

Estudio de cortocircuitos bifásicos a tierra del sistema eléctrico de Pereira, analizando sus efectos sobre el nodo en falla

Two-phase ground faults in Pereira's electrical system and effects on the nodes

Sebastián Franco Rendón, Antonio H. Escobar Zuluaga
Escuela Tecnología Eléctrica, Universidad Tecnológica, Pereira, Colombia
sebas.franco.22@utp.edu.co
aescobar@utp.edu.co

Resumen— Un sistema eléctrico de potencia es un conjunto de elementos que permiten la interconexión de los grandes centros de generación con grandes centros de consumo, para esto se requiere transmitir grandes cantidades de potencia a niveles elevados de tensión. Los estudios de cortocircuito juegan un papel importante en el análisis de los sistemas eléctricos de potencia en el momento del planeamiento y selección de equipos eléctricos. Para el estudio de cortocircuito se requieren procedimientos precisos y confiables, dando lugar a procedimientos normalizados, estos se usan con el fin de calcular corrientes de cortocircuito en los sistemas eléctricos. La norma IEC de origen europeo y el ANSI/IEEE de origen norteamericano dan resultados que sirven para seleccionar interruptores de circuitos y diseñar esquemas de protecciones.

Palabras clave— Sistema eléctrico de potencia, generación, cortocircuito, norma IEC, ANSI/IEEE, interruptores.

Abstract— An electrical system of power is a set of elements that allow the interconnection of the big centers of generation with the big centers of consumption; this wants to say that it allows to transmit big quantities of power to high levels of consumption. The studies of short circuit are very important in the power system analysis, in the planning and selection of electrical equipment. For the study of short circuits there are needed precise and reliable procedures, giving place to normalized process, these procedures they are used in order to calculate currents of short circuit in the electrical systems. The standards IEC (European) and ANSI/IEEE (American), are used to select circuit breakers and to design protection schemes.

Key Word —Electric power system, generation, short circuit, norms IEC, ANSI/IEEE.

I. INTRODUCCIÓN

Los análisis de los sistemas eléctricos de potencia comprenden varios estudios, entre los que se destacan, medición del consumo eléctrico, costo y valorización de la

energía, la planificación, ampliación y mejoramiento de las redes eléctricas, y la prevención y planes de acción frente a fallos o contingencias. Este último caso puede ser originado por varias causas como los eventos ambientales (tormentas eléctricas, fuertes vientos, temblores), sobrecargas o incluso por ser producido por errores humanos.

Un fallo se produce cuando surgen rutas de baja impedancia no previstas para las corrientes y producen generalmente una pérdida de la condición normal de operación[2]. Su principal impacto está asociado a las grandes corrientes que pueden circular transitoriamente por el sistema y que dan origen a sobrecalentamiento de equipos y conductores, al igual que a grandes fuerzas mecánicas, en ocasiones muy destructivas. Conocer los efectos de cada una de estas variables es de mucha importancia a la hora de solucionar un fallo.

Independientemente de la causa que la origine, es necesario aislar la zona bajo falla rápidamente para reducir el impacto sobre el resto del sistema. Esto requiere del cálculo de estas corrientes con el propósito de seleccionar y ajustar las protecciones del sistema eléctrico de potencia [4].

Para que el sistema eléctrico de Pereira tenga una operación adecuada desde el despacho de energía hasta el usuario final o consumidor, es necesario conocer los detalles de la operación y la sensibilidad del sistema ante condiciones anormales. Por ejemplo, es importante conocer a priori cuáles son los nodos más críticos en niveles de tensión, cuáles son las líneas que más flujo de potencia transportan y más se sobrecargan, en caso de salida de un elemento, cómo se comporta y redirecciona el flujo de potencia, así como cuáles son los valores de la corrientes de cortocircuito que fluyen a través de los alimentadores del fallo, transformadores y generadores, a través de las líneas, y que incidencia tiene en los niveles de tensión de los nodos. Conocer todos estos datos es de mucha

importancia a la hora de prevenir o planificar un evento adverso a las condiciones normales.

II. CONCEPTOS

A. Definición general.

Un sistema eléctrico de potencia es un conjunto de elementos que permiten la interconexión de grandes centros de generación con grandes centros de consumo y permite transmitir grandes cantidades de potencia a niveles elevados de tensión [3].

Se puede decir que una falla es un evento que interfiere con el flujo normal de corriente, ocasionando así un punto de operación fuera de lo normal. La mayoría de fallos son ocasionados por descargas atmosféricas o por otros tipos de fallas que originan interrupciones transitorias o prolongadas en el servicio de energía eléctrica, tales como: pérdidas de aislamiento, averías en los pararrayos, fallas humanas, aisladores defectuosos, factores ambientales, defectos en las torres, falsa sincronización, averías en los elementos de sujeción, cortocircuitos producidos por animales y ramas, colisiones de conductores por vientos fuertes etc.

En el sistema eléctrico de potencia hay diversos tipos de fallas que se pueden clasificar por la cantidad de fases que intervienen en la falla. Existen fallas simétricas y asimétricas. En las asimétricas el sistema opera de forma trifásica desbalanceada durante el fallo. Por lo general la mayoría de fallas que ocurren en los sistemas de potencia son fallas asimétricas. Las fallas asimétricas pueden ser de varios tipos. Dentro de las más comunes aparecen: monofásica a tierra L-T, bifásica L-L y bifásica a tierra L-L-T [3].

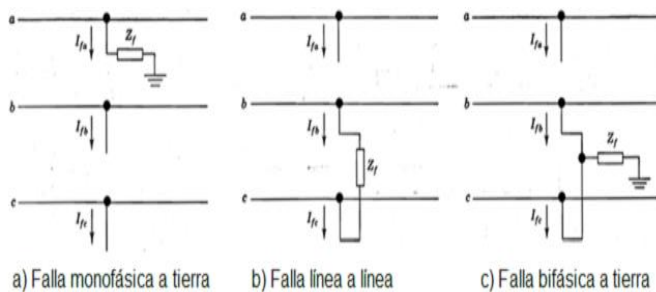


Figura 1. Tipos de fallas asimétricas.

B. Norma IEC.

La norma **IEC** ha sido desarrollada en Europa. Se presenta aquí el aspecto más sobresaliente del estándar **IEC 60909**, con el procedimiento de cálculo de corriente de cortocircuito en sistemas eléctricos trifásicos de corriente alterna [6]. Esta norma abarca sistemas de baja tensión y sistemas eléctricos con tensiones nominales hasta 230kV con una frecuencia

nominal de 50 a 60 Hz. Con respecto a la norma **IEC 909**, esta norma realiza un procedimiento que conduce a resultados más precisos y conservadores [6].

Los cálculos de corriente de cortocircuito usando la norma IEC se enfocan la distancia eléctrica (localización) de la falla respecto a los generadores:

- Falla lejana al generador.
- Falla cercana al generador.

En este caso se utilizará la norma **IEC 60909**, teniendo en cuenta que:

- Falla lejana al generador: es un cortocircuito para el cual la magnitud de la componente simétrica de corriente alterna permanece esencialmente constante [6].
- Falla cercana al generador: es un cortocircuito en el que al menos una máquina contribuye con una corriente de cortocircuito simétrica inicial que es mayor dos veces la corriente nominal de la máquina, o un cortocircuito para el cual la contribución de los motores asíncronos es mayor que el 5% de la corriente de cortocircuito simétrica inicial sin los motores [6].

C. Contingencia.

Es un evento causado por la salida de un elemento del sistema eléctrico de potencia, la salida de este elemento puede ser programada (mantenimiento) o imprevista (fallas), por ejemplo atentados terroristas o fenómenos atmosféricos [5].

Parte importante en el análisis de seguridad de los sistemas eléctricos de potencia es el estudio de contingencias. Se puede definir una contingencia como el evento que ocurre cuando un elemento de la red es retirado o sale de servicio por causas imprevistas o programadas. En los análisis de contingencias se estudian los efectos sobre el sistema y su capacidad de permanecer en operación normal sin un elemento. También se analizan los problemas que estas salidas producen como por ejemplo: sobrecarga térmica, pérdida de carga, corrientes de cortocircuito excesivas, entre otras [1].

Cada vez que se presenta la salida de un elemento en el sistema, las corrientes en las líneas se redistribuyen a través de la red y las tensiones de las barras cambian. Como consecuencia de esto, pueden aparecer sobrecargas en líneas o transformadores. En los estudios de contingencias se consideran las salidas de: líneas de transmisión, transformadores, generadores y cargas. Las salidas de los elementos pueden ser programadas o ser forzadas por condiciones ambientales o fallas. De otro lado, la salida de un elemento puede dar origen a la salida de otros elementos, lo que puede producir un efecto en cascada que eventualmente conduce al colapso del sistema. Cuando se realizan estudios de contingencias se puede considerar la salida de un elemento

o la salida simultánea de varios. Independiente de si la contingencia es simple o múltiple se debe definir el nivel y el tipo de contingencia que vamos a manejar como aceptable para el sistema. Podemos considerar que el sistema debe poder operar normalmente ante una contingencia simple (salida de un elemento) y que ante una segunda contingencia o ante contingencias múltiples, el sistema opere en condiciones normales.

III. PROCEDIMIENTO

D. SIMULACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA DE PEREIRA

El caso base del sistema de transmisión de Pereira, está conformado por 13 líneas, 15 transformadores, 4 nodos generadores y 8 nodos con cargas; para el análisis de fallas simétricas se aplicó la norma IEC 60909 con el paquete computacional NEPLAN, se tomó como sistema de prueba el sistema eléctrico de potencia de Pereira. Todos los datos de cada carga se construyeron con los datos de demanda del sistema de Pereira en la hora de máxima demanda.

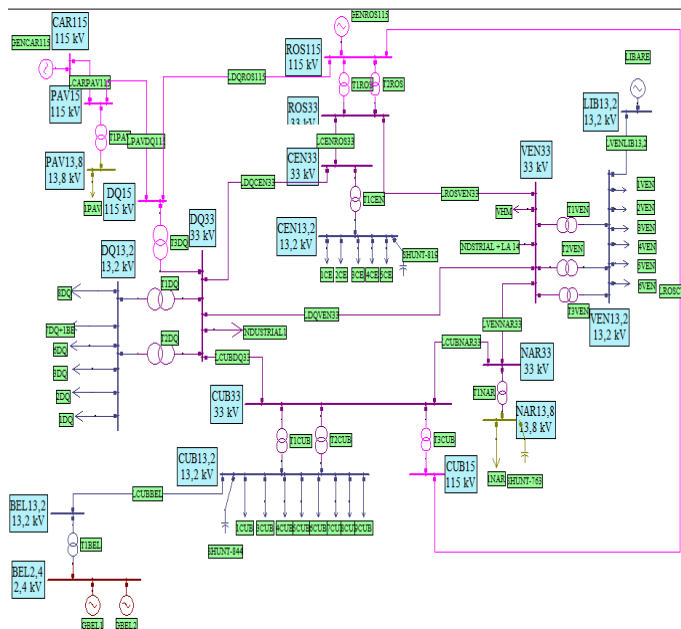


Figura 2. Topología del sistema eléctrico de potencia de Pereira.

Para el análisis se simula el sistema de prueba con el programa NEPLAN, este permite resolver problemas de análisis de cortocircuito con las normas que trae incorporadas. Se tiene en cuenta los datos de los generadores, líneas transformadores y de las cargas según la hora asignada (19:00 Horas) y con 32 MW inyectados por el nodo frontera Cartago, denominado CAR115.

Después de ingresar los datos al programa NEPLAN se realizan ajustes a los taps de todos los transformadores para

mejorar la tensión en los nodos, teniendo en cuenta el rango permitido que es entre el 95% y el 105% de su valor nominal; estos ajustes sirven para que todos los transformadores faciliten el flujo de potencia reactiva requerida por los nodos. Luego de realizar todos los ajustes de taps de transformadores, ajustar las tensiones de los nodos de importación de potencia al sistema, que son los nodos la Rosa y Cartago (ROS115 Y CAR115), se procede a la determinación de la ubicación de 3 bancos de compensación capacitiva de 5MVAR cada uno; se estable el caso base, en el cual todos los elementos están en sus límites operativos para la hora pico, el banco de condensador se ubica en los nodos Centro, Cuba y Naranjito (CEN13,2; CUB13,2 y NAR13,8), estos nodos fueron lo que permitieron una mejora positiva en el sistema.

Con el caso base del sistema eléctrico procedemos a realizar cortocircuitos en todos los nodos del sistema bajo la norma IEC 60909 dando como resultados las corrientes momentáneas de cortocircuito, véase tabla 1.

Después de esto se procede a evaluar algunos nodos quitando uno por uno los elementos del sistema, es decir contingencia simple, y así obtener los resultados de las corrientes en ese nodo sin dicho elemento, y con ayuda de la herramienta Excel podemos ordenar de mejor manera y comparar los resultados de las corrientes con las del caso base y ordenando de mayor a menor la con relación a la corriente de caso base que en este caso correspondería al 100% los resultados de las corrientes una fracción de esta.

En este caso se hará una comparación de los nodos de Belmonte 2,4kV (Bel2,4), Libare 13,2kV (Lib13,2), Ventorrillo 13,2kV y 33kV (Ven13,2 y Ven33), La rosa 33kV y 115kV (Ros33 y Ros115) y Cuba 115kV (Cub115); dando así los resultados de la Figura 3 hasta la Figura 9

UBICACIÓN DE FALLA	Vn kV	IK" kA	METODO
CAR115	115	0 0,857 0,901	IEC60909
PAV115	115	0 0,895 0,94	IEC60909
CUB13,2	13,2	0 8,814 9,506	IEC60909
PAV13,8	13,8	0 5,906 6,173	IEC60909
ROS33	33	0 3,161 3,323	IEC60909
ROS115	115	0 0,948 0,993	IEC60909
DQ115	115	0 0,941 0,986	IEC60909
VEN33	33	0 3,285 3,447	IEC60909
DQ33	33	0 3,153 3,317	IEC60909
DQ13,2	13,2	0 6,089 6,478	IEC60909
VEN13,2	13,2	0 9,835 11,927	IEC60909
BEL13,2	13,2	0 4,915 5,305	IEC60909
BEL2,4	2,4	0 70,798 70,798	IEC60909
CEN33	33	0 2,953 3,104	IEC60909
LIB13,2	13,2	0 34,742 34,034	IEC60909
CEN13,2	13,2	0 4,629 4,817	IEC60909
NAR33	33	0 2,765 2,908	IEC60909
NAR13,8	13,8	0 4,866 5,209	IEC60909
CUB33	33	0 3,076 3,236	IEC60909
CUB115	115	0 0,914 0,958	IEC60909

Tabla 1. Resultados según la norma IEC60909 2001

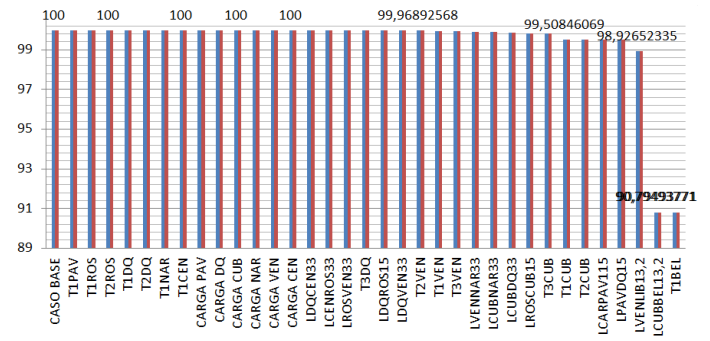


Figura 3. Porcentajes en el nodo Belmonte 2,4kV (Bel2,4)

Las variaciones sobre este nodo se presentan cuando se intervienen los elementos localizados más cerca a este y que por los parámetros de los generadores conectados al nodo se presentara gran valor de corriente base.

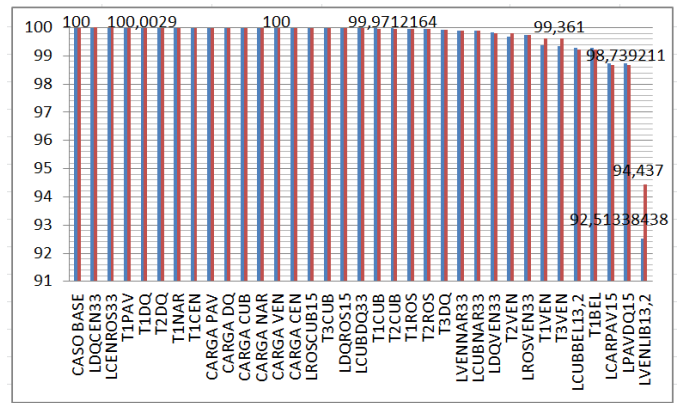


Figura 4. Porcentajes en el nodo Libare 13,2kV (Lib13,2)

Se presenta desbalances notorios en los valores de las líneas por donde hay flujo de corriente, en donde L2 (rojo) posee valores superiores a L1 (azul) y haciéndose más notorio en los elementos cerca al nodo y que comunican generadores a este.

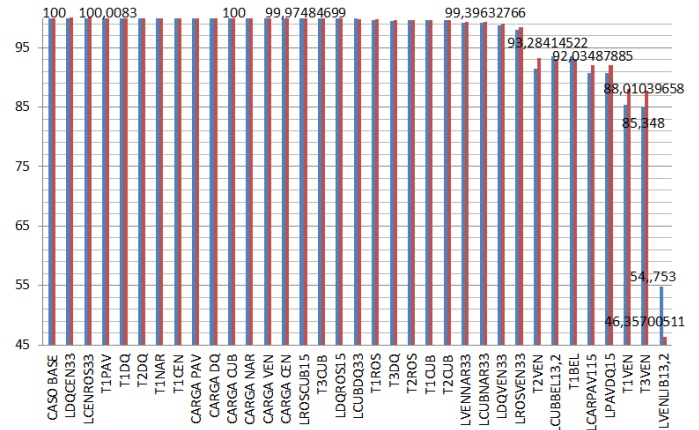


Figura 5. Porcentajes en el nodo Ventorrillo 13,2kV (Ven13,2)

Se puede observar un desbalance en los porcentajes de la línea entre ellas además de una gran disminución del valor de corriente en más de la mitad de su caso base al salir el elemento Línea Ventorrillo-Libare de 13,2kV (LVENLIB13,2).

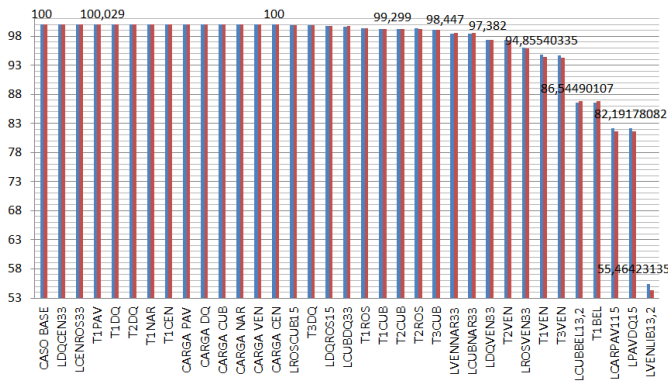


Figura 6. Porcentajes en el nodo Ventorrillo 33kV (Ven33)
 No solo se observa una considerable disminución del valor de corriente al salir el elemento Línea Ventorrillo-Libare de 13,2kV (LVENLIB13,2) sino que también hay un aumento de corriente de cortocircuito de hasta 100.03% .

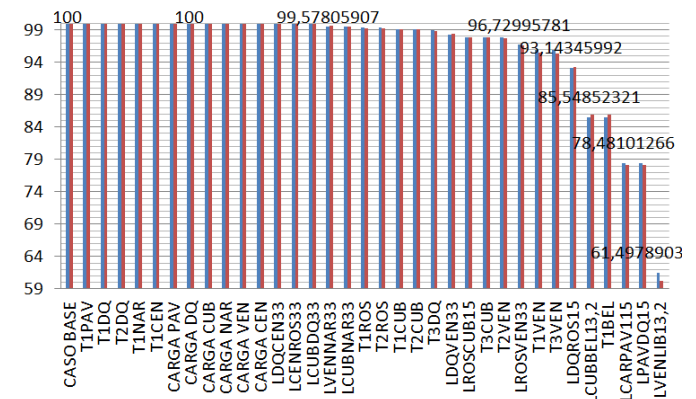


Figura 9. Porcentajes en el nodo La Rosa 115kV (Ros115)
 Se observa disminución de los valores de corriente así como también un desbalance notorio entre las líneas L1 (azul) y L2 (rojo) en el elemento Línea Ventorrillo-Libare de 13,2kV (LVENLIB13,2).

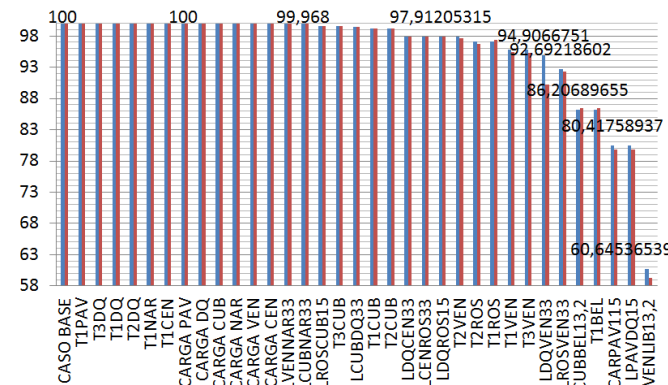


Figura 7. Porcentajes en el nodo La Rosa 33kV (Ros33)
 Se observa grandes variaciones en los valores de corriente a medida de que sale algún elemento, no se encuentra un valor constante con respecto al valor base.

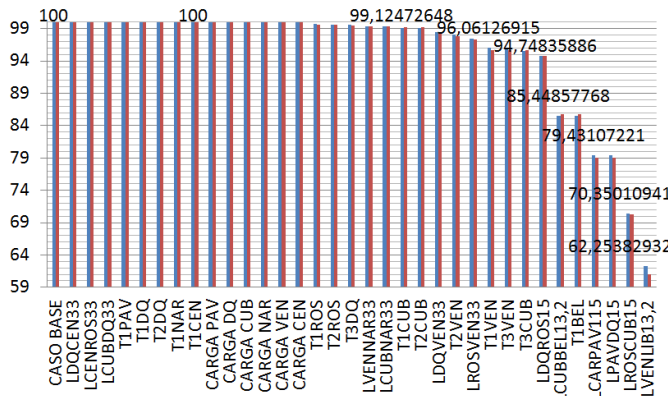


Figura 8. Porcentajes en el nodo Cuba 115kV (Cub115)
 Grandes variaciones al salir los elementos de su mismo nivel de tensión y nodos que cerca de generadores y están conectados cerca a este nodo

IV. CONCLUSIONES

En general debido a que la norma IEC60909 2001 clasifica el cortocircuito en lejano o cercano al generador, los nodos que están conectados o cerca de generadores cuando son desconectados del sistema producen una mayor variación con respecto al caso base, y una magnitud muy elevada en los nodos a los cuales están conectados los generadores con respecto a los nodos en su mismo nivel de tensión.

Uno de las grandes variaciones en el valor de las corriente en la mayoría de elemento se da cuando el elemento Línea Ventorrillo-Libare de 13,2kV (LVENLIB13,2) sale por algún motivo y esto disminuye drásticamente el valor de corriente.

V. REFERENCIAS

[1] Escobar Zuluaga, A. H. & Gallego, L. A. (2004). *Análisis estático de contingencias de potencia activa en sistemas eléctricos de potencia*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.

[2] Gonzalez-Longatt, F. (2007). *Sistemas de Potencia, Capítulo 7 Fallas Asimétricas*. Venezuela.

[3] Grainger, J. J., & Stevenson Jr, W. D. (1994). *Power System Analysis*.

[4] Ortiz Serrano, A. M. (2010). *Análisis de fallas en redes de distribución*. Costa Rica: Universidad de Costa Rica.

[5] Robledo Montealegre, J. F., & Escobar Zuluaga, A. H. (2014). *Análisis de colapso en sistemas*

eléctricos de potencia. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.

[6] Vazquez Bojórquez, V. J., & Mota Palomino, R. (2007). *Estudio Comparativo de las Normas IEC y ANSI para Cálculo de Corto Circuito*. Mexico D.F.