

TP N°11 - Nivel 1

Servicios de fuerza motriz, mando, controles y protección del edificio

Dr. Jorge D. Czajkowski - Profesor Titular

INTRODUCCIÓN

Junto a la provisión de energía eléctrica a un edificio deben considerarse otros componentes indispensables para su adecuado funcionamiento con eficiencia energética. En este campo se encuentra la fuerza motriz que permite mantener al edificio para elevar el agua o los desagües a niveles que operen por gravedad, subir o bajar personas y cargas, circular fluidos (aire, agua, etc) en sistemas de climatización, entre otros.

Junto a esto todo edificio está sometido a largar eléctricas naturales que pueden dañar seriamente al edificio y sus ocupantes y para esto es necesario protegerlo. Bajo este apartado se tratarán las protecciones eléctricas producto de descargas atmosféricas entre los que se encuentran los pararrayos.

SERVICIOS DE FUERZA MOTRIZ**Instalaciones de fuerza motriz**

Pueden definirse los circuitos de fuerza motriz como los que realizan la transmisión de energía para el de motores de relativamente altas, generalmente del tipo trifásicos.

En edificios comprende por ejemplo la alimentación de ascensores, bombas de agua, aire acondicionado, calefacción, ventilación, cte.

El Reglamento exige que los conductores de fuerza motriz sean independientes de los de alumbrado, independizando cajas de paso y de distribución. Se establece además que los circuitos pueden tener capacidad ilimitada y cualquier número de derivaciones, pero *cada una de las derivaciones debe protegerse con llave y fusible o interruptor automático*

Estas instalaciones se diferencian de las de alumbrado por las siguientes consideraciones:

1) Diferentes caídas de tensión admisibles:

De acuerdo al Reglamento de la AEA se establece que para el caso de iluminación la caída de tensión máxima admitida es del 3%. Ello se debe a que puede llegar a reducirse el grado de rendimiento lumínico de la instalación, mientras que para fuerza motriz se admite hasta un 5% de caída de tensión sin que varíen prácticamente las condiciones de trabajo de los motores. Se exige además que en el arranque la caída de tensión no supere el 15%.

Distribución

Cuando se trata de alimentación de motores de potencia elevada, no es aconsejable la utilización de corriente alterna monofásica en virtud que exige mayor sección de conductores, por lo que la distribución de fuerza motriz se realiza generalmente mediante corriente alterna trifásica.

Conexión

La vinculación de los elementos a los circuitos de fuerza motriz debe efectuarse mediante *conexión fija*, no utilizándose los tomacorrientes comunes.

Factor de potencia

En los casos de alimentación de motores debe tenerse en cuenta el *factor de potencia* o $\cos\phi$ que es la relación entre la potencia eléctrica activa o real que consumen los motores y la potencia aparente o máxima que están diseñados para tomar. El factor de potencia ideal es igual a 1.

Si se sobredimensionan los motores baja el valor del $\cos\phi$, dado que la potencia activa es menor que la aparente, y ello afecta la capacidad de distribución de energía eléctrica de la red. Para corregir este problema se emplean *capacitores* o *condensadores estáticos*.

Corriente de arranque

La corriente que absorben los motores en el arranque pueden ser muy elevadas y de valor mucho mayor que la nominal de marcha, produciendo perturbaciones en la red a la que está conectado, cuya magnitud va a depender de la cupla resistente que debe vencer en el arranque y la potencia del motor con respecto a la capacidad de la red de distribución.

Este problema se traduce en caídas de tensión que son visibles en los artefactos de alumbrado y pueden llegar a afectar los distintos artefactos que están conectados al sistema.

Motores eléctricos

Cuando la corriente eléctrica circula por un conductor se origina a su alrededor un *campo magnético*, cuya intensidad depende de la cantidad de corriente que se desplaza y si se lo introduce dentro de un campo magnético, se ejerce sobre el mismo *una fuerza que tiende a desplazarlo*, como se indica en la figura 1. Este concepto constituye el principio básico de funcionamiento de los motores eléctricos.

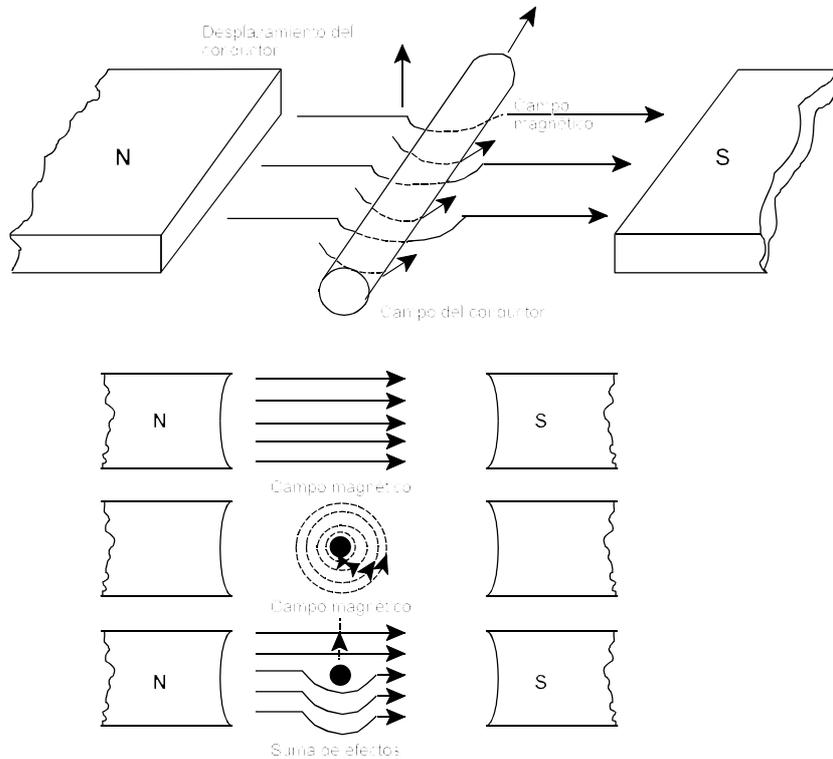


Figura 2: Esquema conceptual del funcionamiento de un motor eléctrico.

Movimiento del conductor

Si se tienen dos piezas de hierro de polaridad opuesta, en el espacio que las separa se origina un campo magnético constituido por una serie de líneas de fuerza que van del norte al sur. Si se supone un alambre recorrido por una corriente y que la misma *va hacia arriba* en la figura, se producen las líneas de fuerza que se indican. Si se analizan la suma de ambos efectos, se observa que las líneas de fuerza en la parte inferior coinciden y en la parte superior se oponen. Por tal motivo el campo magnético es más poderoso por debajo del alambre que por encima.

Se deduce entonces que la fuerza magnética hace *desplazar el alambre hacia arriba* a fin de lograr el estado de equilibrio de fuerzas.

Movimiento de una bobina

Si ahora se coloca una bobina entre los polos y se conecta la bobina a una batería, la corriente fluye hacia abajo en un lado de la bobina y hacia arriba en el otro como se muestra en la Figura 2.

De ese modo el alambre de la izquierda tenderá a subir y el de la derecha a bajar hasta alcanzar un estado de equilibrio. Ello ocurrirá cuando ambos conductores alcancen el punto más bajo y más alto posible, en dicho punto el alambre se detendrá.

Para evitar dicha detención, cuando llegan a dichos puntos extremos, se invierte el movimiento de la corriente en los alambres de la bobina. Para lograr este objetivo se, utiliza en corriente continua un dispositivo que permite cambiar las conexiones cuando los conductores de la bobina han dado media vuelta, continuando de esa forma permanentemente el giro del mismo.

En corriente alterna no existe ese problema, dado que ya la misma corriente cambia de polaridad en forma permanente y constante según la frecuencia de la red. De esa forma todo motor eléctrico se compone de dos partes fundamentales:

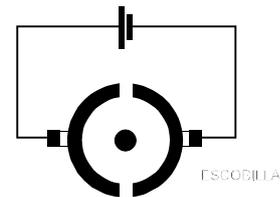
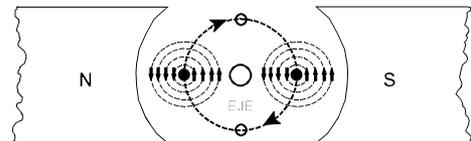
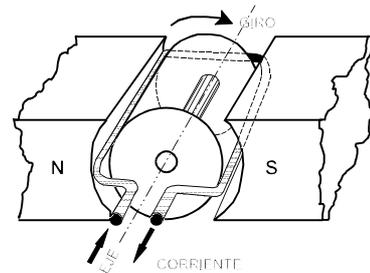


Figura 3: Esquema básico de funcionamiento de una bobina eléctrica.

Tipo	Velocidad	Cupla arranque	Con arranque	Principales usos
CONTINUA				
Serie	variable con la carga	Muy alta	Alta	Grúas, elevadores, tracción
Shunt	constante	Baja	Baja	Generales, máquinas herramientas, bombas, etc.
Compound	constante	Alta	Media	Grúa, elevadores, mecanismos pesados
ALTERNA TRIFÁSICA				
Jaula ardilla	Constante	Baja	Alta	Aplicaciones generales. Ventiladores, bombas, maquinas, herramientas.
Rotor bobinado	Constante	Alta	baja	Grúas elevadores, compresores grandes, mecanismos pesados
Sincrónicos	Constante	Baja	Alta	Para grandes potencias compresores, ventiladores
ALTERNA MONOFÁSICA				
fase dividida	Constante	baja	alta	Ventiladores, artefactos domésticos
arranque con capacitor	constante	alta	alta	heladeras, compresores,
Repulsión	variable con la carga	muy alta	baja	Aparatos portátiles, máquinas herramientas.

Estator: parte fija

Rotor o inducido: parte móvil

De acuerdo a lo visto los motores pueden ser de corriente continua o de corriente alterna, pudiendo estos ser trifásicos o **monofásicos** según la red de suministro.

Dentro de estos tipos hay una gran variedad, pudiéndose destacar las características básicas en el cuadro siguiente, en las que se indican además, sus particularidades de aplicación.

Motores de corriente alterna de inducción

Según la corriente de suministro a los mismos pueden ser de corriente alterna trifásica o monofásica.

Motores de corriente alterna trifásica:

Motor asincrónico de inducción:

El motor asincrónico trifásico es el tipo de motor que se emplea en la generalidad de los casos. Se los fabrica dentro de un amplio rango de potencia y para una gran variedad de características, siendo el mas económico de los motores y fácil de arrancar. Los dos componentes fundamentales de este motor son el estator o parte fija y el rotor o inducido que constituye la parte móvil. El estator está compuesto por un núcleo de hierro laminado en cuyo interior existen tres arrollamientos o bobinas, una por fase, colocados simétricamente formando un ángulo de 120°, como se observa en la Figura 3.

Funcionamiento de los motores de corriente alterna trifásica

En los circuitos de corriente alterna trifásica se originan en cada conductor de línea o vivos, R, S o T fuerzas electromotrices que representan la variación de las intensidades de corriente.

Según se observa en la Figura 3, en un primer momento a los 0° o punto 1 se tiene T(+), R (0) y S (-). Esto significa que la corriente está entrando por T y saliendo por S.

De esta manera, en la bobina del estator se origina un campo de sentido contrario a la circulación de la corriente, produciéndose un polo sur a la entrada norte a la salida de corriente, según la convención adoptada de acuerdo a la figura.

Si se analiza luego un punto 2 a los 60° de giro del alternador, se tiene ahora que la corriente entra por R(+) y sale por S(-), dado que la fase T en ese instante es igual a 0. De esa manera, se crean las polaridades sucesivas indicadas en los distintos puntos en las figuras correspondientes.

Con una flecha, se ha indicado el campo resultante en cada diagrama observándose que el mismo ha girado, siguiendo las frecuencias de la corriente de suministro. De esa manera, los polos se trasladan constantemente, creando un campo magnético móvil llamado *campo giratorio*, de modo que, si se tiene una corriente alterna trifásica con una frecuencia 50

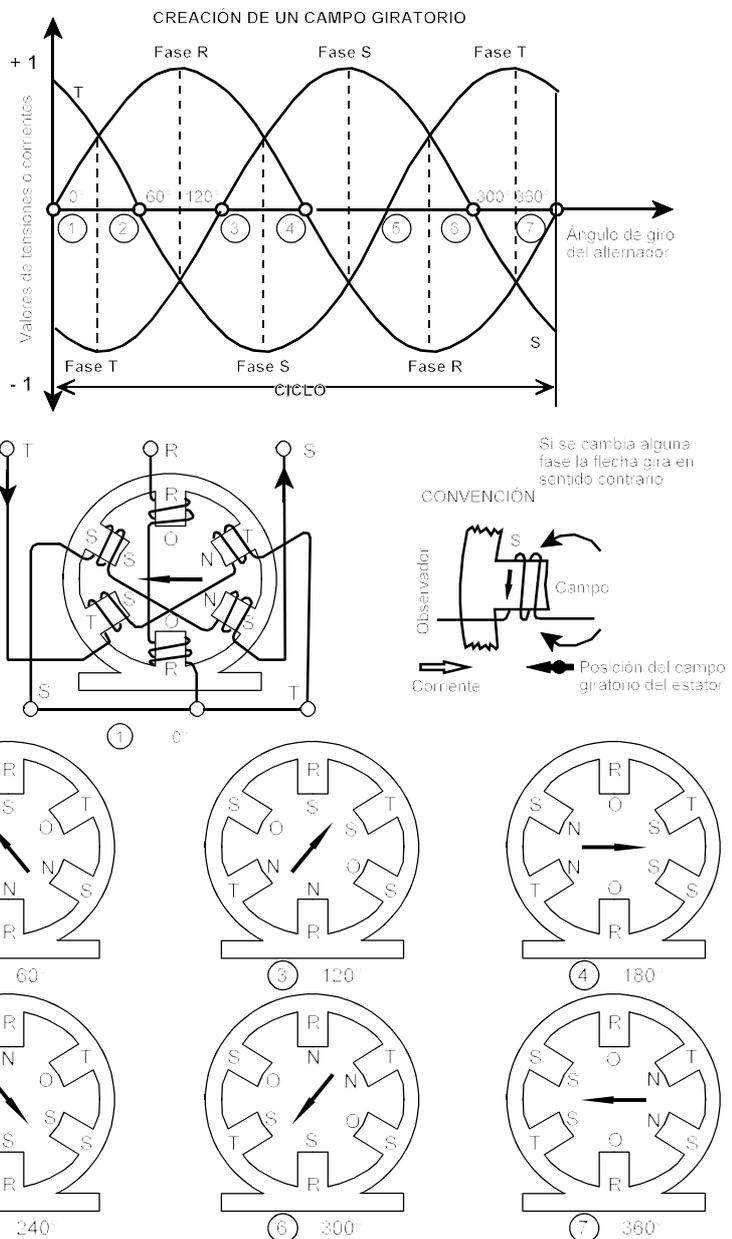


Figura 4:

ciclos , los polos creados por la corriente, giran a una velocidad de 50 revoluciones por segundo.

Si un cilindro macizo de cualquier material conductor, por ejemplo de cobre, se introduce en el espacio libre que existe en el centro del estator, las líneas de fuerza magnética cortan al mismo. Estas líneas de fuerza al cortar el cilindro inducen *fuerzas electromotrices* o corrientes eléctricas que originan a su vez un campo magnético, el que en su reacción con el campo giratorio del estator, provoca una fuerza de atracción que *tiende a hacer girar al cilindro en el mismo sentido que rotan los polos*, siendo éste el principio fundamental de funcionamiento de un motor a inducción.

La velocidad a la cual gira el cilindro es aproximadamente igual a la de los *polos, nunca puede ser igual*. Por ejemplo, si se tiene una corriente de 50 ciclos por segundo para el motor de 2 polos de la figura, el cilindro gira en 1150 segundos o sea 50 revoluciones por segundo o 3000 revoluciones por minuto, (R.P.M.).

Si en vez de 2 polos el motor es de 4 polos, en el mismo tiempo el inducido solo puede realizar media vuelta para pasar dos polos, de modo que el cilindro gira a la mitad de la velocidad, aproximadamente a 1500 R.P.M.

De acuerdo a ese análisis en general, puede decirse que:

Donde:

f : ciclos por segundo (frecuencia de la red)

n : número de polos del motor

$$R. P. M. = \frac{f}{2 \times n} \times 60$$

En caso de que el cilindro girara a la misma velocidad que los polos, el flujo magnético cesaría de cortar transversalmente al cilindro, desapareciendo las corrientes inducidas y por lo tanto, la fuerza propulsora del motor.

Por dicho motivo, se llama a este motor *asincrónico* en contraposición del *sincrónico* que gira la velocidad del sincronismo o frecuencia de la red de suministro. La pequeña diferencia entre las dos velocidades se conoce con el nombre de *deslizamiento* o *resbalamiento*, que generalmente oscila entre un 3 a 5% de la velocidad sincrónica.

Si se hace que el cilindro dentro de ciertos límites efectúe un trabajo, el resbalamiento aumenta, siendo mayor el número de líneas de fuerza cortadas y por consiguiente aumenta el par motor. Si se emplea un cilindro continuo de cobre como órgano de giro, aunque ofrece un - paso perfecto a las corrientes inducidas, no lo sería tanto -para el flujo magnético.

Por el contrario, uno de hierro suministra un fácil circuito magnético pero mayor resistencia al paso de las corrientes inducidas. Por lo expuesto, el órgano de giro o rotor se lo diseña buscando dichos objetivos, existiendo dos tipos básicos que dan su nombre a los motores de inducción:

- Motor a inducción de jaula de ardilla
- Motor de inducción de rotor bobinado

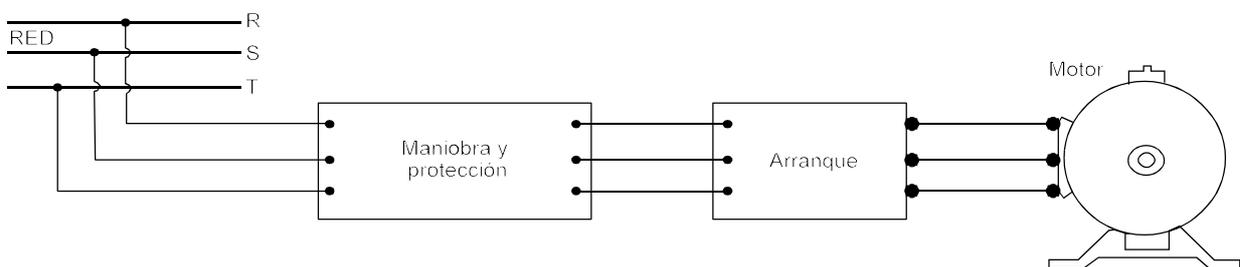


Figura 5

Conexiones de motores a la red

Los elementos destinados a la conexión de un motor eléctrico a la red de suministro se puede plantear de la siguiente manera:

Supóngase una red donde existe un dispositivo de maniobra y seguridad, un elemento para el arranque y luego el motor.

Es decir que fundamentalmente *debe existir un conjunto de elementos destinados a proteger el motor*, incluso los cables y el propio elemento de control, y un dispositivo que tienda a arrancar, acelerar y parar el motor.

Sistemas de arranque

Se pueden clasificar los sistemas de arranque en dos grupos fundamentales que son:

- Arranque a tensión nominal o en directo
- Arranque a tensión reducida

La elección de uno u otro sistema depende de 4 factores

- a) Costo
- b) Tamaño del motor
- c) Intensidad y par de arranque del motor
- d) Restricciones de las compañías de suministro eléctrico

Debe tenerse en cuenta que en el instante inicial el motor eléctrico absorbe una corriente mayor de la normal, produciendo perturbaciones en la red a que está conectado. Estas perturbaciones, cuya magnitud varía de acuerdo a la potencia del motor con respecto a la capacidad de la red de distribución, se traduce en caídas de tensión en la misma, que son muy visibles en el alumbrado y que pueden afectar el funcionamiento de otros elementos conectados a la misma. Además la aceleración brusca del motor puede provocar daños en el elemento que acciona el motor o en la transmisión (correas, engranajes, etc.).

Cuando el motor es pequeño los problemas no son tan grandes, pudiéndose arrancar directamente a tensión nominal, pero cuando son grandes suele solucionarse el problema reduciendo la intensidad de la corriente de arranque, aplicando al motor una tensión inferior a la de la red de alimentación, llamándose entonces a esos sistemas de arranque *a tensión reducida*. El Reglamento del Código Municipal fija los límites a fin de que la intensidad de corriente no adquiera valores excesivos.

Así se establece:

Potencia Nominal (CV)	Intensidad de arranque
Hasta 3	4,0
Más de 3 hasta 6	3,5
Más de 6 hasta 9	3,1
Más de 9 hasta 12	2,8
Más de 12 hasta 15	2,5
Más de 15 hasta 18	2,3
Más de 18 hasta 21	2,1
Más de 21 hasta 24	1,9
Más de 24 hasta 27	1,7
Más de 27 hasta 30	1,5
Más de 30	1,4 veces la intensidad nominal

El Reglamento de la AEA fija como caída de tensión en la red no supere el 15% en el arranque de motores eléctricos. En dicho Reglamento se dispone que los motores deben estar provistos de un interruptor que corte todas las fases o polos simultáneamente.

Para la protección se debe utilizar un dispositivo de interrupción (fusibles o interruptores termomagnéticos) que corte el circuito cuando la intensidad adquiera un valor peligroso.

En el caso de motores trifásicos además de la protección indicada anteriormente debe utilizarse un dispositivo de interrupción automático que corte el circuito de alimentación cuando la tensión baje de un valor determinado o falte en uno de los conductores (se exige para más de 0,75 KW). Para lograr estos objetivos, cuando se está dentro de los valores -de arranque admisible según Código, se utiliza un dispositivo de arranque a tensión nominal o en directo.

Dispositivos de arranque a tensión nominal o en directo: Estos dispositivos se utilizan en la mayoría de los motores de pequeña potencia. Sin embargo debe tenerse en cuenta la *cupla motora* ya que aún que la potencia sea pequeña, puede tener una gran cupla de arranque que haga que la intensidad de corriente en el mismo supere los valores admisibles establecidos Por los Códigos. En general pueden utilizarse estos dispositivos de arranque en directo, siempre que la cupla de arranque no sea elevada de acuerdo a lo siguiente:

- Hasta 5 HP para motores monofásicos
- Hasta 7,5 HP para motores trifásicos

Estos dispositivos pueden ser manuales que son los interruptores ya vistos o también los que se denominan contactores que son dispositivos de corte o arranque del motor y permiten el accionamiento de los motores a distancia. Están provistos de protección contra sobre intensidades, baja tensión y falta de fase de acuerdo a lo exigido por los Reglamentos.

Para el accionamiento se utiliza un pulsador que activa una bobina que atrae los contactos principales que ponen en marcha el motor. En vez de un pulsador manual puede ser accionado por un dispositivo automático de control, por ejemplo un dispositivo de control de nivel ubicado en un tanque de agua, según se detalla en figura.

El funcionamiento es el siguiente: Al bajar el nivel del tanque de agua, se cierra el circuito de la bobina, que en este caso está conectada a la red de 220 volts, pero que puede estar conectada a 380 volts entre vivos o con baja tensiones mediante transformador.(24 Volts) según el Reglamento de la AEA

Esta bobina produce la atracción y cierre de los contactos principales CP, produciendo de esta forma el arranque en directo del motor. Cuando el tanque llega al nivel, se abre el contacto del interruptor de nivel, no circulando corriente por la bobina y por lo tanto al no atraer los contactos principales se produce la detención del motor. El motor según el Reglamento debe ser protegido contra sobre intensidad, baja de tensión y corte de alguna fase.

En este caso si existiera una sobre intensidad que dure más del tiempo previsto actúa el bimetálico produciéndose la apertura del contacto CS que -para el motor.

Si la tensión es *baja*, la bobina principal no genera el campo suficiente para atraer los contactos CP, abriéndose el mismo y consecuentemente deteniéndose el motor. En caso de falta de fase ocurre el mismo proceso indicado precedentemente.

Se observa que existen dos sistemas uno el de fuerza motriz y el otro de comando que acciona la bobina principal.

La corriente que pasa por el motor es la corriente principal y la que pasa por la bobina del contactor la corriente secundaria o de maniobra. Se observa entonces que la corriente necesaria para accionar la bobina es muy pequeña.

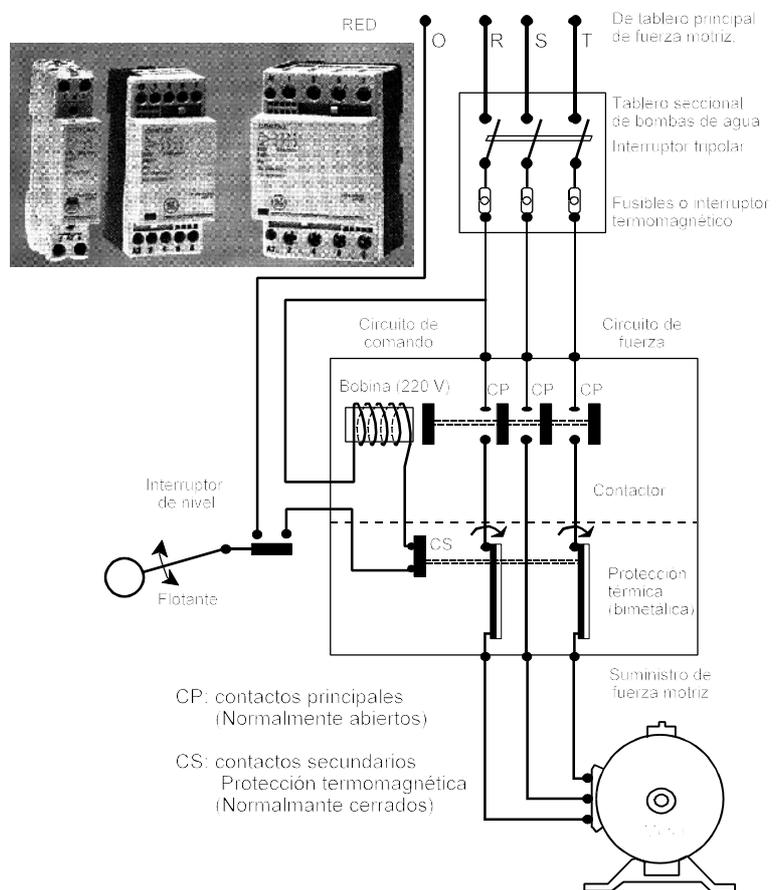


Figura 6: Esquema básico de funcionamiento de un contactor para el comando y protección de un sistema de bombeo a tanque.

Con el contactor entonces se logran dos objetivos fundamentales:

- 1) Se puede efectuar el comando a distancia de un motor, incluso desde varios puntos con gran reducción de la sección de cobre, dado que los cables de control y accionamiento no llevan la intensidad necesaria para el funcionamiento del motor, sino una pequeña intensidad de corriente necesaria para activar la bobina principal de arranque.

2) Como trabajan con intensidades pequeñas, facilitan notablemente el accionamiento y diseño del dispositivo de control.

Un interesante ejemplo de aplicación de este elemento lo constituye el accionamiento de las bombas elevadoras de agua de un edificio de cierta envergadura.

En efecto, las bombas toman el agua del tanque de bombeo en el sótano y lo elevan hasta el tanque de reserva de la azotea, funcionando comandadas por un regulador de nivel y un contactor automático.

Debe aclararse que de acuerdo a lo indicado precedentemente, el *contactor* debe contar con protección térmica por sobre intensidades, o sea que no actúa rápidamente en caso de cortocircuitos. De esa manera, debe preverse en la red de suministro interruptores y fusibles o interruptores termomagnéticos para ese fin, con un dimensionamiento adecuado.

Por ello, se emplea el guarda motor que reúne en un solo aparato el contactor, térmico y fusible, con la consecuente ventaja de espacio, tiempo de armado y cableado. Sin embargo, como su accionamiento es manual, es muy limitada su posibilidad de realizar automatismos, por lo que en estos casos suele combinarse con un contactor aprovechando del guarda motor la protección contra sobre intensidades y cortocircuitos.

Dado que los *contactores* están concebidos para ser utilizados en motores trifásicos existe una forma de armar el circuito para adaptarlos a motores monofásicos. Dado que los contactores cuentan con una protección adicional por falta de fase, si por dos de sus tres elementos circula corriente, y por el tercero no, la protección "interpreta" que falta esa fase, y transcurrido el tiempo de precalentamiento, actúa. La repetición en tiempo más corto se debe a que entre el disparo y la nueva puesta en marcha, no hay tiempo para que los elementos térmicos se enfrían.

Para evitar este inconveniente, si deseamos usar estas protecciones con motores monofásicos, se debe adoptar un circuito tal, que la corriente pase por los tres elementos térmicos. El circuito de la Figura 6 es una de las posibilidades.

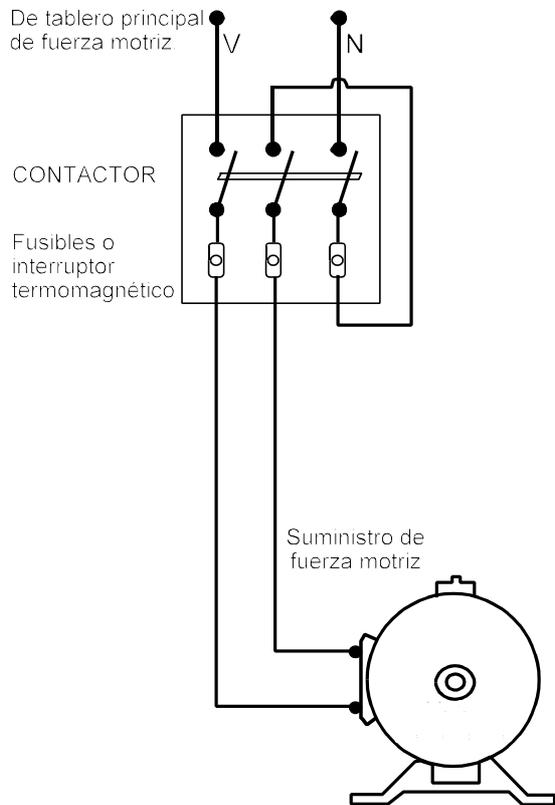


Figura 7: Uso de contactores con motores monofásicos.

Instalación eléctrica de bombas elevadoras de agua

Las bombas elevadoras de agua son accionadas por motores eléctricos y son instaladas normalmente por razones de seguridad en by-pass, para funcionar una de ellas como reserva en caso de falla de la otra. Toman el agua del tanque de bombeo situado en el sótano y la impulsan a un tanque elevado denominado tanque de reserva. Las necesidades de la bomba surge de los requerimientos de consumo de agua en el edificio, debiéndose establecer dos datos básicos para determinar sus características:

- Caudal de circulación (*C*)
- Altura manométrica o presión medida en altura que puede vencer (*H*)

En base estos datos se calcula la potencia en HP mediante la fórmula:

Donde:

P: potencia (HP).

C: caudal de agua (litros / hora).

H: altura manométrica de la bomba (m).

γ : peso específico del agua (kg./litro). Se adopta igual a 1.

η : rendimiento de la bomba (%). Se adopta 40 a 70 %.

$$P = \frac{C \times H \times \gamma}{3600 \times 75 \times \eta}$$

Calculada de esta manera la potencia eléctrica del motor se le agrega un 10 a 20% más como seguridad. La instalación se comanda por contactos eléctricos accionados por flotantes ubicados en ambos tanques, de modo que cuando se alcanza en el tanque de reserva el nivel mínimo prefijado, comienza el bombeo, hasta alcanzar el tope superior que detiene las bombas.

Además, debe preverse que si deja de llegar agua al tanque de bombeo por una interrupción en la provisión exterior y el nivel de ese tanque descendiera del nivel establecido previamente, debe detenerse el bombeo en forma automática para evitar el accionamiento en vacío, que puede deteriorar el motor de la bomba.

En la figura 7 se muestra un esquema de funcionamiento del sistema. Cuando el tanque de reserva alcanza el nivel mínimo establecido, se cierra el contacto del *regulador de nivel* y el circuito de comando activa la bobina del contactor, que cierra los contactos principales de fuerza motriz del motor, poniendo en funcionamiento la bomba. Cuando el nivel sube hasta un nivel superior determinado, el regulador de nivel abre los contactos y al deshabilitarse el circuito de comando se produce el efecto contrario al anterior, deteniéndose el funcionamiento de la bomba.

Además, en serie en el circuito de comando hay un regulador de nivel en el tanque de bombeo con *contactos normalmente cerrados*, que se abren en caso de que el nivel del tanque de bombeo descienda de un valor mínimo prefijado, desactivando el circuito para detener la bomba, evitando que trabaje en vacío y se produzca el descebado. Las bombas generalmente se instalan en by-pass por razones de seguridad y mantenimiento por las cuales las habilita manualmente mediante *llaves conmutadoras o inversoras*, por supuesto, previo accionamiento de las válvulas de agua correspondiente.

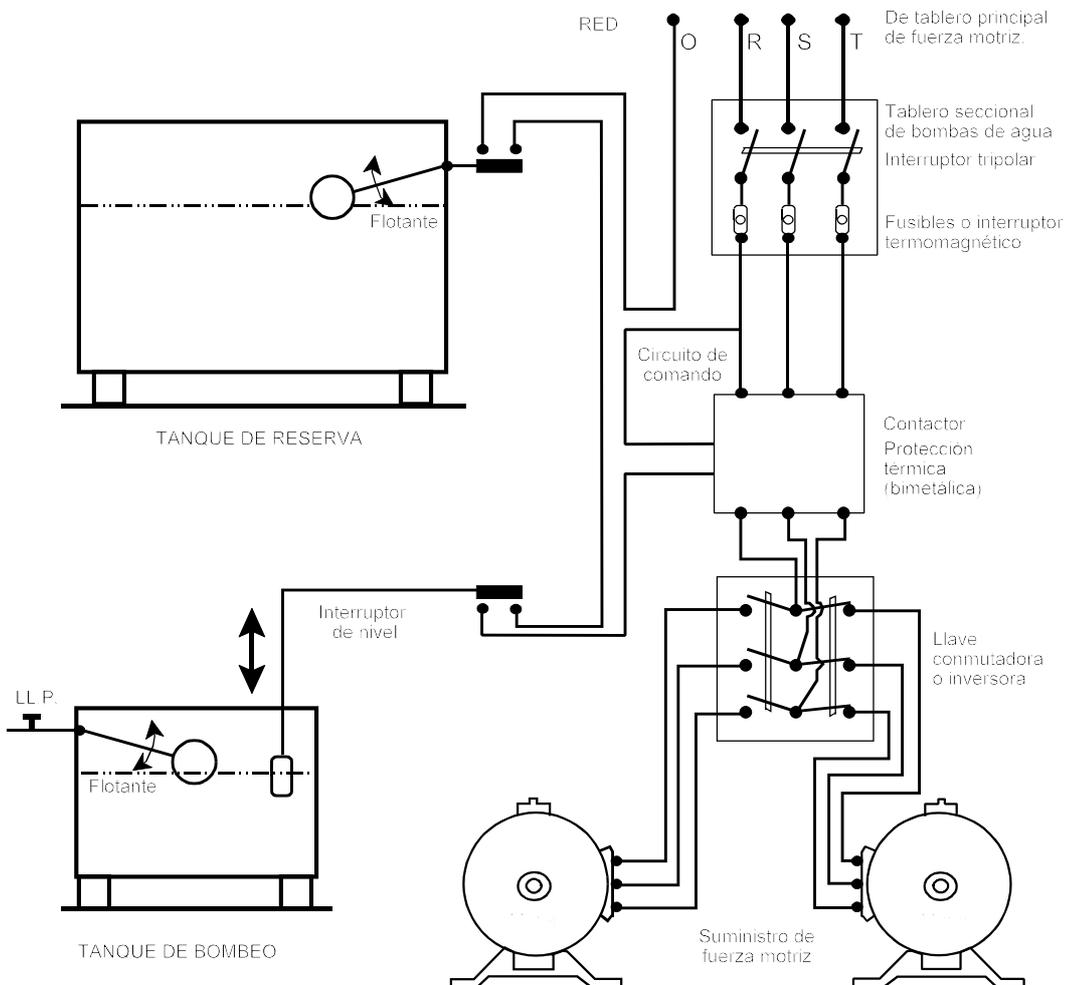


Figura 8: Esquema de conexión de dos bombas electromecánicas para suministro de agua entre cisterna y tanque de reserva con sus tableros de comando y protección.

Dispositivos de arranque a tensión reducida

Por la característica de la máquina que deben operar, los motores requieren una *cupla de arranque* que es la fuerza que debe realizar por su distancia al eje en el momento del arranque como se muestra en la figura, tomando una intensidad de corriente mayor que la nominal de marcha.

Cuando la cupla es grande, pueden tomar en el arranque una intensidad de comente elevada la que puede superar la máximas exigidas, por lo que deben adoptarse en la instalación medidas tendentes a reducirlas.

El procedimiento mas común, consiste en suministrar a los arrollamientos del estator en el momento del arranque una tensión menor que la nominal de marcha, de modo que se hace proporcionalmente menor la intensidad requerida y se reduce paralelamente el campo magnético y la cupla motriz a un valor que debe ser suficiente como para arrancar el motor y una vez que cuenta con cierta inercia, se aplica la tensión normal de marcha.

Entre los dispositivos mas utilizados se pueden mencionar los siguientes:

- Arrancador estrella-triángulo
- Autotransformador de arranque
- Arrancador estrella - triángulo

El procedimiento para reducir la tensión en el momento del arranque *consiste en permutar las conexiones de los arrollamientos M estator* de los motores trifásicos, en dos etapas. Primero se conectan en *estrella* de modo que reciben la tensión de fase de 220 Volts y luego en *triángulo* recibiendo la tensión de línea de 380 Volts.

El intercambio estrella- triángulo se efectúa después de un lapso determinado a fin de que la conexión estrella o sea con la tensión de fase de $\sqrt{3}$ o 1,73 veces y paralelamente la intensidad de arranque se reduce en la misma proporción. Para emplear el arranque estrella-triángulo, se necesita que los arrollamientos del motor estén diseñados para conectarse en triángulo a la red de 3x380 Volts.

Por ejemplo, si la chapa el motor indica 3 x 220 Volts o (220/380 Volts), significa que la bobina del estator solo está diseñada para soportar 220 Volts en triángulo , por lo que ese motor solo *puede conectarse a la red de 3 x 380 Volts, en estrella*. Por ello, solo pueden hacerse arrancar en estrella-triángulo los motores cuya chapa característica es 3 x 380 V o (380/660 Volts), porque los arrollamientos del motor están calculados para trabajar con 380 Volts en triángulo.

Autotransformador de arranque

El arranque estrella -triángulo, tiene el inconveniente de que la cupla de arranque que se obtiene con la tensión reducida de 220 Volts es de 0,5 a 0,6 de la nominal de marcha, pudiendo ocurrir en máquinas que requieren una gran cupla o fuerza de arranque que la misma no alcance como para hacer arrancar la máquina.

Ocurre entonces, que el motor no arranca con la tensión reducida y si el dispositivo automático pasa a la tensión de línea o sea 380 Volts, la máquina *tiende a arrancar en directo* tomando una gran intensidad de arranque. Ello ocurre en máquinas de mucha inercia, como es el caso de los

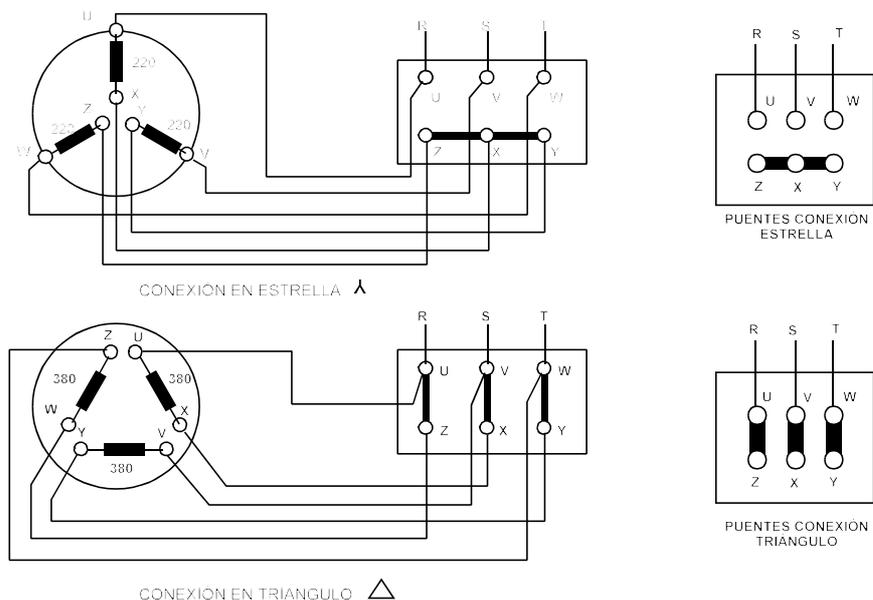


Figura 9: Esquema de arrancador en estrella y en triángulo.

ventiladores centrífugos para potencias de más de 7,5 HP. Para evitar estos problemas se suele utilizar un elemento en el arranque denominado *autotransformador de arranque*.

Con este dispositivo, se suministra una tensión reducida en el arranque igual que en el estrella-triángulo, pero a medida que el motor va adquiriendo velocidad, mediante bobinas auxiliares se va incrementando en forma gradual la tensión que se suministra a los arrollamientos del estator, hasta llegar a los 380 Volts de línea, lográndose por lo tanto, un arranque suave.

Diseño de una instalación con motores

La operación de los motores no está confiada siempre a personas competentes desde el punto de vista eléctrico, por ello, todos los elementos deben ser lo mas sencillos posibles y estar bien protegidos, para evitar cualquier posibilidad de error por falsa maniobra. Según la importancia del motor, los aparatos de maniobra deben hallarse próximo al mismo, y si la instalación es de importancia y comprende varias máquinas, es preciso disponer de un tablero de comando completo con elementos de señalización, maniobra y medición.

Las secciones de los conductores de alimentación de los motores deben diseñarse con cierta amplitud, a fin de evitar calentamientos o caídas de presión excesivas.

En la tabla siguiente se indica la intensidad aproximada de los motores eléctricos en función de la potencia y pueden ser usados para la *estimación del de las secciones de los conductores* para líneas cortas de suministro de fuerza motriz. En caso de líneas largas debe verificarse si las secciones cumplen con la caída de tensión máxima admitida según lo indicado precedentemente. Cabe consignar que de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de la Asociación Electrotecnia Argentina, la *sección mínima* de conductores para líneas de 2 circuitos para usos especiales y/o conexión fija es de 2,5 mm .

Para el *diseño de los fusibles* en la tabla se indica la intensidad nominal de los mismos en función de la intensidad de los motores a plena carga. La intensidad de los fusibles debe poder admitir la corriente de arranque, observándose que una intensidad a plena carga de 1 Amper de un motor con arranque directo, corresponde un fusible de 4 Amper.

Potencia del motor		Monofásicos			Trifásicos					
		1 x 220 Volts			3 x 220 Volts			3 x 380 Volts		
		<i>I</i>	<i>Ifus</i>	<i>s</i>	<i>I</i>	<i>Ifus</i>	<i>s</i>	<i>I</i>	<i>Ifus</i>	<i>s</i>
HP	KW	Amp.	Amp.	mm ²	Amp.	Amp.	mm ²	Amp.	Amp.	mm ²
0,17	0,125	1	4	2,5	0,7	4	2,5	—	—	—
0,25	0,18	1,7	4	2,5	1	4	2,5	0,6	4	2,5
0,5	0,36	2,5	6	2,5	1,6	4	2,5	0,9	4	2,5
0,75	0,55	3,8	6	2,5	2,3	6	2,5	1,3	4	2,5
1	0,74	6,3	10	2,5	3,5	6	2,5	2	6	2,5
1,5	1,1	7,4	15	4	5	10	2,5	3	6	2,5
2	1,47	10,8	15	4	7	15	4	4	6	2,5
3	2,2	16	25	6	9,5	15	4	5,5	10	2,5
4	3	20	35	10	13	25	6	7,5	15	4
5	3,7	28	35	10	17	25	6	10	15	4
7,5	5,5	41	50	16	23	35	10	13	25	6
10	7,4	—	—	—	31	35	10	18	25	6
15	11	—	—	—	48	50	16	28	35	10
20	15	—	—	—	58	60	25	33	50	16

Tabla 2: Intensidades nominales aproximadas a plena carga, fusibles y sección de los conductores de alimentación de motores de corriente alterna.

Referencias:

- I*: Intensidad nominal aproximada del motor a plena carga (Amper)
- Ifus*: Intensidad nominal de fusibles (Amper)
- s*: Sección de los conductores de alimentación (mm²)

Mejoramiento del factor de potencia

Se había mencionado precedentemente que la potencia transportada en instalaciones de eléctrica de corriente alterna, vale:

En corriente alterna monofásica: $W = E \times I \times \cos \phi$

En corriente alterna trifásica: $W = \sqrt{3} \times E \times I \times \cos \phi$

Donde:

- W : potencia eléctrica (watts)
- E: tensión (volts)
- I : intensidad (amper)
- cos ϕ : factor de potencia

A esta potencia W se la denomina potencia activa o útil. Si se analiza la corriente alterna, puede efectuarse una representación vectorial de las potencias, de acuerdo a lo indicado en la figura siguiente.

De esa manera, puede definirse:

Potencia activa: $W = E \times I \times \cos \phi$ (watts)

Potencia aparente: $W_a = E \times I$ (VA - volt amper)

La *potencia activa* es la real que toman los aparatos eléctricos, mientras que la *potencia aparente* es la máxima que pueden o están capacitados para utilizar y se la mide normalmente en volt amper (VA).

Por lo tanto se deduce que: $\cos \phi = \frac{\text{potencia activa}}{\text{potencia aparente}}$

Se puede definir también:

Potencia reactiva: $W_r = E \times I \times \sin \phi$

La *potencia reactiva* es aquella que no se utiliza para efectuar trabajo útil, que es consumida o desperdiciada en los campos magnéticos de las bobinas de los distintos aparatos, debido *la reactancia o resistencia inductiva*. Un factor de potencia igual a la unidad es el ideal y se produce en la práctica en los circuitos que solo tienen resistencia, por ejemplo en estufas eléctricas o luces incandescentes.

Se deduce entonces, que en corriente alterna un bajo factor de potencia o cos ϕ significa un bajo rendimiento de la instalación eléctrica

Uno de los problemas lo originan los motores de inducción cuando funcionan con cargas parciales. En estos casos la potencia activa o útil disminuye y como la potencia aparente que están capacitados para absorber se mantiene constante, se deduce de la ecuación anterior que se produce una reducción del factor de potencia. Por tal motivo, una de las consideraciones a tener en cuenta es que **nunca deben sobredimensionarse los motores**, debiéndose diseñar muy próximos a la carga real que deben tomar en la práctica.

Por otra parte, las compañías proveedoras de energía eléctrica exigen que el factor de potencia de las instalaciones de los usuarios no baje de un determinado valor. En efecto, si el generador de energía de la compañía trabaja con una red de suministro en la que existe una gran reactancia con un valor de cos ϕ bajo, por ejemplo 0,60, distribuye un 50% menos de potencia eléctrica activa o útil que si la red operará con un factor de potencia de 0,90.

De esa forma, si el cos ϕ de la red de distribución eléctrica baja, la potencia activa realmente entregada por la central de generación se

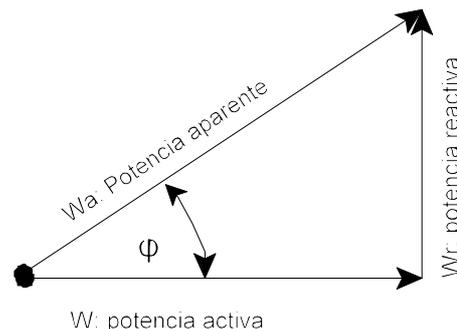


Figura 14: Representación vectorial de la corriente alterna.

reduce en forma proporcional a esa disminución del factor de potencia. Por tal motivo, y a fin de que los usuarios corrijan el factor de potencia de su instalación, se establecen en las tarifas *tasas punitivas*, en caso de que el $\cos \phi$ sea menor de 0,92.

En instalaciones de edificios, además de los motores, otro de los artefactos que producen una reducción del factor de potencia son las lámparas fluorescentes, debido a que el circuito de las mismas tienen una gran resistencia magnética o inductiva, como se describirá posteriormente,

Se deduce entonces, la necesidad de *corregir o compensar el factor de potencia* de la instalación siendo el método más común la utilización de *capacitores o condensadores* que originan una *potencia capacitiva (Wc)*, cuyo efecto es contrario a la potencia reactiva (Wr), debiendo funcionar en forma automática cuando el factor de potencia o $\cos \phi$ baja de un valor determinado, por ejemplo 0,92.

Condensadores o capacitores:

Se comprueba que la cantidad de carga eléctrica que puede comunicarse a cualquier cuerpo conductor que se halle completamente aislado es proporcional al *potencial* a que se halla sometido.

O sea: $Q = C \times E$

Donde:

Q:carga eléctrica en Coulomb

E:potencial en volts

C:capacidad electrostática en *Faradios*. Se define al faradio cuando la carga de 1 coulomb con la diferencia de potencial de 1 volts. 1 micro-faradio es igual a 10^{-6} faradios.

Factor de potencia existente (%)	FACTOR DE POTENCIA CORREGIDO					
	100%	95%	90%	85%	80%	75%
50	1,732	1,403	1,247	1,112	0,982	0,85
52	1,643	1,314	1,158	1,023	0,893	0,761
54	1,558	1,229	1,073	0,938	0,808	0,676
55	1,518	1,189	1,033	0,898	0,768	0,636
56	1,479	1,150	0,994	0,859	0,729	0,597
58	1,404	1,075	0,919	0,784	0,654	0,522,
60	1,333	1,004	0,848	0,713	0,583	0,451
62	1,265	0,936	0,780	0,645	0,515	0,383
64	1,201	0,872	0,716	0,581	0,451	0,319
65	1,168	0,839	0,683	0,548	0,418	0,286
66	1,139	0,810	0,654	0,519	0,389	0,257
68	1,078	0,749	0,593	0,458	0,328	0,196
70	1,020	0,691	0,535	0,400	0,270	0,138
72	0,964	0,635	0,479	0,344	0,214	0,082
74	0,909	0,580	0,424	0,289	0,159	0,027
75	0,882	0,553	0,397	0,262	0,132	
76	0,855	0,526	0,370	0,235	0,105	
78	0,802	0,473	0,317	0,182	0,052	
80	0,750	0,421	0,265	0,130		
82	0,698	0,369	0,213	0,078		
84	0,646	0,317	0,161			
85	0,620	0,291	0,135			
86	0,594	0,265	0,109			
88	0,540	0,211	0,055			
90	0,485	0,156				
92	0,426	0,097				
94	0,363	0,034				
95	0,329					

Entonces si el objetivo es acumular una cierta cantidad de electricidad en un circuito, hay dos soluciones, aumentar el potencial o aumentar su capacidad. Como el potencial está limitado por los valores que generalmente se utiliza en los artefactos de consumo, se recurre a aumentar la capacidad mediante la utilización de condensadores o capacitores.

El condensador funciona de la siguiente manera: Supóngase dos placas metálicas paralelas (llamadas armaduras), montadas muy próximas una de otra, donde la separación la constituye el aire o cualquier otro medio *dieléctrico* o medio aislante. (puede ser aire, mica, papel parafinado, etc.).

Por efecto de la atracción magnética se concentran en las caras cargas eléctricas de distinta polaridad, almacenándose de esa forma cierta cantidad de electricidad. Esta cantidad de electricidad almacenada, aumenta disponiendo en vez de dos, un gran número de parejas de placas superpuestas, formando un solo grupo de modo de que queden en comunicación las placas alternas.

La capacidad de un condensador depende del tamaño, forma y posición relativa de las placas. Además depende del material que constituye el dieléctrico. Se llama *constante dieléctrica*, la relación entre la capacidad de un material con respecto al aire. Por ejemplo Aire: 1, Mica 5,7 a 7.

Este efecto de *capacidad*, tiene entonces la propiedad de compensar la reducción de la potencia que se produce por efecto de la resistencia magnética en los circuitos de corriente alterna. Para el cálculo de la *potencia capacitiva*, existe una tabla práctica que permite en forma simple la determinación de la misma según un ejemplo que a continuación se explica.

Cabe consignar que otra forma de compensar el factor de potencia es utilizar *motores sincrónicos*, que al producir potencia reactiva, mejoran automáticamente el factor de potencia de la red a la cual están conectados.

Corrección del factor de potencia

El valor de la tabla multiplicado por la potencia KW dará la potencia de los capacitores necesaria (KwA) para elevar el factor de potencia existente al deseado.

EJEMPLO: Se desea elevar el factor de potencia de 0,65 de una instalación de 300 KW, a un factor de potencia de 0,85 ¿qué potencia deben tener los capacitores?

SOLUCIÓN: De la tabla obtenemos un valor de 0,548 que corresponde al factor existente (0,65) y al deseado (0,85). Multiplicando este valor por la potencia instalada, obtendremos: $0,548 \times 300 = 166,8$ kwa que es la potencia capacitiva necesaria.

Formas de compensación

La corrección del factor de potencia puede realizarse por medio de compensación individual, compensación por grupos, o compensación centralizada. Se usará la compensación individual en máquinas de grandes potencias con ciclos de trabajo prolongados y compensación por grupos o centralizada para consumidores de reducidas potencias y ciclos de trabajos cortos.

Referencias:

Quadri, Nestor (1999) "Instalaciones eléctricas en edificios". Edit Cesarini Hnos. Buenos Aires. Quinta edición.
Sobrevilla, Marcelo (1975) "Instalaciones eléctricas". Edit. Marimar. Buenos Aires. Primera edición.
Electro Gremio (2001). "Revista técnica para el sector eléctrico argentino y uruguayo". Nro 137. Año 14. Bs.As.

PROTECCIÓN DEL EDIFICIO Y PRUEBAS DE LA INSTALACIÓN

Pararrayos

Introducción: Debe tenerse en cuenta, que un sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas no puede impedir la formación de rayos.

Además tal sistema no garantiza en forma absoluta la protección de la vida, bienes y estructura, pero si, reducirá en forma significativa el riesgo de los daños producidos por el rayo.

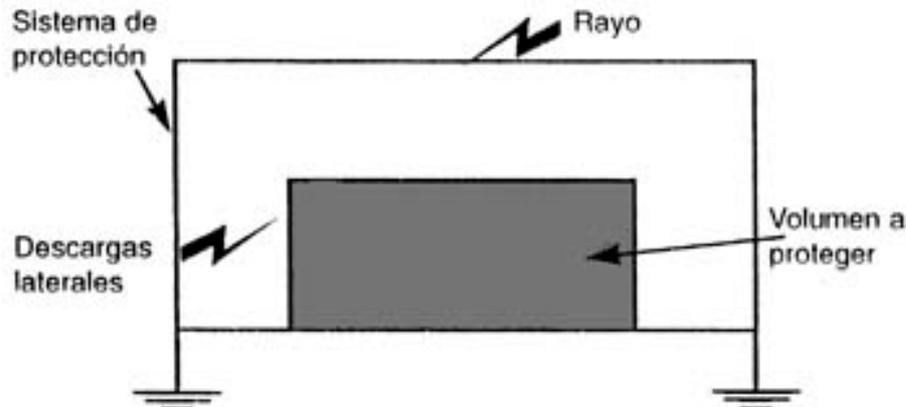


Figura 15

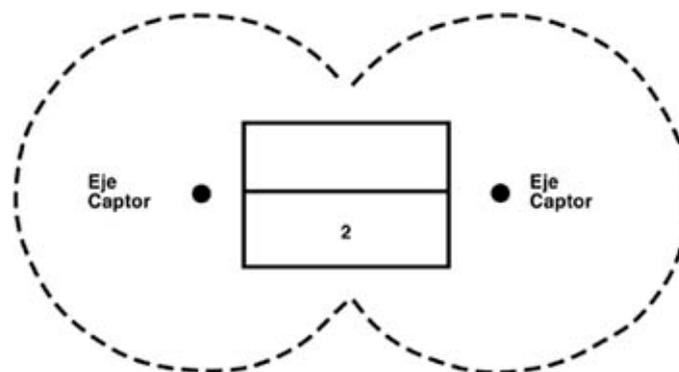


Figura 16: Proyección del volumen en el plano del piso. Sistema de protección externo usando (2) dos captadores verticales de acuerdo al ángulo de protección.

Definiciones:

- 1) Sistema de Protección contra el Rayo (Spqr): Es un sistema completo que permite proteger una estructura contra los efectos del rayo; consta de un sistema externo y de un sistema interno de protección contra el rayo.

NOTA: En casos particulares, un Spqr podrá estar formado solamente por un sistema externo o por un sistema interno.

- a) Sistema Externo: Comprende un dispositivo captor (terminal aéreo), las bajadas y un sistema de puesta a tierra.
 - b) Sistema Interno: Comprende todos los dispositivos complementarios al anterior (A) con el objeto de reducir los efectos electromagnéticos (voltajes inducidos) de la corriente de rayo dentro del espacio a proteger.
- 2) Tipos de Instalación de Protección en relación al volumen a proteger
 - a) Sistema de Protección separado del volumen a proteger. Los captadores y las bajadas están ubicados de tal manera que el trayecto de la descarga no tiene ningún contacto con el volumen a proteger y evita las descargas laterales.

b) Sistema de protección parcialmente separado del volumen a proteger.

Los captores están ubicados de tal manera que el trayecto de la descarga atmosférica no tiene ningún contacto con el volumen a proteger e impide las descargas laterales, pero sin que los conductores de bajada estén aislados (separados) de tal volumen.

Sistema de protección No aislado del volumen a proteger

NOTA: Descarga Lateral: Es la descarga de corriente que se manifiesta por el efecto de la diferencia de potencial eléctrico producido por la corriente del rayo.

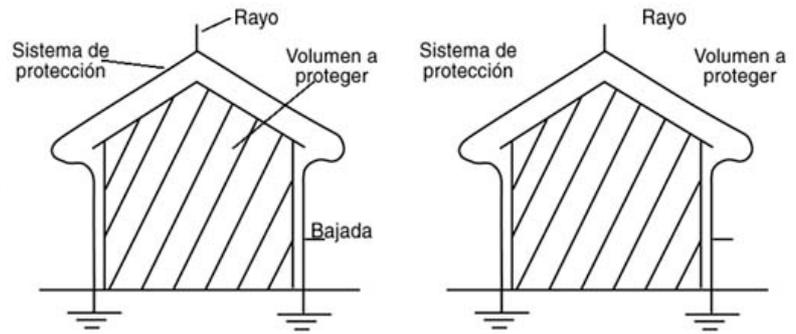


Figura 17:

Sistema Externo de Protección contra el Rayo:

Dispositivos Captor: La probabilidad de que un rayo penetre en el espacio a proteger se reduce considerablemente con la presencia de un dispositivo captor bien diseñado.

Se pueden formar por cualquier combinación:

- 1) Varillas con puntas captoras.
- 2) Conductores horizontales tendidos, captores.
- 3) Mallas de conductores captores.

A1) **Colocación del captor:** Para el diseño de este se debe tomar el método del:

- A1-1- Ángulo de Protección
- A1-2- Esfera Rodante o ficticia. Como principales

Las consideraciones a tomar son:

El método del Ángulo de Protección se usa para estructuras simples y pequeñas (no mayor de 20mt) El método de la Esfera Rodante es usado para estructuras complejas y más altas.

A1-1-Método de Protección en base al ángulo α

Los captores tales como; varillas, mástiles o alambres deberán ser posicionados tal que todas las partes de la estructura a ser protegidas estarán interior a la envoltura superficial generada por la proyección de los puntos de los captores al plano de referencia (tierra) en un ángulo α respecto a la vertical en todas las direcciones ver figuras 1, 2, 3a, 3b, 4.

El ángulo α debe cumplir con tabla N°1

Siendo H la altura desde la parte superior del captor hasta la superficie sobre la que se asienta la estructura a proteger. El ángulo α es diferente para distintas alturas del captor hasta la superficie a ser protegida (Fig. 4).

Las Figs. 3 y 5 son para sistemas de protección aislados y las Figs.6 y 7 son para sistemas de protección no aislados.

Es posible decir que:

Un sistema de captor con varillas conductoras es preferible para un sistema de protección aislado y para estructuras simples o

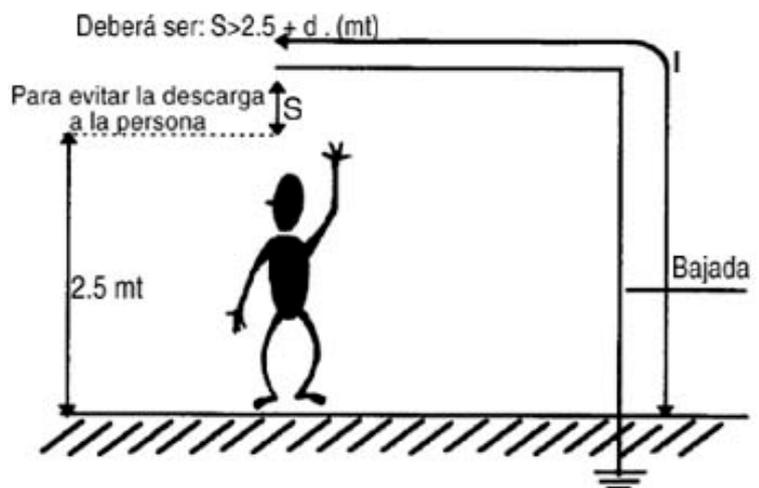


Figura 19: Dimensiones mínimas para evitar descargas en personas.

dimensiones pequeñas. La altura de Captores no aislados de la estructura a proteger deberá ser menor de 2 a 3 mts.

Diseño de bajada de conductores:

La elección del N° y posición de los conductores de bajada deberá ser tomada en cuenta por el hecho, que si la corriente del rayo es distribuida en varios conductores a tierra, el riesgo de la descarga lateral y, los efectos electromagnéticos interiores en la estructura son reducidos.

Los conductores de bajada deberán ser de manera uniforme ubicados a lo largo del perímetro de la estructura a proteger. Una mejora en la distribución de corriente se logra por anillos de interconexión entre las distintas bajadas.

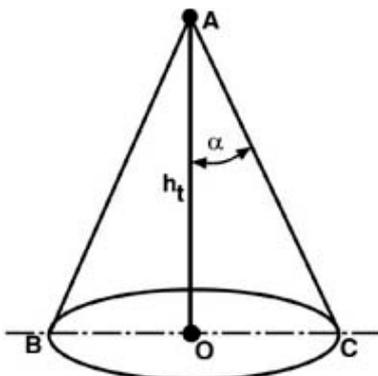
Es deseable que las bajadas sean ubicadas tan lejos como sea posible de los circuitos internos y partes metálicas para evitar la necesidad de uniones equipotenciales con el sistema de protección.

Se debe aplicar:

- 1) Conductores de bajada lo mas corto posibles.
- 2) La distancia promedio entre ellas se aprecia en Tabla 1.
- 3) En las estructuras con aleros la distancia de seguridad deberá ser $S > 2,5 + d$. (mt.) para evitar la descarga a la persona.

NIVEL DE PROTECCIÓN	DISTANCIA "d" (m)
I	10
II	15
III	20
IV	25

Tabla 1: Distancia *d* entre conductores de bajada de acuerdo al nivel de Protección



- A Cabeza del captor
- B Plano de referencia
- OC Radio del área protegida
- ht Altura del captor arriba del plano de referencia
- α Ángulo de protección que cumple con la tabla 1.

Figura 20: Espacio de protección dentro del cono generado por un simple captor A.

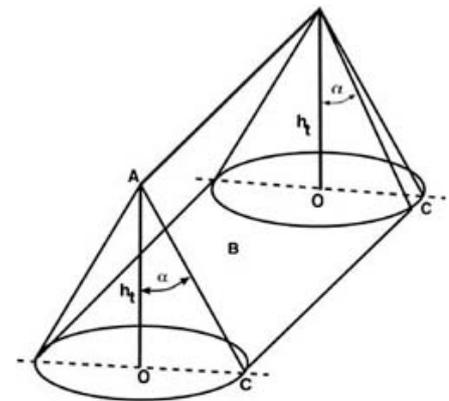


Figura 21: Espacio protegido generado por un conductor horizontal de acuerdo al ángulo de protección que cumple con la tabla 1.

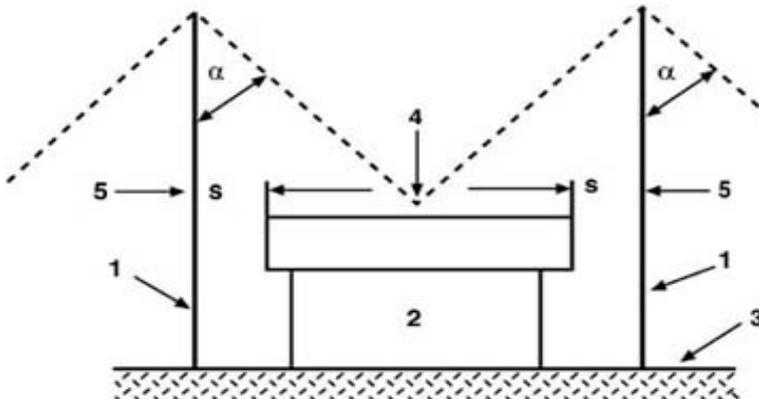


Figura 22: Corte del volumen de protección en un plano vertical al paso. 1 Captor de asta; 2 Volumen a proteger; 3 Plano de referencia; 4 Intersección de los dos conos de protección; 5 Separación de seguridad de acuerdo a IEC α ángulo de protección .

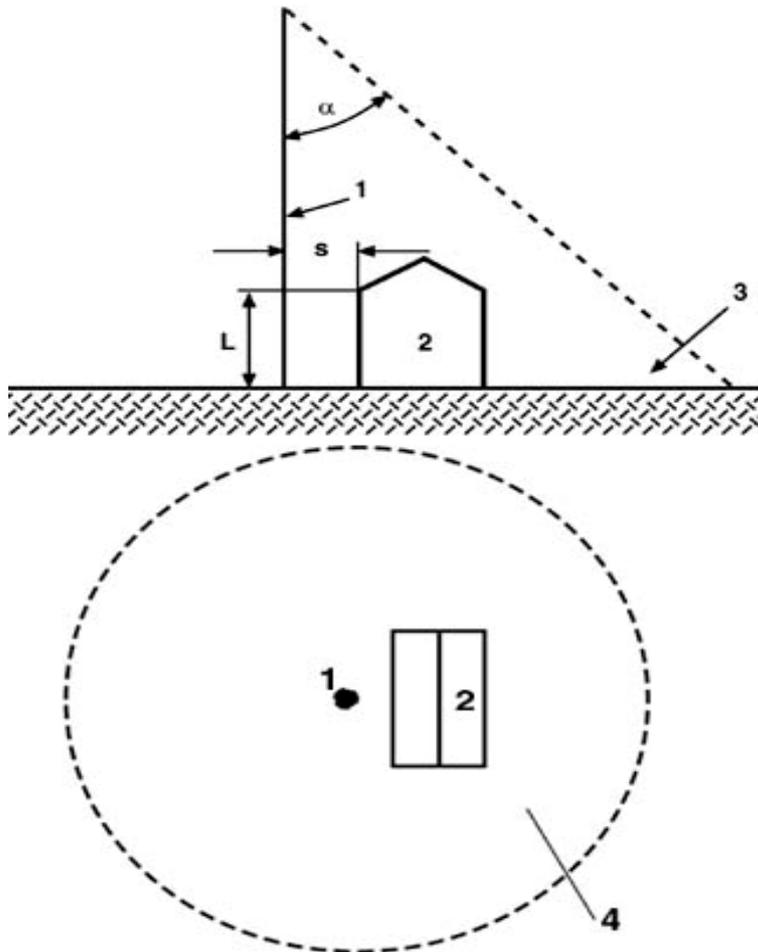


Figura 23: Sistema de protección aislado usando un mástil como captor.

- 1 Mástil de captor.
- 2 Estructura a proteger.
- 3 Plano de referencia.
- 4 Area de protección sobre el suelo.
- L Longitud para hallar la distancia de seguridad.
- α Ángulo de protección.
- s Distancia de separación de acuerdo a $a \geq d = K_i K_c \cdot L$ (m)

NOTA: El mástil se instalará tal que la estructura completa esté dentro del captor de protección.

Este método deberá usarse cuando la altura (h) del captor al plano de referencia es mayor que el radio de la esfera ficticia (R) según Tabla N°2

Nivel de Protección	h (m) / R (m)	20	30	45	60
		α	α	α	α
I	20	25	---	---	---
II	30	35	25	---	---
III	45	45	35	25	---
IV	60	55	45	35	25

TABLA 2: Determinación del radio de protección.

Aplicando este método, el posicionamiento de un captor es correcto sí, **ningún punto** del espacio a ser protegido está en contacto con la esfera de radio R(m), cuando esta rueda hacia la tierra alrededor y sobre la parte superior de la estructura en todas las direcciones posibles. **Por lo tanto la esfera tocará solamente la tierra y/o el sistema captor.**

Los conductores captores del Rayo serán colocados en todos los puntos ó segmentos de la estructura a proteger en contacto con la esfera ficticia. Ver figura 23.

Las figuras 24 y 25 muestran la aplicación de la esfera rodando en diferentes estructuras.

Las figuras 26, 27, 28 y 29 ejemplifican casos de la Tabla 2.

La Fig. 26 muestra un edificio de 45mts. de altura (I) en donde al hacer rodar la esfera de $R=20m$ hasta tierra, nos pone en contacto con la misma la zona marcada en trazo grueso, que debe por lo tanto ser cubierta con captores, conductores y bajadas a tierra. Con ello logramos el nivel I de protección. La Fig. 27 muestra el mismo edificio en donde le hacemos rodar la esfera de $R=30m$ hasta tierra y nos pone en contacto una zona menor, que debe ser cubierta con captores conductores y bajadas a tierra. Con ello logramos un nivel de protección inferior al anterior caso o sea el nivel II. La Fig. 28 muestra un edificio de 60m de altura (I) en donde al hacer rodar la esfera de $R=20m$ hasta la tierra nos pone en contacto 40m de altura, que deben ser protegidos para lograr el nivel I de protección. Si protegieramos con una esfera de $R=30m$ y la hacemos rodar hacia la tierra, la zona protegida abarca 30m de altura del edificio, el resto debe cubrirse con captores conductores a tierra, pero el nivel de protección alcanzado será el II.

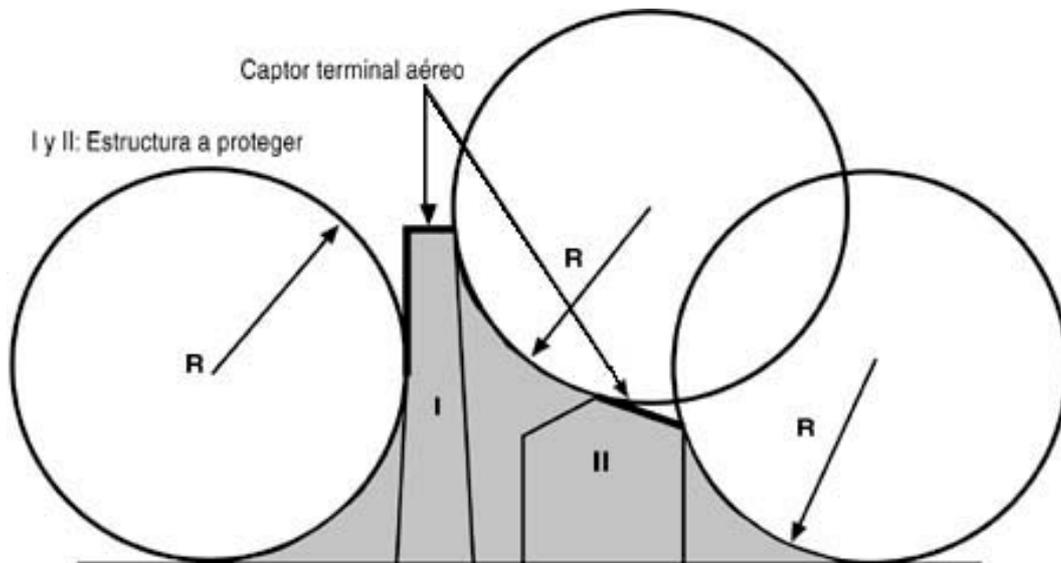


Figura 24: Radios indicando la zona de protección en corte.

Los conductores del sistema aéreo están instalados sobre todos los puntos y segmentos, los cuales están en contacto con la esfera rodando y cumpliendo con el nivel de protección de la Tabla N° 2.

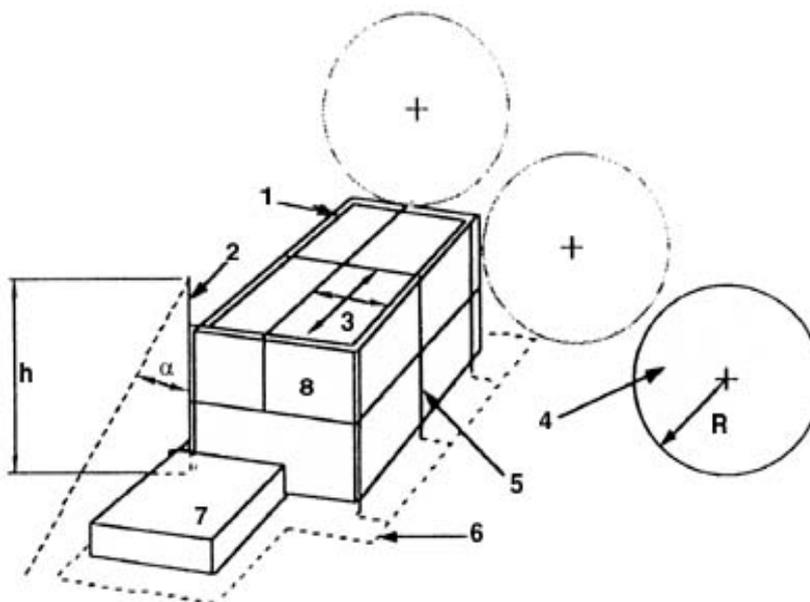


Figura 25: Estructura general de elementos captores (1, 2 y 3). diseño de un sistema de captor de acuerdo al método de la esfera ficticia.

- 1. Alambre de intercepción del rayo -
- 2. Mástil de intercepción del rayo -
- 3. Tamaño de la malla de protección -
- 4. Esfera redonda -
- 5. Conductor de bajada -
- 6. Electrodo de tierra -
- 7 y 8. Estructura a proteger h. Altura del terminal aéreo sobre el nivel de tierra
- α Ángulo de protección R. Radio de la esfera de acuerdo a la tabla I

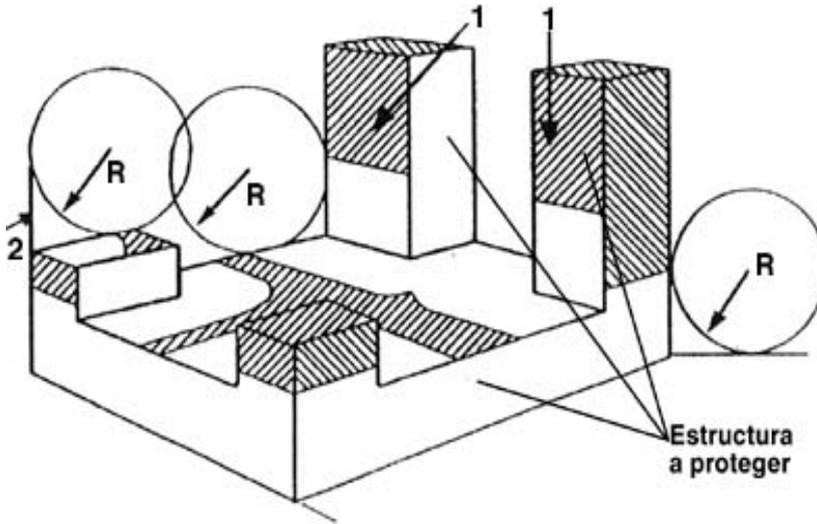


Figura 26: Ejemplos de uso de la Tabla 2.

1. La zona sombreada que está expuesta a los rayos es la que necesita protección de acuerdo a Tabla N°2

2. Mástil sobre la estructura.

R. Radio de la esfera según Tabla 2

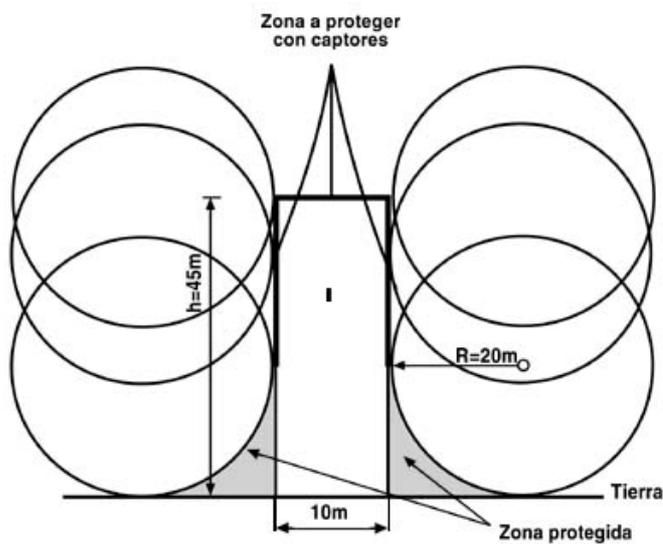


Figura 27:
Ejemplo de Tabla 1
h=45m
R=20m

Nivel de protección
I= Edificio a proteger Ancho= 10m
alto=45m

Nota: Zona de protección con captores, mayor que en el Nivel II

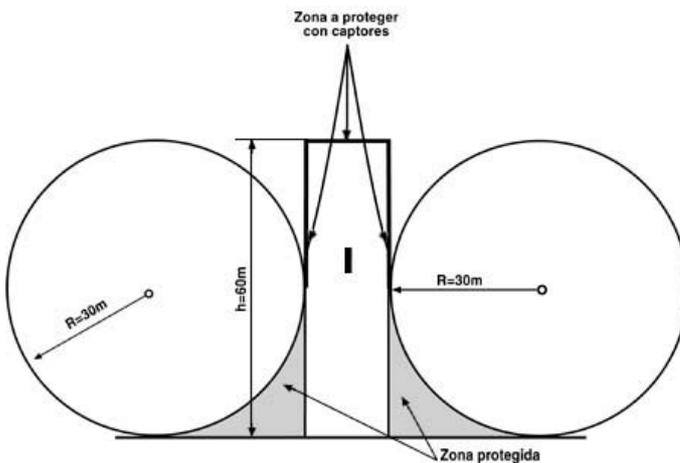


Figura 28:
Ejemplo de Tabla 1
h=60m
R=30m

Nivel II de protección

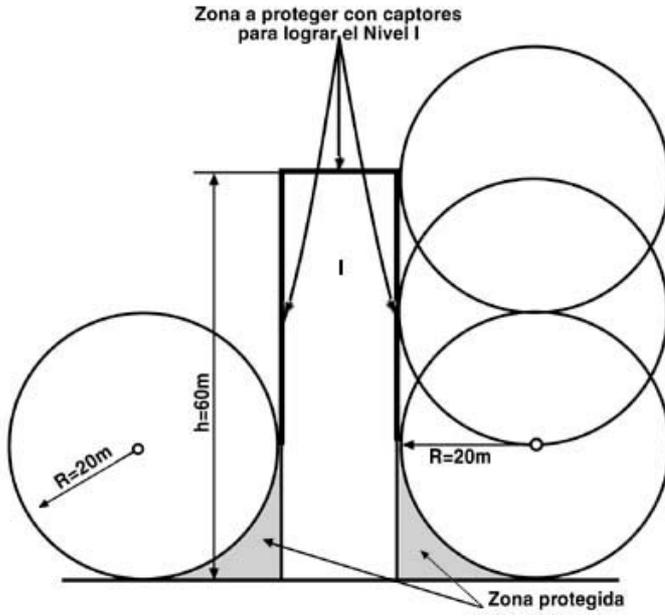


Figura 29:

Ejemplo de Tabla 1
 $h=60\text{m}$
 $R=20\text{m}$

Nivel de protección
 I= Edificio a proteger
 Nota: Zona de protección con captosres mayor que en el Nivel II

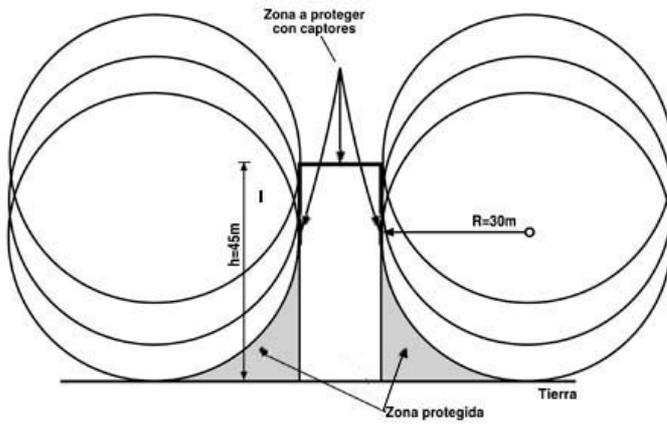


Figura 30:

Ejemplo de Tabla 1
 $h=45\text{m}$
 $R=30\text{m}$

Nivel de protección
 I= Edificio a proteger Ancho= 10m
 alto=45m

Conexión Equipotencial

Concepto Generales

La equipotencialidad constituye un medio muy importante para reducir el riesgo de incendio, de explosión y los riesgos de muerte por el choque eléctrico producido en el espacio a proteger. Se obtiene la equipotencialidad conectando el Sistema Externo de Protección contra el Rayo con:

- La estructura metálica del edificio.
- Las instalaciones metálicas.
- Los elementos conductores externos.
- Las instalaciones eléctricas y de Telecomunicación.
- Cañería de agua. Por medio de conductores eléctricos o limitadores de sobretensión.

Si no se instala una protección externa contra el rayo se dispondrá de uniones equipotenciales entre los puntos antes mencionados. Protección de la Instalación de una Antena (Manual de Seguridad Eléctrica 2° Edición 10/97), pero igualmente se necesitará una protección contra los efectos del rayo a través de limitadores de sobretensión en las acometidas.

I) Conexión Equipotencial para Instalaciones o Equipamientos Metálicos.

Se realiza en los casos siguientes:

- a) En el subsuelo o cerca del nivel del suelo: La barra de compensación de Potencial debe conectarse al sistema de tierra. Para estructuras grandes se podrán montar varias barras de compensación interconectadas entre si.
- b) Donde la distancia (s) de una parte metálica hasta el conductor de bajada de protección a tierra, sea inferior a (d) distancia de Seguridad.

$$d = k_i \cdot L \text{ (m)}$$

k_i: Depende de Sistema de Protección elegido

NIVEL DE PROTECCIÓN	K _i
I	0.100
II	0.075
III y IV	0.050

k_c: Depende de la geometría de las partes metálicas estructurales, que posibilitan, la descarga del Rayo a tierra, no solo a través del equipamiento metálico, sino también de otros caminos de la estructura conductora a tierra. Estos valores han sido calculados para distancias de los conductores de bajada entre sí de 20m en: Fig. 3, 4, 5.

k_m: Depende del material separador.

Material	k _m
Aire	1
Sólido	0,50

L(m) - Longitud de la bajada desde el punto en que se considera la proximidad y riesgo de descarga, hasta el punto de conexión equipotencial más próximo a tierra.

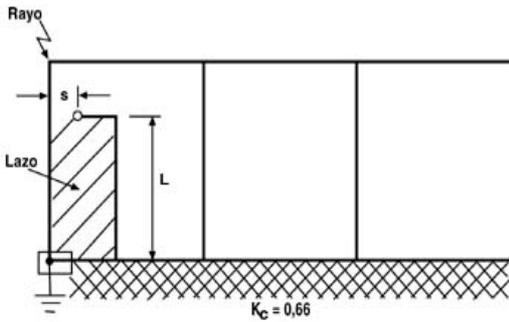


Figura 31: Proximidad de instalaciones al spcr. Valor del coeficiente k_c en una configuración bidimensional.

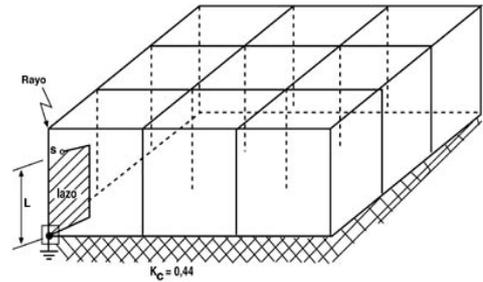


Figura 32: Proximidad de instalaciones al spcr. Valor del coeficiente k_c en una configuración tridimensional.

II) Conexión Equipotencial de masas (Elementos conductores externos): Se realizará la conexión equipotencial de las masas, tan cerca como sea posible del punto de penetración en la estructura a proteger. Hay que esperar que la mayor parte de la corriente de descarga atmosférica pase por las conexiones equipotenciales.

III) Conexión Equipotencial de las Instalaciones Eléctricas y de Telecomunicación: Se realizará una conexión equipotencial de las instalaciones mencionadas tan cerca como sea posible del punto de penetración de la estructura. Si los conductores están apantallados (Blindados) o están dentro de un conducto metálico, basta unir estos blindajes, con la condición, que dicha unión sea de muy baja resistencia, tal que no ocasione caídas de tensión peligrosas para el cable o para el equipamiento.

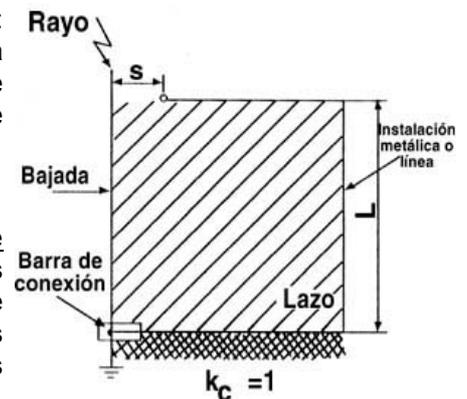


Figura 33: Proximidad de instalaciones al spcr. Valor del coeficiente k_c en una configuración unidimensional.

Nivel de Protección	Material	Sección Transversal (mm ²)
I al IV	Cobre	16
	Aluminio	25
	Hierro	50
	Acero-Cobre	16

Tabla 7: Materiales para uniones equipotenciales donde puede circular una parte esencial de la descarga atmosférica.

IV) Si las canalizaciones de gas ó de agua contienen incluidas uniones aisladas, estas deberán puentearse con limitadores de sobretensión.

Distancia de Seguridad:

Una adecuada distancia de separación (s) que supere a la determinada por la Fórmula: d (distancia) de seguridad

$$d = Ki \frac{Kc}{Km} L(m)$$

deberá ser mantenida entre el Sistema de protección contra el Rayo (Spcr) y todas las partes conductivas conectadas por las uniones equipotenciales y al sistema de protección de tierra. En el caso de estructuras industriales, las partes conductivas de la estructura y los techos pueden usarse



Figura 34: Tipos de puntas de parrarayos.

generalmente como una pantalla electromagnética y como conductores de bajada natural por medio de uniones equipotenciales. En aquellas otras estructuras externas que no cuentan con elementos conductivos, tales como la madera o similar, deberá tomarse la distancia L(m) de recorrido del rayo desde el punto más factible que caiga, hasta la unión equipotencial más cercana conectada al sistema de tierra, a través de los conductores de bajada.

Donde no es posible mantener la distancia (s) mayor que la distancia de seguridad (d) a lo largo del recorrido del rayo a tierra, un puente de la instalación al Sistema de Spcr debe ser realizado.

Conductores (metálicos) sobre techo y las conexiones a los captosres pueden ser fijados al techo usando espaciadores y soportes conductivos o no conductivos. Los conductores pueden estar posicionados sobre la superficie de la pared si la misma esta hecha de material no combustible.

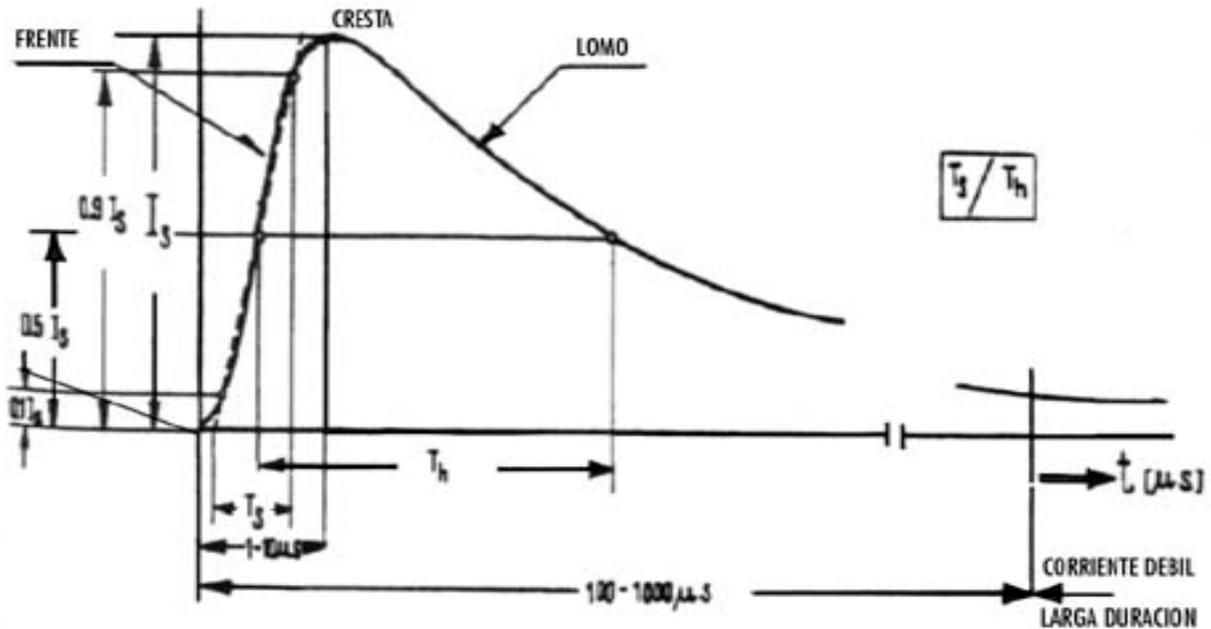


Figura 35

BASES PARA UN DISEÑO DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

I) Forma de onda de la corriente del rayo (fig. 33)

II) Posición:

Se deben colocar pararrayos según fig. 2, en las partes más elevadas, por ejemplo en las cubreras de los techos o en caso de techos planos en los bordes del mismo, a una distancia no mayor de 50 cm de las esquinas, o ángulos pronunciados.

III) Bajada:

- Las bajadas a Tierra deben hacerse a distancias no mayores a 10 mt. (máximo nivel de protección).
- La Sección mínima del conductor de bajada debe ser de 35 mm² para cobre o acero-cobre.
- Se colocarán dos (2), mínimas, en ángulo opuesto y preferentemente en los ángulos de la construcción.

IV) Sistema de Tierra:

Los sistemas de Tierra deben tener una sección mínima de 100 m² para jabalinas de cobre y una profundidad no inferior a 5 mt.

V) Resistencia de Tierra:

Cuando las distancias entre las bajadas de la protección contra el rayo y el punto de la estructura metálica interna son críticas, existe el peligro de descarga internas, y para evitarlo deben cumplirse las siguientes condiciones:

Condición 1:

La distancia mínima debe ser \geq que $0,2 \cdot R_{total}$ a tierra en metros (figura 35)

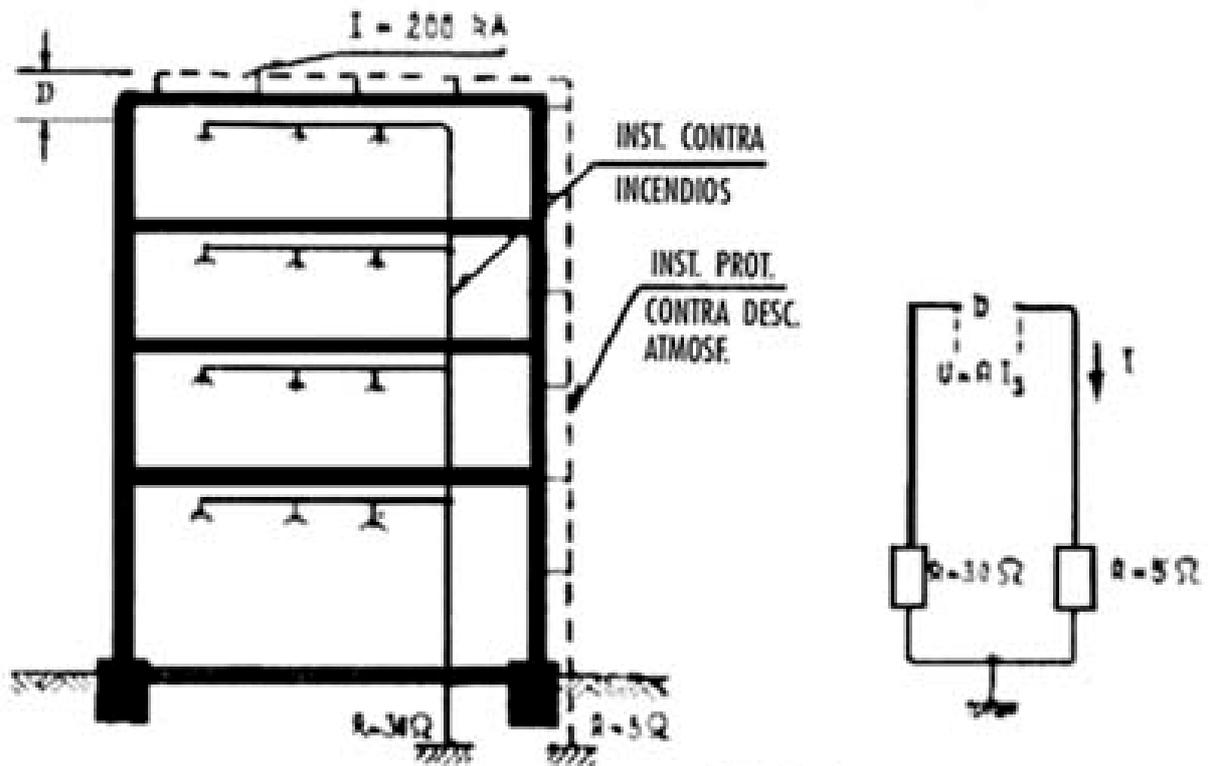


Fig. 4

Figura 36: Condición 1

Condición 2:

La distancia mínima D debe ser \geq que $0,1 \cdot$ longitud o medida sobre la instalación protectora, entre el punto mayor de aproximación y la tierra más próxima (figura 36).

$$D[m] \geq 0,1 \cdot L[m]$$

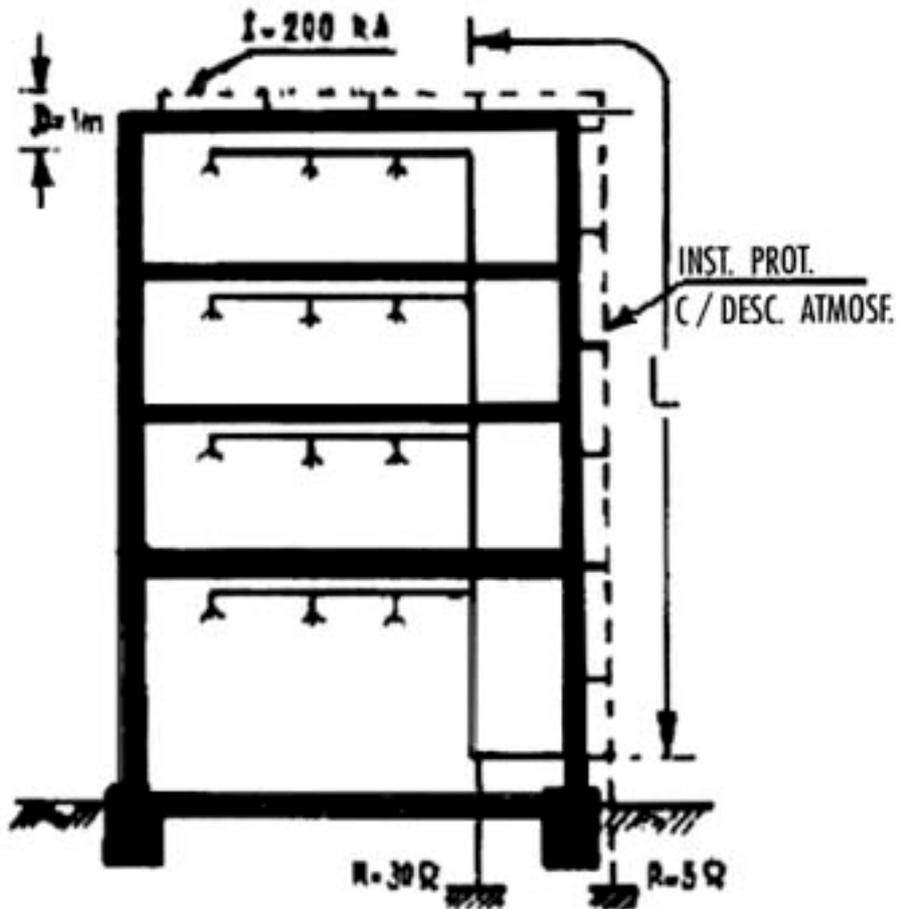


Figura 37: Condición 2

Nota: De no satisfacer las condiciones 1 y 2 debe hacerse una conexión equipotencial, entre la estructura interna, punto más próximo y la estructura de protección.

Referencias:

Norma IRAM 2184-1-11/1996

Norma IEC 1024-1-1990 "La protección de Edificios contra Descargas Atmosféricas" Ing. H. C. Buhler.

Norma IEC - 61024-1-2 1era. Edición - 5/1998

Para la realización del Trabajo Práctico se seguirán las indicaciones expresadas en la ficha para determinar:

- Características del sistema de bombeo de agua cisterna-tanque de reserva: esquema gráfico, dimensiones, caudales (ya realizado en el TP Agua fría); con el fin de calcular la potencia de las bombas y el tablero de comando y protección.
- Esquematizar y dimensionar el sistema de protección contra descargas atmosféricas para el edificio que se les asignó al comienzo de la cursada.