

ESTUDIO DE CORTOCIRCUITOS Y CALIBRACIÓN DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS EN EL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE LA EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO

Camilo Romero Sánchez

Departamento de Energía Eléctrica, Escuela Politécnica Nacional

Dr. Jesús Játiva Ibarra

Resumen- Los cambios de topología de los sistemas eléctricos demandan la realización de nuevos estudios de cortocircuito para comprobar las capacidades y la correcta operación de los componentes de los sistemas de protección como son disyuntores, relés y transformadores de protección.

Se resume las características principales de la norma ANSI/IEEE C37.010, con la que se lleva a cabo el cálculo de cortocircuitos. Luego, se exponen las máximas corrientes de falla en las barras principales del sistema eléctrico de 138 kV de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito EPMAPS, bajo varios escenarios de operación.

Se muestran los criterios y alcances de las zonas de protección del relé numérico de distancia utilizado para proteger el sistema de transmisión de la EPMAPS. Finalmente, se resumen los ajustes de cada zona y se detallan las características integrantes más importantes del relé.

Palabras Clave: Estudio de Cortocircuitos, Norma IEEE C37.010, Calibración, Relés Numéricos de Distancia.

Abstract – Electric systems topology changes require new short circuit studies to verify components capacity as well as proper operation of the protection systems such as breakers, relays and transformer protection.

Principal characteristics of the ANSI/IEEE C37.010 are summarized, with which short circuit calculations are carried out. Then, fault maximum currents at main 138 kV busses of the Metropolitan Public Utility of Potable Water and Sanitation of Quito, under various operating scenarios.

Criteria and scope of distance numerical relay protection zones are showed utilized to protect the EPMAPS transmission system. Finally, adjustments of each zone are summarized as well as the relay main characteristics are detailed.

Key Words – Short circuit studies, Standard IEEE C37.010, Calibration, Distance numerical relay.

I. INTRODUCCIÓN

La Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS) tiene el objetivo de suministrar agua potable a la ciudad de Quito. Para generar energía

eléctrica se aprovecha la caída de potencial del agua en el trayecto desde los puntos de captación hasta las plantas de tratamiento, en las centrales hidroeléctricas El Carmen y Recuperadora.

El sistema está conformado por dos centros de abastecimiento de agua: Papallacta y La Mica Quito Sur. El primero entrega agua potable a los habitantes del norte y el segundo a los habitantes del centro y sur de la ciudad de Quito.

La energía de las dos centrales de generación es utilizada para alimentar los sistemas de bombeo de la EPMAPS, la subestación Tababela, desde la que se alimenta el nuevo Aeropuerto y el excedente se entrega al Sistema Nacional Interconectado en la barra de Santa Rosa de Transelectric.

Cuando las captaciones de agua por gravedad del sistema Papallacta no son capaces de abastecer la demanda, los motores de inducción acoplados a las bombas son arrancados para elevar el agua hasta la entrada del túnel Quito y ser conducidas hasta la planta de tratamiento Bellavista.

II. ESTUDIOS DE CORTOCIRCUITOS

La corriente de cortocircuito depende de la contribución de las fuentes y su capacidad en un sistema de potencia. El sistema eléctrico de la EPMAPS está conformado por tres fuentes, siendo la más significativa la del Sistema Nacional Interconectado (SNI).

Los generadores de las centrales eléctricas El Carmen y Recuperadora son la segunda fuente importante de contribución a los cortocircuitos, siendo esta última la de mayor aporte debido a su mayor capacidad en comparación con la segunda.

La última fuente de contribución son los motores de inducción de las estaciones de bombeo Booster 1, 2 y Elevadora. Al ser motores de gran capacidad, es fundamental incluirlos en el análisis de cortocircuitos, aunque el aporte de corrientes solo se realiza durante los primeros ciclos.

El sistema eléctrico de la EPMAPS se muestra en la figura 1, donde también se detallan los relés de protección de las líneas de transmisión de 138 kV.

El estudio de cortocircuitos que se realiza con el programa DIGSILENT, contempla el análisis con todas las fuentes de contribución. El cálculo de las corrientes en

los diferentes estados se basa en la aplicación de la norma ANSI/IEEE C37.010.

A. Modelo del motor de inducción en estudios de cortocircuitos

El aspecto constructivo de los motores de inducción tiene relación directa con su contribución. Cuando se produce un cortocircuito, el voltaje del rotor no puede cambiar de forma rápida, y por lo tanto se produce un voltaje en los terminales de la máquina y una corriente hacia el punto de falla. Debido a que el flujo es inducido, no se puede mantener por mucho tiempo y consecuentemente

el aporte de un motor de inducción aparece solamente durante los primeros ciclos.

La red de secuencia positiva de un motor de inducción se muestra en la figura 2. Las redes de secuencia negativa y cero tienen únicamente la respectiva impedancia de secuencia.

B. Resumen de la norma ANSI/IEEE C37.010

La norma ANSI/IEEE C37.010 es utilizada para el cálculo de las corrientes de cortocircuitos en sistemas de voltajes hasta 230 kV y con frecuencia nominal de 50 y 60 Hz.

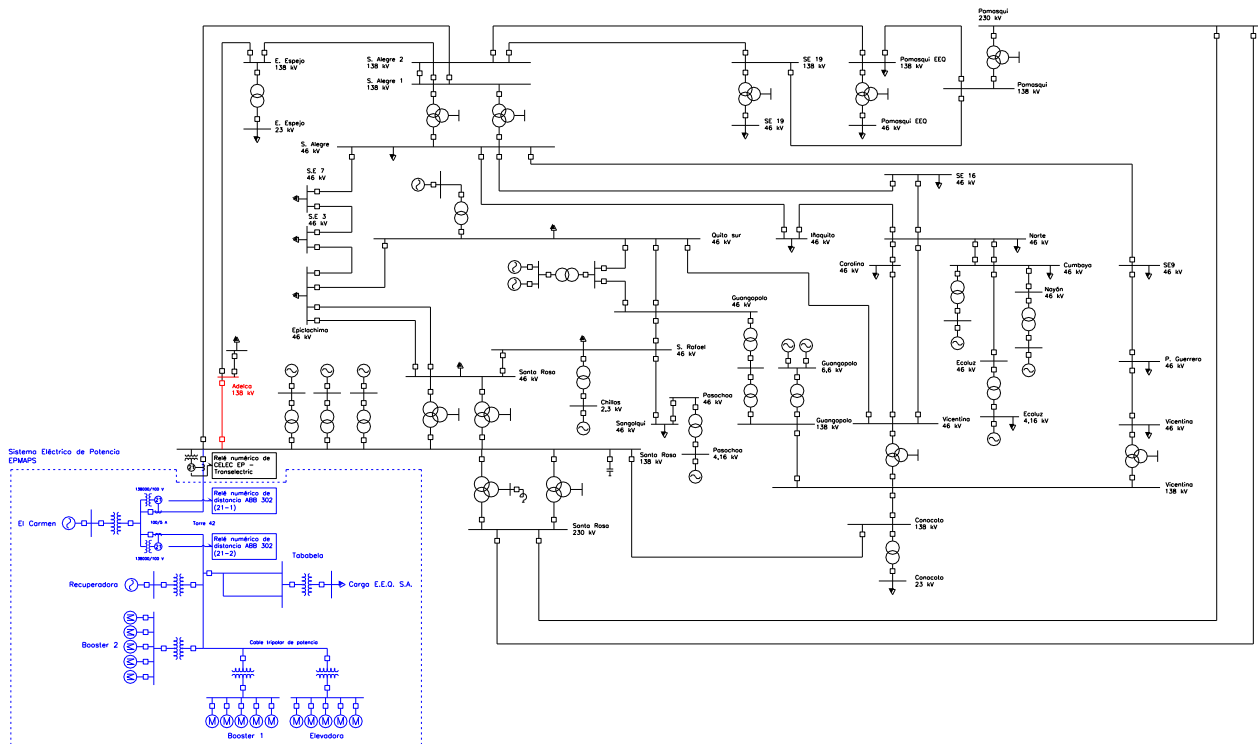


Fig. 1 Zona norte del Sistema Nacional Interconectado

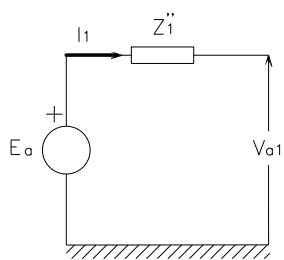


Fig. 2 Red de secuencia positiva del motor de inducción

Donde:

- Z_1'' : impedancia subtransitoria o de rotor bloqueado
- I_1 : corriente de contribución de cortocircuito
- E_a : voltaje del flujo inducido
- V_{a1} : voltaje en los terminales

La característica principal es que el análisis se efectúa considerando dos redes separadas, una solo de

resistencias y otra de reactivas. Con los resultados de la impedancia Thevenin de las dos redes, se obtiene la relación X/R que es utilizada en muchos cálculos.

Los resultados de esta norma se fundamentan en los siguientes tres estados de la corriente de cortocircuito:

- 1) **Corriente Momentánea.**- Se presenta durante los primeros ciclos (1-2 ciclo) y por ende es la corriente más alta. Esta corriente conserva el efecto de decaimiento de la componente a.c. y d.c. Es utilizada para calibrar relés de alta velocidad y para comprobar la capacidad momentánea de los disyuntores.
- 2) **Corriente de Interrupción.**- Se presenta luego de la corriente momentánea y está relacionada con el estado de la corriente que los disyuntores deben interrumpir. Durante este período de tiempo, la corriente aún tiene el efecto a.c. y d.c.

TABLA II
MÁXIMAS CORRIENTES DE CORTOCIRCUITOS

Barra	Escenario de operación	Tipo de cortocircuito	Corriente simétrica		
			I. Momentánea kA	I. Interrupción kA	I. 30 ciclos kA
El Carmen 138 kV	1	3F	4,84	4,75	4,38
El Carmen 6,6 kV	1	3F	12,24	12,24	10,64
Recuperadora 138 kV	1	3F	2,87	2,75	2,36
Recuperadora 6,6 kV	1	3F	20,43	20,29	17,37
Booster 2 138 kV	1	1F	2,41	2,13	2,04
Booster 2 6,6 kV	1	3F	17,33	15,35	11,25
Booster 1 138 kV	1	1F	2,27	2,18	1,92
Booster 1 6,6 kV	1	3F	17,85	15,35	10,94
Elevadora 6,6 kV	1	3F	12,56	11,05	8,49
3F cortocircuito trifásico 1F cortocircuito monofásico					

3) **Corriente de 30 ciclos.**- Esta corriente no presenta los efectos de las componentes a.c. y d.c., ya que se asume que durante los 30 ciclos en adelante, estos han desaparecido. Es utilizada para ajustar protecciones de respaldo con largos tiempos de respuesta.

La corriente de la ecuación 1 sirve para obtener la corriente simétrica de cortocircuito trifásico. A partir de este valor, la norma ANSI establece diferentes procedimientos para calcular el factor de multiplicación aplicado a dicha corriente, y determinar la componente de decaimiento a.c. y d.c.

$$I_{\text{sym } 3F} = \frac{V_f}{z_{th}} \quad (1)$$

Donde:

V_f: voltaje de prefalla

z_{th}: impedancia Thevenin en el punto de falla

Para otro tipo de cortocircuito, se debe aplicar la respectiva ecuación, y luego proceder a calcular el factor de multiplicación para obtener la corriente total.

C. Resultados de la corriente de cortocircuitos en el sistema de la EPMAPS

La tabla I resume la disponibilidad de las fuentes de aporte de cortocircuito en los diferentes escenarios de operación.

TABLA I
ESCENARIOS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE LA EPMAPS

Fuentes de contribución	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
Contribución S.N.I.	X	X	X	X
Generador El Carmen	X	-	X	-
Generador Recuperadora	X	X	-	X
No. de motores Booster 2	4	0	0	3
No. de motores Booster 1	4	0	0	3
No. de motores Elevadora	4	0	0	3
X en servicio - fuera de servicio				

La tabla II detalla las máximas corrientes de cortocircuito en las barras del sistema de la EPMAPS obtenidas con el programa DIGSILENT.

Como se indica en la tabla II, las mayores corrientes provienen del escenario de operación 1, donde se tienen las mayores fuentes de contribución al cortocircuito.

D. Comprobación de la capacidad de los disyuntors de alto voltaje

Los disyuntors de alto voltaje de las líneas de transmisión se encuentran ubicados en los dos pórticos de la subestación El Carmen y en las entradas de las subestación Recuperadora, Booster 1 y 2.

La comprobación se realiza comparando la capacidad momentánea y de interrupción del máximo aporte que pase por los disyuntors en cortocircuito, y la capacidad del fabricante. La tabla III detalla el máximo aporte en condición de cortocircuito y la capacidad del disyuntor.

TABLA III
COMPROBACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LOS DISYUNTORS DE ALTO VOLTAJE DEL SISTEMA DE LA EPMAPS

Disyuntor de la barra en 138 kV	Cortocircuito		Disyuntor		Condición
	I. momentánea kA	I. simétrica de interrupción kA	I. momentánea kA	I. simétrica de interrupción kA	
El Carmen	10,4	4,83	50	20	OK
Recuperadora	1,66	0,64	50	20	OK
Booster 2	1,24	0,60	50	20	OK
Booster 1	1,19	0,58	50	20	OK

Se puede observar en la tabla III que todos los disyuntors están operando por debajo de la capacidad especificada por el fabricante ante las perturbaciones más severas.

III. PROTECCIÓN DE DISTANCIA

La protección del sistema de transmisión de la EPMAPS se realiza mediante dos relés de distancia que se encuentran ubicados en los dos pórticos de la subestación El Carmen como se indica en la figura 1.

Los relés de distancia utilizados para proteger el sistema de transmisión corresponden al modelo ABB 302. Este relé tiene el procesamiento 100% numérico e integra múltiples funciones para mayor seguridad en los disparos.

El relé ABB 302 contempla el ajuste de una zona de fase y otra de tierra en las tres zonas disponibles. La ecuación 2 es la impedancia vista para un cortocircuito

trifásico en la calibración de la zona de fase; mientras que la ecuación 3 es la impedancia para un cortocircuito monofásico usada para la zona de tierra. En esta ecuación se introduce el factor de compensación de tierra m que se detalla en la ecuación 4.

Para el ajuste de las zonas de fase y tierra, es necesario realizar el cortocircuito respectivo en el punto de alcance deseado de la zona de protección, así se puede obtener los voltajes y corrientes de las ecuaciones 2 y 3, que corresponden a los aportes al punto de falla donde se encuentra ubicado el relé de distancia.

$$z_{\text{relé } 3F} = \frac{V_a}{I_a} \quad (2)$$

$$z_{\text{relé } 1F} = \frac{V_a}{I_a + m * 3I_0} \quad (3)$$

$$m = \frac{z_0 - z_1}{3 * z_1} \quad (4)$$

Donde:

- z_0 : impedancia de secuencia cero de la línea de transmisión
- z_1 : impedancia de secuencia positiva de la línea de transmisión

Debido a la conexión de los relés de distancia a través de transformadores de protección como se indica en la figura 3, es necesario que la impedancia obtenida de las ecuaciones 2 y 3 se refleje al lado secundario por medio de la ecuación 5. Este valor corresponde al ajuste en los relés.

$$z_{\text{sec}} = \frac{RC}{RV} z_{\text{prim}} \quad (5)$$

Donde:

- z_{sec} impedancia secundaria
- z_{prim} impedancia primaria (ecuación 1 y 2)
- RC relación de transformación ideal del TC
- RV relación de transformación ideal del TP

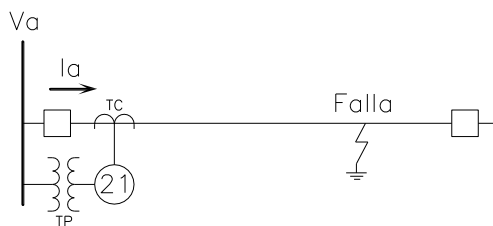


Fig. 3 Conexión de los relés de distancia a través de transformadores de protección

A. Ajuste de la zona 1

La zona 1 está destinada a cubrir un alcance menor a la línea de transmisión con disparo instantáneo. Con el uso de relés numéricos, el porcentaje de cobertura suele estar entre 85 a 90%.

El alcance para el relé de distancia (21-1) es la línea desde El Carmen hasta Santa Rosa; mientras que para el relé (21-2) va desde El Carmen hasta el punto Torre 83. El porcentaje de ajuste en ambos casos es del 70%, ya

que debido a la baja relación del TC de 100/5, la impedancia en el lado secundario es muy baja y los errores de los transformadores de protección TC y TP pueden causar un sobrealcance.

La tabla IV resume la impedancia de ajuste en cada caso para las zonas de fase ($Z1\Phi$) y tierra ($Z1G$). El tiempo en ambos casos es con disparo instantáneo.

TABLA IV
IMPEDANCIAS DE AJUSTE DE LA ZONA 1

ZONA	RELÉ DE DISTANCIA	
	21-1	21-2
$Z1\Phi\text{sec}$	0,1557 Ω	0,1658 Ω
$Z1G\text{sec}$	0,1555 Ω	0,1655 Ω

B. Ajuste de la zona 2

La zona 2 se utiliza como protección de respaldo para líneas contiguas a las de la zona 1. El criterio de ajuste puede variar entre un 120 a 150%.

En sistemas ramificados se acepta el criterio de escoger la línea más corta consecutiva de la zona 1. Para el relé (21-1), este criterio no es tan útil, ya que el aporte de las fuentes intermedias, cercanas a la barra de Santa Rosa, incrementan notablemente el valor de la impedancia del relé.

Para solucionar este inconveniente, se utiliza un criterio alternativo por el que se selecciona el tramo de línea de menor impedancia, que corresponde a la mitad de la línea desde Santa Rosa a la barra de Adelca de 138 kV. En la tabla V se resumen los valores de ajuste que se obtienen al aplicar las ecuaciones 2 y 3 con un cortocircuito trifásico y monofásico en la mitad del tramo de la línea Santa Rosa - Adelca.

El alcance de la zona 2 del relé (21-2) corresponde a la totalidad de la línea El Carmen - Torre 83 y la mitad del segmento Torre 83 - Tababela. La tabla V detalla los resultados obtenidos al aplicar las ecuaciones 2 y 3 con cortocircuitos al 50% de la línea hacia Tababela.

TABLA V
IMPEDANCIAS DE AJUSTE DE LA ZONA 2

ZONA	RELÉ DE DISTANCIA	
	21-1	21-2
$Z2\Phi\text{sec}$	0,2408 Ω	0,2801 Ω
$Z2G\text{sec}$	0,2742 Ω	0,3091 Ω

En ambos casos, el retardo de tiempo de calibración es de 0,3 s para una buena coordinación.

C. Ajuste de la zona 3

La zona 3 también se utiliza como respaldo para líneas posteriores a las de la zona 2. Existen varios

criterios de ajuste en sistemas radiales sin ramificaciones. Se puede optar por proteger toda la línea contigua a la zona 1, es decir el resto de la línea de la zona 2 y la línea adyacente a ésta.

El alcance de la zona 3 para el relé (21-1) es la línea El Carmen – Santa Rosa de la zona 1 y toda la línea desde Santa Rosa hasta la barra Adelca. La necesidad surge ya que la selección de una línea más larga, se refleja en una impedancia muy grande vista por el relé, debido a aportes de fuentes intermedias en Santa Rosa. Los resultados de ajuste se resumen en la tabla VI.

Para el relé (21-2) se deben cubrir todos los segmentos de línea desde el punto Torre 83 hasta la barra Booster 2. En esta zona, el efecto de fuentes intermedias debido a las contribuciones del generador Recuperadora y los motores de la estaciones de bombeo Booster 2, incrementa el valor de la impedancia. La tabla VI muestran los valores obtenidos.

El ajuste del tiempo es del 0,7 s para el relé (21-1) y de 0,6 s para el relé (21-2). El tiempo de este último es menor ya que no se requiere coordinar con ningún otro relé.

Las figuras 3 y 4 muestran las características de impedancia MHO en el plano R-X con los ajustes de los relés de distancia en ohmios primarios obtenidos en el programa DIGSILENT.

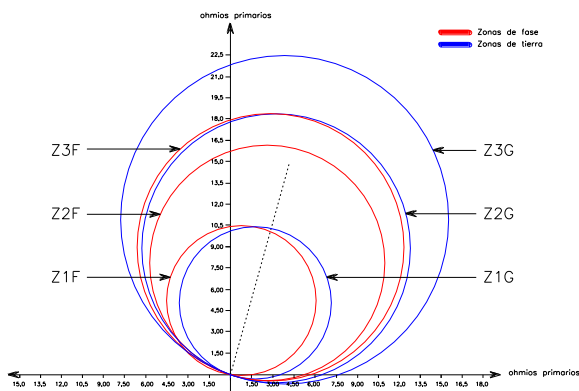


Fig. 3 Zonas de protección para el relé de distancia (21-1)

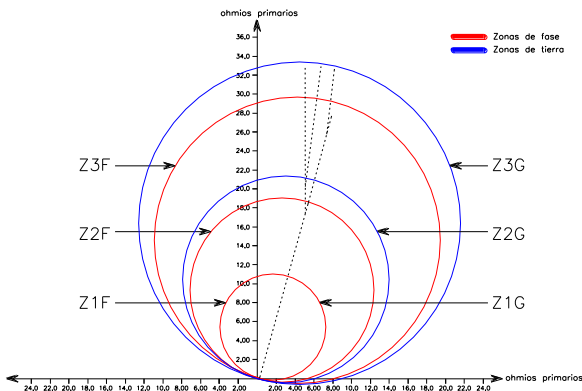


Fig.4 Zonas de protección para el relé de distancia (21-2)

TABLA VI
IMPEDANCIAS DE AJUSTE DE LA ZONA 3

ZONA	RELÉ DE DISTANCIA	
	21-1	21-2
Z3Φsec	0,2734 Ω	0,4435 Ω
Z3Gsec	0,3263 Ω	0,4983 Ω

A continuación se procede al ajuste de algunas funciones adicionales del relé numérico de distancia ABB 302.

D. Funciones adicionales del relé ABB 302

El relé numérico de distancia ABB 302 está integrado por funciones que permiten tener disparos más seguros, a más de las zonas de protección. Muchas de estas características son de sobrecorriente y sirven para diferenciar un estado de máxima demanda de otro de cortocircuito.

Cuando el relé detecta una perturbación, pasa de modo de medición a modo de falla. Cuando se encuentra en este último, se procede a calcular numéricamente las zonas de protección con el fin de brindar información acerca del cortocircuito.

Las funciones más importantes se detallan a continuación:

1) **Pérdida de carga (load loss).**- Esta función permite el disparo en ambos terminales sin necesidad de comunicación entre los relés. Cuando el relé en un extremo produce el disparo, el otro a través de algoritmo detecta la apertura de fases y envía la señal al disyuntor asociado para aislar en ambos extremos.

Es fundamental implementar esta función en el relé (21-1), ya que no cuenta con ningún medio de comunicación con el relé en Santa Rosa.

2) **Bloqueo por pérdida de voltaje (Loss of potential blocking).**- En ocasiones es común que el voltaje en un punto se pierda, en tal caso, el relé de distancia va a operar por la disminución del mismo. Esta función es fundamental en ambos relés y permite bloquear el disparo por pérdida de voltaje.

3) **Unidad de baja calibración de sobrecorriente de fase (Low set phase overcurrent unit).**- Esta unidad permite supervisar función load loss por medio de su ajuste. El criterio recomendado por el fabricante se muestra en la ecuación 6.

$$\text{Low } 1\Phi = \frac{I_{\text{mínima carga}}}{2} * \frac{1}{RC} \quad (6)$$

La tabla VII resume los valores de ajustes de la unidad de baja calibración de sobrecorriente de fase para los dos relés.

TABLA VII
VALORES DE AJUSTE DE LA CARACTERÍSTICA LOW 1Φ

	Low 1Φ
Relé (21-1)	3 A
Relé (21-2)	2 A

4) **Unidad de calibración media de sobrecorriente de fase (Medium set phase overcurrent unit).**- Esta función permite supervisar las zonas de protección por medio de la unidad de sobrecorriente. Cuando se inicia un cortocircuito de fase, esta unidad detecta el aumento de la corriente y el relé pasa a modo de falla para luego calcular las zonas de protección. El criterio recomendado por el fabricante se muestra en la ecuación 7.

$$IM = 1,13 * I_{\text{máxima carga}} * \frac{1}{RC} \quad (7)$$

La tabla VIII resume los valores de ajuste de la unidad de calibración media de sobrecorriente de fase en ambos relés, los cuales están en función de la máxima capacidad de los transformadores de corriente cuya relación es de 100/5.

TABLA VIII
VALORES DE AJUSTE DE LA CARACTERÍSTICA IM

	IM
Relé (21-1)	6 A
Relé (21-2)	6 A

5) **Reactancia de la línea (X/Dist).**-Este parámetro permite localizar la distancia donde se produce la falla en la línea de transmisión a través de la ecuación 7. Se debe calibrar con la reactancia en ohmios primarios y no se debe incluir la resistencia, ya que ante un cortocircuito con impedancia de falla muy alta R_f , la distancia que calcula el relé será la incorrecta.

$$Flt\ Dist = \frac{RV z_s * \text{sen}(FANG)}{RC \quad X/Dist} \quad (7)$$

Donde:

Flt Dist: distancia de la falla en la línea
RV: relación de transformación ideal del TP
RC: relación de transformación ideal del TC
Zs: impedancia secundaria de disparo
FANG: ángulo de la falla
X/Dist: valor de ajuste de la línea en Ω/km

La tabla IX resume el ajuste la reactancia de la línea en ambos relés.

TABLA IX
VALORES DE AJUSTE DE LA CARACTERÍSTICA X/DIST

	X/DIST
Relé (21-1)	0,5035 Ω/km
Relé (21-2)	0,5035 Ω/km

6) **Relación Z0L/Z1L.**- Esta característica permite obtener el factor de compensación de tierra conjuntamente con el ángulo de secuencia positiva (AngPos) y cero (AngZero) de la línea de transmisión. El ajuste de la relación Z0L/Z1L se muestra en la tabla X.

TABLA X
VALORES DE AJUSTE DE LA RELACIÓN Z0L/Z1L

	Z0L/Z1L	AngPos	AngZero
Relé (21-1)	2,96	74,08°	78,57
Relé (21-2)	3,10	74,10°	78,94

7) **Pérdida de paso (Out of Step OSB).**- Esta función del relé, permite el disparo ante una oscilación inestable de potencia, o cuando los ángulos de los voltajes en los extremos de la línea se separan más de 180°.

No se realiza ningún ajuste ya que el sistema eléctrico de la EPMAPS no puede operar en forma aislada del S.N.I. El principal problema es la baja capacidad de los generadores para soportar la corriente de arranque de los motores de las líneas de bombeo, además de la configuración del software de los reguladores de velocidad y voltaje que no permiten la operación aislada.

IV. CONCLUSIONES

- La norma ANSI/IEEE C37.010 utilizada para el cálculo de las corrientes de cortocircuitos, se adapta de forma íntegra a las condiciones del sistema eléctrico de potencia de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento. Al estar el sistema conformado en parte por motores de inducción de gran potencia, la norma permite establecer la modelación adecuada para considerar las contribuciones de estos elementos a los cortocircuitos.
- El aporte de los motores de inducción al cortocircuito es la corriente de arranque o de rotor bloqueado. Su efecto se debe considerar solo durante los primeros ciclos ya que el flujo inducido en el entrehierro no se puede sostener debido a que el rotor no tiene constructivamente un bobinado de campo como las máquinas sincrónicas.
- El Sistema Nacional Interconectado es la fuente de contribución más influyente en el sistema de la EPMAPS. Si se realizara el estudio de cortocircuitos excluyendo su aporte y considerando únicamente los generadores de las centrales de generación y los motores de inducción de las estaciones de bombeo de la EPMAPS, las corrientes serían menores.
- Las fallas trifásicas representan corrientes superiores en comparación con las fallas monofásicas en todas las barras del sistema de transmisión de la EPMAPS. En el escenario de

operación 1, el sistema experimenta las más altas corrientes de cortocircuito por disponer de todas las fuentes de contribución como los dos generadores hidráulicos El Carmen y Recuperadora y cuatro líneas de bombeo.

- El criterio de ajuste de las zonas 2 y 3 del relé de distancia de la línea El Carmen – Santa Rosa (21-1) se realiza considerando la menor impedancia observada por el relé en los diferentes segmentos de líneas que se derivan de la barra de Santa Rosa de 138 kV. Esto se logra en el tramo de línea Santa Rosa – Adelca, ya que con líneas posteriores la impedancia se ve influenciada por las fuentes intermedias de generación del S.N.I., aumentando notablemente su valor.

REFERENCIAS

- [1] IEEE Std C37.010™-1999 (R2005) IEEE Application Guide for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis. Revision of IEEE Std C37.010-1979. USA.
- [2] PEDRA, J., SAINZ, L., “Parameter estimation of squirrel-cage induction motors without torque measurements”, *IEEE Proceedings on Electric Power Application*, vol. 153, No. 2, March 2006, pp 263.
- [3] AQUILES, Sandro. (2006), Modeling Relays for Power System Protection Studies, Saskatoon CA.
- [4] RUSSELL MASON, C. (1967), The Art & Science of Protective Relaying, New York, John Wiley & Sons.
- [5] ALSTOM GRID (2011), Network Protection & Automation Guide.
- [6] ABB “Relay 301/302 Version 1.4 Numerical Distance Relay”.

BIOGRAFÍAS



Dr. Jesús Játiva Ibarra: Ingeniero Eléctrico (1981) de la Escuela Politécnica Nacional; Master of Science in Electrical Engineering (1988) y Doctor of Philosophy Ph.D. (1991) de la Universidad de Texas en Arlington Estados Unidos de América. Cursos de posgrado en Energy Conservation in Industry realizado en Suecia en 1995 y en Development Planning Techniques with Computer Applications efectuado en los Países Bajos en 1998. Profesor Titular de la Escuela Politécnica Nacional y Consultor de Sistemas Eléctricos de Potencia.



Romero Sánchez Camilo Gabriel, nació en Machala el 8 de agosto de 1987. Realizó sus estudios secundarios en el colegio “Liceo Naval Jambelí”. Los estudios superiores los cursó en la Escuela Politécnica Nacional, donde obtuvo el título de Ingeniero Eléctrico en 2012.

Temas de interés: Protecciones Eléctricas, Sistemas Eléctricos de Potencia, Operación y Planificación de Sistemas Eléctricos y Energías Renovables.