

CONDENSADORES Y BATERÍAS DE ALTA TENSIÓN

6



6.1. Construcción y ejecuciones **6.2.** Características técnicas **6.3.** Sistemas de protección **6.4.** Baterías de condensadores de alta tensión.

6. CONDENSADORES Y BATERÍAS DE ALTA TENSIÓN

6. Condensadores y baterías de alta tensión.

Se recurre a la compensación de potencia reactiva en alta tensión ($U_N > 1000$ V) para compensar grandes motores que operan en tensiones hasta 10 kV, y en general para compensar instalaciones con consumo de energía reactiva en media tensión. La compensación puede efectuarse en estos casos también de forma automática (usualmente hasta 12 kV) o de forma fija sin límites de tensión o potencia en este último caso.

La protección de los condensadores de alta tensión merece una especial atención por lo que se insiste particularmente sobre este extremo en el presente capítulo.

Internamente un condensador de alta tensión se compone de bobinas. Para su construcción se enrollan en un soporte dos hojas de aluminio (electrodos) y dos láminas dieléctricas. Entre las capas se colocan las tiras que sirven como contacto de los electrodos. Las bobinas se sacan del soporte y se aplastan para, finalmente, prensarse y atarse junto con otras en forma de paquete. Las bobinas de valor nominal aproximado a 1000 - 2000 V, se conectan en grupos, en serie y paralelo, dependiendo de la tensión nominal requerida y de la potencia del condensador. La caja que usualmente se fabrica en chapa de acero de 1 a 2 mm de espesor, se llena con un agente impregnante, no PCB, y se conecta a través de aisladores cerámicos.

Como dieléctrico se utiliza en la actualidad film de polipropileno con lo cual se consiguen pérdidas muy reducidas (apar. 6.2).

Los **condensadores monofásicos** se construyen hasta aproximadamente 600 kvar, para ejecución interior o intemperie. Existen versiones en caja aislada (2 aisladores) con grados de protección IP00 (terminales al aire) o bien IP55 (terminales protegidos). La versión en caja bajo tensión con un solo aislador, sólo se construye con grado de protección IP00. Estas unidades deben montarse sobre aisladores.

Los **condensadores trifásicos** siempre se construyen en caja aislada (3 aisladores) y con grado de protección IP00 para ejecución interior, IP55 con terminales protegidos para ejecución interior o intemperie. Internamente la conexión puede ser en estrella o triángulo (en la placa de características, se indica la conexión realizada).

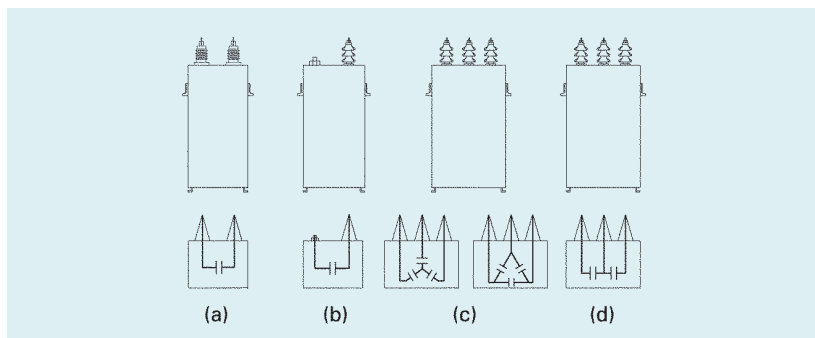
Condensadores monofásicos

Tensión hasta kV (50 Hz)	Aislamiento kV / kVp	Potencia máx. (1) kvar
3,6 / $\sqrt{3}$	16 / 45	450
7,2 / $\sqrt{3}$	20 / 60	800
12,0 / $\sqrt{3}$	28 / 75	800
17,5 / $\sqrt{3}$	38 / 95	800
24,0 / $\sqrt{3}$	50 / 125	800

Condensadores trifásicos

Tensión hasta kV (50 Hz)	Aislamiento kV / kVp	Potencia máx. (1) kvar
3,6	16 / 45	650
7,2	22 / 60	650
12,0	28 / 75	325 (650) (2)

6.1. Construcción y ejecuciones.



► Fig. 6.1-1. Diferentes formas constructivas de condensadores de alta tensión.

- (a) Monofásico en caja aislada
- (b) Monofásico en caja "viva" o bajo tensión
- (c) Trifásico en conexión estrella o triángulo
- (d) Doble monofásico

La versión doble monofásico se emplea para montaje de baterías de pequeña potencia en doble estrella, logrando una mayor economía y reducción de espacio.

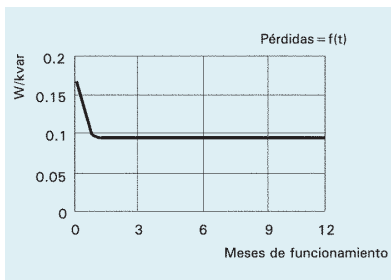
(1) A 60 Hz la potencia máxima resulta multiplicada por 1,2. (2) Valores sólo posibles con grado de protección IP55 (interior y exterior).

6.2 Características técnicas.

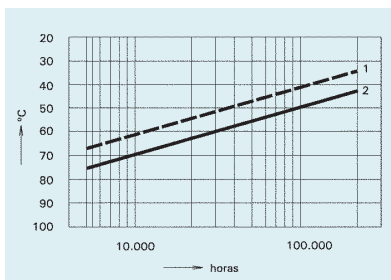
Normas	EN 60871 - 1 NEMA publicación CP1, ANSI / IEEE norma 18, BS 1650 y 2897, CSA C22.2 N° 190
Tensiones nominales	Según indicado en 6.1
Ejecuciones	Según indicado en 6.1
Pérdidas	0,15 W / kvar durante las primeras horas de servicio, 0,1 W / kvar a partir de 500 h.
Tolerancia de capacidad	- 5% / + 15% para condensadores individuales - 5% / + 10% para baterías de hasta 3 Mvar 0% / +10% para baterías de 3 Mvar hasta 30 Mvar 0% / +5% para baterías de más de 30 Mvar
Dieléctrico	Film de polipropileno
Impregnante	Aceite no PCB
Sobretensiones admisibles	Según indicado en la tabla 6.2-1
Sobrecargas de corriente	1,3 I _N de forma permanente
Ensayos	Según indicado en 6.2.1
Condiciones de instalación	
Altitud	No superior a 1000m.
Montaje	Vertical con aisladores en la parte superior u horizontal con caja apoyada en la cara más estrecha.
Esperanza de vida	Superior a 100.000 horas de servicio
Protecciones eléctricas	Por fusibles externos (6.3.1) Por fusibles internos (6.3.2) Por control de presión interna (6.3.3) Por desequilibrio (6.3.4) Otros tipos de protección (6.3.5)
Temperatura ambiente admisible	Los condensadores están diseñados para ventilación natural y categoría de temperaturas -25/C (Máx. 50°C) (2.9 nota 1). La temperatura ambiente influye de forma sensible en la variación de capacidad y en la esperanza de vida del condensador (fig. 6.2-1 y 6.2-2).

Sobretensión $\times U_N$	Duración	Observaciones
1,00	continua	valor medio para un periodo indefinido de servicio.
1,10	12h cada 24h	Fluctuaciones y regulación de tensión
1,15	30 min cada 24h	Fluctuaciones y regulación de tensión
1,20	5 min.	Incremento de tensión con baja carga
1,30	1 min.	

► Tabla 6.2-I. Sobretensiones admisibles de larga duración (EN 60871). se asume que los valores indicados por encima de 1,15 U_N no se dan más de 200 veces a lo largo de la vida del condensador.



► Fig. 6.2-1. Pérdidas en función de las horas de servicio.



► Fig. 6.2-2. Esperanza de vida de los condensadores ESTA fol en función de la temperatura de la caja.

6.2.1. Ensayos.

Después del ensayo de estaqueidad a elevada temperatura, se llevan a cabo, de acuerdo con EN 60871, los siguientes ensayos para cada unidad de condensador:

- Medida de capacidad.
- Medida de la tangente de pérdidas.
- Tensión entre terminales.
- Aislamiento entre terminales y caja metálica.
- Resistencias internas de descarga.

El ensayo entre terminales se realiza con una tensión de $2,15 U_N$ a 50 Hz. Durante 10 segundos, o bien $4,3 U_N$ en corriente continua durante 10 segundos. En los condensadores con los terminales aislados respecto a la caja, se realiza un ensayo de rigidez dieléctrica aplicando entre los terminales puenteados y la caja metálica, durante 10 segundos los valores siguientes a 50 Hz.

Serie de tensión kV	Tensión de prueba kV
3,6	10
7,2	20
12,0	28
17,5	38
24,0	50

6.2.2. Protección contra corrosión.

Las cajas de condensadores para ejecución interior se suministran fosfatadas, tratadas con una imprimación de cromato de zinc y pintadas en color RAL 7033. En la ejecución exterior, la caja, pies y ángulos de soporte son de acero inoxidable, con una imprimación y pintadas en color RAL 7033.

6.3. Sistemas de protección.

Un condensador de alta tensión se compone internamente de bobinas conectadas en serie y paralelo para alcanzar la potencia y tensión deseadas (fig. 6.3-1).

Al producirse una perforación de una bobina, tiene lugar una aportación de energía (corriente) por parte de las otras conectadas en paralelo, así como de otros condensadores en paralelo y la propia fuente de alimentación (fig. 6.3-2). La aportación interna, de corriente es crítica en los primeros instantes de la perforación debido a la baja inductancia de las conexiones internas. Después de aproximadamente 1 ms entra en juego la aportación exterior. Mientras, la generación de gases a consecuencia de la descomposición del dieléctrico puede ser muy considerable y en determinadas condiciones puede llegar a producir la explosión del condensador.

Según las características de la unidad o de la batería pueden emplearse distintos tipos de protección. En la Tabla 6.3-III, se resumen las diferentes opciones.

6.3.1. Protección por fusibles externos.

Los fusibles externos deberán ser calibrados de 1,6 a 2,0 veces la corriente nominal de la unidad a proteger con la finalidad de soportar la elevada punta de conexión.

La función del fusible es la de desconectar la unidad afectada por una per-

foración interna o un cortocircuito en los terminales, de la batería. La actuación del fusible por perforación interna está determinada por la aportación de corriente del resto de unidades conectadas en paralelo y de la propia red.

Al producirse una perforación de una bobina, en la unidad afectada se produce un cortocircuito que elimina una de las series. Este fenómeno produce un incremento de tensión en las restantes series dando lugar a sucesivos fallos de las mismas. El incremento de corriente a que da lugar el proceso descrito debería provocar el disparo del fusible. Sin embargo no puede garantizarse que antes y debido a la generación de gases en el interior del condensador, se provoque la ruptura del contenedor. Por tanto la protección por fusibles externos no es suficiente.

6.3.2. Protección por fusibles internos.

Los fusibles internos como define CEI 593 se diseñan para aislar los elementos (bobinas) averiados o la unidad (condensador), para permitir el funcionamiento de las partes restantes del condensador y de la batería a la que éste está conectado.

En la protección por fusibles internos éstos se conectan a ambos extremos de las bobinas, calibrándose de 10 a 20 veces la corriente nominal de las mismas ya que las puntas durante la conexión o el impulso de descarga del

condensador pueden alcanzar de 500 a 1000 veces la corriente nominal. A estos valores contribuye la bajísima impedancia del circuito.

En caso de perforación de una bobina, lo cual supone un cortocircuito, existe una aportación de corriente de las bobinas conectadas en paralelo, del resto de condensadores conectados a la red y de la propia red. Sin embargo, es la primera de las corrientes la de mayor magnitud y, por tanto, decisiva cuando existe un número suficiente de bobinas en paralelo, y ello debido a la relativamente menor impedancia del circuito entre bobinas en relación a los otros dos en consideración. Este fenómeno implica que para que la fusión del fusible sea efectiva, debe haber un número mínimo de bobinas en paralelo, lo que supone unidades de potencia más bien grande. Cuando la fusión debe producirse por los condensadores exteriores o por la red el proceso es más lento, mientras el riesgo de explosión puede ser alto.

Al fundir el fusible la bobina queda aislada y por tanto eliminado el riesgo, produciéndose una pérdida de capacidad muy reducida, de ahí que la unidad puede seguir en servicio.

Cabe destacar que los fusibles internos no protegen en caso de un cortocircuito en las conexiones internas o entre partes activas y caja, ambos fenómenos pueden conducir a la ruptura de la caja.

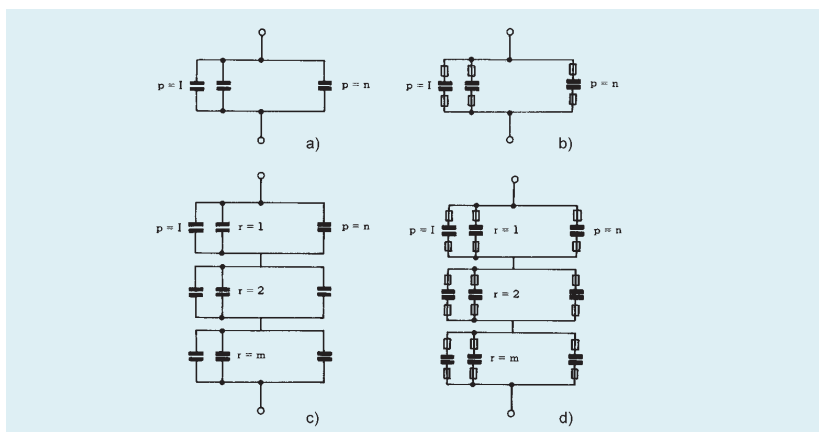
Por otra parte si el número de perforaciones es elevado, el sistema puede dejar de ser efectivo. Así pues, la protección por fusibles internos debe ir acompañada por otra complementaria.

En unidades trifásicas resulta prácticamente inviable la protección por fusibles internos. Una alternativa para estos casos es la protección por el control de la presión interna. (desconector de sobrepresión).

6.3.3. Protección por sobrepresión interna.

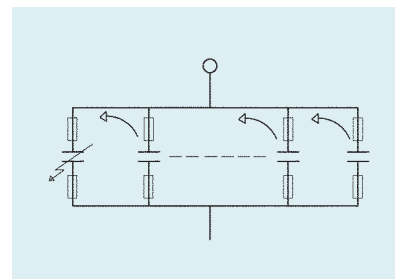
Así como en baja tensión este sistema de protección se utiliza en toda la serie de condensadores ESTAprop[®] de polipropileno metalizado, en alta tensión se emplea en unidades trifásicas donde no son efectivos los fusibles internos y no es posible ningún otro tipo de protección a parte de fusibles externos cuya fiabilidad es discutible como antes se ha comentado. La protección por desconector de sobrepresión resulta una alternativa segura junto con los fusibles conectados en la línea de alimentación al condensador.

Cuando la presión en el interior del condensador supera un límite determinado se conmuta un contacto de disparo que puede actuar sobre un interruptor u otro dispositivo de corte, evitando el riesgo de explosión de la unidad.



► Fig. 6.3-1. Composición interna de un condensador monofásico.

- a) y c) sin fusibles internos
b) y d) con fusibles internos



► Fig. 6.3-2. Corrientes aportadas por bobinas conectadas en paralelo a la perforada.

Protección de condensadores de alta tensión							
Concepto	Dispositivos de protección						
	Fusibles externos	Fusibles internos	Reles de intensidad	Relés de tensión	Relés de desequilibrio	Desconectador de sobrepresión	Resistencia de descarga
Cortocircuitos internos/externos	■		■				
Defectos internos	▣ (1)	▣ (2)			■	■	
Sobrecargas			■				
Sobretensión/ Subtensión				■			
Descarga							■
Ejecución							
Simple estrella	■	▣ (2)	■	■		■	■
Doble estrella	■	▣ (2)	■	■	■		■
Trifásico	■	▣ (2)	▣ (3)	■		■	■

► Tabla 6.3-III. Protección cubierta por los diferentes dispositivos y protección posible según el montaje o ejecución. Según CEI 871-3 y el RAT (Reglamento de Alta Tensión español)

(1) Los fusibles externos no protegen de forma segura contra perforaciones internas. Para una protección segura debe complementarse con un relé de desequilibrio, caso de doble estrella, o desconectador de sobrepresión en trifásico o simple estrella.

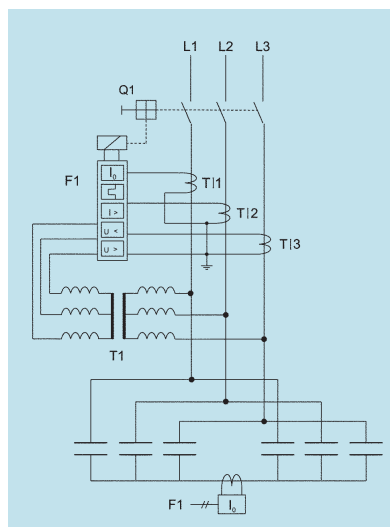
(2) Su misión fundamental es aislar el defecto o perforación interna para permitir que el condensador siga en servicio. Lo citado en (1) es también válido para este caso.

(3) Para las unidades trifásicas es más seguro el fusible externo por la rapidez de actuación en caso de un cortocircuito interno.

- protección segura
- ▣ protección no segura

6.3.4. Protección diferencial o de desequilibrio para baterías.

En la fig. 6.3.4-1 se aprecia la conexión típica en doble estrella junto con el transformador de intensidad para conexión al relé de protección. Como criterio general debe evitarse que la sobretensión en una serie cualquiera provoque el orden del 20% de sobretensión, con lo que cabe esperar un tiempo razonablemente alto hasta una nueva perforación. Este criterio servirá para determinar el valor de la corriente de disparo del relé de protección, el cual suele equiparse con un contacto de alarma y otro de disparo.



► Fig.6.3.4-1. Esquema de una batería en doble estrella con sus protecciones.

En caso de fusibles internos, la corriente de disparo puede ajustarse con criterios similares, si bien una medida conservadora sería la de que actuara al primer o primeros defectos.

El relé de protección diferencial **ESTA sym® 3C** permite controlar hasta 3 señales procedentes de sendos transformadores de intensidad. El relé dispone para tal fin de 3 canales pudiendo ajustar 2 valores de disparo (0-1A ó 0-5 A según el secundario del transformador de intensidad). El retardo de disparo es también ajustable de 0,1 a 6,5 s. Este ajuste es único para los tres canales. Además es posible regular un valor de aviso y otro de disparo.

En el display se indican los valores de la corriente medida y de los de disparo. La memoria interna permite registrar los valores de actuación.

6.3.5. Protecciones complementarias.

De acuerdo con CEI 871-3 los condensadores o baterías deberán protegerse contra sobrecargas de intensidad, sobretensión de larga duración, sub-tensión y sobrecargas transitorias de tensión tipo rayo o de corriente por las elevadas puntas de conexión que pueden darse en determinados casos.

Protección de sobreintensidad y cortocircuito.

Los fusibles constituyen una protección segura contra cortocircuitos pero no permiten proteger contra sobrecargas debido a su elevado calibre en relación a la intensidad nominal de la batería (6.3.1). Los relés permiten proteger de forma más selectiva. En la fig. 6.3.4-1 los 3 transformadores de corriente TI1-TI3, a través del relé de protección multifunción F1, permite la protección contra sobrecargas y cortocircuito. La primera deberá estar ajustada 1.3 veces la corriente nominal de la batería I_N y con un retardo máximo de 10 ciclos, es decir 200 ms, en caso de red a 50 Hz (CEI 871-3). La protección de cortocircuito se ajustará por encima de $3 \cdot I_N$ y con un retardo de pocos ciclos, los valores precisos dependerán de la corriente del transitorio de conexión previsto. Si la red está puesta a tierra es posible proteger también contra defectos a tierra controlando la corriente de la conexión común de los transformadores de corriente.

Protección de sobretensión y sub-tensión.

La protección de sobretensión deberá ajustarse a $1,1 U_N$ con un retardo de 5 s, y la de sub-tensión a $0,8 U_N$ sin prácticamente retardo. También puede lograrse con un relé de mínima intensidad. Esta protección resulta necesaria si se tiene en cuenta que al producirse un fallo de tensión, la batería permanece durante un tiempo con una carga residual y sería un peligro volver

a conectarla sin haberse descargado totalmente.

Por otra parte una reconexión supone una reenergización del trafo de potencia, con una corriente de magnetización con alto contenido de armónicos que podrían provocar resonancia con la batería. En caso de sistemas de descarga a base de resistencias, este tiempo de descarga será de 10 minutos según EN60871; por tanto, conviene que en caso de un fuerte descenso de la tensión o fallo, se desconecte la batería y se respete el tiempo de descarga antes de otra conexión o bien, deberá disponerse de reactancias de descarga. En caso de baterías de maniobra automática, es decir, gobernadas por un regulador de reactiva, éste debe desconectar los contactores de los escalones si se produce fallo de tensión y no provocar una nueva conexión antes del tiempo de descarga.

Protección contra sobretensiones transitorias.

Los descargadores de sobretensiones MOV (varistores de óxido metálico) resultan indicados para proteger las baterías de condensadores contra sobretensiones provocadas por descargas atmosféricas o reencendidos en maniobras de interruptores.

Protección contra transitorios de conexión.

La conexión de un condensador o batería produce un transitorio caracterizado por una punta de corriente muy elevada junto con una sobretensión transitoria de hasta $2\sqrt{2} U_N$. Para reducir este fenómeno se utilizan reactancias de limitación. En el apéndice A1 se trata con más extensión este tema.

Dispositivos de descarga

Los condensadores o baterías deben descargarse después de una desconexión por razones de seguridad. Según EN 60871 la descarga deberá garantizar una tensión residual máxima de 75 V en 10 min. Mientras que según el RAT (Reglamento de Alta Tensión español) la descarga deberá producirse en 5min a 50V. Para tal fin las unidades individuales se equipan con resistencias internas de descarga o bien se

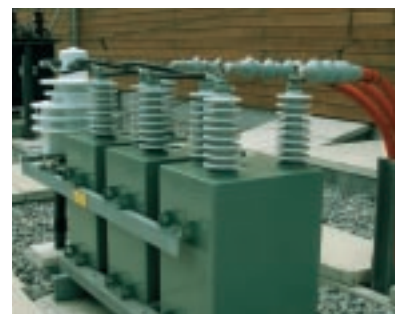
dota a la batería de un sistema externo con reactancias. Sin embargo no resulta recomendable prescindir de las resistencias internas por las tensiones residuales en casos de unidades conectadas en serie o en estrella, por cuanto si es necesaria una descarga rápida es mejor conectar las reactancias sin prescindir de las resistencias internas.

6.4. Baterías de condensadores de alta tensión.

Hasta una tensión de red de 36 kV es posible utilizar unidades conectadas en estrella de tensión $36/\sqrt{3}$. Por encima de esta tensión y hasta 145 kV es posible montar baterías con grado de protección IP00 interior o exterior, sin límite de potencia, a base de conectar unidades en serie y en paralelo hasta alcanzar la tensión y potencia requeridas. Pueden suministrarse baterías montadas sobre perfiles o interconectadas y con las protecciones requeridas.

6.4.1. Tipos de construcción

La ejecución típica en baterías de condensadores IP00, permite interconectarlas según las especificaciones del cliente, pudiendo incluso montarse el T.I. de la protección diferencial. Para grandes baterías es necesario recurrir al montaje de los condensadores en estructuras. En estas construcciones los condensadores suelen montarse en posición horizontal.



► En la fotografía se aprecia un montaje compacto IPOO intemperie con sólo 3 cajas, cada una conteniendo 2 condensadores monofásicos con un terminal común (6.1).