

Coefficientes de utilización de disyuntores ("breaker duty")

*Lionel R. Orama Exclusa, BSEE
Lygia M. Torres Vincenty, BSEE*

Sinopsis

Los coeficientes de utilización de los disyuntores son sumamente importantes en la industria eléctrica porque permiten determinar cuáles disyuntores se sobrecargan bajo condiciones de falla. De esta manera se sabe qué capacidad hay que añadirles a los disyuntores o si es preferible sustituirlos por unos de mayor capacidad.

En este estudio se presentan los aspectos teóricos que forman la base del programa digital que desarrollamos para calcular coeficientes de utilización de disyuntores.

Abstract

The breaker duty calculation is very important to the electric industry because it shows which breakers overload under fault conditions. This way the utility determine the the extra capacity to add to those breakers or whether to replace them.

In this paper we discuss the theoretical aspects on which the computer program we developed for the calculation of the breaker duty is based.

Orama y Torres/Coeficientes utilización disyuntores

Introducción

En los sistemas de potencia se realizan periódicamente estudios para analizar el funcionamiento de los equipos y las unidades básicas que componen estos sistemas. Los análisis realizados ayudan a evaluar y a hacer proyecciones sobre futuros proyectos para mejorar el sistema eléctrico. Entre estos análisis se encuentra el estudio del coeficiente de utilización de disyuntores.

El disyuntor es un equipo indispensable para proteger el sistema eléctrico de potencia. Para saber si un disyuntor cumple con su función a cabalidad se debe hacer un análisis de la corriente de falla que fluye a través de él con respecto a la capacidad máxima interruptiva para la cual se diseñó. Durante este análisis se determina el estado interruptivo real del disyuntor y si es adecuado para el tipo de subestación en el que se utiliza o si hay que reemplazarlo.

Debido a la complejidad de los cálculos y procedimientos en este tipo de análisis, hemos diseñado un programa de computadoras para determinar qué porcentaje de la corriente máxima de interrupción de diseño representa la corriente de falla que tiene que interrumpir el disyuntor. El programa permite estudiar los disyuntores de una forma rápida, ordenada y precisa, ya que el usuario no tiene que analizar gráficas ni hacer cálculos manuales.

Factores que afectan las contribuciones de corto circuito en el disyuntor

A continuación se detallan los factores que, de alguna manera, cambian las contribuciones de las corrientes de corto circuito que pasan por un interruptor. Estos factores se deben a la localización de los disyuntores en la subestación o centro de transmisión.

1. Configuración de la barra

El tipo de barra al cual se conecta un interruptor afecta la contribución de corto circuito que pasa por éste. Hay cuatro tipos principales de barras: "single breaker", "breaker and a half", "ring bus" y "bus tie" (Lewis, 1987). A continuación se analiza la configuración "single breaker" para demostrar este fenómeno.

Configuración "single breaker"

La figura 1 presenta dos circuitos con configuración "single breaker". Para el primer circuito, si ocurre una falla en la barra P, la corriente de falla que pasa por el disyuntor A será la corriente de la línea I_L . Por lo tanto, $I_A = I_L$. Si se analiza luego el segundo circuito, esta vez con la falla en el extremo del disyuntor que conecta con la línea, la corriente de falla que pasa por el disyuntor A es la corriente total menos la corriente de la línea. La corriente total en este caso es la corriente total de falla en la barra P. De esta forma, $I_A = I_t - I_L$. La contribución de corto circuito mayor que pasa por el interruptor A es la corriente de mayor magnitud entre las dos: si $I_L > (I_t - I_L)$, se escoge I_L y si $(I_t - I_L) > I_L$, se escogerá $(I_t - I_L)$. Aún variando la configuración "single breaker" añadiendo más disyuntores, las conclusiones son idénticas.

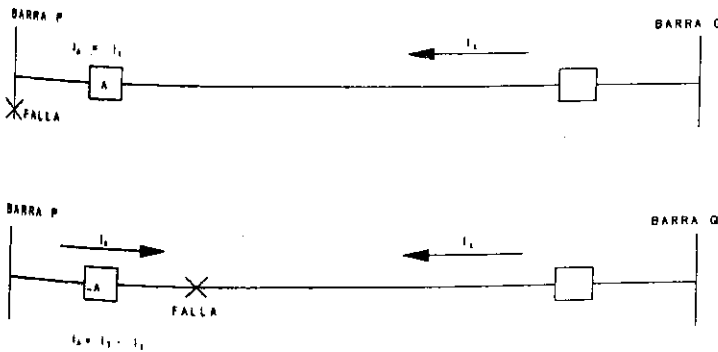


Figura 1. Configuración de "single breaker"

Orama y Torres/Coeficientes utilización disyuntores

Ejemplo 1: Cálculo de corrientes máximas de falla

$$\begin{aligned}kV_{base} &= 115 \text{ kV} & MVA_{base} &= 100 \text{ MVA} & I_{base} &= 502 \text{ A} \\ \text{Contribución de falla línea 1} & I_1 &= 15 \angle 80^\circ \\ \text{Contribución de falla línea 2} & I_2 &= 16 \angle 78^\circ \\ \text{Contribución de falla línea 2} & I_3 &= 15 \angle 83^\circ \\ I_{total} &= I_c &= 45 \angle 80^\circ \\ I_1 &= 45 \angle 80.3^\circ - 15 \angle 80^\circ &= 30.97 \text{ p.u.} \\ I_2 &= 45 \angle 80.3^\circ - 16 \angle 78^\circ &= 29.99 \text{ p.u.} \\ I_3 &= 45 \angle 80.3^\circ - 15 \angle 83^\circ &= 31.00 \text{ p.u.} \\ I_{1_{max}} &= 15,548 \text{ A} & I_{2_{max}} &= 15,056 \text{ A} & I_{3_{max}} &= 15,563 \text{ A}\end{aligned}$$

De igual forma, toda configuración de barra afecta de manera particular la contribución del corto circuito que pasa por un disyuntor. Nuestro programa de computadoras usa como datos la contribución de las líneas al corto circuito de la barra para calcular la corriente máxima de falla que interrumpe el disyuntor.

2. Corrientes complejas

En un sistema de potencia eléctrica los ángulos de las impedancias de las ramas conectadas a una barra no son necesariamente iguales. Si estos ángulos son diferentes, entonces los ángulos de las corrientes que fluyen a través de estas ramas también lo son. Por consiguiente, es erróneo sumar o restar las magnitudes de las contribuciones de corrientes de falla cuando calculamos la contribución de corto circuito máximo de un disyuntor. El error es proporcional a la diferencia en los ángulos de las corrientes involucradas.

Cuando hay nodos conectados a transformadores, generadores, líneas soterradas o ataduras de líneas, entre otros, las corrientes de falla del sistema normalmente están desfasadas (AEE, 1989). Por esta razón, nuestro programa utiliza corrientes complejas en el cómputo de la contribución de corto circuito máxima.

3. Uso de corrientes de falla trifásicas y línea a tierra

En el pasado solamente se usaba la corriente de falla trifásica para hacer los cálculos del coeficiente de utilización de los disyuntores, ya que generalmente ésta es la corriente de falla mayor. Sin embargo, esta presunción puede ser incorrecta porque la configuración de la barra provoca que las corrientes de corto circuito que pasan por el interruptor sean diferentes a la contribución de la línea. De esta manera, la corriente que un disyuntor debe interrumpir puede ser mayor si el análisis se basa en las corrientes de falla de línea a tierra y no en las corrientes de fallas trifásicas (AEE, 1987; IEEE, 1979).

Normas reguladoras de disyuntores

Hay normas para regular el uso, aplicación y diseño de disyuntores. Las normas las establece y publica el Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos (IEEE) y el Instituto Nacional Americano de Normas (ANSI). Estas normas son las guías para aplicaciones con disyuntores AC de alto voltaje diseñados a base de la corriente simétrica AC (ANSI/IEEE c37.010-1979) y la guía para el cálculo de la corriente de falla para disyuntores AC de alto voltaje diseñados a base de la corriente total (ANSI/IEEE c37.5-1979).

La corriente de corto circuito se compone de dos partes: la corriente asimétrica, que incluye los componentes AC y DC, y la corriente simétrica, en la cual el componente DC se estabiliza y solamente contiene el componente AC. La parte simétrica también se denomina el estado estacionario ("steady state"). La razón por la que el componente DC disminuye es su constante de tiempo τ , que es equivalente también a la razón entre la impedancia reactiva y la impedancia resistiva en el punto de la falla. Típicamente, después de pasar ocho ciclos desde el momento en que ocurre la falla, el componente DC se estabiliza y permanece el estado estacionario o simétrico (Stevenson, 1982).

Orama y Torres/Coeficientes utilización disyuntores

1. Normas de diseño a base de la corriente total o asimétrica

El método de diseño y aplicación de disyuntores a base de la corriente total o asimétrica se desarrolló en 1950. Los disyuntores de este tipo se analizan en términos de la capacidad total en MVA, incluyendo los componentes AC y DC, que el disyuntor puede interrumpir a un voltaje de operación dado. La capacidad en MVA del disyuntor es equivalente a la corriente total efectiva que el disyuntor puede interrumpir multiplicada por el voltaje mínimo de aplicación. En el caso de que se usen otros voltajes de operación, la capacidad interruptiva será:

$$I = I_{\text{diseño}} * (V_{\text{diseño}} / V_{\text{op}}) \quad (1)$$

La corriente que describe la ecuación 1 no será mayor que el valor máximo de corriente establecido para mantener la capacidad en MVA constante. La corriente máxima en este caso contiene los componentes AC y DC de la corriente total de corto circuito. Por esta razón, las normas a base de la corriente total o asimétrica regulan los disyuntores diseñados a base de la corriente total (IEEE, 1979).

La figura 2 muestra una relación para cambiar la corriente total a corriente simétrica. Esta relación depende del tiempo de separación de los contactos del disyuntor. De la figura 2 se obtiene un factor S ("asymmetrical factor") por el cual se divide la corriente asimétrica o total y se obtiene el valor de la corriente simétrica de diseño del disyuntor. Esta corriente representa la capacidad máxima interruptiva del disyuntor (Browne, 1984).

2. Normas de diseño a base de la corriente simétrica

En el 1964 se establecieron nuevas normas de diseño y aplicación de interruptores. Estas normas, a base de la corriente simétrica, son más

complicadas y más precisas para el análisis y aplicación de disyuntores que las normas que se basan en la corriente total. Las nuevas normas incluyen tres cantidades para expresar la capacidad interruptiva del disyuntor: el voltaje máximo, el factor K y la corriente de corto circuito. Estas normas establecen unos factores de multiplicación que afectan las contribuciones de corto circuito y las corrientes de diseño del disyuntor. Estos factores se discuten en la próxima sección de este escrito (AEE, 1989; IEEE, 1979).

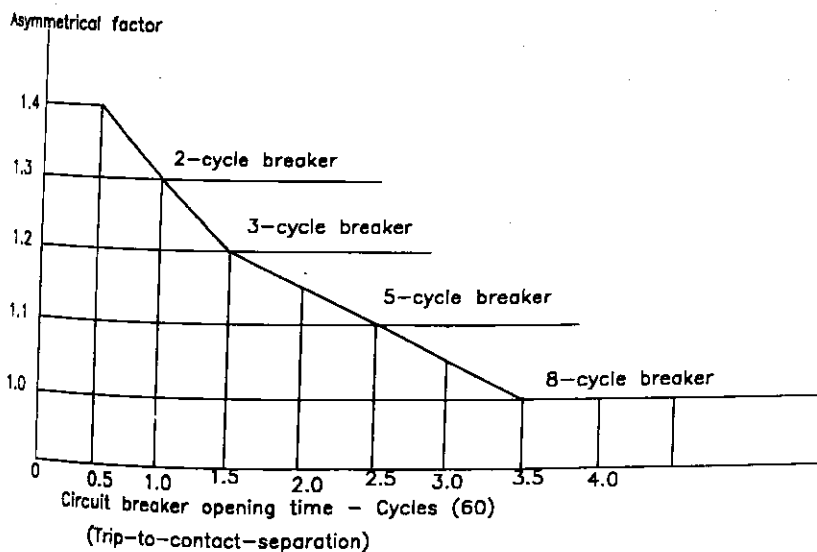


Figura 2. Relación para determinar el factor S

Factores que afectan los valores de diseño del disyuntor

Quando se utilizan interruptores en un sistema de potencia, los valores de diseño no son necesariamente los valores a los que opera el sistema. Por esta razón, hay ciertos factores que disminuyen o aumentan la capacidad

Orama y Torres/Coeficientes utilización disyuntores

interruptiva del disyuntor.

1. Capacidad máxima interruptiva del disyuntor

Un disyuntor se diseña para operar dentro de unos límites de voltaje y corriente. El límite de voltaje es el voltaje máximo (kV_{max}) y el disyuntor puede operar a cualquier voltaje menor o igual a este límite. La corriente máxima es la corriente de mayor magnitud que puede soportar el disyuntor sin que se deteriore su aislación. Como el interruptor se diseña para una capacidad constante en MVA, para el valor de corriente máxima hay un voltaje llamado kV_{min} . En la región de capacidad constante en MVA, la capacidad de diseño tiene que ser igual a la capacidad de operación. De esta manera,

$$MVA_{op} = MVA_{diseño} \quad (2)$$

$$I_{op} * kV_{op} = I_{diseño} * kV_{diseño} \quad (3)$$

$$I_{op} = I_{min} * kV_{max} / kV_{op} \quad (4)$$

$$I_{min} = I_{diseño} \quad (5)$$

$$kV_{max} = kV_{diseño} \quad (6)$$

El factor K se define como la razón del voltaje máximo al voltaje mínimo del disyuntor. Esta es la razón a la cual la capacidad interruptiva en MVA permanece constante y se puede expresar también como la razón

de la corriente máxima a la corriente mínima.

$$I_{\max} + kV_{\min} = I_{\min} + kV_{\max} \quad (7)$$

$$kV_{\max} / kV_{\min} = I_{\max} / I_{\min} = K \quad (8)$$

La corriente de interrupción máxima a la que puede operar un interruptor durante una falla es I_{\max} . La corriente de interrupción del disyuntor no puede exceder la corriente I_{\max} . Por consiguiente, la corriente de operación I_{op} no puede exceder la corriente I_{\min} multiplicada por el factor K , que es la corriente I_{\max} .

$$I_{\max} / I_{\min} = K \quad (9)$$

$$I_{\max} = K * I_{\min} \quad (10)$$

La menor de estas corrientes, I_{\max} y I_{op} , es la capacidad máxima interruptiva del disyuntor (Browne, 1984; IEEE, 1979).

A nuestro programa se le proveen los valores de diseño del disyuntor, incluyendo la base de diseño. De esta forma se determina el valor de la capacidad máxima interruptiva de cada disyuntor. Sin embargo, el programa también permite analizar disyuntores usando una base distinta a la de diseño.

Orama y Torres/Coeficientes utilización disyuntores

Ejemplo 2: Cálculo de la capacidad máxima interruptiva (I)

$$kV_{\max} = 121 \text{ kV} \quad \text{Factor } K = 1.0$$

$$kV_{op} = 115 \text{ kV} \quad I_x = 20 \text{ kA}$$

$$I_{op} = 20,000 \text{ A} * (121 \text{ kV} / 115 \text{ kV}) = 21,043 \text{ A}$$

$$I_{\max} = (1.0) * 20,000 \text{ A} = 20,000 \text{ A}$$

$$I_{\max} < I_{op}, \quad I = 20,000 \text{ A}$$

2. Operaciones de recierre

En los sistemas de potencia eléctrica se utilizan las operaciones de recierre para sacar de servicio una línea averiada y ponerla en servicio unos ciclos después. Antes de volver a energizar un circuito o línea, tiene que transcurrir un tiempo muerto ("dead time")¹ para que el arco que se forma en la operación de interrupción en el disyuntor se desionice, de forma tal que el circuito quede eléctricamente abierto. En los circuitos de 115 kV, por ejemplo, se requiere un tiempo muerto mínimo de ocho ciclos para desionizar el arco. Por esta razón, las operaciones de recierre disminuyen la capacidad máxima interruptiva de un disyuntor.

El ciclo de recierre que se utiliza como base para una operación normal es O + 0s + CO + 15s + CO. Esto significa que cuando el disyuntor abre, inmediatamente cierra y nuevamente abre, espera hasta 15 segundos, cierra

¹ Tiempo muerto ("dead time") tiempo que transcurre desde que abre el último interruptor hasta que recierra el primero de ellos.

y abre para quedar abierto permanentemente si la falla continúa. Las operaciones de recierre requieren un factor reductor (R) que disminuye la capacidad máxima interruptiva. Este valor ajustado es la capacidad máxima interruptiva del disyuntor. La figura 3 sirve como referencia para obtener el factor reductor R. Este factor ajusta la capacidad máxima interruptiva de un interruptor.

$$D = d_1(n-2) + d_1(15-t_1)/15 + \dots + d_1(15-t_{n-1})/15 \quad (11)$$

$$R = (100 - D) \% \quad (12)$$

- n = número total de operaciones
- R = factor de capacidad de recierre
- D = factor de reducción total (%)
- t₁ = primer intervalo menor de 15 segundos
- t_{n-1} = último intervalo menor de 15 segundos

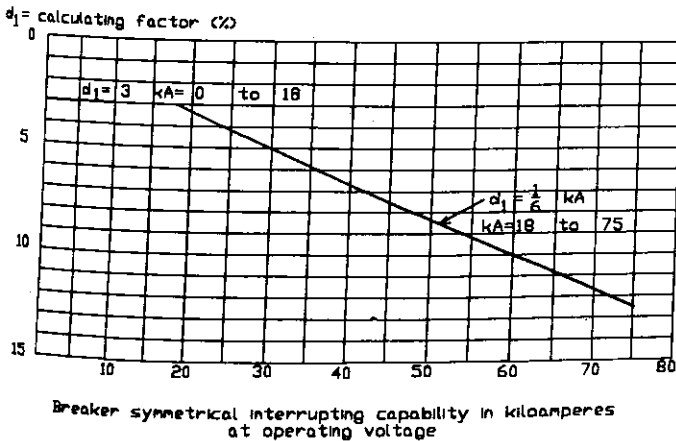


Figura 3. Relación para determinar el factor de capacidad interruptiva durante operaciones de recierre

Orama y Torres/Coeficientes utilización disyuntores

Cuando el intervalo de tiempo es mayor de 15 segundos, el tiempo ha sido suficiente para que el arco se desionice totalmente, entonces ese intervalo no afecta la capacidad máxima interruptiva (Browne, 1984; IEEE, 1979).

Nuestro programa utiliza la ecuación representativa de la curva del factor de recierre. Una vez se determina este factor, se multiplica por la capacidad máxima interruptiva que proviene de la rutina correspondiente.

Ejemplo 3: Ajuste de la capacidad interruptiva de un disyuntor

Ciclo de recierre $O + 0s + 15s + CO + 60s + CO$

Número de operaciones = 4

$t_3 = 60s > 15s$, por lo tanto, $t_3 = 15s$

$d_1 = 3.5\%$ (fig 3)

$$D = 3.5(4-2) + 3.5(15-0) + 3.5(15-15) / 15 + 3.5(15-15) / 15$$

$$D = 10.5\% \quad R = 100 - D = 89.5\%$$

La capacidad máxima interruptiva en el ejemplo anterior es $I = 20,000$
A. En este caso la capacidad interruptiva nueva es:

$$I_{nuevo} = I + R = 20,000 * 0.895 = 17,900 A$$

3. Factor X/R y el tiempo de separación de los contactos

La localización de los disyuntores en un sistema de potencia es muy importante para determinar dos factores:

- el valor de las aportaciones de corto circuito de cada una de las líneas conectadas a la subestación
- el valor equivalente de la reactancia y resistencia del sistema en ese lugar específico

Este último factor, expresado como una razón de la reactancia con respecto a la resistencia, es el factor X/R . La reactancia utilizada en el análisis es inductiva porque la mayoría de los elementos en el sistema son inductivos (generadores, transformadores, líneas, motores), motivo por el cual se puede eliminar del análisis la reactancia capacitiva. La razón X/R se calcula haciendo primero un equivalente de Thévenin de las impedancias reactivas, presumiendo que las resistencias son cero. Luego, se hace el equivalente de Thévenin de las resistencias, considerando las reactancias como cero. Una vez se obtienen los dos valores por separado, se calcula la razón de la reactancia sobre la resistencia, X/R . Este factor representa la razón a la que decae el componente DC de la contribución de corto circuito que fluye a través del disyuntor (IEEE, 1979).

La combinación del tiempo de separación de los contactos² y la razón X/R nos indica la magnitud real de la corriente de falla que el disyuntor interrumpe. La magnitud de la corriente depende del decaimiento del componente DC en el momento en que los contactos del disyuntor comienzan a abrir. La contribución de corto circuito se expresa como la amplitud de la corriente simétrica. En el momento en que comienzan a abrir los contactos, el componente DC no necesariamente tiene que haber decaído en su totalidad. Por esta razón, la corriente que interrumpe el disyuntor puede ser mayor que su amplitud simétrica. De esta forma, la contribución de corto circuito máximo se multiplica por un factor mayor de 1, que se obtiene de las curvas de disminución del componente DC (IEEE, 1979).

El uso de las curvas de disminución del componente DC depende a su vez de dos factores:

² "Contact parting time", que es el tiempo que pasa desde el momento en que ocurre la falla hasta el momento en que los contactos del disyuntor comienzan a separarse.

Orama y Torres/Coeficientes utilización disyuntores

1. el número de transformaciones desde la fuente de generación hasta el lugar donde se encuentra la subestación
2. de si la corriente de falla es de línea a tierra o trifásica

El primer factor es importante porque si el disyuntor está lejos de la fuente de generación, la amplitud de la corriente de corto circuito asimétrica es menor ya que la reactancia equivalente de Thévenin es mayor. El segundo factor es significativo ya que se presume que la corriente en una falla trifásica generalmente es la mayor. Sin embargo, la configuración de la barra puede causar que esta presunción sea incorrecta (Browne, 1984; IEEE, 1979).

Nuestro programa representa las curvas de disminución con ecuaciones de cuarto y quinto grado exponencial para calcular el factor de multiplicación. Este factor se multiplica por la contribución de corto circuito máximo y nos da la magnitud de la corriente de corto circuito mayor que el disyuntor puede interrumpir.

Ejemplo 4: Cálculo de la corriente de corto circuito máxima que interrumpe el disyuntor

De la configuración de "ring bus", se obtuvieron las siguientes corrientes de falla trifásicas fluyendo a través de los disyuntores:

$$I_A = 15,503 \text{ A} \quad I_B = 15,463 \text{ A} \quad I_C = 15,503 \text{ A}$$

De acuerdo al estándar ANSI/IEEE c37.010-1979, para un interruptor de cinco ciclos y un factor de $X/R = 40$, el factor de multiplicación es 1.1. Entonces, la nueva contribución de corto circuito máximo que interrumpe el disyuntor es:

$$IA_{nueva} = IA * XJR \text{ Factor} = 17,503 \text{ A}$$

$$IB_{nueva} = IB * XJR \text{ Factor} = 17,009 \text{ A}$$

$$IC_{nueva} = IC * XJR \text{ Factor} = 17,053 \text{ A}$$

Porcentaje de interrupción del disyuntor

Una vez se obtienen los valores reales de la corriente que pasa por el disyuntor, la nueva contribución de corto circuito máximo y se sabe el valor de la nueva capacidad máxima interruptiva, determinamos la razón a la que el disyuntor interrumpe la corriente de falla. Esta razón, expresada en términos de porcentaje, es el porcentaje de interrupción del disyuntor ("percent duty") (IEEE, 1979).

Nuestro programa produce un informe tabulado con la identificación de los disyuntores, cada una de las corrientes calculadas y el coeficiente de utilización de los disyuntores en términos de porcentaje.

Ejemplo 5: Cálculo del coeficiente de utilización de un disyuntor

$$\%Duty = I_{max \text{ nueva}} / I_{nueva} * 100$$

Utilizando los valores en los ejemplos anteriores, tenemos que la capacidad máxima interruptiva previamente determinada es 17,900 A. Entonces, el coeficiente de utilización para los disyuntores A, B y C es:

$$\%Duty \text{ A} = 17,053/17,900 * 100 = 95.27 \%$$

$$\%Duty \text{ B} = 17,009/17,900 * 100 = 95.02 \%$$

$$\%Duty \text{ C} = 17,053/17,900 * 100 = 95.27 \%$$

Orama y Torres/Coeficientes utilización disyuntores

Análisis de los resultados

El resultado final de un análisis del coeficiente de utilización de un disyuntor provee la información suficiente para saber si el disyuntor está operando dentro de sus límites de diseño. En el caso de que el coeficiente de utilización de un disyuntor sea menor de 100%, el disyuntor no tiene que interrumpir corrientes de falla mayores que sus parámetros de diseño. Si, por el contrario, el coeficiente de utilización excede el 100%, entonces el disyuntor tiene que interrumpir corrientes de falla para corrientes mayores que para las cuales se diseñó. En este caso, la persona que hace el estudio, tiene que hacer una de las siguientes recomendaciones:

1. aumentar la capacidad del disyuntor,
2. aumentar los tiempos de recierre y
3. substituir el disyuntor por uno de mayor capacidad.

En la actualidad se puede usar un equipo especializado para aumentar la capacidad y extender la vida útil del disyuntor. Este equipo está disponible para disyuntores cuyos voltajes de operación se encuentran entre 115 kV y 145 kV. Según los fabricantes del producto, la compañía Asea Brown Boveri (ABB), el uso del equipo brinda los siguientes beneficios. (Asea Brown Boveri, 1991):

1. Aumenta la capacidad interruptiva del disyuntor en 40 kA.
2. Reemplaza los contactos, con los que se podrían interrumpir hasta 100 fallas a plena carga.
3. Cumple con las normas de ANSI.
4. Aumenta la capacidad de corriente continua en 2000 A.

5. Se instala en tres días y, una vez instalado, el disyuntor requiere menos mantenimiento que el disyuntor original.

Conclusiones

Nuestro programa permite determinar las condiciones en las que un disyuntor interrumpe las corrientes de falla en un circuito. A base de los resultados del estudio se reemplazan algunos disyuntores y se actualizan otros. Esto conlleva una inversión de capital y trabajo de grandes proporciones.

Algunas de las ventajas que provee nuestro programa de computadoras son:

1. analiza las configuraciones básicas de subestaciones y centros de transmisión que hay en el sistema
2. analiza cada subestación por separado y permite estudiar subestaciones ya diseñadas pero que aún no están en servicio
3. es sencillo y fácil de utilizar
4. permite a cualquier usuario, aún con poca experiencia, hacer un análisis de disyuntores
5. permite analizar subestaciones con un número indefinido de disyuntores

Cuando comparamos nuestro programa con el que usa la Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico (AEE) encontramos que los resultados son similares. Hay una pequeña variación de 2 a 2.5% entre los valores que obtenemos.

Orama y Torres/Coeficientes utilización disyuntores

Referencias

Browne, T., 1984, *Circuit Interruption, Theory and Techniques*, Marcel Dekker, Inc., New York, p.39-85.

Lewis, J., 1987, *Protective Relying, Principles and Applications*, Marcell Dekker Inc., New York, p.338-358.

Stevenson, W., 1982, *Elements of Power Systems Analysis*, McGraw Hill Pu. Co., New York, p.267-303.

Asea Brown Boveri, 1991, *Transmission and Distribution Equipment Digest*.

Autoridad de Energía Eléctrica, 1989, *Breaker Interrupting Duty Calculation*, División Planificación y Estudios

Autoridad de Energía Eléctrica, 1990, *Estudio de Disyuntores*, División Planificación y Estudios

Institute of Electrical and Electronic Engineers Standards, 1979, "IEEE Application Guide for AC High Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis", c37.010-1979.

Institute of Electrical and Electronic Engineers Standards, 1979, "IEEE Guide for Calculation of Fault Currents for Application of AC High Voltage Circuit Breakers Rated on a Total Current Basis", c37.5-1979.