



DOCUMENTO TÉCNICO

**RECOMENDACIÓN DE REQUISITOS SÍSMICOS
PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE ALTA TENSIÓN**

SEPTIEMBRE 2018
ACTUALIZADO MARZO 2020

**Este documento es propiedad del Comité Chileno de CIGRE
Toda reproducción total o parcial deberá citar claramente al Comité Chile de CIGRE
www.cigre.cl**

I. INTRODUCCION

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 “**Recomendación de 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, Especificaciones y Recomendaciones que se han utilizado como referencia 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.

NORMAS, ESPECIFICACIONES Y RECOMENDACIONES	AÑO	NOMBRE
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. ESTRUCTURACION 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.

VI. ACTUALIZACION DEL DOCUMENTO A MARZO 2020

El documento original editado en Septiembre de 2018 se hizo público por medio de la página WEB de CIGRE Chile, www.cigre.cl, y por medio del Seminario Tutorial organizado por CIGRE Chile el 03 de diciembre de 2018, efectuado en los salones del Hotel Intercontinental de Santiago.

En el mencionado Seminario Tutorial se entregó un ejemplar del documento a cada uno de los asistentes al evento y se abrió un periodo de consultas y comentarios públicos para que quien quisiera pudiera enviar, a una dirección de correo electrónico determinada de CIGRE, sus consultas, comentario y/o contribuciones. Dicho periodo de consulta fue informado tanto en el Seminario Tutorial como a través de los comunicados de CIGRE Chile y estuvo abierto hasta fines de Abril de 2019.

Las consultas recibidas fueron clasificadas y estudiadas por los líderes del Comité de Estudio de CIGRE Chile y posteriormente se realizó una reunión con cada uno de los autores, reunión donde se analizaron las consultas particulares de cada uno y donde se determinó en conjunto si se efectuaba alguna modificación al documento original.

Como resultado de este trabajo de consultas se emite el presente documento, que corresponde a una versión actualizada a Marzo 2020 en forma y no fondo del documento original. En este documento se indican las modificaciones en texto con letras color azul, modificaciones que corresponden principalmente a actualización de redacciones de algunos párrafos, incorporación de nuevas definiciones e incorporación de nuevos comentarios, todo con la finalidad de un mejor entendimiento y aplicabilidad de la presente **Recomendación**.

Agradecemos a Consultorías HCC, EQCO, Integral Servicios de Ingeniería, Siemens, WSP y al Ingeniero Sr. Gonzalo Calvo por las contribuciones efectuadas en este proceso de consultas.



DOCUMENTO TÉCNICO

**RECOMENDACIÓN DE REQUISITOS SÍSMICOS
PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE ALTA TENSIÓN**

SEPTIEMBRE 2018
ACTUALIZADO MARZO 2020

**Este documento es propiedad del Comité Chileno de CIGRE
Toda reproducción total o parcial deberá citar claramente al Comité Chile de CIGRE
www.cigre.cl**

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.....	16
1.1.4.	Lenguaje utilizado en la presente Recomendación	16
1.1.5.	Normas y Especificaciones.....	17
1.2.	DEFINICIONES.....	18
1.3.	DISPOSICIONES PARA DISEÑO SÍSMICO.....	25
1.3.1.	Alcance.....	25
1.3.2.	Intensidad Sísmica de Diseño	25
1.3.3.	Acciones sísmicas para el diseño	25
1.3.4.	Espectro de Diseño o RRS	26
1.3.5.	Factor de Importancia “ I_E ”, Factor de Modificación de la Respuesta “R” y Razón de Amortiguamiento “ ξ ”	28
1.3.6.	Acciones simultáneas con el sismo.....	31
1.4.	SOLICITACIONES DE DISEÑO	33
1.4.1.	Solicitaciones de cargas permanentes (CP)	33
1.4.2.	Solicitud Sísmica (E).....	33
1.4.3.	Solicitaciones debidas a cargas de operación (CO o COs)	34
1.4.4.	Solicitaciones debidas a cargas de conexiones (T)	34
1.4.5.	Solicitaciones debidas a cargas de cortocircuito (FC).....	34
1.4.6.	Solicitaciones debidas a las condiciones meteorológicas (CA o CAs).....	34
1.4.7.	Otras solicitudes	35
1.4.8.	Combinaciones de cargas	35
1.5.	DOCUMENTOS QUE RESPALDAN EL DISEÑO	37
1.5.1.	Memorias de Cálculo	37
1.5.2.	Planos.....	38

**Este documento es propiedad del Comité Chileno de CIGRE
Toda reproducción total o parcial deberá citar claramente al Comité Chile de CIGRE
www.cigre.cl**

CAPÍTULO 2

REQUISITOS SÍSMICOS PARA EQUIPOS ELÉCTRICOS

2.1.	ALCANCE Y CAMPO DE APLICACIÓN	41
2.1.1.	Alcance.....	41
2.1.2.	Filosofía de diseño	41
2.1.3.	Campo de aplicación.....	41
2.1.4.	Normas y Especificaciones.....	41
2.2.	CLASIFICACIÓN DE EQUIPOS DE ALTA TENSIÓN	43
2.3.	REQUISITOS SÍSMICOS PARA EQUIPOS.....	44
2.4.	MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA FUERZA SÍSMICA SOBRE LOS EQUIPOS	45
2.4.1.	Método Estático.....	45
2.4.2.	Método de Coeficientes Estáticos	46
2.4.3.	Método Estático Simplificado	47
2.4.4.	Método de Análisis Dinámico por Superposición Modal Espectral.....	48
2.5.	PRUEBAS EN MESA VIBRATORIA.....	50
2.5.1.	Proceso para verificación del cumplimiento de los requisitos sísmicos.....	50
2.5.2.	Pruebas en Mesa Vibratoria	50
2.6.	PRUEBAS Y/O MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RAZON DE AMORTIGUAMIENTO	61
2.6.1.	Pruebas de Oscilación Libre	61
2.7.	MÉTODO ESPECIAL PARA VERIFICACIÓN SISMICA POR GRUPO DE EQUIPOS.....	64
2.8.	ESFUERZOS DE ACOPLAMIENTO MECÁNICO.....	66
2.9.	SOLICITACIONES DE DISEÑO PARA EQUIPOS.....	67
2.9.1.	Fuerza de Cortocircuito	67
2.9.2.	Solicitaciones debido a condiciones meteorológicas	68
2.10.	REQUISITOS DE RESISTENCIA.....	69
2.10.1.	Materiales dúctiles	69
2.10.2.	Materiales no dúctiles y no poliméricos.....	70
2.10.3.	Materiales poliméricos	74
2.11.	ESTRUCTURAS DE SOPORTE.....	77
2.12.	FIJACIÓN O ANCLAJE DE EQUIPOS	78
2.13.	EQUIPOS MONTADOS EN ALTURA.....	79
2.14.	EQUIPOS SUSPENDIDOS.....	80
2.15.	CONEXIONES DE LOS EQUIPOS A LA RED DE ALTA TENSIÓN.....	81

**Este documento es propiedad del Comité Chileno de CIGRE
Toda reproducción total o parcial deberá citar claramente al Comité Chile de CIGRE
www.cigre.cl**

CAPÍTULO 3

REQUISITOS SÍSMICOS PARA ESTRUCTURAS, FUNDACIONES Y OTRAS OBRAS CIVILES

3.1. GENERAL	83
3.1.1. Alcance.....	83
3.1.2. Filosofía de diseño	83
3.1.3. Campo de aplicación.....	83
3.1.4. Normas y Especificaciones.....	84
3.2. SOLICITACION SÍSMICA SOBRE ESTRUCTURAS DE SOPORTE Y FUNDACIONES DE EQUIPOS . 85	
3.2.1. Alcance.....	85
3.2.2. Zonificación Sísmica.....	85
3.2.3. Solicitación Sísmica	86
3.2.4. Nivel Basal.....	86
3.2.5. Factor de Importancia “I _E ”, Factor de Modificación de la Respuesta “R” y Razón de Amortiguamiento “ξ”	86
3.2.6. Determinación de las fuerzas sísmicas mediante método estático equivalente	87
3.2.7. Determinación de las fuerzas sísmicas mediante un método dinámico	89
3.3. MÉTODOS PARA DISEÑO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE SOPORTE Y FUNDACIONES DE EQUIPOS.....	91
3.3.1. Método Estático Civil	91
3.3.2. Método de Análisis Dinámico	95
3.4. SOLICITACIONES DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE SOPORTE Y FUNDACIONES DE EQUIPOS.....	100
3.5. DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE SOPORTE DE EQUIPOS	101
3.5.1. Alcance.....	101
3.5.2. Criterio general de diseño	101
3.5.3. Requisitos de rigidez global	101
3.5.4. Requisitos de rigidez local	102
3.5.5. Definición del sistema de fijación del equipo a la estructura de soporte	103
3.5.6. Diseño por resistencia de la estructura	103
3.5.7. Diseño del sistema de anclaje de la estructura de soporte a la fundación	103
3.5.8. Estructuras tipo parrón.....	103
3.5.9. Estructuras especiales de soporte de equipos	104
3.6. DISEÑO DE SISTEMAS DE ANCLAJE A LA FUNDACIÓN	105
3.6.1. General	105
3.6.2. Materiales.....	106
3.6.3. Fuerza sísmica para diseño	107
3.6.4. Pernos de anclaje en general.....	107
3.6.5. Cajas de anclaje	107
3.6.6. Llaves de corte	108

3.6.7.	Topes sísmicos	108
3.6.8.	Pernos de anclaje post instalados	109
3.6.9.	Diseño de los sistemas de anclaje	109
3.6.10.	Información requerida por parte del Proveedor del Equipo para el diseño de los sistemas de anclaje	110
3.6.11.	Sistemas de anclaje de equipos a la fundación sin pernos de anclaje	110
3.7.	DISEÑO DE FUNDACIONES.....	112
3.7.1.	Alcance.....	112
3.7.2.	Requisitos Generales	112
3.7.3.	Requisitos de Resistencia y Estabilidad	113
3.7.4.	Requisitos de Operatividad.....	114
3.7.5.	Diseño de fundaciones tipo dado o zapatas.....	114
3.7.6.	Diseño de fundaciones con micropilotes.....	115
3.7.7.	Diseño de fundaciones tipo pilas.....	117
3.8.	DISEÑO DE FUNDACIONES PARA EQUIPOS GIS Y EQUIPOS DE COMPENSACION SERIE.....	121
3.8.1.	Alcance.....	121
3.8.2.	Fundaciones para Equipos GIS.....	121
3.8.3.	Fundaciones para Equipos de Compensación Serie	125
3.9.	REQUISITOS PARA LA REUTILIZACIÓN DE ESTRUCTURAS DE SOPORTE Y FUNDACIONES EXISTENTES	126
3.10.	DISEÑO DE ESTRUCTURAS ALTAS Y ESTRUCTURAS DE SOPORTE DE ANTENAS	127
3.10.1.	Alcance.....	127
3.10.2.	Consideraciones para el diseño sísmico de Equipos sobre estructuras altas.....	128
3.10.3.	Diseño de la sección local de la Estructura Alta donde se fija el equipo.....	130
3.10.4.	Diseño de Estructuras Altas de Subestaciones	131
3.10.5.	Caso Especial: Equipos suspendidos o colgados.....	136
3.10.6.	Diseño de Estructuras de Líneas de Transmisión	136
3.10.7.	Diseño de Estructuras de Soporte de Antenas	137
3.10.8.	Diseño de Fundaciones.....	138
3.11.	DISEÑO DE OTRAS OBRAS CIVILES DENTRO DE SUBESTACIONES.....	139
3.11.1.	Alcance.....	139
3.11.2.	Normas.....	139
3.11.3.	Solicitud Sísmica	140
3.11.4.	Factor de Importancia “I”.	140
3.11.5.	Factor de Modificación de la Respuesta “R”	141
3.11.6.	Requisitos de diseño	141
3.11.7.	Requisitos generales para el diseño de Obras Civiles de Subestaciones Eléctricas	142
3.11.8.	Combinaciones de carga	142
3.11.9.	Diseño de muro cortafuego.....	143
3.11.10.	Diseño de salas eléctricas, casetas de control y otras edificaciones similares	144
3.11.11.	Diseño de salas para equipos GIS interiores	145
3.11.12.	Diseño de sistemas colectores de aceite.	146
3.11.13.	Estanque de agua	147