



Capítulo IV. Alternativas de solución al incremento del nivel de Corto Circuito.

Para determinar las características de protección y los parámetros de esfuerzos electrodinámicos en una subestación eléctrica, se realizan los estudios de corto circuito.

Del análisis de corto circuito se desprende la selección adecuada de interruptores lo cual impacta directamente sobre la seguridad tanto de los equipos como del personal de la subestación.

Para nuestro caso en particular el análisis de corto circuito nos mostro que las corrientes de corto circuito no aumentaron demasiado por tal razón no fue necesario hacer un cambio de interruptores, sin embargo, en el futuro muy probablemente se incrementaran los niveles de corto circuito y una forma de resolver esta situación será cambiar los interruptores actuales por otros con una mayor capacidad interruptiva.

El Interruptor de Potencia es un dispositivo eléctrico de operación mecánica capaz de cerrar, conducir y abrir circuitos eléctricos con corrientes dentro del rango nominal de su especificación.

También debe poder conducir durante cortos periodos de tiempo e interrumpir las corrientes de corto circuito que estén dentro del rango de su especificación.

Los interruptores deben garantizar el correcto funcionamiento bajo las condiciones de servicio, sincronización, conexión, desconexión y liberación de falla del sistema, con disparo y cierre monopolar o tripolar de los siguientes servicios:

- a) Líneas de Transmisión.
- b) Bancos de transformación.
- c) Generadores de centrales Termoeléctricas.
- d) Generadores de Centrales Hidroeléctricas.
- e) Bancos de Capacitores.
- f) Bancos de Reactores.

Las características nominales de un interruptor de potencia están establecidas en las normas nacionales e internacionales aplicables. Estos parámetros nominales se consideran los límites mínimos de funcionamiento que el dispositivo debe cumplir.

Tales límites se aplican solamente dentro de condiciones de operación específicas.

Las normas nacionales e internacionales contienen diferentes tablas que listan los valores nominales preferidos. El hecho de que existan tablas o listas con valores preferidos, no excluye la posibilidad de ofrecer otros valores nominales específicos conforme sea requerido, siempre y cuando se cumpla con las normas vigentes y se establezcan de común acuerdo entre fabricante y usuarios.

En la placa de datos de los interruptores de potencia están inscritas las características nominales y otras características, de valor conceptual importante, mencionadas en las normas IEC, ANSI. Estas características, básicamente son los parámetros de tensión y corriente, aunque también se incluyen requerimientos adicionales que son derivados, principalmente, de estos dos parámetros básicos.

Las características nominales más importantes de un interruptor son las siguientes:

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS

❖ Tensión nominal y tensión máxima de diseño

A esta característica nominal, ANSI le llama **tensión máxima de operación** e IEC la designa como **tensión nominal**. Esta característica establece el límite superior de la tensión del sistema para el cual está diseñado el interruptor. El interruptor debe de garantizar su correcta operación a la tensión nominal máxima y a la tensión máxima de diseño, que por lo general es mayor que la tensión nominal de operación del sistema.

La tensión máxima de diseño de un interruptor es el valor eficaz máximo (rms) de la tensión entre fases, para la que el interruptor está diseñado y representa el límite superior de la tensión del sistema.

Tabla 1: 72.5-420 kV

TABLA 1 - Tensiones nominales y valores de pruebas dieléctricas (1)(5)

Tensión nominal (kV) valor eficaz	Tensión de aguante nominal a la frecuencia del sistema (kV) valor eficaz (1 min) seco (s) y húmedo (h)		Tensión de aguante nominal a impulso por rayo (kV) valor pico seco (s)		Tensión de aguante nominal a impulso por maniobra (kV) valor pico seco (s) y húmedo (h)		
	De fase a tierra y a través de interruptor cerrado	De fase a tierra y a través de interruptor abierto	De fase a tierra y a través de interruptor cerrado	De fase a tierra y a través de interruptor abierto	De fase a tierra	Entre fases para interruptor de tanque muerto	A través de las terminales del interruptor abierto
1	2	3	4	5	6	7	8
72,5	140 (s/h)		325		NA	NA	NA
100	185 (s/h)		450		NA	NA	NA
123	230 (s/h)		550		NA	NA	NA
145 ⁽²⁾⁽³⁾	275 (s/h)		650		NA	NA	NA
170 ⁽⁴⁾	325 (s/h)		750		NA	NA	NA
245	460 (s/h)		1050		NA	NA	NA
300 ⁽²⁾	380 (s)	435 (s)	1050	1050 (+170)	850	1275	700 (+245)
420	520 (s)	610 (s)	1425	1425 (+240)	1050	1575	900 (+345)
420 ⁽²⁾	620 (s)	800 (s)	1550	1550 (+315)	1175	1760	900 (+450)

NOTAS:

- 1) Los valores de prueba indicados en esta tabla están referidos a las condiciones normalizadas de 101,3 kPa de presión, 20 °C de temperatura y humedad absoluta de 11 g/m³.
- 2) Exclusivamente para los casos de extra alta contaminación y/o altitudes mayores a 2500 msnm.
- 3) Exclusivamente para los casos en los que se requiera corrientes de interrupciones de 50 kA o mayores.
- 4) Tensión restringida del sistema de 161 kV.
- 5) Los valores especificados en la tabla están basados en un estudio de coordinación de aislamiento realizado por el LAPEM, con los siguientes parámetros principales: Índice de falla del equipo 1/400; Tensión nominal del apartarrayos 210 kV para tensión nominal del sistema de 245 kV; Tensión nominal del apartarrayos de 330 kV para tensión nominal del sistema de 420 kV.



❖ Corriente nominal

La corriente nominal es la característica que establece los límites de elevación de temperatura del interruptor, es el valor eficaz (rms) de la corriente, expresada en amperes.

Los valores de corriente nominal establecidos por **IEC** son: 630A, 800A, 1250A, 1600A, 2000A, 3150A y 4000A. Los valores correspondientes especificados por **ANSI** son: 600A, 1200A, 1600A y 2000A. La selección de la corriente nominal debe estar asociada al límite máximo de temperatura permisible que se establezca.

Tabla 2: 1600 - 2000 A
31.5 - 50 KA

TABLA 2 - Corrientes nominales de operación y corrientes de interrupción

Tensión nominal del interruptor (kV)	Corriente nominal (A)	Corriente de interrupción de corto circuito (kA)	Corriente de interrupción en cables cargados (cable en vacío) (A)	Corriente de interrupción con línea cargada (línea en vacío) (A)
72,5	630	20	125	10
	1250	25 31,5		
100	630	20	125	20
	1250	25 31,5		
123	1250	25	140	31,5
	1600	31,5		
	2000	40		
145	1250	31,5	160	50
	1600			
	2000	40		
	1600	50		
	3150	50		
170	1250	31,5	160	63
	1600	40		
	2000	50		
	1600	50		
245	1250	31,5	250	125
	1600			
	2000	40		
	2000	50		
300	1250	31.5	315	200
	1600			
	2000			
	3150			
	1600	50		
	2000			
420	1600	31,5	400	400
	2000	40		
	2000	50		

NOTA: En caso de requerirse una corriente de interrupción de corto circuito de 63 kA debe indicarse en las Características Particulares.

❖ Capacidad interruptiva nominal

La capacidad interruptiva nominal de un interruptor se define como la máxima intensidad de corriente, medida en el instante en que se separan los contactos, que puede ser interrumpida por el interruptor con una tensión de recuperación de frecuencia fundamental. De acuerdo con la norma IEC-62271-00 la capacidad interruptiva queda definida por dos valores:

La **capacidad interruptiva simétrica**, expresada por el valor eficaz (rms) de la componente de corriente alterna de la corriente total interrumpida por el interruptor. Por lo tanto, la capacidad interruptiva simétrica I_s está dada por:

$$I_s = \frac{I_{ca}}{\sqrt{2}} \quad \text{Amperes (valor eficaz)}$$

I_{ca} representa el valor de la cresta de la componente de corriente alterna.

La **capacidad interruptiva asimétrica o total**, expresada por el valor eficaz (rms) de la corriente total, que comprende las componentes de corriente alterna y corriente directa, interrumpida. La capacidad interruptiva simétrica I_{AS} está dada por:

$$I_{AS} = \sqrt{\left(\frac{I_{ca}}{\sqrt{2}}\right)^2 + I_{cd}^2} \quad \text{Amperes (valor eficaz)}$$

Para tensiones superiores a la tensión nominal, no se puede garantizar ninguna corriente interruptiva de corto circuito. El valor eficaz de la componente alterna de la corriente de interrupción de corto circuito debe elegirse entre los valores siguientes: 6.3, 8, 10, 12.5, 16, 20, 25 31.5, 40, 50, 63, 80 y 100 KA.

❖ Frecuencia nominal

La frecuencia nominal es un factor relevante durante la interrupción de la corriente, debido a que en muchos tipos de interruptores, la razón de cambio de la corriente en el cruce por cero es un parámetro más significativo que el valor de la corriente rms o el valor pico.

❖ Presión nominal de operación del gas para maniobra e interrupción

Las normas han establecido los valores de 0.5, 1.6, 2, 3 y 4 MPa para la presión nominal de operación del gas; sin embargo, pueden emplearse otros valores, que se eligen de común acuerdo entre fabricante y usuario. El dispositivo de operación neumática debe ser capaz de abrir y cerrar el interruptor cuando la presión del gas comprimido este comprendida entre 85 y 110% de la presión nominal de alimentación. Valores diferentes deberán acordarse entre fabricante y usuario.

❖ Corriente nominal de tiempo corto

También se le denomina “corriente sostenida de corta duración”. El propósito de este requerimiento es asegurar que no se rebase la capacidad térmica de tiempo corto de las partes conductoras. La magnitud de esta corriente es igual a la corriente simétrica de corto circuito nominal que se asigna para un interruptor en particular y que normalmente se expresa en KA (Kiloamperes) para un período de capacidad nominal de 1 segundo (IEC) ó 3 segundos (ANSI). La IEC, también recomienda un valor de 3 segundos si se requieren periodos mayores a segundo.

❖ Secuencia de operación nominal

Los tiempos asociados a las maniobras son de gran importancia, tanto desde el punto de vista de la estabilidad del sistema, como de la demanda térmica. Mientras más se tarde el interruptor en eliminar la corriente de falla, mayor será el daño que ésta causará al sistema.

El ciclo de operación nominal de un interruptor es el número prescrito de operaciones unitarias a intervalos de tiempo establecidos. De acuerdo con las recomendaciones de IEC para el servicio nominal de la operación de interruptores, cuya utilización no esta especificada para auto-recierre, se puede expresar como:

O – t – CO – t' – CO

O = Operación de apertura

C = Operación de cierre

CO = Operación de cierre seguida de una apertura

t, t', t'' = Intervalos de tiempo

t y t' = Expresados en minutos o en segundos

t'' = Expresados en segundos

❖ Capacidad de cierre o de conexión nominal

La capacidad de cierre o de conexión nominal de un interruptor se define como la intensidad de corriente máxima que el interruptor puede establecer con una tensión dada. La capacidad de cierre está dada por el valor de la primera cresta de la onda de corriente I_{MC} . De acuerdo con la norma IEC-62271-100. La primera cresta de la onda de corriente puede alcanzar un máximo de 1.8 veces el valor de cresta I_{ca} de la onda de corriente simétrica, por lo que la capacidad de cierre en amperes eficaces (valor de cresta) I_{MC} es igual a:

$$I_{MC} = 2.55I_s$$

CONDICIONES DE OPERACIÓN

Temperatura ambiente:	-25°C a 55°C
Altitud de operación	0 a 2500 msnm
Contaminación (Tabla 3):	Deben operar satisfactoriamente en niveles: Medio 20 mm/kV _{FF} Alto 25 mm/kV _{FF} (distancia de fuga)
Diseño por sismo (Tabla 6):	Moderado 0.3 g Alto 0.5 g Dependiendo de las zonas sísmicas especificadas de la república.

TABLA 3 - Distancia específica mínima de fuga y nivel de contaminación

Nivel de contaminación	Distancia específica mínima de fuga (mm/kV _r) IEC 60815
Medio	20
Alto	25
Extra alto	(*)
NOTA (*): En caso de requerirse equipo para un nivel de contaminación extra alto, véase nota (2) de la tabla 1 de tensiones nominales y valores de pruebas dieléctricas.	

TABLA 4 - Tensión de control para relevadores, bobinas de apertura y cierre, señalización, alarmas y motores universales

Tensión nominal VCD	Límites de tensión VCD		
	Circuito de cierre	Circuito de disparo	Motor
125	106 – 137	87 – 137	106 – 137
250	212 – 275	175 – 275	212 – 275

TABLA 5- Tensiones de equipos auxiliares como motores, contactores y resistencias calefactoras

Tensión nominal	Motor Universal	Límites de tensión VCA
440V, 3 fases, 60 Hz		394 – 484
220V, 3 ó 2 fases, 60 Hz		187 – 242
127 V, 1 fase, 60 Hz		108 – 140
	125 VCD y/o 127 V, 1 fase, 60 Hz	108 – 140

TABLA 6 - Niveles de calificación sísmica

Zona Sísmica	Espectro de respuesta requerido (RRS)	Nivel de calificación sísmica	
A, B y C	IEC 61166-1993-03 (figura 2, pág. 23)	Moderado	AF3: 3 m/s ² (0,3 g)
D	IEC 61166-1993-03 (figura 1, pág. 22)	Alto	AF5: 5 m/s ² (0,5 g)

TIPOS DE INTERRUPTORES

Construcción: (por ubicación de las cámaras)	Tanque vivo (con potencial) Tanque muerto (conectado a tierra)
Número de cámaras:	Una o varias cámaras en serie
Medio de interrupción:	SF6 (Hexafluoruro de azufre) En pequeño volumen de aceite En gran volumen de aceite Soplo de aire (aire comprimido)

	En vacío
Aislamiento	Columnas de porcelana
	Boquillas de porcelana
	Columna de tubo de resina epóxica y fibra de vidrio con faldones de hule silicón
	Boquilla de aislamiento sintético
Mecanismo	De resorte
	Hidráulico
	Neumático

... en los 60's



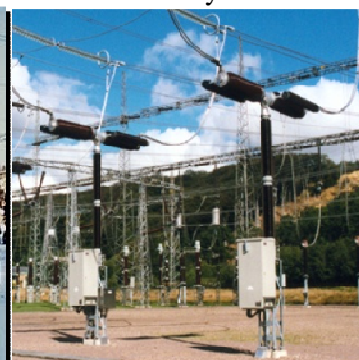
Aire comprimido

... en los 70's y 80's



Mínimo volumen de aceite

... en los 80's y 90's



Gas SF6

Hoy en día los interruptores en SF6 (hexafluoruro de azufre) son el diseño predominante. El SF6 es un gas incoloro e inodoro, con una densidad cinco veces mayor que la del aire.

La ventaja fundamental del SF6 con respecto a otros gases reside en la mayor conductibilidad eléctrica del núcleo y la menor conductibilidad térmica del plasma. La energía térmica transferida por el plasma al medio circundante es menor y en consecuencia la temperatura del núcleo es más alta, su conductibilidad eléctrica mayor y correlativamente la caída de voltaje en el arco es menor.

A medida que disminuye la intensidad de la corriente al aproximarse a su paso por cero, la temperatura baja y el núcleo, que es la principal porción conductora, desaparece. En el SF6 el plasma, a esa temperatura reducida, no conduce prácticamente corriente.

Finalmente, cuando aparece el voltaje de recuperación entre los contactos del interruptor el carácter electronegativo del flúor hace que se formen iones negativos de flúor por captura de electrones libres, que se recombinan con iones positivos de SF6, evitando así el fenómeno de avalancha de electrones que podría conducir al restablecimiento del arco.

En los interruptores de hexafluoruro de azufre el SF6 desempeña la función de dieléctrico y de medio de interrupción.

Algunas de las características de los interruptores instalados en la Central Plutarco Elías Calles, son las siguientes:

Tensión nominal	550 KV
Frecuencia nominal	60 Hz

Corriente nominal (de servicio)	2000 A
Corriente nominal de corte en corto circuito	50 KA
Duración nominal del cortocircuito	3 s
Número de cierres sin pausa (= capacidad de absorción de energía)	
- En caso de tensión de fase	4
- En caso de oposición de fases (con factor 2.0)	1
Duración mínima de la orden (cierre)	40 ms
Duración mínima de la orden (apertura)	40 ms
Tiempo de cierre	80 ms
Tiempo de operación de desconexión	17 ms
Tiempo de arco	Máx. 18 ms
Tiempo de desconexión	Máx. 34 ms
Tiempo conexión-desconexión	34 ms.
Tiempo de pausa	280 ms.
Agente extintor	SF6
Presión del SF6 con 20°C	0.6 MPa



Imagen 4.1. Muestra de los equipos que proveen de servicios propios a la Central