




**ESPECIFICACIÓN TÉCNICA:
ACCIÓN SÍSMICA EN EQUIPOS ELÉCTRICOS Y
MECÁNICOS
(E-SE-010)**



	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA: ACCIÓN SÍSMICA EN EQUIPOS ELÉCTRICOS Y MECÁNICOS	E-SE-010
		Rev.: Nro 1 SEP 2003
		Página 2 de 13

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA: ACCIÓN SÍSMICA EN EQUIPOS ELÉCTRICOS Y MECÁNICOS

Preparada por: SUBGERENCIA PLANIF. E ING. CHILECTRA S.A.	Aprobada por: CHILECTRA S.A. – Gerencia de Distribución CODENSA S.A.E.S.P. – Gerencia de Distribución EDELNOR S.A.A. – Gerencia Técnica	Emitida por: GERENCIA DE PROCESOS DISTRIBUCIÓN Y COMERCIAL REGIONAL
Editada : 01 de septiembre de 2003 Revisada : 01 de septiembre de 2003		

	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA: ACCIÓN SÍSMICA EN EQUIPOS ELÉCTRICOS Y MECÁNICOS	E-SE-010
		Rev.: Nro 1 SEP 2003
		Página 3 de 13

INDICE

1. REQUERIMIENTOS GENERALES.....	4
2. CATEGORIAS SISMICAS.....	4
2.1. CATEGORÍA A	4
2.2. CATEGORÍA B	5
3. INTENSIDAD SISMICA DE DISEÑO.....	5
4. METODOS ANALITICOS	5
4.1. MÉTODO ESTÁTICO	5
4.2. MÉTODO DINÁMICO	6
5. METODO EXPERIMENTAL.....	8
6. REQUERIMIENTOS ADICIONALES	9
7. ANTECEDENTES QUE ENTREGA EL CLIENTE.....	10
8. ANTECEDENTES QUE DEBE ENTREGAR EL PROVEEDOR	10

 	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA: ACCIÓN SÍSMICA EN EQUIPOS ELÉCTRICOS Y MECÁNICOS	E-SE-010
		Rev.: Nro 1 SEP 2003
		Página 4 de 13

1. REQUERIMIENTOS GENERALES

Las presentes especificaciones establecen las condiciones de diseño y verificación por acción sísmica a que deben someterse los equipos eléctricos y mecánicos que sean instalados en los sistemas eléctricos de CODENSA S.A.ESP., CHILECTRA S.A. o EDELNOR S.A.A., en adelante el Cliente.

Las solicitaciones sísmicas se determinarán mediante métodos de comprobación analítica (estáticos o dinámicos) y/o experimentales. La elección de los métodos de comprobación se hará considerando, entre otros factores, las características dinámicas del equipo y accesorios, la distribución de masas y rigideces del equipo, y las características dinámicas de la estructura de soporte.

El Cliente deberá aprobar por escrito él o los métodos de comprobación elegidos.

2. CATEGORIAS SISMICAS

Para efectos de diseño y verificación sísmica, los equipos se clasificarán en las siguientes categorías:

2.1. Categoría A


Equipos cuya operatividad es importante durante y después del sismo, o cuya falla puede ocasionar grandes pérdidas económicas.

Equipos cuya falla sea la causa de falla o mal funcionamiento de un equipo de categoría A.

Equipos cuyo funcionamiento sea indispensable para tareas de emergencia.

Entre ellos se considerará:

- Interruptores de potencia
- Transformadores de potencia
- Transformadores de instrumentación
- Transformadores de servicios auxiliares
- Seccionadores
- Pararrayos
- Subestaciones blindadas y aisladas en SF6
- Relés
- Condensadores de acoplamiento
- Trampas de onda (bobinas de bloqueo)
- Baterías estacionarias
- Cargadores de baterías
- Celdas de servicios auxiliares
- Grupos electrógenos de emergencia

	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA: ACCIÓN SÍSMICA EN EQUIPOS ELÉCTRICOS Y MECÁNICOS	E-SE-010
		Rev.: Nro 1 SEP 2003
		Página 5 de 13

2.2. Categoría B

Equipos necesarios para la operación normal, pero cuya falla o mal funcionamiento no afecta el funcionamiento de equipos de categoría A.

Equipos que implican fallas transitorias del suministro, pero que pueden ser suplidos por redundancia del sistema.

Entre ellos se tiene:

- Equipos de alumbrado
- Equipos de corrección de factor de potencia
- Bancos de condensadores
- Seccionadores de 1 a 23 kV

3. INTENSIDAD SISMICA DE DISEÑO

Las instalaciones eléctricas de CODENSA S.A.ESP., CHILECTRA S.A. y EDELNOR S.A. se ubican en zonas de alta intensidad y frecuencia sísmica. Para fines de diseño y verificación, la Intensidad Sísmica de una Zona se caracteriza mediante los parámetros **a**, **v** y **d** que representan los valores máximos absolutos de la aceleración, velocidad y desplazamiento horizontal en la superficie del terreno. Cuando no se definan expresamente otros valores de estos parámetros, o se apliquen a equipos estandarizados, los parámetros del movimiento horizontal serán los siguientes:

$$a = 0.50 \text{ g} \quad v = 50 \text{ cm/seg} \quad d = 25 \text{ cm}$$

4. METODOS ANALITICOS

4.1. Método Estático

4.1.1. El método estático se aplicará a equipos rígidos que formen una unidad independiente montada en una fundación única en el suelo, sin una estructura de soporte intermedia, y desacoplado mecánicamente de otros equipos.

4.1.2. Cuando la frecuencia fundamental sea superior a 30 Hz, las sollicitaciones sísmicas en éstos equipos se asimilarán a cargas estáticas equivalentes representadas por la acción simultánea de fuerzas horizontales y verticales, actuando en sus centros de gravedad, y correspondientes a:

$$H = 1.2 * (a/g) * W \quad (H < 0.50 * W)$$

$$V = 0.6 * (a/g) * W \quad (V < 0.25 * W)$$

W = peso del equipo

Para equipos de la categoría B estas sollicitaciones se podrán multiplicar por un factor 0.8 .

4.1.3. Los equipos que cumplan los requisitos indicados en 4.1.1, pero cuya frecuencia fundamental sea inferior a 30 HZ, se verificarán para la acción simultánea de fuerzas estáticas horizontales y verticales equivalentes a:

$$H = 1.2 * (A/g) * W$$

 	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA: ACCIÓN SÍSMICA EN EQUIPOS ELÉCTRICOS Y MECÁNICOS	E-SE-010
		Rev.: Nro 1 SEP 2003
		Página 6 de 13

$$V=0.6*(A/g) * W$$

Donde (A/g) representa la ordenada del espectro indicado en la Fig.1 del anexo, correspondiente a una aceleración máxima del suelo “a” (intensidad de diseño según punto 3), para la frecuencia fundamental y el amortiguamiento correspondiente del equipo (punto 4.2.3). Si no se conoce o determina la frecuencia fundamental, se adoptará la ordenada máxima del espectro correspondiente. En equipos de la categoría B se adoptará la ordenada correspondiente multiplicada por el factor 0.8.

4.1.4. Los equipos que no se fundan en el suelo, sino en edificios o estructuras similares, deberán considerar en el diseño lo siguiente:

- a) para equipos analizados por el método estático, la sollicitación sísmica será:

$$H_x=1.2*(a/g)*(1+h_x/h) * W \quad \text{con } H_x < W$$

$$V_x=0.6*(a/g)*(1+h_x/h) * W \quad \text{con } V_x < 0.5*W$$

Donde h= altura total del edificio sobre el nivel basal

h_x =altura del piso en que está el equipo

a= aceleración máxima del terreno según punto 3

- b) si el edificio o estructura se ha analizado por el método dinámico, se usará:

$$H_x=1.2*(a_x/g) * W \quad \text{con } H_x < W$$

$$V_x=0.6*(a_x/g) * W \quad \text{con } V_x < 0.5*W$$

Donde a_x = aceleración máxima del piso en que está el equipo, cuando el terreno se somete a un sismo de aceleración máxima “a” (punto 3)

4.1.5. Las fuerzas sísmicas se supondrán actuando en una dirección cualquiera. En todo caso, el equipo deberá analizarse y calcularse por lo menos para dos direcciones horizontales perpendiculares o aproximadamente perpendiculares, incluyendo direcciones críticas, y simultáneamente para la dirección vertical.


4.1.6. Los esfuerzos y deformaciones máximas se obtendrán por combinación más desfavorable de los valores máximos de cualquiera de las acciones horizontales y la acción vertical.

4.2. Método Dinámico

El método dinámico es aplicable a todos aquellos equipos en los que se puede identificar sus grados de libertad y distribución de masas y, por lo tanto, es posible asimilarlo a un modelo matemático adecuado.

4.2.1. Los equipos montados en estructuras de soporte deberán ser analizados por el método dinámico, mediante un modelo que incluya las características del soporte en que se montará el equipo.

4.2.2. Los componentes de equipos fijos o móviles, deben analizarse por el método dinámico, mediante un modelo que considere las características del equipo, de los apoyos de los componentes y las masas involucradas. Además, como un mínimo deberán verificarse a la acción simultánea de una fuerza horizontal y una vertical estáticamente equivalente a un 100% y 60% de sus pesos, respectivamente, y actuando en los correspondientes centros de gravedad de los elementos.

	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA: ACCIÓN SÍSMICA EN EQUIPOS ELÉCTRICOS Y MECÁNICOS	E-SE-010
		Rev.: Nro 1 SEP 2003
		Página 7 de 13

4.2.3. Al analizar el equipo por el método dinámico, se supondrá que el sismo consiste en un movimiento horizontal o vertical del terreno, con una aceleración función del tiempo, con un valor de aceleración máxima del terreno equivalente a la intensidad sísmica de diseño “a” (punto 3).

4.2.4. Se recomienda el análisis derivado del espectro de respuesta. No obstante, es admisible el empleo de otro procedimiento de análisis debidamente comprobado, que esté basado en los principios generales de la dinámica.

En general, las sollicitaciones sísmicas serán determinadas a partir de espectros de respuesta suavizados para sistemas de un grado de libertad, linealmente elásticos, con amortiguamiento viscoso proporcional a la velocidad relativa.

4.2.5. En caso de que el Cliente no defina un espectro de diseño especial para un equipo, para calcular la sollicitación sísmica horizontal se utilizará el Espectro de Diseño indicado en la Fig. 1. Este corresponde al espectro de diseño de las ETG-1015 “Especificaciones Técnicas Generales” Diseño Sísmico de Endesa (Chile) (mayo 1987), calculado para **a=0.5g** y **v=50cm/seg**.

Para la componente vertical, podrá usarse el mismo espectro considerando un 60% del valor correspondiente a sismo horizontal.

Para equipos de categoría B se adoptará la ordenada correspondiente al equipo de categoría A multiplicada por un factor 0.8 .

4.2.6. Para la evaluación de la respuesta sísmica se podrá adoptar valores de amortiguamiento ζ , expresado como porcentaje del amortiguamiento crítico, no mayores que los indicados en Tabla 1 ; para componentes frágiles (bushings, aisladores de porcelana, etc) se adoptará un amortiguamiento de 0.5%.

Se admitirán valores de amortiguamiento superiores siempre que el proveedor lo justifique, y previo una aprobación escrita de la inspección técnica del Cliente.

TABLA 1 (*)


Factores de Amortiguamiento ζ

(Porcentaje del Amortiguamiento Crítico)

(*) ANSI/IEEE Std. 693-84

Tipo de construcción	Niveles de Esfuerzo		
	$< \frac{1}{4} F_y$	$\frac{1}{2} F_y$	F_y
Acero con Uniones soldadas	0.5 - 1	2	5
Acero con Uniones apernadas	0.5 - 1	5 - 7	10 - 15
Hormigón armado fisurado	0.5 - 1	3 - 5	7 - 10
Hormigón pretensado	0.1 - 1	2	5 - 7

4.2.7. En todo caso el equipo deberá analizarse a lo menos para movimientos horizontales sísmicos en dos direcciones perpendiculares o aproximadamente perpendiculares incluyendo direcciones críticas y

	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA: ACCIÓN SÍSMICA EN EQUIPOS ELÉCTRICOS Y MECÁNICOS	E-SE-010
		Rev.: Nro 1 SEP 2003
		Página 8 de 13

para un movimiento vertical. Los esfuerzos y deformaciones máximas se obtendrán por combinación de los valores máximos de cualquiera de las direcciones horizontales y la dirección vertical

4.2.8. Si se emplea un análisis modal de respuesta sísmica, la superposición de los esfuerzos provenientes de los diferentes modos naturales de vibrar del equipo, deberá hacerse de la siguiente manera:

$$S = \sum_{i=1}^r |S_i| \quad \text{para } r=2$$

$$S = 0.5 (\sum_{i=1}^r |S_i| + \text{RAIZ}(\sum_{i=1}^r S_i^2)) \quad \text{para } r>3$$

en que:

r = número de modos naturales incluidos en el análisis

S_i = sollicitación correspondiente al i-ésimo modo

S = sollicitación de diseño, obtenida por superposición de las respuestas modales.

4.2.9. El número de modos naturales a considerar depende de la complejidad del modelo del equipo y de su distribución de masas. Deberá a lo menos incluir todos aquellos con frecuencias naturales inferiores a 30 HZ, y además su número debe ser tal que se tenga involucrada la influencia de al menos el 90% de la masa total.

4.2.10. En ningún caso las sollicitaciones podrán ser inferiores al 60% de las que correspondan a los esfuerzos calculados según el método estático.

4.2.11. Podrá realizarse también un análisis dinámico en base a determinados acelerogramas sísmicos (método paso a paso). En todo caso el fabricante deberá obtener previamente del Cliente la aprobación de los acelerogramas a usar.

5. METODO EXPERIMENTAL


El método experimental se aplicará a aquellos equipos en los cuales no es factible determinar con precisión sus grados de libertad por la complejidad de la distribución de masas, y por lo tanto es difícil encontrar un modelo matemático que lo represente adecuadamente.

Se utilizará un método experimental además cuando el Cliente determine que es necesario complementar los resultados del método analítico, o bien que el fabricante lo proponga, ya sea para determinar experimentalmente las propiedades dinámicas del equipo y/o comprobar la capacidad resistente a vibraciones forzadas determinadas. Las pruebas y metodología deberán ser aprobadas por el Cliente.

Fundamentalmente consistirá en someter al equipo o módulos dinámicamente independientes a los siguientes ensayos:

5.1. Determinación mediante vibración libre o forzada de los períodos propios y amortiguamientos para dos direcciones horizontales perpendiculares o aproximadamente perpendiculares incluyendo direcciones críticas, y para la dirección vertical

5.2. Vibración sinusoidal forzada bajo amplitud y frecuencia variable entre 0.5 y 30 Hz, pero sin sobrepasar en ninguno de los elementos el 60% de la respuesta que le corresponda de acuerdo al espectro de respuesta especificado, obteniéndose las curvas de respuesta de esfuerzos y desplazamientos para puntos críticos del equipo.

	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA: ACCIÓN SÍSMICA EN EQUIPOS ELÉCTRICOS Y MECÁNICOS	E-SE-010
		Rev.: Nro 1 SEP 2003
		Página 9 de 13

5.3. Vibración sinusoidal forzada manteniendo la frecuencia en el orden de la frecuencia fundamental T1 del equipo determinada según 5.1 y con una amplitud de oscilación de la mesa vibratoria tal que la aceleración sinusoidal máxima del centro de gravedad del elemento sea igual a $A(T1)*g$, siendo A(T1) la ordenada del espectro correspondiente al período fundamental, por un tiempo de 20 a 30 segundos.

6. REQUERIMIENTOS ADICIONALES

6.1. Las solicitaciones sísmicas horizontales y vertical se combinarán con las correspondientes a las cargas normales de servicio del equipo, y con aquellas solicitaciones eventuales de ocurrencia simultánea con el sismo.

6.2. **Combinaciones de Solicitaciones.** A lo menos se incluirán las solicitaciones que se indica, con el factor señalado, combinaciones que se verificarán para las tensiones admisibles indicadas en párrafo 6.3.

	Factor
Acción sísmica	1.0
Peso propio	1.0
Solicitaciones dinámicas de funcionamiento normal	1.0
Solic. externas (tensión máxima de conductor, etc.)	0.5
Solic. de cambios térmicos	0.5

6.3. **Tensiones unitarias:** Las tensiones unitarias admisibles de los materiales considerando la acción sísmica y las combinaciones indicadas en 6.2 no deberán sobrepasar los siguientes valores:

6.3.1. Materiales Dúctiles

Las tensiones unitarias admisibles en los materiales dúctiles de elementos y conexiones (acero, aluminio, cobre, etc), podrán ser hasta un 33% mayores que las tensiones admisibles admitidas por la norma acordada, para estados de carga no eventuales, pero sin exceder el 80% de la tensión de fluencia.

Se aceptarán las disposiciones de las normas que se indica, en lo referente a las tensiones admisibles de diseño:

Acero	NCh 427	“Especificación para el cálculo de Estructuras de Acero para Edificios”
	AISC	“Specification for Structural Steel for Buildings” June, 1989.
Aluminio	AAP	“Aluminum Construction Manual, Section 1, Specification for Aluminum Structures”-1982
Otros	ASME	“Boiler and Pressure Vessel Code”

El uso de otras normas está sujeto a la aprobación del Cliente.

6.3.2. Materiales Frágiles

Para los materiales frágiles (porcelanas, etc.) se podrá adoptar una tensión admisible con cargas sísmicas de tracción por flexión que no exceda de 55 daN/cm². Se podrá usar valores mayores sólo cuando se justifique en pruebas de ruptura a flexión de a lo menos 5

	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA: ACCIÓN SÍSMICA EN EQUIPOS ELÉCTRICOS Y MECÁNICOS	E-SE-010
		Rev.: Nro 1 SEP 2003
		Página 10 de 13

aisladores similares a los del suministro del Cliente, el valor de la resistencia característica $R_c = (m - 2\sigma)$ de la resistencia a la ruptura de esos materiales, en que:

m = valor medio de los ensayos

σ = desviación standard

La tensión unitaria admisible será el 50% de la resistencia característica R_c (factor de seguridad mínimo 2).

- 6.4. La distancia entre elementos componentes de un equipo deberá ser igual o superior a 2 veces la suma de los valores absolutos de las deformaciones elásticas. Estas deformaciones se deducirán del análisis de las combinaciones más desfavorables de las sollicitaciones sísmicas horizontales y/o vertical.
- 6.5. Deberá consultarse adecuados sistemas de apoyo o anclajes a la fundación, compatibles con las sollicitaciones sísmicas más desfavorables y con la operación normal del equipo.
- 6.6. En general deberá evitarse desplazamientos libres entre el equipo y sus apoyos.
- 6.7. Si el diseño de un equipo considera la instalación de amortiguadores para modificar la respuesta sísmica, deberá garantizarse el grado de amortiguamiento requerido, demostrando que no es inferior al mínimo garantizado en el rango de temperaturas -10°C y 55°C .
- 6.8. No será necesario la verificación de relés e instrumentos que presenten protocolos de operación satisfactoria en pruebas sísmicas según ANSI/IEEE C 37.98, con un nivel de aceleración 5g en el rango 4 a 15 Hz
- 6.9. Se podrá aplicar en lo que no se contradiga con estas especificaciones las recomendaciones y disposiciones de las normas ANSI/IEEE Std.693 y ANSI/IEEE Std.344, especialmente en lo referente a calificación sísmica de los equipos.

7. ANTECEDENTES QUE ENTREGA EL CLIENTE

Para efectuar la revisión sísmica de los equipos, el Cliente entregará al fabricante o proveedor los siguientes antecedentes:

- 7.1. Categoría Sísmica del Equipo. En su defecto se supone que el equipo es de Categoría A.
- 7.2. Intensidad Sísmica de Diseño. En su defecto se supone que los parámetros del movimiento horizontal del terreno son: $a=0.50g$, $v=50\text{cm/seg}$ y $d=25\text{cm}$.
- 7.3. Espectro de Respuesta a utilizar en el diseño y/o verificación sísmica del equipo. En su defecto se debe utilizar el indicado en la Fig.1
- 7.4. Condiciones Particulares para el diseño y/o verificación sísmica, si procedieren.

8. ANTECEDENTES QUE DEBE ENTREGAR EL PROVEEDOR

Para efectuar la revisión y aprobar la recepción de los equipos desde el punto de vista sísmico, el Fabricante o Proveedor deberá entregar al Cliente todos los antecedentes necesarios para efectuar esa revisión, justificando el cumplimiento de todos los requisitos que correspondan al equipo.

 	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA: ACCIÓN SÍSMICA EN EQUIPOS ELÉCTRICOS Y MECÁNICOS	E-SE-010
		Rev.: Nro 1 SEP 2003
		Página 11 de 13

La información mínima es la siguiente:

- 8.1. Planos de Disposición General y Detalles del Equipo.
- 8.2. Características Físicas y Geométricas del equipo, sus componentes y/o elementos de soporte y conexiones.
- 8.3. Características Mecánicas de los Materiales, entre otras:
 - Módulo de Elasticidad.
 - Tensión de Fluencia de materiales dúctiles.
 - Resistencia a la Ruptura de Materiales Frágiles. Se indicará en términos de la tensión unitaria y adicionalmente del momento de flexión en la sección crítica del aislador.
 - Grado de amortiguamiento garantizado.

Estos valores deberán ser certificados por laboratorios competentes o protocolos de las pruebas correspondientes.

- 8.4. Ubicación del centro de gravedad de masas del equipo.
- 8.5. Memoria de Cálculo, incluyendo:
 - Bases generales de cálculo
 - Métodos de análisis
 - Datos del modelo adoptado
 - Cálculo de frecuencias y vectores modales
 - Masas asociadas a cada modo
 - Cálculo de solicitaciones sísmicas y otras
 - Combinaciones de solicitaciones
 - Verificación de secciones de elementos y conexiones, indicando normas de diseño adoptadas
- 8.6. Antecedentes de programas y datos utilizados para la verificación analítica, suficientemente completos como para permitir una revisión.
- 8.7. Resultados de ensayos directos:
 - 8.7.1. Respuesta de aceleración horizontal en el centro de gravedad de cada uno de los elementos sujetos a verificación.
 - 8.7.2. Tensiones elásticas máximas en no menos de dos puntos de la pieza más solicitada de cada elemento.
 - 8.7.3. Desplazamiento relativo de aquellas piezas cuya respuesta de desplazamiento puede ser de importancia como resultado de la prueba.
 - 8.7.4. Desplazamiento de la base del conjunto, con respecto a la mesa vibratoria, en un número suficiente de puntos como para caracterizar los modos propios de vibración de la base.
 - 8.7.5. Aceleración y Desplazamiento de la Mesa Vibratoria

	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA: ACCIÓN SÍSMICA EN EQUIPOS ELÉCTRICOS Y MECÁNICOS	E-SE-010
		Rev.: Nro 1 SEP 2003
		Página 12 de 13

El registro de las respuestas de aceleración de 8.7.1 y 8.7.2 deberá indicar los valores medios cuadráticos de las aceleraciones relativas de los elementos del equipo respecto de la Mesa.

Los detectores de las lecturas de tensión del punto 8.7.2, deberán ser calibrados, justificando previamente el módulo de elasticidad que se aplica y sometiendo cada elemento a una prueba horizontal variable entre 0 y 50% del peso para registrar lecturas.

8.7.6. Período propio y amortiguamiento del equipo y/o partes de él, determinados por métodos experimentales, de los que se entregarán los resultados para su análisis y verificación.

8.8. Solicitaciones de diseño para los apoyos.

El Proveedor deberá entregar las solicitaciones máximas de los equipos sobre las fundaciones. En equipos con estructuras de soporte, deberá entregar las reacciones del equipo en el soporte y las reacciones de los apoyos de la estructura del soporte a la fundación. La información de las reacciones de los apoyos deberá ser suficientemente clara para establecer los estados de carga del soporte y/o la fundación, informando las solicitaciones básicas por separado (peso propio, sismo, etc.) y/o las combinaciones de solicitaciones consideradas en el diseño del equipo.

FIGURA N°1

