

REF.: Informa favorablemente procedimiento de Cálculo de Nivel Máximo de Cortocircuito de conformidad a lo previsto en el artículo 10 del Decreto Supremo N° 291, de 2007, del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción.

**SANTIAGO, 19 de diciembre de 2011**

**RESOLUCIÓN EXENTA N°748**

**VISTOS:**

- a) Lo dispuesto en el D.L. 2.224 de 1978, muy especialmente lo señalado en el Artículo 9º, letra h);
- b) Lo establecido en el Decreto con Fuerza de Ley N° 4 del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, de 2006, que fija el texto refundido, coordinado y sistematizado del Decreto con Fuerza de Ley N° 1 del Ministerio de Minería, de 1982, en adelante, "Ley General de Servicios Eléctricos" o la "Ley";
- c) Lo dispuesto en el Decreto Supremo N° 291 de 2007, del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, que aprueba el Reglamento que Establece la Estructura, Funcionamiento y Financiamiento de los Centros de Despacho Económico de Carga establecidos en la Ley General de Servicios Eléctricos, en adelante Reglamento CDEC;
- d) Lo informado por el Centro de Despacho Económico de Carga del Sistema Interconectado Central, a la Comisión Nacional de Energía, mediante carta DO N°0477/2010, de fecha 16 de junio de 2010;

**CONSIDERANDO:**

- a) Que, en virtud de lo dispuesto en el artículo 10 del Reglamento CDEC, los Procedimientos establecidos por las Direcciones de cada CDEC, una vez acordados por el CDEC respectivo o una vez que el Panel de Expertos hubiese emitido su dictamen pertinente, deberán comunicarse a la Comisión dentro de tres días para que ésta lo informe favorablemente en forma previa a su aplicación; y
  
- b) Que el CDEC-SIC envió a la Comisión el Procedimiento DO "Cálculo del Nivel Máximo de Cortocircuito", mediante carta DO N°0477/2010, de fecha 16 de junio de 2011, el cual ha cumplido con los requisitos establecidos para ser considerado como acordado por el CDEC-SIC.

**RESUELVO:**

**ARTÍCULO PRIMERO:**

Infórmase favorablemente el Procedimiento DO "Cálculo del Nivel Máximo de Cortocircuito" presentado por el CDEC-SIC a la Comisión mediante carta DO N°0477/2010, de fecha 16 de junio de 2011, cuyo texto se transcribe a continuación:

## PROCEDIMIENTO DO CÁLCULO DEL NIVEL MÁXIMO DE CORTOCIRCUITO

### 1. TÍTULO I: ASPECTOS GENERALES

#### **Artículo 1. Objetivo.**

El objetivo del presente procedimiento es definir los términos, las normas, las condiciones técnicas y la metodología que se deben considerar al efectuar el cálculo del máximo nivel de corriente de cortocircuito existente en cada punto del SIC, con el fin de verificar lo establecido en el Artículo 3-3 d) de la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio en cuanto a los niveles de cortocircuito que deben soportar las instalaciones del SIC.

#### **Artículo 2. Equipos supeditados a verificación de capacidad.**

Todos los equipos primarios comprendidos en las instalaciones de Centrales de Generación y del Sistema de Transmisión del SIC, vigentes a la fecha de realización del cálculo, deberán contar con la suficiente capacidad que les permita soportar al menos los niveles máximos individuales de corriente de cortocircuito que se establezcan en cada uno de éstos, a consecuencia de las correspondientes fallas en el SIC.

#### **Artículo 3. Normas de referencia**

Los criterios y supuestos establecidos en el presente procedimiento se sustentan en la Norma IEC 60909-0 (2001): "Short-Circuit current in three-phase a.c. systems".

### 2. TÍTULO II INFORMACIÓN Y SUPUESTOS DEL CÁLCULO

#### **Artículo 4. Parámetros técnicos.**

Los parámetros técnicos de las instalaciones a utilizar en el cálculo de corrientes de cortocircuito, corresponden a los establecidos en la Norma IEC 60909-0, los cuales deberán estar disponibles en el sitio WEB del CDEC-SIC.

#### **Artículo 5. Topología.**

El modelo del sistema interconectado que se utilice en el cálculo de corrientes de cortocircuito deberá considerar la red detallada en los diagramas unilineales de las instalaciones del SIC vigente a la fecha de evaluación, diagramas que deberán ser solicitados a la DO o validados por la DO en su oportunidad.

### **Artículo 6. Modelo SIC.**

El modelo con la topología y los parámetros correspondientes a las instalaciones de generación y de transmisión del SIC se encuentra disponible en la base de datos del SIC en el formato del programa de simulación utilizado por la DO. Esta base de datos podrá ser solicitada a la DO a efectos de realizar el cálculo del nivel máximo de cortocircuito.

### **Artículo 7. Supuestos.**

De acuerdo con la Norma IEC 60909-0, el cálculo de las corrientes de cortocircuito debe considerar los siguientes supuestos:

- a) Durante el tiempo de duración del cortocircuito no existe cambio en el tipo de cortocircuito, esto es, un cortocircuito trifásico permanece trifásico y un cortocircuito monofásico permanece monofásico durante todo el tiempo del cortocircuito.
- b) Durante el tiempo de duración del cortocircuito, no existen cambios topológicos en la red.
- c) La impedancia de los transformadores es referida a la posición nominal del cambiador de tomas. No obstante, el cálculo de corrientes de cortocircuito debe considerar un factor de corrección que represente a la posición del cambiador de tomas que dé origen a la menor impedancia de cortocircuito.
- d) Las magnitudes de la resistencia del arco del cortocircuito y de la impedancia de falla se consideran despreciables.
- e) No se consideran: las capacitancias de las líneas, las admitancias shunt y las cargas estáticas (no-rotatorias), excepto las correspondientes a la red de secuencia cero del sistema.

## **3. TÍTULO III METODOLOGÍA**

### **Artículo 8. Método de cálculo.**

El método de cálculo de las corrientes de cortocircuito corresponde al definido por la Norma IEC 60909-0: 2001, para el cálculo de corrientes de cortocircuito en sistema trifásicos de corriente alterna.

Para todo efecto relativo a representación de las instalaciones y detalle del proceso de cálculo, se debe referir a dicha Norma y documentos asociados.

### Artículo 9. Condiciones de Aplicación

EL cálculo de las corrientes de cortocircuitos deberá contemplar las siguientes condiciones:

- a) Factor de tensión (c): De acuerdo con los niveles de tensión de las instalaciones del SIC que contempla este procedimiento, se deberá considerar un factor de tensión  $c$  igual a 1,1. Esto corresponde a una tensión pre-falla igual a 1,1 veces la tensión nominal de la instalación directamente afectada.
- b) Topología de la red: Se deberá considerar la configuración del sistema que presente la mayor contribución de las centrales de generación al cortocircuito, esto significa, tener conectadas todas las unidades de generación, todas las líneas y transformadores en servicio, tal que se configure el mayor enmallamiento del sistema.
- c) Sistema equivalente: En caso de usar redes equivalentes externas para representar el sistema o parte de este, se deberá utilizar la mínima impedancia de cortocircuito equivalente que corresponde a la máxima contribución de corriente al cortocircuito desde la red externa equivalente modelada.
- d) Duración del cortocircuito: Se deberá considerar un tiempo de duración del cortocircuito, o tiempo de despeje de falla, de 1 segundo.

### Artículo 10. Tipos de Cortocircuito

Las corrientes de cortocircuito deben ser evaluadas para los siguientes tipos de falla:

- a) Trifásica.
- b) Bifásica aislada de tierra.
- c) Bifásica a tierra.
- d) Monofásica a tierra.

### Artículo 11. Corriente de cortocircuito

Para cada uno de los tipos de cortocircuitos indicados en el artículo precedente, se deberán determinar las siguientes componentes de la corriente de cortocircuito, las que se definen en el Anexo 3:

- a) Corriente de cortocircuito simétrica inicial:  $I''_k$  (r.m.s).
- b) Corriente de cortocircuito máxima instantánea:  $i_p$ .
- c) Corriente de cortocircuito simétrica de interrupción:  $I_b$  (r.m.s).
- d) Componente continua de la corriente de cortocircuito:  $i_{dc}$ .
- e) Corriente de cortocircuito asimétrica de interrupción:  $I_{AsI}$  (r.m.s).
- f) Corriente de cortocircuito de régimen permanente:  $I_k$  (r.m.s).
- g) Corriente de cortocircuito de equivalente térmico:  $I_{th}$  (r.m.s).

En el cálculo de estas componentes, con la excepción de la correspondiente a régimen permanente, se deberán emplear los siguientes parámetros de las máquinas rotatorias:

- En las máquinas sincrónicas la reactancia subtransiente saturada o 0.8 veces el valor de la reactancia subtransiente no saturada.
- En las máquinas asincrónicas la impedancia de rotor bloqueado.

Para el cálculo de la corriente de régimen permanente, las máquinas sincrónicas se representan por su reactancia sincrónica y no se considera aporte de las máquinas asincrónicas.

Por otra parte, en el cálculo de las componentes de corriente de cortocircuito de interrupción, simétrica y asimétrica, y de la componente continua de la corriente de cortocircuito, se deberá emplear 40 milisegundos como tiempo mínimo en la separación de los contactos de un interruptor.

#### Artículo 12. Nivel máximo de cortocircuito

Los niveles máximos de cortocircuito de las componentes de corrientes de cortocircuito indicadas en el artículo precedente, se podrán determinar como sigue:

- a) El nivel máximo de la corriente de cortocircuito simétrica inicial, estará dado por la mayor de las correspondientes corrientes determinadas para cada tipo de cortocircuito de los indicados en el Artículo 10, de acuerdo a las expresiones señaladas en el Anexo 1. Sea esta corriente de cortocircuito denotada como  $I''_{K Max}$ .

- b) El nivel máximo de la corriente de cortocircuito máxima instantánea, se considera igual:

$$i_{PMax} = 2,7 \cdot I''_{KMax}$$

- c) El nivel máximo de la corriente de cortocircuito simétrica de interrupción, se considera igual:

$$I_{bMax} = I''_{KMax}$$

- d) El nivel máximo de la corriente de cortocircuito asimétrica de interrupción, se considera igual:

$$I_{ASIMax} = \sqrt{2} \cdot I''_{KMax}$$

- e) El nivel máximo de la corriente de cortocircuito de régimen permanente ( $I_{K Max}$ ), estará dado por la mayor de las correspondientes corrientes determinadas para cada tipo de cortocircuito de los indicados en el Artículo 10, de acuerdo a las expresiones señaladas en el Anexo 1.

- f) El nivel máximo de la corriente de equivalente térmico ( $I_{th Max}$ ), será igual al nivel máximo de la corriente de cortocircuito simétrica inicial ( $I''_{K Max}$ ) para un tiempo de duración del cortocircuito de 1 segundo. Para otros tiempos de

duración del cortocircuito (t) el nivel máximo de la corriente de equivalente térmico, se estimará con la siguiente expresión.

$$I_{th Max} = \sqrt{t} \cdot I''_{K Max}$$

Para la estimación de las corrientes indicadas en los incisos b) y d), se ha considerado como referencia un valor de razón de reactancia es a resistencia de cortocircuito (X/R) igual a 35.

En el caso que se requiera determinar las corrientes de cortocircuito con mayor precisión, primero se deberá calcular la razón (X/R) específica del sistema, por medio de las expresiones matemáticas que se indican en el Anexo 1, y a continuación, calcular las componentes de las corrientes de cortocircuito mediante las expresiones que se indican en el Anexo 2 de este procedimiento.

### **Artículo 13. Efecto térmico del corto circuito y capacidad de las instalaciones**

Las instalaciones del sistema de transmisión con tensión nominal igual o superior a 200 kV y las instalaciones de generación, deberán soportar el efecto térmico equivalente al máximo nivel de corriente de cortocircuito simétrica inicial que se determine, considerando una duración del cortocircuito de al menos 0,5 segundos.

Las instalaciones del sistema de transmisión con tensión nominal inferior a 200 kV deberán soportar el efecto térmico equivalente al máximo nivel de corriente de cortocircuito simétrica inicial que se determine, considerando una duración del cortocircuito de al menos 1 segundo.

En cualquier caso los propietarios de las instalaciones deberán demostrar que los tiempos señalados en los párrafos anteriores son compatibles con los tiempos de despeje de las fallas correspondientes, para operaciones de protecciones en respaldo en las condiciones más desfavorables.

#### 4. ANEXO 1: Expresiones matemáticas de corrientes de cortocircuitos simétricas según tipos de cortocircuitos

Las siguientes expresiones de tipo general se pueden emplear para calcular; la corriente de cortocircuito simétrica inicial ( $I''_k$ ), la corriente de cortocircuito simétrica de interrupción ( $I_b$ ) y las correspondientes razones ( $X/R$ ), según los tipos de cortocircuito.

Cortocircuito Trifásico:

$$I_{CC3F} = \frac{cV_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_1|} \quad (X/R)_{CC3F} = \frac{X_1}{R_1}$$

Cortocircuito Monofásico a tierra:

$$I_{CC1FT} = \frac{\sqrt{3}cV_n}{|(Z_1 + Z_2 + Z_0)|} \quad (X/R)_{CC1FT} = \frac{X_1 + X_2 + X_0}{R_1 + R_2 + R_0}$$

Cortocircuito Bifásico aislado de tierra:

$$I_{CC2F} = \frac{cV_n}{|(Z_1 + Z_2)|} \quad (X/R)_{CC2F} = \frac{X_1 + X_2}{R_1 + R_2}$$

Cortocircuito Bifásico a tierra:

$$I_{CC2FT\_B} = cV_n \left[ -j \cdot \frac{(Z_0 - a \cdot Z_2)}{(Z_1 \cdot Z_2 + Z_1 \cdot Z_0 + Z_2 \cdot Z_0)} \right] \quad a = -0.5 + j \frac{\sqrt{3}}{2} \quad : \text{operador}$$

$$I_{CC2FT\_C} = cV_n \left[ j \cdot \frac{(Z_0 - a^2 \cdot Z_2)}{(Z_1 \cdot Z_2 + Z_1 \cdot Z_0 + Z_2 \cdot Z_0)} \right] \quad a^2 = -0.5 - j \frac{\sqrt{3}}{2} \quad : \text{operador}$$

$$I_{CC2FT} = I_{CC2FT\_B} + I_{CC2FT\_C} = -cV_n \left[ \frac{\sqrt{3} \cdot Z_2}{(Z_1 \cdot Z_2 + Z_1 \cdot Z_0 + Z_2 \cdot Z_0)} \right]$$

$$Z_{CC2FT} = \frac{(Z_1 \cdot Z_2 + Z_1 \cdot Z_0 + Z_2 \cdot Z_0)}{\sqrt{3} \cdot Z_2} \quad (X/R)_{CC2FT} = \frac{\text{Imag}\{Z_{CC2FT}\}}{\text{Real}\{Z_{CC2FT}\}}$$

Donde:

$V_n$  : Tensión nominal línea a línea del sistema en el punto de falla, en kV.

$c$  : Factor de tensión, según Norma IEC 60909-0, este factor es igual a 1.1.

$Z_1 = R_1 + jX_1$  : Impedancia del circuito equivalente de Thevenin de la red de secuencia positiva en el punto de falla, en ohm.

**COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA**  
**Miraflores N°222, Piso 10- SANTIAGO - CHILE**

- $Z_2=R_2+jX_2$  : Impedancia del circuito equivalente de Thevenin de la red de secuencia negativa en el punto de falla, en ohm.
- $Z_0=R_0+jX_0$  : Impedancia del circuito equivalente de Thevenin de la red de secuencia cero en el punto de falla, en ohm.
- $I_{CC3F}$  : Corriente de cortocircuito simétrica RMS de fase, para cortocircuito trifásico, en kA.
- $I_{CC1FT}$  : Corriente de cortocircuito simétrica RMS de fase, para cortocircuito monofásico a tierra, en kA.
- $I_{CC2F}$  : Corriente de cortocircuito simétrica RMS de fase, para cortocircuito bifásico aislado de tierra, en kA.
- $I_{CC2FT}$  : Corriente de cortocircuito simétrica RMS de fase, para cortocircuito bifásico a tierra, en kA.
- $(X/R)_{CC3F}$  : Razón X/R del cortocircuito trifásico.
- $(X/R)_{CC1FT}$  : Razón X/R del cortocircuito monofásico a tierra.
- $(X/R)_{CC2F}$  : Razón X/R del cortocircuito bifásico aislado de tierra.
- $(X/R)_{CC2FT}$  : Razón X/R del cortocircuito bifásico a tierra.

5. ANEXO 2: Expresiones matemáticas de las componentes de corriente de cortocircuito

*Corriente de cortocircuito máxima instantánea ( $i_p$ )*

$$i_p = \sqrt{2} I_{CCMax} \left[ 1 + e^{-\left(\frac{\pi}{(X/R)_{CCMax}}\right)} \right]$$

*Componente continua de la corriente de cortocircuito ( $i_{dc}$ )*

$$i_{dc} = \sqrt{2} I_{CCMax} e^{-\left(\frac{4 \cdot \pi}{X/R}\right)}$$

*Corriente de cortocircuito asimétrica de interrupción ( $I_{ASI}$ )*

$$I_{ASI} = I_{CCMax} \sqrt{\left[ 1 + 2 \cdot e^{-\left(\frac{8 \cdot \pi}{(X/R)_{CCMax}}\right)} \right]}$$

**6. ANEXO 3: Definiciones relacionadas con cálculo de corrientes de cortocircuito (según norma IEC 60909-0)**

1. **Corriente de cortocircuito simétrica:** Valor r.m.s. de la componente simétrica de corriente alterna (ca.) de una corriente de cortocircuito. La componente continua o no periódica de la corriente, no es considerada.
2. **Corriente de cortocircuito simétrica inicial:** Valor r.m.s. de la componente simétrica de ca. de una corriente de cortocircuito, aplicable en el instante de iniciado el corto circuito, considerando que la impedancia mantiene el valor del instante  $t=0$ .
3. **Componente continua (no-periódica) de la corriente de cortocircuito ( $i_{DC}$ ):** Valor medio de la envolvente de la corriente de cortocircuito decayendo desde un valor inicial hasta cero.
4. **Corriente de cortocircuito máxima (peak):** Valor instantáneo máximo posible de la corriente de cortocircuito.
5. **Corriente de cortocircuito simétrica de interrupción:** Valor r.m.s. de la componente simétrica de la corriente de cortocircuito, integrada en 1 ciclo, para el instante de separación de los contactos del primer polo del dispositivo de interrupción.
6. **Corriente de cortocircuito de régimen permanente:** Valor r.m.s de la corriente de cortocircuito que permanece después del decaimiento de los fenómenos transitorios.
7. **Corriente de cortocircuito de equivalente térmico ( $I_{th}$ ):** Valor r.m.s de una corriente que tiene el mismo efecto térmico e igual duración que la corriente de cortocircuito.
8. **Tensión nominal del sistema ( $V_n$ ):** Tensión (línea a línea) de diseño del sistema.
9. **Cortocircuitos lejanos al generador:** Cortocircuito durante el cual la magnitud de la componente simétrica de corriente alterna (ca.) de la corriente de cortocircuito permanece esencialmente constante.
10. **Cortocircuitos cercanos al generador:** Cortocircuito en el que al menos una máquina sincrónica contribuye con una corriente de cortocircuito simétrica inicial que es mayor que dos veces la corriente de nominal de la máquina, o un cortocircuito para el cual la contribución de los motores asincrónicos es mayor que el 5% de la corriente de cortocircuito simétrica inicial sin los motores.
11. **Reactancia subtransiente de una máquina sincrónica:** Corresponde a la reactancia que efectivamente se establece al momento del cortocircuito.

**COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA**  
Miraflores N°222, Piso 10- SANTIAGO - CHILE

**ARTICULO SEGUNDO**

Dicho procedimiento deberá estar disponible en el sitio de dominio electrónico del CDEC-SIC para cualquier interesado, a más tardar dentro de los dos días hábiles siguientes a la fecha de comunicación de la presente Resolución Exenta al Director de Operación y Peajes del CDEC-SIC.

**ARTICULO TERCERO:** Comuníquese la presente Resolución Exenta al Director de Operación y Peajes del CDEC-SIC, a través de su envío por correo electrónico.

Anótese y comuníquese.



**JUAN MANUEL CONTRERAS SEPÚLVEDA**  
Secretario Ejecutivo  
Comisión Nacional de Energía



JCS/JGL/CGC/CZR/SD/DZOM/mjs

**DISTRIBUCIÓN:**

1. Dirección de Peajes CDEC-SIC
2. Superintendencia de Electricidad y Combustibles;
3. Gabinete Secretaría Ejecutiva, CNE
4. Archivo Área Jurídica CNE;
5. Archivo Área Eléctrica CNE;
6. Archivo Res. Exentas;
7. Exp. N°2318-2010



CDEC-SIC  
Dirección de Operación

---

**PROCEDIMIENTO DO  
CÁLCULO DEL NIVEL MÁXIMO DE CORTOCIRCUITO**

---

**Junio de 2010**

## Índice

<b>TÍTULO I</b>	<b>ASPECTOS GENERALES.....</b>	<b>2</b>
Artículo 1	Objetivo.....	2
Artículo 2	Equipos supeditados a verificación de capacidad.....	2
Artículo 3	Normas de referencia.....	2
<b>TÍTULO II</b>	<b>INFORMACIÓN Y SUPUESTOS DEL CÁLCULO .....</b>	<b>2</b>
Artículo 4	Parámetros técnicos.....	2
Artículo 5	Topología.....	2
Artículo 6	Modelo SIC. ....	2
Artículo 7	Supuestos. ....	2
<b>TÍTULO III</b>	<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>3</b>
Artículo 8	Método de cálculo.....	3
Artículo 9	Condiciones de Aplicación.....	3
Artículo 10	Tipos de Cortocircuito .....	4
Artículo 11	Corriente de cortocircuito .....	4
Artículo 12	Nivel máximo de cortocircuito .....	4
Artículo 13	Efecto térmico del corto circuito y capacidad de las instalaciones .....	5
<b>ANEXO 1</b>	<b>EXPRESIONES MATEMÁTICAS DE CORRIENTES DE CORTOCIRCUITOS SIMÉTRICAS SEGÚN TIPOS DE CORTOCIRCUITOS.....</b>	<b>6</b>
<b>ANEXO 2</b>	<b>EXPRESIONES MATEMÁTICAS DE LAS COMPONENTES DE CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO .....</b>	<b>8</b>
<b>ANEXO 3</b>	<b>DEFINICIONES RELACIONADAS CON CÁLCULO DE CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO (SEGÚN NORMA IEC 60909-0) .....</b>	<b>9</b>

## TÍTULO I ASPECTOS GENERALES

### Artículo 1 Objetivo

El objetivo del presente procedimiento es definir los términos, las normas, las condiciones técnicas y la metodología que se deben considerar al efectuar el cálculo del máximo nivel de corriente de cortocircuito existente en cada punto del SIC, con el fin de verificar lo establecido en el Artículo 3-3 d) de la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio en cuanto a los niveles de cortocircuito que deben soportar las instalaciones del SIC.

### Artículo 2 Equipos supeditados a verificación de capacidad.

Todos los equipos primarios comprendidos en las instalaciones de Centrales de Generación y del Sistema de Transmisión del SIC, vigentes a la fecha de realización del cálculo, deberán contar con la suficiente capacidad que les permita soportar al menos los niveles máximos individuales de corriente de cortocircuito que se establezcan en cada uno de éstos, a consecuencia de las correspondientes fallas en el SIC.

### Artículo 3 Normas de referencia

Los criterios y supuestos establecidos en el presente procedimiento se sustentan en la Norma IEC 60909-0 (2001) : "Short-Circuit current in three-phase a.c. systems".

## TÍTULO II INFORMACIÓN Y SUPUESTOS DEL CÁLCULO

### Artículo 4 Parámetros técnicos.

Los parámetros técnicos de las instalaciones a utilizar en el cálculo de corrientes de cortocircuito, corresponden a los establecidos en la Norma IEC 60909-0, los cuales deberán estar disponibles en el sitio WEB del CDEC-SIC.

### Artículo 5 Topología.

El modelo del sistema interconectado que se utilice en el cálculo de corrientes de cortocircuito deberá considerar la red detallada en los diagramas unilíneales de las instalaciones del SIC vigente a la fecha de evaluación, diagramas que deberán ser solicitados a la DO o validados por la DO en su oportunidad.

### Artículo 6 Modelo SIC.

El modelo con la topología y los parámetros correspondientes a las instalaciones de generación y de transmisión del SIC se encuentra disponible en la base de datos del SIC en el formato del programa de simulación utilizado por la DO. Esta base de datos podrá ser solicitada a la DO a efectos de realizar el cálculo del nivel máximo de cortocircuito.

### Artículo 7 Supuestos.

De acuerdo con la Norma IEC 60909-0, el cálculo de las corrientes de cortocircuito debe considerar los siguientes supuestos:

- a) Durante el tiempo de duración del cortocircuito no existe cambio en el tipo de cortocircuito, esto es, un cortocircuito trifásico permanece trifásico y un cortocircuito monofásico permanece monofásico durante todo el tiempo del cortocircuito.
- b) Durante el tiempo de duración del cortocircuito, no existen cambios topológicos en la red.
- c) La impedancia de los transformadores es referida a la posición nominal del cambiador de tomas. No obstante, el cálculo de corrientes de cortocircuito debe considerar un factor de corrección que represente a la posición del cambiador de tomas que dé origen a la menor impedancia de cortocircuito.
- d) Las magnitudes de la resistencia del arco del cortocircuito y de la impedancia de falla se consideran despreciables.
- e) No se consideran: las capacitancias de las líneas, las admitancias shunt y las cargas estáticas (no-rotatorias), excepto las correspondientes a la red de secuencia cero del sistema.

### TÍTULO III METODOLOGÍA

#### Artículo 8 Método de cálculo.

El método de cálculo de las corrientes de cortocircuito corresponde al definido por la Norma IEC 60909-0: 2001, para el cálculo de corrientes de cortocircuito en sistema trifásicos de corriente alterna.

Para todo efecto relativo a representación de las instalaciones y detalle del proceso de cálculo, se debe referir a dicha Norma y documentos asociados.

#### Artículo 9 Condiciones de Aplicación

EL cálculo de las corrientes de cortocircuitos deberá contemplar las siguientes condiciones:

- a) Factor de tensión (c): De acuerdo con los niveles de tensión de las instalaciones del SIC que contempla este procedimiento, se deberá considerar un factor de tensión  $c$  igual a 1,1. Esto corresponde a una tensión pre-falla igual a 1,1 veces la tensión nominal de la instalación directamente afectada.
- b) Topología de la red: Se deberá considerar la configuración del sistema que presente la mayor contribución de las centrales de generación al cortocircuito, esto significa, tener conectadas todas las unidades de generación, todas las líneas y transformadores en servicio, talque se configure el mayor enmallamiento del sistema.
- c) Sistema equivalente: En caso de usar redes equivalentes externas para representar el sistema o parte de este, se deberá utilizar la mínima impedancia de cortocircuito equivalente que corresponde a la máxima contribución de corriente al cortocircuito desde la red externa equivalente modelada.
- d) Duración del cortocircuito: Se deberá considerar un tiempo de duración del cortocircuito, o tiempo de despeje de falla, de 1 segundo.

## Artículo 10 Tipos de Cortocircuito

Las corrientes de cortocircuito deben ser evaluadas para los siguientes tipos de falla:

- a) Trifásica.
- b) Bifásica aislada de tierra.
- c) Bifásica a tierra.
- d) Monofásica a tierra.

## Artículo 11 Corriente de cortocircuito

Para cada uno de los tipos de cortocircuitos indicados en el artículo precedente, se deberán determinar las siguientes componentes de la corriente de cortocircuito, las que se definen en el Anexo 3:

- a) Corriente de cortocircuito simétrica inicial:  $I''_K$  (r.m.s)
- b) Corriente de cortocircuito máxima instantánea:  $i_p$
- c) Corriente de cortocircuito simétrica de interrupción:  $I_b$  (r.m.s).
- d) Componente continua de la corriente de cortocircuito:  $i_{dc}$
- e) Corriente de cortocircuito asimétrica de interrupción:  $I_{ASI}$  (r.m.s).
- f) Corriente de cortocircuito de régimen permanente:  $I_K$  (r.m.s).
- g) Corriente de cortocircuito de equivalente térmico:  $I_{th}$  (r.m.s)

En el cálculo de estas componentes, con la excepción de la correspondiente a régimen permanente, se deberán emplear los siguientes parámetros de las máquinas rotatorias:

- En las máquinas sincrónicas la reactancia subtransiente saturada o 0.8 veces el valor de la reactancia subtransiente no saturada.
- En las máquinas asincrónicas la impedancia de rotor bloqueado.

Para el cálculo de la corriente de régimen permanente, las máquinas sincrónicas se representan por su reactancia sincrónica y no se considera aporte de las máquinas asincrónicas.

Por otra parte, en el cálculo de las componentes de corriente de cortocircuito de interrupción, simétrica y asimétrica, y de la componente continua de la corriente de cortocircuito, se deberá emplear 40 milisegundos como tiempo mínimo en la separación de los contactos de un interruptor.

## Artículo 12 Nivel máximo de cortocircuito

Los niveles máximos de cortocircuito de las componentes de corrientes de cortocircuito indicadas en el artículo precedente, se podrán determinar como sigue:

- a) El nivel máximo de la corriente de cortocircuito simétrica inicial, estará dado por la mayor de las correspondientes corrientes determinadas para cada tipo de cortocircuito de los indicados en el Artículo 10, de acuerdo a las expresiones señaladas en el Anexo 1. Sea esta corriente de cortocircuito denotada como  $I''_{K Max}$ .

- b) El nivel máximo de la corriente de cortocircuito máxima instantánea, se considera igual:

$$i_{PMax} = 2,7 \cdot I''_{KMax}$$

- c) El nivel máximo de la corriente de cortocircuito simétrica de interrupción, se considera igual:

$$I_{bMax} = I''_{KMax}$$

- d) El nivel máximo de la corriente de cortocircuito asimétrica de interrupción, se considera igual:

$$I_{ASIMax} = \sqrt{2} \cdot I''_{KMax}$$

- e) El nivel máximo de la corriente de cortocircuito de régimen permanente ( $I_{K Max}$ ), estará dado por la mayor de las correspondientes corrientes determinadas para cada tipo de cortocircuito de los indicados en el Artículo 10, de acuerdo a las expresiones señaladas en el Anexo 1.

- f) El nivel máximo de la corriente de equivalente térmico ( $I_{th Max}$ ), será igual al nivel máximo de la corriente de cortocircuito simétrica inicial ( $I''_{K Max}$ ) para un tiempo de duración del cortocircuito de 1 segundo. Para otros tiempos de duración del cortocircuito (t) el nivel máximo de la corriente de equivalente térmico, se estimará con la siguiente expresión.

$$I_{th Max} = \sqrt{t} \cdot I''_{K Max}$$

Para la estimación de las corrientes indicadas en los incisos b) y d), se ha considerado como referencia un valor de razón de reactancia es a resistencia de cortocircuito (X/R) igual a 35.

En el caso que se requiera determinar las corrientes de cortocircuito con mayor precisión, primero se deberá calcular la razón (X/R) específica del sistema, por medio de las expresiones matemáticas que se indican en el Anexo 1, y a continuación, calcular las componentes de las corrientes de cortocircuito mediante las expresiones que se indican en el Anexo 2 de este procedimiento.

### **Artículo 13 Efecto térmico del corto circuito y capacidad de las instalaciones**

Las instalaciones del sistema de transmisión con tensión nominal igual o superior a 200 kV y las instalaciones de generación, deberán soportar el efecto térmico equivalente al máximo nivel de corriente de cortocircuito simétrica inicial que se determine, considerando una duración del cortocircuito de al menos 0,5 segundos.

Las instalaciones del sistema de transmisión con tensión nominal inferior a 200 kV deberán soportar el efecto térmico equivalente al máximo nivel de corriente de cortocircuito simétrica inicial que se determine, considerando una duración del cortocircuito de al menos 1 segundo.

En cualquier caso los propietarios de las instalaciones deberán demostrar que los tiempos señalados en los párrafos anteriores son compatibles con los tiempos de despeje de las fallas correspondientes, para operaciones de protecciones en respaldo en las condiciones más desfavorables.

## Anexo 1 Expresiones matemáticas de corrientes de cortocircuitos simétricas según tipos de cortocircuitos

Las siguientes expresiones de tipo general se pueden emplear para calcular; la corriente de cortocircuito simétrica inicia ( $I''_k$ ), la corriente de cortocircuito simétrica de interrupción ( $I_b$ ) y las correspondientes razones ( $X/R$ ), según los tipos de cortocircuito.

Cortocircuito Trifásico:

$$I_{CC3F} = \frac{cV_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_1|} \quad (X/R)_{CC3F} = \frac{X_1}{R_1}$$

Cortocircuito Monofásico a tierra:

$$I_{CC1FT} = \frac{\sqrt{3}cV_n}{|(Z_1 + Z_2 + Z_0)|} \quad (X/R)_{CC1FT} = \frac{X_1 + X_2 + X_0}{R_1 + R_2 + R_0}$$

Cortocircuito Bifásico aislado de tierra:

$$I_{CC2F} = \frac{cV_n}{|(Z_1 + Z_2)|} \quad (X/R)_{CC2F} = \frac{X_1 + X_2}{R_1 + R_2}$$

Cortocircuito Bifásico a tierra:

$$I_{CC2FT\_B} = cV_n \left[ -j \cdot \frac{(Z_0 - a \cdot Z_2)}{(Z_1 \cdot Z_2 + Z_1 \cdot Z_0 + Z_2 \cdot Z_0)} \right] \quad a = -0.5 + j \frac{\sqrt{3}}{2} \quad : \text{ operador}$$

$$I_{CC2FT\_C} = cV_n \left[ j \cdot \frac{(Z_0 - a^2 \cdot Z_2)}{(Z_1 \cdot Z_2 + Z_1 \cdot Z_0 + Z_2 \cdot Z_0)} \right] \quad a^2 = -0.5 - j \frac{\sqrt{3}}{2} \quad : \text{ operador}$$

$$I_{CC2FT} = I_{CC2FT\_B} + I_{CC2FT\_C} = -cV_n \left[ \frac{\sqrt{3} \cdot Z_2}{(Z_1 \cdot Z_2 + Z_1 \cdot Z_0 + Z_2 \cdot Z_0)} \right]$$

$$Z_{CC2FT} = \frac{(Z_1 \cdot Z_2 + Z_1 \cdot Z_0 + Z_2 \cdot Z_0)}{\sqrt{3} \cdot Z_2} \quad (X/R)_{CC2FT} = \frac{\text{Imag}\{Z_{CC2FT}\}}{\text{Real}\{Z_{CC2FT}\}}$$

Donde:

$V_n$  : Tensión nominal línea a línea del sistema en el punto de falla, en kV.

$c$  : Factor de tensión, según Norma IEC 60909-0, este factor es igual a 1.1.

$Z_1=R_1+jX_1$  : Impedancia del circuito equivalente de Thevenin de la red de secuencia positiva en el punto de falla, en ohm.

- $Z_2=R_2+jX_2$  : Impedancia del circuito equivalente de Thevenin de la red de secuencia negativa en el punto de falla, en ohm.
- $Z_0=R_0+jX_0$  : Impedancia del circuito equivalente de Thevenin de la red de secuencia cero en el punto de falla, en ohm.
- $I_{CC3F}$  : Corriente de cortocircuito simétrica RMS de fase, para cortocircuito trifásico, en kA.
- $I_{CC1FT}$  : Corriente de cortocircuito simétrica RMS de fase, para cortocircuito monofásico a tierra, en kA.
- $I_{CC2F}$  : Corriente de cortocircuito simétrica RMS de fase, para cortocircuito bifásico aislado de tierra, en kA.
- $I_{CC2FT}$  : Corriente de cortocircuito simétrica RMS de fase, para cortocircuito bifásico a tierra, en kA.
- $(X/R)_{CC3F}$  : Razón X/R del cortocircuito trifásico.
- $(X/R)_{CC1FT}$  : Razón X/R del cortocircuito monofásico a tierra.
- $(X/R)_{CC2F}$  : Razón X/R del cortocircuito bifásico aislado de tierra.
- $(X/R)_{CC2FT}$  : Razón X/R del cortocircuito bifásico a tierra.

## Anexo 2 Expresiones matemáticas de las componentes de corriente de cortocircuito

**Corriente de cortocircuito máxima instantánea ( $i_p$ )**

$$i_p = \sqrt{2} I_{CCMax} \left[ 1 + e^{-\left(\frac{\pi}{(X/R)_{CCMax}}\right)} \right]$$

**Componente continua de la corriente de cortocircuito ( $i_{dc}$ )**

$$i_{dc} = \sqrt{2} I_{CCMax} e^{-\left(\frac{4 \cdot \pi}{X/R}\right)}$$

**Corriente de cortocircuito asimétrica de interrupción ( $I_{ASI}$ )**

$$I_{ASI} = I_{CCMax} \sqrt{\left[ 1 + 2 \cdot e^{-\frac{8 \cdot \pi}{(X/R)_{CCMax}}} \right]}$$

### Anexo 3 Definiciones relacionadas con cálculo de corrientes de cortocircuito (según norma IEC 60909-0)

1. **Corriente de cortocircuito simétrica:** Valor r.m.s. de la componente simétrica de corriente alterna (ca.) de una corriente de cortocircuito. La componente continua o no periódica de la corriente, no es considerada.
2. **Corriente de cortocircuito simétrica inicial:** Valor r.m.s. de la componente simétrica de ca. de una corriente de cortocircuito, aplicable en el instante de iniciado el corto circuito, considerando que la impedancia mantiene el valor del instante  $t=0$ .
3. **Componente continua (no-periódica) de la corriente de cortocircuito ( $i_{DC}$ ):** Valor medio de la envolvente de la corriente de cortocircuito decayendo desde un valor inicial hasta cero.
4. **Corriente de cortocircuito máxima (peak):** Valor instantáneo máximo posible de la corriente de cortocircuito.
5. **Corriente de cortocircuito simétrica de interrupción:** Valor r.m.s. de la componente simétrica de la corriente de cortocircuito, integrada en 1 ciclo, para el instante de separación de los contactos del primer polo del dispositivo de interrupción.
6. **Corriente de cortocircuito de régimen permanente:** Valor r.m.s de la corriente de cortocircuito que permanece después del decaimiento de los fenómenos transitorios.
7. **Corriente de cortocircuito de equivalente térmico ( $I_{th}$ ):** Valor r.m.s de una corriente que tiene el mismo efecto térmico e igual duración que la corriente de cortocircuito.
8. **Tensión nominal del sistema ( $V_n$ ):** Tensión (línea a línea) de diseño del sistema.
9. **Cortocircuitos lejanos al generador:** Cortocircuito durante el cual la magnitud de la componente simétrica de corriente alterna (ca.) de la corriente de cortocircuito permanece esencialmente constante.
10. **Cortocircuitos cercanos al generador:** Cortocircuito en el que al menos una máquina sincrónica contribuye con una corriente de cortocircuito simétrica inicial que es mayor que dos veces la corriente de nominal de la máquina, o un cortocircuito para el cual la contribución de los motores asincrónicos es mayor que el 5% de la corriente de cortocircuito simétrica inicial sin los motores.
11. **Reactancia subtransiente de una máquina sincrónica:** Corresponde a la reactancia que efectivamente se establece al momento del cortocircuito.



RECIBIDO C.N.E  
16:30 16.06.2010

Santiago, 16 de Junio de 2010  
D.O. N°0477/2010

Señor  
Marcelo Bobadilla M.  
Presidente Directorio  
CDEC-SIC  
Presente

Ref.: Envía Procedimientos DO y DP  
según NT SyCS.

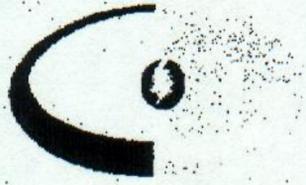
De nuestra consideración:

Nos referimos a la elaboración de los nuevos procedimientos contenidos en la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio vigente, o las adecuaciones requeridas a los procedimientos existentes, que de acuerdo a los plazos estipulados en el Artículo 10-5 deben ser presentados a la Comisión Nacional de Energía para su informe favorable el 16 de junio de 2010 y que se detallan a continuación:

- Procedimiento DO: Cálculo del Nivel Máximo de Cortocircuito.
- Procedimiento DO: Desarrollo de Auditorías Técnicas.
- Procedimiento DO: Informes de Falla de Coordinados.
- Procedimiento DO: Desempeño del Control de Frecuencia.
- Procedimiento DP: Informe Calidad de Suministro y Calidad de Producto.

Como es de su conocimiento, durante el proceso de elaboración de los procedimientos señalados, solicitamos a las empresas coordinadas que efectuaran sus comentarios u observaciones al texto de las correspondientes versiones preliminares.

Finalmente, y luego de considerar las observaciones recibidas, podemos informar a usted que para efectos de lo señalado en el artículo N°10 del D.S. 291/2007, dichos procedimientos y las respuestas a las observaciones de las empresas coordinadas se encuentran disponibles en nuestro sitio web ([www.cdec-sic.cl](http://www.cdec-sic.cl)), en la sección correspondiente a la "Norma Técnica / Procedimientos Preliminares DO y DP Enviados a la CNE".



**CDEC-SIC**

Sin otro particular, saluda atentamente a Ud.,

**Eduardo Ricke Muñoz**  
**Director de Operación y Peajes**  
**CDEC-SIC**

c.c.: Sres. Directores CDEC-SIC.  
Sres. Encargados DO y DP Empresas Coordinadas CDEC-SIC  
Sr. Secretario Ejecutivo Comisión Nacional de Energía  
Sr. Presidente Panel de Expertos  
Archivo DO