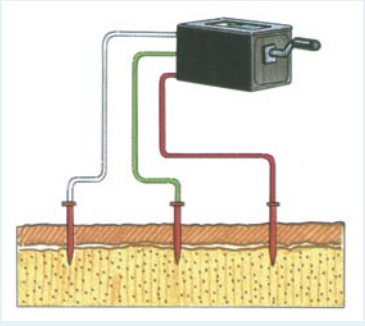
- Conducir a tierra (al suelo) todas las corrientes producidas por una falla de aislación que haya energizado las carcazas de los equipos eléctricos.
- Evitar que en las carcazas metálicas de los equipos eléctricos aparezcan tensiones que resulten peligrosas para la vida humana.
- Permitir que la protección del circuito (el disyuntor magneto-térmico) despeje la falla en un tiempo no superior a los 5 segundos.
- Controlar el nivel de tensión (voltaje) que aparece en las carcazas de los equipos eléctricos ante una falla de aislación, para que éste no alcance valores superiores a las tensiones de seguridad, es decir, 65 volts, en ambientes secos o de bajo riesgo eléctrico (habitaciones interiores y secas) y 24 volts, en ambientes húmedos o de alto riesgo eléctrico (a la intemperie, zonas de humedad permanente, baños, etc.).

Para efectuar el ensayo de medición de una puesta a tierra, se deben tener presente las siguientes condiciones previas:

- La instalación debe estar "desenergizada".
- Se deben retirar las puestas a tierra de la instalación. Es decir, se debe desconectar la conexión del conductor de puesta a tierra, con la toma a tierra principal (electrodo o barra copperweld).
- La medición se efectúa utilizando un instrumento especial para la evaluación de puestas a tierra.

Este instrumento posee tres terminales, los cuales deben ser conectados como lo indica la figura siguiente:

- Uno de los terminales se conecta a la puesta a tierra de la instalación (electrodo copperweld).
- Los otros dos terminales se conectan a dos barras pilotos, que se deben clavar en el terreno a distancias pertinentes.
- Posteriormente, se efectúa la medición haciendo girar la manivela del instrumento.
- La aguja indicará el valor de la resistencia de la puesta a tierra, el que deberá ser igual o menor al valor calculado con fórmula.



4.3.3. Medición de la resistencia de pisos

Para establecer si un piso es aislante, se efectuará una medida de resistencia colocando sobre el piso un paño húmedo de forma cuadrada y de aproximadamente 270 mm de lado sobre el cual se colocará una placa metálica limpia, sin óxido, de forma cuadrada y de 250 mm por lado, sobre esta última se colocará una placa de madera de igual dimensión y de un espesor mínimo de 20 mm, el conjunto se cargará con un peso de aproximadamente 70 kg.

Se medirá la tensión mediante un vóltmetro de resistencia Ri de aproximadamente 3.000 ohms, sucesivamente entre:

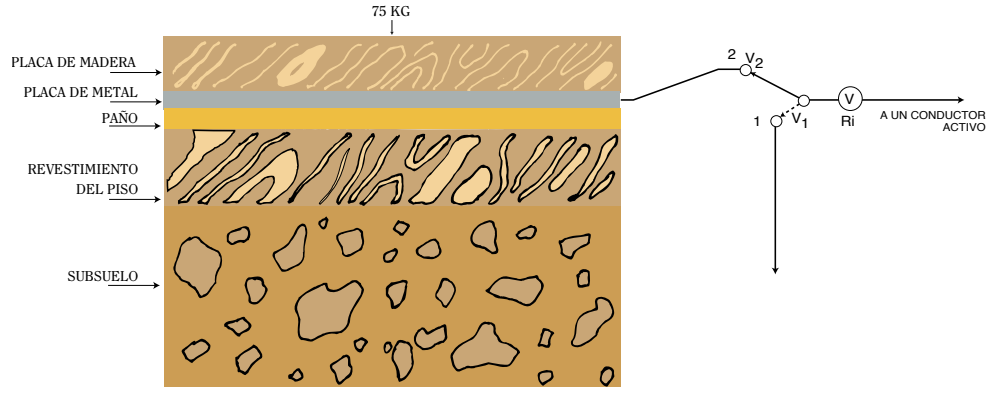
- Un conductor de fase y la placa metálica; esta tensión la llamaremos V2.
- Entre el mismo conductor de fase y una toma de tierra eléctricamente distinta de la placa, y de resistencia despreciable frente a Ri; esta tensión la llamaremos V1.
- La resistencia buscada estará dada por la relación:

$$Rp = Ri \bullet \left(\frac{V1}{V2} - 1\right) ( )$$

En un mismo local se efectuarán por lo menos tres mediciones. Si existe un elemento conductor en la Zona, por lo menos una de las mediciones deberá hacerse a una distancia de 1,00 m de él.

Para que el piso sea considerado aislante ninguna de las mediciones deberá arrojar valores inferiores a 50.000 ohms.

MEDIDA DE RESISTENCIA DE PISOS



$$Rp = Ri \times \left(\frac{V_1}{V_2} - 1\right)(|)$$

Rρ = Resistencia del piso en Ohm
Ri = Resistencia interna del Voltmetro en Ohm
V1 = Lectura del Voltmetro en el Pto 1 en Ohm
V2 = Lectura del Voltmetro en el Pto. 2 en Ohm

La disposición descrita aquí no es aplicable a sistemas o circuitos con neutro aislado de tierra.

4.3.4. Ensayo de polaridades.

Aplicable cuando las reglas de instalación no permiten el uso de dispositivos unipolares de seccionamiento del neutro.

4.3.5. Ensayos de tensión aplicada.

Tiene por objeto verificar la rigidez dialéctica de los componentes de la instalación.

4.3.6. Ensayos de funcionamiento.

Debe ser realizado estando montados todos los elementos de la instalación, tales como: tableros, dispositivos de accionamiento, controles y de protección, artefactos, etc., para verificar si el conjunto está en conformidad con las prescripciones y normas establecidas por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles.