

**DOCUMENTO TÉCNICO  
COMITÉ CHILENO DE CIGRE**

**RECOMENDACIÓN DE REQUISITOS SÍSMICOS**

**PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE ALTA TENSIÓN**

**SEPTIEMBRE DE 2018**

## I. Introducción

El Comité Chileno de CIGRE, cumpliendo con su misión de facilitar y fomentar el intercambio de conocimientos y experiencias, convocó a un grupo de profesionales y especialistas del sector eléctrico local, el cual, después de un intenso periodo de trabajo ha elaborado el presente documento que pretende aportar recomendaciones que permitan a las Instalaciones Eléctricas enfrentar de mejor manera los fenómenos sísmicos.

La elaboración de esta propuesta fue desarrollado por un Comité Técnico Especial convocado por CIGRE Chile, el cual estuvo conformado por diversos profesionales del sector, pertenecientes a empresas del área eléctrica, universidades y empresas consultoras de ingeniería, con un total de 15 integrantes permanentes, quienes desarrollaron los distintos análisis y prepararon los documentos de trabajo que dieron origen a la presente Recomendación, y 24 integrantes con participación parcial, quienes asistieron a algunas de las reuniones de trabajo y que tuvieron a su disposición, para sus comentarios y observaciones, los documentos de trabajo elaborados durante el proceso.

## II. Alcance

El presente documento denominado **Propuesta de Norma “Requisitos Sísmicos para Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión”** tiene como finalidad unificar los requisitos sísmicos que se recomienda deberían cumplir en Chile los distintos elementos que conforman las Instalaciones de Alta Tensión, tales como equipos eléctricos, estructuras, fundaciones y obras civiles, y está basado en recomendaciones y normas que actualmente se encuentran dispersas en distintas fuentes, haciéndolas coherentes y armónicas. Adicionalmente, se han incorporado las lecciones derivadas de los últimos elementos sísmicos ocurridos en el país, así como la experiencia nacional y la experiencia internacional de instalaciones de esta naturaleza, en base al análisis de normas y recomendaciones de diseño internacionales.

## III. Normas y Especificaciones utilizadas como referencia

Las principales Normas y Especificaciones que se han utilizado como referencian para la elaboración del presente documento son las siguientes:

NORMAS, ESPECIFICACIONES Y RECOMENDACIONES	AÑO	NOMBRE
NCh 2369	2017	Anteproyecto Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales (propuesta de actualización NCh

		2369 elaborado por el Comité a cargo del Instituto de la Construcción, ya entregado al INN para proceso de Consulta Pública).
ASCE 7	2016	Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures.
CIGRE Chile	2012	Lecciones y recomendaciones para el sector eléctrico derivadas del terremoto del 27 de Febrero del 2010 en Chile.
ASCE 113	2010	Substation Structure Design Guide.
ETG A.020	2008	Transelec. Especificaciones Técnicas Generales. Especificaciones de Diseño Sísmico de Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión.
ETG A.021	2005	Transelec. Especificaciones Técnicas Generales. Diseño Sísmico de estructuras de subestaciones.
IEEE 693	2005	Recommended Practice for Seismic Design of Substations y Borrador 17 para actualización (Borrador aprobado por el grupo de trabajo de la IEEE).
ETG I.1.020	1997	Ingendesa. Especificaciones Técnicas Generales. Requisitos de Diseño Sísmico para Equipo Eléctrico. Versión Resumida.
ETG 1.015	1987	Endesa. Especificaciones Técnicas Generales. Diseño Sísmico.

#### IV. Estructuración del documento

El presente documento se ha estructurado como sigue:

- Capítulo 1: Comprende los requisitos sísmicos que son comunes a los distintos elementos que conforman las Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión.

Anexo N°1: Comprende los requisitos sísmicos particulares por tipo de equipo eléctrico.

- Capítulo 2: Comprende los requisitos sísmicos para los equipos eléctricos.
- Capítulo 3: Comprende los requisitos sísmicos para las estructuras de soporte de equipos, fundaciones de equipos y las otras estructuras y obras civiles que se encuentran dentro de las Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión.

- Anexo N°2: Recomendaciones para el diseño de fundaciones.

#### V. Procedimiento de trabajo y agradecimientos

El Comité Técnico especial estuvo conformado por dos Sub Comités: el Sub Comité de Equipos orientado para el desarrollo de las secciones relacionadas con el diseño sísmico de equipos

eléctricos y el Sub Comité Civil Estructural, orientado al desarrollo de las secciones relacionadas con las estructuras, fundaciones y en general todas las otras obras civiles que forman parte de

las Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión. Ambos Sub-Comités sesionaron en conjunto para el desarrollo del Capítulo 1, que corresponde a los requisitos sísmicos comunes, y para la revisión y coordinación final de los distintos capítulos y anexos de la presente Recomendación.

El Comité sesionó entre el mes de octubre de 2016 y comienzos del mes de junio de 2018, efectuando un total de 75 reuniones de trabajo, lo que, sumado al trabajo en paralelo a las reuniones para la elaboración de las propuestas de cada sección, suman un total aproximado de 3.300 Horas Hombre.

El Sub-Comité de Equipos, liderado por el Director Técnico de CIGRE Chile señor Hernán Casar (Consultorías HCC) estuvo integrado por los siguientes profesionales: Alex Müller (Transelec), Bladimir Rivas (Transelec), Dania Valdivia (EQCO), Ernesto Cruz (EQCO), Federico Reich (Reich Ingeniería), Gonzalo Calvo (Consultorías HCC) y Raúl Alvarez (Consultor Independiente y Profesor DIE FCFM Universidad de Chile).

En el Sub Comité Civil Estructural, liderado por la Directora de CIGRE Chile señora Marcela Aravena (Integral Servicios de Ingeniería) participaron los siguientes profesionales: Alejandro Fernández (Elecnor), Bladimir Rivas (Transelec), Dania Valdivia (EQCO), Ernesto Cruz (EQCO), Juan Cisternas (ACI Ingeniería), Juan González (Reich Ingeniería), Matías González (Transelec), Patricio Bilbao (ABC Ingeniería), Ramiro Basaez (Profesor Departamento Obras Civiles Universidad Técnica Federico Santa María), y Raúl Alvarez (Consultor Independiente y Profesor DIE FCFM Universidad de Chile).

En forma parcial colaboraron los profesionales señores: Alejandro Salazar (Geoservices por Chilquinta), Andrés Alvarado (Rodríguez y Goldsack), Arturo Goldsack (Rodríguez y Goldsack), Braulio Ortuzar (Chilquinta), Cristián Illanes (SEC), Daniel Mancilla (InterChile), David Watts (Profesor Departamento Ingeniería Eléctrica Pontificia Universidad Católica de Chile), David Zamorano (Hatch), Francisco Hernández (Colbún), Francisco Swett (InterChile), Franklin Stuardo (Saesa), Iván Soto (Chilquinta), Jaime López (Enel Distribución), Luis Humeres (Engie Energía), Marcelo Barrera (Comisión Nacional de Energía), Marco Peirano (Comisión Nacional de Energía), Nelson Urdaneta (Coordinador Nacional Eléctrico), Nicolás Gorriño (Celeo Redes), Pablo Medina (Frontera Energía), Paulina Muñoz (Comisión Nacional de Energía), Patricio Carmona (Engie Energía), Roger Schurch (Profesor Departamento Ingeniería Eléctrica Universidad Técnica Federico Santa María), Sebastián Fingerhuth (Profesor Departamento

Ingeniería Eléctrica Pontificia Universidad Católica de Valparaíso) y Saul Urbina (Geoservices por Chilquinta).

A todos ellos el Directorio de CIGRE Chile reconoce su esfuerzo y dedicación que entendemos contribuirá al bienestar general del país. Así también agradecemos a las empresas a las cuales esos profesionales pertenecen por las facilidades dadas para realizar el trabajo.

## CAPÍTULO 1 REQUISITOS GENERALES

1.1.	ALCANCE Y CAMPO DE APLICACIÓN.....	15
1.1.1.	Alcance.....	15
1.1.2.	Filosofía de diseño.....	15
1.1.3.	Campo de aplicación.....	15
1.1.4.	Normas y Especificaciones.....	16
1.2.	DEFINICIONES.....	17
1.3.	DISPOSICIONES PARA DISEÑO SÍSMICO.....	24
1.3.1.	Alcance.....	24
1.3.2.	Intensidad Sísmica de Diseño.....	24
1.3.3.	Acciones sísmicas para el diseño.....	24
1.3.4.	Espectro de Diseño o RRS.....	25
1.3.5.	Factor de Importancia “ $I_E$ ”, Factor de Modificación de la Respuesta “R” y Razón de Amortiguamiento “ $\xi$ ”.....	27
1.3.6.	Acciones simultáneas con el sismo.....	30
1.4.	SOLICITACIONES DE DISEÑO.....	32
1.4.1.	Solicitaciones de cargas permanentes (CP).....	32
1.4.2.	Solicitud Sísmica (E).....	32
1.4.3.	Solicitaciones debidas a cargas de operación (CO o COs).....	33
1.4.4.	Solicitaciones debidas a cargas de conexiones (T).....	33
1.4.5.	Solicitaciones debidas a cargas de cortocircuito (FC).....	33
1.4.6.	Solicitaciones debidas a las condiciones meteorológicas (CA o CAs).....	34
1.4.7.	Otras solicitaciones.....	34
1.4.8.	Combinaciones de cargas.....	34
1.5.	DOCUMENTOS QUE RESPALDAN EL DISEÑO.....	36
1.5.1.	Memorias de Cálculo.....	36
1.5.2.	Planos.....	37



**CAPÍTULO 2**  
**REQUISITOS SÍSMICOS**  
**PARA EQUIPOS ELÉCTRICOS**

2.1.	ALCANCE Y CAMPO DE APLICACIÓN.....	39
2.1.1.	Alcance.....	39
2.1.2.	Filosofía de diseño.....	39
2.1.3.	Campo de aplicación.....	39
2.1.4.	Normas y Especificaciones.....	39
2.2.	CLASIFICACIÓN DE EQUIPOS DE ALTA TENSIÓN.....	41
2.3.	REQUISITOS SÍSMICOS PARA EQUIPOS.....	42
2.4.	MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA SOLICITACIÓN SÍSMICA DE EQUIPOS.....	43
2.4.1.	Método Estático.....	43
2.4.2.	Método de Coeficientes Estáticos.....	44
2.4.3.	Método Estático Simplificado.....	45
2.4.4.	Método de Análisis Dinámico por Superposición Modal Espectral.....	46
2.5.	PRUEBAS EN MESA VIBRATORIA.....	47
2.5.1.	Proceso para verificación del cumplimiento de los requisitos sísmicos.....	47
2.5.2.	Pruebas en Mesa Vibratoria.....	47
2.6.	PRUEBAS Y/O MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RAZON DE AMORTIGUAMIENTO .....	57
2.6.1.	Pruebas de Oscilación Libre.....	57
2.7.	MÉTODO ESPECIAL PARA VERIFICACIÓN SISMICA POR GRUPO DE EQUIPOS.....	60
2.8.	ESFUERZOS DE ACOPLAMIENTO MECÁNICO.....	62
2.9.	SOLICITACIONES DE DISEÑO PARA EQUIPOS.....	63
2.9.1.	Fuerza de Cortocircuito.....	63
2.9.2.	Solicitaciones debido a condiciones meteorológicas.....	64
2.10.	REQUISITOS DE RESISTENCIA.....	65
2.10.1.	Materiales dúctiles.....	65
2.10.2.	Materiales no dúctiles y no poliméricos.....	66
2.10.3.	Materiales poliméricos.....	70
2.11.	ESTRUCTURAS DE SOPORTE.....	73
2.12.	FIJACIÓN O ANCLAJE DE EQUIPOS.....	74
2.13.	EQUIPOS MONTADOS EN ALTURA.....	75
2.14.	EQUIPOS SUSPENDIDOS.....	76
2.15.	CONEXIONES DE LOS EQUIPOS A LA RED DE ALTA TENSIÓN.....	77

### CAPÍTULO 3

#### REQUISITOS SÍSMICOS PARA ESTRUCTURAS, FUNDACIONES Y OTRAS OBRAS CIVILES

3.1. GENERAL.....	79
3.1.1. Alcance.....	79
3.1.2. Filosofía de diseño.....	79
3.1.3. Campo de aplicación.....	79
3.1.4. Normas y Especificaciones.....	80
3.2. SOLICITACION SÍSMICA SOBRE ESTRUCTURAS DE SOPORTE Y FUNDACIONES DE EQUIPOS. .81	
3.2.1. Alcance.....	81
3.2.2. Zonificación Sísmica.....	81
3.2.3. Solicitación Sísmica.....	82
3.2.4. Nivel Basal.....	82
3.2.5. Factor de Importancia “I <sub>E</sub> ”, Factor de Modificación de la Respuesta “R” y Razón de Amortiguamiento “ξ”.....	82
3.2.6. Determinación de las solicitaciones sísmicas mediante método estático equivalente.....	83
3.2.7. Determinación de las solicitaciones sísmicas mediante un método dinámico.....	84
3.3. MÉTODOS PARA DISEÑO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE SOPORTE Y FUNDACIONES DE EQUIPOS.....	87
3.3.1. Método Estático Civil.....	87
3.3.2. Método de Análisis Dinámico.....	91
3.4. SOLICITACIONES DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE SOPORTE Y FUNDACIONES DE EQUIPOS .....	96
3.5. DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE SOPORTE DE EQUIPOS.....	97
3.5.1. Alcance.....	97
3.5.2. Criterio general de diseño.....	97
3.5.3. Requisitos de rigidez global.....	97
3.5.4. Requisitos de rigidez local.....	98
3.5.5. Definición del sistema de fijación del equipo a la estructura de soporte.....	99
3.5.6. Diseño por resistencia de la estructura.....	99
3.5.7. Diseño del sistema de anclaje de la estructura de soporte a la fundación.....	99
3.5.8. Estructuras tipo parrón.....	99
3.5.9. Estructuras especiales de soporte de equipos.....	100
3.6. DISEÑO DE SISTEMAS DE ANCLAJE A LA FUNDACIÓN.....	101
3.6.1. General.....	101
3.6.2. Materiales.....	102
3.6.3. Solicitación sísmica para diseño.....	103



3.6.4.	Pernos de anclaje en general.....	103
3.6.5.	Cajas de anclaje.....	103
3.6.6.	Llaves de corte.....	104
3.6.7.	Topes sísmicos.....	104
3.6.8.	Pernos de anclaje post instalados.....	105
3.6.9.	Diseño de los sistemas de anclaje.....	105
3.6.10.	Información requerida por parte del Proveedor del Equipo para el diseño de los sistemas de anclaje.....	106
3.6.11.	Sistemas de anclaje de equipos a la fundación sin pernos de anclaje.....	106
3.7.	DISEÑO DE FUNDACIONES.....	108
3.7.1.	Alcance.....	108
3.7.2.	Requisitos Generales.....	108
3.7.3.	Requisitos de Resistencia y Estabilidad.....	109
3.7.4.	Requisitos de Operatividad.....	110
3.7.5.	Diseño de fundaciones tipo dado o zapatas.....	110
3.7.6.	Diseño de fundaciones con micropilotes.....	111
3.7.7.	Diseño de fundaciones tipo pilas.....	113
3.8.	DISEÑO DE FUNDACIONES PARA EQUIPOS GIS Y EQUIPOS DE COMPENSACION SERIE.....	117
3.8.1.	Alcance.....	117
3.8.2.	Fundaciones para Equipos GIS.....	117
3.8.3.	Fundaciones para Equipos de Compensación Serie.....	121
3.9.	REQUISITOS PARA LA REUTILIZACIÓN DE ESTRUCTURAS DE SOPORTE Y FUNDACIONES EXISTENTES.....	122
3.10.	DISEÑO DE ESTRUCTURAS ALTAS Y ESTRUCTURAS DE SOPORTE DE ANTENAS.....	123
3.10.1.	Alcance.....	123
3.10.2.	Consideraciones para el diseño sísmico de Equipos sobre estructuras altas.....	124
3.10.3.	Diseño de la sección local de la Estructura Alta donde se fija el equipo.....	126
3.10.4.	Diseño de Estructuras Altas de Subestaciones.....	127
3.10.5.	Caso Especial: Equipos suspendidos o colgados.....	132
3.10.6.	Diseño de Estructuras de Líneas de Transmisión.....	132
3.10.7.	Diseño de Estructuras de Soporte de Antenas.....	133
3.10.8.	Diseño de Fundaciones.....	134
3.11.	DISEÑO DE OTRAS OBRAS CIVILES DENTRO DE SUBESTACIONES.....	135
3.11.1.	Alcance.....	135
3.11.2.	Normas.....	135
3.11.3.	Solicitud Sísmica.....	136
3.11.4.	Factor de Importancia "I".....	136
3.11.5.	Factor de Modificación de la Respuesta "R".....	137
3.11.6.	Requisitos de diseño.....	137
3.11.7.	Requisitos generales para el diseño de Obras Civiles de Subestaciones Eléctricas.....	138

3.11.8. Combinaciones de carga.....	138
3.11.9. Diseño de muro cortafuego.....	139
3.11.10. Diseño de salas eléctricas, casetas de control y otras edificaciones similares.....	140
3.11.11. Diseño de salas para equipos GIS interiores.....	141
3.11.12. Diseño de sistemas colectores de aceite.....	142
3.11.13. Estanque de agua.....	143
3.12. INFORME DE MECÁNICA DE SUELOS.....	144
3.12.1. Alcance.....	144
3.12.2. Normas.....	144
3.12.3. Responsable del Informe de Mecánica de Suelos.....	144
3.12.4. Finalidad del Informe de Mecánica de Suelos.....	145
3.12.5. Exploración y Ensayos de Laboratorio.....	145
3.12.6. Informe de Mecánica de Suelos para Subestaciones.....	147
3.12.7. Informe de Mecánica de Suelos para Líneas.....	152
3.13. DOCUMENTOS QUE RESPALDAN EL DISEÑO.....	154



